



**T.C.**  
**NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KONYA ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ**  
**ARITMA ÇAMURLARININ**  
**AĞIR METALLER AÇISINDAN**  
**İNCELENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Abdurrahman Cahit GÖKAL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ocak-2014**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Abdurrahman Cahit GÖKAL tarafından hazırlanan “Konya Organize Sanayi Bölgesi Arıtma Çamurlarının Ağır Metaller Açısından İncelenmesi ve Değerlendirilmesi” adlı tez çalışması 03/01/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Prof. Dr. Mustafa PEHLİVAN

#### Danışman

Doç. Dr. Senar AYDIN

#### Üye

Yrd. Doç. Dr. Fatma BEDÜK

#### Üye

Prof. Dr. Mustafa PEHLİVAN

### İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Selman TÜRKER  
FBE Müdürü



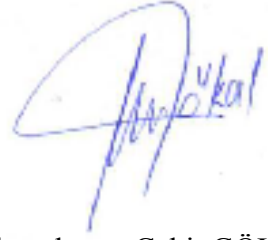
Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi BAP koordinatörlüğü tarafından, 11201109 numaralı proje ile desteklenmiştir.

## TEZ BİLDİRİMİ

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

## DECLARATION PAGE

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



Abdurrahman Cahit GÖKAL

03.01.2014

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## KONYA ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ ARITMA ÇAMURLARININ AĞIR METALLER AÇISINDAN İNCELENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

**Abdurrahman Cahit GÖKAL**

**Necmettin Erbakan Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Senar AYDIN**

**2014, 107 Sayfa**

**Jüri**

**Prof. Dr. Mustafa PEHLİVAN  
Doç. Dr. Senar AYDIN  
Yrd. Doç. Dr. Fatma BEDÜK**

Bu çalışmada Konya Organize Sanayi Bölgesi (KOS) Atıksu Arıtma Tesisinde oluşan çamurun ağır metal içeriği tespit edilmiş ve kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Ayrıca çamur örneklerinin fiziko-kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, arıtma tesisinin dekantör çıkışından Ağustos 2011'den itibaren Temmuz 2012'ye kadar bir yıl süre ile ayda bir kez çamur numunesi alınmış ve numunelerin fiziko-kimyasal özellikleri ve ağır metal (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg) miktarı belirlenmiştir.

Çamur örneklerinin pH değeri 7.62-8.17, elektriksel iletkenlik değeri 1277-3550  $\mu\text{S/cm}$ , kuru madde değeri %18.29-32.38, uçucu katı madde değeri (organik madde) %25.69-57.34, kimyasal oksijen ihtiyacı değeri 412->1500 mg/L, toplam organik karbon değeri 216->800 mg/L aralığında tespit edilmiştir. Çamur örneklerinin ağır metal içeriği Cd için 1.45-5.97 mg/kg kuru madde (mg/kg.km), Cr için 329.73-2801.04 mg/kg.km, Cu için 54.76-1094.36 mg/kg.km, Ni için 6.94-165.96 mg/kg.km, Pb için 41.89-90.68 mg/kg.km, Zn için 2968.56-21855.93 mg/kg.km, Hg için 51.613-267.501  $\mu\text{g/kg.km}$  aralığında tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik ve Avrupa Birliğinin arıtma çamurlarının kullanılması ile ilgili yönetmeliğine göre değerlendirildiğinde arıtma çamuru örneklerinde tespit edilen Cd, Ni, Pb, Hg değerlerinin tüm çamur örnekleri için sınır değerleri aşmadığı, Cr miktarının Nisan, Mayıs Temmuz ayları hariç diğer aylarda sınır değerleri aştığı, Cu miktarının Aralık ayında sınır değerleri aştığı, Zn miktarının ise tüm çamur örneklerinde sınır değerleri aştığı, pH değerlerinin tüm çamur örneklerinde sınır değerleri arasında olduğu, organik madde içeriklerinin ise Ağustos, Eylül, Nisan ve Temmuz ayları hariç diğer aylarda minimum sınır değeri sağladığı tespit edilmiştir.

Yüksek çıktığı tespit edilen Cr'nin KOS'ta yer alan kağıt, petrol, kimya ve metal sanayi sektörü işletmelerinin atıksu deşarjları olabileceği, Cu'nun KOS'ta yer alan metal sanayi sektörü işletmelerinin bir veya bir kaçının kontrolsüz deşarj yapmış olabileceği, Zn'nin KOS'ta yer alan petrol, metal ve kimya sanayi sektörü işletmelerinin atıksu deşarjlarından kaynaklanabileceği düşünülmüştür. KOS'un karışık endüstrilerden oluşması, bazı işletmelerin kesikli deşarj yapmaları, düşük çıktığı belirlenen aylarda numune almadan önce tesise gelen endüstriyel karakterli atıksu miktarının evsel karakterli atıksu miktarına nazaran daha fazla olabileceği, bu nedenle ilgili aylarda organik madde değerlerinin limit değerlerin altında çıktığı düşünülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** ağır metal, arıtma çamuru, Konya, Organize Sanayi Bölgesi.

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

## **HEAVY METALS EVALUATION OF KONYA ORGANIZED INDUSTRIAL AREA SEWAGE SLUDGE**

**Abdurrahman Cahit GÖKAL**

### **THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Senar AYDIN**

**2014, 107 Pages**

#### **Jury**

**Prof. Dr. Mustafa PEHLİVAN**

**Assoc. Prof. Dr. Senar AYDIN**

**Asst. Prof. Dr. Fatma BEDÜK**

In this study, heavy metal content of Konya Organized Industrial Zone Wastewater Treatment Plant's sludges has been determined and evaluated in the means of reuse availability. Also, physico-chemical analysis were carried out. For this purpose, sludge samples were taken in outlet decanter of the treatment plant once a month for a period of one year from August 2011 to July 2012 and samples were determined physico-chemical properties, amount of heavy metals (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg) percentage effect.

pH 7.62-8.17, electrical conductive value 1277-3550  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , dry matter value %18.29-32.38, organic matter value %25.69-57.34, chemical oxygen demand value 412->1500mg/L, total organic carbon value 216->800 mg/L range were measured in sludge samples. Heavy metal content of sludge samples, 1.45-5.97 mg/kg.km for Cd, 6.94-165.96 mg/kg.km for Ni, 41.89-90.68 mg/kg.km for Pb, 2968.56-21855.93 mg/kg.km for Zn, 51.613-267.501  $\mu\text{g}/\text{kg.km}$  for Hg ranges were determined.

Obtained result according to evaluation Uses of Domestic and Urban Sewage Sludge on Soil Regulation and European Union Directive on the use of sewage sludge identified Cd, Ni, Pb, Hg values did not exceed the limit values for all sludge samples, the amount of Cr in April, May, July except in the other months exceeded the limit values, the amount of Cu exceed in December, the amount of Zn were determined exceeded the limit values.

The source of chromium detected in high concentration is considered to be originated from paper, petroleum, chemical and metal industry wastewater discharges found in Konya Organized Industrial Zone. The source of copper is considered to be an uncontrolled discharge of one or a few metal industries located in Konya Organized Industrial Zone. The source of the zinc is thought to be derived from the oil, metal and chemical industry wastewater discharge found in Konya Organized Industrial Zone. In some months, volatile solids (organic matter) values were thought to be below the limit values Konya Organized Industrial Zone because of the mixed industries, due to intermittent discharge of some industries, some times the amount of industrial wastewater was higher than the amount of domestic wastewater.

**Keywords:** heavy metal, sewage sludge, Konya, Organized Industrial Zone.

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim süresince değerli bilgi ve tecrübelerini paylaşarak, yakın ilgi ve desteğini esirgemeyen Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı ve tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Senar AYDIN'a,

Tez çalışmam sırasında desteğini esirgemeyen Necmettin Erbakan Üniversitesi Rektör Yardımcısı Sayın Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN'a,

Yüksek Lisans eğitimim süresince maddi ve manevi yardımlarını ve desteğini esirgemeyen, bana daima doğruluktan ayrılmamayı ve dürüst olmayı tavsiye eden Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Emine Erman KARA'ya,

Laboratuvar çalışmalarında yardım ve desteklerini esirgemeyen, bize yol gösteren Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyeleri Sayın Prof. Dr. Ali TOR ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Fatma BEDÜK'e,

Laboratuvar deney çalışmalarında bana yardımlarından dolayı, Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Uzman, Sayın Çevre Mühendisi Arzu TEKİNAY'a,

Yüksek Lisans eğitimi konusunda bana yol gösteren ve her zaman destekleyen Konya Organize Sanayi Bölgesi Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Tahir BÜYÜKHELVACIGİL'e ve Bölge Müdürümüz Sayın Vahit TÜRKYILMAZ'a,

Tezde yapılan deneysel çalışmalara verdiği proje maddi desteği ile Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri (BAP) Koordinatörlüğüne,

Yüksek Lisans eğitimi almam ve devamını getirmem konusunda beni daima teşvik eden, sevgili annem Ayşe GÖKAL'a ve sevgili babam Hakkı GÖKAL'a, manevi desteğini esirgemeyen sevgili kardeşim Aliye GÖKAL'a ve her zaman yanımda durarak bana destek olan ve beni anlayışla karşılayan sevgili eşim Sare GÖKAL'a,

En derin saygı, şükran ve hürmetlerimi sunarım.

Yüksek Lisans tez çalışmamın bundan sonra bu konuyla ilgili çalışmalara ışık tutmasını, bu konuyla ilgili çalışan kişilere faydalı olmasını temenni ederim.

Abdurrahman Cahit GÖKAL  
KONYA-2014

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ .....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>3</b>
2.1. Endüstriyel Atıksular .....	3
2.2. Arıtma Çamurları.....	3
2.2.1. Arıtma çamurlarının kaynakları ve özellikleri.....	5
2.2.2. Arıtma çamurlarının bertaraf yöntemleri .....	7
2.2.2.1. Birincil işlemler.....	9
2.2.2.2. Yoğunlaştırma.....	9
2.2.2.3. Stabilizasyon .....	10
2.2.2.4. Şartlandırma .....	11
2.2.2.5. Dezenfeksiyon.....	12
2.2.2.6. Susuzlaştırma .....	13
2.2.2.7. Kurutma .....	15
2.2.2.8. Yakma.....	15
2.2.2.9. Nihai bertaraf .....	16
2.2.3. Arıtma çamurlarının tarımda kullanılması .....	16
2.2.4. Arıtma çamurları ile ilgili mevzuat .....	20
2.3. Ağır Metaller .....	22
2.3.1. Kadmiyum .....	27
2.3.2. Krom .....	30
2.3.3. Bakır .....	31
2.3.4. Nikel.....	32
2.3.5. Kurşun .....	33
2.3.6. Çinko .....	35
2.3.7. Civa .....	36
2.4. Ağır Metal Analiz Yöntemleri .....	38
2.4.1. Atomik absorpsiyon spektrofotometresi (AAS) .....	40
2.5. Konu İle İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar .....	41
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>50</b>
3.1. Materyal .....	50
3.1.1. Konya Organize Sanayi Bölgesi atıksuyu .....	50

3.1.2. Konya Organize Sanayi Bölgesi atıksu arıtma tesisi .....	52
3.1.2.1. Fiziksel arıtma üniteleri .....	54
3.1.2.2. Kimyasal arıtma üniteleri .....	58
3.1.2.3. Biyolojik arıtma üniteleri.....	59
3.1.2.4. İleri arıtma üniteleri.....	63
3.1.2.5. Çamur susuzlaştırma üniteleri.....	64
3.2. Yöntem.....	67
3.2.1. Çamur numunelerinin bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin analizi .....	67
3.2.1.1. Çamur numunelerinin nem, kuru madde, uçucu katı madde, sabit katı madde miktarlarının analizi.....	67
3.2.1.2. Çamur numunelerinin pH, Eİ, KOİ, TOK değerlerinin belirlenmesi.....	71
3.2.2. Çamur numunelerinin ağır metal analizleri.....	73
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....</b>	<b>76</b>
4.1. Çamur Numunelerinin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Analiz Sonuçları .....	76
4.2. Standart Referans Madde Analiz Sonuçları .....	81
4.3. Çamur Numunelerinin Ağır Metal Analiz Sonuçları.....	81
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>97</b>
5.1 Sonuçlar .....	97
5.2 Öneriler .....	98
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>100</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>107</b>



## ÇİZELGELER LİSTESİ

<b>Çizelge 2.1.</b> Klasik atıksu arıtma sistemi çamur ve katı atık kaynakları (Metcalf ve Eddy, 1991).....	5
<b>Çizelge 2.2.</b> Arıtma sisteminden kaynaklanan çamur ve katı atıkların özellikleri (Metcalf ve Eddy, 1991).....	6
<b>Çizelge 2.3.</b> Çamur işleme ve bertaraf yöntemleri (Filibeli, 1998) .....	7
<b>Çizelge 2.4.</b> Çamur proseslerindeki başlıca yoğunlaştırma teknikleri (Metcalf ve Eddy, 1991).....	10
<b>Çizelge 2.5.</b> Toprakta kullanılabilir stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevaları (EKAÇTKDY, 2010).....	21
<b>Çizelge 2.6.</b> Topraktaki ağır metal sınır değerleri (EKAÇTKDY, 2010) .....	21
<b>Çizelge 2.7.</b> Toprakta kullanılacak stabilize arıtma çamurundaki organik bileşiklerin konsantrasyonlarının ve dioksinlerin sınır değerleri (EKAÇTKDY, 2010).....	21
<b>Çizelge 2.8.</b> Toprakta kullanılacak stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal miktarlarının karşılaştırılması (mg/kg kuru madde) .....	22
<b>Çizelge 2.9.</b> Temel endüstrilerden kaynaklanan metal türleri (Kahvecioğlu ve ark., 2003).....	24
<b>Çizelge 2.10.</b> SKKY sektör türlerine göre bakılması gereken ağır metal türleri.....	25
<b>Çizelge 2.10.</b> SKKY sektör türlerine göre bakılması gereken ağır metal türleri - devamı .....	25
<b>Çizelge 4.1.</b> Çamur numunelerinin %nem, kuru kütle, uçucu katı madde, sabit katı madde değerleri.....	76
<b>Çizelge 4.2.</b> Çamur numunelerinin pH, Eİ, KOİ, TOK değerleri.....	77
<b>Çizelge 4.3.</b> SRM 1646a referans maddesinin analiz sonuçları .....	81
<b>Çizelge 4.4.</b> Çamur numunelerinde tespit edilen ağır metal değerleri (mg/kg.km).....	82
<b>Çizelge 4.5.</b> Arıtma çamurlarında tespit edilen ağır metal miktarları (mg/kg km) (Özcan ve ark., 2011) .....	89
<b>Çizelge 4.5.</b> Arıtma çamurlarında tespit edilen ağır metal miktarları (mg/kg km) (Özcan ve ark., 2011) - devamı.....	90

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Çamur işleme ve bertarafı akım şeması.....	8
Şekil 2.1. Çamur işleme ve bertarafı akım şeması - devamı .....	9
Şekil 2.2. Atomik absorpsiyon spektrofotometresi akış şeması .....	40
Şekil 3.1. KOS sektör dağılımı .....	51
Şekil 3.2. KOS proses atıksuyu bulunan firmaların sektörel dağılımı.....	51
Şekil 3.2. KOS AAT akım şeması .....	53
Şekil 3.3. KOS AAT genel görünüm .....	54
Şekil 3.4. KOS AAT kaba ve ince ızgara-1.....	55
Şekil 3.5. KOS AAT kaba ve ince ızgara-2.....	55
Şekil 3.6. KOS AAT havalandırmalı kum ve yağ tutucu.....	56
Şekil 3.7. KOS AAT dengeleme havuzu-1 .....	57
Şekil 3.8. KOS AAT dengeleme havuzu-2 .....	57
Şekil 3.9. KOS AAT hızlı ve yavaş karıştırma havuzu.....	58
Şekil 3.10. KOS AAT kimyasal çöktürme havuzu .....	59
Şekil 3.11. KOS AAT anoksik selektör havuzu .....	60
Şekil 3.12. KOS AAT havalandırma havuzu .....	61
Şekil 3.13. KOS AAT biyolojik çöktürme havuzu .....	62
Şekil 3.14. KOS AAT biyolojik arıtma üniteleri .....	62
Şekil 3.15. KOS AAT klorlama ünitesi.....	63
Şekil 3.16. KOS AAT kum ve aktif karbon filtresi .....	64
Şekil 3.17. KOS AAT çamur dengeleme ve çamur yoğunlaştırma havuzu .....	65
Şekil 3.18. KOS AAT dekantör .....	66
Şekil 3.19. KOS AAT arıtma çamuru .....	66
Şekil 3.20. Çamur numunelerinin desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulması .....	68
Şekil 3.21. Desikatörde soğutulan krozenin hassas terazide tartılması.....	68
Şekil 3.22. Çamur numunelerinin kül fırınına yerleştirilmesi-1 .....	69
Şekil 3.23. Çamur numunelerinin kül fırınına yerleştirilmesi-2.....	70
Şekil 3.24. Kül fırınından çıkmış ve desikatörde soğutulmuş çamur numuneleri .....	70
Şekil 3.25. Çalkalayıcıya yerleştirilmiş çamur numuneleri.....	71
Şekil 3.26. Santrifüjleme işlemi için çamur numunelerinin yerleştirilmesi .....	72
Şekil 3.27. Santrifüjleme işleminin gerçekleştirildiği cihaz.....	72
Şekil 3.28. Çamur numunelerinin mikrodalga sistemine yerleştirilmesi .....	73
Şekil 3.29. Çalışmada kullanılan CEM, MarsXpress mikrodalga fırını .....	74
Şekil 3.30. Çamur numunelerinin filtre kağıdından süzülmesi .....	74
Şekil 3.31. Ağır metal analizlerinin gerçekleştirildiği AAS cihazı .....	75
Şekil 4.1. Çamur numunelerinin pH değerlerinin grafiksel gösterimi .....	78
Şekil 4.2. Çamur numunelerinin Eİ değerlerinin grafiksel gösterimi .....	79
Şekil 4.3. Çamur numunelerinin KOİ değerlerinin grafiksel gösterimi .....	80
Şekil 4.4. Çamur numunelerinin TOK değerlerinin grafiksel gösterimi.....	80
Şekil 4.5. Çamur örneklerinde tespit edilen Cd değerleri .....	82
Şekil 4.6. Çamur örneklerinde tespit edilen Cr değerleri .....	83
Şekil 4.7. Çamur örneklerinde tespit edilen Cu değerleri .....	84
Şekil 4.8. Çamur örneklerinde tespit edilen Ni değerleri .....	85
Şekil 4.9. Çamur örneklerinde tespit edilen Pb değerleri.....	86
Şekil 4.10. Çamur örneklerinde tespit edilen Zn değerleri.....	87
Şekil 4.11. Çamur örneklerinde tespit edilen Hg değerleri .....	88

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

Ag	: Gümüş
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	: Alüminyum Sülfat
As	: Arsenik
B	: Bor
Ba	: Baryum
Cd	: Kadmiyum
Cl	: Klorür
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
Hg	: Civa
HNO <sub>3</sub>	: Nitrik asit
I	: İyot
mg/kg	: miligram/kilogram
mg/kg.km	: miligram/kilogram kuru madde
mg/L	: miligram/litre
µg/kg	: mikrogram/kilogram
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
N	: Azot
Ni	: Nikel
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	: Amonyum
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	: Nitrat
P	: Fosfor
Pb	: Kurşun
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	: Fosfat
Sb	: Antimon
Se	: Selenyum
Si	: Silisyum
Sn	: Kalay
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	: Sülfat
U	: Uranyum
V	: Vanadyum
Zn	: Çinko

## Kısaltmalar

AAS	: Atomik Absorpsiyon Spektrometresi
AAT	: Atıksu Arıtma Tesisi
AOX	: Adsorplanabilen Organik Halojenler
BOİ <sub>5</sub>	: 5 günlük Biyolojik Oksijen İhtiyacı
DEHP	: Diftalat 2-etilhekzil
DTPA	: Dietil Triamin Pentaasetat Asit
dS/cm	: Desisimens/santimetre
Eİ	: Elektriksel İletkenlik
EKAÇTKDY	: Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik
GC-MS	: Gaz Kromatografisi Kütle Spektrometresi
ICP-AES	: İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektrometresi
ICP-MS	: İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi
KDK	: Katyon Değişirme Kapasitesi
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
KOS	: Konya Organize Sanayi Bölgesi
LAS	: Lineer Alkil Benzosülfonat
mS/cm	: Milisimens/santimetre
NPE	: Nonil Fenol Etoksilat
PAH	: Polisiklik Aromatik Hidrokarbon
PCB	: Poliklorlu Bifenil
PIXE	: X Floresan Işığı İle Uyarılmış Proton
ppb	: Milyarda bir
ppm	: Milyonda bir
SIM	: İkincil İyon Kütle Spektrometresi
TOK	: Toplam Organik Karbon
USEPA	: Amerika Çevre Koruma Ajansı
UV	: Ultraviyole
μSYXRF	: Mikro Sinkrotron X Işını Floresans

## 1. GİRİŞ

İnsanların ihtiyaçlarının karşılayabilmek için hızla gelişen sanayi sektörü, çevreye bırakılan atık miktar ve türünü arttırmış, çevre üzerinde özümseme kapasitesinden daha fazla kirlilik yüklerinin oluşmasına sebep olmuştur. Endüstriyel sistemlerden oluşan katı atıklar, gaz kirleticiler, atıksular; doğal çevre, insan ve diğer canlılar üzerinde toksik etkilere neden olmaktadır.

Bu nedenle oluşan atıksuların arıtılma gerekliliği ortaya çıkmaktadır ve atıksu arıtma tesisleri kurulmaktadır. Ancak, atıksu arıtma tesislerindeki prosesler sonucunda oluşan arıtma çamuru konsantre potansiyel kirleticiler içermektedir. Sanayi bölgelerinde çok sayıda fabrikanın atıksuyunun arıtılması için kurulan yüksek kapasiteli tesislerin etkili bir şekilde işletildiğinin de önemli bir göstergesi olan arıtma çamurları aynı zamanda önemli bir sorundur ve nihai bertaraflarından önce arıtılmaları gereklidir.

Endüstriyel atıksular ağır metal içeriği yönünden önemli bir kirletici olarak, ya hiç arıtılmadan ya da bir ön arıtmadan sonra kanalizasyon sistemine deşarj edilmektedir. Su ortamında bulunan ve belirli bir konsantrasyonu aşan her madde canlılar için zararlıdır. Bazı maddeler eser miktarda olsa bile toksik etki gösterebilmektedir. Bunların başında kadmiyum (Cd), kobalt (Co), nikel (Ni), krom (Cr), bakır (Cu), çinko (Zn), arsenik (As), kurşun (Pb), mangan (Mn), gümüş (Ag) ve selenyum (Se) gibi ağır metaller sayılabilir (Yıldız, 2004).

Ağır metal içeriği yüksek atıksuların hiçbir arıtıma tabi tutulmadan alıcı ortama deşarj edilmesi, bu ortamdaki canlı hayatını tehlikeye sokmaktadır. Bunun somut bir örneği de, zehirli maddelerin su ortamına verilmesi sonucu zaman zaman görülebilen kitle halindeki balık ölümleridir. Zehirlenme durumu, zehir etkisi fazla olan maddelerin düşük konsantrasyonlarında ya da zehir etkisi düşük maddelerin zamanla ortamda konsantrasyonlarının artmasıyla görülebilir. Bu nedenle kirliliğin fark edilebilmesi için uzun sürelerin geçmesi gerekebilir (Yıldız, 2004).

Arıtma çamuru, meydana geldiği endüstriyel kuruluşun çeşidine göre organik bileşikler, asitler, alkaliler, metal tuzları, fenoller, oksitleyiciler, boyalar, sülfatlar, hidrokarbonlar, yağlar, ağır metaller, organik fosfor ve azot gibi çok çeşitli maddeler içerebilmektedir ve tehlikeli atık sınıfına girebilmektedir (Taşatar, 1997).

Arıtma çamuru uzun yıllardır tarımsal alanlar için gübre olarak kullanılmaktadır. Arıtma çamurlarının tarıma uygun olarak toprağa uygulanmasıyla hem nihai bertaraf gerçekleşmekte hem de çamur içeriğindeki bitki besin elementleri topraktaki doğal

döngülerine girmektedir (Kocaer ve ark., 2003). Bu uygulama sürdürülebilir pratik faydalanma ve aynı zamanda araziye çamur içerisindeki makro besinlerin dönmesi ile geri kazanımdır. Son on yıl süresince arıtma çamurunda ağır metaller, sentetik organik bileşikler ve patojenik mikroorganizmaların olması durumunda oluşabilecek risk ile ilgili endişeler artmaya başlamıştır.

Kimyasal madde çeşitliliğinin bu kadar çok görüldüğü arıtma çamurlarının tarımsal alanlarda bilinçsiz bir şekilde kullanımı muhtemel çevre ve sağlık sorunlarını da beraberinde getireceği için, diğer ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de bu konuya yasal anlamda çeşitli sınırlamalar getirilmiştir (Terzi, 2007).

Günümüzde arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasındaki en önemli belirleyici faktör ağır metal içeriğidir. Ülkemizde stabilize arıtma çamurlarının kullanımı ile ilgili yönetmelikte ağır metallerin izin verilen maksimum miktarları belirlenirken, organik kirleticiler ile ilgili bir düzenleme 2010 yılında yayınlanan yönetmelikte ilk kez yer almıştır.

2010'da yürürlüğe giren Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelikte (EKAÇTKDY) stabilize arıtma çamurlarının toprakta kullanılabilmesi için bazı organik bileşikler ve dioksinler için sınır değerleri, stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevaları, pH ve organik madde sınırları verilmiştir.

Bu çalışmada Konya Organize Sanayi Bölgesi (KOS) Atıksu Arıtma Tesisi (AAT)'nde oluşan çamurun karakterizasyonu belirlenmiş ve tesise gelen proses atıksuyunun %20'sinin gıda tesislerinden kaynaklanması ve önemli ölçüde evsel nitelikli olması, organik madde içeriğinin yüksek olduğunun düşünülmesi nedeniyle tesiste oluşan çamurun toprağa uygulanıp uygulanamayacağı araştırılmıştır. KOS AAT'den alınan numunelerin bu amaçla ağır metal içeriği (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg), pH, Eİ, TOK ve KOİ değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar EKAÇTKDY limit değerleri ile karşılaştırılmıştır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Endüstriyel Atıksular

Endüstriyel aktiviteler kullandığı ham madde ve kimyasal ilavesi gibi işletme proseslerine bağlı olarak çeşitli atıklar üretirler (Yuniar ve Effendi, 2013). Endüstrilerde atıksu evsel nitelikli kullanımlardan, soğutma suyundan, proses suyundan, temizlik sularından kaynaklanabilir. Endüstriyel atıksular miktar ve kirlilik yükü bakımından çok büyük çeşitlilik gösterirler. Bu sebeple içeriklerini sabit değerlerle tanımlamak imkansızdır. Genel olarak endüstriyel atıksular askıda, kolloidal, çözülmüş (mineral ve organik) katıları içerebilirler. İlaveten aşırı derecede asidite veya alkalinite gösterebilirler, yüksek veya düşük konsantrasyonda renk veren maddeler içerebilirler. İnert, organik veya toksik materyaller, patojenik organizmalar içerirler. Bu atıksuların kanalizasyon sistemine deşarj edilmeden önce mutlaka ön arıtımlarının yapılması gereklidir (Alturkmani, 2013).

Endüstrilerden kaynaklanan atıksular genellikle ağır metal içermektedirler ve bu atıksular yalnızca bir ön arıtım yapılarak ya da hiç arıtılmadan kanalizasyon sistemlerine deşarj edilmektedirler. Belirli düzeyden sonra bu kirleticiler ekosistemde canlıların yaşamsal aktivitelerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır (Yıldız, 2004).

Ağır metal içeren atıksular genel olarak asidik suda yaşayan ve bu suyu kullanan canlılar için çok zehirli, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) değeri düşük, inorganik karakterli sulardır. Cr, Cu, Pb, Zn, As, Fe, Cd, Hg gibi ağır metal iyonları kirliliği oluşturmaktadır. Demir çelik ve metal kaplama endüstrisinden kaynaklanan atıksular içerisindeki Hg, Cr, Pb ve Cd besin zinciri ile girdikleri canlı bünyesinde kalıcı oldukları için, canlılarda fizyolojik birikime sebep olurlar. Birikim miktarının belirli sınır konsantrasyonlarını aşması halinde canlıda toksik etkiler meydana gelir. Bunun sonucunda sulara yaşayan balıklar ve diğer canlılar ölebilir. Hatta bu tür su ürünleri ile beslenen insanların da olumsuz etkilere uğraması söz konusudur (Yıldız 2004).

### 2.2. Arıtma Çamurları

Arıtma çamuru literatür tanımıyla, evsel ve endüstriyel atıksuların ve içme sularının arıtılması sırasında, kendiliğinden çökebilen katı maddeler ile biyolojik ve kimyasal işlemler sonucunda ortaya çıkan, içerisinde %0.25 ile %12 oranında katı

madde ihtiva eden akışkan özelliğe sahip bir maddedir. Ortalama çamur üretiminin kişi başına günde 40-60 g kuru madde olduğu belirtilmektedir (Metcalf ve Eddy, 1991).

Doğal kaynakların hızla tüketildiği günümüzde, atıksu arıtma tesislerinin artışına paralel olarak artan arıtma çamurlarının sebep olduğu çevre kirliliğini azaltmak, geriye kazanılabilir atıklardan yeniden yararlanmayı gündeme taşımıştır. Son yıllarda organik gübrelemenin güncellik kazanması, arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı kullanımını daha da önemli hale getirmiştir. Arıtma çamurlarının yüksek organik madde içermesinden dolayı, toprağın organik madde ve bitki besin elementleri miktarını arttırması, toprağın toplam porozite, su tutma kapasitesi, havalanma gibi fiziksel özelliklerini iyileştirmesi, mikrobiyal aktiviteyi arttırması, içeriğindeki N, P, K gibi makro ve Fe, Cu, Zn, Mn, B ve Mo gibi mikro besin elementlerinin atığa faydalı bir gübre özelliği vermesinden dolayı tarım alanlarında kullanımı tercih edilir olmuş ve ABD Çevre Koruma Örgütü (USEPA) başta olmak üzere birçok ülkedeki yetkili kuruluş arıtma çamuru gibi biyolojik katıların tarımda kullanımını desteklemeye başlamışlardır (Öbek ve ark., 2004).

Arıtma çamurları gelişmiş ülkelerde de ayrıntılı bir şekilde analiz edilip içeriği belirlenmekte ve çeşitli işlemlerden geçirilip olumsuz etkileri en az düzeye indirilerek yada kontrollü kullanımları sağlanarak tarımda gübre olarak değerlendirilmektedir (Pedreno ve ark., 1996, Sommers 1977, Soumare ve ark., 2002). Arıtma çamurlarının bitki gereksinimlerini karşılamaya yönelik olan ticari gübrelerin formülasyonuna benzemeyecek şekilde bitki besin maddeleri içermeleri ve bunun da kontrol dışı bir durum olduğunu belirten kaynaklar, arıtma çamurlarının agronomik miktarlarda uygulanması sonucu diğer bazı besinlerin fazlalığına ya da eksikliğine neden olabileceğini ileri sürmüşlerdir (Anonymous 1996).

Arıtma çamurları gibi organik atıkların değerlendirilmesi düşünüldüğünde, makro ve mikro besin elementleri ve ağır metal içerikleri göz önünde bulundurulması gereken parametrelerdir. Evsel nitelikli arıtma çamurları genellikle bitki büyümesi için gerekli besin maddeleri içermelerine rağmen, çamurun gübre değeri; atığın kaynağı, potansiyel toksik elementlerin varlığı, atıksu özellikleri ve kullanılan arıtma proseslerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Soumare ve ark.,2002).

Endüstriyel atıksular çok çeşitli olabileceği için bu atıksulardan kaynaklanan çamurların özellikleri için genelleme yapmak zordur. Ancak evsel çamurların özellikleri için bazı temsili değerlerin verilmesi mümkündür.



### 2.2.1. Arıtma çamurlarının kaynakları ve özellikleri

Çamur arıtma sistemleri, çamur kaynağı, prosesin tipi ve işletme metoduna göre değişiklik gösterir. Çamur ve katı atıkların esas kaynakları Çizelge 2.1.'de verilmiştir. Örneğin tam karışımli aktif çamur prosesinde, çamur uzaklaştırma veya havalandırma havuzundan yapılıyorsa, son çöktürme havuzu çamur kaynağı değildir. Diğer taraftan, uzaklaştırma çamur geri dönüş hattından gerçekleştiriliyorsa çamur kaynağı çöktürme tankı olarak kabul edilebilir. Yoğunlaştırma, çürütme, şartlandırma ve susuzlaştırma için kullanılan prosesler de çamur kaynağıdır.

**Çizelge 2.1.** Klasik atıksu arıtma sistemi çamur ve katı atık kaynakları (Metcalf ve Eddy, 1991)

Uygulanan Arıtma İşlemi	Katı Madde ve Çamur Tipi	Açıklama
Elek	Kaba katı atık	Kaba katılar mekanik olarak veya çubuk ızgaralardan elle toplanarak atılır.
Kum tutucu	Kum ve köpük	Köpük giderme, işlemi kum tutucularda kum ayırma ile birlikte gerçekleştirilir.
Ön havalandırma	Kum ve köpük	Bazı sistemlerde ön havalandırma tankında köpük giderici yoktur, kum tutucunun bulunmaması tankta kum birikimine sebep olabilir.
Birincil (ön) çöktürme	Birincil çamur ve köpük	Çamur ve köpük miktarı toplama sistemine ve giren atıksuyun özelliklerine göre değişir.
Biyolojik arıtma	Askıda katı maddeler	Askıda katı madde biyolojik arıtma sonucu oluşur. Arıtma sisteminde oluşan fazla çamuru yoğunlaştırmak gerekebilir.
İkincil (son) çöktürme	Biyolojik çamur ve köpük	USEPA'ya göre köpük tutucu şart koşulmuştur.
Çamur işleme birimleri	Çamur, kompost ve kül	Son ürünün özelliği, kullanılan proses ve işletme ile çamur özelliklerine bağlıdır. Bu konudaki yasal düzenlemeler giderek ağırlaşmaktadır.

Çamur arıtımı ve son uzaklaştırma yöntemlerinin belirlenmesinde, çamur ve katı maddenin özelliği ve içeriğini bilmek çok önemlidir. Bu aynı zamanda katı atığın kaynağı, sistemdeki çamur yaşı ve proses tipi ile de yakından ilgilidir. Arıtma çamurlarının bazı fiziksel özellikleri Çizelge 2.2'de verilmektedir.

**Çizelge 2.2.** Arıtma sisteminden kaynaklanan çamur ve katı atıkların özellikleri (Metcalf ve Eddy, 1991)

Çamur ve Katı Atık	Tanımlama
Izgara ve elekte tutulan atıklar	Büyük boyutlu organik ve inorganik maddelerin tutulmasında kullanılır. Organik madde içeriği sistemin yapısına ve mevsime göre değişim gösterir.
Kum	Hızlı çökme özelliğine sahip, ağır inorganik katılardan oluşmaktadır. İşletme şartlarına da bağlı olarak yağ ve gres gibi organik maddeleri de içerirler.
Köpük/yağ	Birincil ve ikincil çöktürme havuzları yüzeyinden sıyrılarak alınan yüzen maddeleri içerir. Köpük, yağ, bitkisel ve mineral yağlar, hayvansal katı yağlar, parafin, sabun, yiyecek atıkları, sebze ve meyve kabukları, saç, kağıt ve karton, izmarit, plastik maddeler, kum ve benzeri maddeleri içerir. Özgül ağırlığı genellikle 0.95'dir.
Birincil çamur	Birincil (ön) çöktürmeden çıkan çamur gri ve yapışkan olup, çoğu zaman yoğun kokuludur. Bu çamur kolaylıkla çürütülebilir.
Kimyasal çöktürme çamuru	Metal tuzları ile yapılan çöktürmeden çıkan çamur koyu renkli, demir içeriği yüksek kırmızı renklidir. Kokusu birincil çamur kadar yoğun değildir. Çamurdaki demir veya alum hidratları, çamuru jelatinimsi yapar. Tankta bırakılması durumunda birincil çamur gibi yavaş bir çürümeye uğrar. Önemli miktarda gaz çıkışı olur ve tankta uzun süreli kalırsa çamur yoğunluğu artar.
Aktif (biyolojik) çamur	Kahverengi ve flok ağırlıklıdır. Koyu renk gözleniyor ise septik şartlar oluşmuş demektir. Renk açık ise az havalandırma sonucu çökme özelliği kötü çamurdur. İyi şartlardaki çamur toprak kokusundadır. Çamur kolaylıkla septikleşmeye meyillidir, çürük yumurta kokusu yayabilir. Yalnız veya birincil çamurla karışmış aktif çamur kolayca çürüyebilir.
Damlatmalı fitre çamuru	Kahverengimsi, floklu ve taze olduğunda nispeten kokusuzdur. Aktif çamura göre daha yavaş parçalanmaya uğrar ancak kolay çürütülebilir.
Aerobik çürütülmüş çamur	Kahve ve koyu kahve renklidir. Floküler özelliklidir. Kötü kokulu olmayıp çoğunlukla küf kokuludur. İyi çürütülmüş çamur kurutma yataklarında kolaylıkla susuzlaştırılabilir.
Anaerobik çürütülmüş çamur	Koyu kahve-siyah renkli olup, çok miktarda gaz içerir. Tam çürütüldüğünde, kötü kokmaz, kokusu hafif, sıcak katran, yanmış lastik veya mühür mumu gibidir. Çamur ince tabak şeklinde, kurutma yatağına yayıldığında, katılar yüzeyde tutulur, su hızlı şekilde drene olur ve katılar yatak üzerinde yavaşça çökerler. Çamur kurudukça, gaz çıkar, zengin bahçe toprağı özelliklerindedir.
Kompost ürünü	Koyu kahve-siyah renklidir. Ancak kompostlamada kullanılan odun kırıntıları ve geri döndürülen kompost dolayısıyla renk değişebilir. İyi kompostlanmış çamur kokusuz olup, ticari değerde bahçe toprağı şartlandırıcısı olarak kullanılabilir.
Fosseptik (septik tank) çamuru	Siyah renklidir. İyi çürütülmemesi durumunda hidrojen sülfür ve diğer gazlardan dolayı kötü koyu yayar. Bu durumdaki çamurun kurutulmasında ciddi koku problem ile karşılaşılır.

## 2.2.2. Arıtma çamurlarının bertaraf yöntemleri

Kentsel, evsel ve endüstriyel atık suların arıtılması amacıyla kurulan atıksu arıtma tesislerinin sayısı arttıkça, bertaraf edilmesi gereken arıtma çamuru miktarı da artmaktadır.

Atıksu arıtma tesisinde oluşan çamurun su ve organik madde muhtevasını azaltmak ve nihai bertaraf ve tekrar kullanımını sağlamak için uygulanan birim işlemler ve yöntemler Çizelge 2.3’de verilmiştir. Çamurların nihai bertaraf yöntemleri çamurun özelliklerine ve eldeki mevcut ekonomik ve teknik imkanlara göre değişmektedir.

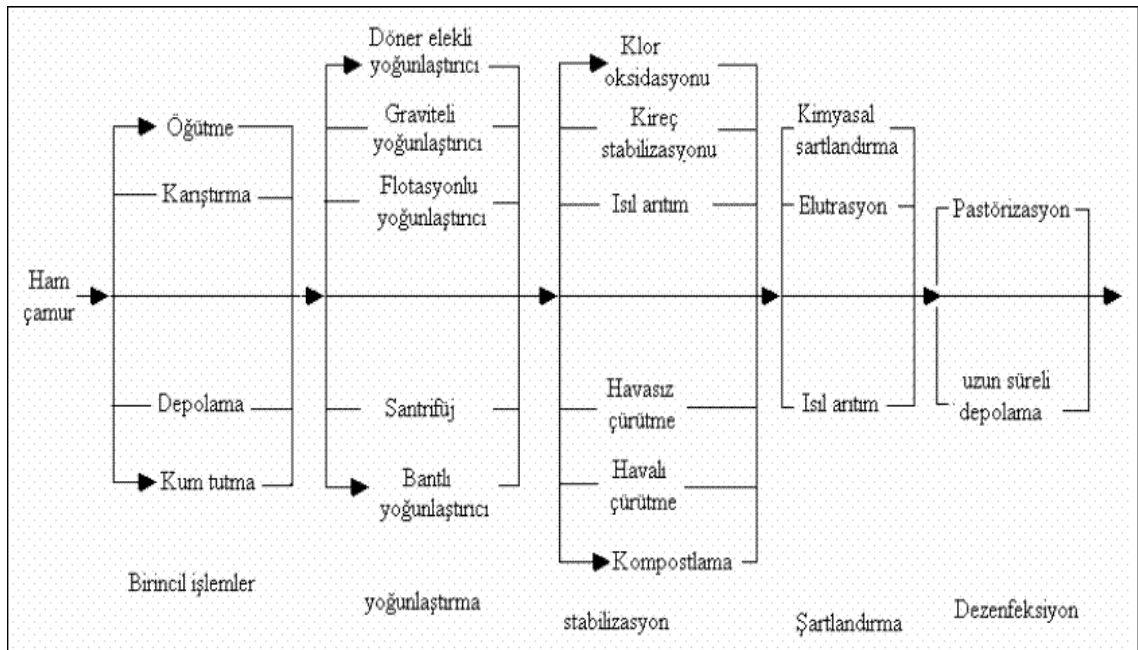
**Çizelge 2.3.** Çamur işleme ve bertaraf yöntemleri (Filibeli, 1998)

Uygulanan birim işlem	Arıtma yöntemi	Fonksiyonu
Ön arıtma işlemleri	Çamurun öğütülmesi Çamur kumsuzlaştırma Çamurların karıştırılması Çamur depolama	İrilik azaltma Kum giderme Karıştırma Depolama
Yoğunlaştırma	Graviteli, flotasyon, graviteli bant, dönen tambur yoğunlaştırma, Santrifüjleme	Hacim azaltma
Stabilizasyon	Klor oksidasyonu, kireç stabilizasyonu, ısı işlem, Anaerobik veya aerobik çürütme, kompostlaştırma	Stabilizasyon Stabilizasyon, ürün geri kazanımı
Şartlandırma	Kimyasal şartlandırma, ısı işlem, elutrasyon	Çamur şartlandırma
Dezenfeksiyon	Pastörizasyon, uzun süreli depolama	Dezenfeksiyon
Çamurun suyunu alma	Vakum filtre, santrifüj, pres filtre, yatay bant filtre, kurutma yatakları, lagünler	Hacim azaltma
Kurutma	Flaş kurutucu, püskürtmeli kurutma, döner kurutucu, çok gözlü fırınlar	Ağırlık ve hacim azaltma
Isıl işlem	Çok gözlü fırın, akışkan yataklı fırın, katı atıklarla birlikte yakma, yaş oksidasyon	Hacim azaltma
Nihai bertaraf	Arazi iyileştirme, tarımsal amaçlı kullanım, dağıtım ve pazarlama, kimyasal sabitleme Arazi doldurma, düzenli depolama, lagünleme	Yararlı kullanım Nihai bertaraf

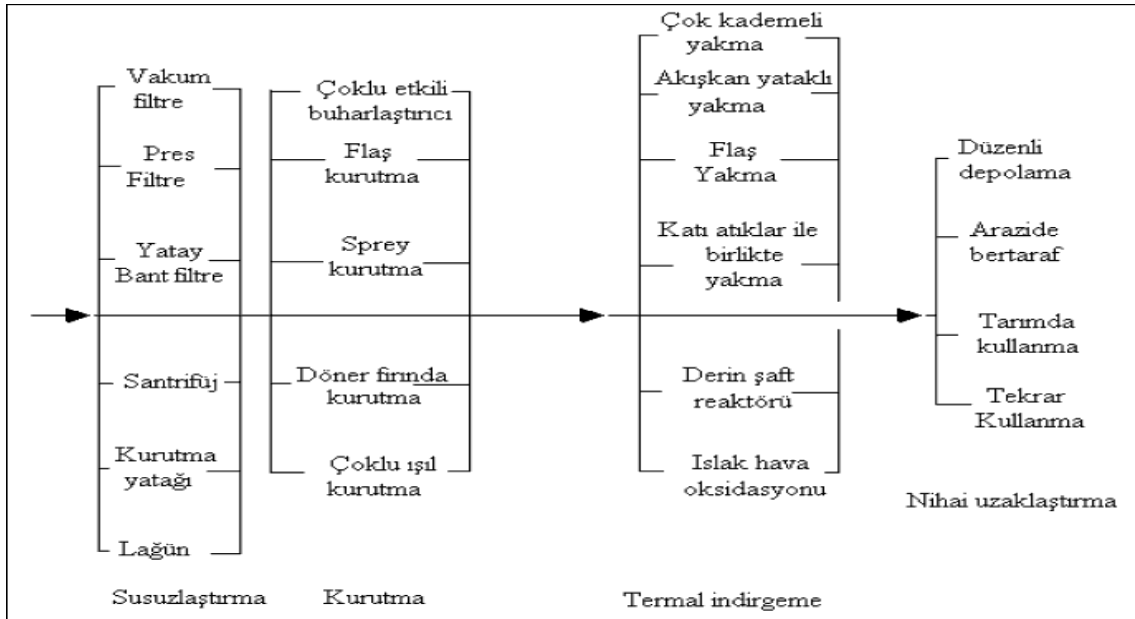
Genellikle evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılması sonucu oluşan arıtma çamurlarının nihai bertarafında gerekli özen gösterilmemekte, yoğunlaştırma ve kurutma işlemlerinden geçirilen çamurlar katı atık depolama sahalarına veya boş arazilere gelişigüzel dökülerek bertaraf edilmektedir. Arıtma çamurlarının içeriği düşünüldüğü zaman bu şekilde bertaraf edilmesinin birçok zararı bulunmaktadır.

Endüstriyel nitelikli arıtma çamurları ağır metaller ve diğer toksik maddeleri içerirler. Bu sebeple çamurun bünyesindeki kirleticiler yer altı suyu kirlenmesi ve toprak kirliliğine sebep olacağından çamurun arazide doğrudan bertaraf edilmesi sakıncalıdır. Bu nedenlerle arıtma çamurları üzerine yapılan araştırma ve çalışmalar artmış ve arıtma çamurlarının nihai bertarafına yönelik yasal düzenlemeler geliştirilmiştir. Özellikle arıtma çamurlarının arazide nihai bertarafı ile ilgili çamurda ve toprakta ağır metal içeriğinin belirlenmesi gerekmektedir.

Arıtma çamurlarının işlenmesi ve bertarafı için genelleştirilmiş akım şeması Şekil 2.1’de verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere birçok kombinasyon oluşturmak mümkündür (Filibeli, 1998). Arıtma çamurlarının en yaygın bertaraf şekli yakma, düzenli depolama veya araziye uygulamadır. Avrupa’da oluşan arıtma çamurlarının %40’ı düzenli depolanarak, %37’si tarımsal amaçlı kullanılarak, %11’i yakılarak, %12’si ise farklı şekillerde bertaraf edilmektedir (Özcan ve ark., 2011)



Şekil 2.1. Çamur işleme ve bertarafı akım şeması



Şekil 2.1. Çamur işleme ve bertarafı akım şeması - devamı

### 2.2.2.1. Birincil işlemler

Çamur öğütme, kum ayırma, karıştırma ve depolama kademeleri, çamur işleme ünitesine homojen ve sabit özellikli bir çamur verebilmek için gereklidir. Karıştırma ve depolama, uygun tasarlanmış bir birimde veya ayrı birimlerde gerçekleştirilir.

### 2.2.2.2. Yoğunlaştırma

Sistemde oluşan çamuru daha konsantre hale getirmek, dolayısıyla daha küçük hacimdeki çamurla uğraşmak ve daha ekonomik çürütücü tankı elde etmek için çamur yoğunlaştırma sistemleri kullanılır. Yoğunlaştırma sonucunda katı madde konsantrasyonu 25 kat artabilir. Yoğunlaştırma işlemi çöktürme ve yüzdürme gibi metotlarla yapılabilmektedir. Yoğunlaşan çamurun hacmi bu sayede azalır ve susuzlaştırma maliyeti azaltılabilir. Çamur yoğunlaştırma prosesinin projelendirmesinde çamurun tipi, yoğunlaştırılacak çamurun konsantrasyonu, stabilitesi, kimyasal arıtma ihtiyacı, konsantre çamurun pompalanması, ilk yatırım ve işletme maliyeti, kesikli veya sürekli bir sistem olup olmadığı dikkate alınmalıdır. Yoğunlaştırma da özellikle ağırlıklı çökeltme iyi sonuçlar vermektedir. Çökeltimin hızlandırılması için kimyasal koagülantlar ilave edilebilir (Hararcı, 2005). Tipik çamur yoğunlaştırma yöntemleri Çizelge 2.4.'de verilmiştir.

**Çizelge 2.4.** Çamur proseslerindeki başlıca yoğunlaştırma teknikleri (Metcalf ve Eddy, 1991)

Metot	Çamur tipi	Kullanma sıklığı ve verim
Graviteli	Ham birincil çamur	Çok iyi sonuç alınır. Hidrosiklon kum tutucu ile kullanılır.
Graviteli	Ham birincil ve atık aktif çamur	Sık kullanılır. Küçük sistemlerde çamur konsantrasyonu %4-6 aralığında elde edilir. Büyük sistemde sonuçlar sınırlıdır.
Graviteli	Atık aktif çamur	Nadiren kullanılır. Düşük katı konsantrasyonları elde edilir (%2-3).
Çözülmüş hava ile yüzdürme	Ham birincil ve atık aktif çamur	Kısıtlı kullanılır. Sonuçlar graviteli yoğunlaştırıcıya benzer.
Çözülmüş hava ile yüzdürme	Atık aktif çamur	Yaygın kullanılır. İyi sonuç verir (%3.5-5 katı madde konsantrasyonu).
Sepet santrifüj	Atık aktif çamur	Kısıtlı kullanılır. İyi sonuç verir (%8-10 katı madde konsantrasyonu).
Helezon küreyicili santrifüj	Atık aktif çamur	Kullanımı artmakta. İyi sonuç verir (%4-6 katı madde konsantrasyonu).
Graviteli bant filtre	Atık aktif çamur	Kullanımı artmakta. İyi sonuç verir (%3-6 katı madde konsantrasyonu).
Döner elekli yoğunlaştırıcı	Atık aktif çamur	Kısıtlı kullanım. İyi sonuç verir (%5-9 katı madde konsantrasyonu).

### 2.2.2.3. Stabilizasyon

Atık suların arıtım işleminden sonraki çözünmeyen kalıntı kısmı olan ham çamurların alıcı ortamlara verilebilmeleri için stabilize edilmeleri gerekmektedir (Bilgin ve ark., 2002).

Çamurun stabilizasyonu özellikle hacim azaltılması ve yan ürün olarak gaz üretiminde etkilidir. Özellikle istenmeyen koşulların önlenmesi için çamurun kokuşmasının engellenmesi gerekmektedir. Bu da parçalanabilen organik maddelerin biyolojik, fiziksel ve kimyasal gibi yöntemlerle giderilmesi ile sağlanır. Stabilizasyon metodunun seçimi çamur susuzlaştırma ve arıtma ve nihai bertaraf metotlarının üzerindeki metotların kombinasyonuna bağlıdır. Aerobik ve anaerobik çürütme gibi stabilizasyon metotları ayrıca çamur kütlesini azaltmakta ve susuzlaştırma proseslerini önemli ölçüde değiştirebilir dolayısıyla bu değişiklikler stabilizasyon prosesinin seçimi ve dizaynında dikkate alınmalıdır (Hararcı, 2005).

Çamur stabilizasyonu başlıca aşağıdaki faydaları temin etmek üzere gerçekleştirilir:

- ✓ Patojenlerin azaltılması,
- ✓ İstenmeyen kokunun giderilmesi,

- ✓ Kokuşmanın önlenmesi.

Mikroorganizmaların çamurda aktif kalması durumunda patojenlerin canlı kalması, koku açığa çıkması ve bozunma meydana gelir. Bu yüzden çamurun uçucu bileşeninin stabilizasyonu gerekir. Stabilizasyon prosesi;

- ✓ Uçucu bileşiklerin biyolojik parçalanması,
- ✓ Uçucu bileşiklerin kimyasal oksidasyonu,
- ✓ Mikroorganizmaları inhibe etmek üzere çamura kimyasal ilavesi,
- ✓ Çamurun sterilizasyonu veya dezenfeksiyonu için ısı uygulaması,

işlemlerinin en az birini veya birkaçını ihtiva eder. Çamur stabilizasyonunda kullanılan başlıca teknolojiler;

- ✓ Kireç stabilizasyonu,
- ✓ Isıl arıtma,
- ✓ Havasız çürütme,
- ✓ Havalı çürütme ve
- ✓ Kompostlama olarak sıralanabilir.

#### **2.2.2.4. Şartlandırma**

Şartlandırma, çamurun suyunun alınmasını kolaylaştırmak için geliştirilmiş bir prosestir. Kimyasal şartlandırma ve ısı arıtımı en yaygın yöntemlerdir. Elütrasyon da kimyasal şartlandırıcı ihtiyacının azaltılması için kullanılan bir yıkama prosesidir. Kimyasal şartlandırmada kullanılan kimyasal maddelerin uygun dozajı laboratuvar testleriyle belirlenmelidir (Hararcı, 2005).

##### **2.2.2.4.1. Kimyasal şartlandırma**

Çamuru daha iyi susuzlaştırmak amacıyla şartlandırıcı kimyasalların kullanımı, verimi yüksek ve esnekliği dolayısıyla ekonomiktir. Kimyasal şartlandırma atığın özelliğine bağlı olarak, giren çamurda %90-99 su azalması sağlayarak nem muhtevasını %65-85'e düşürür. Bu yöntemin esası, katının koagülasyonu ve absorbe olan suyun açığa çıkarılmasıdır. Şartlandırma, vakum filtre, santrifüj, bant filtre ve pres filtre gibi ileri mekanik susuzlaştırma sistemleri öncesinde kullanılır. Kullanılan başlıca kimyasallar; demir klorür, kireç, alum ve organik polimerlerdir (Aydın, 2004).

Çamur şartlandırmasını etkileyen faktörler, çamur şartlandırıcı malzemelerin tipi ve dozu, çamur özelliğine, karıştırma tipine, susuzlaştırma şekline bağlı olarak değişir. Önemli çamur özellikleri, çamur kaynağı, katı konsantrasyonu, çamur yaşı, pH ve alkalitedir (Aydın, 2004).

#### 2.2.2.4.2. Isıl arıtım

Isıl arıtım sürekli bir proses olup, 260 °C'ye kadar 2760 kN/m<sup>2</sup> basınçta yaklaşık 30 dk gibi kısa sürede çamurun ısıtılması esasına dayanır. Isıl arıtma hem stabilizasyon hem de şartlandırma prosesi olarak işlev görür. Çoğunlukla ısıl şartlandırma prosesi olarak sınıflandırılır. Isıl arıtma, kimyasal kullanmaksızın çamurun susuzlaştırılmasını sağlar. Çamur yüksek sıcaklık ve basınç altında kaldığında ısıl aktivite ile bağlı su çamurdan ayrılır ve çamur koagüle olur. Buna ilave olarak, proteinli maddelerin hidrolizi gerçekleşir, hücre parçalanır, çözülmüş organik bileşikler ve amonyak açığa çıkar (Aydın, 2004).

#### 2.2.2.5. Dezenfeksiyon

Çamurun araziye yayılması ve tekrar kullanımı için yönetmelik kısıtlarından dolayı çamur dezenfeksiyonu giderek önem kazanmaya başlamıştır. Çamurun araziye verildiği alanlarda halk sağlığı açısından insanların hastalık yapan organizmalarla teması kontrol altına alınmalıdır. Sıvı ve susuzlaştırılmış çamurda hastalık yapan organizmaların yok edilmesi için aşağıdaki yöntemler uygulanabilir:

- ✓ Pastörizasyon,
- ✓ Isıl şartlandırma, ısıl kurutma, yakma ve piroliz gibi diğer ısıl prosesler,
- ✓ Yüksek pH arıtımı, (kireç ile pH 12'nin üzerine getirilir, 3 saat kalma zamanı),
- ✓ Çürütülmüş sıvı çamurun uzun süreli depolanması,
- ✓ Çamurun stabilizasyonu ve dezenfeksiyonu için klorür ilavesi,
- ✓ Diğer kimyasallarla dezenfeksiyon,
- ✓ Yüksek enerjili ışın uygulaması ile dezenfeksiyon,
- ✓ 55 °C'nin üzerinde tam kompostlama ve en az 30 gün olgunlaştırma,

Havalı ve havasız çürütme çamuru tam dezenfekte etmemekte ancak önemli sayıda patojen bakteri azalmasına sebep olmaktadır. Bu çamurların tam dezenfeksiyonu, pastörizasyon veya uzun süreli depolama ile sağlanabilir.



### 2.2.2.6. Susuzlaştırma

Çamurun nihai uzaklaştırılmasını kolaylaştırmak bakımından katı madde muhtevasının artırılması veya su muhtevasının azaltılması yani suyunun alınması gerekmektedir. Çamurun suyunun alınması ile aşağıdaki faydalar sağlanır.

- ✓ Çamurun su muhtevası azaldığında hacmi de azalacağından nihai uzaklaştırma sahasına nakil masrafı azalır.
- ✓ Kürek, kepçe nakil bandı, traktör gibi vasıtalarla taşınabildiğinden sıvı haldeki çamura göre daha kolay nakledilebilir.
- ✓ Yakma durumu söz konusu olduğu zaman, su muhtevası azaldığından yakılması daha da kolaylaşır.
- ✓ Çamurun tamamen kokusuz olmasını ve ayrışmamasını temin eder.
- ✓ Çamurun nihai olarak araziye serilme durumunda, yeraltına sızma sonucu yer altı suyunun kirlenmesi önlenebilir.

Çamur suyunun alınması, vakum, pres, yatay band filtre, burgulu pres, santrifüj gibi usullerle veya kurutma yatakları ve çamur lagünleriyle sağlanabilir. Vakum, pres ve yatay band filtre gibi sistemler, makine ve teçhizat gerektiren, yetişmiş elemana ihtiyaç gösteren, aynı zamanda yatırım ve işletme maliyetleri çok yüksek olan sistemlerdir.

#### 2.2.2.6.1. Kurutma yatakları

Çamur susuzlaştırma için en basit yöntemlerden biri açık hava kurutma yataklarıdır. Bu teknik genellikle küçük artıma tesislerinde, yeterli ucuz arazinin bulunduğu ve yerel iklim şartlarının kurutma yataklarının yıl boyunca işletilmesine uygun olduğu durumlarda kullanılmaktadır.

Kurutma yatakları, çamurun üzerine yayıldığı 0.3 m kalınlığında kum ve çakıldan oluşan bir bölgeye sahiptir. Kurutma yataklarından süzülen su, arıtma tesisinin girişine gönderilir. Çamur ise, atmosferik olarak kurutulur. Bu yöntemle, kurutma işleminin süresine bağlı olarak çamurda %40-50 oranında kuru madde içeriğine ulaşılmaktadır. Çamur kurutma yatakları, düşük işletme maliyeti ve minimum bakım gereksinimleri gibi avantajları sunmasına rağmen, daha fazla alan ihtiyacı, iklim şartlarına bağlılığı ve koku oluşumu gibi dezavantajlara sahiptir. Bununla birlikte, yoğun olarak kullanılmaktadır (Aydın, 2004).

### **2.2.2.6.2. Santrifüj ile susuzlaştırma**

Santrifüj prosesi, santrifüj içerisindeki yoğunlaştırılmış çamurdan suyun ayrılması için merkezkaç kuvvetlerini kullanan mekanik bir yöntemdir. Santrifüjler, yüksek bir susuzlaştırma kapasitesi, işletme kolaylığı ve kompakt olma özelliği ile hem yoğunlaştırma, çamur susuzlaştırma hem de susuzlaştırma uygulamalarında çokça kullanılmaktadır. Bu proses ile çamurun kuru madde içeriği %15-25 oranına kadar arttırılabilir. Buna ek olarak, yüksek verimli santrifüjlerin kullanımı ile %5 artış daha elde edilebilir. Susuzlaştırma veriminin arttırılması için polimer ilavesi gerekir (Aydın, 2004).

### **2.2.2.6.3. Bant fitreler**

Bant filtre prosesinde ise bir polimer ile karıştırılmış arıtma çamurları yerçekimli bant filtre ile susuzlaştırılmaktadır. Burada çamurlar iki kayış arasında preslenir. Çamura uygulanan basınç seviyesine bağlı olarak 4, 5 ve 7 bar da çalışan farklı cihazlar geliştirilmiştir. Burada çamurun tipine ve uygulanan basınca bağlı olarak kuru madde miktarını %10-20 seviyesine kadar arttırmak mümkündür (Aydın, 2004).

### **2.2.2.6.4. Filtre pres**

Genellikle %30–45 gibi yüksek susuzlaştırma seviyesine ulaşmak için bu yöntem kullanılır. Bununla birlikte yatırım maliyetleri, özellikle yüksek kapasiteli tesislerde oldukça yüksektir. Uygulamada kullanılan plaka ve çerçeve filtre presler çamur susuzlaştırma için en yaygın olanlardır. Klasik filtre pres, arasına basınçla çamurun enjekte edildiği düşey plaka sütunlarından oluşmaktadır. Ayrılan su plakalar açılmadan önce uzaklaştırılır, çamur kekleri toplanır. Bazı uygulamalarda, susuzlaştırma derecesinin arttırılması amacıyla filtre pres su ile doldurulmadan önce plakalar arasına membran yerleştirilir (Aydın, 2004).

### 2.2.2.7. Kurutma

Çamurun kurutulması, çamur içerisindeki suyun katı kısımdan ayrılarak buharlaştırılması ile gerçekleştirilebilmektedir. Çamur içerisindeki su, katı taneciklere bağlı olmayan su ve katı taneciklere bağlı su olarak ele alınmalıdır (Aksu, 2008).

Farklı su muhtevalarına sahip çamurların nihai bertarafı için doğal (solar) ve mekanik (termal) susuzlaştırma yöntemleri bulunmaktadır. Mekanik susuzlaştırma yönteminin ilk yatırım, işletme ve enerji maliyetleri yüksektir. Doğal susuzlaştırmanın işletimi, mekanik susuzlaştırma yöntemlerine göre daha kolaydır ve daha az enerji gerektirir (Aksu, 2008). Güneş, doğal susuzlaştırma ve kurutma yönteminin ana enerji kaynağıdır. Son yıllarda güneş enerjisiyle kapalı kurutma yataklarında çamur kurutma konusunda ilerlemeler görülmektedir (Salihoğlu, 2007).

Çamurların kurutulması, çamur hacminin azaltılmasını ve kuru madde oranının %90 olması halinde dezenfeksiyon ve stabilizasyonu sağlamaktadır. Ayrıca termal oksidasyon öncesinde, çamurun kalorifik değeri artırılır, taşıma maliyetleri azalır. Kurutma termal bir prosesdir. Isı, çamur üzerine doğrudan veya dolaylı verilebilir. Kurutucuların en önemli tipleri, döner tamburlu kurutucular ve akışkan yatak kurutuculardır. Kurutma, farklı sıcaklıklarda uygulanabilirse de 300 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda, dioksin ve furan bileşiklerinin oluşumu kontrol edilmelidir. Kuru madde miktarı %35-90'a kadar yükseltilebilir. Kısmi ısıtma ile de kuru madde miktarının %30-45'e çıkartarak çamurun yanabilmesi mümkün olmaktadır. Kurutma ile nem seviyesi azaltılarak bakteriyolojik faaliyet tamamen engellenir. Enerji ihtiyacı giderilen su hacmi karşılaştırıldığında susuzlaştırmadan daha fazladır (Aydın, 2004).

### 2.2.2.8. Yakma

Bu uygulamada arıtma çamurları tek başlarına ya da diğer atıklarla birlikte yakılmalıdır. Arıtma çamurlarının doğrudan zirai amaçlı olarak kullanılması ya da düzenli depolama sahasına gönderilerek bertaraf edilmesi giderek artan yasal kontrollere tabi olmaktadır. Bu nedenle yakma sistemlerindeki yatırım maliyetlerinin yüksek olmasına, yakma kriterlerinin sıklığına, emisyon gazlarının işlenmesi ile ilgili maliyetlerin artmasına ve uçucu küllerle yanma ürünü olarak ortaya çıkan küllerin bertarafı işlemlerinin zorlaşmasına rağmen, arıtma çamurlarının yakılarak bertaraf yönteminin giderek daha fazla kullanılacağı beklenmektedir. Evsel katı atıkların ve atık

çamurların belirli oranlarda karıştırılması ile yakma tesislerinin işletilmesi optimize edilebilir. Yakma sonucunda hacimsel azalma meydana gelmektedir. Küllerin tekrar kullanım imkanları ile düzenli depolamaya gönderilecek yanmış madde miktarlarının da az olması önemli hususlar arasındadır (Hararcı, 2005).

### **2.2.2.9. Nihai bertaraf**

Aritma çamurları, uygun işlem ve prosesler ile işlendikten ve geri kazanıldıktan sonra nihai olarak uzaklaştırılmaları gerekmektedir. Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan çamurların uzaklaştırılması için yaygın olarak kullanılan seçeneklerden birisi, bu çamurların evsel çöpler ile birlikte veya tek başlarına düzenli depolama alanlarında depolanmasıdır. Fakat muhtemel patojen içerikleri, koku ve benzeri problemlerden dolayı, her tip atıksu çamurunun düzenli depolama alanlarında depolanabilmesi uygun değildir. Özellikle düzenli depolama tesisi işletmeciliği bakımından, arıtma çamurlarının yüksek nem içeriklerinden dolayı, depolanmaları sırasında şev stabilitesi kaybolmakta ve sızıntı suyu üretimi artmaktadır. Bu sebeple düzenli depolama alanlarında bertaraf edilecek arıtma çamurları için öngörülen en önemli parametre çamurun nem içeriğidir. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre arıtma çamurlarının nem oranlarının düzenli depolama alanlarında depolanabilmeleri için %65'in altında olması gerekmektedir. Bunun için düzenli depolama alanlarında depolanmalarından önce bu çamurların kurutma işlemi uygulanarak ya da katkı maddesi (toprak, kil, kireç, vb.) ilave edilerek nem oranları azaltılmalıdır (AATTUT, 2010).

Aritma çamurlarının düzenli depolama alanlarında bertarafının zorlukları ve düzenli depolama alanlarının gün geçtikçe kapasitelerinin dolması sebebiyle, alternatif nihai uzaklaştırma yöntemleri uygulanmaya başlanmıştır. Bu yöntemler çamurların işlem gördükten sonra araziye serilmesi (arazi uygulaması), kompostlaştırma ve yakmadır. Bunlar arasında son yıllarda en fazla uygulanan yöntem çamurların araziye serilmesidir (AATTUT, 2010).

### **2.2.3. Arıtma çamurlarının tarımda kullanılması**

Aritma çamurunun araziye uygulanması düzenli depolama ve yakma gibi yöntemler ile mukayese edildiğinde uygun arıtım ve düşük maliyet sebebiyle tercih edilmektedir. Atıksu arıtımı sonucunda oluşan arıtma çamuru kompleks organik bir

biyoatık olup, yaygın olarak tarımsal alanda ve toprak iyileştirici olarak kullanılmaktadır. Günümüzde oluşan çamurların %50'si toprak gübresi olarak kullanılmakta, %25'i deponi sahalarında geri kalan kısmı ise yakılarak bertaraf edilmektedir (Özcan ve ark., 2011) .

Aritma çamuru ürünler için faydalı azot ve fosfor gibi elementlerin yanı sıra topraktaki canlı organizmalara zarar verebilecek ağır metaller ve organik kirleticilerde içermektedir. Aritma çamurunun başlıca pozitif etkisi toprağın organik madde ile zenginleştirilmesi sonucunda ürün veriminde artış olurken, ağır metaller, PAH ve diğer kirleticiler sebebiyle oluşacak negatif etkisi kontrol edilmelidir. Tarımsal alanlarda arıtma çamurunun kontrolsüz kullanımı sonucunda insan sağlığı açısından bir tehdit oluşturan ağır metallerin besin zincirine transfer olması sosyal ve yasal endişelere sebep olmaktadır. Ağır metallerin absorpsiyonu, akümülyasyonu ve ağır metallerle olan tolerans ürün türüne ve arıtma çamurunun uygulanma miktarına bağlı olarak değişmektedir. Ürünlü bitkiler ağır metal stresini tolere edebilir tepkiler geliştirmektedirler. Ağır metallerin yüksek miktarlarına maruz kalmak bitki canlılığı, büyümesi, gelişimi ve verimi gibi bitkide fizyolojik kısıtlamalara sebep olabilir (Özcan ve ark., 2011).

Aritma çamuru ile iyileştirme sonucu toprakta akümüle olan ağır metaller palak bitkisinin ürün azalması gibi fizyolojik ve metabolik proseslerini etkilediği gözlenmiştir (Singh ve Agrawal, 2007). Kompostlanmış arıtma çamurunun ve termal olarak kurutulmuş arıtma çamurunun bitkiler üzerinde ekotoksik etkisi tespit edilmiştir. Termal olarak kurutulmuş çamurun kompostlanmış atıktan daha toksik etkiler sergilediği gözlenmiştir (Moritsuka ve ark., 2006; Domene ve ark., 2007).

Karaca ve Haktanır (2000) yaptıkları çalışmada iki farklı arıtma çamurunu artan dozlarda toprağa uygulamışlar ve toprak örneğinde alınabilir kurşun miktarını araştırmışlardır. Sonuç olarak her iki atık uygulaması ile de toprağın alınabilir kurşun içeriğinin arttığı belirlenmiştir.

Hinesley ve ark. (1972) yaptıkları çalışmada toprağa artan dozlarda çamur uygulamışlardır. Topraktan ekstrakte edilebilir çinko ve kadmiyum miktarlarının arttığını ve bitki yapraklarında önemli ölçüde yüksek düzeyde çinko ve kadmiyum biriktiğini tespit etmişlerdir.

Bragato ve ark. (1998) yaptıkları çalışmada artan arıtma çamuru dozlarının toprağın DTPA ile ekstrakte edilebilir Zn, Cu, Ni ve Pb içeriklerinin arttığını belirtmişlerdir.

Mantovi ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada üç farklı bitkide artan dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının toprak ve bitkilere etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, uygulamaların toprağın organik madde, toplam azot ve yarıyıllı fosfor içeriklerini artırırken, toprak pH'ını düşürdüğünü ayrıca, buğday tanesinin N, P, Zn ve Cu; şeker pancarının N ve Cu; mısırın ise yalnızca Cu içeriğini artırdığını tespit etmişlerdir.

Aşık ve Katkat (2004), gıda sanayi arıtma tesisleri atık çamurlarının tarımsal alanlarda kullanım olanaklarıyla ilgili yaptıkları sera çalışmasında, 0-20-40-80-120-160 ton/ha düzeylerinde arıtma çamuru uygulanmış topraklarda yetiştirilen mısır bitkisinde, mineral element içeriklerinin arttığını, bitki gelişiminin olumlu yönde etkilendiğini, arıtma çamurunun, hasat öncesi ve sonrasında toprakların pH'sını düşürdüğünü ve toprak tuzluluğu üzerine olumsuz etki yaparak  $EI'$  i arttırdığını, ağır metal içeriklerinin TKKY sınır değerlerinin altında kaldığını tesbit etmişlerdir. Aynı zamanda arıtma çamuru uygulaması ile toprağın başta organik madde içeriği olmak üzere,  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ , alınabilir P, değişebilir K, Ca, Mg, Na ve alınabilir Fe, Cu, Zn, Mn ve B içeriklerinin de arttığını ifade etmişlerdir.

McClaslin and O'connor (1982), Logan and Chaney (1983) ve Utsching (1985), arıtma çamurlarının Fe, Cu, Zn, Mn, Mo gibi mikrobeyin maddeleri için mükemmel bir kaynak olabildiği, ancak bu elementlerin, potansiyel toksik elementler olarak da araştırılması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Menelik ve ark. (1991), tarla denemesinde buğday bitkisinin azot ihtiyacını, mineral gübre ve arıtma çamuru vererek karşılaştırmışlar, buğday verimi ve tanedeki N, P, Cu ve Zn konsantrasyonlarının arıtma çamuru uygulamalarında daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Alloway and Jackson (1991) tarafından bitkide yüksek konsantrasyonlara ulaştığında bitki gelişimine, insan ve hayvan sağlığına potansiyel tehlike oluşturabilecek elementlerin Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Hg, Mn, Mo, Ni, Se, Sb ve Zn olduğu belirlenmiş ve özellikle bunlardan Cd, Cu, Mo, Ni ve Zn'nun bitki, insan ve hayvanlara daha çok potansiyel toksik etkide bulunabilecekleri de ifade edilmiştir.

Smith (1996) tarafından yapılan araştırmalar sonucu, çamur uygulanmış topraklarda yetiştirilen çeşitli sebze ve meyvelerde ağır metallerin alındığı ve bu metallerden bazılarının mobilitesinin yani bitki tarafından alınımını etkileyen transfer katsayılarının bilinmesinin, bitkilerdeki potansiyel toksik element (PTE) miktarlarının ortaya konulmasında önemli olduğu ifade edilmiştir. Kentsel atıksuların arıtımı ile oluşan arıtma çamurları bünyelerinde bir miktar PTE bulundurlar fakat endüstriyel

atıksuların şehir kanalizasyon sistemine verilerek, ortak arıtımından elde edilen arıtma çamurları ise, yüksek miktarda PTE içerebilmektedirler.

Türkmen ve ark. (2001), sera şartlarında arıtma çamuru uygulanmış topraklarda yetiştirilen arpa bitkisinin bazı ağır metalleri alabilirliği konusunda yaptıkları çalışmalarında, arıtma çamuru uygulamalarının toprakta toplam ve alınabilir Cu, Zn, Ni, ve Pb miktarlarını arttırdığını, Mn'in alınabilir miktarlarını azalttığını, Fe in toplam ve alınabilir miktarları arasında bir fark olmadığını, yüksek çamur dozu uygulamalarında ise bitkideki Fe, Zn, Mn ve Ni'in toprakta izin verilen ağır metal sınır değerlerinin altında kaldığını belirlemişlerdir.

Güneri (2003), sera şartlarında arıtma çamuru uygulanmış topraklarda yetiştirilen kıvırcık bitkisinde Cd ve Zn'nun Biyolojik Alınabilirlik İndeksi (BAİ)'nin saptanmasına yönelik yaptığı çalışmada, arıtma çamurlarının artan uygulama miktarlarına bağlı olarak toprakta Cd ve Zn miktarının da arttığını belirlemiştir. Kıvırcık bitkisinin arıtma çamuru uygulaması ile kuru madde içeriğinin düzenli olmayan bir şekilde, bitki bünyesindeki Zn miktarının ise düzenli olarak arttığını, Cd'un en yüksek dozu olan 24 ton/ha uygulanmasıyla, bitki bünyesinde en yüksek konsantrasyona ulaşıldığını, çamurun düşük dozlarında BAİ'nin düştüğünü ve Zn' nun Cd'dan daha yüksek BAİ'ne sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Türkmen (2004), kireçli bir toprağa farklı düzeylerde uygulanan kentsel arıtma çamurunun, arpa bitkisinin gelişimi ve bazı ağır metallerin alımı üzerine etkisini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada, arıtma çamuru uygulamalarının toprakta toplam ve alınabilir Cu, Zn, Cd, Ni, ve Pb miktarlarını arttırdığını, tanede N, P, Cu, Zn, Cd, Ni, Pb'nun ve Cu, Zn, Cd, Ni, Pb'nun biyolojik alınabilirliklerinin de arttığını, azot ve arıtma çamurunun birlikte uygulanmasıyla ise topraktan ekstrakte edilebilir Cd ve Pb'nun arttığını, verim ve bitki sapındaki Pb miktarının da önemli düzeylerde artış gösterdiğini belirlemişlerdir.

Şimdiye kadar gerçekleştirilen pek çok çalışma sonucunda arıtma çamurlarının araziye uygulanması toprak ve bitkiye istenmeyen pek çok maddenin geçmesi için önemli bir kaynaktır. Arıtma çamurunun araziye uygulanması yer altı sularına kirleticilerin taşınma ihtimali ve bitkilerde birikimi sebebiyle insan sağlığı için dolaylı bir risktir. Diğer yandan yüksek miktarda organik madde ve nutrient içeriği ile arıtma çamuru verimsiz toprakların iyileştirilmesi ve ekilebilir hale getirilmesi için yararlı bir maddedir. Arıtma çamurun uygulanmadan önce kompostlanması genellikle kabul edilen

ve çamurun uygulanabilmesi için faydalı bir metot olup böylece çamur içeriğindeki pek çok kirleticinin zararlı etkisi azaltılmaktadır (Özcan ve ark., 2011).

Ülkemizde toprağa çamurun uygulanması için toprağın ve yetiştirilen ürünlerinde sahip olması gereken özellikler yönetmeliklerle belirlenmiştir. Çamurun tarımsal kullanımında sadece çamur özellikleri incelenmemeli, uygulanacağı toprak ve ürünlerin özellikleri de incelenmelidir.

#### **2.2.4. Arıtma çamurları ile ilgili mevzuat**

Ülkemizde arıtma çamurlarının tarımda kullanılabilme şartları, arıtma çamurlarının kullanma sınırlamaları ve yasakları 14.03.1991 tarih ve 20814 sayılı resmi gazetede yayınlanan Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, (1991), ile belirlenirken 2002 yılında bu yönetmelik kapsamında yürürlükten kaldırılmıştır. KAKY kapsamında bir yılda toprağa verilebilecek en fazla ağır metal yükü; Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg ve Zn için sırası ile 2000, 33, 2000, 2000, 330, 42 ve 5000 g/ha-yıl olarak belirtilmiştir. Aynı yönetmelikte arıtma çamurlarında bulunabilecek en fazla ağır metal miktarları, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg ve Zn için sırasıyla, 1200, 20, 1200, 1200, 200, 25 ve 3000 mg/kg çamur kuru madde olarak belirtilmiştir.

2001 yılında yürürlüğe giren Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinin üçüncü bölümünde ham çamur, stabilize arıtma çamuru ve kompostun toprakta kullanılması ile yasal düzenlemeler yer almıştır. 30 Mayıs 2005 tarih ve 25831 sayılı Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (2005)' ndeki toprakta kullanılacak arıtma çamurlarında müsaade edilebilecek maksimum ağır metal içerikleri: Cu 1750 mg/kg, Zn 4000 mg/kg, Cd 40 mg/kg, Cr 1200 mg/kg, Ni 400 mg/kg, Pb 1200 mg/kg, Hg 25 mg/kg olarak belirtilmiştir.

Arıtma çamurlarının toprakta kullanımı ile ilgili yasal mevzuat 2010 yılında yürürlüğe giren Eysel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (2010) ile düzenlenmiş, kullanılacak arıtma çamurunda müsaade edilecek ağır metal konsantrasyonları (Çizelge 2.5.) belirlenirken, ilk defa bazı organik kirleticiler için limit değerler (Çizelge 2.7.) verilmiştir. Çizelge 2.6.'da ise topraktaki ağır metal sınır değerleri yer almaktadır.



**Çizelge 2.5.** Toprakta kullanılabilir stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevaları (EKAÇTKDY, 2010)

Ağır Metal (Toplam)	Sınır Değerler (mg/kg kuru madde)
Kurşun	750
Kadmiyum	10
Krom	1000
Bakır	1000
Nikel	300
Çinko	2500
Civa	10

**Çizelge 2.6.** Topraktaki ağır metal sınır değerleri (EKAÇTKDY, 2010)

Ağır Metal (Toplam)	6≤pH<7 mg/kg Fırın Kuru Toprak	pH≥7 mg/kg Fırın Kuru Toprak
Kurşun	70	100
Kadmiyum	1	1,5
Krom	60	100
Bakır	50	100
Nikel	50	70
Çinko	150	200
Civa	0,5	1

**Çizelge 2.7.** Toprakta kullanılacak stabilize arıtma çamurundaki organik bileşiklerin konsantrasyonlarının ve dioksinlerin sınır değerleri (EKAÇTKDY, 2010)

Organik Bileşikler	Sınır değerler (mg/kg kuru madde)
AOX (Adsorblanabilen organik halojenler)	500
LAS (Lineer alkilbenzin sülfonat)	2600
DEHP (Diftalat(2-ethylhexyl))	100
NPE (Nonil fenol ile 1 ve 2 etoksi grubu olan nonil fenol etoksilatların toplamını içerir)	50
PAH (Polisiklik aromatik hidrokarbon veya poliaromatik hidrokarbonların toplamı )	6
PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180 sayılı poliklorlu bifenil bileşiklerinin toplamı)	0.8

Dioksinler	ng Toksik Eşdeğer/kg kuru madde
PCDD/F Poliklorlu dibenzodioksin/dibenzofuranlar	100

Çizelge 2.8’de ülkemizde Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelikte ve Avrupa Birliğinin arıtma çamurlarının arazide kullanımı için yayınladığı raporda toprakta kullanılacak stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevaları görülmektedir.

**Çizelge 2.8.** Toprakta kullanılacak stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal miktarlarının karşılaştırılması (mg/kg kuru madde)

Ağır Metal	Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (2010)	Avrupa Birliği’nin arıtma çamurlarının arazide kullanımı için yayınladığı rapor (2000)	
		Direktif 86/278/EEC	Önerilen
Kurşun	750	750 – 1200	750
Kadmiyum	10	20 – 40	10
Krom	1000	-	1000
Bakır	1000	1000 – 1750	1000
Nikel	300	300 – 400	300
Çinko	2500	2500 – 4000	2500
Civa	10	16 – 25	10

### 2.3. Ağır Metaller

Yoğunluğu 5 g/cm<sup>3</sup>’ten fazla olan metaller “ağır metal” olarak tanımlanır. Başka bir tanımla, canlı bünyesine yüksek konsantrasyonlarda girdiği zaman zararlı olan metallere, toksik metaller ya da ağır metaller denir. Pb, Cr, Cd, Co, Ni, Cu, Zn, Hg ve Fe dahil olmak üzere 60’tan fazla metal bu grupta yer almaktadır. Yapıları gereği bu elementler yerkürede genellikle oksit, karbonat, sülfür ve silikat halinde stabil bileşik veya silikatlar içinde bulunurlar (Özbek, 2010).

Ağır metaller doğal veya antropojenik kaynaklı olabilirler. Doğal kaynakları magmatik kayalar, tortul kayaçlar, metamorfik kayalar, toprak oluşumu ve antropojenik kaynakları ise tarımsal aktiviteler (gübreler, pestisitler, arıtma çamurları), endüstriyel aktiviteler (madencilik, kömür ve petrol tüketimi), katı atık depo sahaları olarak söylenebilir (Bradl, 2005).

Ağır metallerin başlıca kaynakları, mineral gübreler, bazı anataşlar, kanalizasyon atıkları, biyositler, atıksular, kentsel atıklar, motorlu araçların egzoz gazları ve madenciliktir (Özbek, 2010).

Ağır metaller, ekosistem ve canlılar üzerinde toksik etki yaparlar. Ağır metallerin biyolojik çevre üzerindeki toksik etkileri çok çeşitlidir ve onların kimyasal formları ile ilgilidir. Canlı organizmalar üzerinde yüksek etki gösteren bazı metaller, bakır, krom, kadmiyum, kurşun, kobalt, nikel ve vanadyumdur. Bazı ağır metaller (Fe, Cu, Zn gibi) canlı vücudu için zorunlu elementlerdir ancak normal konsantrasyonları aştıkları zaman potansiyel toksik madde haline gelirler (Theophilus Lagi, 2008).

Normal aktivitelerini sürdürebilmek için bütün canlılar ortamda bulunan ağır metallere ihtiyaç duymaktadır. Cu, Fe, Mn, Cd, molibden (Mo), silisyum (Si) ve bor (B) bitki metabolizması için gerekli olan ağır metallerdir. Cu, Co, Fe, Mn, Mo, Zn, Se ve I'da hayvanlar için gerekli olan ağır metallerdir (Özbek, 2010). Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Mo, Zn, uranyum (U), vanadyum (V), aynı zamanda toksik maddelerdir.

Canlıların ağır metaller ile teması başlıca üç yolla olabilir. Bunlardan birincisi atmosferde bulunan ağır metaller veya toprak ve suya atmosferik çökelim ile geçen ağır metallerdir, ikincisi içme suyu olarak veya sulama suyu olarak kullanılan sularda bulunan ağır metallerdir, üçüncüsü ise besin zincirinde biriken ağır metallerdir. Doğal veya antropojenik kaynaklı ağır metaller canlı vücuduna ağır metallerle kirlenmiş havanın solunması ile ve ağır metallerle kirlenmiş su ve besinlerin tüketilmesi ile girebilirler. Ağır metaller, uçucu (Hg gibi) veya partikül şeklinde atmosferde bulunabilir. Yıllık binlerce ton ağır metal atmosfere salınmaktadır, dünya nüfusu ve endüstriyel faaliyetlerin artmasıyla da bu miktar artmaktadır. Metallerle kirlenmiş havanın solunması insanlar için ciddi tehditler oluşturmaktadır (Bradl, 2005).

Çevre ortamında ağır metaller biyolojik ve jeolojik olarak transformasyonlara uğrayabilmektedir. Bu parçalanma ve taşınma sonucunda buldukları yerlerden çok uzak noktalarda birikerek ağır metal konsantrasyonlarının artmasına sebep olabilmektedir. Pb konsantrasyonunun geçmiş yıllara göre Grönland buzullarında çok fazla artması, bu metalin yeniden dağılım ve taşınma uğradığının bir göstergesidir (Sarı, 2009).

Toprak ekosistemine endüstriyel atıksularla ulaşan ağır metaller, toprakta birikmektedir. Biriken bu metallerin çözünürlüğü toprağın pH değerinden önemli ölçüde etkilenmektedir ve ağır metallerin topraktaki aktivitesi genellikle toprağın pH değeri ile ters orantılı olarak değişmektedir (Sarı, 2009).

Ağır metallerin çevreye yayılmasına sebep olan en önemli endüstriyel faaliyetler çimento üretimi, demir çelik sanayi, termik santraller, kağıt sanayi, gübre sanayi, cam üretimi, petrokimya, çöp ve atık çamur yakma tesisleridir. Çizelge 2.9'da temel



**Çizelge 2.10.** SKKY sektör türlerine göre bakılması gereken ağır metal türleri

Ana Sektör	Alt Sektör	Cd	ΣCd	Cr <sup>+6</sup>	ΣCr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	ΣHg
Maden Sanayi	Kadmiyum Metali, Demir ve Demir Dışı Metal Cevherleri ve Endüstrisi, Çinko Madenciliği, Kurşun ve Çinkonun Rafinize Edildiği Tesisler, Kalsiyum, Florür, Grafit ve Benzeri Cevherlerin Hazırlanması	+	-	-	+	+	-	+	+	+	-
Maden Sanayi	Seramik ve Toprakta Çanak-Çömlek Yapımı ve Benzerleri	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-
Maden Sanayi	Çimento, Taş Kırma, Karo, Plaka İmalatı, Mermer İşleme, Toprak Sanayi, ve Benzerleri	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Maden Sanayi	Kadmiyum Bileşiklerinin İmali	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cam Sanayi	Cam Sanayi Atık Sularının Alıcı Ortama Deşarj Standartları	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-
Kömür Hazırlama, İşleme ve Enerji Üretme Tesisleri	Kapalı Devre Çalışan Endüstriyel Soğutma Suları	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Tekstil Sanayi	Açık Elyaf, İplik Üretimi ve Terbiye	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Tekstil Sanayi	Dokunmuş Kumaş Terbiyesi ve Benzerleri	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Tekstil Sanayi	Pamuklu Tekstil ve Benzerleri	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Tekstil Sanayi	Yün Yıkama, Terbiye, Dokuma ve Benzerleri	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Tekstil Sanayi	Örgü Kumaş Terbiyesi ve Benzerleri	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Tekstil Sanayi	Halı Terbiyesi ve Benzerleri	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Tekstil Sanayi	Sentetik Tekstil Terbiyesi ve Benzerleri	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-

**Çizelge 2.10.** SKKY sektör türlerine göre bakılması gereken ağır metal türleri - devamı

Ana Sektör	Alt Sektör	Cd	∑Cd	Cr <sup>+6</sup>	∑Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	∑Hg
Petrol Sanayi	Petrol Rafinerileri ve Benzerleri	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Petrol Sanayi	Hidrokarbon Üretim Tesisleri	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-
Deri Sanayi	Deri, Deri Mamulleri ve Benzeri Sanayilerin Atık Sularının Alıcı Ortama Deşarj Standartları	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
Kimya Sanayi	Klor-Alkali Üretimi	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Kimya Sanayi	Boya, Boya Hammadde ve Yardımcı Madde Üretimi ve Benzerleri	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-
Kimya Sanayi	Gübre Üretimi ve Benzerleri - Azot ve Diğer Nutrientleri İçeren Kompoze Gübre Üretimi	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Kimya Sanayi	Gübre Üretimi ve Benzerleri - Fosforik Asit ve/veya Fosfatlı Kayadan Fosfatlı Gübre Üretimi	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Kimya Sanayi	Petrokimya ve Hidrokarbon Üretim Tesisleri	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-
Metal Sanayi	(Demir-Çelik Üretimi) Genelde Demir-Çelik Üretimi	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
Metal Sanayi	(Demir-Çelik Üretimi) Demir-Çelik İşleme Tesisleri	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Metal Sanayi	Genelde Metal Hazırlama ve İşleme	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+
Metal Sanayi	Galvanizleme	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-
Metal Sanayi	Dağlama İşlemi	-	-	+	+	+	+	-	+	-	-
Metal Sanayi	Elektrolitik Kaplama, Elektroliz Usulüyle Kaplama	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-
Metal Sanayi	Metal Renklendirme	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-

Çizelge 2.10. SKKY sektör türlerine göre bakılması gereken ağır metal türleri - devamı

Ana Sektör	Alt Sektör	Cd	∑Cd	Cr <sup>+6</sup>	∑Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	∑Hg
Metal Sanayi	Sıcak Galvanizleme Çinko Kaplama Tesisleri	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Metal Sanayi	İletken Plaka İmalatı	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-
Metal Sanayi	Akü İmalatı , Stabilizatör İmali, Birincil ve İkincil Akümülatör, Batarya ve Pil İmalatı ve Benzeri	+	-	-	-	+	+	+	+	+	-
Metal Sanayi	Sırlama, Emayeleme, Mineleme Tesisleri	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-
Metal Sanayi	Metal Taşlama ve Zımparalama Tesisleri	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-
Metal Sanayi	Metal Cilalama ve Vernikleme Tesisleri	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-
Metal Sanayi	Laklama/Boyama	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-
Metal Sanayi	Alüminyum Hariç Olmak Üzere Demir Dışı Metal Üretimi	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-
Metal Sanayi	Demir ve Demir Dışı Dökümhane ve Metal Şekillendirme	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-
Seri Makine İmalatı	Seri Makina İmalatı, Elektrik Makinaları ve Teçhizatı, Yedek Parça Sanayi Atık Sularının Alıcı Ortama Deşarj Standartları	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
Taşıt Fabrikaları ve Tamirhaneleri Atıksularının Alıcı Ortama Deşarj Standartları	Motorlu ve Motorsuz Taşıt Tamirhaneleri (Oto, Traktör Tamirhaneleri ve Benzerleri)	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Taşıt Fabrikaları ve Tamirhaneleri Atıksularının Alıcı Ortama Deşarj Standartları	Taşıt Fabrikaları (Otomobil, Kamyon, Traktör, Minibüs, Bisiklet, Motosiklet ve Benzeri Taşıt Aracı Üreten Fabrikalar)	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-

### 2.3.1. Kadmiyum

Cd yumuşak, şekillendirilebilen, gümüş beyazı renginde, parlak bir metaldir. Atom ağırlığı 112.4 g/mol, yoğunluğu 8.64 g/cm<sup>3</sup>, erime noktası 321<sup>0</sup>C'dir. <sup>106</sup>Cd, <sup>108</sup>Cd, <sup>110</sup>Cd, <sup>111</sup>Cd, <sup>112</sup>Cd, <sup>113</sup>Cd, <sup>114</sup>Cd, <sup>116</sup>Cd kararlı izotopları vardır ve sırasıyla bolluk yüzdeleri %1.22, %0.88, %12.39, %12.75, %24.07, %12.26 ve %7.58'dir. Cd periyodik tabloda 2B gurubunda bulunan bir geçiş metalidir. Cd hemen hemen her zaman iki değerliklidir, amonyak ve siyanür ile kompleks iyonlar ve hidroksitler oluşturur. Kadmiyum, çinko endüstrisinin bir yan ürünüdür, yoğun çinkonun eritilmesi ve işlenmesi sırasında geri kazanılır. Cd'un özellikle alaşımları, elektro kaplamalarda, pigmentlerde, polivinil plastikler için olan stabilizatörlerde, pillerde, demir ve çeliğin korozyona karşı korunmasında kullanılır. Cd'un kullanımı dünya çapında çevresel nedenlerden dolayı sınırlandırılmıştır. Buna karşın Cd birçok üründe yararlı olabilir ve ayrıca mantar öldürücü olarak kullanılmaktadır. Cd'un antropojenik kaynakları fosfatlı gübrelerin kullanımı, arıtma çamurlarının kullanımı, madencilik ve maden işleme aktiviteleri ve atmosferik çökeldir. Cd ayrıca dökümhanelerden atmosferik birikim ile, Cd içeren plastik ve pigmentlerin yakılmasıyla, fosil yakıtların yanmasıyla, çelik fabrikalarının ve metalurjik süreçlerin emisyonları ile çevreye yayılmaktadır. Arıtma çamurları N ve P kaynağı olduğu için toprak iyileştirici olarak yaygın kullanılır. Gün geçtikçe artan bu uygulama besin zincirinin Cd ile kirlenme olasılığını arttırabilir (Bradl, 2005).

Doğada oksidasyon II seviyesinde bulunmaktadır. Cd 0.15-0.20 mg/kg ortalama konsantrasyon ile yerkaabuğu içinde bulunuş sırası 64'dür. Cd'nin Zn ile sıkı bir ilişkisi vardır. Cd'nin antropojenik ana kaynakları, fosfatlı gübre kullanımı, evsel arıtma çamurunun toprağa uygulanması, atmosferik birikim, madencilik ve ergitme faaliyetleridir. Cd içeren cevherler fosfat gübrelerinin üretimi için kullanıldığında bu ürünler 340 mg/kg'a kadar Cd içerebilirler. Bununla birlikte uzun vadeli çalışmalar bu gübrelerin kullanıldığı topraklarda yetişen bitkiler tarafından Cd alımında anlamlı bir artış olduğunu göstermiştir (Sarkar, 2002a)

Yer kabuğunda ortalama 0.1 mg/kg, topraklarda ise 0.53 mg/kg Cd bulunmaktadır. Toprakta 3 mg/kg'dan fazla Cd toksik etkilere yol açmaktadır. Özellikle son 20-30 yıllık süreçte dünya toprakların Cd içeriğinin arttığı bildirilmektedir (Öktüren ve ark., 2007).



Cd'nin atıksulardan giderim yöntemleri genellikle çöktürme ve iyon değiştirilmedir. Atıksuyun konsantrasyonu olduğu durumlarda ise buharlaştırma kazanı ve elektrolitik prosesler başarıyla uygulanmaktadır. Yüksek pH'da çöktürücü olarak alüminyum tuzları ve demir kullanılıyorsa çökeltme olmaktadır. Cd karbonat çöktürmesi çamurun kontrolünde hidroksitten önemlidir. Adsorpsiyonla birlikte +2 değerlikli demir tuzları ile giderimde verim artmaktadır (Yıldız, 2004).

Cd'nin canlılar üzerindeki toksik etkisi solunum sistemi ve böbreklere yöneliktir. Akut Cd zehirlenmesi çoğunlukla Cd buharının solunmasıyla, üst solunum yollarında görülür. Uzun süreli maruz kalmalarda kronik bronşit ve amfizeme sebep olur. Toksik dozlarda alınan Cd bileşikleriyle meydana gelen akut zehirlenmelerde mide bulantısı kusma ve şiddetli karın ağrısı görülür. Kronik Cd zehirlenmelerinde böbrek, akciğer ve dolaşım sistemi etkilenir. Bu zehirlenmelerde böbrek, akciğer ve dolaşım sistemi yetersizlikleri ile karaciğer hasarları, kemik erimesi, kansızlık ortaya çıkar (Özçelik, 1998).

İnsanda Cd, kalsiyumun (Ca) ve D vitaminin metabolizmasını engeller ve osteomalachia gibi (veya osteoporoz) kemik dejenerasyonuna neden olur. İdrar yoluyla Ca kaybını artırır. Cd'nin uzun süreli solunması veya ağız yoluyla alınması, böbrek ve akciğerleri etkiler, proteinüreye sebep olur, glomerül filtrasyon hızını azaltır ve amfizeme neden olur. Sigara tütünü yaklaşık olarak 1 ppm Cd içermektedir. Bir paket sigara içilmesi ile yaklaşık olarak 3 µg Cd alınır. Genel olarak gıda ürünlerinde Cd transferi önemli bir sorundur, bu ürünlerin tüketimi genel nüfus için Cd'ye maruz kalmanın en önemli yoludur (Sarkar, 2002a).

Cd'nin, daha düşük konsantrasyonlarının bitkiler, omurgasızlar ve omurgalıları için Zn, Pb veya Cu'dan çok daha yüksek oranda toksik olduğu bilinmektedir. Fitotoksosite, ağırlıklı olarak bitki türlerine ve ortamdaki Cd konsantrasyonuna bağlıdır. Bitkilerde Cd toksisitesi tipik belirtileri, solma, kırmızı-turuncu yaprak rengi, büyümede azalma pirinç ve turp gibi farklı türler için tanımlanmıştır. Cd, bitkinin metabolik süreçlerine müdahale eder, kök büyümesini engeller, iç ve dış kök yapılarında hasara, kökte hidrolik su iletkenliğinin azalmasına, besin absorpsiyonu ve besin dengesizliğine, klorofil içeriğinin azalmasına, stomaların açılması ve iletkenliğin azalmasına neden olur, fotosentez ile ilgili enzimatik faaliyetlere müdahale eder. Ağaç türlerinin de topraktaki Cd'ye duyarlı olduğu bildirilmiştir, ancak duyarlılık tarımsal ve bahçe bitkilerini etkileyen miktarlardan çok daha yüksek konsantrasyonlardadır.

### 2.3.2. Krom

Cr'un atom numarası 24'tür ve periyodik tabloda 6B gurubunda bulunur. Atom ağırlığı 52 g/mol, yoğunluğu 7.2 g/cm<sup>3</sup>, erime noktası 1857 °C'dir. <sup>50</sup>Cr, <sup>52</sup>Cr, <sup>53</sup>Cr, <sup>54</sup>Cr olmak üzere dört tane kararlı izotopları bulunur, bunların bulunma yüzdeleri sırasıyla %4.31, %83.76, %9.55, % 2.38'dir. Gümüş renkli, parlak, biçimlendirilebilir bir metaldir. Oksitleyici olmayan mineral asitlerin içerisinde kolayca çözünür, ama soğuk sulu bölgelerde ve HNO<sub>3</sub> içerisinde çözünmez. Korozyona dirençli alaşımların içinde kullanılır. Toprak ve sedimentlerde üç değerlikli formları (Cr<sup>+3</sup> kation ve CrO<sup>-2</sup>) ve altı değerlikli formları (Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>-2</sup> ve CrO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) görülebilir. Üç değerlikli formları, oksijen ve nitrojen içeren ligantlar ile kolayca koordine olabilirler. Altı değerlikli formu, üç değerlikli formlarına kıyasla nispeten daha toksiktir. Cr'un en önemli cevheri kromit (FeCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) olup, dünya çapında 9 milyon tondan fazla üretilir. Cr inert kimyasal yapısı ve yüksek kaynama noktası nedeniyle yaygın olarak paslanmaz çelik üretiminde, soğutucularda ve betonlarda kullanılır. Kağıt endüstrisinde, kimya endüstrisinde, gübrelerde, metal işlemlerde, deri tabaklama ve terbiyede, elektrik santrallerinde yaygın olarak kullanılır. Cr yeryüzü katmanı içerisinde bolca bulunur. Cr'un antropojenik kaynakları, elektrik fırınlarından çökeltme, çelik üretimi, kömürlü güç tesisleridir. Elektro kaplama, deri tabaklama, metal prosesleri, tekstil, boya gibi çeşitli endüstrilerin atıksuları ile Cr kirliliği oluşabilir. Gübreler ve arıtma çamurları ciddi miktarlarda Cr içermektedir (Bradl, 2005).

Krom vücutta insülin hareketini sağlayarak su, karbonhidrat ve protein metabolizmasına katılır. İnsan vücudundaki krom eksikliği şeker hastalığını taklit eden belirtiler verir ve bu durum yalancı şeker hastalığı olarak bilinir. Laboratuvar deneyleri sonucu Cr<sup>+6</sup>'nın kanserojen etkisi tespit edilmiştir, ayrıca Cr<sup>+3</sup>'e göre oldukça toksiktir. Cr<sup>+6</sup> bileşikleri sindirim sistemi, deri ve akciğer ile temas ettiklerinde tahriş edici ve korozif etki gösterirler. Krom ve bileşiklerinin toksisitesi kromun oksidasyon basamağı, bileşiğin türü, konsantrasyon ve pH ile değişir. İnsan vücuduna kromca kirlenmiş havadan solunum yolu ile ve sulu çözeltilerden deriye temasla giren kromun akut toksisitesi çok yüksek değildir (Kaya, 2009).

Cr insan ve hayvan beslenmesi için gerekli elementtir. Cr<sup>+3</sup> normal glukoz metabolizmasını sürdürmek için gereklidir ve bu durum ilk kez farelerde kanıtlanmıştır. İnsanlarda Cr eksikliği, bozulmuş glukoz toleransına, glikozüri ve serum içinde insülin, kolesterol ve toplam trigliserid'in yükselmesine neden olur. Hayvanlarda büyüme

bozukluğu, değişmiş immün fonksiyonu, aortik plak ve boyut bozuklukları, korneal lezyon oluşumu gibi semptomlar ve üreme fonksiyonlarında azalma gözlenmiştir.  $\text{Cr}^{+3}$  ve  $\text{Cr}^{+6}$  insan için potansiyel kanserojendir.  $\text{Cr}^{+3}$  ve  $\text{Cr}^{+6}$  için önemli hedef organ solunum yollarıdır. Klasik belirtileri, bronşit, akciğer fonksiyonlarında azalma, pnömoni, perforasyon ve septum ülserasyonlarıdır. Cr, Ni'den sonra alerjik kontakt dermatite neden olan ikinci deri alerjenidir. Eęer  $\text{Cr}^{+6}$  yutulur ise, mide asidinin hareketi sayesinde hızla  $\text{Cr}^{+3}$ 'e dönüştürülür (Bradl, 2005b).

### 2.3.3. Bakır

Cu'nun atom numarası 29'dur. Kırmızımsı, şekillendirilebilir, elektriği ve ısıyı çok iyi ileten bir metaldir. Periyodik tabloda 1B gurubundadır. Atom ağırlığı 63.55 g/mol, erime noktası 1083 °C ve yoğunluğu 8.96 g/cm<sup>3</sup>'tür. <sup>63</sup>Cu ve <sup>65</sup>Cu olmak üzere iki doğal izotopu vardır ve bulunma bollukları sırasıyla %69.1 ve %30.9'dur. Radyoaktif izotop olan <sup>64</sup>Cu yarılanma ömrü sadece 12.8 saattir ve bu yüzden izleyici olarak kullanılır. En bol bulunan Cu minerali, kalkopirittir (CuFeS<sub>2</sub>) ve %34 Cu içerir. Topraktaki Cu birkaç formda oluşabilir. Toprağın farklı bölgeleri arasındaki Cu dağılımı, toprak organik maddesinden, Mg ve Fe oksitlerden etkilenir. Cu, toprak organik maddesine güçlü bir afinite gösterir. Cu, toprağa olan afinitesi üzerinde kil mineralleri ve fosfatlar daha az önemlidir. Cu, tel üretimi ve elektrik endüstrisinde yaygın olarak kullanılır. Zn ile yapılan pirinç ve kalay ile yapılan bronz başlıca alaşımlarıdır. Diğer uygulama alanları mutfaklar, su dağıtım sistemleri, gübreler, bakteri ve fungusitler, yem katkı maddeleri, çiftlik ve kümes hayvanları hastalık kontrol ilaçlarıdır. Cu'nun ana kaynağı tarımda yaygın olarak kullanılan bakırlı gübrelerdir. Cu'lu fungusit ve bakterisitlerin kullanımı da toprakta fitotoksik seviyede Cu birikimine yol açabilir. Cu emisyonları metalürji işletmelerinden, demir ve çelik üretiminden, kömür yanmasından yayılabilir (Bradl, 2005).

Akut Cu zehirlenmesi atmosferdeki Cu tozlarının ve dumanının solunum yoluyla alınması sonucu gelişebilir. Solunum yoluyla alınan Cu dumanı üst solunum yolları irritasyonuna, karın ağrısı ve diyareye yol açabilir. Cu kaplarda saklanmış veya Cu borulardan akan suyla yetiştirilmiş meyve ve sebzelerin tüketilmesiyle miligram düzeyinde çözünmüş Cu tuzu alınır. Şiddetli vakalarda oral olarak alınan gram düzeyinde Cu bileşikleri hemoliz, karaciğer ve böbrek hasarı, koma ve ölüme sebep olabilir. Bakır toksisitesi karaciğer, beyin ve diğer hayati organlarda fazla miktarda

bakır birikmesine neden olan kalıtsal bir durum olan Wilson hastalığında görülür (Akıncı, 2012).

Cu bitki beslenmesi için zorunlu bir element olmasına rağmen 5-20 mg/L kadar küçük miktarlarına ihtiyaç duyulur. Konsantrasyonu 4 mg/L'den az eksik, konsantrasyonu 20 mg/L'de fazla ise toksik olarak kabul edilir. Cu, bitki enzimlerinin (tohum üretimi, solunum, hücre duvarı enzimleri gibi) bir numaralı bileşenidir. Su sistemleri için ise serbest  $Cu^{+2}$  iyonu, Cu'nun en toksik formu olarak kabul edilir. Cu, hayvanlar için mikronütrient olmasına rağmen, akuatik yaşam için normalden 10-50 kat daha zehirlidir. İnsanlarda Cu, demir oksidaz I ve II gibi çeşitli enzimlerin sentezinde katalizördür. İnsanlarda Cu eksikliği, anemi, kemik, kalp ve damar bozuklukları, zihinsel ve sinir sistemi bozuklukları, saç azalması gibi olumsuzluklar oluşturur. Yetişkinler günlük 2 mg'dan fazla Cu almalıdır. İnsanlarda Cu toksisitesi çok nadir olarak görülür ve genellikle uzun süreli maruz kalmalar sonucu oluşur (Bradl, 2005b).

#### 2.3.4. Nikel

Ni elementinin atom numarası 28, atom ağırlığı 58.71 g/mol, yoğunluğu 8.9 g/cm<sup>3</sup>, erime noktası 1453 °C'dir. Periyodik tablonun 8B gurubundandır ve gümüş-beyaz renkli, sert, şekillendirilebilir bir metaldir. Su içerisinde çözünmez. <sup>58</sup>Ni, <sup>60</sup>Ni, <sup>61</sup>Ni, <sup>62</sup>Ni, <sup>64</sup>Ni olmak üzere beş kararlı izotopu vardır ve sırasıyla bulunma yüzdeleri %68.27, %26.10, %1.13, %3.59, %0.94'dür. Normal oksidasyon 0 ve II de gerçekleşir, I ve III oksidasyon durumları belirli koşullar altında olabilir fakat sulu çözeltilerde stabil değildir. En yaygın olarak suda çözünen Ni türü  $Ni^{+2}$  bileşikleridir. En önemli iki nikel cevheri, pirotin ve pentlandit'dir. Ni başlıca elektro-kaplamalarda, alaşım üretiminde, Ni-Cd bataryalarda, elektronik bileşenlerde kullanılır. Ni'in en yaygın kullanım alanı paslanmaz çelik üretimidir. Bu nedenle otomobiller, bataryalar, madeni paralar, mücevherler, cerrahi implantlar, mutfak aletleri gibi çok çeşitli ürünlerde bulunur. Çevresel ortamlarda Ni'in başlıca kaynakları, madencilik ve eritme endüstrisi, kanalizasyon atıkları, fuel oil ve kömür yakma işlemleridir (Bradl, 2005).

İnsanlar nikle solunum yolu ve sindirim yolu ile maruz kalırlar. Farklı formlardaki Ni önemli miktarda, insan vücudunda iş yerlerinde maruz kalma ve ömür boyunca alınan kirlenmiş yiyeceklerle birikebilir. Ni ve bileşiklerine maruz kalmanın insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri vardır. Dermatit şeklindeki Ni alerjisi en yaygın bilinen reaksiyondur. İnsan vücudunda biriken Ni'in kronik etkileri akciğer fibrozisi,

kardiyovasküler ve böbrek hastalıklarına yol açabilir. Epidemiyolojik çalışmalar göstermiştir ki, Ni madenciliği, eritmesi ve rafineri sektörlerinde çalışan işçiler arasında akciğer ve burun kanseri görülme oranı daha yüksektir. Metalik Ni hariç bütün Ni bileşikleri insanlar için kansorejen olarak sınıflandırılmıştır (Denkhaus ve Salnikow, 2002).

Ni'in toprakta bulunan toplam tolere edilebilir miktarı 100 mg/kg civarındadır. Bitkilerin normal koşullarda Ni içerikleri kuru madde üzerinden 1 mg/kg'yi geçmemektedir. Bitkilerde Ni güçlü bir zehir etkisi yapar. Ni'in ağır metaller içerisinde, özellikle Zn'den 8 kat daha fazla zehirli olduğu bilinmektedir. Ni zehirlenmesinin bitkiler üzerinde belirtileri; tahıllarda yapraklar üzerinde boydan boya solgun sarı çizgiler oluşumu, bitki köklerinde tahribat, daha sonra tüm yaprakta beyazlaşmadır. Yüksek dozlarda ise yaprak uçlarında yanma başlamaktadır (Yıldız, 2004).

Balıklarda düşük Ni seviyelerine uzun süreli maruz kalma iskelet kireçlenmesine ve boğulmaya neden olabilmektedir (Bradl, 2005b). Ni içeren atıksuların alıcı ortama deşarjında zararlılık sınırı balıklarda 1-5 mg/L, balıkların beslendiği küçük su canlıları için ise 3-4 mg/L olmaktadır (Yıldız, 2004).

### 2.3.5. Kurşun

Pb'un atom numarası 82'dir ve parlak, gri mavimsi bir metaldir. Yumuşak, şekillendirilebilir, elektrik iletkenliği zayıf ve korozyona karşı dirençli bir metaldir. Pb, periyodik tabloda 5A gurubundadır. Atom ağırlığı 207.2 g/mol, erime noktası 328 °C, yoğunluğu 11.4 g/cm<sup>3</sup>'dür. <sup>204</sup>Pb, <sup>206</sup>Pb, <sup>207</sup>Pb, <sup>208</sup>Pb olmak üzere dört adet kararlı izotopu vardır ve sırasıyla bulunma oranları %1.48, %23.6, %22.6, %52.3'dür. İki adet radyoaktif izotopu (<sup>210</sup>Pb, <sup>212</sup>Pb) iz element olarak kullanılmaktadır. Pb atom numarası 60'dan büyük olan ağır metaller arasında en bol bulunan elementtir (Bradl, 2005b).

Topraktaki Pb kimyası başlıca üç faktörden etkilenir. Bunlar; spesifik adsorpsiyon, katı fazlardaki kararlı veya çözünebilir bileşiklerin oranı, toprak organik maddesi ile etkileşim sonucu oluşan kompleksler ve şelatlarıdır. Pb, 5000 yıldan daha fazladır insanlar tarafından kullanılır. Herhangi bir endüstri ekonomisi için oldukça önemlidir başlıca kullanıldığı alanlar büyük şarj edilebilir piller, pigmentler, kablo kılıfları, alaşımlar, atış ve mühimmat maddeleri, benzin katkı maddeleridir. Pb ayrıca radyasyon kaplamalarda, PVC'lerde kullanılır. Pb içeren pestisitler ABD'de yasaklanmıştır ancak hala bazı ülkelerde kullanılmaktadır. Tarımda kullanılan

pestisitlerin içerdiği Pb miktarı çok az da olsa, çevrede Pb yükünün oluşmasına neden olmaktadır. Pb, en çok pillerde kullanılmasına rağmen, bu tip uygulamaları çevredeki kurşun dağılımlarında az bir kısmı oluşturmaktadır. Benzin katkı maddeleri Pb'nin başlıca kaynağını oluşturur (Yıldız, 2004). Atmosferik çökeltme, Pb'un biyokimyasal döngüye giriş yollarının en önemlilerindedir (Bradl, 2005).

Atıksularda Pb genellikle, kimyasal çöktürme ile karbonatlar veya hidroksitler formunda çöktürülür. Pb hidroksite oranla kurşun karbonat çözeltisi daha kristalimsi bir yapıda oluşur ve susuzlaştırılma işlemleri daha verimli olduğundan tercih edilmektedir. Organik ve inorganik Pb giderimi iyon değişimi ile verimli olarak sağlanabilmektedir (Yıldız, 2004).

Pb yüksek toksisiteye sahiptir ve insan vücudu için yararlı etkileri yoktur. Kurşun çok düşük maruziyetlerde bile toksiktir ve en düşük dozda bile sinir sistemini etkileyebilir. Deney hayvanları üzerinde Pb kanserojenik etkisi olduğu da açıkça kanıtlanmıştır. Ayrıca canlı metabolizmasında D vitamini eksikliğine, cinsiyet hormonlarının seviyesinde azalmalara, bağışıklık sisteminin zayıflamasına sebep olur (Anonymous, 2013).

Pb zehirlenmesinin tipik etkileri, hematolojik etkiler, merkezi sinir sistemine etkileri ve üreme sistemine etkileri olarak görülür. İnsanlarda ise Pb zehirlenmesi çevre ve halk sağlığını tehdit eder, bebeklerde ve küçük çocuklarda çok tehlikelidir. Pb vücuda kendi fiziksel ve kimyasal formuna bağlı olarak girer. Pb bir kez kan içerisine girdiğinde ilk önce yumuşak dokuya (böbrek, kemik iliği gibi) daha sonra da mineral dokuya (kemik ve dişler) zarar verir (Sarkar, 2002b).

Genel olarak Pb fitotoksitesine sıradan çevresel ortamlarda karşılaşılmaz. Eski maden ve ergitme alanlarındaki bitkiler yüksek Pb değerlerine maruz kalırlar. Mikroorganizmaların Pb'ye bitkilerden daha duyarlı olduğu görülmektedir. Hayvan, balık ve yaban hayatına gelince Pb, onların birçok enzim aktivitelerini inhibe eden toksik özelliğe sahiptir (Sarkar, 2002b).

Pb'nin bitkiler tarafından topraktan alımı ve bitkilerdeki Pb birikim miktarı insan sağlığı açısından doğrudan bir öneme sahiptir. Pb toksisite düzeyi, bazı bitkilerde oldukça yüksektir. Bu tür bitkiler sağlıklı görünür ve zehirlenme belirtisi göstermezler. Bu yüzden insanlar tarafından tüketildikleri zaman tehlikeli olabilmektedirler. İnorganik Pb köklerde ve tohumda aşırı birikim yapmaz, genellikle bitkilerin yüzeyinde birikir, bu yüzden yıkama ile büyük ölçüde temizlenir. Bitkiler tarafından hızla alınan Pb ise organik Pb'dir (Yıldız, 2004).

Pb yaşam boyu vücutta birikebilir ve böylece küçük dozlar bile Pb zehirlenmesine yol açabilir. Tipik Pb zehirlenmesi belirtileri, yorgunluk, titreme, baş ağrısı, kusma, diş eti dokusu üzerinde çizgiler halinde görülür. Pb hemoglobin sentezini engeller ve böbrek fonksiyonlarına ciddi zararlar verir. Fetüs gelişimi ve canlılığını etkiler (Sarkar, 2002b).

### 2.3.6. Çinko

Zn'nin atom numarası 30, atom ağırlığı 65.38 g/mol, erime noktası 420 °C, yoğunluğu 7.13 g/cm<sup>3</sup>'dür. Periyodik tablonun 2B gurubundadır ve bütün bileşikleri iki değerliklidir. Mavimsi, yumuşak bir metaldir. <sup>64</sup>Zn, <sup>66</sup>Zn, <sup>67</sup>Zn, <sup>68</sup>Zn ve <sup>70</sup>Zn olmak üzere beş tane kararlı izotopu vardır. <sup>62</sup>Zn, <sup>63</sup>Zn, <sup>65</sup>Zn, <sup>69</sup>Zn, <sup>72</sup>Zn, <sup>73</sup>Zn olmak üzere altı tane radyoaktif izotopu vardır. Oksidasyon seviyesi II olup, Zn<sup>+2</sup> iyonu renksizdir. Alkali çözeltilerde hidroksit olarak çöktürülür. Doğada amfoterik olduğundan, Zn formları suda çözünebilir, kloratlar, klorürler, sülfat ve nitratlar şeklindedir. Oksitler, karbonatlar, fosfatlar, silikatlar gibi nispeten suda çözünemeyen şekilde bulunurlar. Emilimi toprakta Zn konsantrasyonunu yöneten önemli bir faktördür ve toprağın pH'ı, kil mineral içeriği, toprak organik maddesi ve toprak tipi gibi faktörler tarafından etkilenir. Toprakta Zn hareketliliğinde şelat ajanları, doğal ya da sentetik olması önemli rol oynamaktadır. Zn genellikle Cl<sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> ile bileşik oluşturur (Bradl, 2005b).

Adsorpsiyon, topraktaki Zn konsantrasyonunu artıran en önemli faktördür ve Zn'nin adsorpsiyonunu pH, kil minerali içeriği, katyon değiştirme kapasitesi, toprak organik maddesi ve toprak tipi gibi faktörler etkiler. Zn, dünyada yıllık tüketilen metaller arasında Fe, Al, Cu'dan sonra 4. sırada gelmektedir. Yaygın olarak otomobil endüstrisinde, demir-çelik koruyucu kaplamaların üretiminde, kozmetik ürünlerde, merhemlerde, antiseptiklerde, elektrikli cihazlarda, pillerde kullanılır. Tarımda Zn, mikro nutrientli gübreler, ağaç koruyucular, insektisitler için önemlidir. Yer kabuğunda ortalama 70 ppm civarında Zn bulunur. Çevresel ortamlarda başlıca kaynağı gübreler, arıtma çamurları, madencilik faaliyetleridir. Arıtma çamurları yüksek konsantrasyonda Zn içerir. Ortamda Zn'nin ana kaynakları Zn içeren gübreler, arıtma çamurları, madencilik ve ergitme faaliyetleridir. Madencilik ve ergitme önemli bir girdi kaynağıdır. Diğer girdi kaynakları arasında araç egzozları, lastik aşınması, galvanzizli çelik korozyonu ve tarımsal alanlardan yağmur suyu akışı sayılabilir (Bradl, 2005b).

Atıksudan Zn giderimi için arıtma prosesinde, hem kimyasal çöktürme hem de geri kazanım gereklidir. Sonuçta da çıkan çamurun depolanması gerekir. Buharlaştırma ve iyon değişimi ile geri kazanım sağlanabilir. Geri kazanım uygulaması kaplama atıksuları için klasik çöktürme ve çamur depolanması şeklinde prosese oranla daha ekonomik olabilir. Metallerin arıtımında olduğu gibi Zn'nin çöktürülmesi, alkali şartlara ulaşmak için pH ayarı ve genellikle hidroksit şeklinde çöktürmedir (Yıldız, 2004).

Zn, kanalizasyon suları, sanayi bölgelerinden bırakılan endüstriyel atıksular ve asitli yağışların Zn üzerine yapmış olduğu aşındırıcı etki sonucu çevrede konsantrasyonu artan ve toksik düzeylere ulaşan bir iz elementtir. Zn konsantrasyonu toprakta yüksek düzeylerde bulunduğu zaman Zn zehirlenmesi ortaya çıkmaktadır. Arıtma çamurları ve katı atıklar çok yüksek Zn içeriğine sahip olup, depolanması veya araziye verilmesi halinde topraklarda Zn birikimi ve toksik belirtiler görülmektedir. Zn zehirlenmesi yaygın olarak görülmeyen bir durum olup, genellikle kazara alınan yüksek Zn dozlarıyla sınırlıdır. Zn fazlalığının bir sonucu da özellikle Cu'nun fonksiyonunu engellemesidir. Metal halde bulunan Zn'nin erime noktasının üzerinde bir ısıya maruz kalması sonucu ortaya çıkan çinko oksit buharlarının solunması sonucu, önemli zararlar meydana gelebilmektedir. Yüksek konsantrasyonlarda çinko klorür dumanları öldürücü etki gösterebilmektedir (Yıldız, 2004).

Çinko biyolojik sistemler için son derece yararlıdır. Yaşam ve fizyolojik fonksiyonları destekleyen bir çok biyokimyasal süreçte yer almaktadır. Sayısız protein, enzim, transkripsiyon faktörlerinin fonksiyonu çinkoya bağlıdır. Zn'nin akut toksik etkileri kısa süreli yüksek dozlara maruz kalma ile oluşur. Kronik etkileri ise uzun süre boyunca düşük dozda maruz kalma ile oluşur. Uzun vadeli yüksek dozda çinko maruziyetinin en yaygın etkileri sideroblastik anemi, hipokrom mikrositer anemi, lökopeni, lenfadenopati, nötropenidir (Nriagu, 2007).

Hayvanlarda Zn toksisitesi, hayvanların cinsine göre değişiklik gösterir ve hayvanlar Zn alımının yüksek düzeylerine tolerans gösterebilirler. Zn zehirlenmesinin hayvanlardaki etkileri, iştahsızlık, kansızlık, beslenme bozuklukları, gelişmede gerileme ve pankreasta düzensizlik gibi çok sayıda rahatsızlıktır (Yıldız, 2004).

### 2.3.7. Civa

Hg'nin atom numarası 80, atom ağırlığı 200.6 g/mol, erime noktası -38.8 °C, yoğunluğu 13.55 g/cm<sup>3</sup>, buhar basıncı 20 °C de 1.22x10<sup>-3</sup>'dür. Gümüş-beyaz renkli, oda



sıcaklığında sıvı, elektrik iletkenliği iyi fakat ısı iletkenliği zayıf bir metaldir. 0., 1., 2. olmak üzere üç sabit oksidasyon basamağı vardır. Özellikleri ve kimyasal davranışları oksidasyon basamağına bağlıdır. Hg'nin <sup>195</sup>Hg, <sup>198</sup>Hg, <sup>199</sup>Hg, <sup>200</sup>Hg, <sup>201</sup>Hg, <sup>202</sup>Hg, <sup>204</sup>Hg olmak üzere yedi tane kararlı izotopu vardır (Bradl, 2005).

Atmosferde en çok bulunan elementel Hg buharıdır. Toprak, sediment, su ortamlarında en çok karşılaşılan Hg'nin inorganik tuzları ve organik kompleksleridir. Toprak ve sediment içerisindeki Hg'nin akıbeti Hg uygulamalarının kimyasal formuna, organik ve inorganik toprak kolloidlerinin reaktifliğine, toprağın pH'sına, değişebilir kompleksler içerisindeki anyon ve katyonların türüne, toprak organik maddesine ve redoks potansiyeline bağlıdır. Hg'nin adsorpsiyonunu kontrol eden bu faktörler arasında pH çok önemlidir. Hem toprak partiküllerinin yüzey yükleri hem de metal türleri pH ile tespit edilir. Klorür iyonu Hg için güçlü bir afiniteye sahiptir ve Hg adsorpsiyonu için önemlidir. Cinnabar ( $\alpha$ -HgS) % 86.2 Hg içerir. Yer kabuğunda ortalama Hg miktarı 50 ppb miktarındadır. Hg yaygın olarak katalizörlerde, boyalarda, diş dolgularında, çeşitli laboratuvar alanlarında kullanılır.

Hg yaygın olarak endüstri ve tarımda kullanılır. Başlıca kullanıldığı endüstriler; klor-alkali sanayi (elektroliz), elektrik ve kontrol aletleri sanayi, kağıt endüstrisi, diş amalgamları ve laboratuvar ürünleridir. Tarımda Hg'nin kullanım alanları; tahıl tohumlarının, patatesin, çiçek soğanlarının, şeker kamışının hastalıklardan korunmasıdır. Bu kullanım türleri, doğal çevrenin besin zincirinin Hg ile kirlenmesine yol açmaktadır. Civa sıra dışı bir uçuculuğa sahiptir ve bu uçuculuk artan sıcaklık ile daha da artar. Atmosferik civa emisyonlarının başında, fosil yakıt ve odunların yanması ve arıtma çamuru uygulamaları büyük önem taşımaktadır. Atmosferdeki toplam Hg'nin %70-80'i insan faaliyetleri sonucudur (Bradl, 2005).

Hg ve Hg bileşikleri bitki kökleri tarafından absorblanır ve diğer bitki parçacıklarına nakledilir. Hg'nin topraktaki biyoyararlanımı oldukça düşüktür ve Hg köklerde birikme eğilimindedir. Civa oksit gibi Hg bileşiklerinin iki değerli civa klorür ya da tek değerli civa klorür bitki hastalıklarının kontrolü için kullanımı Hg'nin gıda zincirine transferine yol açmaktadır (Bradl, 2005b).

Hg'nin bitkiler üzerindeki toksik etkisine, büyüme gecikmesi ve erken yaşlanmada dahildir. Ayrıca Hg'nin bitki yapraklarında bitkisel protein sentezini inhibe ettiği ve fotosentetik aktiviteyi azalttığı gösterilmiştir. Kuşlar ve memelilerde akut Hg zehirlenmesinin belirtileri bacak ve kanatlarda ilerleyen güçsüzlük, kas hareketlerini

koordine etmekte yetersizlik ve son derece düzensiz hareketler gibi nörolojik hasarlardır (Sarkar, 2002c).

Hg karasal sistemler için biyokümülyasyonu ve Hg toksisitesi nispeten düşüktür. Hg'nin kuşlardaki etkisi, üremedeki zararları, karaciğer ve böbrek hasarları, nöro davranışsal etkileri içermektedir (Bradl, 2005b).

Hg'nin insan sağlığı üzerindeki yıkıcı etkilerinin en iyi bilinen örneği, Minamata hastalığıdır. Minamata hastalığının tipik belirtileri periferik görme bozukluğu, duylarda aksaklıklar (uyuşma gibi), hareketlerin koordinasyon bozukluğu, konuşma, işitme bozukluğu ve zihinsel bozukluklardır (Bradl, 2005b).

Sindirim yoluyla insan vücuduna giren Hg boşaltım sistemiyle atılırken, fiziko-kimyasal özellikleri nedeniyle buharlaşarak atmosferde bulunan Hg solunum yolu ile alındığı zaman en önemli etkisi sinir sistemi üzerinedir.

Hg ve bileşiklerine insanlar için en önemli maruz kalma yolu balık ve balık ürünleri tüketimidir. Genel olarak sinir sistemi Hg tarafından çok zarar görür. Ayrıca Hg'ye uzun süre maruz kalındığında böbreklerde zarar meydana gelebilmektedir. Amerikan Çevre Koruma Ajansı (US EPA) inorganik ve metil Hg'yi insanlar için olası bir kanserojen olarak sınıflandırmıştır (Bradl, 2005b).

#### **2.4. Ağır Metal Analiz Yöntemleri**

Analizlerden önce örneklerin uygun bir şekilde alınıp bazı ön hazırlık işlemlerinden geçirildikten sonra çözeltiliye alınmaları gerekmektedir. Bu işlemler için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar;

- ✓ Kuru yakma ile çözünürleştirme,
- ✓ Yaş yakma ile çözünürleştirme,
- ✓ Mikrodalga enerjisi ile çözünürleştirme,
- ✓ Oksidatif UV fotoliz parçalama işlemi ile çözünürleştirme yöntemleridir.

Örnek hazırlama yöntemleri, büyük ölçüde kullanılacak tayin yöntemine ve analizi yapılacak numuneye bağlıdır.

Bu çalışmada ağır metal analizleri yapılacak numunelere mikrodalga enerjisi ile çözünürleştirme yöntemi kullanılmıştır. Bu teknik diğer parçalama tekniklerine göre daha kontrollü, etkili, hızlı ve pratik olduğundan günümüzde oldukça çok tercih edilmektedir. Bu teknikte, yaklaşık 0.5–1.0 g kuru ağırlıktaki örnekler, kademeli

sıcaklık ve basınç değerleri uygulanarak çeşitli asit veya asit karışımları ile kapalı bir sistemde etkileştirilmek suretiyle çözünürleştirme yapılır.

Mikrodalga parçalama tekniğinin avantajlarını şöyle sıralamak mümkündür.

- ✓ Hızlı ve kolay uygulanabilirliği,
- ✓ Minimum enerji ve kimyasal sarfiyatı,
- ✓ Çevresel kirlilik oluşturmaması,
- ✓ Uçucu bileşenlerin kaybını engellemesi,
- ✓ Teflon çözünürleştirme kaplarının mikrodalga enerjisini absorbe etmemesinden dolayı enerji kaybının minimum olması,
- ✓ Yüksek sıcaklığa izin vermesi,

Mikrodalga parçalama tekniğinde karşılaşılan problemler ise şunlardır.

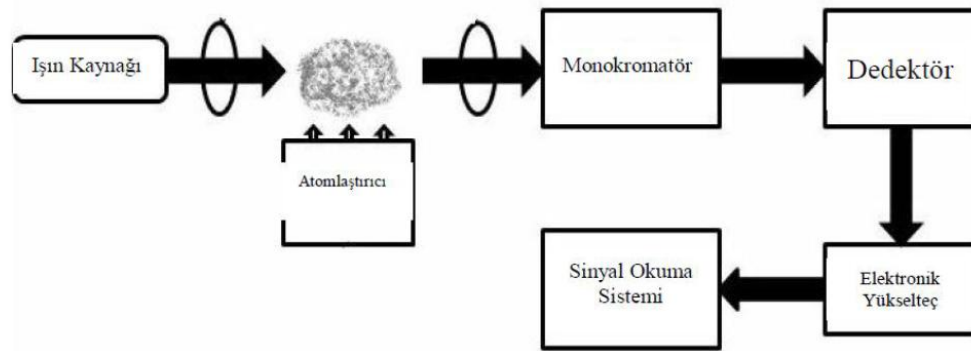
- ✓ Sıcaklık ve basıncın daima kontrol edilmesi,
- ✓ Mikrodalga enerjisini absorbe edecek kapların kullanılması sonucu enerji kaybı,
- ✓ Basınç düşürme mekanizmasının gerekliliğidir (Başgel, 2005).

Örnek hazırlama işleminden sonra ağır metalleri tespit etmek için çeşitli analitik metotlar kullanılabilir. En yaygın kullanılan metotlar optik spektroskopik metotlar ve mikro analitik metotlardır. Optik spektroskopik metotlara UV spektrofotometresi, alev fotometresi, florometre, atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS), indüksiyonla birleşmiş plazma atomik emisyon spektrometresi (ICP-AES) dahildir. Optik spektroskopik metotlar atom veya moleküller tarafından yayılan veya absorbe edilen spektrumun UV aralığının radyasyon yoğunluğunun ölçülmesine dayanır. Günümüzde en çok kullanılan spektroskopik yöntemler; UV görünür spektrofotometresi, alev fotometresi, atomik absorpsiyon spektroskopisi, indüksiyonla birleştirilmiş plazma atomik emisyon spektroskopisidir. UV görünür spektroskopisi ve alev fotometresi iz element düzeyindeki ağır metallerin tespiti için daha az önem taşımaktadır.

Ağır metallerin tespiti için AAS ve ICP-AES metotları yüksek önem taşınmaktadır. Mikro analitik metotlara ise ikincil iyon kütle spektrometresi (SIMS), elektron mikropob, X floresan ışığı ile uyarılmış proton (PIXE), mikro sinkrotron X ışını floresans ( $\mu$ SYXRF) ve mikro X ışınları absorpsiyon gibi ağır metallerin konumsal olarak dağılımını belirleyen yöntemler dahildir. Ağır metallerin çevre üzerindeki etkilerini değerlendirmek için mikro dağılım ve türleşme bilgileri giderek önemli bir hal almıştır (Bradl, 2005).

### 2.4.1. Atomik absorpsiyon spektrofotometresi (AAS)

Bu çalışmada numunelerin ağır metal analizleri için atomik absorpsiyon spektrofotometre cihazı kullanılmıştır. AAS, ışın kaynağından çıkan elektromanyetik dalganın gaz halindeki atomlar tarafından absorpsiyonu sonucu ışığın şiddetindeki azalmanın ölçülmesi ilkesine dayanır (Anonim, 2012). Şekil 2.2’de Atomik absorpsiyon spektrofotometresine ait akış şeması verilmiştir.



Şekil 2.2. Atomik absorpsiyon spektrofotometresi akış şeması

AAS cihazının en önemli bileşenleri; analiz edilen elementin absorplayacağı ışımayı yayan ışık kaynağı, örneğin atomik buhar haline getirildiği atomlaştırıcı, incelenen örnekteki atomun dalga boyunun diğer dalga boylarından ayrıldığı monokromatör ve ışık şiddetinin ölçüldüğü dedektörlerdir (Anonim, 2012).

Atomik absorpsiyon spektrofotometresinde kullanılan ışık kaynakları oyuk katot lambalar, çok elementli lambalar, yüksek ışımalı lambalar, buhar boşalım lambalarıdır. En çok kullanılan ışık kaynağı oyuk katot lambasıdır. Oyuk katot lambalar, düşük basınçta neon veya argon gibi bir asal gazla doldurulmuş silindir biçimindedir. Katot, oyuk bir silindir şeklindedir ve analiz elementinden yapılmıştır, anot ise tungsten veya nikelden yapılmış bir teldir (Anonim, 2012).

Analizi yapılacak elementin temel düzeydeki atom buharının oluşturulduğu bölüm atomlaştırıcıdır. Atomlaştırıcının en önemli görevi, örnekteki molekül veya iyonlardan temel haldeki element atomlarını oluşturmaktır. Atomlaştırıcılar alevli ve alevsiz atomlaştırıcılar olarak iki guruba ayrılabilir. Alevli atomlaştırıcılar da, alevin içerisine numune çözeltisi yanıcı gaz karışımı yardımıyla püskürtülür. Alevsiz

atomlaştırma için, grafit fırınlar, karbon çubuk ve filamanlar, örnek kayıkçıları ve metal filamanlar kullanılmaktadır (Anonim, 2012).

Oyuk katot lambasının yaydığı, incelenen elementin rezonans hattının diğer hatlardan ayrıldığı bölüm monokromatördür. AAS'de ışık sinyalinin elektrik sinyaline dönüştürülmesinde dedektör olarak çoğunlukla fotoçoğaltıcı tüpler kullanılır (Anonim, 2012).

## 2.5. Konu İle İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Ünal ve Katkat (2003) yaptıkları çalışmada, Kocaeli İli'nde bulunan bisküvi ve şekerleme üretimi yapan bir fabrikanın arıtma çamurunun toprak özellikleri ve bitki yetiştirilmesi üzerine etkilerini belirlemek için çalışmışlardır. Arıtma çamuru dozları arttıkça toprakta pH değeri düşmüş, Eİ değeri artmıştır. Dozların artmasıyla birlikte toprakta organik madde ve besin elementi içeriklerinde artışlar belirlenmiştir. Organik madde ve bitki besin elementleri düşük olan topraklara, toprak tuzluluğu kontrol edilmek koşuluyla arıtma çamuru uygulanabileceği sonucuna varılmıştır.

Taşatar (1997) tarafından yapılan çalışmada İzmit'te bulunan DUSA (endüstriyel iplik üretimi) ve SEKA (Kağıt ve Selüloz üretimi) fabrikalarından alınan arıtma çamurlarının İzmit Alikahya köyünden alınan tarım toprağının fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerinde yapmış olduğu etkiler araştırılmıştır. Çalışmada Alikahya köyünden alınan tarım toprağının organik madde, % saturasyon, elektriksel iletkenlik, yarayışlı fosfor, kireç miktarı, nem içeriği, solma noktası, tarla kapasitesi, serbest iyonları, katyon değişim kapasitesi ve değişebilir katyonların miktarında artma, pH değerinde azalma görülmüştür.

Özgüven ve Katkat (2001) yaptıkları bir çalışmada süt sanayi arıtma çamurunun toprağın pH, EC, organik madde, toplam N, değişebilir K, Na değerlerine yarayışlı olduğunu, Cu ve Zn içeriklerinin belirgin şekilde arttırdığını tespit etmişlerdir.

Aşık ve Katkat (2004) yaptıkları çalışmada, Penguen Gıda Sanayi A.Ş. Arıtma Tesisi Atıkları'ndan arıtma çamurunun kimi özelliklerini ve tarımsal kullanım olanağını araştırmışlardır. Bu amaçla fabrikanın arıtma tesisinden belli zamanlarda alınan arıtma çamuru örneklerinde pH, Eİ, kuru madde, organik madde, C:N oranı, bitki besin elementi ve ağır metal içeriği belirlenmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında sera koşullarında yürütülen çalışmada arıtma çamuru 0-20-40-80-120-160 ton/ha düzeylerinde toprağa uygulanmış, mısır bitkisinin gelişim ve mineral element içeriği

üzerine etkisi ile 30 gün inkübasyon süresi sonunda ekim öncesi ve hasat sonrasında toprak özellikleri üzerinde meydana getirdiği değişimler belirlenmiştir. Çalışma sonucunda arıtma çamurunun bitki besin elementi içeriğinin yüksek olduğu ve belirlenen ağır metal içeriklerinin resmi gazetede yayımlanan “Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği”nde belirtilen sınır değerleri aşmadığı belirlenmiş, toprağa artan miktarlarda uygulanan arıtma çamuru; bitkinin mineral element içeriğini artırmış ve bitki gelişimini olumlu yönde etkilemiştir. Arıtma çamuru ekim öncesi ve hasat sonrasında toprağın pH’sını düşürmüş, toprak tuzluluğu üzerine olumsuz etki yaparak Eİ değerini artırmıştır.

Çimrin ve ark., (2000) tarımda bitki fosfor ihtiyacının karşılanmasında fosfor kaynağı olarak, TSP (Triple Süper Fosfat) fosforu ile arıtma çamuru kombinasyonlarının mısır bitkisinin gelişimi ve bazı bitki besin maddelerine etkisini belirlemek amacı ile kireçli bir toprakta saksı denemesi çalışması yapmışlardır. Çalışmada, arıtma çamuru ile bitkinin fosfor ihtiyacının tümüyle karşılanması açısından tam bir başarı sağlanamadığı, Fe ve Zn miktarlarının artırılmasında önemli katkılar sağlanabileceği sonucuna varılmıştır.

Tunç ve Ünlü (2005) yaptıkları çalışmada Elazığ Kenti Atıksu Arıtma Tesisi’ndeki kurutma yatakları çamurlarının ağır metal muhtevaları bakımından tarımda kullanılabilirliği araştırmışlardır. Çamur kurutma yataklarında ve nihai toplama alanından alınan numunelerin ağır metal muhtevalarını, pH ve organik madde değerlerini tayin etmiş ve sonuçları Türkiye’deki Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ve Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğine göre değerlendirmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda ağır metal konsantrasyonları mg/kg kuru çamur cinsinden Fe 4000-9824.6, Zn 686.3-1674.4, Mn 157.5-656.3, Cr 13.3-167.5, Cu 107.6-550, Ni 31.10-126.67, Pb 31.80-84.81, Co 0-15.07 ve Cd 1.57-6.36 aralığında bulunmuştur. Bu değerlerin Türkiye’deki Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (1991) ve Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği’ndeki (2001) standart değerlerin altında olduğu görülmüştür. pH ve organik madde değerleri sırasıyla 6.82-7.62 ve ağırlıkça %40-74 aralığında bulunmuştur.

Kavaklı (2005) yaptığı çalışmada Marmara Bölgesi’nin Bursa İli’nde faaliyet gösteren kuruluşun evsel nitelikli biyolojik arıtma çamurundan ve bu çamurun tarımsal amaçlı kullanılması düşünülen araziden alınan toprak örnekleri üzerinde incelemeler yapmıştır. Çalışmada, arıtma çamurunun TKKY / EK IIA’ya göre toplam organik karbon parametresi tehlikeli atık sınıfı kapsamında bulunmuştur. Arıtma çamuru ve

toprak örneklerinin TKKY / EK II (toprakta kullanılabilir arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevalar), EK IV (Arıtma Çamurunun Analizi) belgesine göre ölçüm ve analizleri yapılan Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Hg ve diğer parametreler yönünden tarımsal amaç için istenilen şartlara uygunluk gösterdiği tespit edilmiştir.

Wang ve ark., (2005) yaptıkları çalışmada beş kentsel atıksu arıtma tesisinden ve üç endüstriyel (petrokimya, bira, kağıt endüstrisi) atıksu arıtma tesisinden çamur numuneleri alıp Cd, Cr, Pb, Cu, Ni ve Zn ağır metallerinin farklı kimyasal fraksiyonlarını ve konsantrasyonlarını incelemişlerdir. Çamurların bazı fizikokimyasal özellikleri belirlenmiştir. Ekstraksiyon metallerin asit içerisinde çözünebilen, indirgenebilen ve okside olabilen olarak ayrıldığı üç aşamalı prosedür ile gerçekleştirilmiştir. Cd, Cr, Pb, Cu, Ni ve Zn konsantrasyonları ICP-MS cihazı ile belirlenmiştir. Çamurların pH'ı 4.4-7.7, KDK 17.6-89.6 cmol/kg, organik karbon %25-56, toplam N % 0.4-2.6, toplam P 0.8-17.4 g/kg, toplam K 2-12.6 g/kg aralığında bulunmuştur. Endüstriyel arıtma çamurlarında Cd 0.9-6.97 mg/kg.kuru ağırlık, Cr 88.9-108.46 mg/kg.kuru ağırlık, Pb 14.10-26.98 mg/kg.kuru ağırlık, Ni 15.80-93.42 mg/kg.kuru ağırlık, Zn 327.03-1629.89 mg/kg.kuru ağırlık, Cu 120.31- 472.31 mg/kg.kuru ağırlık aralığında bulunmuştur. Sonuç olarak çamur içerisindeki ağır metal konsantrasyonlarının büyük ölçüde değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Zn ve Cu en yüksek konsantrasyonlarda, Cd en düşük konsantrasyonda tespit edilmiştir. Kentsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesisi çamurlarında tespit edilen ağır metal konsantrasyonları arasında önemli bir fark gözlenmemiştir.

Wong ve ark., (2001) yaptıkları çalışmada Hong Kong'ta dört atıksu arıtma tesisinden aldıkları çamurların toksisite değerlendirmesini yapmışlardır. Çamurların kimyasal karakterizasyonu belirlenmiş ve tohum çimlenme toksisite testi yapılmıştır. Çamurların pH değerleri 8.38-8.73 aralığında, Eİ değerleri 0.69-3.06 dS/m aralığında, nem değerleri %73.1-%85.8 aralığında, toplam karbon değerleri %22.1-%28.2 aralığında tespit edilmiştir. Numunelerde Cu, Zn, Cd, Ni, Cr, Pb, Mn metallerine bakılmıştır. Bulunma miktarları sırasıyla 329-648 mg/kg, 1108-4692 mg/kg, 2.23-3.65 mg/kg, 52.5-202 mg/kg, 52.8-2243 mg/kg, 49.1-85.9 mg/kg, 209-537 mg/kg aralığında tespit edilmiştir. Toksikite testinde dört çamur numunesi içinde yüksek çimlenme yüzdeleri tespit edilmiştir, çamur konsantrasyonunun azalmasıyla tohum çimlenme yüzdesinde artış olduğu gözlenmiştir.

Ahmad ve ark., (2010) yaptıkları çalışmada kağıt hamuru ve kağıt endüstrisinin çamurları ile gübrelenen toprakta ağır metallerin dağılımını incelemiştir. Ham kağıt fabrikası çamuru Malezya Selangor'da bulunan kağıt fabrikası biyolojik arıtımından alınmıştır. Çamurun yaklaşık %75 nem oranına sahip, yapışkan, sıkıştırılmış ve güçlü bir kokusu olduğu belirlenmiştir. Çamurun havalanmasını sağlamak ve geliştirmek için geliştirme materyali olarak yağ palmyesi eklenmiştir. Çamur ve palmye lifleri 1:1 oranında karıştırılarak çamur kompostlanmıştır. En sonunda organik yapısı ve rengi ile toprağa benzeyen, kötü kokusu olmayan bir ürün elde edilmiştir. Ham çamurun pH değeri 7.84, %organik karbon içeriği 13.9, %toplam azot içeriği 4.84, Cu konsantrasyonu 70 ppm, Zn konsantrasyonu 153 ppm, Mn konsantrasyonu 111 ppm, Pb konsantrasyonu 155 ppm, Cd konsantrasyonu 0.29 ppm, Fe konsantrasyonu 0.11 ppm, Al konsantrasyonu 0.90 ppm, As konsantrasyonu 15.54 ppm olarak bulunmuştur. Kompostlanmış çamurun pH değeri 4.74, %organik karbon içeriği 10.02, %toplam azot içeriği 1.48, Cu konsantrasyonu 88 ppm, Zn konsantrasyonu 188 ppm, Mn konsantrasyonu 91 ppm, Pb konsantrasyonu 114 ppm, Cd konsantrasyonu 0.21 ppm, Fe konsantrasyonu 0.30 ppm, Al konsantrasyonu 0.88 ppm, As konsantrasyonu 8.07 ppm olarak bulunmuştur. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar kağıt endüstrisini çamurlarının toprakta ağır metal konsantrasyonunda artışa sebep olmadığını göstermiştir.

Świerk ve ark., (2007) yaptıkları çalışmada elektro kaplama endüstrisinin galvanik çamurunda bulunan ağır metallerin, çeşitli ekstraksiyon çözeltileri kullanılarak ekstrakte edilmesi araştırılmıştır. Bu amaçla elektro kaplama endüstrisi çamurunun fiziko-kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Çamurun su içeriği %9, organik maddenin kuru ağırlığı %22, Cr miktarı  $1.024 \pm 0.02$  g/kg kuru ağırlık, Cu miktarı  $2.035 \pm 0.05$  g/kg kuru ağırlık, Ni miktarı  $6.815 \pm 0.2$  g/kg kuru ağırlık olarak tespit edilmiştir.

Rank ve Nielsen (1998) yaptıkları çalışmada atıksu çamurlarını *Allium cepa* genotoksitesite testi ile analiz etmişlerdir. Numunelerin AAS ile ağır metal konsantrasyonları da tespit edilmiştir. Endüstriyel yüklemeleri ve boyutları farklı Danimarka Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinden 3 kış boyunca örnek alınmıştır. Çamurun toksisitesi *Allium* kök inhibasyonu ile test edilmiştir.  $EC_{30}$  ve  $EC_{50}$  değerlerinin endüstriyel yükleme ile pozitif korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir. Pb miktarı 52-336 mg/kg kuru ağırlık, Ni miktarı 17-45 mg/kg kuru ağırlık, Cr miktarı 30-137 mg/kg kuru ağırlık, Zn miktarı 691-1420 mg/kg kuru ağırlık, Cu miktarı 82-378 mg/kg kuru ağırlık, Cd 0.8-6.2 mg/kg kuru ağırlık aralığında tespit edilmiştir. Ağır metal konsantrasyonlarındaki azalma endüstriyel yükleme ile ilişkili bulunmuştur.



Hanay ve Hasar (2007) yaptıkları çalışmada Kayseri ili Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi'nden elde edilen nihai arıtma çamurunun tarımsal amaçlı kullanım potansiyelini araştırmışlardır. Bu amaçla, temin edilen çamur numunelerinde, çeşitli ağır metal konsantrasyonlarına ve çamurun stabilitesini belirlemek amacıyla spesifik oksijen tüketim hızına bakılmıştır. Kayseri ilinde birçok endüstrinin mevcut olması nedeniyle atıksu arıtma tesisi çamurlarının yüksek oranda ağır metal içerebileceği düşünülmüştür. Çamurlar derişik nitrik asitle muameleye tabi tutulmuştur ve ağır metal analizleri üç tekerrürlü olarak Atomik Adsorpsiyon Spektrofotometresinde yapılmıştır. Çamurun pH değeri 5.8, Eİ değeri 3.24, nem muhtevası %75, organik madde muhtevası %60 olarak bulunmuştur. Çamurdaki Cr, Cu, Fe, Pb, Zn konsantrasyonları sırasıyla 1060 mg/kg, 2250 mg/kg, 10890 mg/kg, 1440 mg/kg, 3680 mg/kg olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, çamurun ağır metal konsantrasyonunun yüksek olduğu ve arıtma çamurlarına herhangi bir işlem yapılmadan direk tarımsal alanlara uygulanmasının mümkün olmadığı belirlenmiştir.

Ahmed ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada deri tabaklama endüstrisi çamurunda ağır metal karakterizasyonunu ve kompostlama boyunca değişik fizikokimyasal özelliklerin konsantrasyonları üzerine etkisini, Cr, Cu, Zn, Pb, Cd metallerinin biyoyararlılıklarını araştırmışlardır. Araştırılan çamur Malezya'daki Kenny deri sanayiden alınmıştır. Çamur talaş, tavuk gübresi, pirinç kepeği ile karıştırılarak kompostlanmıştır. Ham çamurun nem değeri %60.6, pH değeri 7.4, Eİ değeri 9 mS/cm olarak bulunmuştur. Ağır metal analizlerinde atomik adsorpsiyon ve alev fotometre kullanılmıştır. Ham çamurdaki Fe, Cr, Pb, Cd, Cu, Zn, Mn konsantrasyonları sırasıyla 1062 mg/kg, 500 mg/kg, 10 mg/kg, 8 mg/kg, 80 mg/kg, 200 mg/kg, 70 mg/kg olarak bulunmuştur. Kompostlanmış çamurda tespit edilen ağır metal miktarlarının limit değerlerden çok daha düşük olduğu gözlenmiş ve böylece iyi bir gübre olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Patel ve Pandey (2008) yaptıkları çalışmada Hindistan'da atıksu arıtma tesislerinden oluşan kimyasal tekstil çamurunun fiziko-kimyasal özelliklerini araştırmışlardır. Tekstil atıksularını arıtan dört tesisten çamur numunesi alınmıştır. Numunelerin pH değeri 8.02-9 aralığında, Eİ değerleri 2.12-6.63 mS/cm aralığında, nem içerikleri %5.40-66.65 aralığında, katı madde içeriği %33.35-94.60 aralığında, uçucu katı madde içeriği %34.30-48.37 aralığında, sabit katı madde içeriği %51.63-65.70 aralığında, toplam organik karbon içeriği %1.23-17.82 aralığında tespit edilmiştir. Numunelerin ağır metal değerleri atomik adsorpsiyon spektroskopisi cihazı ile tespit

edilmiştir. Numunelerin Cd, Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Pb içerikleri sırasıyla 4.24-5.40 mg/kg kuru ağırlık, 39.80-389.83 mg/kg kuru ağırlık, 73.48-386.93 mg/kg kuru ağırlık, 23.72-88.74 mg/kg kuru ağırlık, 12.11-13.55 mg/kg kuru ağırlık, 32- 316.32 mg/kg kuru ağırlık, 20.31-52.04 mg/kg kuru ağırlık aralığında tespit edilmiştir.

Yuniar ve Effendi (2013) yaptıkları çalışmada Jababeka endüstriyel atıksu arıtma tesisinden, ilk çökeltme tankı çamur kurutma yatakları arasındaki transfer hattından, ikinci çökeltme tankı ve belt filtre arasındaki transfer hattından ve çamur kekinden numuneler alınmıştır. İlk çökeltme tankı çamurunda toplam askıda katı madde 12052 mg/L, BOİ<sub>5</sub> 8223,7 mg/L, Cd 0.00665 mg/L, Cr 1.29 mg/L, Cu 0.867 mg/L, Pb 0.0504 mg/L, Mn 0.236 mg/L, Ni 0.648 mg/L, Zn 9.79 mg/L olarak bulunmuştur. İkinci çökeltme tankı çamurunda toplam askıda katı madde 667 mg/L, BOİ<sub>5</sub> 764 mg/L, Cd 0.0293 mg/L, Cr 150 mg/L, Cu 108 mg/L, Pb 0.0987 mg/L, Mn 4.74 mg/L, Ni 19.5 mg/L, Zn 247 mg/L olarak bulunmuştur. Çamur kekinden alınan numunede Cd 5.2 mg/kg, As 48.3 mg/kg, Cr 12050 mg/kg, Co 33 mg/kg, Sn 1600 mg/kg, Pb 98.7 mg/kg, Cu 5980 mg/kg, Mn 290 mg/kg, Hg 10 mg/kg, Ni 1720 mg/kg, Se 8.5 mg/kg, Zn 16270 mg/kg olarak bulunmuştur.

Morgül (2007) gıda, boya, kaplama ve kimya olmak üzere 6 değişik endüstriden alınan çamurların fiziksel ve kimyasal karakterizasyonunu incelemiştir. Çeşitli sektörlerden alınan bu örnekler üzerinde fiziksel ve kimyasal karakterizasyonu belirlemek amacıyla çeşitli parametrelere bakılmıştır. Fiziksel karakterizasyon parametreleri numunelerin nem içeriği, mineral içeriği, organik madde ve karbonat içeriğinden oluşurken, kimyasal karakterizasyon parametreleri major bileşenler ve element (Cu, Ni, Cr, Zn, As, Sb, Hg, Ag, Pb, Cd, Sn, Mo, Se, Ba ve Co) analizlerinden oluşmaktadır. Element analizlerinde elde edilen sonuçlar Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği ve EPA standartlarıyla kıyaslanmıştır. Numunelerin nem içeriği %26.86-87.47 aralığında, organik madde içeriği %19-81 aralığında, karbonat içeriği %0.45-25 aralığında tespit edilmiştir. Cu konsantrasyonu 1.23-62.67 mg/kg, Ni konsantrasyonu 7.34-276.73 mg/kg, Cr konsantrasyonu 6.06-370.5 mg/kg, Zn konsantrasyonu 36.46-1443.4 mg/kg, As konsantrasyonu 1.21-3.86 mg/kg, Sb konsantrasyonu 0.249-1.32 mg/kg, Hg konsantrasyonu 0.473-7.23 mg/kg, Ag konsantrasyonu 6.0-22.29 mg/kg, Pb konsantrasyonu 7.93-78.29 mg/kg, Cd konsantrasyonu 0.151- 1.512 mg/kg, Sn konsantrasyonu 0-339.3 mg/kg, Mo konsantrasyonu 2.91-14.58 mg/kg, Se konsantrasyonu 0.6-5.65 mg/kg, Ba konsantrasyonu 66.57- 689.46 mg/kg, Co konsantrasyonu 0-4.35 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Cu en yüksek konsantrasyonda

gıda sanayisinden, Ni en yüksek konsantrasyonda kimya sanayisinden, Cr en yüksek konsantrasyonda kimya sanayisinden, Zn en yüksek konsantrasyonda kimya sanayisinden, As en yüksek konsantrasyonda metal kaplama sanayisinden, Hg en yüksek konsantrasyonda gıda sanayisinden, Ag en yüksek konsantrasyonda boya sanayisinden, Pb en yüksek konsantrasyonda metal kaplama sanayisinden, Cd en yüksek konsantrasyonda kimya sanayisinden alınan çamur numunesinde tespit edilmiştir.

Oleszczuk (2008) yaptığı çalışmada, arıtma çamurunun ve kompostun fiziksel-kimyasal özellikleri, ağır metaller ve PAH bileşikleri açısından karakterizasyonunu yaparak fitotoksitesinin değerlendirilmesini yapmışlar ve arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Dört farklı evsel atıksu arıtma tesisinden alınan arıtma çamurları 76 gün kompostlandıktan sonra, *Lepidium sativum* toksisite testi ve fitotoksit toksisite testleri gerçekleştirilmiştir. Çamurların toplam PAH içeriği 3674.1 ile 11236.3 µg/kg kuru madde, ağır metal içeriği kuru maddede Cd 1.9-76 mg/kg, Cr 27.6-120 mg/kg, Cu 156-335 mg/kg, Pb 37.5-59.5 mg/kg, Ni 21.7-155 mg/kg, Zn 1015-1385 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar test edilen bitkiye göre arıtma çamurunun toksisitesinin değiştiğini göstermiş ve iki çamur örneğinin bitki çimlenmesi üzerine %100 inhibisyonu tespit edilmiştir.

Mantis ve ark. (2005) evsel ve endüstriyel atıksuların biyolojik arıtılması sonucu oluşan arıtma çamurlarının çevresel zararını değerlendirmek için kimyasal analizler ve toksisite testi gerçekleştirmişlerdir. 7 PCB, 13 PAH, TOK ve 7 metal (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Mn, Zn) için gerçekleştirilen analizler sonucunda kentsel çamurun PAH içeriği endüstriyel çamurdan daha yüksek olup, çamur uygulamaları için AB tarafından verilen limit değerleri aşmamaktadır. Toplam PCB içeriği her iki çamurda da ve özellikle endüstriyel çamurda tarımsal amaçlı kullanım için verilen limit değerleri aşmaktadır. Ağır metal içeriği açısından ise her iki çamurda da tarımsal kullanım için istenen limit değerleri sağlamaktadır. Bioluminescence bakterisi kullanılarak gerçekleştirilen toksisite testi sonucunda kentsel çamur yüksek toksik özellik sergilerken, endüstriyel çamur ise kentsel çamurdan iki kat daha az toksik özellik sergilemiş ve toksik olmayan ve hafif toksik sınıfta olduğu belirlenmiştir.

Chen ve ark. (2008) Çin'de beş farklı atıksu arıtma tesisinden alınan arıtma çamurlarındaki ağır metallerin ekotoksikolojisini ve ağır metal içeriğini değerlendirmişlerdir. Arıtma çamurlarının organikler, N ve P bakımından zengin

olduğunu, bir tesiste ağır metal konsantrasyonlarının yüksek olduğunu ve Cd değerinin limit değerleri aştığını tespit etmişlerdir.

Singh ve Agrawal (2010) arıtma çamurundaki ağır metallerin besin zincirine taşınım problemini azaltmak için pirinç bitkisinin yetiştirilmesinde toprağa uygulanacak arıtma çamuru dozunun belirlenmesi amacıyla çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Toprak ve bitkide ağır metal birikiminin sonucu olarak bitki büyümesi, biokütle birikimi ve ürün değişimi farklı oranlarda arıtma çamurunun uygulanması ile karşılaştırılmıştır. Uygulanan çamur oranı miktarı arttıkça, kök uzunluğu azalmış, kök yüksekliği, yaprak sayısı ve alanı, toplam biokütle artmıştır. Arıtma çamuru ile iyileştirme oranı 4.5 kg/m<sup>2</sup> değerine kadar pirinç ürün verimini artırmış ancak pirinç tanelerinde Ni, Cd ve Pb bileşikleri açısından besin zinciri kontaminasyonuna sebep olmuştur. Pirinç bitkisinin toprağın dışında kalan diğer kısımlarında da Ni, Cd ve Pb metalleri açısından kabul edilebilir limit değerlerin aşıldığı ve bitkinin hayvan yemi olarak kullanılamayacağı tespit edilmiştir.

Hua ve ark. (2008) Çin'in Zhejiang bölgesinde 20 tane atıksu arıtma tesisinden alınan çamur örneklerinde ağır metal ve PAH bileşiklerinin konsantrasyonu ve çamurların araziye uygulanma potansiyeli değerlendirmişlerdir. Pek çok çamur numunesinde ağır metal konsantrasyonu Çin'de tarımsal alanlarda kullanılacak çamurlarda yönetmelikte verilen limit değerlerin altında bulunurken, Zn ve Cd değerlerinin bazı numunelerde limit değerleri aştığı görülmüştür.

Muchuweti ve ark. (2006) Zimbabwe'de atıksu çamurları ile iyileştirilmiş yada atıksu ve atıksu çamuru karışımı ile yasal olmayan şekillerde sulanarak yetiştirilen sebzeler üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada incelenen ürünler yönetmelikte limit değerler verilen Cd, Cu, Pb, Zn ağır metalleri için gerçekleştirilmiştir. Metal konsantrasyonu en yüksek mısır ve tsunga gibi temel besin maddelerinde tespit edilmiştir. Tsunga yapraklarında Cd EU tarafında müsaade edilen limit değerden (0.2 mg/kg) 18 kat daha yüksek (3.68 mg/kg), Cu konsantrasyonu 111 mg/kg değeri ile limit değerden 5 kat yüksek (20 mg/kg), Pb konsantrasyonu 6.77 mg/kg değeri ile limit değerden 22 kat yüksek (0.3 mg/kg), Zn konsantrasyonu 221 mg/kg değeri ile limit değerden 4 kat yüksek (50 mg/kg) tespit edilmiştir. Bezelye, mısır, şeker kamışı, biber gibi bitkilerde de ağır metal içeriği limit değerlerden daha yüksek tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucunda arıtma çamuru ile sulanan bölgelerdeki sebzelerin yetiştirilmesinin ve tüketilmesinin bu sebzeleri tüketen kişiler için sağlık riski oluşturabileceği tespit edilmiştir.

Wang ve ark. (2008) arıtma çamurlarının araziye uygulanmasında sınırlayıcı faktörlerin tespit edilmesi amacıyla, arıtma çamuru uygulanan toprak ve çimlerde ağır metal içeriğini arazi deneyleri ile belirlemişlerdir. Çin’de atıksu arıtma tesisinden alınan çamurlar farklı miktarlarda uygulandığında toprağın besin içeriği ve özellikle organik madde içeriğinin çamur uygulamasından sonra arttığı belirlenmiştir. Çim biokütlesi artarken, büyüme sezonunun uzadığı görülmüştür. Topraktaki ağır metal konsantrasyonunun arttığı buna rağmen Zn içeriğinin Çin’de topraklar için verilen çevresel kalite standart değerlerini aşmadığı, Cd içeriğinin ise B-sınıf toprak limitlerini aştığı tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda B-sınıf veya daha iyi kalitede toprak gerekli olan yerlere atıksu arıtma tesisinden alınan arıtma çamuru doğrudan uygulanmamalı, ancak ormanlık, çayır ve fidanlık gibi besin zinciri kontaminasyonunun olmayacağı alanlara uygulanabileceği sonucuna varılmıştır.

Mosquera-Losada ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada İspanya’nın Avrupa’da önemli miktarda evsel arıtma çamuru üreten bir ülke olduğu için farklı metotlar ile stabilize edilen çamurun tarımsal açıdan kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada çamur kalitesi iyi olmakla birlikte, özellikle Cd miktarı ile ilgili tarımsal alanlarda uygulamada sınırlamalar getirilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Literatür çalışmaları incelendiğinde, atıksuyun arıtılması sonucu oluşan arıtma çamurlarının toprağı iyileştirme veya tarımsal amaçlı kullanımı sonucu toprak, bitki ve üründe bu bileşiklerin konsantre hale gelerek daha toksik bir hale gelebileceğini göstermektedir. Bu sebeple Konya Organize Sanayi bölgesi atıksu arıtma tesisinde oluşan çamurların ağır metal, organik kirletici içeriğinin ve ekotoksikolojik etkilerinin belirlenmesi çevre ve insan sağlığının korunması için çok önemlidir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada Konya Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi dekantör çıkışı, Ağustos 2011 - Temmuz 2012 tarihleri arasında ayda bir defa olmak üzere bir yıl süreyle çamur numunesi alınmıştır. 2011 yılı Kasım ayında dekantör arızası meydana gelmiş ve bu dönemde çamur numunesi alınamamıştır.

Çamur numunelerinin %nem, %kuru madde, %sabit ve %uçucu katı madde, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam organik karbon (TOK) analizleri yapılmış, pH ve elektriksel iletkenlik (EI) değerleri ölçülmüş, ağır metal (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg) içerikleri belirlenmiştir.

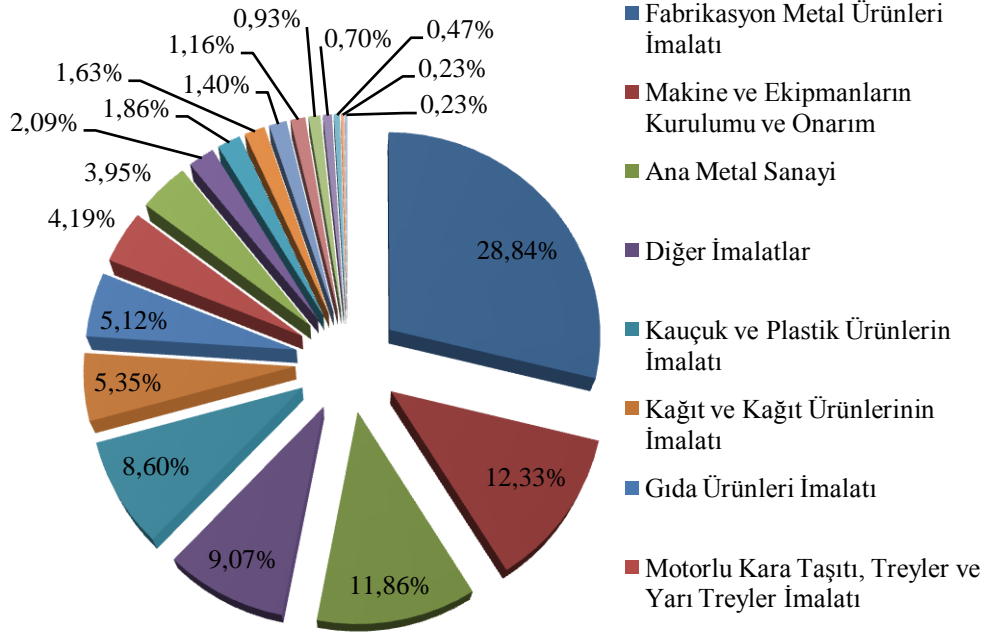
#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Konya Organize Sanayi Bölgesi atıksuyu

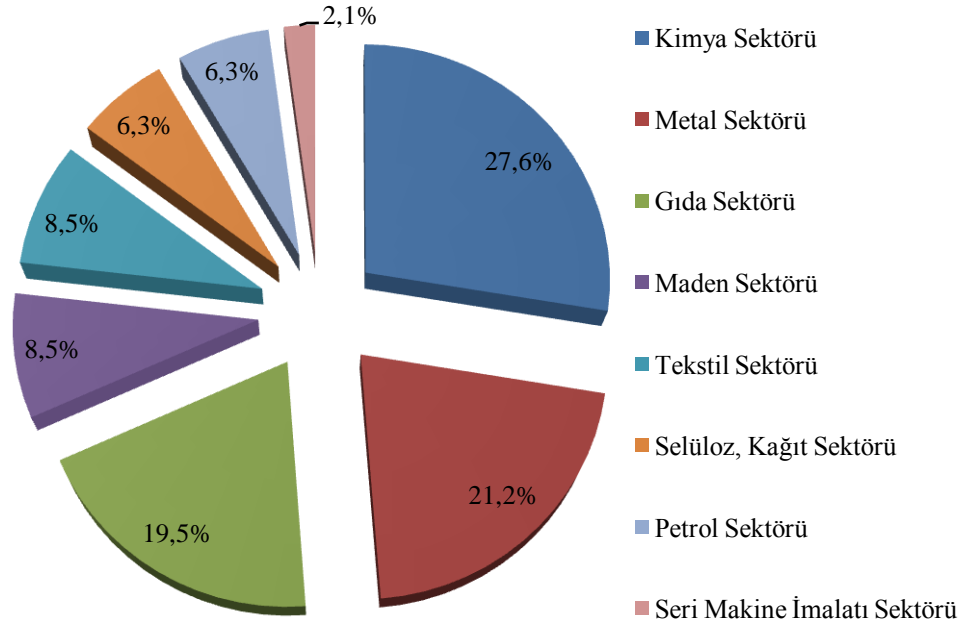
Konya 2. Organize Sanayi Bölgesi 23 Temmuz 1976 tarihinde Bakanlar Kurulu kararı ile kurulmuş ve 1990 yılında ilk işletme faaliyete geçmiştir. Artan taleple birlikte Konya 3. Organize Sanayi Bölgesi kurulum çalışmalarına başlanmış ve 1998 yılında 3. Organize Sanayi Bölgesindeki ilk işletme faaliyetine başlamıştır. İki farklı organize sanayi bölgesi olarak faaliyetine devam eden 2. ve 3. Organize Sanayi Bölgeleri 12 Aralık 2005 tarihinde birleştirilmiş ve 5 Mayıs 2006 tarihinde yapılan genel kurul ile “Konya Organize Sanayi Bölgesi” ismini almıştır.

Konya Organize Sanayi Bölgesi (KOS) bugün itibariyle 16 milyon metrekarelik bir alanda hizmetlerine devam etmekte olup, genişleme bölgelerinin tamamlanması ile birlikte 25 milyon metrekarelik bir alanda hizmet vermeye devam edecek ve Türkiye'nin en büyük OSB'lerinden birisi olacaktır. Bölgede bugün itibariyle yaklaşık 30.000 kişiye istihdam sağlanırken, NACE kodlarına göre sınıflandırılmış 19 farklı sektörde 430 işletme faaliyet göstermekte olup, bu rakam inşaatı ve yatırımı devam eden işletmelerle birlikte 628 olacaktır. Şekil 3.1.'de KOS sektör dağılımı verilmiştir.

Bölgede yer alan işletmeler oluşan atıksularını, 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazete ile yayınlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) Tablo 25: Atıksuların atıksu altyapı tesislerine deşarjında öngörülen atıksu standartlarında “Kanalizasyon sistemleri tam arıtma ile sonuçlanan atıksu altyapı tesislerinde” belirtilen deşarj kriterlerine göre kanalizasyon sistemine vermektedirler.



Şekil 3.1. KOS sektör dağılımı



Şekil 3.2. KOS proses atıksuyu bulunan firmaların sektörel dağılımı

### 3.1.2. Konya Organize Sanayi Bölgesi atıksu arıtma tesisi

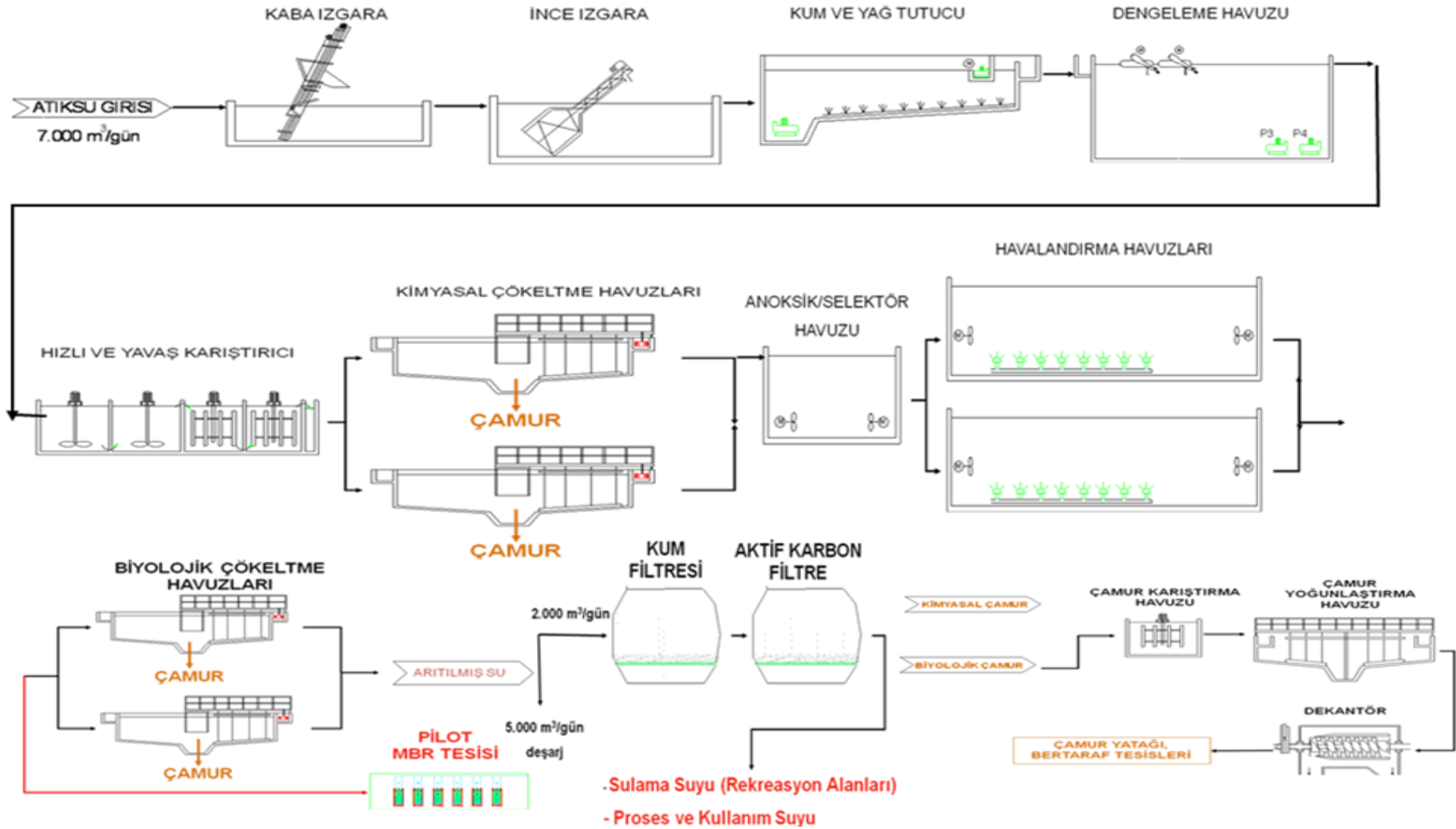
Konya Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi, fizibilite çalışmaları 2006 yılında, ihale süreci 2008 yılında, atıksu arıtma tesisi inşa çalışmaları 2009 yılı Nisan ayında başlanmış ve Temmuz 2010'da devreye alınmıştır. Konya organize sanayi bölgesi atıksuları, arıtma tesisinde arıtıldıktan sonra 910 metre Ø400 PE hat ile ve 3200 metre Ø700 CTB borular ile taşınarak Tümosan kanalına dökülmekte, oradan da DSİ Ana Tahliye Kanalına ulaşmaktadır (Arundaş, 2010).

Atıksu arıtma tesisi 7000 m<sup>3</sup>/gün kapasiteye göre dizayn edilmiştir. Tez çalışması süresince atıksu arıtma tesisine gelen ortalama atıksu miktarı ise 4368 m<sup>3</sup>/gün'dür.

Atıksu arıtma tesisine 7000 m<sup>3</sup>/gün atıksu gelmesi durumunda, kimyasal çamur miktarının 5240 kg/gün, biyolojik çamur miktarının ise 1268 kg/gün olması beklenmektedir. Yani toplam çamurun %80'i kimyasal çamur, %20'si ise biyolojik çamurdur.

Konya organize sanayi bölgesi atıksu arıtma tesisi fiziksel, kimyasal, biyolojik ve ileri arıtım üniteleri ile çamur susuzlaştırma ünitelerinden oluşmaktadır. Şekil 3.2.'de tesisin akım şeması, Şekil 3.3.'te ise genel görünümü verilmiştir.





Şekil 3.2. KOS AAT akım şeması



Şekil 3.3. KOS AAT genel görünüm

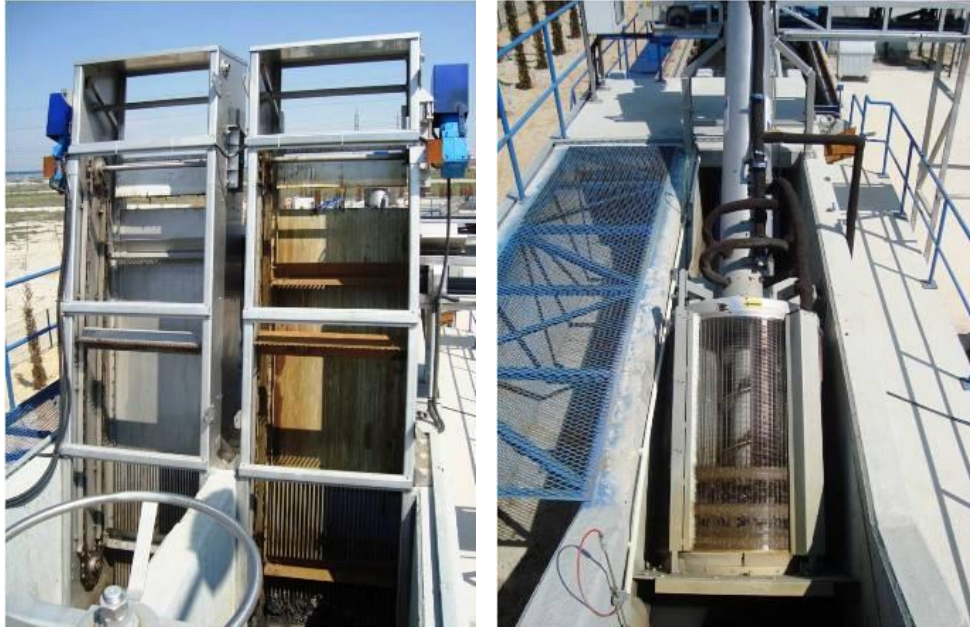
### 3.1.2.1. Fiziksel arıtma üniteleri

- ✓ Kaba ızgara,
- ✓ İnce ızgara,
- ✓ Havalandırmalı kum ve yağ tutucu,
- ✓ Dengeleme havuzundan oluşmaktadır.

Kaba ızgara 20 mm aralıklı, mekanik temizlemeli, ince ızgara ise 3 mm aralıklı kanal tipi döner tambur elek seçilmiş olup, atıksuyla birlikte gele kaba ve katı atıkların tutulması işlemi gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.4. ve Şekil 3.5.'te mekanik temizlemeli kaba ve ince ızgaralara ait resimler görülmektedir.



Şekil 3.4. KOS AAT kaba ve ince ızgara-1



Şekil 3.5. KOS AAT kaba ve ince ızgara-2

Kum ve yağ tutucu havuzunun hacmi  $97 \text{ m}^3$  olup, pik debide bekleme süresi 10 dakikadır. Atıksu içinde bulunan yağ ve gres gibi maddeler yüzeyde toplanırken, kum gibi ağır maddeler havuz tabanında toplanmaktadır. Çöken maddeler kum sıyrıcı ile toplanmakta ve dalgıç tip pompa ile kum seperatörüne gönderilmektedir. Burada kum, atıksudan ayrılmakta ve konteynır içerisinde toplanmaktadır. Diğer taraftan yüzen maddeler yağ rögarında toplanmakta ve yağ pompası vasıtasıyla yağ tankında toplanmaktadır. Ayrıca kum seperatörü sonrasında tesise giren atıksu debisi kanal tipi elektromanyetik debimetre ile ölçülmektedir. Şekil 3.6.'da havalandırmalı kum ve yağ tutucuya ait resim görülmektedir.



**Şekil 3.6.** KOS AAT havalandırmalı kum ve yağ tutucu

Dengeleme havuzu faydalı hacmi  $2212 \text{ m}^3$  olup, bekleme süresi 8 saattir. Atıksu içerisindeki katı maddelerin çökmemesi için 2 adet jet aeratör ile sürekli karıştırılmaktadır. Şekil 3.7. ve Şekil 3.8.'de dengeleme havuzuna ait resimler görülmektedir.



Şekil 3.7. KOS AAT dengeleme havuzu-1



Şekil 3.8. KOS AAT dengeleme havuzu-2

### 3.1.2.2. Kimyasal arıtma üniteleri

- ✓ Hızlı karıştırma havuzları,
- ✓ Yavaş karıştırma havuzları,
- ✓ Kimyasal çöktürme (ön çöktürme) havuzlarından oluşmaktadır.

Hızlı karıştırma havuzları iki adet olup, faydalı hacimleri  $50 \text{ m}^3$  ve bekleme süreleri 10 dakikadır. pH metreye bağlı olarak ilk havuza %15'lik kireç çözeltisi dozlanmakta ve pH 8,0'e yükseltilmektedir. İkinci havuza ise yine pH metreye bağlı olarak %10'luk  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (alüm) çözeltisi dozlanmaktadır. pH farkından meydana gelen çamur floklarının daha sıkı bağlarla bağlanabilmesi ve çamur floklarının daha da çökebilir form kazanması için yavaş karıştırma havuzunda %0,1'lik anyonik polielektrolit (APE) çözeltisi dozlanmaktadır. İkinci yavaş karıştırma havuzunda ise dozlanan APE çözeltisinin daha iyi karışmasını sağlamak amacıyla sadece karıştırma işlemi yapılmaktadır. Yavaş karıştırma havuzlarının her birinin faydalı hacmi  $90 \text{ m}^3$  olup, bekleme süreleri 19 dakikadır. Hızlı ve yavaş karıştırma havuzlarının her birinde mekanik karıştırıcılar mevcut olup, yapılan dozlamaların daha etkin olabilmesi için dozlama yapıldığı sürece karıştırma işlemi devam etmektedir. Şekil 3.9.'da hızlı ve yavaş karıştırma havuzuna ait resim görülmektedir.



Şekil 3.9. KOS AAT hızlı ve yavaş karıştırma havuzu

Dağıtım yapısı aracılığıyla, atıksu, kimyasal çöktürme havuzuna alınır. Burada oluşan çamur flokları dibe doğru çökelirken, çamurdan ayrılan atıksu savaklardan taşırılarak bir sonraki aşamaya alınır. Kimyasal çöktürme havuzları iki adet olup, her birisinin faydalı hacmi  $530 \text{ m}^3$ , bekleme süresi 3,6 saat ve yüzey yükleri  $20 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{gün}$ 'dür. Şekil 3.10.'da ise kimyasal çöktürme havuzlarına ait resim görülmektedir.



Şekil 3.10. KOS AAT kimyasal çöktürme havuzu

### 3.1.2.3. Biyolojik arıtma üniteleri

- ✓ Anoksik selektör havuzu,
- ✓ Havalandırma havuzu,
- ✓ Biyolojik çöktürme (son çöktürme) havuzu ünitelerinden oluşmaktadır.

Kimyasal arıtma çıkışında tekrar dağıtım yapısı ile birleştirilen atıksu anoksik selektör havuzuna alınmaktadır. Burada amaç, atıksu içerisinde yüksek olması durumunda fosfor ve azot giderimi sağlamaktır. Fosfor giderimi için atıksuya diamonyum fosfat (DAP) çözeltisi dozlanmakta, ayrıca ihtiyaç olması halinde havuz içerisinde anoksik bir bölge oluşturularak, denitrifikasyon işlemi ile atıksudan azot

giderimi sağlanmaktadır. Azot ve fosfor gideriminin yapılmadığı zamanlarda ise havuz tabanına yerleştirilen difüzörler yardımıyla havuzun ön havalandırma havuzu olarak çalışması sağlanmaktadır. Anoksik selektör havuzunun faydalı hacmi 604 m<sup>3</sup> olup, bekleme süresi 2 saattir. Şekil 3.11'de anoksik selektör havuzuna ait resim görülmektedir.



Şekil 3.11. KOS AAT anoksik selektör havuzu

Havalandırma havuzlarında biyolojik arıtma işlemine tabi tutulan atıksu, aktif çamur bakterileri ile temas ettirilerek biyolojik olarak arıtılmaktadır. Burada aerobik proses için gerekli olan oksijen miktarı oksijen metreler aracılığıyla ölçülmekte ve ihtiyaç kadar oksijen blowerlardan sağlanmaktadır. Ayrıca çökme olmaması için her bir havuzda ikişer adet olmak üzere dört adet muz kanatlı, düşük devirli dalgıç tip karıştırıcı mevcuttur. Havalandırma havuzlarının faydalı hacmi 4101 m<sup>3</sup> olup, pik debide bekleme süresi 28 saattir. Şekil 3.12.'de havalandırma havuzlarına ait resimler görülmektedir.





**Şekil 3.12.** KOS AAT havalandırma havuzu

Biyolojik çöktürme havuzlarına alınan atıksu burada tekrar çökeltim işlemine tabi tutulmakta, oluşan çamur ile atıksuyun birbirinden ayrılması sağlanmaktadır. Sistemde oluşan çamur %100 oranında anoksik selektör havuzuna geri devir ettirilerek sistemin devamlılığı sağlanmakta, oluşan fazla çamur ise çamur pompaları aracılığıyla çamur dengeleme havuzuna aktarılmaktadır. Biyolojik çöktürme havuzlarının her birisinin faydalı hacmi  $876 \text{ m}^3$  olup, bekleme süresi 6 saattir. Şekil 3.13.'de biyolojik çöktürme havuzuna ait resim yer alırken, Şekil 3.14.'te biyolojik arıtma üniteleri görülmektedir.



Şekil 3.13. KOS AAT biyolojik çöktürme havuzu



Şekil 3.14. KOS AAT biyolojik arıtma üniteleri

### 3.1.2.4. İleri arıtma üniteleri

- ✓ Klorlama ünitesi,
- ✓ Kum filtresi,
- ✓ Aktif karbon filtresi ünitelerinden oluşmaktadır.

Biyolojik çöktürme havuzunda çıkan atıksular tesis çıkış debimetre rögarında toplanmakta ve tesis çıkışında kanal tipi elektromanyetik debimetre ile son kez debi ölçümü yapılmaktadır. Buradan klor temas havuzuna alınan atıksu Sodyum Hipoklorit (NaOCl) ile işleme tabi tutularak dezenfeksiyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Klor temas havuzunun faydalı hacmi 45 m<sup>3</sup> olup, bekleme süresi 30 dakikadır. Bu sürenin sonunda atıksular deşarj pompaları aracılığıyla deşarj edilmektedir. Şekil 3.15.'de klorlama ünitesine ait resim görülmektedir.



Şekil 3.15. KOS AAT klorlama ünitesi

Çalışma basıncı 4 bar, filtre alanı 8,5 m<sup>2</sup> ve debisi 85 m<sup>3</sup>/saat olan yatay kum filtresi mevcuttur. Atıksular ihtiyaç olması halinde kum filtresinden geçirilerek aktif karbon filtresi için hazır hale getirilmektedir. Aktif karbon filtresi, tıpkı kum filtresi gibi eş özelliklere sahip olmakla birlikte dolgu malzemesi olarak aktif karbon seçilmiştir ve ileri arıtımın bir diğer adımını oluşturmaktadır. Şekil 3.16.'da kum ve aktif karbon filtrelerine ait resimler görülmektedir.



Şekil 3.16. KOS AAT kum ve aktif karbon filtresi

### 3.1.2.5. Çamur susuzlaştırma üniteleri

- ✓ Çamur dengeleme havuzu,
- ✓ Çamur yoğunlaştırma havuzu,
- ✓ Dekantör ünitelerinden oluşmaktadır.

Kimyasal ve biyolojik çöktürme havuzlarında çökelen çamurlar, çamur pompaları ile çamur dengeleme havuzuna iletilmekte ve burada homojen bir karışım elde edilene kadar mekanik karıştırıcı ile karıştırılmaktadır. Gerek olması halinde havuza kireç çözeltisi dozlanarak çamurun % katı madde oranı artırılabilir.

Dekantöre giden çamur debisini %25 oranında azaltmak için dip sıyrıcı, yüzey savaklı yoğunlaştırma havuzu kullanılmaktadır. Havuz tabanında yer alan mono pompalar vasıtasıyla çamur dekantöre verilerek susuzlaştırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Çamur yoğunlaştırma havuzu hacmi 285 m<sup>3</sup> olup, bekleme süresi 24 saattir. Şekil 3.17.'de çamur dengeleme ve çamur yoğunlaştırma havuzlarına ait resim görülmektedir.



**Şekil 3.17.** KOS AAT çamur dengeleme ve çamur yoğunlaştırma havuzu

Çamur yoğunlaştırma havuzundan alınan çamur dekantöre verilmekte ve %1'lik katyonik polielektrolit (KPE) çözeltisi dozlanarak, dekantör çıkışında %25-30 oranında katı madde içeriği sağlanmaktadır. Şekil 3.18.'de dekantöre ait resimler yer almaktadır.

Dekantörden alınan çamur keki ise çamur toplama sahalarında biriktirilmektedir. Şekil 3.19.'da toplama sahasında biriktirilen arıtma çamuruna ait resim görülmektedir.



**Şekil 3.18.** KOS AAT dekantör



**Şekil 3.19.** KOS AAT arıtma çamuru

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Çamur numunelerinin bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin analizi

#### 3.2.1.1. Çamur numunelerinin nem, kuru madde, uçucu katı madde, sabit katı madde miktarlarının analizi

Numunelerin nem içeriği ve kuru madde miktarının belirlenmesi için, etüvde  $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de bekletilip, oda sıcaklığında desikatörde sabit tartıma getirilen kroze, numuneden 1 g tartılarak  $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de etüvde kurutulup, desikatörde soğutulduktan sonra kütlesi belirlenmiştir.

Kurutma işlemi 30 dakika için tekrarlanmış ve kütleler arasındaki fark 2 mg'dan küçük olana kadar bu işleme devam edilmiştir. Numunenin katı madde miktarı ve %nem muhtevası aşağıda verilen formüller kullanılarak hesaplanmıştır (EN 14735, 2003).

$$MD = MB - ME \quad (3.1)$$

$$MW = MM - ME \quad (3.2)$$

$$DR = 100 \times (MD / MW) \quad (3.3)$$

$$MC = 100 \times (MW - MD) / MW \quad (3.4)$$

*ME* : 1 saat süresince  $105\pm 5^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta etüvde bekletilen boş kroze ağırlığı, mg

*MM* : Numune + kroze ağırlığı, mg

*MB* : 1 saat süresince  $105\pm 5^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta bekletilen numune + kroze ağırlığı, mg

*MW* : Numune ağırlığı, mg

*MD* : Kuru numune ağırlığı, mg

*DR* : Kuru madde, mg

*MC* : %nem muhtevası

Şekil 3.20-3.21'de numunelerin nem ve kuru madde miktarının belirlenmesi için yapılan çalışmalar sırasında çekilen resimler görülmektedir.



Şekil 3.20. Çamur numunelerinin desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulması



Şekil 3.21. Desikatörde soğutulan krozenin hassas terazide tartılması



Numunelerin uçucu katı madde ve sabit katı madde miktarlarını belirlemek için, katı madde miktarı belirlenen numune  $550\pm 50^{\circ}\text{C}$ 'deki kül fırınında 20 dakika bekletilmiş ardından desikatörde soğutulduktan sonra hassas terazide ağırlığı tespit edilmiştir. Bulunan değerler yardımıyla uçucu katı madde ve sabit katı madde miktarları aşağıda verilen formüller kullanılarak hesaplanmıştır (APHA, 1992).

$$U\text{çucu katı madde} = \frac{A - B}{A} \quad (3.5)$$

$$Sabit katı madde = \frac{B}{A} \quad (3.6)$$

$A$  : Kül fırınına konmadan önceki katı madde ağırlığı (dara çıkartılmış ağırlık), mg

$B$  : Kül fırınından sonraki katı madde ağırlığı (dara çıkartılmış ağırlık), mg

Şekil 3.22-3.24'de numunelerin uçucu katı madde ve sabit katı madde miktarının belirlenmesi için yapılan çalışmalar sırasında çekilen resimler görülmektedir.



Şekil 3.22. Çamur numunelerinin kül fırınına yerleştirilmesi-1



Şekil 3.23. Çamur numunelerinin kül fırınına yerleştirilmesi-2



Şekil 3.24. Kül fırınından çıkmış ve desikatörde soğutulmuş çamur numuneleri

### 3.2.1.2. Çamur numunelerinin pH, Eİ, KOİ, TOK değerlerinin belirlenmesi

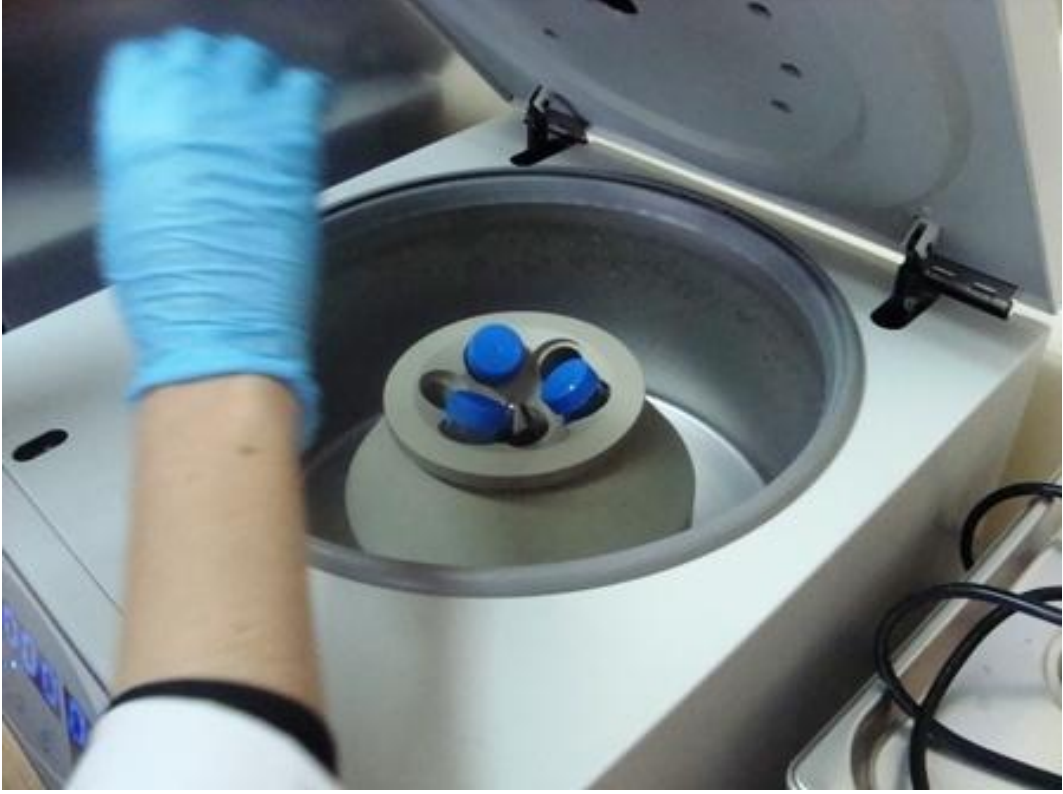
1/10 (katı/sıvı) oranında katı numuneden eluat hazırlanmıştır. Eluat hazırlanması için 1 L'lik şişenin içerisine 100 g (kuru ağırlık) çamur konularak üzerine %nem içeriğine göre hesaplanan saf su miktarı konulmuştur. Ağzı kapatılan şişe oda sıcaklığında 24 saat, 214 rpm hızda çalkalanmıştır. Sonra eluatın sedimentasyon ve santrifüj işlemleri gerçekleştirilerek 0.45 µm gözenek çapına sahip filtre ile vakum filtrasyon düzeneğinde numunenin süpernatant kısmı filtre edilmiştir. (EN 14735, 2003; EN 12457-2, 2002).

Hazırlanan eluatın pH, Eİ, KOİ ve TOK içerikleri tespit edilmiştir. pH değerleri pH metre ile, elektriksel iletkenlik değerleri ise elektriksel iletkenlik ölçer ile tespit edilmiştir. KOİ ve TOK değerleri WTW spektrofleks 6600 marka spektrofotometre ile Merck marka KOİ (WTW 114541, 25-1500 mg/L) ve TOK (WTW 114879, 50-800 mg/L) hazır test kitleri kullanılarak belirlenmiştir.

Şekil 3.25-3.27'de eluat hazırlaması aşamasında çekilen resimler görülmektedir.



Şekil 3.25. Çalkalayıcıya yerleştirilmiş çamur numuneleri



Şekil 3.26. Santrifüjleme işlemi için çamur numunelerinin yerleştirilmesi



Şekil 3.27. Santrifüjleme işleminin gerçekleştirildiği cihaz

### 3.2.2. Çamur numunelerinin ağır metal analizleri

Ağır metal analizleri için 5-6 g çamur numunesi alüminyum folyoya serilerek etüvde 105°C'de tamamen kuruyuncaya kadar bekletilmiştir. Numunelerin çözünürleştirilmesi aşamasında mikrodalga enerjisi ile parçalama yöntemi kullanılmıştır. Numunelere uygulanacak mikrodalga enerjisi ile parçalama metotlarının verimliliği Standart Referans Maddesi SRM 1646a (sediment) ile kontrol edilmiştir.

Mikrodalga parçalanma yöntemi için mikrodalga sisteminin kapsülüne tartılan 0.5 g'lık kurutulmuş numune üzerine 9.5 mL HNO<sub>3</sub> ve 0.5 mL HCl karışımı ilave edilmiş ve mikrodalga sistemine yerleştirilmiştir. 1600W, 15 dakikada 200°C'ye ulaşma, 200°C'de 10 dakika bekleme sıcaklık programı ile parçalanmıştır. Parçalanma işlemi bitince kapsüllerin kapakları çeker ocakta dikkatlice açılmıştır. Hunilere kağıt filtre takılarak numuneler 25 mL'lik balon jodelere süzülerek üzerleri saf su ile 25 mL'ye tamamlanmıştır.

Şekil 3.28-3.30'da çamur örneklerinin ağır metal analizlerine hazırlık aşamasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.



Şekil 3.28. Çamur numunelerinin mikrodalga sistemine yerleştirilmesi



Şekil 3.29. Çalışmada kullanılan CEM, MarsXpress mikrodalga fırını



Şekil 3.30. Çamur numunelerinin filtre kağıdından süzülmesi

Kantitatif analizler alev, grafit, hidrür ünitelerine sahip Perkin Elmer marka atomik absorpsiyon spektrofotometre (AAS-800) ile gerçekleştirilmiştir.

Ağır metallerin tayin edilebilmesi için AAS sisteminde kullanılan dalga boyları Pb için 283.3, Cr için 357.9, Cu için 324.8, Cd için 228.8, Zn için 213.9, Ni için 232.0, Hg için 253.7 nm'dir. Alev-AAS sisteminde alev ortamı hava-asetilen veya nitroz oksit-asetilen gazları kullanılarak oluşturulmuştur. Hg analizleri hidrür sistemi ile AAS'de tespit edilmiştir. Şekil 3.31'de ağır metal analizlerinin gerçekleştirildiği AAS cihazı görülmektedir.



Şekil 3.31. Ağır metal analizlerinin gerçekleştirildiği AAS cihazı

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Çamur Numunelerinin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Analiz Sonuçları

Çizelge 4.1.'de çamur numunelerinin % nem, kuru kütle, uçucu katı madde, sabit katı madde değerleri, Çizelge 4.2.'de ise pH, Eİ, KOİ, TOK değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Çamur numunelerinin %nem, kuru kütle, uçucu katı madde, sabit katı madde değerleri

Aylar	Nem	Kuru kütle	Uçucu katı madde	Sabit katı madde
Ağustos 2011	73.07	26.93	25.69	74.31
Eylül 2011	77.92	22.08	29.62	70.38
Ekim 2011	72.28	27.72	50.13	49.87
Aralık 2011	76.94	23.06	57.34	42.66
Ocak 2012	78.72	21.28	47.68	52.32
Şubat 2012	76.91	23.09	51.17	48.83
Mart 2012	78.34	21.66	50.41	49.59
Nisan 2012	75.21	24.79	32.41	67.59
Mayıs 2012	74.49	25.51	43.27	56.73
Haziran 2012	81.71	18.29	44.42	55.58
Temmuz 2012	67.62	32.38	25.93	74.07

Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi, çamur numunelerinin nem oranları %67.62-81.71 aralığında, kuru kütle değerleri %18.29-%32.38 aralığında tespit edilmiştir. En düşük nem içeriği %67.62 ile Temmuz ayında, en yüksek nem içeriği %81.71 ile Haziran ayında elde edilmiştir. En düşük kuru kütle içeriği %18.29 ile Haziran ayında, en yüksek kuru kütle içeriği %32.38 ile Temmuz ayında elde edilmiştir. Kuru kütle oranı yüksek olan çamurların fiziksel yapıları iyi olacağı için, depolama, taşıma, arazide kurutma ya da tarım alanlarında uygulanması daha kolay olmaktadır.

Çamur numunelerinin %uçucu katı madde (%organik madde) değerleri %25.69-57.34 aralığında tespit edilmiştir. En düşük değer organik madde içeriği %25.69 ile Ağustos ayında alınan numunede ve en yüksek %57.34 ile Aralık ayında alınan numunede tespit edilmiştir. %sabit katı madde değerleri ise %42.66-%74.31 aralığında tespit edilmiştir. En düşük sabit katı madde içeriği %42.66 ile Aralık ayında ve en yüksek sabit katı madde içeriği ise %74.31 ile Ağustos ayında tespit edilmiştir.



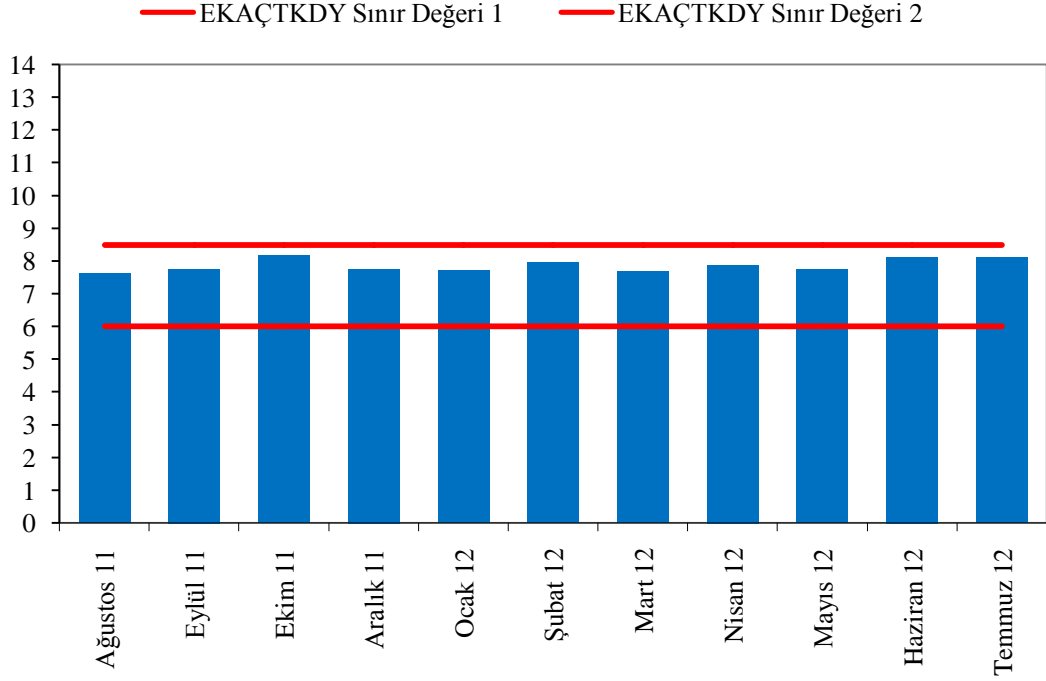
Evsel ve kentsel arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına dair yönetmelikte (EKAÇTKDY) organik madde içeriği %40'dan az olan stabilize arıtma çamurlarının toprağa uygulanamayacağı belirtilmektedir. Çizelge 4.1. incelendiğinde Ağustos, Eylül, Nisan ve Temmuz aylarında çamur numunelerinin organik madde değerlerinin %40'dan düşük olduğu görülmektedir. Konya Organize Sanayi Bölgesinin karma OSB olması, bazı işletmelerin sürekli deşarj yapmamaları, kesikli deşarj yapmaları, düşük çıktığı belirlenen aylarda numune almadan önce tesise gelen endüstriyel karakterli atıksu miktarının evsel karakterli atıksu miktarına nazaran fazla olduğu ve bu nedenle ilgili aylarda organik madde değerlerinin sınır değerlerin altında çıktığı düşünülmüştür.

**Çizelge 4.2.** Çamur numunelerinin pH, Eİ, KOİ, TOK değerleri

Aylar	pH	Eİ ( $\mu\text{S/cm}$ )	KOİ (mg/L)	TOK (mg/L)
Ağustos 2011	7.62	1277	413	216
Eylül 2011	7.75	2030	412	216
Ekim 2011	8.17	1886	559	270
Aralık 2011	7.76	3550	>1500	>800
Ocak 2012	7.72	1880	889	487
Şubat 2012	7.95	1746	559	392
Mart 2012	7.68	2370	436	228
Nisan 2012	7.88	2011	495	245
Mayıs 2012	7.73	1927	667	341
Haziran 2012	8.12	2380	549	355
Temmuz 2012	8.10	2015	691	404

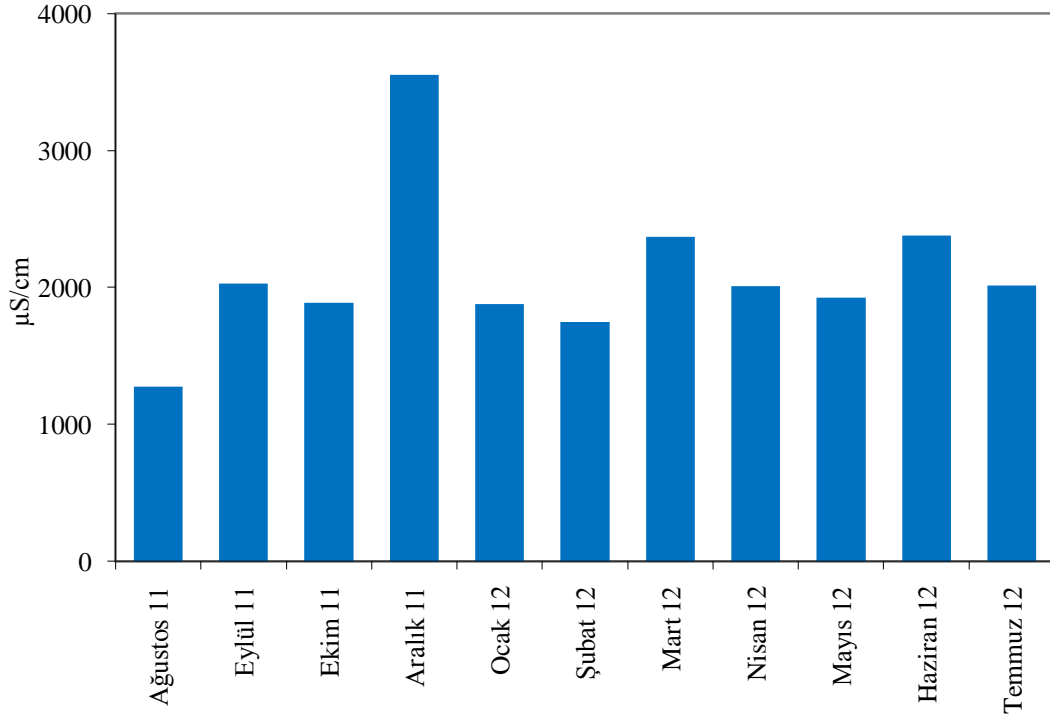
Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi çamur numunelerinin pH değerleri 7.62-8.17, Eİ değerleri 1277-3550  $\mu\text{S/cm}$  arasında tespit edilmiştir. Aralık ayı hariç çamur numunelerinin KOİ değerleri 412-889 mg/L ve TOK değerleri 216-487 mg/L arasında değişirken, Aralık ayında alınan çamur numunesinin KOİ değeri >1500 mg/L ve TOK değeri >800 mg/L olarak bulunmuştur.

Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de sırasıyla çamur numunelerinin pH, Eİ, KOİ, TOK değerlerinin grafiksel gösterimi verilmiştir.



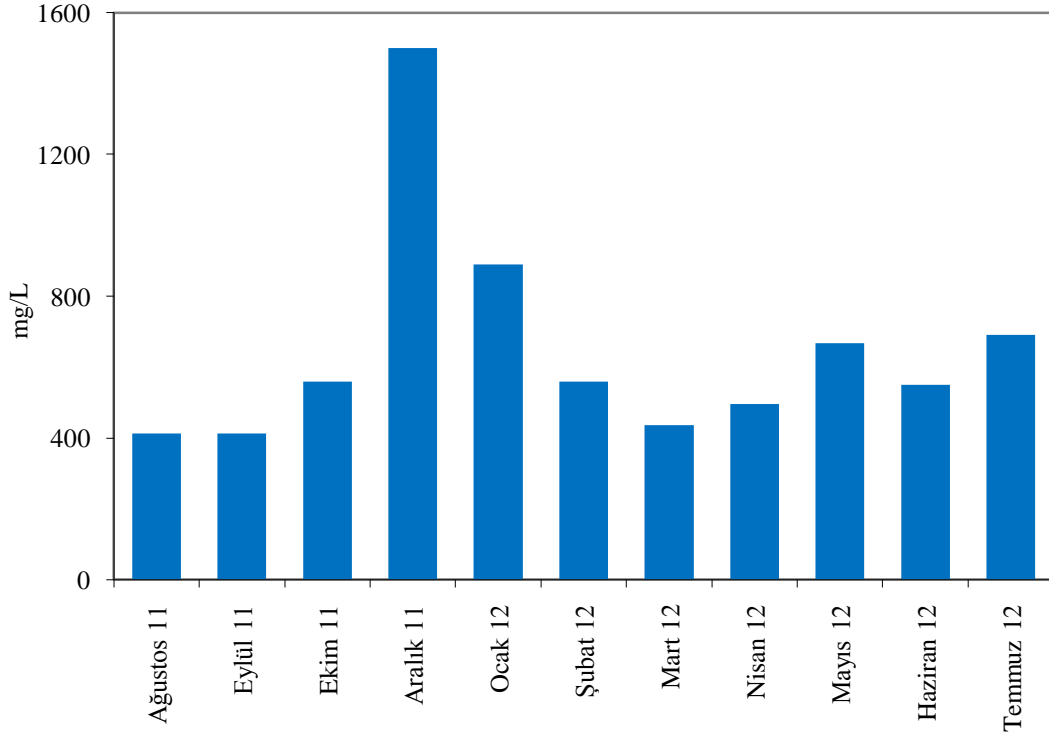
**Şekil 4.1.** Çamur numunelerinin pH değerlerinin grafiksel gösterimi

Çamurun pH değeri, kimyasal ve mikrobiyal reaksiyonları etkilediğinden ve düşük pH değerlerinde metallerin çözünürlüğü arttığı için önemlidir. EKAÇTKDY’te toprağa uygulanacak stabilize arıtma çamurunun pH değeri 6.0-8.5 arasında olması gerektiği belirtilmiştir. Şekil 4.1. incelendiğinde çamur numunelerin pH değerlerinin yönetmelikte belirlenen değerler arasında olduğu görülmektedir.

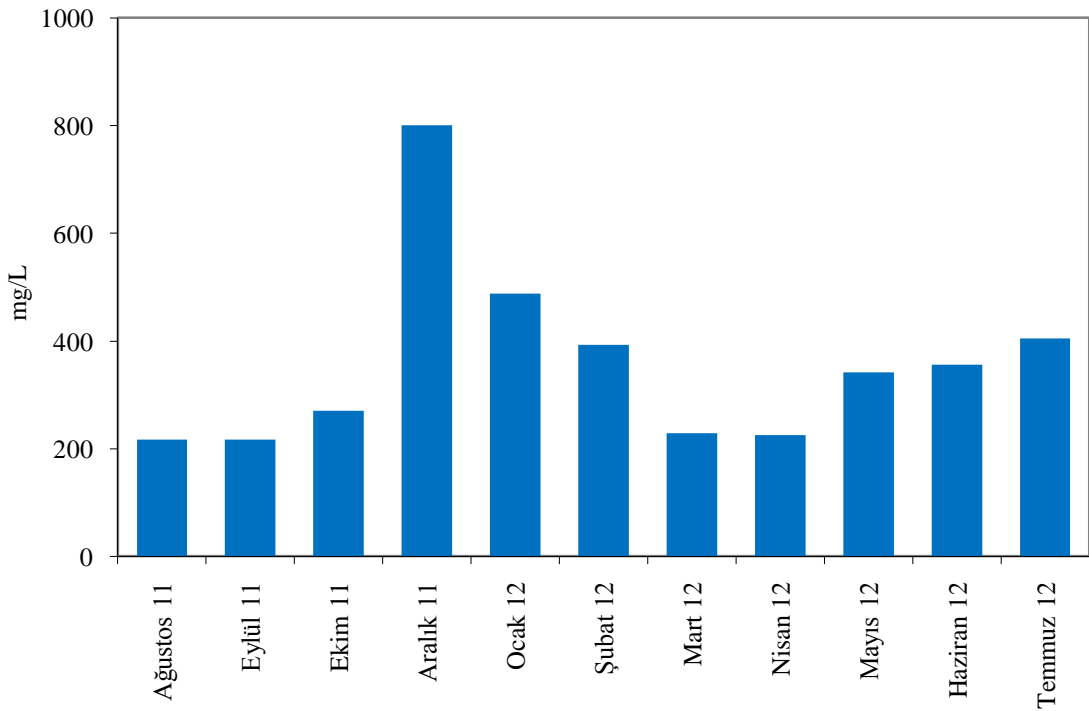


**Şekil 4.2.** Çamur numunelerinin Eİ değerlerinin grafiksel gösterimi

Çamur numunelerinin Eİ değerleri incelendiğinde, Aralık ayı numunesinin Eİ değerinin, diğer numunelerden yüksek olduğu görülmüştür. Evsel ve kentsel arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına dair yönetmelikte Eİ değeri ile ilgili bir sınırlama verilmemiştir. Aynı zamanda Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'nde ve eklerinde Eİ ile ilgili herhangi bir limit değeri verilmemiştir. Eİ ile ilgili yönetmeliklerde yer alan sınır değerler arıtılmış atıksuların sulama suyu olarak kullanılması halinde uyulması gereken limit değerleri belirtmektedir.



Şekil 4.3. Çamur numunelerinin KOİ değerlerinin grafiksel gösterimi



Şekil 4.4. Çamur numunelerinin TOK değerlerinin grafiksel gösterimi

KOİ ve TOK grafikleri incelendiğinde, Aralık ayında alınan çamur numunesinin KOİ değeri  $>1500$  mg/L ve TOK değerinin  $>800$  mg/L çıktığı, bu sonuçların diğer

aylarda alınan çamur numunelerinden oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Endüstriyel atıksuların sabit debili olmayışı ve ani deşarjların olması, Aralık ayı numunesi alınmadan bir veya birkaç gün önce gıda sanayi işletmelerinin yüksek KOİ içerikli atıksularını, kontrolsüz ve herhangi bir ön arıtma işlemine tabii tutmadan deşarj yapmış olabileceği, bu nedenle KOİ ve TOK değerlerinin yüksek çıktığı düşünülmüştür.

#### 4.2. Standart Referans Madde Analiz Sonuçları

Numunelerin parçalanmasında kullanılacak mikrodalga parçalama metodunun verimliliği SRM 1646a (sediment) ile kontrol edilmiştir. Mikrodalga ile parçalanan SRM'lerin metal tayinleri ICP-MS (Perkin Elmer) ile yapılmıştır. SRM 1646a referans maddesinin sertifika konsantrasyonları ve tayin edilen ağır metal konsantrasyonları Çizelge 4.3'de verilmiştir. Cr, Cu, Pb, Zn metallerine ait geri kazanım değerleri SRM 1646a için %92-98 aralığında tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar uygulanan mikrodalga ile parçalama metodlarının yeterli verimlilikte olduğunu göstermiştir.

**Çizelge 4.3.** SRM 1646a referans maddesinin analiz sonuçları

Ağır Metal	Sertifika konsantrasyonu, mg/kg	Tayin edilen konsantrasyon, mg/kg, (n=4)	Geri Kazanım, % (n=4)
Cr	40.9 ± 1.9	39.0 ± 5.8	98 ± 14
Cu	10.01 ± 0.34	9.60 ± 1.55	95 ± 16
Pb	11.7 ± 1.2	10.87 ± 1.17	92 ± 10
Zn	48.9 ± 1.6	45.49 ± 6.04	93 ± 13

#### 4.3. Çamur Numunelerinin Ağır Metal Analiz Sonuçları

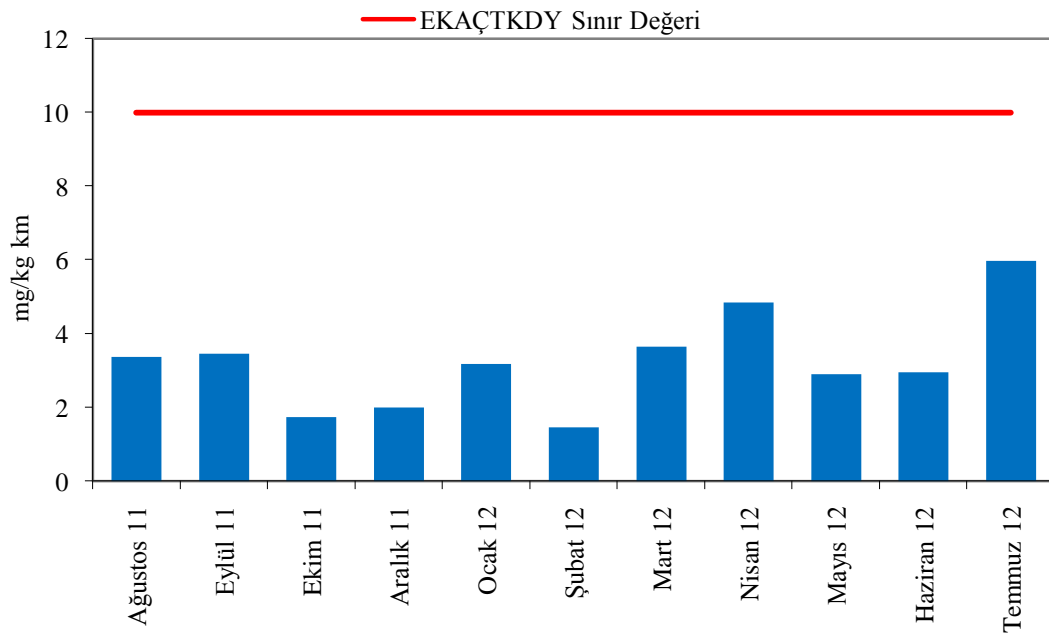
Çizelge 4.4'de çamur numunelerinde tespit edilen ağır metal değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Çamur numunelerinde tespit edilen ağır metal değerleri (mg/kg.km)

Aylar	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
Ağustos 2011	3.363	1441.823	933.466	165.966	55.392	7693.925	169.435
Eylül 2011	3.453	1073.232	333.127	164.296	41.899	5591.631	152.649
Ekim 2011	1.739	1322.947	370.097	55.604	50.435	5922.705	169.807
Aralık 2011	2.001	2801.042	1094.361	87.707	65.435	6276.754	144.705
Ocak 2012	3.185	2288.722	309.427	95.361	90.683	5245.869	183.506
Şubat 2012	1.458	1211.893	185.077	60.736	46.387	3781.521	267.501
Mart 2012	3.641	2189.038	356.574	78.479	77.642	21855.934	82.070
Nisan 2012	4.839	948.292	104.554	52.751	48.672	4274.194	51.613
Mayıs 2012	2.907	812.8	151.112	58.089	61.914	4853.631	80.120
Haziran 2012	2.945	1277.489	189.623	82.859	55.468	6989.005	148.145
Temmuz 2012	5.978	329.734	54.763	6.942	45.796	2968.569	56.980

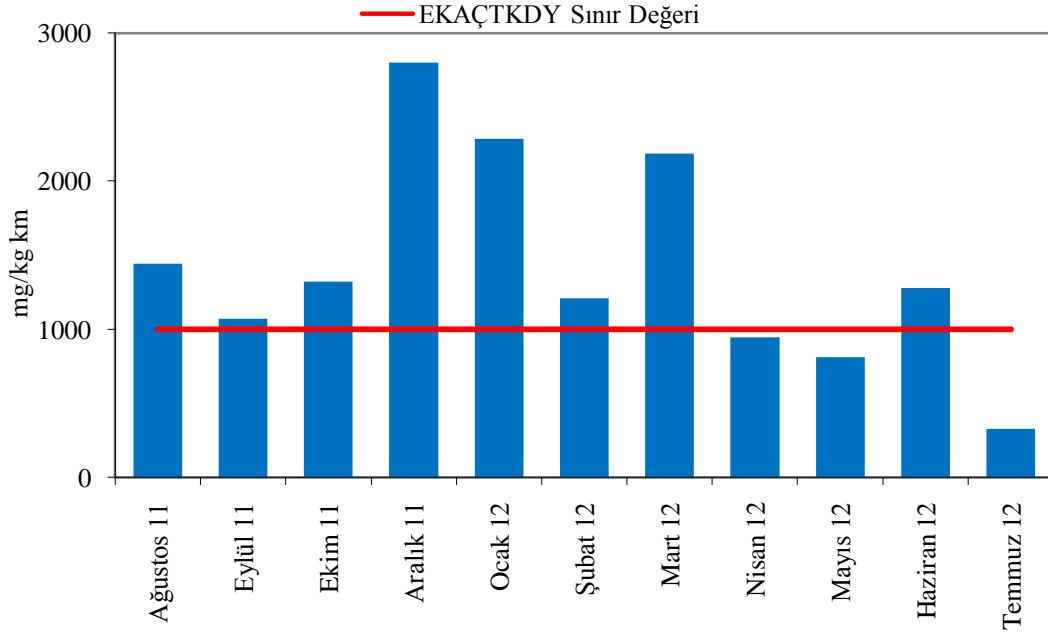
Cd miktarı 1.458-5.978 mg/kg.km, Cr miktarı 329.734-2801.042 mg/kg.km, Cu miktarı 54.763-1094.361 mg/kg.km, Ni miktarı 6.942-165.966 mg/kg.km, Pb miktarı 41.899-90.683 mg/kg.km, Zn miktarı 2968.569-21855.934 mg/kg.km, Hg miktarı 51.613-267.501  $\mu\text{g}/\text{kg.km}$  aralığında tespit edilmiştir.

Şekil 4.5'de çamur örneklerinde tespit edilen Cd değerlerinin grafiksel gösterimi verilmiştir.

**Şekil 4.5.** Çamur örneklerinde tespit edilen Cd değerleri

Numunelerin Cd miktarı en düşük 1.458 mg/kg.km değeri ile Şubat ayında, en yüksek değeri ise 5.978 mg/kg.km değeri ile Temmuz ayında bulunmuştur. Cd için EKAÇTKDY'teki limit değer 10 mg/kg.km olup, bulunan değerler limit değerlerden oldukça düşük çıkmıştır.

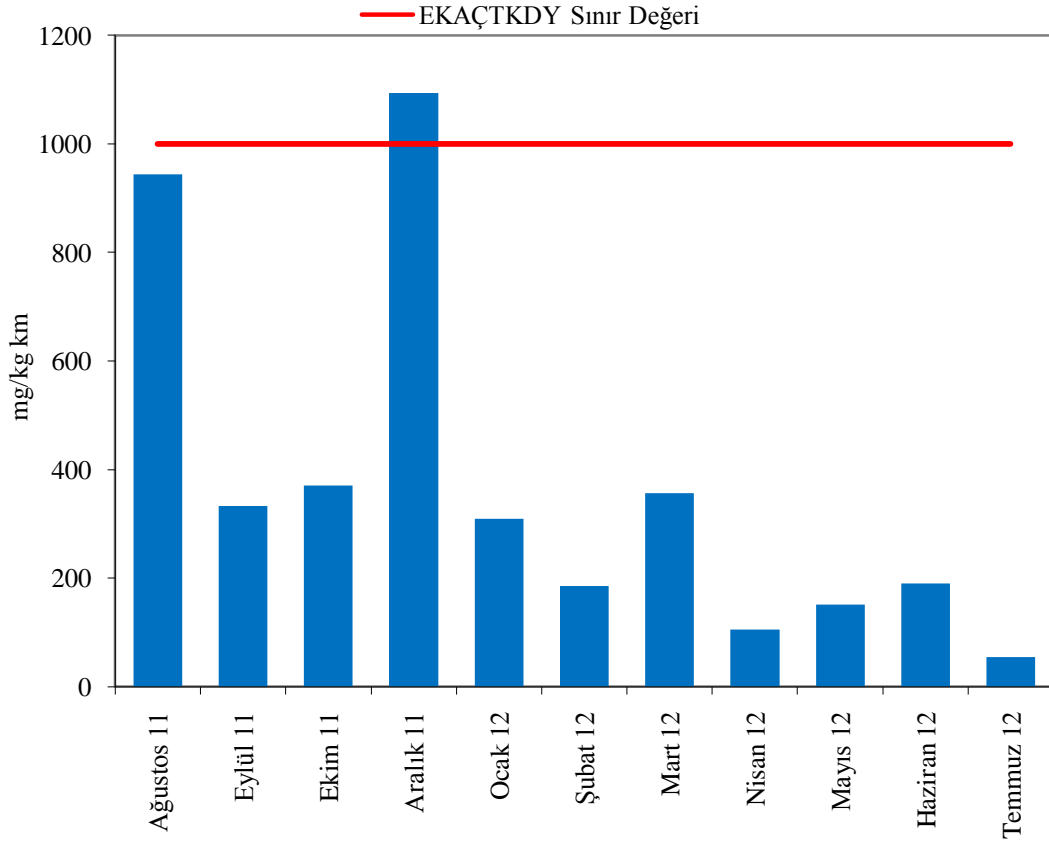
Şekil 4.6'da çamur örneklerinde tespit edilen Cr değerlerinin grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.6. Çamur örneklerinde tespit edilen Cr değerleri

Cr miktarı en düşük 329.734 mg/kg.km olarak Temmuz ayında ve en yüksek 2801.042 mg/kg.km olarak Aralık ayında bulunmuştur. Cr için EKAÇTKDY'teki limit değer 1000 mg/kg.km olup Nisan, Mayıs, Temmuz ayları hariç diğer aylarda alınan numunelerde bulunan değerlerin limit değeri aştığı tespit edilmiştir. Bölgede bulunan kağıt, petrol, kimya, metal sanayi sektörlerinin atıksu deşarjlarından dolayı Cr konsantrasyonunun yüksek çıkmış olabileceği düşünülmüştür

Şekil 4.7'de çamur örneklerinde tespit edilen Cu değerlerinin grafiksel gösterimi verilmiştir.

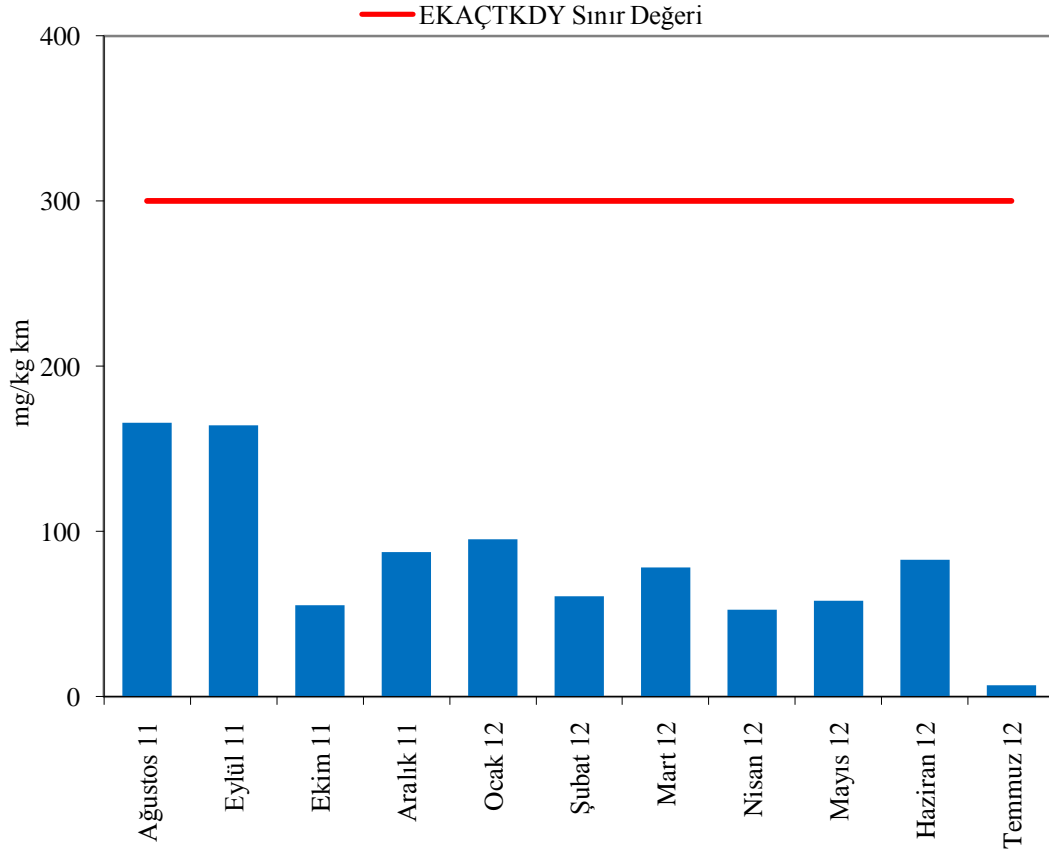


**Şekil 4.7.** Çamur örneklerinde tespit edilen Cu değerleri

Cu miktarı en düşük 54.763 mg/kg.km değeri ile Temmuz ayında ve en yüksek 1094.361 mg/kg.km değeri ile Aralık ayında tespit edilmiştir. Cu için EKAÇTKDY’teki limit değer 1000 mg/kg.km olup Aralık ayı numunesinin limit değerlerden yüksek çıktığı tespit edilmiştir. KOS bölgesinde yer alan metal sanayi işletmelerinin Aralık ayı numunesi alınmadan önce şok deşarj yapmış olabileceği, atıksularını kontrolsüz bir şekilde kanalizasyon sistemine verdiği düşünülmüştür.

Şekil 4.8’de çamur örneklerinde tespit edilen Ni değerlerinin grafiksel gösterimi verilmiştir.

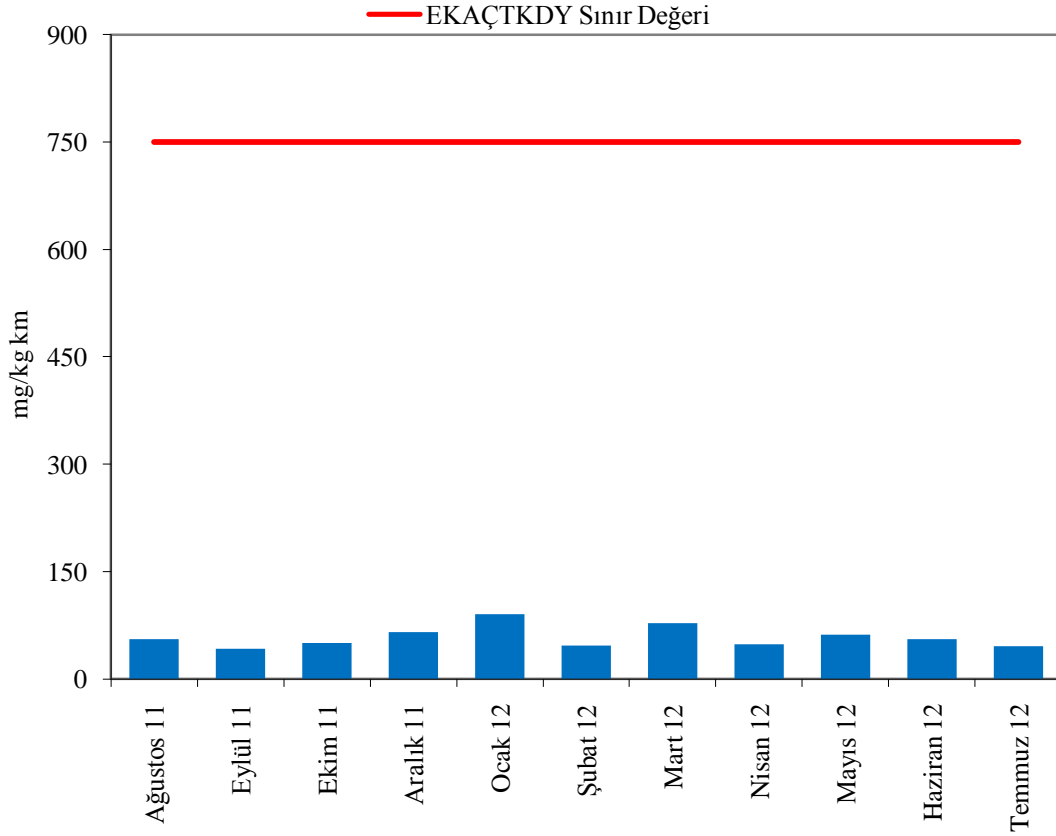




**Şekil 4.8.** Çamur örneklerinde tespit edilen Ni değerleri

Ni konsantrasyonu en düşük 6.942 mg/kg.km olarak Temmuz ayında ve en yüksek 165.966 mg/kg.km olarak Ağustos ayında bulunmuştur. Ni için EKAÇTKDY'teki limit değer 300 mg/kg.km olup çamur örneklerinde tespit edilen Ni miktarlarının limit değerleri aşmadığı tespit edilmiştir.

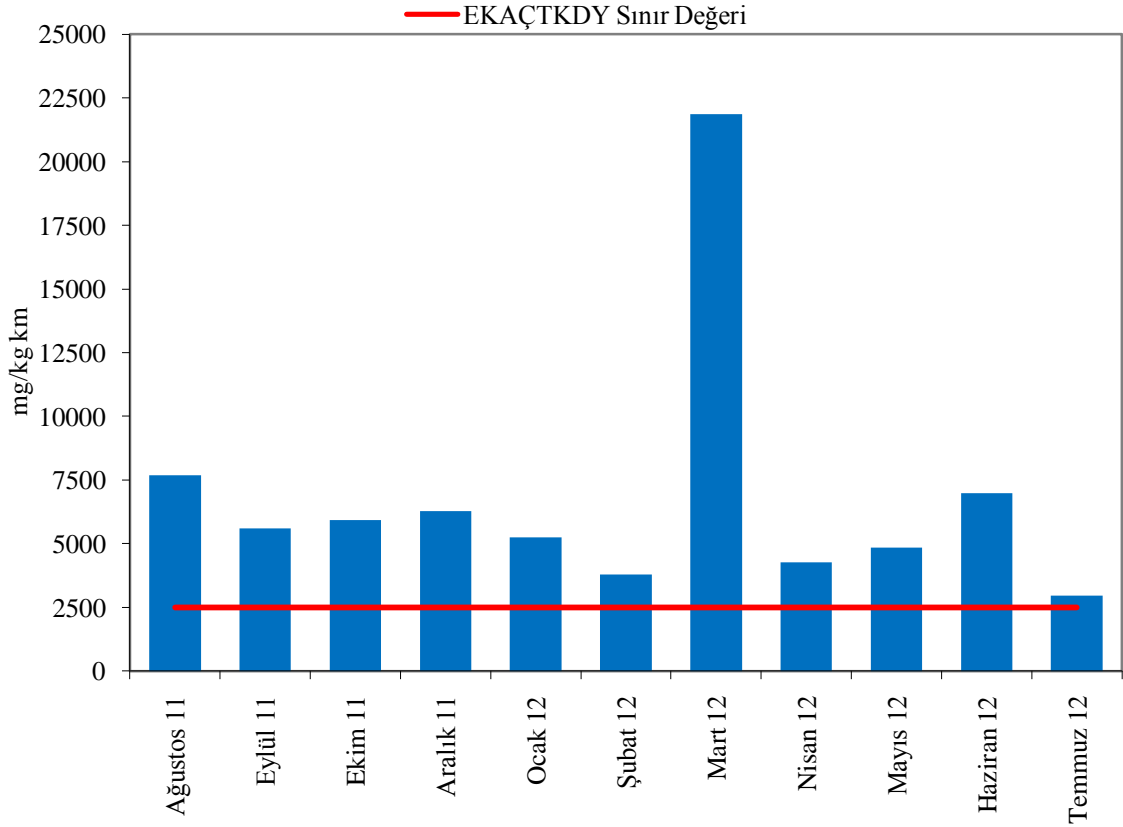
Şekil 4.9'da çamur örneklerinde tespit edilen Pb değerlerinin grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.9. Çamur örneklerinde tespit edilen Pb değerleri

Pb konsantrasyonu en düşük 41.899 mg/kg.kg olarak Eylül ayında ve en yüksek 90.683 mg/kg.km olarak Ocak ayında bulunmuştur. Pb için EKAÇTKDY’teki limit değer 750 mg/kg.km olup bütün numunelerdeki Pb konsantrasyonunun limit değerleri aşmadığı tespit edilmiştir.

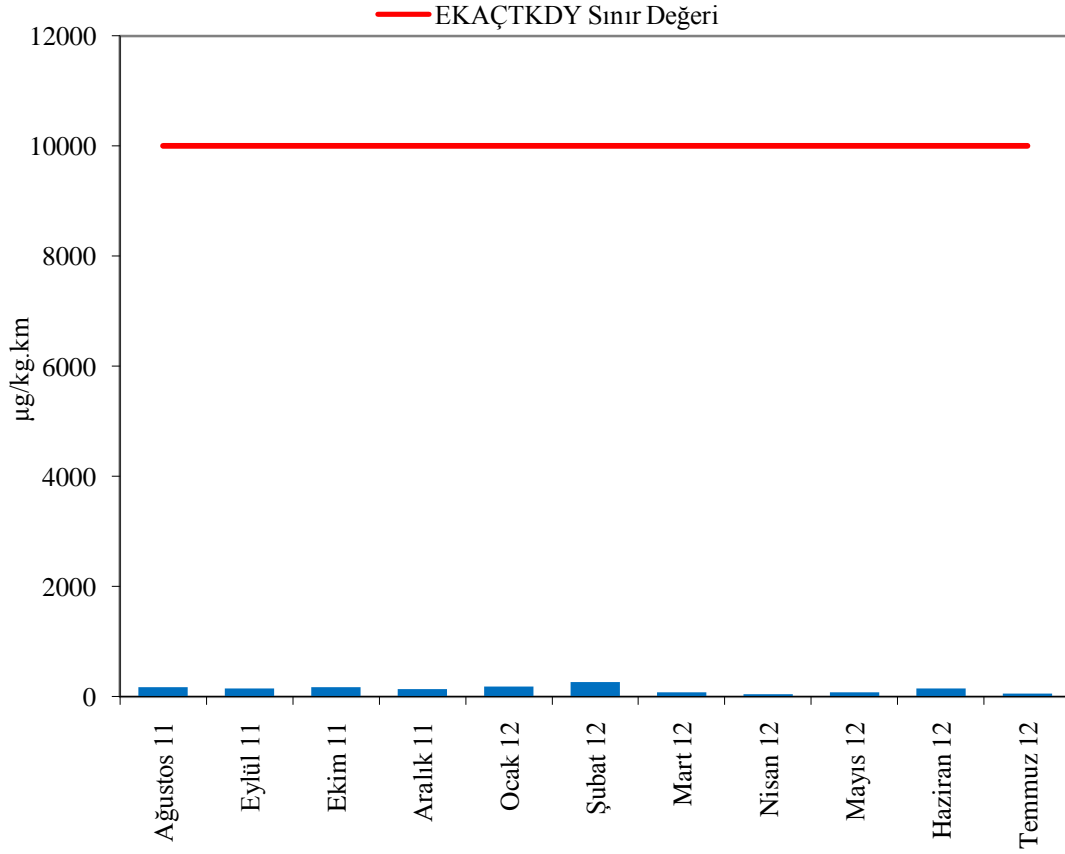
Şekil 4.10’da çamur örneklerinde tespit edilen Zn değerlerinin grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.10. Çamur örneklerinde tespit edilen Zn değerleri

Zn konsantrasyonu en düşük 2,968.569 mg/kg.km olarak Temmuz ayında ve en yüksek olarak 21,855.934 mg/kg.km Mart ayında bulunmuştur. Zn için EKAÇTKDY'teki limit değer 2,500 mg/kg.km olup bütün numunelerin Zn konsantrasyonunun limit değerleri aştığı tespit edilmiştir. Petrol, metal ve kimya sanayi sektörlerinin atıksu deşarjlarından dolayı Zn konsantrasyonunun yüksek olduğu düşünülmüştür.

Şekil 4.11'de çamur örneklerinde tespit edilen Hg değerlerinin grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.11. Çamur örneklerinde tespit edilen Hg değerleri

Hg konsantrasyonu en düşük 51.613 µg/kg.km olarak Nisan ayında ve en yüksek 267.501 µg/kg.km olarak Şubat ayında tespit edilmiştir. Hg için EKAÇTKDY’teki limit değeri 10,000 µg/kg.km olup bulunan değerlerin limit değerlerden oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir. Arıtma çamuru içerisindeki cıvanın yüksek uçuculuk özelliğinden dolayı buharlaşmış olabileceği, bu yüzden ppb düzeylerinde tespit edildiği düşünülmüştür.

Çizelge 4.5.’de farklı araştırmacıların arıtma çamurlarında tespit ettikleri ve bizim bu çalışma sonucunda elde ettiğimiz ağır metal konsantrasyonları verilmiştir. Arıtma çamurlarında tespit edilen metal konsantrasyonları tesise giren atıksuyun özelliklerine ve tesiste kullanılan arıtma teknolojisine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Ayrıca tespit edilen konsantrasyonlar açısından yıllar itibarıyla ve mevsimsel değişimler açısından da salınımlar olduğu belirlenmiştir.

**Çizelge 4.5.** Arıtma çamurlarında tespit edilen ağır metal miktarları (mg/kg km) (Özcan ve ark., 2011)

	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Çin (5 adet AAT)	7.2 - 903.8	-	67 - 659	-	98.4 - 1,270.2	361 - 1105
Çin Shenyang	5	-	170	-	255	290
Çin (12 adet AAT)	2.1 - 23.4	22.2 - 453.2	210.6 - 1,191.3	25.1 - 106.6	41.2 - 452.2	1,406.2 - 3,699.2
Çin (2 adet AAT)	0.54 - 1.74	-	357 - 396	-	57 - 134	1,190 - 1,213
Çin (3 adet AAT)	11.9 - 81.2	28.7 - 460	156.4 - 3,873	22.17 - 523	56.9 - 89.2	1,658 - 15,890
Çin (8 adet AAT)	0.90 - 112.03	61.56 - 1,844.22	120.31 - 2,051.26	15.80 - 233.82	13.58 - 93.73	327.03 - 6,718.87
İspanya (2001-2002)	5.7 - 5.7	751 - 803	368 - 605	169 - 167	96 - 155	8,224 - 8,488
İspanya (4 adet AAT)	1.10 - 18.3	38 - 3,809	146 - 337	17 - 80	43.4 - 251	458 - 1,951
İspanya (2 adet AAT)	2.28 - 2.93	23.9 - 33.2	74.8 - 152	37.2 - 45.5	69 - 194	491 - 1,156
İspanya (7 adet AAT)	1.63 - 2.66	18.8 - 39.9	64.2 - 176	18.6 - 32.1	46.2 - 254	627 - 1,406
İspanya	1.10 - 18.3	38 - 3,809	146 - 204	15 - 29	58 - 250	458 - 871
Polonya (4 adet AAT)	1.9 - 7.6	27.6 - 120	156 - 335	21.7 - 155	37.5 - 59.5	1,015 - 1,385
Danimarka (1987-2002)	0.5 - 16	8 - 108	75 - 515	8 - 141	11 - 420	215 - 1,610
Yunanistan	1 - 10	17 - 370	91 - 1,200	31 - 300	16 - 330	35 - 4,500
Hong Kong (4 adet AAT)	2.23 - 3.65	52.8 - 2,243	329 - 648	52.5 - 202	49.1 - 85.9	1,108 - 4,692

**Çizelge 4.5.** Arıtma çamurlarında tespit edilen ağır metal miktarları (mg/kg km) (Özcan ve ark., 2011) - devamı

	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Slovenya	1.5 - 4.22	408 – 1,235	185 - 695	372 - 995	88 - 175	1,025 – 2,650
Başarakavak atıksu arıtma tesisi, Konya	<dl - 24.48	10.07 - 115.18	19.15 - 78.52	<dl - 20.56	1.15 - 10.97	104.18 - 448.44
Konya kentsel atıksu arıtma tesisi, Konya	<dl - 3.28	76.08 - 242.35	78.55 - 169.90	7.97 - 61.99	6.10 - 19.72	192.20 - 604.27
Elazığ AAT	-	299.5 ± 52.6	148.5 ± 20.5	310.9 ± 42.7	74.8 ± 12.3	73.1 ± 10.9
Köy-Tür AAT	-	203 ± 16.59	173.1 ± 15.1	1,450.1 ± 148.7	98.9 ± 7.78	40.7 ± 7.7
Kaski AAT	2.06 - 7.51	213 - 602	690 – 2,177	284 - 647	220 - 390	1,639 – 2,208
Bafra AAT	0.4 - 0.6	16.4 - 29	92.5 - 136	31 - 42	27.7 - 62.2	458 - 655
Buski Batı	1.2 - 2.5	532 - 688	326 - 404	157 - 233	61.5 - 86.9	6,203 – 9,132
İnegöl AAT	0.5 - 0.7	160 - 212	259 - 327	120 - 135	20.5 - 31.5	437 - 610
Eski AAT	0.56 - 1.26	56.4 - 123	131 - 208	117 - 322	48.3 - 73.2	711 – 2,174
Buski Doğu	1.35 - 1.90	2,455 – 5,202	249 - 310	371 - 544	110 - 136	2,025 – 2,743
Aski	3.20 - 5.80	108 - 152	199 - 312	84.2 - 137	135 - 165	3,390 – 6,363
KOS AAT	1.458 - 5.978	329.734 – 2,801.042	54.763 – 1,094.361	6.942 - 165.966	41.899 - 90.683	2,968.569 – 21,855.934

Çin'de beş farklı atıksu arıtma tesisinden alınan arıtma çamuru örneklerinde Cu: 67-659 mg/kg aralığında, Zn: 361-1,105 mg/kg aralığında, Pb: 98.4-1,270.2 aralığında, Cd: 7.2-903.8 mg/kg kuru madde aralığında tespit edilmiştir. Cu, Zn, Pb içeriği Çin'de arıtma çamurlarının toprakta kullanımı için verilen limit değerleri aşmazken, Cd içeriğinin aştığı, tesislerden dört tanesinde zaman zaman aşarken, bir tanesinde ise 903.8 mg/kg gibi çok yüksek konsantrasyonlarda tespit edildiği görülmüş, bu tesisten alınan çamurların iyileştirilmeden tarımsal uygulamalarda kullanılamayacağı sonucuna varılmıştır (Chen ve ark., 2008).

Çin'de kuzey Shenyang atıksu arıtma tesisinden alınan çamur örneklerinin nutrient ve ağır metal içeriği tespit edilmiştir. Cd: 5 mg/kg, Pb: 255 mg/kg, Cu: 170 mg/kg, Zn: 290 mg/kg kuru madde olarak tespit edilmiştir. Tespit edilen ağır metal konsantrasyonları Çin'de tarımsal gübrelerde zararlı bileşikler için verilen maksimum limit değerlerini aşmadığı tespit edilmiştir. Ancak arıtma çamuru ile arazi deneyleri gerçekleştirilmiş ve toprak ve bitkide ağır metal içeriği tespit edildiğinde, toprakta ağır metal konsantrasyonunun arttığı ve Cd içeriğinin tarımsal topraklarda verilen limit değerleri aştığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak Cd'un arıtma çamurunun tarımsal amaçlı kullanılmasında sınırlayıcı bir faktör olduğu belirlenmiştir (Wang ve ark., 2008).

Çin'in Zhejiang bölgesinde on iki farklı atıksu arıtma tesisinden alınan arıtma çamurlarında Cd 2.1-23.4 mg/kg, Cr 22.2-453.2 mg/kg, Cu 210.6-1,191.3 mg/kg, Ni 25.1-106.6 mg/kg, Pb 41.2-452.2 mg/kg, Zn 1,406.2-3,699.2 mg/kg kuru madde aralığında tespit edilmiş olup, Zn ve Cu içeriği yüksekken, Cr, Ni, Pb ve Cd konsantrasyonları ise nispeten düşüktür. Tarımsal amaçlı arıtma çamurlarının kullanımı ile ilgili verilen limit değerlerin ise Zn için iki tesiste, Cd içinse bir tesiste aşıldığı belirlenmiş ve ağır metaller açısından tarımsal uygulamalarda önemli bir problem oluşturmayacağı sonucuna varılmıştır (Hua ve ark., 2008).

Çin'de iki farklı atıksu arıtma tesisinden alınan çamur örneklerinde Cd 0.54-1.74 mg/kg, Cu 357-396 mg/kg, Pb 57-134 mg/kg, Zn 1,190-1,213 mg/kg kuru madde aralığında tespit edilmiş ve çamurda tarımsal kullanımlar için verilen limit değerlerin aşılmadığı görülmüştür. Çamurlar ile farklı yaklaşımlar kullanılarak pirinç samanı ile 56 günlük kompostlama süresi sonucunda oluşan kompostta ağır metal yüzdesinin arttığı ve Zn için verilen limit değerlerin aştığı görülmüştür. Kompostlama prosedürü ile ilgili pek çok çalışmada organik kirleticilerin biyolojik olarak parçalanabilirliği, ağır metaller gibi kararlı bileşiklerin ise toprakta birikebileceği sebebiyle daha sıkı limitlerin uygulanması ve sürekli izlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır (Cai ve ark., 2007).

Aritma çamurunun araziye uygulanmasını daha iyi anlamak amacıyla, ağır metal ve organik kirletici karakterizasyonu Çin’de üç farklı arıtma tesisinden alınan çamurlar ile gerçekleştirilmiştir. Cd 11.9-81.2 mg/kg, Cr 28.7-460 mg/kg, Cu 156.4-3873 mg/kg, Ni 22.17-523 mg/kg, Pb 56.9-89.2 mg/kg, Zn: 1,658-15,890 mg/kg kuru madde aralığında tespit edilmiştir. Tüm arıtma çamurlarında Cd konsantrasyonu toprakta kullanım için verilen limit değerlerin üzerinde iken, Pb, Cu ve Zn değerinin ise bir çamur örneğinde limit değerlerin üzerinde tespit edilmiştir. Çamurların toprağa uygulanması sonucunda topraktaki bitkilerde ağır metal birikimini belirlemek amacıyla dokuz farklı bitki türü ile gerçekleştirilen saksı deneylerinde Pb, Cd ve Cr metallerinin bitki köklerinde biriktiği ve bitki türüne göre metal birikiminin değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir (Jia-yin ve ark., 2006).

Çin’de evsel ve endüstriyel sekiz farklı atıksu arıtma tesisinden alınan çamur örneklerinin pH değeri 5.9-7.7, organik karbon %25-56, Cd: 0.90-112.03 mg/kg, Cr 61.56-1,844.22 mg/kg, Cu 120.31-2,051.26 mg/kg, Pb 13.58-93.73 mg/kg, Ni 15.80-233.82 mg/kg, Zn 327.03-6,718.87 mg/kg kuru madde aralığında tespit edilmiştir. Evsel ve endüstriyel atıksuların birlikte arıtıldığı arıtma tesislerinden alınan çamur örneklerinin iki tanesinde Cr, Ni, Cu, Cd ve Zn değerlerinin yönetmeliklerde verilen limit değerlerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Üç farklı endüstriyel atıksu arıtma tesisinden alınan çamur örneklerinin ağır metal içeriği evsel atıksu arıtma tesisi çamurlarında tespit edilenlerden çok büyük farklılıklar göstermemiştir (Wang ve ark., 2005).

İspanya’da atıksu arıtma tesisinden alınan arıtma çamurunun Cu, Zn, Cd, Pb, Cr, Ni, Mn içeriği 2001 yılında sırasıyla 368 mg/kg, 8,224 mg/kg, 5.7 mg/kg, 96 mg/kg, 751 mg/kg, 169 mg/kg, 110 mg/kg, 2002 yılında ise 605 mg/kg, 8,488 mg/kg, 5.7 mg/kg, 155 mg/kg, 803 mg/kg, 167 mg/kg, 1,329 mg/kg kuru madde olarak tespit edilmiştir. Zn içeriğinin Avrupa Birliği tarafından verilen limit değerleri aştığı, toprağa uygulanması sonucunda ise Zn, Cd, Cr ve Ni için verilen limit değerlerin aşıldığı, sızıntı suyunda yüksek konsantrasyonlarda tespit edildiği görülmüştür (Egiarte ve ark., 2008).

İspanya’ya dört farklı atıksu arıtma tesisinden alınan arıtma çamurlarının fizikokimyasal ve ağır metal içeriği tarımsal amaçlı kullanımları açısından incelenmiştir. Çamur örneklerinde Cd 1.10-18.3 mg/kg, Cr 38-3,809 mg/kg, Cu 146-337 mg/kg, Ni 17-80 mg/kg, Pb 43.4-251 mg/kg, Zn 458-1,951 mg/kg kuru madde aralığında tespit edilmiştir. Sonuçlara göre sadece bir tesisten alınan çamur örneği tarımsal amaçlı kullanım için verilen yönetmelik limit değerini Cr konsantrasyonu



açısından aştığı incelenen metaller açısından bir tehlike oluşturmadığı görülmüştür (Fuentes ve ark., 2008).

İspanya'da iki farklı atıksu arıtma tesisinden alınan arıtma çamurunda Cd 2.28-2.93 mg/kg, Cr 23.9-33.2 mg/kg, Cu 74.8-152 mg/kg, Ni 37.2-45.5 mg/kg, Pb 69-194 mg/kg, Zn 491-1,156 mg/kg kuru madde aralığında tespit edilmiştir. Bu nitelikteki arıtma çamurlarının toprağa uygulanması sonucunda kentsel ve yiyecek endüstrisi arıtma tesisi çamurlarının toprağın organik madde içeriğinin artmasına sebep olurken, ağır metal kirliliği açısından bir problem oluşturmadığı tespit edilmiştir (Sánchez-Martín ve ark., 2007).

İspanya'da yedi farklı atıksu arıtma tesisinden 2000-2002 yılları arasında çamurun elemental kompozisyonu ve ağır metal içeriğini tespit etmek amacıyla periyodik olarak alınan çamur örnekleri analiz edilmiştir. Çamur örneklerinde Cd 1.63-2.66 mg/kg, Cr 18.8-39.9 mg/kg, Cu 64.2-176 mg/kg, Ni 18.6-32.1 mg/kg, Pb 46.2-254 mg/kg, Zn 627-1,406 mg/kg kuru madde aralığında tespit edilmiştir. Çamur örneklerinin organik madde nutrientler açısından zengin olduğu, tarımsal amaçlı kullanım için verilen limit değerlerin aşılmadığı, ancak izlenen üç yıl içerisinde yıllar ve mevsimler arasında önemli değişimler olduğu gözlenmiştir (García-Delgado ve ark., 2007).

Arıtma çamurlarının tarımsal amaçlar için kullanımında sınırlayıcı faktörler olması sebebiyle İspanya'da aerobik, anaerobik, stabilize edilmemiş ve atık stabilizasyon havuzlarından alınan farklı tip çamurların metal içeriği ve fitotoksik etkisi araştırılmıştır. Çamurların analizleri sonucunda Cd 1.10-18.3 mg/kg, Cr 38-3,809 mg/kg, Cu 146-204 mg/kg, Ni 15-29 mg/kg, Pb 58-250 mg/kg, Zn 458-871 mg/kg kuru madde aralığında tespit edilmiştir. Fitotoksisite testi sonucunda EC<sub>50</sub> değeri %1.18-17.19 aralığındadır. Sonuçlar yönetmelikte verilen limit değerler ile mukayese edildiğinde sadece anaerobik çamurda bulunan Cr miktarının sınır değeri aştığı, incelenen diğer parametreler açısından tüm çamurların kullanım için uygun olduğu belirlenmiştir. Ekotoksisite testi sonuçlarında İspanya'daki yönetmeliklere göre EC<sub>50</sub> değeri treshold değerinin altında olduğu için toksik özellik göstermedikleri, daha fazla mineralize olmuş çamurun (anaerobik ve atık stabilizasyon havuzu) daha az ekotoksik etki gösterdiği belirlenmiştir (Fuentes ve ark., 2006).

Polonya'da dört farklı atıksu arıtma tesisinden alınan çamur örneklerinin ağır metal içeriği incelenmiştir. Cd 1.9-76 mg/kg, Cr 27.6-120 mg/kg, Cu 156-335 mg/kg, Pb 37.5-59.5 mg/kg, Ni 21.7-155 mg/kg; Zn 1,015-1,385 mg/kg aralığında tespit edilmiştir. Cd'un verilen limit değerleri aştığı ve yüksek miktarda Ni ve Cr tespit

edildiği görülmektedir. Çamurlar ile gerçekleştirilen üç farklı fitotoksisite testleri sonucunda çamurların ikisinin tohum çimlenmesi üzerine %100 inhibisyonun olduğu görülmüştür (Oleszczuk, 2008b).

Danimarka'da 1987-2002 yılları arasında atıksu arıtma tesislerinden alınan çamur örneklerinde Cd 0.5-16 mg/kg, Cr 8-108 mg/kg, Cu 75-515 mg/kg, Pb 11-420 mg/kg, Ni 8-141 mg/kg, Zn 215-1,610 mg/kg aralığında tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar yıllar itibari ile değerlendirildiğinde son birkaç yıl çok önemli bir değişim olmamakla birlikte son on yılda çamur kalitesinin önemli derecede iyileştiği tespit edilmiştir (Jensen ve Jepsen, 2005).

Atıksu arıtma tesislerinde ağır metallerin mevcudiyeti ve akıbeti ile ilgili gerçekleştirilen çalışmada Yunanistan'da atıksu arıtma tesisinden çökeltme tankı, aktif çamur ve çürütülmüş/susuzlaştırılmış çamur örnekleri alınarak ağır metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Cd 1-10 mg/kg, Cr 17-370 mg/kg, Cu 91-1,200 mg/kg, Ni 31-300 mg/kg, Pb 16-330 mg/kg, Zn 35-4,500 mg/kg aralığında tespit edilmiştir. Çökeltme tankı ve aktif çamur ünitesinden alınan çamur örneklerinde mukayese edilebilir sonuçlar elde edilirken, çıkış çamurunun ağır metal içeriğinin 10 ile 20 kat arttığı görülmüştür. Tesisten çıkan çamurun Yunanistan'daki yönetmeliklere göre Zn değeri hariç diğer metaller için tarımsal açıdan kullanımının uygun olduğu, fakat diğer Avrupa ülkelerinin standartlarına göre bozulmuş alanların iyileştirilmesi için kullanımının uygun olduğu tarımsal amaçla kullanılamayacağı sonucuna varılmıştır (Karvelas ve ark., 2003).

Hong Kong'da dört farklı atıksu arıtma tesisinden alınan anaerobik olarak çürütülmüş çamur örneklerinin kimyasal karakterizasyonu ve toksisite analizleri gerçekleştirilmiştir. Çamurlarda Cd 2.23-3.65 mg/kg, Cr 52.8-2,243 mg/kg, Cu 329-648 mg/kg, Ni 52.5-202 mg/kg, Pb 49.1-85.9 mg/kg, Zn 1,108-4,692 mg/kg kuru madde aralığında tespit edilmiştir. Zn ve Cr açısından deri tabakhane atıksu arıtma çıkış çamur limit değerlerinin aşıldığı, çamur ekstraktlarının *Brassica chinensi* tohum çimlenmesi üzerine olumsuz bir etkisi gözlenmezken, Zn ve Cr değeri yüksek olan çamurların ise kök büyümesini azalttığı tespit edilmiştir (Wong ve ark., 2001).

Slovenya'da atıksu arıtma tesisinden oluşan çamurun toplam metal konsantrasyonu ve metal dağılımını belirlemek amacıyla iki yıl boyunca izleme yapılmıştır. Bu süreçte Cd 1.5-4.22 mg/kg, Cr 408-1,235 mg/kg, Cu 185-695 mg/kg, Ni 372-995 mg/kg, Pb 88-175 mg/kg, Zn 1,025-2,650 mg/kg kuru madde aralığında tespit edilmiştir. Ağır metallerin izleme süresince konsantrasyon değişimlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Cr, Ni ve Zn metallerinin tarımsal amaçlar için çamur kullanım

limitlerini aştığı ve tarımsal amaçlı kullanımlarının uygun olmadığı tespit edilmiştir (Scancar ve ark., 2000).

Başarakavak atıksu arıtma tesisi ve Konya kentsel atıksu arıtma tesisinden alınan arıtma çamurlarında Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn ağır metal değerleri tespit edilmiştir. Başarakavak atıksu arıtma tesisinden alınan çamur örneklerinde Cd miktarı <dl ile 24.48 mg/kg aralığında, Cr miktarı 10.07 ile 115.18 mg/kg aralığında, Cu miktarı 19.15 ile 78.52 mg/kg aralığında, Ni miktarı <dl ile 20.56 mg/kg aralığında, Pb miktarı 1.15 ile 10.97 mg/kg aralığında, Zn miktarı 104.18 ile 448.44 mg/kg aralığında değişmektedir. Elde edilen sonuçlar ülkemizde evsel ve kentsel arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına dair yönetmelikte ve Avrupa Birliğinin arıtma çamurlarının arazide kullanımı için yayınladığı raporda toprakta kullanılacak stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevaları ile karşılaştırıldığında Pb değerinin 750 mg/kg kuru madde, Cr ve Cu değerlerinin 1000 mg/kg kuru madde, Ni değerinin 300 mg/kg kuru madde, Zn değerinin 2500 mg/kg kuru madde değerlerini aşmadığı görülmektedir. Cd değeri ise Mart ayında tespit edilen 24.46 mg/kg kuru madde değeri hariç diğer aylarda Cd için verilen 10 mg/kg kuru madde değerlerini aşmamaktadır (Özcan ve ark., 2011).

Konya kentsel atıksu arıtma tesisinden alınan çamur örneklerinde Cd miktarı <dl ile 3.28 mg/kg aralığında, Cr miktarı 76.08 ile 242.35 mg/kg aralığında, Cu miktarı 78.55 ile 169.90 mg/kg aralığında, Ni miktarı 7.97 ile 61.99 mg/kg aralığında, Pb miktarı 6.10 ile 19.72 mg/kg aralığında, Zn miktarı 192.20 ile 604.27 mg/kg aralığında değişmektedir. Elde edilen sonuçlar toprakta kullanılacak stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal miktarları ile karşılaştırıldığında Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn metallerinin ülkemizde ve Avrupa Birliği tarafından yönetmeliklerde verilen limit değerleri aşmadığı tespit edilmiştir (Özcan ve ark., 2011).

Elde edilen sonuçlara göre Başarakavak ve Konya kentsel atıksu arıtma tesisi çamurlarının incelenen ağır metal bileşikleri ve PCB kalıntıları açısından toprakta kullanımları için yönetmelikte verilen limit değerleri aşmadığı ve emniyetle kullanılacağı görülmektedir (Özcan ve ark., 2010).

Elazığ Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi arıtma çamuru örneklerindeki toplam metal konsantrasyonları Cr 299.5±52.6 mg/kg, Cu 148.5±20.5 mg/kg, Ni 310.9±42.7 mg/kg, Pb 74.8±12.3 mg/kg, Zn 73.1±10.9 mg/kg iken, KÖY-TÜR Kesimhane Atıksu Arıtma Tesisi arıtma çamuru örneklerindeki toplam metal konsantrasyonları Cr 203±16.59 mg/kg, Cu 173.1±15.1 mg/kg, Ni 1,450.1±148.7 mg/kg, Pb 98.9±7.78

mg/kg, Zn  $40.7 \pm 7.7$  mg/kg olarak tespit edilmiştir. Analizi yapılan Belediye arıtma çamuru ile KÖY-TÜR arıtma çamurlarındaki ağır metal düzeyleri yönetmeliklerde belirtilen toprakta müsaade edilen maksimum ağır metal içerikleri değerleriyle karşılaştırıldığında her iki arıtma çamurunun da Ni hariç tarımsal alanlarda kullanılması güvenli olarak görülmektedir (Öbek ve ark., 2004).

Tesislerin tamamından alınan çamurlardaki Cu, Cd, ve Pb düzeyleri, Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği ağır metal sınır değerlerinin altında kalırken, BUSKİ Doğu Tesisi'nde Cr ve Ni, BUSKİ Batı Tesisi'nde Zn, KASKİ Tesisi'nde Ni ve ASKİ Tesisi'nde ise Zn düzeylerinin bu sınır değerleri aştığı belirlenmiştir. Araştırma bulguları, ilgili Yönetmelikteki sınır değerlerini aşan ağır metal içeriğine sahip arıtma çamurlarının tarımsal amaçla kullanılması durumunda toprak kirliliği oluşabileceğini göstermiştir (Terzi, 2007).

KOS AAT çamuruna ait değerler Çizelge 4.5. verilen değerlerle karşılaştırıldığında Zn miktarının yüksek, diğer metallerin yakın değerlerde olduğu görülmüştür. EKAÇTKDY ve Avrupa Birliğinin 86/278/EEC direktifinde yer alan limit değerler ile karşılaştırıldığında Cd, Ni, Pb ve Hg sınır değerlerin altında kalırken, Cr ve Cu'nun bazı aylarda sınır değerleri aştığı, Zn'nin ise tüm örneklerde sınır değerleri aştığı ve bu sebeple KOS AAT çamurunun toprakta kullanılmasının uygun olmayacağı ve nihai bertaraf yöntemleri kullanılarak çamurun bertaraf edilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Çalışma sonucunda çamur örneklerinin pH değeri 7.62-8.17, elektriksel iletkenlik değeri 1277-3550  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , kuru madde değeri %18.29-32.38, organik madde değeri %25.69-57.34, kimyasal oksijen ihtiyacı değeri 412->1500 mg/L, toplam organik karbon değeri 216->800 mg/L aralığında tespit edilmiştir.

Ağır metal içerikleri; Cd için 1.45-5.97 mg/kg.km, Cr için 329.73-2801.04 mg/kg.km, Cu için 54.76-1094.36 mg/kg.km, Ni için 6.94-165.96 mg/kg.km, Pb için 41.89-90.68 mg/kg.km, Zn için 2968.56-21855.93 mg/kg.km, Hg için 51.613-267.501  $\mu\text{g}/\text{kg.km}$  aralığında tespit edilmiştir.

Konya Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisinde oluşan çamurların Cr, Cu ve Zn değerleri, Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik'te ve Avrupa Birliğinin arıtma çamurlarının kullanılması ile ilgili 86/278/EEC yönetmeliğinde verilen sınır değerleri aşmıştır.

Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik'te 8/1/2006 tarihli ve 26047 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliğinde yer almayan endüstrilerin atıksularından elde edilen, organik madde içeriği %40'dan az olan stabilize arıtma çamurlarının toprağa uygulanamayacağı, arıtma çamurunda ağır metallerden birinin bile sınır değerleri aşması durumunda çamurun toprakta kullanılmasının yasak olduğu belirtilmektedir.

Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliğinde Süt ve Süt Ürünleri, Meyve, sebze ürünleri ile diğer gıda bitkilerinin işlenmesi, Alkolsüz içeceklerin imalatı ve şişelenmesi, Patates işleme, Et endüstrisi, Bira fabrikaları, Alkol ve alkollü içeceklerin üretimi, Bitkisel ürünlerden hayvan yemi imalatı, Hayvan postu, derisi ve kemiklerinden jelatin ve tutkal imalatı, Malt imalathaneleri, Balık işleme endüstrisi, benzer diğer sektörler yer verilmiştir. Konya organize sanayi bölgesinde bulunan sanayi sektörleri ise gıda, maden, tekstil, petrol, selüloz kağıt karton, kimya, metal, seri makine imalatı, elektrik makineleri ve yedek parça sanayi sektörüdür.

Çalışmada incelenen çamurun kaynağının Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliğinde yer almayan endüstriyel atıksuları da içermesi, Cr, Cu ve Zn'nin sınır değerleri aşması, organik madde içeriğinin %40'dan az olması sebebiyle toprakta kullanılamayacağı belirlenmiştir.

## 5.2 Öneriler

Ülkemizde dahil olmak üzere bugün pek çok Avrupa Birliği nüfusunun büyük bir kısmı kanalizasyon sistemlerini atıksularını arıtmak üzere atıksu arıtma tesislerine bağlamaktadır. Kentsel atıksular genellikle evsel, endüstriyel ve yağmur sularının karışımından oluşmaktadır. Arıtma çamurları, atıksu arıtımı sonucunda kaçınılmaz olarak ortaya çıkan istenmeyen ürünler olarak tanımlanabilir. Atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarının bertaraf yöntemleri araziye uygulama, kompostlama, düzenli depolama, yakma ve denize deşarj olarak sayılabilir. Arıtma çamuru uzun yıllardır tarımsal alanlar için gübre olarak kullanılmaktadır. Bu uygulama sürdürülebilir pratik faydalanma ve aynı zamanda araziye çamur içerisindeki makro besinlerin dönmesi ile geri kazanımdır. Son on yıl süresince arıtma çamurunda ağır metaller, sentetik organik bileşikler ve patojenik mikroorganizmaların olması durumunda oluşabilecek risk ile ilgili endişeler artmaya başlamıştır. Tarımsal alanlara arıtma çamurunun uygulanması bazı ülkelerde sosyal açıdan kabul edilmemekle birlikte, bugün birçok ülkede bu uygulama yaygındır. Literatür çalışmaları arıtma çamurlarında 541 adet sentetik organik bileşiğin bulunabileceğini göstermektedir. Bugün itibariyle 192 adet sentetik organik bileşik arıtma çamurunda tayin edilmiş, pek çok sentetik organik bileşiğin arıtma çamurlarında konsantrasyonu tespit edilmesine rağmen, potansiyel olarak bulunan pek çok bileşik ise henüz tayin edilmemiştir. Tayin edilen bileşiklerin çevre ortamlarındaki akıbeti ve zarar tespiti yapıldığında 99 adet sentetik organik bileşik katı ortamda zararlı olarak sınıflandırılmakta, 23 adet sentetik organik bileşik ise öncelikli kirleticiler olarak sınıflandırılmaktadır (Eriksson ve ark., 2008). Bu sebeple arıtma çamurlarının tarımsal amaçlar için araziye kullanımı ile ilgili ağır metaller ve bazı organik kirleticiler için yönetmeliklerde limit değerler tanımlanmaktadır.

Çalışma sonuçları incelendiğinde çamurun özelliklerinin sürekli değişim gösterdiği tespit edilmiş, bunun sebebinin ise tesise gelen atıksuyun içeriğinin stabil olmaması olduğu düşünülmüştür. Bu nedenle Konya Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisinde oluşan çamurlarda düzenli ve devamlı olarak inorganik kirleticilerin izlenmesi gerekmektedir.

Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik'te, tehlikeli atık sınıfına giren arıtma çamurlarının 14/3/2005 tarihli ve 25755 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği

hükümleri kapsamında bertaraf edilmesi gerektiği belirtilmektedir. İncelen çamur için bu yönetmelikteki hükümler uygulanmalıdır.

Ülkemizde endüstriyel atıksu arıtma tesisi çamurlarının bertaraf edilmesinde çamurun içeriğindeki inorganik kirleticilerin izlenmesi yalnız başına yeterli olmamakta ve arıtma çamurunun bünyesinde bulunan PCB, PAH gibi organik kirleticiler ve birçok kirleticinin, sinerjik toksik etkisinin belirlenmesi için toksikolojik testlerin yapılması ve bunlarla ilgili limit değerlerin ve metotların ülkemizde yapılan bilimsel araştırmalar ışığında yasal düzenlemeler ile uygulamaya konulması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- Ahmad, R., Kadir, W., R., A., Abdullah, R., 2010, Distribution pattern of heavy metals in soil fertilized with industrial sludge, *19<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World*, 1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia. Published on DVD, 72-75.
- Ahmed, M., İdris, A., Syed Omar, S., R., 2007, Physicochemical characterization of compost of the industrial tannery sludge, *Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 2, No. 1, 81-94.
- Akıncı, İ., H., 2012, Kan bankası donörlerinden alınan kanlarda toksik metal ve iz element düzeyleri, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 17-23.
- Aksu, T., 2008, Isparta Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisinde oluşan çamurun bertaraf stratejilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 17-20.
- Alloway, B.J. and Jackson A.P., 1991, The behaviour of heavy metals in sewage sludge-amended soils, *The science of the total environment*, 100; 151-176. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam.
- Alturkmani, A., Industrial wastewater, <http://www.4enveng.com/userimages/INDUSTRIAL%20WASTEWATER.pdf> [Ziyaret tarihi: 20 Mart 2013].
- Anonim, 2010, Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, 20.03.2010 tarih ve 27527 sayılı Resmi Gazete
- Anonim, 2010, Eysel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik, 03.08.2010 tarih ve 27661 sayılı Resmi Gazete.
- Anonim, 2012, Atomik absorpsiyon spektrofotometresi, Kimya Teknolojisi, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 7-26.
- Anonim. 1991, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, 14.03.1991 tarih ve 20814 sayılı Resmi Gazete, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Anonim. 2005. Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, 31.05.2005 tarih ve 25831 sayılı Resmi Gazete. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Anonmyous. 1996. The use of reclaimed water and sludge in food crop production. Environmental Protection Agency. National Research Council. National Academy Press, Washington, D.C.
- Anonymous, Lead exposure and human health, <http://www.chem.unep.ch/pops/pdf/lead/leadexp.pdf>, [Ziyaret tarihi: 12 Mart 2013].



- APHA, 1992, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17.ed. Washington DC.
- Arundaş, A., 2010, Konya Organize Sanayi Bölgesi kanalizasyon sisteminde kirleticilerin izlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya*, 9
- Aşık, B.B. ve Katkat, A.V. 2004. Gıda sanayi arıtma tesisi atığının tarımsal alanlarda kullanım olanakları. *U.Ü. Zir.Fak. Dergisi. 18(2):59-71.*
- Aydın, S., 2004, Atıksu arıtma tesisi çamurlarının değişik amaçlarla kullanımının araştırılması, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*, 18-28.
- Başgel, S., 2005, Çeşitli şifalı bitkilerde eser element ve bazı önemli polifenollerin tayini, Yüksek Lisans Tezi, *İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya*, 36-40.
- Bilgin, N., Eyüpoğlu, H., Üstün, H., 2002, Biyokatıların arazide kullanımı, *Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara*.
- Bradl, H.B., 2005, Heavy metals in the environment, Chapter 1, Sources and origins of heavy metals, 6, Arthur Hubbard, *Elsevier akademik pres, Germany*, 1-148.
- Bradl, H.B., 2005b, Heavy metals in the environment, Chapter 2, Interactions of heavy metals, 6, Arthur Hubbard, *Elsevier akademik pres, Germany*, 29-148.
- Bragato, G., L. Leita, A. Figliolia, M. de Nobil, 1998, Effects of sewage sludge pre-treatment on microbial biomass and bioavaibility of heavy metals, *Soil and Tillage Research, 49:129-134.*
- Caı, Q.Y., Mo, C.H., Wu, Q.T., Zeng, Q.Y., Katsoyiannis, A., 2007, Occurrence of organic contaminants in sewage sludges from eleven wastewater treatment plants, China, *Chemosphere, 68*, pp: 1751-1762.
- Chen, M., Li, X., Yang, Q., Zeng, G., Zhang, Y., Liao, D., Liu, J., Hu, J., Guo, L., 2008, Total concentrations and speciation of heavy metals in municipal sludge from Changsha, Zhuzhou and Xiangtan in Middle-South Region of China, *Journal of Hazardous Materials 160*, pp: 324–329.
- Çimrin, K., M., Bozkurt, M., A., Erdal, İ., 2000, Kentsel arıtma çamurunun tarımda fosfor kaynağı olarak kullanılması, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi (J. Agric. Sci.), 10(1):85-90.*
- Denkhaus, E., Salnikow, K., 2002, Nickel essentiality, toxicity, and carcinogenicity, *Critical Reviews in Oncology/Hematology 42*, 35–56.
- Domene, X., Alcaniz, J.M., Andres, P., 2007, Ecotoxicological assessment of organic wastes using the soil Collembolan *Folsomia Candida*, *Applied Soil Ecology 35*, pp: 461–472.

- Egiarte, G., Pinto, M., Ruiz-Romera, E., Arbestain, M.C., 2008, Monitoring heavy metal concentrations in leachates from a forest soil subjected to repeated applications of sewage sludge, *Environmental Pollution* 156 pp: 840–848.
- Eriksson, E., Christensen, N., Schmidt, J.E., Ledin, A., 2008, Potential priority pollutants in sewage sludge, *Desalination*, 226, pp: 371–388.
- Filibeli, A., Arıtma çamurlarının işlenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 255, İzmir*, 1998.
- Fuentes, A., Llore'ns, M., Sa'ez, J., Aguilar, M.I., Ortun' o, J.F., Meseguer, V.F., 2008, Comparative study of six different sludges by sequential speciation of heavy metals, *Bioresource Technology*, 99, pp: 517–525.
- Fuentes, A., Llore'ns, M., Sa'ez, J., Aguilar, M.I., Pe'rez-Marín, A.B., Ortun' o, J.F., Meseguer, V.F., 2006, Ecotoxicity, phytotoxicity and extractability of heavy metals from different stabilised sewage sludges, *Environmental Pollution*, 143, pp: 355-360.
- García-delgado, M., Rodríguez-Cruz, M.S., Lorenzo, L.F., Arienzo, M., Sánchez-Martín, M.J., 2007, Seasonal and time variability of heavy metal content and of its chemical forms in sewage sludges from different wastewater treatment plants, *Science of the Total Environment* 382, pp: 82–92.
- Güneri, E. 2003, Atık çamur uygulanan kireçli bir toprakta yetiştirilen kıvrıkcık bitkisinde kadmiyum ve çinkonun biyolojik alınabilirlik indeksinin saptanması, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*.
- Hanay, Ö., Hasar, H., 2007, Kayseri ili Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi çamurlarının tarımsal amaçlı kullanım potansiyeli, *Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 19 (3), 333-337.
- Hararcı, S., 2005, Arıtma çamuru nasıl bertaraf edilir? <http://www.bcm.org.tr/pdf/aritma%20%C3%A7amuru%20bertarafi.pdf> Erişim Tarihi: [15.06.2012]
- Hinesley, T. D., R. L. Jonesand, E. L. Zigler, 1972, Effects on corn by applications of heated anaerobical digested sludge, *Compost. Sci.* 13: 26.
- Hua, L., Wu, W.X., Liu, Y.X., Tientchen, C.M., Chen, Y.X., 2008, Heavy metals and PAHs in sewage sludge from twelve wastewater treatment plants in Zhejiang Province, *Biomedical and Environmental Sciences* 21, pp: 345-352.
- Jensen, J., Jepsen, S.E., 2005, The production, use and quality of sewage sludge in Denmark, *Waste Management*, 25, pp: 239–247.
- Jia-yn, D., Ling, C., Jian-fu, Z., Na, M., 2006, Characteristics of sewage sludge and distribution of heavy metal in plants with amendment of sewage sludge, *Journal of Environmental Sciences*, 18, 6, pp: 1094-1100.

- Karaca, A., K. Haktanır, 2000, Arıtma çamurlarının toprakta alınabilir kükür ve dehidrogenaz enzim aktivitesi üzerine etkisi, *Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 6(3), 13-19.
- Karvelas, M., Katsoyiannis, A., Samara, C., 2003, Occurrence and Fate of Heavy Metals in the Wastewater Treatment Process, *Chemosphere*, 53 (2003) pp: 1201-1210.
- Kavaklı, M., 2005, Arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı kullanılabilirliklerin incelenmesi, *I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, İzmir*, 581-594.
- Kaya, F., Krom-toksik etkileri-kromdan kaynaklanan çevre kirliliği-arıtım yöntemleri, [http://www.kimyamuhendisi.com/dokumanlar/doc\\_download/648-krom-toksik-etkileri-kromdan-kaynaklanan-cevre-kirliligi-ve-giderme-yontemleri.html](http://www.kimyamuhendisi.com/dokumanlar/doc_download/648-krom-toksik-etkileri-kromdan-kaynaklanan-cevre-kirliligi-ve-giderme-yontemleri.html), 2009, [Ziyaret tarihi: 12 Mart 2013].
- Kocaer, F.O., Kemiksiz, A., Başkaya, H.S., 2003, Arıtma çamuru uygulanmış bir topraktaki organik azotun mineralizasyonu üzerine bir araştırma, *Ekoloji* 12, 46, 12-16.
- Logan, T.J. and Chaney, R.L., 1983, Utilization of municipal waste water and sludge on land-metals, *Proc.1983 work shop on utilization of municipal waste water and sludge on land, Denver, CO*. January, University of California, Riverside, pp: 235-323. In: Page A.B. (ed).
- Mantis, I., Voutsas, D., Samara, C., 2005, Assessment of the environmental hazard from municipal and industrial wastewater treatment sludge by employing chemical and biological methods, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 62, pp: 397-407.
- Mantovi, P., Baldoni G., Toderi G., Research W., 2005, Reuse of liquid, dewatered, and composted sewage sludge on agricultural land: effects of long-term application on soil and crop, *Water Research*, 39; 289-296.
- McClaslin, B.D. and O'connor, G.A. 1982, Potential fertilizer value of gamma-irradiated sewage sludge on calcareous soils, *New Mexico Agric.Exp.Stn. Bull*, 692:1-30.
- Menelik, G., Renau, R.B., Martens, D.C. and Simpson, T.W. 1991, Yield and elemental composition wheat grain as influenced by source and rate of nitrogen, *Journal of plant nutrition*, 14(2): 205-217.
- Metcalf & Eddy inc., 1991, Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse, 3rd ed. *Mc Graw-Hill Inc.*, New York.
- Morgül, A., 2007, Çeşitli sektörlere ait arıtma çamurlarının fiziksel ve kimyasal karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, 26-57.
- Moritsuka, N., Matsuoka, K., Matsumoto, S., Masunaga, T., Matsui, K., Wakatsuki, T., 2006, Effects of the application of heated sewage sludge on soil nutrient supply to plants, *Soil Science and Plant Nutrition* 52(4), pp: 528-539.

- Mosquera-losada, M.R., Muñoz-Ferreiro, N., Rigueiro-Rodríguez, A., 2010, Agronomic characterisation of different types of sewage sludge: policy implications, *Waste Management* 30, pp: 492–503.
- Muchuwetı, M., Birkett, J.W., Chinyanga, E., Zvauya, R., Scrimshaw, M.D., Lester, J.N., 2006, Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: implications for human health, agriculture, *Ecosystems and Environment*, 112, pp: 41-48.
- Nriagu, J., 2007, Zinc toxicity in humans, *Elsevier B.V.* All rights reserved, 1-6.
- Oleszczuk, P., 2008, Phytotoxicity of municipal sewage sludge compost related to physico-chemical properties, PAHs and Heavy Metals, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 69 pp: 496-505.
- Öbek, E., Tatar, Ş.Y., Hasar, H., Arslan, E.I. ve İpek, U. 2004, *F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1), 31-38.
- Öktüren Asrı, F., Sönmez, S., Çıtak, S., 2007, Kadmiyumun çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri, *Derim Dergisi*, 24(1); 34-41.
- Özbek, Z., 2010, Topraktaki ağır metaller için sınır değerlerin uygulanabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*, 9-10.
- Özcan, S., Aydın, M.E., Tor, A., 2010, *Atıksu arıtma çamurlarının organoklorlu pestisitler ve ağır metaller açısından incelenmesi ve kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi, 09401054 BAP Projesi.*
- Özcan, S., Aydın, M.E., Tor, A., 2011, *Atıksu arıtma çamurlarının ekotoksikolojik ve organik kirleticiler (PAH, PCB) açısından incelenmesi ve değerlendirilmesi, 109Y179, Tübitak Projesi.*
- Özçelik, D., 1998, Bakır, çinko, kurşun ve kadmiyum katkılı besinlerle beslenen kan, serum ve değişik dokularındaki element konsantrasyonlarının ölçülmesi ve besi performansına etkilerinin saptanması, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*, 26-31.
- Özgüven, N.Ç. ve Katkat, A.V. 2001, Mis süt sanayi arıtma tesisi atığının tarımda kullanılma olanakları, *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi Dergisi, Cilt: 15*, s. 139-149.
- Patel, H., Pandey, S., 2008, Physico-chemical characterisation of textile chemical sludge generated from various cetps in India, *Journal of Environmental Research And Development Vol. 2 No. 3*, 329-339.
- Pedreno, N.J., Gomez, I., Moral, R. and Mataix, J. 1996. Improving the agricultural value of a semi-arid soil by addition of sewage sludge and almond residue, *Agriculture Ecosystems and Environment*, 58: 115-119.

- Rank, J., Nielsen, M.H., 1998, Genotoxicity testing of wastewater sludge using the *Allium cepa* anaphase-telophase chromosome aberration assay, *Mutation Research* 418, 113–119.
- Salihoğlu, N. K., Pınarlı, V., 2007, Atıksu arıtma çamurlarının kapalı yataklarda güneş enerjisiyle kurutulması, *İTÜ Dergisi*, 17/1, 3-14.
- Sánchez-martín, M.J., García-Delgado, M., Lorenzo, L.F., Rodríguez-Cruz, M.S., Arienzo, M., 2007, Heavy metals in sewage sludge amended soils determined by sequential extractions as a function of incubation time of soils, *Geoderma* 142, pp: 262–273.
- Sarı, T., 2009, Edirne ve Çevresinde Otoban Kenarlarındaki Topraklarda Bazı Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ*, 5-1,45.
- Sarkar, B., 2002a, Heavy metals in the environment, Chapter 8, Cadmium, Bibudhendra Sarkar, *Marcel Dekker Inc., USA*, 231-263.
- Sarkar, B., 2002b, Heavy metals in the environment, Chapter 12, Lead, Bibudhendra Sarkar, *Marcel Dekker Inc., USA*, 409-446.
- Sarkar, B., 2002c, Heavy metals in the environment, Chapter 13, Mercury, Bibudhendra Sarkar, *Marcel Dekker Inc., USA*, 457-497.
- Scancar, J., Milacic, R., Strazar, M., Burica, O., 2000, Total Metal Concentrations and Partitioning of Cd, Cr, Cu, Fe, Ni and Zn in Sewage Sludge, *The Science of the Total Environment*, 250, pp: 9-19.
- Singh, R.P., Agrawal, M., 2007, Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of *Beta vulgaris* plants, *Chemosphere* 67, pp: 2229–2240.
- Singh, R.P., Agrawal, M., 2010, Variations in heavy metal accumulation, growth and yield of rice plants grown at different sewage sludge amendment rates, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 73, pp: 632–641.
- Smith, S. R. 1996. Agricultural Recycling of sewage sludge and the Environment, *CAB International*, Guildford.
- Sommers, L.E. 1977, Chemical composition of sewage sludge and analysis of their potential use as fertilizer, *J. Environmental Quality*, 6:225-232.
- Soumare, M., Demeyer, A., Tack, F.M.G. and Verloo, M.G. 2002, Chemical characteristics of Malian and Belgian solid waste composts, *Bioresource Technology*, 81:97-101.
- Świerk, K., Bielicka, A., Bojanowska, I., Maćkiewicz, Z., 2007, Investigation of Heavy metals leaching from industrial wastewater sludge, *Polish J. of Environ. Stud. Vol. 16, No. 3*, 447-451.

- Taşatar, B., 1997, Endüstriyel nitelikli arıtma çamurlarının bazı toprak özelliklerine etkileri, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-82.
- Terzi D., 2007, Türkiye'deki Bazı Arıtma Tesislerinden Çıkan Atık Çamurların Bitki Besin Elementleri ve Ağır Metal İçeriklerinin Yıl İçindeki Değişimi, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2-15
- Theophilus Lagi, A., 2008, The development and evaluation of analytical procedures for the determination of heavy metals in industrial effluents, Department of Chemistry, *Faculty of Natural Sciences Submitted to the School of Postgraduate Studies*, University of Jos, Sofia, Bulgaria, 7-9.
- Tunç, M., S., Ünlü, A., 2005, Eysel atıksu arıtma tesisi çamurlarının ağır metal bakımından tarımda kullanılabilirliğinin araştırılması, *I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, İzmir*, 365-374.
- Türkmen, C. 2004, Kireçli toprak sisteminde kentsel arıtma çamurunun arpa bitkisinin gelişimi ve bazı ağır metallerin alımı üzerine etkisi, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Türkmen, C., Karaca, A. ve Arcak, S. 2001, Influence of sewage sludge application on heavy metal availability of soil and barley crop, *Soil Sci. Agrochemistry and Ecology*, Vol. 36, No: 4-6, Sofia.
- Utsching, J.M. 1985, Sewage sludge versus nitrogen fertilizer application on dry land winter wheat, M.S. Thesis, *Colorado State Univ. Ft. Collins*.
- Wang, C., Hu, X., Chen, M., Wu, Y., 2005, Total concentrations and fractions of Cd, Cr, Pb, Cu, Ni and Zn in sewage sludge from municipal and industrial wastewater treatment plants, *Journal of Hazardous Materials B119*, 245–249.
- Wang, X., Chen, T., Ge, Y., Jia, Y., 2008, Studies on land application of sewage sludge and its limiting factors, *Journal of Hazardous Materials 160*, pp: 554–558.
- Wong, J.,W.,C., Li, K., Fang, M., Su, D., C., 2001, Toxicity evaluation of sewage sludges in Hong Kong, *Environment International 27*, 373–380.
- Yıldız, S., 2004, Konya ana tahliye kanalında ağır metal kirliliğinin ICP-AES tekniği ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya*, 1-51.
- Yuniar, I., Effendi, A., J., Sludge characteristics in Jababeka industrial wastewater treatment plant, [http://www.ftsl.itb.ac.id/kk/air\\_waste/wp\\_content/uploads/2010/10/SW1-15304093-Imma-Yuniar.pdf](http://www.ftsl.itb.ac.id/kk/air_waste/wp_content/uploads/2010/10/SW1-15304093-Imma-Yuniar.pdf), [Ziyaret tarihi: 08 Nisan 2013].

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Abdurrahman Cahit GÖKAL  
**Uyruğu** : Türkiye Cumhuriyeti  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Çumra - 18.08.1976  
**Telefon** : 0 533 654 96 19  
**e-mail** : [cahitgokal@gmail.com](mailto:cahitgokal@gmail.com)

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Gazi Lisesi, Meram, KONYA	1993
Üniversite	: Süleyman Demirel Üniversitesi, ISPARTA	1999
Yüksek Lisans	: Necmettin Erbakan Üniversitesi	2010-devam
Doktora	:	

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2009-Devam	Konya Organize Sanayi Bölge Müdürlüğü	Çevre Mühendisi

### UZMANLIK ALANI

Çevre Mühendisliği

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### YAYINLAR

İTÜ XIII. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu, Konya Organize Sanayi Bölgesi Arıtma Çamurlarının Ağır Metaller ve Ekotoksikolojik Açıdan İncelenmesi ve Değerlendirilmesi, A.5.2, 17-19 Ekim 2012, Maslak, İSTANBUL,