



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIKSULAR İLE SULANAN ZİRAİ ALANLARDAKİ AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Sevda ÖNDER

YÜKSEK LİSANS

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalını

Eylül-2012
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

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.

Sevda ÖNDER

20.09.2012

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

ATIKSULAR İLE SULANAN ZİRAİ ALANLARDAKİ AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Sevda ÖNDER

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Senar ÖZCAN

2012,196 Sayfa

Jüri
Danışman Doç. Dr. Senar ÖZCAN
Üye Doç. Dr. Celalettin ÖZDEMİR
Üye Doç. Dr. Şükrü DURSUN

Çalışmanın amacı, atıksularla sulanan zirai alanlardaki ağır metal kirliliğinin incelenmesidir. Çalışma bölgesi olarak seçilen bölge Konya Ana Tahliye Kanal güzergahıdır. Kanal güzergahında bulunan 1. 2. ve 3'üncü pompa istasyonlarının her birinden, kanal yanından, kanaldan 100 m ve 500 m içerideki 0-25 cm, 25-50 cm ve 50-75 cm derinliklerden toprak örnekleri alınmıştır. Ayrıca, atıksular ile sulama yapılan alanlarda buğday yetiştirildiği gözlenmiştir. Arazi çalışması esnasında atıksular ile sulanan alanlarda yetiştirilen buğdaylardan da örnekler alınmıştır. Toprak numuneleri alev ve grafit fırınlı atomik absorbsiyon spektrometresi (AAS), ürün (buğday) örnekleri ise indüktif eşleşmiş plazma kütle spekterometresi (ICP-MS) ile tespit edilmiştir. Toprak ve ürün örneklerdeki kurşun (Pb), krom (Cr), bakır (Cu), kadmiyum (Cd), çinko (Zn), nikel (Ni) ve civa (Hg) metal kalıntı miktarları araştırılmıştır. Toprakta sırasıyla en düşük ve en yüksek miktarlar Pb 63.97-100.75 mg/kg, Cr 172.56-248.57 mg/kg, Cu 15.51-49.46 mg/kg, Cd 8.23-11.62 mg/kg, Zn 37.83 -81.35 mg/kg, Ni 47.73-134.04 mg/kg, Hg 0.14-0.34 mg/kg aralığında tespit edilmiştir.Buğdayda ise sırasıyla en düşük ve en yüksek miktarlar Pb 0.005- 13.358 mg/kg, Cr 0.554- 1.87 mg/kg, Cu 6.09- 7.61 mg/kg, Zn 14.42-24.23 mg/kg, Ni 0.26- 0.94 mg/kg aralığında tespit edilmiş, Hg ve Cd miktarları dedeksiyon limitinin altında kalmıştır.

Topraktaki ağır metal miktarları Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmeliğe (2010/27605) göre değerlendirilerek, topraklar Takip Gerektiren ya da Takip Gerektirmeyen Saha olarak belirlenmiştir. Referans toprakta gübre ve pestisit uygulandığından, sonuçların değerlendirilmesinde hiçbir tarım uygulaması yapılmayan alanların seçilmesi önerilmektedir. Ayrıca çalışmanın bundan sonraki aşamasında topraktaki ağır metal miktarının jeoleojik formasyona bağlı olup olmadığının araştırılması gerekmektedir. Toprakta bulunan Pb, Cr, Cu, Cd, Zn, Ni ve Hg'nin miktarlarının atıksu ile sulama ve pestisit uygulaması sonucu arttığı ve bu topraklarda yetiştirilen buğdayın Pb, Cr, Cu, Zn, Ni içerdiği ve bu buğdayı tüketen insanlar üzerinde kısa ve uzun vadede sağlık sorunlarına yol açabileceği düşünülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, atıksu, sulama suyu, toprak kirliliği.

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF HEAVY METAL POLLUTION OF AGRICULTURAL FIELDS IRRIGATED WITH WASTEWATER

Sevda ÖNDER

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Senar ÖZCAN

2012, 196 Pages

Jury
Advisor Assoc. Prof. Dr. Senar ÖZCAN
Assoc. Prof. Dr. Celalettin ÖZDEMİR
Assoc. Prof. Dr. Şükrü DURSUN

The aim of study, heavy metal pollution in wastewater irrigated agricultural areas to investigate. The study area is the route chosen as the Konya Main Discharge Channel. Channel on the route of 1, 2 and 3 from each of the pump stations, channal side, channel to 100 m and 500 m inside the 0-25 cm, 25-50 cm and 50-75 cm depths, soil samples were collected. In addition, wheat is grown in areas irrigated with wastewater was observed. Wheats grown is fields irrigated with wastewater during fieldwork in the samples were taken from. Flame and graphite furnace atomic absorption spectrometry (AAS) soil samples, the product (wheat) examples was determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Soil and crop analyzes of lead (Pb), chromium (Cr), copper (Cu), cadmium (Cd), zinc (Zn), nicel (Ni) and mercury (Hg) were examined. The lowest and highest amount in the soil of Pb 63.97-100.75 mg/kg, Cr 172.56-248.57 mg/kg, Cu 15.51-49.46 mg/kg, Cd 8.23-11.62 mg/kg, Zn 37.83 -81.35 mg/kg, Ni 47.73-134.04 mg/kg, Hg 0.14-0.34 mg/kg range were determined. Wheat respectively the lowest and highest amount of Pb 0.005- 13.35 mg/kg, Cr 0.55- 1.87 mg/kg, Cu 6.09- 7.61 mg/kg, Zn 14.42-24.23 mg/kg, Ni 0.26- 0.94 mg/kg in the range determined was the amount of Hg and Cd were below detection limits.

Heavy metal amount in soil Control Of Soil Pollution and Rugulations Regarding The Evaluation Of The Sites Contaminated By Point Source (2010/27605), Requiring or Not Requiring Follow-up land is determined as a field. Reference soil, fertilizers and pesticides are applied, the evaluation of results without any agricultural application areas recommended for selection. In addition, the amount of heavy metals in the soil next stage of this study was to investigate whether jeoleojik formation must be connected.In the soil solution Pb, Cr, Cu, Cd, Zn, Ni and Hg increased amounts as a result of irrigation with wastewater and pesticide application wheat grown in this soil Pb, Cr, Cu, Zn, Ni contained in the wheat-consuming and may cause health problems in humans is thought short-and long-term.

Keywords: Heavy metal, wastewater, irrigation water, soil pollution.

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca değerli bilgi ve tecrübelerini paylaşarak yakın ilgi ve desteğini esirgemeyen Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Öğretim Üyesi danışmanım Sayın hocam Doç. Dr. Senar ÖZCAN'a çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında desteğini esirgemeyen Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi Rektör Yardımcısı Sayın hocam Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca Tez çalışamam sırasında laboratuvar çalışmalarında yardım ve desteklerini esirgemeyen Konya Necmetin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Öğretim Üyeleri Sayın hocalarım Prof. Dr. Ali TOR ve Yrd. Doç. Dr. Fatma BEDÜK'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca yanımda olarak bana çok yardımcı olan arkadaşım Çevre Mühendisi Arzu TEKİNAY'a da çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışmam BAP tarafından 11201107 no'lu proje ile desteklenmiştir. BAP korrdinatörlüğüne teşekkür ederim.

Her zaman maddi ve manevi destekleriyle yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sevda ÖNDER
KONYA-2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

ÇİZELGELER LİSTESİ ..... **x**

ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **xi**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **xiii**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Ağır Metal Nedir? 2
1.1.1. Ağır metal içeren atıksular 3
1.1.1.1. Civa 4
1.1.1.2. Civanın ekotoksikolojik etkileri 5
1.1.1.3. Nikel 5
1.1.1.4. Nikelin ekotoksikolojik etkileri 6
1.1.1.5. Bakır 7
1.1.1.6. Bakırın ekotoksikolojik etkileri 8
1.1.1.7. Kurşun 9
1.1.1.8. Kurşunun ekotoksikolojik etkileri 10
1.1.1.9. Çinko 11
1.1.1.10. Çinkonun ekotoksikolojik etkileri 12
1.1.1.11. Kadmiyum 13
1.1.1.12. Kadmiyumun ekotoksikolojik etkileri 14
1.1.1.13. Krom 15
1.1.1.14. Kromun ekotoksikolojik etkileri 17
1.2. Ağır Metallerin Ekosisteme Giriş Yolları 17
1.2.1. Ağır metallerin alıcı su ortamına ve toprağa etkileri 18
1.2.1.1. Ağır metallerin alıcı su ortamına etkileri 18
1.2.1.2. Ağır metallerin toprağa etkileri 18
1.3.Ağır Metal Analiz Yöntemleri 19
1.3.1. Numune hazırlama 19
1.3.1.1. Toprak numunesi 19
1.3.1.2. Ürün numunesi 19
1.3.2.Analitik metot 19
1.3.2.1. Optik spektroskopik yöntemler 20
1.3.2.2. Mikro analitik yöntemler 21
1.3.3.1. Atomik absorbsiyon spektrometresi (AAS) 22
1.3.3.1.1. Işık kaynağı 23
1.3.3.1.2. Atomlaştırıcılar 23
1.3.3.1.3. Monokromatör 23

1.3.3.1.3. Alıcı 24
1.3.3.2. İndüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS) 24
1.3.3.2.1. Örnek giriş sistemi 25
1.3.3.2.2. ICP torch 25
1.3.3.2.3. Ara birim 26
1.3.3.2.4. Vakum sistemi 26
1.3.3.2.5. Lensler 26
1.3.3.2.6. DRC (Dinamik reaksiyon hücresi) 26
1.3.3.2.6. Quadropul 26
1.3.3.2.7. Dedektör 27
1.3.3.2.8. Veri işleme ve sistem kontrolörü 27
1.4. Sulamada Atıksu Kullanımı 27
1.4.1. Ülkemizdeki atıksu, toprak kirliliği, sulama suyu ve gıda ile ilgili mevzuat 29
1.5. Konya Kentsel Atıksuları ve Toprak Kirliliği Problemi 46
1.6. Topraktan Ağır Metal Giderim Yöntemleri 46
1.6.1. Temizleme metodları 47
1.6.1.1. Kimyasal ve fiziksel temizleme yöntemleri 48
1.6.1.1.1. Oksidasyon 48
1.6.1.1.2. İyon değişimi ve çökelme 48
1.6.1.1.3. Fotoliz 48
1.6.1.1.4. Granüle olmuş aktif karbon üzerinde tutunma 48
1.6.1.1.5. İndirgenebilir deklorinasyon 49
1.6.1.1.6. Toprak buhar ekstraksiyonu 49
1.6.1.1.7. Toprak yıkanması 49
1.6.1.1.8. Yoğun su ile toprak yıkanması 49
1.6.1.1.9. Elektrokinetik arıtım 50
1.6.1.2. Biyolojik iyileştirme (Bioremediasyon) 50
1.6.1.2.1. Yerinde bioremediasyon 50
1.6.1.2.2. Yerinde olmayan bioremediasyon 51
1.6.1.2.3. Fitoremediasyon 51
1.6.1.2.3.1. Fitoekstreaksiyon 52
1.6.1.2.3.2. Rizofiltrasyon 52
1.6.1.2.3.3. Fitostabilizasyon 52
1.6.1.2.3.4. Rizodegredasyon 52
1.6.1.2.3.5. Fitodegredasyon 52
1.6.1.2.3.6. Fitovolatilizasyon 53
1.6.1.3. Katılaştırma ve stabilizasyon yöntemleri 53
1.6.1.4. Termal yöntemler 53
1.6.1.5. İzolasyon ve immobilizasyon yöntemleri 54
1.6.1.6. Prometalurjik yöntemler 54
1.6.1.8. Biyokimyasal yöntemler ile metallerin arıtımı 54

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 55

2.1. Konya Bölgesi ve Ana Tahliye Kanalı İle İlgili Çalışmalar 71

3. MATERYAL VE YÖNTEM 76

3.1. Çalışma Bölgesi 76
3.2. Numune Hazırlama 84
3.2.1. Toprak örneklerinin pH analizi 86

3.2.2. Elektriksel iletkenlik (EC) tayini 87
3.2.3. Kil/Silt/Kum İçeriği 87
3.3. Ağır Metal Analizi 89

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 94

4.1. Standart Referans Madde Analiz Sonuçları 94
4.2. Toprak Örnekleri pH ve EC Sonuçları 96
4.3. Toprak Örnekleri Kil/Silt/Kum İçeriği ve Tipi 98
4.4. Toprak Örneklerinde Tespit Edilen Ağır Metal Miktarları 101
4.5. Referans Değer Bazında Sahanın Ağır Metal Sapma Değerlerinin Değerlendirilmesi 144
4.5. Buğday Örneklerinde Tespit Edilen Ağır Metal Miktarları 150
4.6. Toprak ve Buğday Örneklerinde Tespit Edilen Ağır Metal Miktarlarının Değerlendirilmesi 158
4.6. Toprak ve Buğday Örneklerinde Tespit Edilen Ağır Metal Miktarlarının Yönetmeliklere Göre Değerlendirilmesi 162

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 168

5.1 Sonuçlar 168
5.2 Öneriler 171

KAYNAKLAR 172

EKLER 177

ÖZGEÇMİŞ 182

ÇİZELGELER LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 1.1 Çevresel örneklerin hazırlanması, çözünmesi ve analiz yöntemleri için bazı yöntemler....20
Çizelge 1.2. Karışık endüstriyel atıksuların alıcı ortama deşarj standartları....30
Çizelge 1.3. Sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları....32
Çizelge 1.4. Geri kazanılmış evsel atıksulardaki tahmini eser madde konsantrasyonları....33
Çizelge 1.5. Arıtılmış atıksu ile sulanabilecek bitkiler....34
Çizelge 1.6. Sulama metotları ve temel özellikleri....35
Çizelge 1.7. Jenerik kirletici sınır değerler listesi....37
Çizelge 1.8. Kirlilik gösterge parametreleri listesi....38
Çizelge 1.9. Potansiyel toprak kirletici faaliyetler ve faaliyete özel kirlilik gösterge parametreleri listesi....39
Çizelge 1.10. Gıdalardaki bulaşanların maksimum limitleri....42
Çizelge 3.1. Örnekleme noktaları ve GPS koordinatları....83
Çizelge 4.1. SRM 1646a analiz sonuçları....94
Çizelge 4.2. SRM 1515 analiz sonuçları....94
Çizelge 4.3. Toprak örnekleri pH ve EC değerleri....96
Çizelge 4.4. Toprak örneklerinin kil/silt/kum içeriği ve tipi....99
Çizelge 4.5. Toprak örneklerinde tespit edilen ağır metal miktarları....102
Çizelge 4.6. Referans değer bazında sahanın kirlilik değerlendirmesi....144
Çizelge 4.7. Buğday tanelerinde tespit edilen ağır metal miktarları....151

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. AAS temel bileşenleri şematik gösterimi 23
Şekil 1.2. ICP-MS temel bileşenleri 27
Şekil 3.1. Konya Ana Tahliye Kanalı yerleşim planı 77
Şekil 3.2. Konya Ana Tahliye Kanalı güzergahı 77
Şekil 3.3. Konya atıksu arıtma tesisi akım şeması 78
Şekil 3.4. Konya Ana Tahliye Kanalından su alınması 80
Şekil 3.5. Ana Tahliye Kanalı 3 nolu pompa istasyonu 81
Şekil 3.6. Ana Tahliye Kanalından atıksuyun alınması 81
Şekil 3.7. Atıksular ile sulanmış zirai alanlar 82
Şekil 3.8. Toprak örneklerinin alınması 84
Şekil 3.9. Toprak örneklerinin alınması 84
Şekil 3.10. Toprak örneklerinin elenmesi 85
Şekil 3.11. Buğday örnekleri 86
Şekil 3.12. Buğday tanelerinin ayrılması 86
Şekil 3.13. Tekstür üçgeni 88
Şekil 3.14. Toprak örneklerinin hazırlanması 88
Şekil 3.15. Toprak örneklerinin hazırlanması 89
Şekil 3.16. Atomik absorpsiyon spektrometresi 90
Şekil 3.17. Çalışma örneklerinin tartıldığı hassas terazi 91
Şekil 3.18. CEM, MarsXpress mikrodalga fırını 91
Şekil 3.19. Örneklerin yerleştirildiği mikrodalga kapsüllerinin çeker ocakta Soğuması 92
Şekil 3.20. Numunelerin filtre kağıdından süzülmesi 92
Şekil 3.21. Çalışma örneklerinin çözelti halinde saklandığı tüpler 93
Şekil 4.1. Toprak örneklerinde tespit edilen Pb miktarları 136
Şekil 4.2. Toprak örneklerinde tespit edilen Cr miktarları 138
Şekil 4.3. Toprak örneklerinde tespit edilen Cu miktarları 139
Şekil.4.4. Toprak örneklerinde tespit edilen Cd miktarları 140

Sayfa No

Şekil 4.5. Toprak örneklerinde tespit edilen Zn miktarları.....141
Şekil 4.6. Toprak örneklerinde tespit edilen Ni miktarları 142
Şekil 4.7. Toprak örneklerinde tespit edilen Hg miktarları 143
Şekil 4.8. Referans değer bazında Pb sapma değerleri.....145
Şekil 4.9. Referans değer bazında Cr sapma değerleri 146
Şekil 4.10. Referans değer bazında Cu sapma değerleri 146
Şekil 4.11. Referans değer bazında Cd sapma değerleri 147
Şekil 4.12. Referans değer bazında Zn sapma değerleri.....148
Şekil 4.13. Referans değer bazında Ni sapma değerleri 149
Şekil 4.14. Referans değer bazında Hg sapma değerleri 150
Şekil 4.15. Buğday tanelerinde tespit edilen Pb miktarları 153
Şekil 4.16. Buğday tanelerinde tespit edilen Cr miktarları.....154
Şekil 4.17. Buğday tanelerinde tespit edilen Cu miktarları.....155
Şekil 4.18. Buğday tanelerinde tespit edilen Zn miktarları 156
Şekil 4.19. Buğday tanelerinde tespit edilen Ni miktarları.....157
Şekil 4.20. Örnekleme noktalarında buğday ve toprakta Pb miktarlarının değerlendirilmesi 158
Şekil 4.21. Örnekleme noktalarında buğday ve toprakta Cr miktarlarının değerlendirilmesi 159
Şekil 4.22. Örnekleme noktalarında buğday ve toprakta Cu miktarlarının değerlendirilmesi 160
Şekil 4.23. Örnekleme noktalarında buğday ve toprakta Zn miktarlarının değerlendirilmesi 161
Şekil 4.24. Örnekleme noktalarında buğday ve toprakta Ni miktarlarının değerlendirilmesi 162

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Ag	: Gümüş
As	: Arsenik
B	: Bor
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
Cu	: Bakır
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Fe	: Demir
I	: İyot
K	: Potasyum
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
Ni	: Nikel
Pb	: Kurşun
Se	: Selenyum
Si	: Silisyum
U	: Uranyum
V	: Vanadyum
Zn	: Çinko
HNO_3	: Nitrik asit
H_2SO_4	: Sülfürik asit
NH_4OH	: Amonyum hidroksit
HCl	: Hidroklorik asit
ha	: Hektar
mg/L	: Miligram/Litre
ng/L	: Nanogram/Litre
mg/kg	: Miligram/Kilogram
µg/g	: Mikrogram/Gram
m^3/s	: Metreküp/Saniye
ppm	: Milyonda bir

Kısaltmalar

AAS	: Atomik Absorbsiyon Spektrometresi
AATTUT	: Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği
AB	: Avrupa Birliği
BOİ	: Biyokimyasal Oksiyen İhtiyacı
CEC	: Katyon değişim kapasitesi
EC	: Elektrolitik iletkenlik
ICP-MS	: İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi
ICP-AES	: İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektrometresi
ICP-OES	: İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi
μSYXRF	: Mikro Sinkrotron X Işını Floresans
US EPA	: Amerikan Çevre Koruma Ajansı
OKL	: Oyuk katot lambası
ÖD	: Ölçüm değeri
PIXE	: X Floresan Işığı İle Uyarılmış Proton
PVC	: Polivinil Klorür
RD	: Referans değeri
SIMS	: İkincil İyon Kütle Spektrometresi
TKKNKKSDY	:Toprak Kirliliği Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
XRF	: X Işını Floresans
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü

1. GİRİŞ

Günümüzde çevre sorunları, insan ve hayvan sağlığını tehdit eden, ekolojik dengeyi bozan tehlikelerin başında yer almaktadır. Dünya nüfusunun hızlı artışına bağlı olarak beslenme sorununun çözülmesi, endüstrinin hızla gelişmesi ve daha uygar yaşam sağlamak için yapılan bütün çabaların istenmeyen bir sonucu olarak ortaya çıkan çevre kirliliği sorunu, günümüzde de giderek artan boyutlarda önemini korumaktadır (Doğan, 2003).

Çevre kirliliğine neden olan ve günümüzde ekosistemin her aşamasında toksik etkileri görülebilen ağır metal kirliliği önemli bir problemdir. Ağır metaller, doğal yollarla ya da insan faaliyetleri sonucunda su kaynaklarına, toprağa ve atmosfere karışmaktadır. Ağır metallerin doğal kaynakları arasında, magmatik, tortul ve metamorfik kayaçlar ve toprak oluşumu sayılabilir. İnsan faaliyetleri arasında ise çeşitli endüstriyel (metal kaplama, mikroeletronik üretimler, metalurjik etkinlikler) zirai faaliyetler (gübre, ağır metal içeren pestisitlerin yaygın olarak kullanılması, atık uygulamaları), enerji üretimi ve taşınımı ve madencilik faaliyetleri sayılabilir. Ağır metaller çevreye noktasal veya yaygın bir kaynaktan gaz, partikül, sulu çözelti ya da katı formlarda salınabilirler. Ağır metallerin canlı organizmada herhangi bir etkiye neden olabilmesi için, organizmanın ağır metallerle temas etmesi gerekmektedir. Bu, üç temel şekilde gerçekleşir; ilk yol atmosfer vasıtasıyla ya da toprak ve suda atmosferik birikim yoluyla, ikincisi kirlenmiş suyu içme suyu olarak kullanılması, pişirmede ya da tarımsal sulamada kullanılması, üçüncüsü ise besin zincirinde meydana gelen birikimdir (Bradl, 2005a).

Endüstriyel atıksular ağır metal içeriği yönünden önemli bir kirletici olarak, ya hiç arıtılmadan ya da bir ön arıtımdan 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).

Ağır metal kirliliğinde önemli olan diğer bir alan da, toprakta ağır metal birikimidir. Tarım alanlarında ağır metal kirlenmesinin son yıllarda gösterdiği artış nedeniyle bu metallerin bitkiler üzerindeki etkileri daha çok araştırma konusu olmuştur. Pestisitlerden, gübrelerden, endüstriyel ve evsel atıklardan toprağa bulaşmış ağır metaller bu topraklarda yetişen bitkiler bünyesinde birikme eğilimindedirler. Atıksularla sulama ile ürün yetiştiriciliği, ülkemizde sulama problemi olan bölgelerde yoğun bir şekilde yapılmaktadır (Doğan, 2003).

Çeşitli yollarla topraklara bulaşan ve biriken ağır metaller, toprak verimliliğine, mikrobiyal aktiviteye, yetiştirilen ürünlerde verim kayıplarına, biyolojik çeşitlilikte azalmaya, hatta besin zinciri ile zehirlenmelere kadar, birçok çevre, bitki ve insan sağlığı sorunlarına neden olabilmektedir (Sarı, 2009).

Kirletici maddeler, sadece salınım yapılan bölgede değil, çeşitli yollarla (rüzgar, yağmur, yeraltına sızma vb.) taşınarak çok uzak mesafelerde toksik etki yaratabilme özelliğine sahiptirler. Bu nedenle, kirliliğin önlenmesinde bütün dünya devletlerinin ortak politikalar geliştirerek birlikte hareket etmesi önem kazanmaktadır.

1.1. Ağır Metal Nedir?

Yoğunluğu 5 g/cm^3'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 demir (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).

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 iyot (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.

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

Çevre ortamında ağır metaller biyolojik ve jeolojik olarak transformasyonlara uğrayabilmektedir. Bu parçalanma ve taşınma sonucunda bulundukları 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 taşınıma 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).

1.1.1. Ağır metal içeren atıksular

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 kirliliğinin su kirlenmesinde önemli bir yeri vardır ve bu kirliliğin nedenleri arasında esas olarak madencilik endüstrisi yer almaktadır. Örneğin cevherlerin işlenmesi sırasında oluşan atıklar tabi tutuldukları işlemlere bağlı olarak çoğu kez aktifleşip birer kirlilik kaynağı haline gelmektedirler. 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 sularda yaşayan balıklar ve diğer canlılar ölebilir. Hatta bu tür su ürünleri ile beslenen insanların da olumsuz etkilere uğraması söz konusudur (Yıldız 2004).

1.1.1.1. Civa

Civanın (Hg) atom numarası 80, atom ağırlığı 200.6 g/mol, erime noktası -38.8 ^{0}C, özgül ağırlığı 13.55 g/cm^{3}, buhar basıncı 20 ^{0}C'de 1.22x10^{-3}'dür. Hg, gümüş-beyaz metaldir, oda sıcaklığında sıvıdır ve iyi bir elektrik iletkenidir, ama ısı iletkenliği oldukça zayıftır. Üç kararlı oksidasyon durumu vardır; 0 (elementer Hg), I (mercorous - tek değerli civa), II (mercuric - iki değerli civa). Civanın özellikleri ve kimyasal davranışları onun oksidasyon durumuna bağlıdır. Yedi kararlı izotopu vardır: ^{195}Hg (0.15%), ^{198}Hg (10.0%), ^{199} Hg (17.0%), ^{200}Hg (23.3%), ^{201}Hg (13.2%), ^{202}Hg (29.6%) ve ^{204}Hg (6.7%) (Bradl, 2005b).

Hg çoğu zaman atmosferde elementer Hg buharı şeklinde bulunur. Hg'nin toprakta, su, sediment veya biyotada karşılaşılan formu inorganik tuzlar ve inorganik Hg kompleksleri şeklindedir. Hg'nin toprak ve sediment içindeki akıbeti Hg'nin uygulanan kimyasal formuna, inorganik reaktivitesi ve organik toprak kolloidleri, toprak pH'ı, toprak organik maddesi ve redoks potansiyeline bağlıdır. Bu faktörler arasında Hg adsorbsiyon kontrolünde pH en önemlisidir. Toprak parçacıklarının her iki yüzey yükü ve metal türleşmesi özellikle pH tarafından belirlenir (Bradl, 2005b).

Hg, yaygın olarak endüstri ve tarımda uygulanmaktadır. Hg'nin kullanıldığı ana sanayiler; klor-alkali sanayi (elektroliz), elektrik ve kontrol aletleri sanayi, laboratuvar ürünleri, diş hekimliği (diş amalgamları), kağıt hamuru ve kağıt sanayidir. Tarımda Hg, tahılda, patates, çiçek soğanı, şeker kamışı vb. bitki hastalıklarına karşı yapraktan sprey olarak kullanılmaktadır. Bu durum gıdaya ve yaban hayatına bulaşmaya yol açabilir. Hg sıra dışı yükseklikte uçucudur, uçuculuğu sıcaklık arttıkça artar ve atmosferde kayda değer şekilde her yerde mevcuttur (Bradl, 2005b).

Antropojenik Hg emisyonlarının birçok kaynağı vardır. Öncelikle fosil yakıtlar, ahşap ve atıkların yanması, kanalizasyon çamurları atmosferik Hg'nin önemli kaynaklarıdır. Yüksek sıcaklık eritme, cevher kavurma, çimento ve kireç üretimi, metal işleme, atık siteleri, maden ocağı ürünleri gibi işlemler Hg'nin önemli kaynaklarıdır (Bradl, 2005b).

Günümüzde atmosferdeki Hg'nin %70-80'inin kökeni insan faaliyetleri kaynaklıdır. Toplam atmosferik civa yükünün sanayileşme faktörü ile 2-5 kat artmış olduğu tahmin edilmektedir. Hg'nin doğal emisyonları, rüzgar erozyonu ve mineralize toprak yüzeyinden gaz salınımı, volkanik patlamalar ve jeotermal aktiviteler,

yeraltından gelen kaçaklar ve nehirler, göller, karasal ve deniz sistemleri ve sulak alanlardan kaynaklanan emisyonlardır (Bradl, 2005b).

1.1.1.2. Civanın ekotoksikolojik etkileri

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 civalı klorid ya da tek değerli civalı kloridin 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 ativiteyi azalttığı gösterilmiştir.(Sarkar, 2002a)

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, 2002a).

Hg karasal sistemler için biyokümülasyonu 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, duyularda aksaklıklar (uyuşma gibi), hareketlerin koordinasyon bozukluğu, konuşma, işitme bozukluğu ve zihinsel bozukluklardır (Bradl, 2005b).

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).

1.1.1.3. Nikel

Nikelin (Ni) atom numarası 28, atom ağırlığı 58.71 g/mol, özgül ağırlığı 8.9 g/cm^3 ve erime noktası 1453 ^{0}C'dir. Periyodik tablonun demir-kobalt grubuna (grup VIII) aittir ve gümüş-beyaz, sert, şekillendirilebilir, sünek, ferromanyetik bir metaldir.

Suda çözünmez ancak seyreltik HNO_3 içinde çözülebilir. HCl ve H_2SO_4 içinde biraz çözünür ve NH_4OH içinde ise çözünmez (Bradl, 2005b).

Beş kararlı izotopu vardır: ^{58}Ni (68.27%), ^{60}Ni (26.10%), ^{61}Ni (1.13%), ^{62}Ni (3.59%) ve ^{64}Ni (0.94%). 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. Ni yerkabuğu içinde 80 mg/kg ortalama içerik ile 23'üncü sıradadır. En önemli iki Ni cevheri pirotin ve pentlandit'dir (Bradl, 2005b).

Ni çoğunlukla galvanik, alaşım üretimi, Ni-Cd bataryalar, elektronik bileşenler, yağ ve methanation hidrojenizasyonu için katalizör olarak kullanılmaktadır. Ni'nin en büyük uygulaması paslanmaz çelik üretimidir ve bu nedenle Ni ürünlerinde büyük çeşitlilik bulunur. Jetonlar, takılar, cerrahi implantlar, mutfak aletleri, evyeler ve mutfak gereçleri bunlara örnek olarak verilebilir. Ayrıca Ni-Fe, Ni-Cu, Ni-Cr ve Ni-Ag alaşımlarında kullanılır. Ni-çelik alaşımları zırh kaplama ve silahlanmanın yanı sıra türbin kanatları, jet motoru parçaları ve nükleer reaktörler için kullanılır. Ni'nin çevredeki temel kaynakları madencilik ve ergitme, kanalizasyon çamurları, fuel oil ve kömür yanmasıdır. Petrol Ni içerdiğinden havadaki Ni'nin ikincil kaynağı olarak tespit edilmiştir (Sarkar, 2002b).

Kompleks yapan ajanların varlığında (siyanür gibi) Ni iyonları çözünebilir kompleks formlarındadır. Atıksuya kireç ilavesiyle Ni pH 10-11'de 0.12 mg/L minimum çözünürlüktedir, çözünmez nikel hidroksitlerini teşkil eder. Aynı zamanda Ni, geri kazanım proseslerinde sülfat ya da karbonat olarak çöktürülür. Sedimantasyon ve filtrasyondan sonra pH 11.5'de kireç ilavesi ile 0.15 mg/L'lik çıkış Ni seviyesi sağlanabilir. Ni'nin önemli konsantrasyonlarda geri kazanım için iyon değişimi prosesleri ya da buharlaştırma kullanılmaktadır. Ni gideriminde ters ozmoz yönteminin kullanımı giderek artmaktadır (Yıldız, 2004).

1.1.1.4. Nikelin ekotoksikolojik etkileri

Ni'nin toprakta bulunan toplam tolore 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'nin ağır metaller içerisinde, özellikle Zn'den 8 kat daha fazla zehirli olduğu bilinmektedir (Yıldız, 2004).

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).

İnsanlarda Ni zehirlenmesinin çeşitli tipleri vardır. Ni bileşenlerinin solunması ($[Ni(CO)_4]$, Ni_3S_2, NiO ve Ni_2O_3 gibi) pnömonisi ile kortikal yetmezliğe, pulmoner ödem ve karaciğer dejenerasyonuna, solunum yolu kanseri ve astıma yol açabilmektedir. İnsanlarda uzun vadeli Ni cilt temasının en yaygın etkisi kontakt dermatitdir. Son yıllarda Ni ve Ni bileşiklerinin kanserojen potansiyeli endişe yaratmaktadır (Sarkar, 2002b).

1.1.1.5. Bakır

Bakır (Cu), atom numarası 29 olan ve biçimlendirilebilir, ısı ve elektriği iyi ileten bir metaldir. Periyodik tablonun IB gurubundadır. Atom ağırlığı 63.55 g/mol, erime noktası 1083 ^{0}C ve yoğunluğu 8.96 g/cm^3'tür. Cu'nun iki doğal izotopu vardır (^{63}Cu ve ^{65}Cu). ^{64}Cu radyoaktif izotopun ise yarılanma ömrü 12.8 saattir ve iz element olarak kullanılır. Sülfürler, sülfatlar ve karbonatlar ile çeşitli Cu formları oluşur. Cu mineralinin en bol olduğu bileşik kalkopirit ($CuFeS_2$) %34 oranında Cu içerir (Bradl, 2005b).

Cu konsantrasyonu toprakta 5-100 mg/kg arasında bulunmaktadır. Toprakta doğal olarak bulunan Cu'nun miktarı, toprak ana maddesinin Cu içeriğine bağlı olarak değişiklik gösterir. Cu konsantrasyonu mineral ayrışmanın şiddeti ve gelişen bitkilerin etkisiyle toprak profilinin yüzeye yakın katmanlarında daha yüksektir. Cu, kuvvetli bir şekilde toprak parçacıklarına bağlandığından oldukça hareketsizdir. Çoğu toprakların Cu içeriği bu nedenle alt profillere doğru azalma göstermektedir (Yıldız, 2004). Farklı toprak bileşenleri arasında Cu dağılımını çoğunlukla topraktaki organik madde, Mn ve Fe oksitler etkiler (Bradl, 2005b).

Cu yaygın olarak tel üretimi için elektrik endüstrisinde kullanılmaktadır. Diğer kullanım alanları vernikleme, tel ve pirinçten yapılmış eşyalar, mutfak eşyaları, su

dağıtım sistemleri, bakteri ve mantar ilaçları, gübre, katkı maddesi ve büyüme destekleyici olarak, çiftlik ve kümes hayvanları üretiminde ajan olarak kullanılır. Ana maddesi Cu olan tarımda yaygın olarak kullanılan Cu gübreler vardır. Örneğin, $CuSO_4.5H_2O$, CuO, Cu_2O, $CuSO_4.3Cu(OH)_2$. Bazı Cu bileşikleri ($CuSO_4$ ve $Cu(OH)_2$ gibi) turunçgiller, üzüm, sebzeler, kahve, kakao, muz ve çay gibi çeşitli tarım ürünlerinde fungisit ve bakterisit olarak kullanılmaktadır (Bradl,2005b). Kümes hayvanlarının beslenmesinde $CuSO_4$ katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Yıldız, 2004).

Atıksulardan Cu elektrodiyaliz, çöktürme, iyon değişimi, buharlaştırma proseslerinin de dahil olduğu geri kazanım ile giderilir. Geri kazanım prosesinin değerini geri kazanılan bakır metalinin oranı ifade eder. Aktif karbon prosesleri ve iyon değişimi 200 mg/L'den daha düşük konsantrasyonlarda Cu içeren atıksuların arıtımı için oldukça uygun bir yöntemdir. Atıksudaki Cu konsantrasyonlarına bağlı olarak genellikle, 1-1000 mg/L giriş seviyeleri için çöktürme, 1000 mg/L'den yüksek Cu konsantrasyonları için ise elektrolitik geri kazanım prosesleri uygulanır. pH 9 ve pH 10.3'de Cu^{+2} 0.001 mg/L'lik minimum çözünürlüğe sahiptir. Bakır siyanürün verimli giderimi aktif karbonla olmaktadır. Kompleks olarak Cu içeren atıksular için demir sülfat ($FeSO_4$) ilavesi ile ön giderim gerekmektedir ancak bu proses bazen zor olmaktadır. Cu kompleksini bozmak için iki ayrı pH ayarlaması yapmak gerekmektedir. Cu'nun atıksudan uzaklaştırılmasında genellikle teori ile uygulama arasında verim bakımından değişmeler gözlenebilir. Bunun nedeni, pH' daki değişimler, düşük reaksiyon hızları ve atık sudaki diğer iyonların varlığı olabilir. Özellikle seyreltik atıksularda çok yüksek seviyelerde Cu giderimi için iyon değişimi oldukça uygun bir yöntemdir (Yıldız, 2004).

1.1.1.6. Bakırın ekotoksikolojik etkileri

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 (Bradl,2005b).

Cu, bitki enzimlerinin (tohum üretimi, solunum, hücre duvarı enzimleri gibi) bir numaralı bileşenidir. Su sistemleri için ise serbest Cu iyonu (Cu^{+2}) Cu'nun en toksik formu olarak kabul edilir. Cu, hayvanlar için mikronütrient olmasına rağmen, akuatik yaşam için normalden 10-50 kat daha zehirlidir (Bradl, 2005b).

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).

1.1.1.7. Kurşun

Kurşunun (Pb) atom numarası 82'dir ve parlak mavi-gri renkte bir metaldir. Pb, elektrik iletkenliği zayıf, korozyona dayanıklı, yumuşak bir metaldir. Periyodik tablonun IVA grubuna aittir, atom ağırlığı 207.2 g/mol, yoğunluğu 11.4 g/cm^3 ve erime noktası 328 ^{0}C'dir. Dört kararlı izotopu vardır (^{204}Pb, ^{206}Pb, ^{207}Pb, ^{208}Pb) ve iki radyoaktif izotopu iz element olarak kullanılır (^{210}Pb, ^{212}Pb) (Bradl, 2005b).

Toprak içindeki Pb'nin kimyası üç ana faktörden etkilenmektedir, birincisi çeşitli katı fazlardaki belirli adsorbsiyon, yüksek kararlılıklı veya az çözünebilir bileşiklerin olması ve üçüncüsü topraktaki organik maddeyle etkileşimi sonucu kararlı komplekslerin oluşmasıdır (Bradl, 2005b).

Pb insanlar tarafından 5000 yıldan daha fazla süredir kullanılmaktadır. Pb şarj edilebilir piller, pigmentler, su borularının alaşımları, insektisitlerin üretimi, tekstil, haddelenmiş ve çekilmiş ürünler, kablo kaplama, alaşımlar ve benzin katkı maddeleri olarak çok geniş bir kullanım alanı vardır. PVC'lerde ısı dengeleyici olarak da kullanımı vardır (Bradl, 2005b).

Pb içeren pestisitler ABD, Avusturya, Belçika ve Almanya'da yasaklanmıştır ancak diğer ülkelerde halen kullanılmaktadır (Bradl, 2005b). 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. Toz ve yağışlar ile ilave olunan Pb miktarı toprakta 0.18-4.80 mg/m^{2}gün düzeyine kadar ulaşabilmektedir (Yıldız, 2004).

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 (Yıldız, 2004).

Pb soda külleri kullanılarak karbonat formunda da verimli olarak giderilebilir. Pb'nin arıtım sonunda çıkış konsantrasyonları pH 9- 9.5'de 0.01-0.03 mg/L kadardır. Ayrıca kireç ile çöktürmede pH 11.5'de çıkış konsantrasyonları 0.09-0.2 mg/L olarak sağlanabilir. Filtrasyon işlemi gerçekleştirilse daha iyi sonuçlar alınabilmektedir. Organik ve inorganik Pb giderimi iyon değişimi ile verimli olarak sağlanabilmektedir (Yıldız, 2004).

1.1.1.8. Kurşunun ekotoksikolojik etkileri

Genel olarak Pb fitotoksisitesine 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, 2002c).

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 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, 2002c).

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, 2002c).

1.1.1.9. Çinko

Çinkoun (Zn) atom numarası 30, atom ağırlığı 65.38 g/mol, erime noktası 420 ^{0}C, yoğunluğu 7.13 g/cm^{3}, periyodik cetvelde II-B grubunda yer alan ve tüm bileşiklerinde 2 değerlikli olan bir elementtir. Mavimsi beyaz renkli yumuşak bir metal olup, 5 kararlı izotopu vardır (^{64} Zn (%48.89), ^{66}Zn (%27.81), ^{67}Zn (% 4.11), ^{68}Zn (% 18.65), ^{70}Zn (%0.62). Zn'nin 6 adet radyoaktif izotopu vardır (^{62}Zn, ^{63}Zn, ^{65}Zn, ^{69}Zn, ^{72}Zn, ^{73}Zn) (Bradl, 2005b).

Oksidasyon seviyesi II olup, Zn^{+2} iyonu renksizdir. Alkali çözeltilerde hidroksit olarak çöktürülür. Doğada amfoterik olduğundan, Zn formları suda çözünebilen, 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^{-}, PO_4^{-}, NO_3^{-} ve SO_4^{-2} ile bileşik oluşturur (Bradl, 2005b).

Zn, en yaygın olarak metal kaplaması ve alaşımlarda kullanılır (Yıldız, 2004). Zn yıllık tüketimde dünyada tüketilen metaller içerisinde dördüncü sırada yer almaktadır (Fe, Al ve Cu). Zn özellikle ipek ipliği, fiber üretimi, çelik sanayi ve katot arıtımı uygulayan soğutma sistemleri ile metal proses atık sularında bulunur. Ayrıca Zn otomobil endüstrisinde, kozmetik, merhem, vernik, kauçuk, mürekkep, karbon kağıtları, boya maddeleri, silgi ve muşamba üretiminde kullanılmaktadır (Yıldız, 2004; Bradl, 2005b). Zn, parşömen kağıtları, cam, otomobil lastikleri, televizyon ekranları, kuru pil ve elektrik ekipmanlarının üretimi için gereklidir. Tarımda ise önemli bir mikrobesin gübresi olup, ahşap koruyucu ve insektisit olarak da kullanılmaktadır (Bradl, 2005b).

Zn yerkabuğunda 24. sırada (70 mg/kg) yer almaktadır. Ortamda Zn'nin ana kaynakları Zn gübreler, arıtma çamurları, madencilik ve ergitmedir. Madencilik ve ergitme önemli bir girdi kaynağıdır. Diğer girdi kaynakları arasında araç egzozları, lastik aşınması, galvinizli çelik korozyonu ve tarımsal alanlardan yağmur suyu akışı sayılabilir (Bradl, 2005b).

Elektrolitik kaplama banyoları Zn atıklarının diğer bir kaynağıdır. Bunların çoğunluğunu çinko siyanür içeren ($Zn(CN)_2$) bazik çözeltiler oluşturur (Yıldız, 2004). Bu karaterdeki atıksularda Zn genellikle çinko ferrosiyanür ($Zn_2Fe(CN)_6$) ve çinko siyanür ($Zn(CN)_2$) halinde bulunur. Atıksuyun pH'ı genellikle 9'un üzerindedir.

Yeryüzünde yılda 720,000 ton Zn'nin havalandırma ve çözünme yolu ile yayıldığı hesaplanmıştır. Zn konsantrasyonunun yüzey sularındaki durumunu ise şehirleşme ve insan aktiviteleri etkilemektedir. Ortamın artan redoks potansiyeli ve düşen pH değeri sedimanlardaki Zn'nin çözünerek çözeltiye geçmesini sağlamaktadır (Yıldız, 2004).

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 depolaması 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).

Optimum verim pH'ı laboratuvar verilerine göre 9-9.8 aralığında değişmektedir. Kireç eklenmesi kalsiyum sülfatında çökelmesi bakımından dezavantajlıdır. Atıksuda yüksek sülfat bulunması durumunda aynı anda kalsiyum sülfat çökelir ve sonuçta pH 11'de 0.1 mg/L'den daha az çözünebilir Zn sağlanmaktadır (Yıldız, 2004).

1.1.1.10. Çinkonun ekotoksikolojik etkileri

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).

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).

1.1.1.11. Kadmiyum

Kadmiyum (Cd) yumuşak, gümüş-beyaz renkli, parlak metal görünümlü, yoğunluğu 8.64 g/cm^3, erime noktası 321 ^{0}C, atom ağırlığı 112.4 g/mol olan ve periyodik tablonun IIB grubunda yer alan bir elementtir. Sekiz tane kararlı izotopu vardır (^{106}Cd ,^{108}Cd ,^{110}Cd , ^{111}Cd , ^{112}Cd , ^{113}Cd , ^{114}Cd ve ^{116}Cd). Bulunma oranına göre (%24.07) en kararlı izotopu ^{112}Cd'dir. Zn'ye benzer, hemen hemen tüm kararlı bileşiklerinde 2 değerlikli olup, amonyak ve siyanür ile hidroksitler, kompleks iyonlar ile aynı zamanda kompleks organik aminler, kükürt kompleksleri, klorlu kompleksler ve çeşitli şelatlar oluşturur. Cd formları presipitatlar ile birlikte karbonatlar, arsenatlar, fosfatlar, oksalatlar ve ferrosiyanitlerdir. Nitrik asit içerisinde kolayca çözünebilir ve düşük erime sıcaklığına sahip alaşımlarının geniş kullanım alanları vardır (Bradl, 2005b).

Cd, seramikler, metalurjik alaşımlar, kimyasal endüstriler, Pb madenciliği ve tekstil boyama deşarjlarında bulunmaktadır. Cd en çok, elektrolit kaplama (%45), Ni-Cd pilleri (%39), boya, mürekkep ve plastiklerde kullanılan pigmentlerin bileşimi (%21), çoğunlukla PVC için kullanılan plastik stabilizatörler (%15) ve alaşımlarda (%7.5) kullanılmaktadır. Cd ayrıca, fotoğrafçılık, lastik sertleştirilmesi, televizyon tüpleri, özel ayna, fungisitler ve insektisitlerin üretimi, nükleer santrallerde merkezsel çubuk üretiminde (%8.5 oranında) kullanılmaktadır (Yıldız, 2004). Korozyona karşı özellikle deniz koşullarına dayanımı nedeniyle gemi sanayinde çeliklerin kaplanmasında da kullanılmaktadır.

Cd, Zn sanayinin bir yan ürünüdür. Özellikle alaşımlarda, elektrokaplamada, pigmentlerde, polivinil plastikler için stabilizatör olarak, pillerde, demir ve çelikte korozyona karşı korumak için kullanılmaktadır. Çevre koruma kararları nedeniyle Cd kullanımı dünya çapında sınırlandırılmıştır. Yine de birçok tüketim ürününde bulunabilir ve aynı zamanda fungisid olarak da kullanılmaktadır. (Bradl, 2005b).

Doğada oksidasyon II seviyesinde bulunmaktadır. Cd 0.15-0.20 mg/kg ortalama konsantrasyon ile yerkabuğu 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, 2002d)

Cd ayrıca dökümhanelerden atmosferik birikim ile, Cd içeren plastik ve pigmentlerin yakılmasıyla, fosil yakıtların yanmasıyla, çelik fabrikalarının ve metalurjik süreçlerin emisyonları ile çevreye yayılmaktadır. Bu gibi faaliyetlerin bulunduğu çevresel ortamların yakınlarında Cd kontaminasyonu ABD, Japonya ve İngiltere tarafından rapor edilmiştir. Yolların yakınındaki araç emisyonları Cd ve diğer metallerin kaynaklarıdır (Bradl, 2005b).

Madencilik faaliyetlerinin sonucunda ortaya çıkan önemli konsantrasyonlarda Cd içeren atıksular geniş alanları etkileyebilir. En önemli durumlardan biri Japonya'da Jinzu Nehri havzasındaki nüfus 30 yıllık dönemde Cd'ye maruz kalmıştır. Pirinç tarlalarının Cd içeren nehir suyu ile sulanması sonucu itai-itai felaketi olmuştur. Jinzu Nehri havzasındaki çeltik tarlalarının kirlilik kaynağı, Jinzu Nehri'nin akış yönünün 40 km yukarısında bulunan Kamioka madenidir. Cd konsantrasyonunun çeltik yüzey topraklarında 1.35-6.88 mg/kg ve pirinçte 0.37 mg/kg olduğu rapor edilmiştir (Bradl, 2005b).

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

Cd, kompleks yapan iyonların (siyanür gibi) varlığında çözünmez. Kompleks ajanların etkisini azaltmak için ön arıtım yapılması gereklidir. Cd kaplama sonucu oluşan atıkların içeriğinde siyanür vardır. Siyanür giderilirken bozunma işlemleri kolay ve hızlıdır. Cd'nin çöktürülmesinden önceki adım siyanürün giderilmesidir. Siyanür uzaklaştırıldıktan sonra Cd giderimindeki prosesler sırasıyla koagülasyon, çökeltme ve kum filtrasyonu olmaktadır (Yıldız, 2004).

1.1.1.12. Kadmiyumun ekotoksikolojik etkileri

Cd'nin, daha düşük konsantarsyonlarının bitkiler, omurgasızlar ve omurgalılar için Zn, Pb veya Cu'dan çok daha yüksek oranda toksik olduğu bilinmektedir. Fitotoksisite, 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 absorbsiyonu 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.

Omurgasızlar, solucanlarda dahil (Annelida - Lumbricus terrestris, Aporrectodea longa) ağaç bitleri (Isopoda-Oniscus asellus), salyangoz ve sümüklü böcekler (Mollusca-Cepaea nemoralis, Discus rotundatus) Cd hiperakümülatörüdür (Sarkar, 2002d).

İnsanda Cd, kalsiyumun (Ca) ve D vitaminin metabolizmasını engeller ve osteomalachia gibi (veya osteoropoz) kemik dejenerasyonuna neden olur. İdrar yoluyla Ca kaybını artırır. Cd'nin uzun süreli solunması veya ağız yoluyla alınması, böbrek ve akciğerleri etkiler, proteinureaya 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, 2002d).

1.1.1.13. Krom

Krom (Cr) periyodik tablonun VIB grubunda yer alan, atom numarası 24, yoğunluğu 7.2 g/cm^3, atom ağırlığı 52 g/mol ve erime noktası 1857 ^{0}C olan bir elementtir. Dört kararlı izotopu vardır (^{50}Cr (%4.31), ^{52}Cr (%83.76), ^{53}Cr (%9.55) ve ^{54}Cr (%2.38)). Cr'nin toprakta ve sedimentte 3 değerlikli (Cr^{+3} katyon ve CrO_2^-) ve altı değerlikli formları ($Cr_2O_7^{-2}$ ve CrO_4^{-2}) görülebilir. Üç değerlikli formları oksijen ve azot içeren ligandlar ile kolaylıkla koordinedir (Bradl, 2005b). Cr'nin altı değerlikli formları, üç değerlikli formlarına göre biyolojik membranlardan kolaylıkla geçebilmeleri ve oksidasyon potansiyeli nedenleri ile daha toksiktir (Yıldız, 2004).

Cr'nin en bilinen minerali kromittir ($FeCr_2O_3$) ve krom eldesinde kullanılır. Krom(+6) oksit (CrO_3), kromperoksit (CrO_5) Cr'nin diğer oksitleridir (Yıldız, 2004).

Cr'nin en bilinen diğer bileşikleri:

- Çeşitli bazikliklerdeki krom sülfatlar ($Cr_2(SO_4)_3.xH_2O$)
- Alkali kromat ve bikromatlar ($NaCrO_4$; $Na_2Cr_2O_5.2H_2O$; $K_2Cr_2O_7$)
- Kromik asit anhidrittir (CrO_3)

Cr'nin (+6) değerlikli iyonlarının (+3) değerlikli iyonlarına dönüştürülmesi sodyum bisülfit gibi indirgeyiciler ile pH 3'ün altında gerçekleştirilebilir. Reaksiyon ortama H^+ iyonunun eklenmesiyle aşağıdaki gibidir;

$$H_2CrO_4^- + 7\ H(^+) + 3e^- \rightarrow Cr(^{+3}) + 4\ H_2O.H_2CrO_4 \quad (1.1)$$

$$CrO_4^{-2} + 4\ H_2O + 3e^- \rightarrow Cr(OH)_3 + 5\ OH^- \quad (1.2)$$

pH ve redoks potansiyeli Cr ($^{+3}$) ve Cr ($^{+6}$) arasında kesin olarak rol oynamaktadır. Atıksu içeriğinde mevcut olan krom türlerinin sayısı ve türü endüstriyel işlemlerde kullanılan Cr'nin yapısına bağlıdır. Oksijen miktarı fazla sulu çözeltilerde Cr ($^{+3}$) pH≤6'da kararlıdır. CrO_4^{-2} iyonları pH≥7'de baskın olmaktadır. Diğer pH değerlerinde Cr ($^{+3}$) ve Cr ($^{+6}$) oksijen konsantrasyonlarına dayanmaktadır (Yıldız, 2004).

Cr ($^{+3}$)'ün hidrolitik formları pH 4.5'den başlayarak çökelmeye eğilimlidir. Cr'nin toprakta adsorbsiyon ve çökelme davranışları redoks potansiyeli, oksidasyon durumu, pH, toprak mineralleri, rakip iyonlar, kompleks yapıcı etkenler gibi çeşitli faktörler tarafından kontrol edilir. Bu faktörler toprakta katı ve sıvı ortamlar arasındaki Cr'nin bölünme süreçlerinin çoğunu kontrol eder. Bunların arasında en önemlileri Cr ($^{+3}$) ve Cr ($^{+6}$)'nın hidrolizi, Cr ($^{+3}$) ve Cr ($^{+6}$)'nın redoks reaksiyonları ve Cr ($^{+6}$)'nın adsorbsiyon/desorbsiyon çökelmesidir. Altı değerlikli Cr türleri Fe, Mn ve Al oksitler gibi yüzeylerden hidroksil grupları ile çeşitli toprak fazları tarafından adsorbe edilir. Cr ($^{+6}$) adsorbsiyonunun kaolinit ve Fe oksit kristalleri ile zenginleştirilmiş düşük pH'da en fazla olduğu bulunmuştur. Adsorbsiyon artan pH ve toprak organik madde içeriği ile artmakta, rakip katyonların varlığında veya çözünmüş organik ligandların varlığında azalmaktadır (Bradl, 2005b).

En önemli Cr cevheri dünyada üretimi 9 milyon tondan fazla olan kromittir [$(Fe,Mg)O(Cr,Al,Fe)_2O_3$]. Cr çoğunlukla paslanmaz çelik üretiminde, ısıya dayanıklı amaçlarla yüksek erime noktası ve kimyasal hareketsizlik nedeniyle harç ve beton yapımında kullanılmaktadır. Cr yerkabuğunda bolca bulunur ve bulunuş sırası 21'dir.

Cr'nin kağıt endüstrisi, kimya sanayi, gübreler, metal işleri ve dökümhaneler, deri tabaklama, enerji santralleri gibi çok geniş uygulama alanları vardır. Cr'nin antropojenik temel kaynakları elektrikli fırınlardan, çelik üretiminden ve kömür yakıtlı santrallerden kaynaklanan atmosferik birikimdir. Çeşitli endüstriyel prosesler, elektro kaplama, deri tabaklama, metal işleme, tekstil ve kürk boyama gibi faaliyetler ile Cr ile kirlenmiş atıksu deşarjı olabilir (Bradl, 2005b).

1.1.1.14. Kromun ekotoksikolojik etkileri

Cr insan ve hayvan beslenmesi için gerekli elementtir. *Sutera fodina, Dicoma niccolifera* ve *Leptospermum scoparium* gibi bazı bitki türleri önemli miktarda Cr biriktirebilir. 48,000 mg/L kadar Cr birikimi rapor edilmiştir. Cr (+3) normal glukoz metabolizmasını sürdürmek için gereklidir ve bu durum ilk kez farelerde kanıtlanmıştır (Bradl, 2005b).

İnsanlarda Cr eksikliği, bozulmuş glukoz toleransına, glikozüri ve serum içinde insülin, kolesterol ve toplam trigliseridin yükselmesine neden olur (Bradl, 2005b).

Hayvanlarda büyüme bozukluğu, değişmiş immün fonksiyonu, aortik plak ve boyut bozuklukları, korneal lezyon oluşumu gibi semptomlar ve üreme fonksiyonlarında azalma gözlenmiştir (Bradl, 2005b).

Cr ($^{+3}$)'ün aksine Cr ($^{+6}$) toksiktir. Cr ($^{+3}$) ve Cr ($^{+6}$) insan için potansiyel kanserojendir. Cr ($^{+3}$) ve 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 dermitite neden olan ikinci deri alerjenidir. Eğer Cr ($^{+6}$) yutulur ise, mide asitinin hareketi sayesinde hızla Cr ($^{+3}$)'e dönüştürülür (Bradl, 2005b).

1.2. Ağır Metallerin Ekosisteme Giriş Yolları

Çevre kirliliğine neden olan ve günümüzde ekosistemin her aşamasında toksik etkileri görülebilen ağır metal kirliliği önemli bir problemdir.

Ağır metaller, doğal yollarla ya da çeşitli endüstriyel ve zirai faaliyetler ile madencilik faaliyetleri sonucunda su kaynaklarına, toprağa ve atmosfere karışmaktadır.

Endüstriyel atıksular ağır metal içeriği yönünden önemli bir kirletici olarak, ya hiç arıtılmadan ya da bir ön arıtımdan sonra kanalizasyon sistemine deşarj edilmektedir (Yıldız, 2004).

1.2.1. Ağır metallerin alıcı su ortamına ve toprağa etkileri

1.2.1.1. Ağır metallerin alıcı su ortamına etkileri

Su ortamında bulunan ve belirli bir konsantrasyonu aşan her madde canılar için zararlıdır. Bazı maddeler eser miktarda olsa bile toksik etki gösterebilmektedir. Bunların başında Cd, Co, Ni, Cr, Cu, Zn, As, Pb, Mn, Ag ve Se gibi ağır metaller sayılabilir (Bradl, 2005b).

Ağır metal içeriği yüksek atıksuların hiçbir arıtıma tabi tutulmadan alıcı ortama deşarj edilmesi, bu ortamdaki canlı hayatını tehlikeye sokar. 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 (Bradl, 2005b).

1.2.1.2. Ağır metallerin toprağa etkileri

Ağır metal kirliliğinde önemli olan diğer bir alan da toprakta ağır metal birikimidir. Tarım alanlarında ağır metal kirlenmesinin son yıllarda gösterdiği artış nedeniyle bu metallerin bitkiler üzerindeki etkileri daha çok araştırma konusu olmuştur. Pestisitlerden, gübrelerden, endüstriyel ve evsel atıklardan toprağa bulaşmış ağır metalleri bitkiler bünyesinde biriktirme eğilimindedir. Atıksularla sulama ile ürün yetiştiriciliği, ülkemizde sulama problemi olan bölgelerde yoğun bir şekilde yapılmaktadır (Doğan, 2003).

Zn ve Cu gibi ağır metaller normal bitki büyümesi ve gelişmesi için kofaktör olarak gereklidir, ancak bu mikro besinler ile Cd, Ni ve Pb gibi ağır metallerin fazlalığı bitkilerde toksik etki yapmaktadır (Doğan, 2003).

Topraklarda ağır metallerin tutunmasını etkileyen faktörler; pH, organik madde, kireç ve toprak tekstürüdür (Sarı, 2009).

1.3.Ağır Metal Analiz Yöntemleri

1.3.1. Numune hazırlama

1.3.1.1. Toprak numunesi

Toprak örnekleri neme dayanıklı kağıt torbarlarda toplanır. Malzeme normal havada yüksek sıcaklıkta kurutulur. Kil bakımından zengin örnekler 65 ^{0}C'nin üzerinde kurtulmamalıdır. 40 ^{0}C üzerindeki sıcaklıklarda kurutma Hg kayıplarına neden olabilir. Kurutulduktan sonra örnek <2 mm elekten elenir. Örneğin lehim malzemeleri ile kirlenmesini önlemek için sadece naylon veya paslanmaz çelik elek kullanılmalıdır. Kısmi ekstraksiyon doğrudan elenmiş fraksiyonu kullanarak gerçekleştirilir. Toplam ya da yakın toplam çözünürleştirme ve enstrümantal yöntemler için örnek ince elenmiş olmalıdır (Bradl, 2005b).

1.3.1.2. Ürün numunesi

Ürün örnekleri sıkıca kapatılmış plastik torbalar içinde toplanmamalıdır, bu durum çürümeye neden olur. En iyi örnekleme kahverengi kağıt torbalar ve hava ile kurutmadır. Örnek çelik bıçaklı ya da daha iyisi seramik bıçaklı değirmenle öğütülür (Bradl, 2005b).

1.3.2.Analitik metot

Çevresel ortamlardaki ağır metallerin belirlenmesi için çeşitli analitik yöntemler kullanılabilir. En yaygın kullanılan yöntemler optik spektroskopik yöntemlerdir. Bu yöntemlere UV spektrofotometresi, alev fotometresi, florumetre, atomik absorbsiyon fotometresi (AAS), indüksiyonla birleşmiş plazma atomik emisyon spektrometresi (ICP-AES) dahildir. Diğer yandan ikincil iyon kütle spektrometresi (SIMS), elektron mikropob, X florasan ışığı ile uyarılmış proton (PIXE), mikro sinkrotron X ışını floresans (μSYXRF) ve mikro X ışınları absorbsiyon gibi ağır metallerin konumsal olarak dağılımını belirleyen mikro analitik yöntemler de vardır (Bradl, 2005b).

Çizelge 1.1. Çevresel örneklerin hazırlanması, çözünmesi ve analiz yöntemleri için bazı yöntemler (Bradl, 2005b)

Malzeme	Numune Hazırlama	Çözünme	Analitik Yöntem
Tuğlalar	Kurutma	Kısmi ekstraksiyon veya kuvvetli asit ile (yakın) toplam çözünürleştirme	Atomik Absorbsiyon ICP-OES ICP-MS
Beton kayaçlar	Ezmek ve öğütmek İnce kesitler		XRF Mikroanalitik yöntemler
Topraklar ve sedimentler	Kurutulur, çözünürleştirilir ve elenir Öğütmek İnce kesitler	Kısmi ekstraksiyon veya kuvvetli asit ile (yakın) toplam çözünürleştirme	Atomik Absorbsiyon ICP-OES ICP-MS XRF Mikroanalitik yöntemler
Bitkiler	Kurutma (yakma) Mikrotom kesitler	Asitle çözünürleştirme (Mikrodalga)	Atomik Absorbsiyon ICP-OES ICP-MS XRF Mikroanalitik yöntemler
Sular	Solvent ekstraksiyonu veya İyon değişimi Çökelme		Atomik Absorbsiyon ICP-OES ICP-MS ICP-OES ICP-MS XRF

1.3.2.1. Optik spektroskopik yöntemler

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 absorbsiyon spektroskopisi (AAS), indüksiyonla birleştirilmiş plazma atomik emisyon spektroskopisidir (ICP-OES). UV görünür spektroskopisi ve alev fotometresi iz element düzeyindeki ağır metallerin tespiti için daha az önem taşımaktadır. Ağır metallerin tespitinde AAS ve ICP-AES metotları yüksek önem taşımaktadır (Bradl, 2005b).

UV görünür spektrofotometresi ile ışık renkli bir kompleks içerisindeki örneğe farklı dalga boyları aracılığıyla iletilir ve absorbsiyon ölçülür. Sonuç olarak renkli kompleksin ve spesifik absorbsiyonun yoğunluğu çözelti içerisindeki analitin konsantrasyonuna bağlıdır (Bradl, 2005b).

Alev fotometresi ile bir çözelti alev içerisinde havalandırılır, elementlerin emisyon hatları alevin termal enerjisi ile hareketlenir ve elementlerin emisyon çizgileri karakteristik dalga boylarında görülür. Bu çizgilerin yoğunluğu içerisindeki analit yoğunluğu ile orantılıdır ve basit alev fotometreler ile ölçülebilir.

Atomik spektroskopi tekniğinin temel amacı ise, maddelerin hem kalitatif hem de kantitatif analizini oluşturmaktır. Atomik spektroskopi tekniklerinde analizler üç temel işlemden oluşmaktadır.

- Maddelerin temel halde atomlarına ayrılması,
- Temel haldeki atomların üzerine gönderilen kendilerine has karakteristik ışını absorblama miktarının ölçülmesi veya temel haldeki atomlara daha fazla enerji vererek uyarılması,
- Uyarılmış durumdan temel hale dönerken atomların yaydıkları ışının tespit edilmesidir.

ICP-AES, atomların uyarılması için indüksiyonla birleştirilmiş plazmanın kullanıldığı emisyon spektroskopi tekniğidir. ICP-AES ile yüksek sıcaklıklara ulaşılabilmesi, numune elementlerinin plazma içerisinde alıkonulma süresinin uzun olması, atomlaştırma ve uyarma işlemlerinin inert bir ortamda yapılması ve aynı anda birden fazla elementin ölçülebilmesi gibi özellikleri yönüyle diğer atomik emisyon spektroskopisi tekniklerine göre daha üstün olduğu düşünülmektedir (Bradl, 2005b).

1.3.2.2. Mikro analitik yöntemler

Ağır metallerin çevre üzerindeki etkilerini değerlendirmek için mikro dağılım ve türleşme bilgileri giderek önemli bir hal almıştır. Ağır metallerin mekansal dağılımı ikincil iyon kütle spektroskopisi (SIMS), elektron mikroprobu, X florasan ışığı ile uyarılmış proton (PIXE), mikro sinkrotron X ışını floresans (μSYXRF) ve mikro X ışınları absorbsiyon gibi yöntemlerle tespit edilebilir (Bradl, 2005b).

İkincil kütle spektroskopisi (SIMS) ile birincil iyonlarla bombardıman yapılan katı numunelerde hedefteki parçacıkların bir kısmı iyonlaşır. İkincil iyon kütle spektroskopisi (SIMS) bu iyonların analizinden ibarettir. İkincil iyon kütle spektroskopisi kullanılarak bir örneğin üst atom tabakaları, izotopları, elementel özellikleri, moleküler yapısı hakkında bilgi edinilebilir. SIMS en duyarlı elemental ve izotopik yüzey analizi tekniğidir. İkincil iyon verimi kimyasal çevrenin sebep olduğu matris etkileri ve bombardıman şartları yüzünden büyük ölçüde değişir (Bradl, 2005).

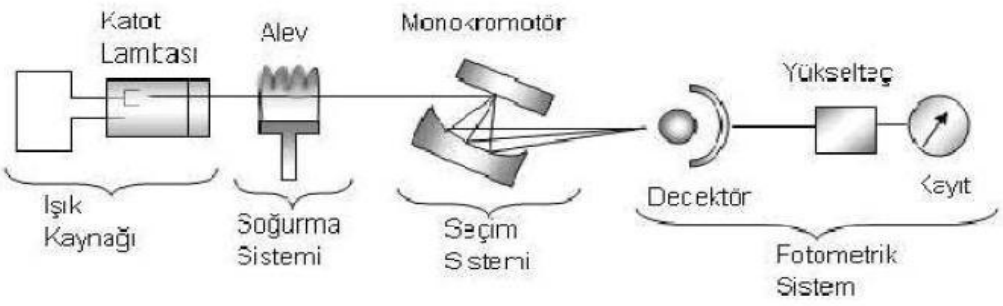
Elektron mikroprobu ile elektron ışın demeti örneğe çarpınca, ikincil elektronlar ve geri dağılımlı elektronlar oluşmakta ve X ışınları şeklinde elektromanyetik radyasyon ortaya çıkmaktadır. Rutin elektron mikroprob analizi ile birkaç yüz µg/g limitlerinde tespitlere ulaşılabilir. Bu yüzden elektron mikroprob ile küçük ve önemli elementlerin tespitleri sınırlıdır (Bradl, 2005b).

Proton kaynaklı X ışınları emisyonu (PIXE) ile örneklerin analizleri bir hızlandırıcıda üretilen yüksek enerjili protonlar ile yapılmaktadır. Elektron prob mikroanalizinin proton eşdeğeri olarak tanımlanabilecek bu teknikte proton ışın demeti örnek içerisine nüfuz etmekte ve örnekteki atomların iç yörüngelerinden elektronların fırlamasına yol açmaktadır. X ışınlarının bir detektörce algılanarak sayılması ile de örneklerin mikroanalizleri gerçekleştirilmektedir. PIXE ile, deteksiyon limit aralığı birkaç mikrometre mekansal alanda 0.1 µg/g çözünürlükte elde edilmiştir (Bradl, 2005b).

1.3.3.1. Atomik absorbsiyon spektrometresi (AAS)

Atomik Absorbsiyon Spektrometresi (AAS) ile nicel analiz Beer Yasası'na dayanmaktadır. Gaz halindeki atomların UV-VIS bölge ışın enerjisinin absorbsiyonunu esas alır. AAS numune ölçümleri, numunedeki elementlerin uygun bir atomlaştırıcıda buhar haline getirilmesi, nötral halde ve temel enerji seviyesindeki atomik buharın primer ışık kaynağından gönderilen ışının absorbsiyonunun ölçümüne dayanır. Buna göre analitlerin ışın absorbsiyonları uygun dalga boylarında ölçülerek, kalibrasyon grafiği yardımıyla absorbansa karşı gelen konsantrasyonu bulunur (Saçmacı, 2000).

AAS ışık kaynağı, absorbsiyon ortamı, monokromotör, alıcı ve yazıcı bölümlerinden oluşmaktadır (Saçmacı, 2000). Şekil 1.1'de bu kısımlar şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.1. AAS temel bileşenleri şematik gösterimi (Yazılan, 2010)

1.3.3.1.1. Işık kaynağı

AAS'de atomik absorbsiyon hatlarından daha dar hatlı emisyon kaynakları kullanıldığında en iyi duyarlılık elde edilir. Dar hatlı emisyon kaynaklarının en tipik olanı ve en çok kullanılanı Oyuk Katot Lambası'dır (OKL). Katot lambasında birkaç mmHg basınçlı neon (Ne) veya argon (Ar) gibi bir soy gaz bulunur. Katot analit elementinden fincan şeklinde yapılır. Anot ise W veya Ni teldir. 5-20 mA akım ve 100-400 volt ile çalışır. Hangi element analiz edilecekse, onun OKL'si kullanılır ve AAS cihazına takılır. Bazı lambalarda birden fazla elementin ışıması yayılabilir (Saçmacı, 2000).

1.3.3.1.2. Atomlaştırıcılar

AAS'de yaygın olarak alevli ve alevsiz atomlaştırıcılar kullanılır. Alevli atomlaştırıcılar ppm düzeyinde, grafit fırın ppb düzeyinde analiz amacı ile kullanılır. Grafit fırınlı AAS pahalı bir cihazdır, grafit fırın analizleri de pahalıdır. Hg için soğuk buhar tekniği kullanılır. Se, As, antimon (Sb), tellür (Te) gibi hidrür oluşturan elementler için de özel düzenekli atomlaştırıcılar kullanılır (Saçmacı, 2000).

1.3.3.1.3. Monokromatör

AAS'de kullanılan OKL'nin hat genişliği çok dardır. Bu nedenle kullanılacak monokromatörlerin ayırıcılığının büyük olması gerekmez. AAS' de monokromatörlerin 0.1-1 aralığında ayırma yapması yeterlidir (Saçmacı, 2000).

1.3.3.1.3. Alıcı

AAS'de, ışın şiddetini elektriksel sinyale çeviren fotoçoğaltıcılar alıcı olarak kullanılır. Bu fotoçoğaltıcılar UV ve VIS bölge ve yakın-IR bölgede duyarlıdır. Her element için bir lambanın gerekli olduğu AAS'de nitel analiz uzun süren yorucu bir yöntemdir. Bu nedenle AAS, daha çok nicel analizlerde kullanılır. Analizler, µg/mL veya ng/mL düzeylerinde eser elementler için yapılır. Saf metaller, biyolojik sıvılar, çevre örnekleri, su örnekleri, jeolojik örnekler gibi pek çok örnekte eser elementler AAS ile analiz edilebilir. Analizler, kalibrasyon tekniği ve standart ekleme ile yapılır. Kalibrasyon doğrusunu oluşturmak amacıyla hazırlanacak standartlar, örnekle olabildiğince aynı olmalıdır. Analiz edilecek örneğin kompozisyonu bilinmiyorsa, standart ekleme yöntemi kullanılır (Saçmacı, 2000).

1.3.3.2. İndüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS)

İndüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS), örneklerin yüksek sıcaklıktaki bir plazmaya genellikle argon gönderilerek moleküler bağların kırıldığı ve atomların iyonlaştırıldığı bir analitik tekniktir. Örnek, genel olarak bir solüsyon halinde örnek giriş sistemi aracılığıyla nebulizöre ve sprey odacığına iletilir. Burada yüksek hızlı argon akışı sayesinde örnek solüsyonu sisleştirilir. Sadece çok küçük damlacıklar argon plazmasına taşınır, diğerleri doğrudan atığa gider. 6000 K sıcaklıklardaki plazma, örneği buharlaştırır ve iyonize eder. İyon akışı atmosferik basınçtan örnekleyici ve süzücü konlar aracılığıyla yüksek vakumlu bir ortama gider. Daha sonra iyon akımı iyon lensleri aracılığıyla quadrupul'a odaklanarak kütle filtresine yönlendirilir. İyonlar kütle spektrometrede kütle yük oranına göre ayrılırlar ve dedektör tarafından ölçülürler. (Anonim, 2012a).

ICP-MS, hızlı ve uygun kütle aralığıyla çözeltide eser element tayinine uygundur. Basit spektra, düşük tayin sınırı ve izotop oranlarına uygunluk ICP-MS'i cazip hale getiren özelliklerdir. Birçok element için tayin sınırı ng/L'nin altındadır. Çoklu element tayini yapabilmesi sayesinde nitel analizlerde ve izotop oranlarının belirlenmesinde olduğu gibi, metalik elementler de dahil olmak üzere periyodik tablodaki elementlerin büyük çoğunluğunun çeşitli örneklerdeki nicel ve yarı nitel tayinlerinde de kullanılmaktadır. Birçok element için pg-mg/L arasında kalibrasyon grafikleri çizilebilmektedir. Bu nedenle farklı derişime sahip birçok elementin aynı anda

tayini yapılabilmektedir. Değişik örnek göndericiler kullanıldığında ICP-MS sıvı örnekler dışında katı örneklerin analizinde de kullanılmaya başlanılmıştır. ICP-MS genel olarak, atıksular, içme suları, gıda, hidrojeoloji, jeokimya, jeoloji, petrokimya alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Baba, 2007).

ICP-MS' in temel bileşenleri,

- Örnek giriş sistemi
- ICP torch
- Ara birim
- Vakum sistemi
- Lensler
- DRC (Dinamik reaksiyon hücresi)
- Quadropul
- Dedektör
- Veri İşleme ve sistem kontrolörü'dür.

1.3.3.2.1. Örnek giriş sistemi

Peristaltik pompa, nebulizör, sprey odacığı kısımlarını içerir ve örneklerin cihaz içerisine girme yolunu sağlar. Sürekli olarak örnek çekişini sağlayarak numuneyi sprey odacığına peristaltik pompa ulaştırır. Ayrıca, sprey odacığında oluşan büyük damlacıkların atığa gönderilmesini de sağlar. Nebulizör yardımıyla sıvı örnek argon gazı sayesinde aerosol haline gelir. Sprey odacığında aeresol haline gelen örnek enjektör vasıtasıyla torch'a ulaştırılır (Anonim,2012a).

1.3.3.2.2. ICP torch

Analit atomları iyonlara dönüştürür. ICP-MS'in iyon kaynağı olarak hizmet veren plazmasını oluşturur. Argon gazı plazma haline gelerek 10,000 K'lere ulaşır. Yüksek sıcaklık etkisiyle numune içinde bulunan elementler iyonize olur ve pozitif yüklü iyonlar meydana gelir (Anonim, 2012a).

1.3.3.2.3. Ara birim

Atmosferik basınç altındaki ICP iyon kaynağı ve yüksek vakum kütle spektrometrisi arasında bağlantıyı kurar. Ara birim kısmında bulunan örnekleyici ve süzücü konlar süzme görevi yaparak pozitif yüklü iyonları geçirirler. İyonize olmamış materyaller ve fotonlar shadow stop sayesinde tutulurlar (Anonim, 2012a).

1.3.3.2.4. Vakum sistemi

İyon optikleri, quadrupul ve detektör için yüksek vakum sağlar (Anonim, 2012a).

1.3.3.2.5. Lensler

İyonlara odaklanarak matriks kısmının quadrapul'e ulaşmasını engeller. Lense uygulanan gerilim sayesinde pozitif yüklü iyonlar birbirleri ile çarpışmadan quadrupul'e ulaşırlar (Anonim, 2012a).

1.3.3.2.6. DRC (Dinamik reaksiyon hücresi)

DRC (Dinamik Reaksiyon Hücresi) vasıtasıyla plazma kaynaklı poliatomik parçaları kimyasal rezolüsyon kullanarak elimine eder ve bu parçaların quadrupole 'a ulaşmasını engeller. İnterferansları azaltmak amacıyla az miktarda reaksiyon gazı (metan, oksijen, amonyak v.b.) kullanılır (Anonim, 2012a).

1.3.3.2.6. Quadropul

İyonları kütle/yük oranına göre ayırmada kütle filtresi olarak görev yapar. Yüksek iletkenlik için altın kaplamalı seramik rodlar aynı zamanda sıcaklığın stabil kalmasını sağlar. Quadrupol ayırma işlemini, uygun olarak ayarlanmış voltaj ve radyo dalgaları frekansına göre yapar (Anonim, 2012a).

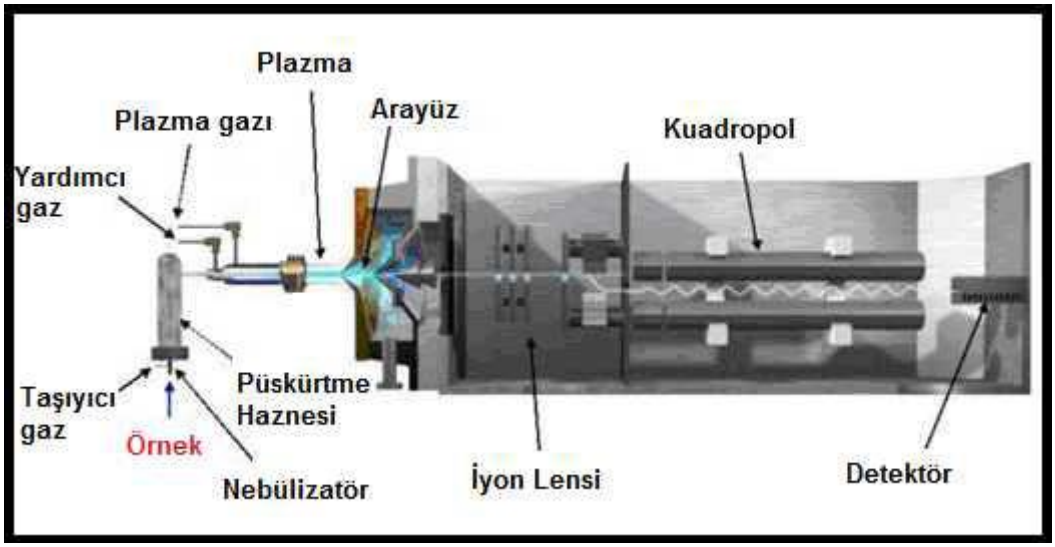
1.3.3.2.7. Dedektör

Quadropuldan geçen iyonlar dedektörün aktif yüzeyine çarpar ve ölçülebilir bir sinyal oluştururlar. Dedektörün aktif yüzeyi dynode olarak bilinir ve yüzeye çarpan iyonlara karşılık elektron yayar (Anonim, 2012a).

1.3.3.2.8. Veri işleme ve sistem kontrolörü

Cihazın kontrolünün, ölçüm ve değerlendirme işlemlerinin her aşamasını kontrol eder (Anonim, 2012a).

Şekil 1.2'de bu kısımlar şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.2. ICP-MS temel bileşenleri (Özaydın, 2011)

1.4. Sulamada Atıksu Kullanımı

Dünyada sulama problemi olan bölgelerde atıksularla gıda ürünleri yetiştiriciliği yoğun bir şekilde yapılmaktadır. Ağır metal kirliliği olan atıksularla sulanan topraklarda yetişen bitkilerin bünyelerinde biriktirdiği ağır metal miktarları insan ve hayvan sağlığı için çok önemli olmaktadır. Bu nedenle bitkilerde birikerek besin zinciri yoluyla ekosisteme karışan ağır metallerin ortamdan uzaklaştırılması gerekmektedir.

Suyun yeniden kullanımı kentsel, endüstriyel ve tarımsal kullanımı olmak üzere üç grupta toplanabilir;

Kentsel ve endüstriyel yeniden kullanım alanları şu şekilde listenebilir.

- Spor alanlarının, okul bahçelerinin, parkların ve yol kenarlarının sulanmasında,

- Süs havuzlar ve şelalaler gibi dekoraif su yapılarında, süs bahçelerinde ve çeşmelerde,
- Golf sahalarının sulanmasında,
- Yangın söndürmede, yangın musluklarında,
- Konut ve kamu alanları, sanayi, ticaret bölgelerinin peyzaj alanlarının sulanmasında,
- Kamu binalarında, ticari ve endüstriyel binalarda tuvalet suları,
- Soğutma, yıkama gibi işlemler için sanayi sektöründe.

Dünyanın birçok ülkesinde atıksuların sulamada yeniden kullanılması yoğun olarak uygulanmaktadır. Atıksulara gerekli arıtım işlemlerini uygulayarak ve teknik usulleri gereği gibi yerine getirilerek, atıksulardan faydalanma olanağını artırmak mümkün olmaktadır. Bunlar:

- Kurak mevsimlerde alternatif su kaynağı olarak depolanabilir.
- Sulama suyunda tasarruf sağlar.
- Alıcı ortamların (akarsu, kanal, yer altı ve yerüstü su kaynakları) kirlilik yükünü azaltır.
- Sulamada kullanıldığında kimyasal gübre ihtiyacını azaltarak besin maddesinden tasarruf sağlar.
- Bitki verimini artırır.

Arıtılmamış atıksuyun, uygun tedbirler ve teknik önlemler alınmadan sulamada kullanılmasının bazı riskleri vardır. Bunlar:

- Arıtılmamış atıksu ile sulanan ürünleri tüketen insanların sağlığında ciddi bir risk oluşturur.
- Arıtılmamış atıksuların sulamada kullanılması, sulama sistemlerine zarar verebilir.
- Özellikle endüstriyel kaynaklı atıksu içeriği yüksek ise toprakta kimyasal kirleticilerin (ağır metal, nitrit vs.) birikmesine ve aynı maddelerin yer altı suyunu kirletmesine neden olur.
- Kanallarda ötrofikasyona neden olur.

Atıksuların sulamada güvenle kullanılması için tüm şartların yerine getirilmesi gerekmektedir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir.

- Atıksu içerisindeki bileşenlerin sulama suyu standartlarına uygun olması durumunda,

- Yeterli teknik personel ve uzmanlar tarafından sürekli kontrollerin sağlanabildiği alanlarda,
- İzin verilen bitki türlerinde, uygun sulama yönteminin uyguladığı alanlarda,
- Arıtma tesisleri çıkış sularının uygulandığı yöre şartlarına uygun olacak şekilde belirlenmiş standart aralıklarla su kalitesi kontrol analizlerinin yapılabildiği durumlarda (Yurtseven ve ark., 2010).

1.4.1. Ülkemizdeki atıksu, toprak kirliliği, sulama suyu ve gıda ile ilgili mevzuat

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, 31 Aralık 2004 tarihinde resmi gazetede yayınlanmıştır. Yönetmelik, su ortamlarının kalite sınıflandırmaları, kullanım amaçları, su kalitesinin korunması, atıksuların boşaltım ilkeleri ve boşaltım izin esaslarını belirlemektedir. Ayrıca atıksu altyapı tesisleri ile ilgili esasları ve su kirliliğinin önlenmesi amacıyla yapılması gereken izleme ve denetleme usul ve esaslarını da kapsamaktadır. Yönetmelikte su kirliliği, su kaynağının kimyasal, fiziksel, bakteriyolojik ve ekolojik özelliklerinin olumsuz yönde değişmesi şeklinde gözlenen, doğrudan veya dolaylı yoldan biyolojik kaynaklarda, insan sağlığında, balıkçılıkta, su kalitesinde ve suyun diğer amaçlarla kullanılmasında engelleyici bozulmalar yaratacak madde veya enerji atıklarının boşaltılması olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, atıksu kaynakları, üretimleri ve faaliyetleri nedeniyle atıksuların oluşumuna yol açan konutlar, ticari binalar, endüstri kuruluşları, maden ocakları, cevher yıkama ve zenginleştirme tesisleri, kentsel bölgeler, tarımsal alanlar, tamirhaler, atölyeler, sanayi bölgeleri, hastaneler ve benzeri kurum, kuruluş, işletmeler ve alanlar olarak tanımlanmıştır. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde (SKKY, 2004) atıksuların alıcı su ortamına deşarj standartları belirlenmiştir.

Aşağıda verilen Çizelge 1.2'de karışık endüstriyel atıksuların (büyük ve küçük organize sanayi bölgeleri ve sektör belirlemesi yapılamayan diğer sanayiler) alıcı ortama deşarj standartları verilmiştir. Çizelgede Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), askıda katı madde (AKM), yağ ve gres, toplam fosfor, toplam Cr, Cr^{+6}, Pb, toplam siyanür (CN^-), Cd, Fe, florür (F^-), Cu, Zn, Hg, sülfat (SO_4) ve pH gibi parametlerin deşarj standartları belirlenmiştir. Büyük ve küçük organize sanayi bölgeleri ve sektör belirlemesi yapılamayan diğer sanayiler için belirlenen maksimum konsantrasyonlar Pb 2 mg/L, Zn 5 mg/L, Hg 0.05 mg/L, Cd 0.1 mg/L, Cr (toplam) 2 mg/L, Cr^{+6}, 0.5 mg/L, Cu 3 mg/L olarak belirlenmiştir. Metal sanayi için belirlenen çizelgelerde ise

maksimum Ni konsantrasyonu 3 mg/L olarak belirlenmiştir. Su kirliliğinin önlenmesi ve alıcı ortamın korunması açısından bu değerlerin aşılmaması gerekmektedir. Ayrıca atıksularla tarım alanlarının sulanması göz önüne alındığında bu konu insan sağlığı ile doğrudan ilişkili olmaktadır.

Çizelge 1.2. Karışık endüstriyel atıksuların alıcı ortama deşarj standartları (Büyük ve küçük organize sanayi bölgeleri ve sektör belirlemesi yapılamayan diğer sanayiler) (SKKY, 2004)

Parametre	**Birim**	**Kompozit Numune 2 Saatlik**	**Kompozit Numune 24 Saatlik**
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	(mg/L)	400	300
Askıda Katı Madde (AKM)	(mg/L)	200	100
Yağ ve Gres	(mg/L)	20	10
Toplam Fosfor	(mg/L)	2	1
Toplam Krom	(mg/L)	2	1
Krom (Cr^{+6})	(mg/L)	0.5	0.5
Kurşun (Pb)	(mg/L)	2	1
Toplam Siyanür (CN^{-})	(mg/L)	1	0.5
Kadmiyum (Cd)	(mg/L)	0.1	-
Demir (Fe)	(mg/L)	10	-
Florür (F^{-})	(mg/L)	15	-
Bakır (Cu)	(mg/L)	3	-
Çinko (Zn)	(mg/L)	5	-
Civa (Hg)	(mg/L)	-	0.05
Sülfat (SO_4)	(mg/L)	1500	1500
Toplam Kjeldahl-Azotu	(mg/L)	20	15
Balık Biyodeneyi (ZSF)	-	10	10
pH	-	6-9	6-9

Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği 20 Mart 2010 tarihinde resmi gazetede yayınlanmıştır. Tebliğde, yerleşim birimlerinden kaynaklanan atıksuların arıtılması için arıtma tesisi tasarım kriterleri ve teknoloji seçiminin yanı sıra, arıtılmış atıksuların dezenfeksiyonu ve yeniden kullanımı için kullanılacak temel teknik usul ve uygulamaları düzenlemiştir. Sulamada tekrar kullanılacak arıtılmış atıksularda aranan özellikler, sulama metotları ve hangi bitkilerin bu sularla sulanabileceği gibi kriterler belirlenmiştir. Arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması büyük bir potansiyele sahiptir. Ancak arıtılmış atıksuların sulamada kullanılmasının bazı riskleri vardır. Bu riskler arıtma tesislerinin ve arıtılmış atıksuyun uygulandığı yerin birlikte kontrol edilmesi ile azaltılabilir. Atıksudaki çözünmüş tuzlar, bor, ağır metal ve benzeri toksik maddeler yöre topraklarının fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine bağlı olarak ortamda birikebilmekte, bitkiler tarafından alınabilmekte veya suda kalabilmektedir. Bu nedenle arıtılmış atıksuların arazide kullanılması söz konusu ise suyun fiziksel,

kimyasal ve biyolojik parametreler açısından öngörülen sınır değerlere uygunluğunun yanı sıra, bölgenin toprak özellikleri, bitki türü ve sulama metodu gibi etkenler de dikkate alınmalıdır.

Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'nde (AATTUT, 2010);

- Sulama suyunda geri kazanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması, (Ek 1)
- Bitkilerin bora karşı dayanıklılık dereceleri, (Ek 2)
- Sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları,
- Geri kazanılmış atıksulardaki tahmini eser madde konsantrasyonları,
- Arıtılmış atıksu ile sulanabilecek bitkiler,
- Sulama metotları ve temel özellikleri,
- Sulama yönteminin arıtılmış atıksu için değerlendirilmesi kriterleri belirlenmiştir. (Ek3)

Çizelge 1.3'de sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları verilmiştir. Çizelgede alüminyum (Al), arsenik (As), berilyum (Be), B, Cd, Co, Cu, F, Fe, Pb, lityum (Li), manganez (Mn), Mo, Ni, Se, V ve Zn'nin konsantrasyonları belirlenmiştir. Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler sırasıyla; Al 5.0 mg/L, As 0.1 mg/L, Be 0.1 mg/L, Cd 0.01 mg/L, Cr 0.1 mg/L, Co 0.05 mg/L, Cu 0.2 mg/L, F 1.0 mg/L, Fe 5.0 mg/L, Pb 5.0 mg/L, Li 2.5 mg/L, Mn 0.2 mg/L, Mo 0.01 Mg/L, Ni 0.2 mg/L, Se 0.02 mg/L, V 0.1 mg/L, Zn 2.0 mg/L'dir. Eser elementlerin bitkiler üzerindeki etkisi, konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Bu elementlerden yüksek konsantrasyonlarda alındığında yaprakların zarar görmesi veya büyümede gerileme gibi etkiler görülebilmektedir. Ayrıca ağır metallerin ortamda birikebilme özellikleri nedeniyle, sulama suyunda bu kriterler oldukça önem kazanmaktadır.

Çizelge 1.3. Sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları (AATTUT, 2010)

Elementler	**Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar, kg/ha**	**İzin verilen maksimum konsantrasyonlar**	
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerler mg/L	**pH değeri 6,0-8,5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında, mg/L**
Alüminyum (Al)	4600	5.0	20.0
Arsenik (As)	90	0.1	2.0
Berilyum(Be)	90	0.1	0.5
Bor (B)	680	-[3]	2.0
Kadmiyum (Cd)	9	0.01	0.05
Krom (Cr)	90	0.1	1.0
Kobalt (Co)	45	0.05	5.0
Bakır (Cu)	190	0.2	5.0
Florür (F)	920	1.0	15.0
Demir (Fe)	4600	5.0	20.0
Kurşun (Pb)	4600	5.0	10.0
Lityum (Li)[1]	-	2.5	2.5
Manganez (Mn)	920	0.2	10.0
Molibden (Mo)	9	0.01	0.05[2]
Nikel (Ni)	920	0.2	2.0
Selenyum (Se)	16	0.02	0.02
Vanadyum (V)	-	0.1	1.0
Çinko (Zn)	1840	2.0	10.0

[1]Sulanan narenciye için 0.075 mg/1'dir.
[2]Yalnız demir içeriği fazla olan asitli killi topraklarda izin verilen konsantrasyondur.
[3]Ek 2'de verilmiştir.

Çizelge 1.4'de geri kazanılmış evsel atıksulardaki tahmini eser madde konsantrasyonları verilmiştir. Çizelgede, As, B, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se ve Zn için değerler belirlenmiştir. İkinci arıtma ile ortalama değerler sırasıyla As <0.005 mg/L, B 0.7 mg/L, Cd <0.005, Cr 0.02 mg/L, Cu 0.04 mg/L, Hg 0.0005 mg/L, Mo 0.007 mg/L, Ni 0.004 mg/L, Pb 0.008 mg/L, Se <0.005 mg/L ve Zn 0.04 mg/L'dir. Evsel atıksulardaki eser elementlerin konsantrasyonları genellikle düşük miktarlardadır. Ancak evsel atıksulara endüstriyel deşarjlar olduğu durumlarda konsantrasyonlar yükselebilmektedir.

Çizelge 1.4. Geri kazanılmış evsel atıksulardaki tahmini eser madde konsantrasyonları (mg/L) (AATTUT, 2010)

Elementler, mg/L	İkinci arıtma		Üçüncül arıtma	Ters osmoz	Tavsiye edilen değer*	
	Aralık	Ortalama			Kısa süreli	Uzun süreli
Arsenik (As)	<0.005-0.023	<0.005	<0.001	0.00045	0.10	10.0
Bor (B)	<0.1-2.5	0.7	0.3	0.17	0.75	2.0
Kadmiyum (Cd)	<0.005-0.15	<0.005	<0.0004	0.0001	0.01	0.05
Krom (Cr)	<0.005-1.2	0.02	<0.01	0.0003	0.10	20.0
Bakır (Cu)	<0.005-1.3	0.04	<0.01	0.015	0.20	5.0
Civa (Hg)	<0.002-0.001	0.0005	0.0001	-	-	-
Molibden (Mo)	0.001-0.018	0.007	-	-	0.01	0.05
Nikel (Ni)	0.003-0.6	0.004	<0.02	0.002	0.2	2.0
Kurşun (Pb)	0.003-0.35	0.008	<0.002	0.002	5.0	20.0
Selenyum (Se)	<0.005-0.02	<0.005	<0.001	0.0007	0.02	0.05
Çinko (Zn)	0.004-1.2	0.04	0.05	0.05	2.0	10.0

* EPA' nın tavsiyesi

Arıtılmış atıksular, tarımsal sulamada tekrar kullanılırken, dikkat edilecek bazı hususlar vardır. Bunlar, sulanacak bitkide meydana gelebilecek birikme, patojen mikroorganizmaların hala yaşama riski,ve kimyasal maddelerin birikme riskidir. Yeşil alanların sulanmasında ise halkın bu bölgeye girmesi ve eser elementlerin birikmesi gibi riskler vardır. Geri kulanım esnasında bütün bu riskler göz önüne alınır. Çizelge 1.5'de arıtılmış atıksu ile sulanabilecek bitkiler belirlenmiştir. Tarla bitkileri (arpa, mısır, yulaf), lifli ve çekirdekli bitkiler (pamuk), ham olarak tüketilen sebzeler (avokado, lahana, salatalık, çilek), belli bir işlemden sonra tüketilen sebzeler (enginar, şeker pancarı, şeker kamışı), meyve bahçesi ve üzüm bağları (kayısı, portakal, şeftali), fidanlık (çiçek), ormanlık alanlar (kavak vb.) arıtılmış atıksu ile sulanabilecek bitkiler olarak belirlenmiştir. Atıksu, ikinci kademe arıtma ve dezenfeksiyon yapıldıktan sonra bu bitkilerin sulanmasında kulanılabilir. Ancak, ham olarak tüketilen sebzelerin (avokado, lahana, salatalık, çilek) sulamasında kullanılacak atıksu, ikinci kademe arıtım sonrasında filtrasyon ve dezenfeksiyon yapıldıktan sonra bu bitkilerin sulanmasında kullanılabilir.

Çizelge 1.5. Arıtılmış atıksu ile sulanabilecek bitkiler (AATTUT, 2010)

Tip	Örnek	Arıtma ihtiyacı
Tarla bitkileri	Arpa, mısır, yulaf	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Lifli ve çekirdekli bitkiler	Pamuk	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Ham olarak tüketilen sebzeler	Avokado, lahana, salatalık, çilek	İkinci kademe + filtrasyon + dezenfeksiyon
Belli bir işlemden sonra tüketilen sebzeler	Enginar, şeker pancarı, şeker kamışı	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Meyve bahçesi ve üzüm bağları	Kayısı, portakal, şeftali	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Fidanlık	Çiçek	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Ormanlık alanlar	Kavak vb.	İkinci kademe + dezenfeksiyon

Sulama sisteminin türü, bitki türü, su kalitesi ve miktarı, yerel özellikler ve maliyet ile değişebilmektedir. Arıtılmış atıksu ile sulamada, sulama seçiminde dikkat edilmesi gereken en önemli hususlar, halk sağlığı, sulama verimi ve tıkanma problemidir. Halka sağlığı, sulama türünün seçimini etkileyen en önemli hususdur. Yağmurlama sulama gibi yüzeysel sulama uygulamalarında bu risk büyüktür. Bundan dolayı, yağmurlama sulama, ileri arıtmadan sonra uygulanmalıdır. Bazı durumlarda yağmurlama sulama, herhangi bir işlemden geçmeden yenen gıda ürünlerine uygulanamaz. Halk sağlığı açısından en uygun yöntem damlatmalı sulamadır. Sulama sistemleri, maksimum verimi sağlayacak şekilde tasarlanmalıdırlar. Damlatmalı sulamada, verim en yüksek olmaktadır. Askıda katı maddeler ve suyun hızının düşük olması tıkanmayı etkileyen parametrelerdir. Çizelge 1.6'da sulama metodları ve temel özellikleri verilmiştir. Sulama yöntemleri olarak salma sulama, karık usulü sulama, kenar sulaması, yağmurlama sulama ve damlatmalı sulama verilmiştir.

Çizelge 1.6. Sulama metodları ve temel özellikleri (AATTUT, 2010)

Sulama yöntemi	**Seçimi etkileyen faktörler**	**Arıtılmış atıksu sulaması için özel durumlar**
Salma sulama	Düşük maliyet Tam seviyelendirme gerekmemektedir. Düşük sulama verimi Düşük halk sağlığı koruması	Çalışanların korunması gerekmektedir.
Karık usulü sulama	Düşük maliyet Seviyelendirme gerekebilir. Düşük sulama verimi Orta halk sağlığı koruması	Düşük arıtma verimi ve çalışanların korunması gerekmektedir. Uygun bitki seçimi yapılmalıdır.
Kenar sulaması	Nisbeten düşük maliyet Seviyelendirme gerekir. Düşük sulama verimi Orta halk sağlığı koruması	Düşük arıtma verimi ve çalışanların korunması gerekmektedir. Bitki kısıtlaması yapılmalıdır.
Yağmurlama sulama	Orta-yüksek maliyet Seviyelendirme gerekmemektedir. Orta sulama verimi Düşük halk sağlığı koruması	Su kaynakları, yollar ve evlere uzaklığına dikkat edilmelidir.
Damlatmalı sulama	Yüksek maliyet Seviyelendirme gerekmemektedir. Yüksek sulama verimi Yüksek halk sağlığı koruması	Özel bir koruma gerektirmemektedir. Deliklerin tıkanmaması için su kalitesine dikkat edilmelidir. Yönetimine daha fazla dikkat edilmelidir.

Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelikte amaç; alıcı ortam olarak toprağın kirliliğinin önlenmesi, kirlenmenin olduğu veya kirlenmenin muhtemel olduğu sahaların ve sektörlerin tespit edilmesi, kirlenmiş toprakların ve sahaların temizlenmesi ve izlenmesi esaslarının sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde belirlenmesidir. Yönetmelik bu amaca yönelik olarak teknik ve idari usul ve esasları kapsamaktadır. Organik ve inorganik kirleticiler, kirlilik gösterge parametreleri, potansiyel toprak kirletici faaliyetler ve faaliyete özel kirlilik gösterge parametreleri belirlenmiştir. Yönetmelikte düzenlenen jenerik kirletici sınır değer, kirlenmiş sahanın kullanım amacının yerleşim alanı olması ve insan sağlığı üzerindeki riskler dikkate alınarak ve insanların kirleticiye makul bir süre, azami düzeyde maruz kaldığı varsayılarak belirlenen kirletici konsantrasyonları olarak tanımlanmıştır. Yönetmelikte birinci aşama değerlendirme (BAD), şüpheli saha olarak tanımlanmış bir sahada kirlilik şüphesi nedeniyle örnekleme, ölçüm gibi faaliyetlerin başlatılması ve dolayısıyla bu sahanın takip gerektiren veya takip gerektirmeyen bir saha olup olmadığının kararlaştırılması süreci olarak tanımlanmıştır. İkinci aşama değerlendirme (İAD), birinci aşama değerlendirme sonunda takip gerektiren saha olarak belirlenmiş sahanın, saha ve kirlilik karakterizasyonu ve risk analizi değerlendirmelerine tabi tutularak temizleme gerektiren kirlenmiş saha veya takip gerektirmeyen saha olup olmadığının tespit edilmesi süreci olarak tanımlanmıştır. Takip

gerektiren saha, sahaya yönelik kirlilik şüphelerinin gerçekçi olduğu saptanan ve Yönetmelikte öngörülen ikinci aşama değerlendirmeye tabi tutulması gerekli olan saha, takip gerektirmeyen saha, şüpheli sahalar arasında yer alan, sahaya yönelik kirlilik şüphelerinin geçerli olmadığı veya Yönetmelikte öngörülen sürece tabi tutulması gerekmeyen saha olarak tanımlanmıştır. Kirlenmiş toprak ise, Yönetmelikte öngörülen birinci aşama değerlendirme veya ikinci aşama değerlendirme sonucunda, mevcut toprak kullanımı veya gelecekteki muhtemel toprak kullanımı dikkate alındığında, bünyesinde insan ve çevre sağlığı bakımından önemli ölçüde risk oluşturan, insan faaliyetlerinden kaynaklanan tehlikeli kirletici maddelerin bulunduğu teyit edilen ve temizlenmesi gerektiğine karar verilen toprak olarak tanımlanmıştır.

Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelikte (TKKNKKSDY, 2010)

- Jenerik kirletici sınır değerler listesi,
- Kirlilik gösterge parametreleri listesi,
- Potansiyel toprak kirletici faaliyetler ve faaliyete özel kirlilik gösterge parametreleri belirlenmiştir.

Çizelge 1.7'de jenerik kirletici sınır değerlerin listesi verilmiştir. Jenerik sınır değerler organik ve inorganik kirleticiler için belirlenmiştir. Çizelgede listenen organik ve inorganik maddeler, çevre kirliliğine yol açan kirletici madde olarak tanımlanmıştır. İnorganik kirleticiler olarak antimon (Sb), As, Cu, baryum (Ba), berilyum (Be), Hg, Zn, gümüş (Ag), Cd, kalay (Sn), Co, Cr^{+3}, Cr^{+6}, toplam Cr, Pb, Mo, Ni, Se, talyum (Tl), titanyum (Ti), V, CN^{-}, tiyosiyanat belirlenmiştir. Kirleticiler için, toprağın yutulması ve deri teması yoluyla emilim, uçucu maddelerin dış ortamda solunması, kaçak tozların dış ortamda solunması ve kirleticilerin yeraltı suyuna taşınması ve yer altı suyunun içilmesi durumlarında sınır değerler hesaplanmıştır. Toprağın yutulması ve deri teması yoluyla emilim değerleri Hg 23 mg/kg, Cd 70 mg/kg, Cu 3,129 mg/kg, Cr (toplam) 235 mg/kg, Zn 23,464 mg/kg, Pb 400 mg/kg ve Ni 1,564 mg/kg olarak belirlenmiştir.

Çizelge 1.7. Jenerik kirletici sınır değerler listesi (TKKNKKSDY, 2010)

Kirletici	**CAS No**	**Toprağın yutulması ve deri teması yoluyla emilim (mg/kg fırın kuru toprak)**	**Uçucu maddelerin dış ortamda solunması (mg/kg fırın kuru toprak)**	**Kaçak tozların dış ortamda solunması (mg/kg fırın kuru toprak)**	**Kirleticilerin yeraltı suyuna taşınması ve yeraltı suyunun içilmesi (mg/kg fırın kuru toprak)**	
					SF = 10	**SF = 1**
İnorganikler						
Antimon	7440-36-0	31	-	-	2	0,2
Arsenik	7440-38-2	0,4	-	471	3	0,3
Bakır	7440-50-8	3129	-	-	514	51
Baryum	7440-39-3	15643	-	433702	288	29
Berilyum	7440-41-7	0,1	-	843	0,1	0,01
Civa	7439-97-6	23	3	-	3	0,6
Çinko	7440-66-6	23464	-	-	6811	681
Gümüş	7440-22-4	391	-	-	16	2
Kadmiyum	7440-43-9	70	-	1124	27	3
Kalay	7440-31-5	46929	-	-	54794	5479
Kobalt	7440-48-4	23	-	225	5	0,5
Krom (III)	16065-83-1	117321	-	-	-	-
Krom (VI)	18540-29-9	235	-	24	10	1
Krom (toplam)	7440-47-3	235	-	24	900000	1
Kurşun	7439-92-1	400	-	-	135	14
Molibden	7439-98-7	391	-	-	14	1
Nikel	7440-02-0	1564	-	-	13	1
Selenyum	7782-49-2	391	-	-	0,5	0,05
Talyum	7440-28-0	5	-	-	2	0,2
Titanyum	7440-32-6	312857	-	-	-	146029
Vanadyum	7440-62-2	548	-	-	2556	256
Siyanür	57-12-5	1564	-	-	5	0,5
Tiyosiyanat	463-56-9	16	-	-	0,02	0,002

Çizelge 1.8'de kirlilik gösterge parametreleri listesi verilmiştir. Kirlilik gösterge parametreleri (KGP), şüpheli sahada kirliliğin mevcudiyetine yönelik muhtemel belirsizlikleri gidermek ve birinci aşama değerlendirme sürecinde alınacak kararın güvenirliğini artırmak amacıyla toprak ve gerekli durumlarda su ve gaz numunelerinde ölçülen parametrelerdir. Çalışmada incelenen Pb, Cr, Cd, Cu, Hg, Ni ve Zn bu listede yer alan parametrelerdir.

Çizelge 1.8. Kirlilik gösterge parametreleri listesi (TKKNKKSDY, 2010)

Parametre	Sembol
Benzen, Toluen, Etilbenzen, Ksilen	BTEX
Asbest	Asbest
pH	pH
Toplam Organik Halojen	TOX
Toplam Petrol Hidrokarbonları	TPH
Yağ-Gres	Yağ-Gres
Toplam Uçucu Organik Bileşikler	TVOCs
Kadmiyum	Cd
Civa	Hg
Çinko	Zn
Bakır	Cu
Nikel	Ni
Krom	Cr
Kurşun	Pb
Selenyum	Se
Arsenik	As
Antimon	Sb
Molibden	Mo
Titanyum	Ti
Kalay	Sn
Baryum	Ba
Berilyum	Be
Bor	B
Uranyum	U
Vanadyum	V
Kobalt	Co
Talyum	Tl
Gümüş	Ag

Çizelge 1.9'da potansiyel toprak kirletici faaliyetler ve bu faaliyetle özel kirlilik gösterge parametreleri listelenmiştir. Bu faaliyetler incelendiğinde kireçtaşı, alçıtaşı ve tebeşir ocakçılığı (14.12), kil ve kaolin madenciliği (14.22), metalik olmayan diğer mineral ürünlerin imalatı (26.8), radyo, televizyon, haberleşme techizatı ve cihazları imalatı (32), tıbbi aletler; hassas ve optik aletler ile saat imalatı (33), kimyasal maddelerin toptan ticareti (51.55), atık ve hurda toptan ticareti (51.57), oteller ve moteller (55.1) dışında listelenen faaliyetlerin ağır metal kirliliğine neden olabileceği görülmüştür. Çalışmada incelenen Pb, Cd, Cu, Cr, Zn, Hg ve Ni'nin endüstriyel faaliyetlerin sonucunda kirlilik parametresi olarak ortaya çıktığı görülmektedir.

Çizelge 1.9. Potansiyel toprak kirletici faaliyetler ve faaliyete özel kirlilik gösterge parametreleri listesi (TKKNKKSDY, 2010)

NACE Kodu	Endüstriyel Faaliyet	Faaliyete Özel Kirlilik Gösterge Parametreleri
11	Hampetrol ve doğalgaz çıkarımı; saha arama ve tetkiği hariç, petrol ve gaz çıkarımı ile ilgili hizmet faaliyetleri	TOX, TPH, BTEX, TVOCs*, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn
13	Metal cevherler madenciliği	TOX, TPH, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V, Zn
14.12	Kireçtaşı, alçıtaşı ve tebeşir ocakçılığı	TOX, TPH
14.22	Kil ve kaolin madenciliği	TOX, TPH
15	Gıda ürünleri ve içecek imalatı	TOX, TPH, Hg, Cd
15.1	Et ve et ürünleri imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Cr
15.4	Bitkisel ve hayvansal sıvı ve katı yağların imalatı	TOX, TPH, Cu, Yağ-Gres
15.7	Hazır hayvan yemleri imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Cr
15.98	Maden suyu ve alkolsüz içecek üretimi	TOX, TPH, Cr, Cu, Pb, Zn
16	Tütün ürünleri imalatı	TPH, As, Ba, Cd, Hg, Pb, Sb, Zn
17.3	Dokumanın aprelenmesi	TOX, TPH, Cd, Cr, Cu, Hg, Sn, Ti, Zn
18.1	Deri giyim eşyası imalatı	TPH, Cd, Cr
18.2	Diğer giyim eşyası ve aksesuarların imalatı	TOX, TPH, As, B, Cr, Cu, Sb, Zn
19.1	Derinin tabakalanması ve işlenmesi	TOX, TPH, Cd, Cr, Pb, Yağ-Gres
19.3	Ayakkabı, terlik vb. imalatı	TPH, Cd, Cr
20.1	Ağacın hızarlanması, planyalanması ve emprenye edilmesi	TOX, TPH, As, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn
21.1	Kağıt hamuru, kağıt ve mukavva imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Zn
21.24	Duvar kağıdı imalatı	TOX
22.2	Basım ve basımla ilgili hizmet faaliyetleri	TOX, TPH, Ba, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Se, Zn
23	Kok kömürü, rafine edilmiş petrol ürünleri ve nükleer yakıt imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, V, Zn
24.1	Ana kimyasal maddelerin imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, V, Zn
24.2	Pestisit (haşarat ilacı) ve diğer zirai-kimyasal ürünlerin imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Zn
24.3	Boya, vernik benzeri kaplayıcı maddeler ile matbaa mürekkebi ve macun imalatı	TOX, TPH, Ba, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Ti, Zn
24.4	Eczacılık ürünlerinin, tıbbi kimyasalların ve botanik ürünlerinin imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, V, Zn
24.5	Sabun ve deterjan, temizlik ve cilalama maddeleri; parfüm; kozmetik ve tuvalet malzemeleri imalatı	TOX, TPH, As, Ba, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
24.6	Diğer kimyasal ürünlerin imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, V, Zn
25.1	Kauçuk ürünleri imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn
25.2	Plastik ürünlerin imalatı	TOX, TPH, Cd, Hg, Pb, Zn

Çizelge 1.9. (devamı) Potansiyel toprak kirletici faaliyetler ve faaliyete özel kirlilik gösterge parametreleri listesi (TKKNKKSDY, 2010)

NACE Kodu	Endüstriyel Faaliyet	Faaliyete Özel Kirlilik Gösterge Parametreleri
26	Metalik olmayan diğer mineral ürünlerin imalatı	TOX, TPH, B, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
26.1	Cam ve cam ürünleri imalatı	TOX, TPH, Ag, As, B, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, Tl, Zn, pH
26.21	Seramik ev ve süs eşyası imalatı	TOX, TPH, As, B, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Ti, Tl, Zn
26.3	Seramik kiremit ve kaldırım taşı imalatı	Cr
26.4	Fırınlanmış kilden kiremit, briket, tuğla ve inşaat malzemeleri imalatı	TOX, TPH, B, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
26.51	Çimento imalatı	TOX, TPH, As, Be, Cd, Cr, Co, Cu, , Hg, Ni, Pb, Sb, V, Zn
26.62	İnşaat amaçlı alçı ürünleri imalatı	TOX, TPH, B, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
26.65	Lifli çimento imalatı	Asbest
26.7	Süsleme ve yapı taşının kesilmesi, şekil verilmesi ve kullanılabilir hale getirilmesi	TOX, TPH, As, B, Be, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Zn, V
26.8	Metalik olmayan diğer mineral ürünlerin imalatı	TPH
27	Ana metal sanayi	TOX, TPH, Ag, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, U, V, Zn
28	Makine ve teçhizatı hariç; fabrikasyon metal ürünleri imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
29	Başka yerde sınıflandırılmamış makine ve teçhizat imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
30	Büro makineleri ve bilgisayar imalatı	TPH
31	Başka yerde sınıflandırılmamış elektrikli makine ve cihazların imalatı	TOX, TPH, Ag, Be, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn
32	Radyo, televizyon, haberleşme teçhizatı ve cihazları imalatı	TPH
33	Tıbbi aletler; hassas ve optik aletler ile saat imalatı	TPH
34	Motorlu kara taşıtı, römork ve yarı römork imalatı	TPH, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
35	Diğer ulaşım araçlarının imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sn, Zn
36.1	Mobilya imalatı	TOX, TPH, As, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
37	Geri dönüşüm	Ag, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
40	Elektrik, gaz, buhar ve sıcak su üretimi ve dağıtımı	TPH, BTEX, TVOCs*
40.1	Elektrik üretimi, iletimi ve dağıtımı	TOX, TPH, As, B, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Pb, Sb, Se, Zn
50.2	Motorlu taşıtların bakım ve onarımı	TOX, TPH, BTEX, TVOCs*, Ba, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn,
50.5	Motorlu taşıt yakıtının parakende satışı	TOX, TPH, BTEX, TVOCs*, Ba, Cu, Cd, Pb, Ni, Zn

Çizelge 1.9. (devamı) Potansiyel toprak kirletici faaliyetler ve faaliyete özel kirlilik gösterge parametreleri listesi (TKKNKKSDY, 2010)

NACE Kodu	Endüstriyel Faaliyet	Faaliyete Özel Kirlilik Gösterge Parametreleri
51.51	Katı, sıvı ve gaz yakıtları ile ilgili ürünlerin toptan ticareti	TOX, TPH, BTEX, TVOCs*, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, V, Zn
51.52	Maden ve maden cevheri toptan ticareti	Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Zn
51.55	Kimyasal maddelerin toptan ticareti	TOX, TPH
51.57	Atık ve hurda toptan ticareti	TPH
55.1	Oteller ve moteller	TOX
60	Kara taşımacılığı ve boru hattı taşımacılığı	TPH, BTEX, TVOCs*
62	Havayolu taşımacılığı (Havaalanları)	TOX, TPH, As, Cd, Hg, Pb
74.81	Fotoğrafçılıkla ilgili faaliyetler	TOX, TPH, Ag, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn
75.22	Savunma faaliyetleri	TOX, TPH, As, B, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
85.1	İnsan sağlığı ile ilgili hizmetler	TOX, TPH, Ag, As, Ba, Bi, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Pb, Pt, Sb, Se, Sn, Zn
85.2	Veterinerlik hizmetleri	TOX, TPH, Ag, As, Ba, Bi, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Pb, Pt, Sb, Se, Sn, Zn
90	Kanalizasyon ve atıkların toplanması, hıfzısıhha ve benzeri faaliyetler	TOX, TPH, Ag, As, B, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Zn
93.01	Tekstil ve kürk ürünlerinin yıkanması ve kuru temizleme	TOX, TPH, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Zn

Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliği, Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından 5996 sayılı Veteriner Hizmetleri, Bitki Sağlığı, Gıda ve Yem Kanunu kapsamına yayınlanmıştır. Yönetmeliğin amacı; gıda ve gıda ile temas eden madde ve malzemelere ilişkin asgari teknik ve hijyen kriterleri, pestisit kalıntıları ve veteriner ilaç kalıntıları, gıda katkı maddeleri, aroma vericiler ve aroma verme özelliği taşıyan gıda bileşenleri, bulaşanlar, ambalajlama, etiketleme, numune alma, analiz metotları, taşıma ve depolama ile ilgili yatay ve dikey gıda kodeksine ilişkin esaslar ile coğrafi işaretle ilgili özel hükümlerin belirlenmesine dair kuralları düzenlemektir. Yönetmelikte geçen dikey gıda kodeksi, belirli bir gıda veya gıda grubu veya gıda ile temas eden madde ve malzeme için belirlenmiş özel kriterleri içeren gıda kodeksini, yatay gıda kodeksi ise, gıda katkı maddeleri, aroma vericiler ve aroma verme özelliği taşıyan gıda bileşenleri, bulaşanlar, pestisit kalıntıları ve veteriner ilaç kalıntıları, numune alma, analiz metotları, etiketleme, mikrobiyolojik kriterler gibi tüm gıdalara ve gıda ile temas eden madde ve malzemelere uygulanacak olan kriterleri içeren gıda kodeksini tanımlamaktadır. 5996 sayılı kanuna dayanarak Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği (TGKBY,2011)

yayınlanmıştır. Yönetmelikte bulaşan, gıdaya kasten ilave edilmeyen ancak gıdanın birincil üretim aşaması dahil üretimi, imalatı, işlenmesi, hazırlanması, işleme tabi tutulması, ambalajlanması, paketlenmesi, nakliyesi veya muhafazası ya da çevresel bulaşma sonucu gıdada bulunan hayvan tüyü, böcek parçası gibi yabancı maddeler hariç olmak üzere her tür madde olarak tanımlanmıştır. Yönetmelikte nitrat, mikotoksinler, ağır metaller, 3-monokloropropan-1,2-diol (3-MCPD), dioksinler ve PCB'ler, polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH), erusik asit'in gıdada bulunabilecek maksimum limitleri belirlenmiştir.

Çizelge 1.10'da gıdalardaki bulaşanların maksimum limitleri (ağır metaller için) verilmiştir. Ancak buğday ve tahıllar için sadece Cd ve Pb için maksimum limit belirlenmiştir. Buğdayda maksimum limit Cd için 0.2 mg/kg, Pb için ise tahıllar ve baklagillerde 0.2 mg/kg olarak belirlenmiştir.

Çizelge 1.10. Gıdalardaki bulaşanların maksimum limitleri (TGKBY, 2011)

Gıda		**Maksimum limit (mg/kg yaş ağırlık)**
3.1.	**Kurşun (Pb)**	
3.1.1.	Çiğ süt, ısıl işlem görmüş süt ve süt bazlı ürünlerin üretiminde kullanılan süt	0.02
3.1.2.	Bebek formülleri ve devam formülleri	0.02
3.1.3.	Sığır, koyun, domuz ve kanatlı eti (Bölüm 3.1.4'de belirtilenler hariç)	0.10
3.1.4.	Sığır, koyun, domuz ve kanatlıların yenilebilir sakatatları	0.50
3.1.5.	Balık eti	0.30
3.1.6.	Kabuklular (başlı gövde kısmı hariç karın ve karın uzantısı kas eti, yengeç ve yengeç benzeri kabuklularda (*Brachyura* ve *Anamura*) appendages kas eti)	0.50
3.1.7.	Çift kabuklu yumuşakçalar	1.50
3.1.8.	Kafadan bacaklılar (iç organları hariç)	1.00
3.1.9.	Baklagil sebzeleri, tahıllar ve baklagiller	0.20
3.1.10.	Sebzeler (lahana sebzeler, yapraklı sebzeler, taze otlar, mantar ve deniz yosunu hariç) (patates için maksimum limit soyulmuş patatese uygulanır)	0.10

3.1.11.	Lahana sebzeler, yapraklı sebzeler ve aşağıdaki mantar türleri: *Agaricus bisporus* (genel mantar), *Pleurotus ostreatus* (Oyster mantarı), *Lentinula edodes* (Shiitake mantarı)	0.30
3.1.12.	Meyveler (üzümsüler ve küçük meyveler hariç)	0.10
3.1.13.	Üzümsüler ve küçük meyveler	0.20
3.1.14.	Katı ve sıvı yağlar (süt yağı dahil)	0.10
3.1.15.	Meyve suları, konsantreden üretilen meyve suyu ve meyve nektarları	0.05
3.1.16.	Şaraplar (köpüklü şarap/şampanya dahil, likör şarabı hariç), elma, armut ve meyve şarapları	0.20
3.1.17.	Aromatize şaraplar, aromatize şarap bazlı içkiler, aromatize şarap bazlı kokteylleri	0.20
3.1.18.	Gıda takviyeleri	3.00
3.2.	**Kadmiyum (Cd)**	
3.2.1.	Sığır, koyun, domuz ve kanatlı eti (sakatat hariç)	0.05
3.2.2.	At eti (sakatat hariç)	0.20
3.2.3.	Sığır, koyun, at, domuz ve kanatlı hayvanların karaciğeri	0.50
3.2.4.	Sığır, koyun, at, domuz ve kanatlı hayvanların böbreği	1.00
3.2.5.	Balık eti (Bölüm 3.2.6. , 3.2.7. ve 3.2.8.'de belirtilenler hariç)	0.05
3.2.6.	Aşağıdaki balık türlerinin etleri — Torik (*Sarda sarda*), — Karagöz (*Diplodus vulgaris*), — Yılanbalığı (*Anguilla anguilla*), — Kefal (*Mugil labrosus labrosus*), — İstavrit (*Trachurus* sp.), — Louvar veya luvar (*Luvarus imperialis*), — Uskumru türleri-Mackerel (*Scomber* sp.), — Sardalya (*Sardina pilchardus*), — Sardalya türleri (*Sardinops* sp.), — Orkinos (*Thunnus* sp. ve *Euthynnys* sp., *Katsuwonus pelamis*), — Dilbalığı (*Dicologoglossa cuneata*)	0.10
3.2.7.	Aşağıdaki balık türlerinin etleri — Bullet tuna (*Auxis* sp.*)*	0.20
3.2.8.	Aşağıdaki balık türlerinin etleri — Kılıçbalığı (*Xiphias gladius*) — Hamsiler (*Engraulis* sp.),	0.30

3.2.9.	Kabuklular (başlı gövde kısmı hariç karın ve karın uzantısı kas eti, yengeç ve yengeç benzeri kabuklularda (*Brachyura* ve *Anamura*) appendages kas eti)	0.50
3.2.10.	Çift kabuklu yumuşakçalar	1.00
3.2.11.	Kafadan bacaklılar (iç organları hariç)	1.00
3.2.12.	Tahıllar (Bölüm 3.2.13'de belirtilenler hariç)	0.10
3.2.13.	Kepek, rüşeym, buğday ve pirinç	0.20
3.2.14.	Soya fasulyesi	0.20
3.2.15.	Sebzeler ve meyveler (yapraklı sebzeler, taze otlar, yapraklı lahanalar, mantar, saplı sebzeler, köklü ve yumrulu sebzeler ve deniz yosunu hariç)	0.05
3.2.16.	Saplı sebzeler, kereviz hariç köklü ve yumrulu sebzeler (patates için maksimum limit soyulmuş patatese uygulanır)	0.10
3.2.17.	Yapraklı sebzeler, taze otlar, yapraklı lahanalar, kereviz ve aşağıdaki mantar türleri : *Agaricus bisporus* (genel mantar), *Pleurotus ostreatus* (Oyster mantarı), *Lentinula edodes* (Shiitake mantarı)	0.20
3.2.18.	Mantar (Bölüm 3.2.17'de belirtilenler hariç)	1.0
3.2.19.	Gıda takviyeleri (Bölüm 3.2.20'de belirtilenler hariç)	1.0
3.2.20.	Gıda takviyeleri (kurutulmuş deniz yosunu veya deniz yosunu ürünü veya kurutulmuş çift kabuklu yumuşakçadan üretilen veya temel bileşeni bu ürünler olan)	3.0
3.3.	**Civa**	
3.3.1.	Balıkçılık ürünleri ve balıkların kas etleri (Bölüm 3.3.2'de belirtilenler hariç) Maksimum limit; kabuklularda başlı gövde kısmı hariç karın ve karın uzantısı kas etine uygulanır. Yengeç ve yengeç benzeri kabuklularda (*Brachyura* ve *Anamura*) ise appendages kas etine uygulanır.	0.50

3.3.2.	Aşağıdaki balık türlerinin etleri — Fener balıkları (*Lophius* spp.), — Atlantik yayını/kedi balığı (Anarhichas lupus), — Torik (*Sarda sarda*), — Yılanbalıkları (*Anguilla* spp.), — Emperor veya orange roughy, rosy soldierfish (*Hoplostethus* spp.), — Grenadier (*Coryphaenoides rupestris*), — Kalkan benzeri yassı balık (*Hippoglossus hippoglossus*), — Kingklip (*Genypterus capensis*) — Kılıç balığı benzeri balık (*Makaria* sp.), — Megrim (*Lepidorhombus* sp.), — Barbunya (*Mullus* sp.), — Pink cusk eel (*Genypterus blacodes*) — Turna balığı (*Esox lucius*), — Torik/iri uskumruya benzer balık (*Orcynopsis unicolor*), — Poor cod (*Tricopterus minutes*), — Portekiz köpek balığı (*Centroscymnes coelolepis*), — Vatozlar (*Raja* spp.), — Mercan türü balıklar (*Sebastes marinus, S. mentella, S. viviparus*), — Kılıç benzeri balık (*Istiophorus platypterus*), — Uskumru türü balıklar (*Lepidopus caudatus, Aphanopus carbo*), — Mercan balıkları (*Pagellus* sp.), — Köpekbalığı (bütün türleri), — Uskumru türü balıklar (*Lepidocybium flavobrunneum, Ruvettus pretiosus, Gempylus serpens*), — Mersin balığı (*Acipenser* spp.), — Kılıçbalığı (*Xiphias gladius*), — Orkinos(*Thunnus* spp. ve *Euthynnus* spp., *Katsuwonus pelamis*)	1.0
3.3.3.	Gıda takviyeleri	0.10
3.4.	**Kalay (İnorganik)**	
3.4.1.	Konserve gıdalar (içecekler hariç)	200
3.4.2.	Teneke kutu içerisinde satışa sunulan alkolsüz içecekler (meyve ve sebze suları dahil)	100
3.4.3.	Teneke kutu içerisinde satışa sunulan bebek ve küçük çocuk ek gıdaları (kuru ve toz haldeki ürünler hariç)	50
3.4.4.	Teneke kutu içerisinde satışa sunulan bebek formülleri ve devam formülleri (bebek sütleri ve devam sütleri dahil, kuru ve toz haldeki ürünler hariç)	50
3.4.5.	Teneke kutu içerisinde satışa sunulan bebekler için özel tıbbi amaçlı diyet gıdalar (kuru ve toz haldeki ürünler hariç)	50

1.5. Konya Kentsel Atıksuları ve Toprak Kirliliği Problemi

Konya kentinin atık suları birleşik kanalizasyon sistemi ile toplanmakta ve hiçbir arıtma işlemine tabi tutulmaksızın 1974 yılından beri Ana Tahliye Kanalı ile Tuz Gölü'ne deşarj edilmektedir.

Konya Ana Tahliye Kanalı, genelde trapez kesitli ve yaklaşık 150 km uzunluğunda toprak bir kanaldır. Yağışlı dönemlerde ve kış mevsiminde Konya ana tahliye kanalındaki sular ülkemizin en büyük ve en önemli tuz kaynağı olan Tuz Gölü'ne kadar ulaşmaktadır (Aydın ve ark., 2008)

Kanalın taşıdığı en düşük su miktarı Ekim ayında 0.3 milyon m^3, en yüksek su miktarı ise Mart ayında 11 milyon m^3 olmaktadır. Kanal, Gölyazı bölgesinden Tuz Gölü'ne dökülmektedir (Özdemir, 2002).

Kurak dönemlerde Ana Tahliye Kanalı boyunca tarım arazilerinde atık sular pompalar yardımı ile sulama amaçlı kullanılmaktadır. Konya atıksu arıtma tesisi 2010 yılı içerisinde faaliyete başlamıştır. Mevcut topraklarda halen gıda ürünleri yetiştirilmekte ve bu ürünler kontrol edilmeksizin tüketilmektedir.

Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi (KOSKİ) kanalizasyon şebekesine deşarj edilen kirletici tür ve miktarı, Konya kentinin ekonomik ve teknolojik gelişmesine paralel olarak faaliyet gösteren sanayi kuruluşlarının tür ve miktarına bağlı olarak artmıştır.

Ülkemizin yarı kurak bir bölge de yer alması ve son yıllarda ciddi şekilde hissedilen su sıkıntısı mevcut su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için gerekli önlemleri almaya zorlamaktadır. Tarımsal amaçlı su kullanımı su kullanım miktarının en büyük yüzdesini oluşturmakta olup, özellikle arıtılmış veya arıtılmamış atık suların bu amaçla kullanımı yasal veya yasal olmayan şekilde sürdürülmektedir. Ülkemizde bu konu ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalar sınırlı sayıda olup, atıksular ile sulanan toprakların ve bu topraklarda yetiştirilen ürünlerin kirlilik seviyesi ile ilgili çalışmaların yapılması, mevcut durumun belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

1.6. Topraktan Ağır Metal Giderim Yöntemleri

Kirlenmiş alanın temizlenmesindeki amaç, toksik kirleticilerden doğan risklerin minimuma indirilmesi ile kirlenmiş toprağı sürdürülebilir çevresel konuma getirmektir.

Toprakta oluşan kirlilik sorununun boyutu örnekleme ve kimyasal araştırma sonuçları ile belirlenebilir. Kirlilik boyutu iki tipte sınıflandırılabilir:

- Sınırlı kirlilik
- Yayılmış kirlilik

Sınırlı kirlilik durumunda, kirlilik alanının ve riskin az olması sonucunda ölçüm hızlı bir şekilde yapılabilmekte ve temizleme çalışmasında da hızlı sonuç alınabilmektedir. Bu durumda kirlilik bir kaynaktan (endüstriyel faaliyetler, tank sızıntıları vb.) akış şeklinde meydana gelebilir. Bu tip kirlenmelerde kirlilik kaynağından uzaklaştıkça kirletici konsantrasyonlarında azalma görülür.

Yayılmış kirlilik durumunda ise kirleticiler hem yatay hem de dikey yönlerde yayılma gösteririler. Yayılma ve taşınmanın boyutları toprak saturasyonuna ve hidrolik karakterine bağlıdır. Yayılmış kirlilik sorunları kolayca giderilemez. Temzileme çalışmasının iyi planlanması için daha detaylı araştırma ve teknik ekipman gereklidir (Bradl, 2005c).

1.6.1. Temizleme metodları

Toprak temizlemesi, kirlik derecesi, risk seviyesi, bütçe ve zaman kısıtlamasına bağlı olarak, hızlı bir şekilde yerinde yapılabilir veya özel araçlarla taşınan toprak reaktörler ya da özel tanklarda temizlenebilir. Kirliğinin dağılımını önlemek için toprak, bir yüzeye taşınarak dağıtılabilir. Temizleme metodları şunlardır:

- Kimyasal ve fiziksel yöntemler; iyon değişimi ve çökelme, oksidasyon, nötralize etmek, fotoliz, aktif karbon, deklorinasyon, toprak buhar ekstraksiyonu, toprak yıkanması, yoğun su ile toprak yıkanması, elektrokinetik arıtım.
- Biyolojik iyileştirme (bioremediasyon); yerinde bioremediasyon, yerinde olmayan bioremediasyon, fitoremediasyon.
- Katılaştırma ve stabilizasyon yöntemleri; katran ile yapılan katılaştırma, termoplastik materyaller içinde kapsülasyon, polietilen uygulaması, pozzolan/portland çimentosu.
- Termal uygulama; yakma, termal desorpsiyon, plazma metodu.
- İzolasyon ve immobilizasyon yöntemleri.
- Prometalurjik yöntemler.
- Mekanik ayırma yöntemleri.

- Biyokimyasal yöntemler ile metallerin arıtımı (Bradl, 2005c).

1.6.1.1. Kimyasal ve fiziksel temizleme yöntemleri

1.6.1.1.1. Oksidasyon

Organik kimyasallar tarafından kirlenmiş topraklar için etkili bir temizleme yöntemidir. Oksidasyon yöntemi, kirlenmiş sahada yerinde temizleme için başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntemde hidrojen peroksit, ozon ve potasyum permanganat en yaygın olarak kullanılan kimyasallardır (Bradl, 2005c).

1.6.1.1.2. İyon değişimi ve çökelme

Toprak bileşenleri yüksek katyon değişim kapasitesiyle pozitif yüklü organik kimyasalları ve maddeleri bağlayabilirler. Kimyasal olarak onları hareketsiz duruma getirirler ve toprakta oluşturdukları riski azaltırlar. Sentetik reçineler, kil mineralleri veya zeolit toprağın CEC karakterisliklerini artırmada yardımcı olarak kullanılabilirler. Böylece toprak ortamındaki negatif fonksiyonel gruplar üzerinde pozitif olarak yüklenmiş kirleticilerin tutunmasını artırabilirler (Bradl, 2005c).

1.6.1.1.3. Fotoliz

Fotolitik degrasyon yöntemi, UV ışınları ile organik kirleticilerin parçalanmasına dayanır. Yüzeysel toprak kirleticilerin parçalanması için yeterli olan bu durum, yapay UV ışınları kullanılarak ya da toprağın güneş ışığına maruz bırakılmasıyla gerçekleştirilebilir. Yöntem, yerinde veya özel hazırlanmış zeminlarde uygulanabilir (Bradl, 2005c).

1.6.1.1.4. Granüle olmuş aktif karbon üzerinde tutunma

Çoğu organik bileşiklerin aktif hale gelmiş karbon yüzeyinde adsorbsiyon eğilimine bağlıdır. Aktif karbon üzerinde adsorbisyon yöntemi özel tanklarda ya da hazırlanmış zeminlerde gerçekleştirilen bir yöntemdir (Bradl, 2005c).

1.6.1.1.5. İndirgenebilir deklorinasyon

Poliklorine olmuş organik bileşiklerdeki klorun ortaya çıkarılması ya da kullanılması ile etkili bir yöntemdir. Çoğunlukla saf metal katalizlerinin tabakaları arasında bulunan kirleticilerin ısıtılmış gazlardan geçirilerek uçucu klorine olmuş bileşikleri işleme tabi tutmak için kullanılır. Etkili ve düşük masraflı bir yöntemdir (Bradl, 2005c).

1.6.1.1.6. Toprak buhar ekstraksiyonu

Toprak temizlemesi için kullanılan yaygın ve önemli bir yöntemdir. Yöntem, toprak çözeltisi ve toprak havası arasındaki bölmeyle toprak çözeltisinden çıkan organik buharın ayrılmasını sağlamak için doymamış toprak alanına temiz hava verilmesini kapsar. Toprak havasına katılan buhar daha sonra vakum ekstraksiyon yoluyla ortadan kaldırılır (Bradl, 2005c).

1.6.1.1.7. Toprak yıkanması

Kirlenmiş toprak, kirletici maddeleri ortamdan uzaklaştırmak için su ve mekanik karıştırıcı iyice yıkanır. Yöntemde toprak ince ve kaba materyal olarak ayrılır. Kirleticilerin önemli bir kısmını bulunduran ince materyal diğer temizleme yöntemleri ile ileri düzeyde temizlenir. Kaba materyal ise temizlenmiş olarak doğrudan araziye verilebilir (Bradl, 2005c).

1.6.1.1.8. Yoğun su ile toprak yıkanması

Organik ve inorganik kirleticilerin yerinde temizlenmesi için kullanılan bir yöntemdir. Topraktaki veya akiferdeki kirleticilerin su vb. çözücüler ile yıkanması işlemidir. Yıkama çözeltisi zemine enjekte edilmekte ya da bazı yöntemlerle (spreyleme gibi) yüzeye yayılmaktadır. Bu çözelti zemin içerisinde hareketi sırasında kirletici ile karşılaştığında kimyasal reaksiyona girerek kirleticiyi bünyesine almaktadır. Çözelti daha sonra pompalar ile yüzeye çıkarılıp arıtılmaktadır (Bradl, 2005c).

1.6.1.1.9. Elektrokinetik arıtım

Kirlenmiş sahaya elektrot serileri (Cu, Pb, Zn, garfit gibi) bağlanmakta ve elektrotlara belirli miktarlarda doğru akım verilmektedir. Uygulanan elektrik akımı nedeniyle, toprak içerisindeki elektirksel yüke sahip kirleticiler iyonik taşınım, elektro ozmoz, difüzyon yoluyla ters yüklü elektrota doğru hareket ederler. Ters yüklü elektorta gelen kirletici elektrot üzerinde biriktirilir veya pompa ile yüzeye taşınarak işleme tabi tutulur. Bu teknoloji ince tanecikli ve geçirgenliği yüksek olan topraklarda oldukça etkilidir. Ayrıca yerinde temizleme ve taşınmış topraklar için düşük maliyetli bir yöntemdir (Bradl, 2005c).

1.6.1.2. Biyolojik iyileştirme (Bioremediasyon)

Toprakta organik kirleticilerin neden olduğu kirlilikte, organik kirleticileri devamlı bzunmaya uğratan, onları çözen çeştli mantar, bakteri ve mikroorganizmalar bulunmaktadır. Kirlenmiş toprakların biyolojik yöntemlerle temzilenmesi, toprakta doğal olarak bulunan mikroorganizmaların kullanılması esasına dayanır. Yöntemin başka bir amacı da ileri düzeylere çıkmış kirliliğin önlenmesidir. Çevreyi kirleten kompleks toksik atıkların arttığı bir ortamda, bu organizmalar önemli bir rol oynamaktadır. Bu organizmalara örnek olarak bakteri ve mayalar verilebilir. Bakterilerin bir kısmı organik kirleticilerin geniş bir bölümünü sindirme kapasitesine sahiptir. Yöntem, yakıtlar ve diğer yağ ürünleri gibi organik kirleticilerin temzilenmesinde etkili ve kolaydır (Bradl, 2005c).

1.6.1.2.1. Yerinde bioremediasyon

Kirlenmiş toprakların temizlenmesi için doğal ortamından kazınarak taşınmasına gerek yoktur. Kirletici maddeleri indirgemek için zararsız mikroorganizmaların kullanıldığı ve maliyeti düşük olan üstün nitelikli bir yöntemdir. Aerobik ıslah olarakta bilinir. Bazı durumlarda kirleticilerin biyolojik indirgemelerini arttırmak için toprağa oksijen ve besin eklenebilir. Bu yöntemin bazı dezantajları da vardır. Diğer yöntemlere göre temizleme biraz daha uzun sürebilir. Çevresel şartlardaki değişiklikler mikrobiyal aktiviteyi azaltabilir. Böyle durumlarda laboratuvarda elde edilen mikrororganizmalar

ortama eklenir. Yöntem dizel yakıt ve yoğun yağlar gibi halojen olmayan yarı uçucu organiklerin ıslahında kullanılır (Bradl, 2005c).

1.6.1.2.2. Yerinde olmayan bioremediasyon

Bu yöntemde toprak mikrobiyal indirgemeyi kolaylaştırmak doğal ortamından kazınarak taşınır. Kirlenmiş sahadan uzakta gerçekleştirilen yerine olmayan bioremediosyon yöntemleri yerine yapılan metodlara göre daha hızlıdır. Kirlenmiş sahada geniş bir alanda uygulanabilir fakat maliyeti yüksek bir yöntemdir.

Bioremediasyon sürecinde kullanılan mikroorganizmalar (bakteri ve mantarlar) konusunda çalışmalar devam etmektedir. Bioremediasyonda kullanılabilecek yeni mikroorganizmalar keşfedilmektedir. Örneğin *Geobacter metallireduces,* radyoaktif atığı, uranyumu, madencilik çalışmaları sonucunda oluşan drenaj suyundaki metalleri indirgeyebilen ve ortadan kaldırabilen bir bakteri çeşididir. Mikroorganizmalar, yağ oluşumları, petrol ve ürünleri, yağ tankerleriyle oluşan kirlilik, hidrokarbonlar ve petrol sızıntıları sonucu oluşan kirliliklerde etkilidirler. Elementlerin bazılarının (Se gibi) toksisitesinin azaltılmasında kullanılabilirler. Ayrıca alg ve bakterilerin çoğu yüksek seviyelerde toksik olan metallere karşı salgı üretirler. Metallerin besin zincirinden kaldırılmasında bu salgılar etkili olmaktadır (Bradl, 2005c).

1.6.1.2.3. Fitoremediasyon

Ortamdaki kirleticilerin alınmasından ya da onların zararsız hale getirilmesinde yeşil bitkilerin kullanılması yöntemidir. Toprak temizlemesine ait pasif bir teknolojidir. Özellikle genetik olarak seçilmiş bitkiler bu yöntemde kullanılmaktadır. Yerinde temizleme yöntemi olduğu için çevresel sorunlar çok azdır ve toprak matriksi değişmez. Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında fiksasyon, filtreleme ve toprak dolgusu gibi düşük masraflı düzenlemeler gerektirir. Etkili bir fitoremediasyondan sonra toprak tarımsal amaçlar için kullanılabilir. Bu yöntemde toksik ağır metaller ve organik kirleticiler temzilenebilir. Fitoremediasyon, fitodegradasyon, fitostabilizasyon, rizofiltrasyon, fitoekstraksiyon, fitovolatilizasyon ve rizodegradasyon olarak gruplanır (Bradl, 2005c).

1.6.1.2.3.1. Fitoekstreaksiyon

Kirletici maddelerin bitki kökleri tarafından alınması ve bitki içerisinde taşınmasıdır. Toprak, çamur ve sedimette, metaller, metalloidler, radionükleidlerin uzaklaştırılmasında kullanılır. Hindistan hardalı, ayçiçeği, *pennycress, alyssum* ve hibrit kavaklar kullanılır. Kirletici alma ve uzaklaştırma yöntemidir (Bradl, 2005c).

1.6.1.2.3.2. Rizofiltrasyon

Metallerin kök tarafından alınması ya da tutulmasıdır. Yüzey ve yer altı sularında metaller ve radionükleidlerin uzaklaştırılmasında kullanılır. Su sümbülü, Hindistan hardalı ve ayçiçeği kullanılır (Bradl, 2005c).

1.6.1.2.3.3. Fitostabilizasyon

Kökler tarafından kirleticilerin alınalarak, kök yüzeyine yapışarak veya bitkinin kök bölgesinde hareketsizleştirilmesidir. Toprak, sediment ve çamurda As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn için uygulanılır. Çimler, hibrit kavaklar, Hindistan hardalı kullanılır. Kirletici etkisizleştirme yöntemidir (Bradl, 2005c).

1.6.1.2.3.4. Rizodegredasyon

Organik kirleticilerin kök bölgesinde mikroorganizmalar tarafından biyolojik arçalanmasıdır. Toprak, sediment, çamur ve yer altı suyuna uygulanır. Kırmızı dut, hibrit kavaklar, çimler, çeltik, su kamışı kullanılır. Kirletici giderme yöntemidir (Bradl, 2005c).

1.6.1.2.3.5. Fitodegredasyon

Bitki dokuları içerisinde kirleticilerin metabolizmaya uğramasıdır. Toprak, sedimet, çamur, yüzey suyu ve yer altı suyunda, organik bileşikler, fenoller, herbisitler ve klorinat çözücülerin gideriminde kullanılır. Servi, siyah söğüt, hibrit kavaklar, alg ve stonewort kullanılır (Bradl, 2005c).

1.6.1.2.3.6. Fitovolatilizasyon

Kirleticilerin kökler tarafından alındıktan sonra yapraklar aracılığıyla buharlaşmasıdır. Toprak, sediment, çamur ve yer altı suyunda klorinat çözücüler ve bazı inorganiklerin (Se, Hg, As) gideriminde kullanılır. Yonca, siyah locust, kavaklar ve Hindistan hardalı kullanılır (Bradl, 2005c).

1.6.1.3. Katılaştırma ve stabilizasyon yöntemleri

Bu yöntemle krileticiler dengede tutulur ya da hareketsiz hale getirilir. Yöntem aynı zamanda kriletici maddelerin çevreye karışmasını engeller, kirleticileri en az çözünebilir ve toksik olmayan formlara dönüştürmeyi amaçlar. Kirleticilerin toprağa eklenen bağlayıcı katı bir matriks içinde harketliliğini azaltır ve enkapsüle olmasını sağlayan kimyasal reaksiyonları içerir. Kirlenmiş materyallere uygun miktarda su çimento (portland çimentosu gibi), zift, polietilen ve diğer poliolefinler, sülfür çimentoları ve parafinler gibi termoplastik reçinelerin karıştırılmasıyla uygulanır. Yöntemde inorganik bileşikler (As, Cr^{+6}, Hg gibi metaller hariç), çözünmeyen hidroksitler, karbonatlar veya silikatlar kullanılarak çökelme, yer değiştirme ve tutulma gibi mekanizmalarla indirgenebilir. Yerinde arıtım olması nedeniyle maliyet açısından tercih edilmekte olup, toprağın bağlayıcı maddelerle karıştırılmasında karşılaşılan problemler nedeniyle toprağın kazılarak arıtılması uygulamalrı daha yaygın hale gelmiştir (Bradl, 2005c).

1.6.1.4. Termal yöntemler

Bu yöntemle kirleticiler etkin bir şekilde buharlaştırılır ve yok edilir. Sıcaklıkları 400 ^{0}C ve 700 ^{0}C arasında olan fırınlarda kirlenmiş toprak ısıtılır. Organik uçucu maddelerin toplam oksidasyonunu sağlamak için daha yüksek sıcaklıklardaki (800-1200 ^{0}C) gaz ocaklarında daha ileri düzeyde işlemlere tabi tutulur (Bradl, 2005c).

1.6.1.5. İzolasyon ve immobilizasyon yöntemleri

Bu yöntem, atığın toprak içindeki geçirgenliğinin azaltılması, topraktaki kirleticilerin hareketlerinin minimize edilmesi ve atığın dayanımının artırılması için uygulanmaktadır. Çimento, çelik, bentonit ve harç duvarlarından yapılan fiziksel bariyerler ile kirlenmiş bölgenin üzeri kaplanır. Kirleticinin toprak profilinde yatay ve düşey yöndeki hareketi sınırlanır (Bradl, 2005c).

1.6.1.6. Prometalurjik yöntemler

Bu proseslerde kirlenmiş topraktaki metalleri buharlaştırmak için yüksek sıcaklık fırınları kullanılmaktadır. Kirleticiler, 200-700 ^{0}C sıcaklıkta buharlaştırılır, buharlaşmanın ardından metaller geri kazanılır ve immobilize edilir. Bu yöntem özellikle Hg için uygundur. Pb, As, Cd ve Cr gibi metaller için ise erimeye yardımcı olacak ve üniform bir besleme sağlayacak indirgeyici maddeler ile bir ön arıtımın yapılması uygun olabilir. Bu yöntem kirliliğin yoğun olduğu (%5-20) ve metal geri kazanımının kazançlı olduğu yerlerde uygulanmaktadır (Bradl, 2005c).

1.6.1.7. Mekanik ayırma yöntemleri

Yöntem büyük ve temiz partiküllerin daha küçük ve kirli partiküllerden ayrıldığı büyüklük seçici aşamalarının uygulanmasıdır. Yöntemin uygulanabilirliğinde en önemli parametreler partikül büyüklüğü ve her bir fraksiyondaki kirlilik seviyesinin durumudur. Ayırma, gravimetrik çöktürmeye dayalı akışkan yatak ayırıcılar, santrifüj gücüne dayalı hidrosiklonlar, kirli metallerin farklı yüzey özelliklerine dayanan manyetij ayırıcılar ile yapılmaktadır (Bradl, 2005c).

1.6.1.8. Biyokimyasal yöntemler ile metallerin arıtımı

Yöntem toprağın yerinde arıtılması için kullanılabildiği gibi, reaktörlerde yada yığınlar haline getirilebilen toprakta da uygulanabilmektedir. Bu yöntem yükseltgenme/indirgenme reaksiyonlarını ve biyolojik sızmayı içermektedir. 15-55 ^{0}C arasında asidik (pH 4) ve anaerobik şartlarda sülfür bileşiklerini indirgeyebilen *Thiobacillus sp.* ile biyolojik sızma gerçekleştirilir. Metal sülfitlerin okside olarak

sülfirik asit oluşturması ve topraktaki metallerin yerine protonların bağlanmasıyla sızma gerçekleşebilmektedir. Yapılan çalışmalar kirlenmiş toprakların *Thiobacillus* tarafından etkin bir şekilde temizlenebileceğini göstermiştir. Temizleme için diğer bir teknikte *Aspergillus niger* mantarları kullanılarak sitrik ve glukonik asitlerin üretilmesidir. Üretilen bu asitler ortamın pH değerini düşürmekte (pH 3,5) ve şelatlaştırıcı madde gibi davranarak metal giderimini gerçekleştirmektedir (Bradl, 2005c).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Lucho-Constantino ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada Meksika, Hidalgo Eyaleti'nde ham atıksu ile sulanan tarım topraklarında ana ve iz elementlerin (As, Hg, K, Na, Ca, Mg, B, Cd, Cr, Pb) birikimi ve fraksiyonlamasını değerlendirmişlerdir. Çalışma alanı, Hidalgo Eyaleti'nde bulunan Sulama Bölgesi 03 (DR03)'ün kuzeybatı bölgesinde bulunan ve 8913 ha yüzey alanına sahip olan bölge 1'dir. Bölge ortalama 20 yıldır (6- 41 yıl aralığında) atıksu ile sulanmaktadır. Meksika'da kurak bölgelerin çok olması nedeniyle atıksuyun tarımda kullanımı yaygındır. Ülkenin yaklaşık %75'i kurak veya yarı kurak bölgelerden oluşmaktadır. Atıksular bitkisel üretim için faydalı olan organik madde ve mineral besin kaynağı olabilirler. Bununla birlikte çoğunlukla endüstriyel kökenli deşarjlar ve tarım uygulamalarından kaynaklanan toksik maddeler ve ağır metal ihtiva edebilirler. Bazı dönemlerde atıksu kullanılan alanlarda verimde artış görülmüştür, uzun süre kullanım ve toprağa atıksuyun yanlış uygulamaları sonucu toprak ve ürünler üzerinde olumsuz etkiler rapor edilmiştir.

Meksika'da evsel ve endüstriyel atıksular kanalizasyon sistemine deşarj edilmektedir. Sulamada kullanılan atıksuyun fiziksel ve kimyasal analizleri APHA-AWWA-WPCF (1989)'a göre yapılmıştır. Atıksu analizler sonucunda pH değeri hafif alkali, orta elektrolitik iletkenlik ve düşük-orta organik madde konsantrasyonu KOD olarak tespit edilmiştir. Ağır metal konsantrasyonları, Meksika yönetmeliklerinde belirlenen (NOM-001-SEMARNAT, 1996) tarım topraklarının sulamasında kullanılan atıksular için tanımlanan maksimum seviyelerin altında bulunmuştur.

Toprak örnekleri 30 cm derinlikten alınmıştır. Kompozit örnekler, 3 komşu parselden, her parsel için 13'er tane alınmıştır. Üç tekrarlı analizler Meksika Standart NOM-021-SEMARNAT-2000 tarafından önerilen yöntem kullanılarak yapılmıştır. Topraklar S1 (Julian Villagran), S2 (Ixmiquilpan), S3 (Ixmiquilpan), S4 (San Salvador), S5 (Actopan) ve S6 (Lagunilla) olarak kodlanmıştır. Toprak örnekleri hava ile

kurutulmuş ve analizden önce 2 mm'lik elekten elenmiştir. Bu toprakların pH, elektrolitik iletkenlik (EC), katyon değişim kapasitesi (CEC), sülfat (SO_4^{-2}), klor (Cl^-) ve toprak partikül boyutu dağılımı (kil ve silt) kimyasal ve fiziksel özellikleri Primo ve Carrasco (1973)'ya göre analiz edilmiştir: Toprak örnekleri modifiye Tessier metodu ile ekstrakte edilmiştir (1979).Toprak ekstraktları As ve Hg için alev atomik absorpsiyon spektrofotometresi kullanılarak analiz edilmiştir. Ekstratlar diğer iz elementler için (Cd, Cr, Pb, Na, Mg, K, Ca ve B) endüktif eşleşmiş plazma ekipmanları kullanılarak analiz edilmiştir.

Örneklerde bulunan ağır metal ve iz elementlerin miktarları sırasıyla; 675-1176 mg /kg K, 277.9–1001 mg/kg Na, 6,708-81,854 mg/kg Ca, 23,800-106,974 mg/ kg Mg, 9.2-123.8 mg/kg B, 0.6-1.9 mg/kg Cd, 11.6-27.4 mg/kg Cr, 3.9–47.0 mg/kg Pb olarak ölçülmüştür. As ve Hg miktarları çok düşük bulunmuştur. Cd, Cr ve Pb'nin toplam miktarları genellikle Avrupa Birliği mevzuatı ile belirlenen izin verilen maksimum limitlerin altında, Cd hariç iki toprak örneğinde Avrupa Birliği izin verilen maksimum limitlerin altında bulunmuştur. Pb ile ilgili olarak bir toprakta (S5) 6 yıl daha devam eden sulamada AB tarafından izin verilen maksimum düzeye ulaşabileceği görülmüştür. Pb içeriğinin mobil fraksiyonu kayda değer bulunmuştur (% 3-28). Çok değişkenli analiz (Pearson korelasyon ve temel bileşen analizi) sonuçlarına göre toprağın tuzluluğunu gösteren çeşitli değişkenler (elektrolitik iletkenlik, alkali çeşitliliği ve toplam toprak alkaliliği ve fraksiyon konsantrasyonları) ile B içeriği arasında güçlü bir korelasyon görülmüştür. Tuzluluk sadece bir toprakta (S3) yüksek olmasına rağmen, topraklarda B içeriği ile ilgili bir sorun olduğu görülmüştür. Toprakta sulama zamanı ile Pb içeriği ve organik karbon arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Diğer bir ilişki de sulama zamanı ve toplam Cd, Cr, B ve organik karbon arasında gözlenmiştir.

Çalışma sonucunda Meksika, Hidalgo Eyaleti, Sulama Bölgesi 03 tarımsal toprak yönetimi için; Pb ve Cd birikmesine duyarlı ürünlerin yetiştirilmesi için etkin kısıtlamalar, endüstriyel atıksuların Meksika şehri kanalizasyon sistemine deşarjını kısıtlamak ve/veya kanalizasyona deşarj etmeden önce etkin bir endüstriyel atıksu ön arıtıma zorlamak gibi yaklaşım stratejileri önerilmiştir.

Lucho-Constantino ve ark. (2005), Meksika (Hidalgo Eyaleti Sulama Bölgesi 03 (DR03) ve bölge 1 tarımsal topraklarda seçilen eser elementlerin birikimini (B, Cd, Cr, Hg, Pb ve As) değerlendirmişlerdir. Çalışma alanı, DR03 ve bölge 1 Meksika'nın merkezinde, Mezquital Vadisi'nde ve ekilebilir toprakların %18.6'sını temsil eden 8.913 ha yüzey alanına sahiptir. Seçilen sulama bölgesi (bölge 1) yaklaşık olarak 20 yıldır

ham atıksu ile sulanmıştır. Sulamada kullanılan üç ana kanal vardır: Tajo de Nochistongo, Grand Canal and Emisor Central. Mexico City'de yılda 1637 milyon m^3 atıksu üretilmekte ve bu suyun sadece %9'u arıtılmaktadır. Sulamada kullanılan atıksuda ağır metal konsantrasyonları 0.036-0.053 mg/L Cr(VI), 0.86-1.76 mg/L B, 0.037-0.300 mg/L Pb olarak tespit edilmiştir. Bu konsantrasyonların Meksika'da, tarımsal sulamada kullanmak için geçerli yönetmeliklerde (aylık ortalama olarak ayarlanmış) maksimum izin verilen limitlerin altında olduğu görülmüştür.

Örnekler üst topraktan (0-30 cm) Tessier yöntemi kullanılarak altı kesir şemasına göre (F0) kolayca çözünür, (F1) değiştirilebilir, (F2) karbonata bağlı, (F3) demir ve mangan oksitlerle ilişkili, (F4) organik maddeye bağlı sülfitler ve (F5) kalan kısmı elde edilmiştir. Genel olarak elementler F0, F4 ve F5 kesirlerine dağılmıştır. Topraktaki As, Hg ve bitki analizlerinde atomik absorbsiyon spektrofotometresi, B, Cd, Cr, Pb analizlerinde endüktif eşleşmiş plazma kullanılmıştır.

Topraktaki organik karbon içeriği ve sulama zamanı arasında açık bir pozitif korelasyon bulunmuştur. Elementlerin toplam miktarları incelenmiş ve 0.51-1.89 mg/kg Cd, 11.59-27.42 mg/kg Cr, 3.99-47.08 mg/kg Pb ve 9.2-123.8 mg/kg B olarak tespit edilmiştir. Toplam As ve Hg miktarları 0.77 mg/kg Hg dışında dedeksiyon limitinin (sırasıyla 0.03 ve 0.01 mg/kg) altında tespit edilmiştir.

Çalışma sonucunda, toprağın toplam B içeriğinin ürünlerde fitotoksik etkiye neden olabileceği görülmüştür. Çözünür B miktarı tüm topraklarda hassas bitkiler için tavsiye edilen 4 mg/kg değerinden daha yüksek bulunmuş, altı topraktan dördünde ürünlerin tolere edebileceği maksimum seviyeye (15 mg/kg) yakın olduğu görülmüştür. Çalışılan toprak örneklerinde önemli oranlarda Pb ve Cr'nin kolayca çözünebilir ve değiştirilebilir olduğu görülmüştür. Bölge 1 de mobil Pb miktarı İsviçre standartlarının üzerinde bulunmuştur. As ve Hg'nin dedeksiyon limitlerinin altında olduğu görülmüştür. Tüm topraklarda Cd, Cr ve Pb toplam miktarları Avrupa Birliği ülkelerinin yönetmelikleri tarafından önerilen maksimum izin düzeylerinin altında kalmıştır. Ancak toplam Cd ise Avrupa Birliği tarafından verilen limit değerlerin eşiğinde tespit edilmiştir. Toplam metal miktarları ve sulama zamanı arasında doğrusal bir artış tespit edilmiştir. Bu toprakların, trofik besin zincirine potansiyel bir risk oluşturabileceği ve ağır metal biriktirdiği bilinen ürünlerin (frenk inciri, soğan, sarımsak, marul, patates, pancar, şalgam) ekimi için kısıtlamalar gerektiği tespit edilmiştir. Bazı ürünlerde Cd ve çalışılan alanlardan toplanan bazı ürünlerde de Pb konsantrasyonları Alman ve Hollanda

standartlarında yem, taze sebze ve hububat için izin verilen maksimum değerlerden daha yüksek bulunmuştur.

Li ve ark. (2009), Shenyang Zhangshi Sulama Alanında (ZIA) tarımsal ürün ekiminin fizibilitesini değerlendirmişlerdir. Alan, 1962 yılından beri Çin sanayi atık suyu ile sulanmaktadır. O zamandan beri ZIA alanı endüstriyel kullanımlar için inşaata açılmıştır, yine de kalan alan 1825 ha kadardır (Sluice Gate III (SLIII) ve LowerReaches (LR)). Endüstriyel atıksu ile sulama 1992'de sona ermiştir, bu alanlardaki topraklarda ağır metaller üzerindeki çalışma SL III ve LR de tarımsal ürün ekiminin fizibilitesini değerlendirmek için yapılmıştır. Ayrıntılı bir alan incelemesi yapılmış ve topraktaki toplam ağır metal miktarı ve biyoyararlanımı belirlenmiştir. Toprak örnekleri 0-20 ve 20-40 cm derinlikten alınmıştır. Hava ile kurutulmuş ve elenmiştir. Örnek hazırlama ve kimyasal analizleri tarım toprakları için kullanılan rutin analitik metotlara göre yapılmıştır. Cd örnekleri Tessier metotu kullanılark ardışık ekstraksiyon yöntemi kullanılarak tayin edilmiştir. Ağır metal ölçümleri atomik absorbsiyon spekterofotometresinde yapılmıştır.

Çin'de toprak için Çevre Kalite Standardı (GB15618-1995) toprağın kullanım farklılıklarına göre üç sınıfa ayrılmıştır. Analiz sonuçlarına göre toprakta Cd miktarları 0-20 cm'de SLIII bölgesinde 1.75 mg/kg ile C standardından (1.0 mg/kg) yüksek, 20-40 cm'de 0.51 mg/kg ile B standardından (0.3 mg/kg, tarım arazileri, sebze, çay otlatma alanlarında pH<6.5 olan topraklar için) daha yüksek bulunmuştur. LR bölgesinde 0-20 cm'de ortalama Cd miktarı 0.52 mg/kg ile B standardından (0.3 mg/kg pH<6.5 topraklar için) yüksek ölçülmüştür. SLIII bölgesinde 0-20 cm'de Pb ve Zn miktarları sırasıyla 40.46 mg/kg, 150.01 mg/kg ile A standardından (sırasıyla 35 mg/kg, 100 mg/kg) daha yüksek ölçülmüştür. Cu miktarı 0-20 cm'de 32.15 mg/kg ile A standardına (35 mg/kg) yaklaşmıştır.

ZIA'nın tarihsel geçmişine bakıldığında kısa vadede tarımda elde edilen ürün ve gelir artmış, fakat kısa vadede artılmamış atıksu ile uzun süre sulanan alanlarda önemli toprak kirliliğine neden olduğu kanıtlanmıştır. SLIII ve LR bölgelerinde atıksu ile sulama 14 yıl önce bitmiş olsa da, Cd, Zn, Pb, Cu miktarları standartlardan yüksek çıkmıştır. Araştırma sonuçları metallerin kararlılığının ağır metallerle kirlenmiş toprakların en belirgin ve önemli özellikleri olduğunu yinelemiştir. SLIII'de baskın kimyasal fraksiyonlar değiştirilebilir ve karbonat formları , %43 ve %35 Cd'dir. Cd'de bu iki fraksiyon bitki emilimi ve birikimi için en yüksek riski oluşturmaktadır. Çalışma sonucunda Cd'nin besin zincirine bulaşmasını önlemek ve insan sağlığını tehlikeye

atmamak için SLIII bölgesinde kültür bitkileri yetiştirilmemeli sonucuna varılmıştır. Alternatif olarak mikorizal mantarlarla biyoremidasyon yapılabilir ya da şehir peyzajında kullanılan çimler yetiştirilebilir.

Huang ve ark. (2007), Çin'in Yangzhong bölgesinden alınan toprak, tahıl ve sebze örneklerinde Hg, Cd, Pb, Zn, Cu, As, Ni ve Cr miktarlarını araştırmışlardır. Toprak örnekleri üstten ve 20 cm derinlikten alınmıştır. 37 bitki örneği toplanmıştır; 5 bakla, 5 lahana, 10 buğday ve 17 artemisia (pelin otu). Toprağın Ni, Co, Cr, Zn, Pb, Fe, K ve Mg içerikleri X ışını floresans spektrometresi kullanılarak tayin edilmiştir. Cd içeriği grafit fırın kullanılarak, As ve Hg içeriği soğuk buhar atomik floresans spektrometresi kullanılarak tayin edilmiştir. Bitki örneklerinde Cr, Ni, Cu, Pb, Zn ve Cd miktarları grafit fırınlı atomik absorbsiyon spektrometresi, As ve Hg içeriği ise soğuk buhar atomik floresans spektrometresi ile ölçülmüştür. Üst toprakta Pb, Cu ve Ni ortalama değerleri 30 mg/kg, As 10 mg/kg, Cd 0.3 mg/kg ve Cr 80 mg/kg ölçülmüştür. Hg en düşük miktarda 0.2 mg/kg, Zn 98.1 mg/kg ile en yüksek miktarda ölçülmüştür. Toprakta Çevre Kalite Standardı'na (Çin Ulusal Çevre Ajansı, 1995) göre ölçülen ağır metal miktarları üst toprakta genellikle düşük bulunmuştur. Üst toprak örnekleri, yüzeyin altındaki toprak örnekleri ile karşılaştırıldığında Hg, Cd, Cu, Pb, Zn ve As miktarları daha yüksek bulunmuştur. Ni ve Cr miktarları üst toprakta daha düşük bulunmuştur. Cu, Pb miktarları ise yüksek bulunmuştur. Yüksek As içeriği alüvyon örneklerinde kaydedilmiştir. Cd, Hg ve toplam organik karbon içeriği (TOC) toprak profillerinin üst kısımlarında maksimum değerlere kademeli olarak artmıştır. Ni ve Cr örnek profilleri içinde düşük miktarlarda tespit edilmiştir. As, Pb, Cu ve Zn yüzey tabakasında hafif bir zenginleşme göstermiştir. Çalışma sonucunda, 1990 yılında elde edilen veriler 2005 yılında elde edilen verilerle karşılaştırıldığında Hg ve Cd miktarlarının arttığı görülmüştür, bu da uzun süreli tarım ilacı kullanımına bağlanmıştır. Cr ve Ni içerikleri bu süre boyunca sabit kalmıştır. Kentsel antropojenik kaynaklı materyalin atmosferik birikimi nedeniyle zaman içinde Cu, Pb ve Zn içeriğinde hafif artış görülmüştür.

Ağır metaller düşük miktarlarda sebze ve tahıllarda kaydedilmiştir. Ürünlerde ise ortalama Zn içerikleri, buğdağda 22.4 mg/kg, baklada 22.9, lahanada 2.0 mg/kg, artemisiada 6.1 mg/kg, artemisiada Pb içeriği 0.30 mg/kg, Cd içeriği 0.15 mg/kg ile buğday, bakla ve lahanadan daha fazla ölçülmüştür. En yüksek As içeriği 0.19 mg/kg, artemisiada, Hg içeriği 0.0007 mg/kg buğdayda, Cu içeriği 4.1 mg/kg ile buğdayda, Ni içeriği 0.76 mg/kg ile baklada ölçülmüştür. Bakladaki ortalama Ni ve Zn içerikleri Gıda

Kalite Standardı (Çin Ulusal Çevre Koruma Ajansı, 2001) eşik seviyelerinden daha yüksek bulunmuştur. Buğday ve lahanada ağır metal miktarları eşik seviyelerin altında tespit edilmiştir.

Çalışmada ölçülen ağır metal miktarları ciddi bir sağlık riski teşkil etmese de, tarım ürünlerinin kalitesini etkilemektedir. Bu metallerin tüm potansiyel toksik ve zararlı etkileri uzun yıllar maruz kaldıktan sonra belirgin hale gelmektedir. Tarım topraklarında atmosferik çökelmeyi önlemek için gerekli önlemlerin alınması ve çiftçilerin organik gübre kullanmaya teşvik edilmesi gibi önlemler, tarım topraklarında ağır metal seviyelerini kontrol etmek için yardımcı olacaktır.

Moreno ve Navas (2007), İspanyanın güneyindeki bir nehir havzasında kirletilmiş topraklarda ağır metal kirliliğinin etkilerini nematod topluluğunda ve toprak besin zincirinde nematod topluluğu kullanılarak değerlendirmişlerdir (Haziran 2000-Şubat 2002). Nematodlar çok hücreli toprak organizmalarıdır, doğal topraklarda ve tarım alanlarında bolca bulunur (m^2 de birkaç milyon). Nematod topluluklarının işlevleri ve biyolojik çeşitliliği toprak fonksiyonlarında önemli bir rol oynar. Nematodlar bakteri ve mantar popülasyonunu düzenleyebilir, azot ve karbon mineralizasyonunu etkiler ve organik madde ayrışma oranlarını etkiler. Nematodlar toprak sağlığı ve iyileştirmesinde faydalı biyoindikatörlerdir. Toprağın Pb, Ni, Cu, Zn içeriği, pH'ı ve toprak yapısı kirli ve kirli olmayan alanların her ikisinde de ölçülmüştür. Nematod topluluk ve çeşitlilik indekslerinin yapısının güçlü bir ağır metal toprak içeriği (özellikle Pb, Zn ve Cu) tarafından etkilendiği tespit edilmiştir. Kirlenmiş ve kirlenmemiş alanlar arasında taksonomik çeşitlilik fonksiyonel indekslerden daha farklı bulunmuştur. Ağır metal kirliliği toprağın tokson zenginliğini ve nematod çeşitliliğini azaltmış ve toprak besin ağını değiştirmiştir. Kirliliğin nematod topluluğundaki etkilerini değerlendirmek için, çeşitlilik, olgunluk ve gıda ağı endeksleri toplum özelliklerinin tamamlayıcı göstergeleridir. Gıda ağı endeksleri ağır metallerin nematod toplulukları üzerindeki fonksiyonel tedirginliklerini değerlendirmek için yararlı bir yöntemdir.

Hindistan'da sulama için kullanılacak tatlı su kullanılabilirliğinde kademeli bir düşüş vardır. Tarım arazilerinin sulanması için kanalizasyon ve diğer endüstriyel atık kullanımı, özellikle gelişmekte olan ülkelerde artmaktadır. Öte yandan, dünyada iz metaller için yasal ve gıda standartlarının aşılması ile ilgili artan endişeler bulunmaktadır. Rattan ve ark. (2005), Hindistan'da kanalizasyon atıkları ile sulamanın toprak, bitki ve yer altı suyunda ağır metal içeriğinin uzun dönem etkilerini

değerlendirmek için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bunun için Hindistan'nın Delhi Keshopur Atık Sulama Programı (KEIS), tarım alanlarında yetiştirilen çeşitli tahıl, darı, sebze ve yem bitkileri seçilmiştir. Kanalizasyon atıksuları, yeraltı suyu, toprak ve bitki örnekleri toplanmış ve örneklerde ağır metal içeriği analiz edilmiştir. Analizler İndüktif eşleşmiş plazma atomik absorbsiyon spektrofotometresi (ICP-AES) ve atomik absorbsiyon spektrofotometresi (AAS) kullanılarak yapılmıştır. Kanalizasyon atıksularının yer altı suyuna göre çok daha yüksek miktarlarda P, K, S, Zn, Cu, Fe, Mn ve Ni içerdiğini görülmüştür. Sulama suyunda Cd ve Pb konsantrasyonlarında anlamlı farklılıklar olmuştur. Metal içeriği sulama suyu olarak kullanım için izin verilen sınırlar içinde kalmıştır. Kanalizasyon atıksuyu ile sulama sonucunda toprak pH'ı 0.4 birim düşmüştür. 10 yıldır kanalizasyon ile sulanan topraklarda Fe, Ni, Pb ve Zn önemli artış göstermiştir. Bu metaller arasında, bazı örneklerde sadece Zn fitioksisite sınırını aşmıştır. Genellikle tüm ürünlerde doku metal konsantrasyonları fitotoksisitenin genel kritik seviyesinin altında kalmıştır. Çalışma sonucunda, kanalizasyon suları ile sulanan topraklarda özellikle Zn, Cu ve Ni birikiminin pH'ın düşüşü ile ilişkili biyoyararlanımının periyodik olarak izlenmesi gerekli görülmüştür. Cd ve Pb gibi korkulan metallerin birikiminde bile kanalizasyon atıksuları ile uzun süreli kullanımdan sonra herhangi bir tehdit oluşturmadığı görülmüştür.

Doğan (2003), bu çalışmada Şanlıurfa şehir merkezinden geçen evsel ve sanayi atıklarıyla kirlenen Karakoyun Deresi suları ile sulanan soğanda (*Allium cepa L.*) oluşan toksik birikim ve bu birikime gübrelemenin etkisi araştırılmıştır. Karakoyun deresi, tarım alanı olarak kullanılan Harran Ovası'nın bazı bölgelerinde sulama amacıyla kullanılmaktadır. Araştırmaya 1996 yılı Haziran ve Temmuz aylarında başlanmıştır. Ekim için kirlenmemiş Harran Ovası toprak örneği kullanılarak, ekim işlemleri 20x10x15 cm boyutlarındaki plastik saksılarda yapılmıştır. Ekim işlemleri için plastik saksıların her birine 250 gr toprak, 20'şer adet soğan (*Allium cepa L.*) tohumu, 10'ar gr organik ve kompoze inorganik gübre ilave edilerek çalışma ortamı hazırlanmıştır. Kontrol grubu şehir içme suyu ile sulanmıştır. Çalışma yapılacak olan Karakoyun Deresi üzerinde sulama suyu örnekleri Cavsak Deresi, Et Balık Kurumu yanı ve derenin bitiş noktası olmak üzere üç ayrı istasyondan alınarak, örnekler bu su ile sulanmıştır. Analizler AAS ile gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, kontrollü koşullarda (temiz su + temiz toprak) yetiştirilen bitkiler ile atıksu gübresiz toprakta yetişen bitkilerin ağır metal miktarları karşılaştırıldığında, kontrol grubuna göre atıksu ile sulanan bitkide ağır metal miktarı önemli derecede yüksek görülmüştür. Ayrıca gübre

kullanımı da (temzi su + gübre) bitkideki ağır metal miktarında kontrole göre (temiz su + temiz toprak) önemli artışa neden olduğu bulunmuştur. Diğer bir grup olan gübrenin atıksuyla kullanılması ise bu değerlerin daha da yüksek çıkmasına neden olmuştur. Ağır metallerin (Fe, Zn, As, Cu, Cd, Pb) miktarı, organik veya inorganik gübre kullanılarak temiz su ile sulanan ortamda yetişen üründe kontrole göre yaklaşık 1.5-2 kat artış gözlenmiştir. Organik ve inorganik gübre kullanılarak atıksu ile sulanan ortamda yetişen üründe kontrole göre 4-5 kat artış görülmüştür. Atıksu ile sulanan ve gübre uygulaması yapılarak yetiştirilen soğanda ağır metallerin en büyük değerleri Fe için 5,20 µg/g, Zn için 6.23 µg/g, As için 3.37 µg/g, Cu için 5.82 µg/g, Cd için 6.15 µg/g ve Pb için 2.22 µg/g olarak bulunmuştur. Sonuçlar diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında, Karakoyun Deresi ile sulanan ve gübre uygulanan, ortamlarda yetiştirilen soğanda Cd düzeyinin insan sağlığı için tehlikeli olabilecek boyutlara ulaştığı tespit edilmiştir. Ağır metal miktarındaki artışın nedeninin atıksu ile sulama olduğu ve gübre uygulaması yapılmasının ise bu artış seviyesini yükselttiği tespit edilmiştir.

Aydın ilinin en önemli sulama kaynaklarından biri Büyük Menderes Nehri'dir. Keser (2008), Büyük Menderes Nehri ile sulanan alanlarda ağır metal kirliliğini araştırmıştır. Menderes Nehri ile sulanan tarım alanlarında yetiştirilen 9 üründen (börülce, bamya, mısır, biber, ıspanak, patlıcan, domates, karpuz ve fasulye) örnekler toplanmıştır. Bu ürünler örneklerinin analizi için, yaş yakma yöntemi uygulanarak ürünlerin içerisinde bulunan metaller çözünürleştirilmiştir. Ürünlerin ağır metal içerikleri AAS ile tespit edilmiştir. Ürünlerde 5 adet ağır metal (Cu, Zn, Fe, Pb ve Cd) incelenmiştir. Temiz su ile sulanan bölge örnekleriyle karşılaştırma yapılmış ve bütün ürünlerde analizleri yapılan metaller açısından kirlenmenin olduğu tespit edilmiştir. Alınan ürün örneklerinin tümünde sulanan bölgelerdeki metal derişimleri, sulanmayan bölgelerdeki metal derişimlerinden daha yüksek düzeyde bulunmuştur. Çalışma sonucunda, Büyük Menderes Nehri ile sulanan bölgelerdeki ağır metal kirliliklerinin nehirden sulama yapılması sonucu ortaya çıktığı görülmüştür. Zn elementi, endüstriyel alanlardan deşarj edilen atıksular ve kanalizasyon suları sonucunda çevrede konsantrasyonu artan bir elementtir. Bu elementin maksimum derişimi ise yaklaşık 5 mg/kg'dir. Ancak bu miktar bitki türlerine göre değişiklik göstermektedir. Yapılan çalışmada 4 tane ürün örneğinde (börülce, bamya, mısır ve ıspanak) bu düzeyin üzerinde bulunmuştur. Zn miktarları 1.7-13.06 mg/kg arasında ölçülmüştür. En düşük Zn miktarı karpuzda, en yüksek Zn miktarı mısırda görülmüştür. Aynı ürünler, temiz su ile sulandıklarında Zn miktarının 5 mg/kg'ın altında olduğu tespit edilmiştir. Diğer

ürünlerde ise, limit değerin üzerinde olmasada, temiz su ile sulanan bölgedeki tespit edilen değerlerden yüksek olduğu görülmüştür. Temiz su ile sulanan ürünlerde en yüksek Zn miktarı 4.51 mg/kg iken, nehir suyu ile sulanan ürünlerde en yüksek Zn değeri 13.06 mg/kg ölçülmüştür. Cu elementinin ürünlerde bilinen maksimum miktarı 5 mg/kg'dir. Ancak bu durum ürün çeşidine göre değişebilmektedir. Temiz su ile sulanan bölgelerde yetişen ürünler içerisinde maksimum Cu miktarı biberde 1.2 mg/kg'dır. Ancak nehir suyu ile sulanan bölgelere bakıldığında aynı üründeki Cu kalıntı miktarında bir artış olduğu gözlenmiştir. Cu miktarı en düşük 0.94 mg/kg ile karpuzda, en yüksek 5.71 mg/kg ile patlıcanda görülmüştür. Ayrıca Menderes nehri ile sulanan patlıcandaki 5.71 mg/kg'lik kalıntı miktarına rağmen sulanmayan bölgelerden toplanan patlıcandaki Cu miktarı 0.4 mg/kg civarında bulunmuştur. Sulanan ve sulanmayan bölgelerdeki Cu derişimleri arasındaki karşılaştırmada özellikle börülce, bamya, patlıcan ve domates arasındaki bariz farklar görülmüştür. Börülce örnekleri incelendiğinde, sulanmayan bölgedeki miktar yaklaşık 0.8 mg/kg, sulanan bölgede yetişen ürünlerde tespit edilen miktarlar ise yaklaşık 4 mg/kg civarındadır.

Gıda kodeksine göre Cd elementinin maksimum miktarı 0.05 mg/kg'dir. Temiz su ile sulanan bölgelerde yetişen ürünlerde Cd miktarı dedeksiyon limitinin altında ölçülmüştür. Nehir suyu sulama bölgelerindeki Cd miktarlarının oldukça yüksek düzeylerde olduğu görülmüştür. Bu durum ıspanak örneklerinde çok yüksek düzeyde görülmüştür ve sulanmayan bölgelerde Cd miktarı dedeksiyon limitinin altındayken, nehir suyu ile sulanan bölgelerdeki Cd miktarı yaklaşık 10.21 µg/kg düzeyindedir. Nehir suyu ile sulanan alanlarda yetişen ürünlerde Cd kirlenmesinin boyutu biber, ıspanak ve bamyada görülmektedir. Menderes nehri ile sulanan bölgelerdeki ağır metal kirlilikleri açısından kirletici ve toksik bir element olan Cd'deki kirlenme iyi bir örnek teşkil etmiştir. Gıda kodeksine göre Pb için maksimum kalıntı miktarı 0.1 mg/kg'dır. Temiz su ile sulanan bölgelerde yetişen ürünlerde Pb miktarları dedeksiyon limitinin altında tespit edilmesine karşın, nehir suyu ile sulanan alanlarda yetişen ürünlerde Pb miktarlarının oldukça yüksek düzeylerde olduğu görülmüştür. Ürün örneklerinde Pb miktarlarının karşılaştırması yapılmış ve nehir suyu ile sulanan bölgelerdeki kirlenme net bir şekilde görülmüştür. En düşük Pb miktarı 9.81 µg/kg ile karpuzda, en yüksek Pb miktarı 42.33 µg/kg ile fasülyede görülmüştür. Fe için, maksimum limit bütün ürünlerde farklılıklar gösterdiği için bir tek değer yoktur. Temiz su ile sulanan ürün örneklerinin analizinde Fe kalıntısı en fazla ıspanakta 193 mg/kg tespit edilmiştir. İkinci en yüksek miktar bamyada 45 mg/kg olarak belirlenmiştir. Aynı ürünün nehir suyu ile sulanan

ürünlerde tespit edilen miktarına bakıldığında ise yaklaşık üç kat yükseldiği gözlenmiştir. Fe miktarı nehir suyu ile sulanan ve sulanmayan bölgelerle karşılaştırıldığında en yüksek Fe içeriğine sahip ıspanaktaki miktarın iki kat kadar arttığı 367.49 mg/kg olduğu gözlenmiştir. Börülcedeki Fe ve Pb miktarları, temiz su ile sulanan bölgelerden toplanan ürünlerde tespit edilen Fe ve Pb miktarları ile mukayese edildiğinde çok yüksek miktarlarda bulunmuştur. Ürünler ve kirlilik yaratan ağır metaller domates için Pb, patlıcan için Fe, Pb ve Cu, bamya için Fe ve Pb, mısır için Zn ve Pb, fasulye için Pb, Cd ve Fe olarak belirlenmiştir. Sonuçta, Büyük Menderes Nehri ile sulanan ürün örneklerinde kontrol suyu ile sulanan ürün örnekleri karşılaştırılmış ve Büyük Menderes nehri ile sulanan bölgelerde ürünlerin tamamında analizi yapılan ağır metallerin tümünün kirlilik oluşturduğu tespit edilmiştir. Bütün ürünlerde Pb yüksek konsantrasyonlarda ölçülmüştür. Ürün örnekleri karayolundan oldukça uzak bir bölgeden alınmıştır. Bu yüzden Pb kirliliğinin nehir suyu ile sulama olabileceği sonucuna varılmıştır. Cd ve Pb toksik metaller arasında yer almakta, insan vücudunda birikebilmekte ve insan sağlığına zarar vermektedir. Bu yüzden bu kirlilik kaynakları önemli görülmüştür. Analizi yapılan diğer metaller Fe, Cu ve Zn esansiyel elementler olmasına rağmen, bunların da vücutta birikimi insan sağlığını olumsuz etkileyebilmektedir. Sulama suyu olarak kullanılan Büyük Menderes nehrinin ağır metaller yönünden ne kadar kirli olduğu görülmüştür.

Kızıloğlu ve ark. (2008), toprak ve bitki kalitesini etkilememeksizin atıksu ile sulamanın toprak verimliliğini iyileştirip iyileştiremeyeceği incelenmiştir. Erzurum bölgesinde gerçekleştirilen arazi deneylerinde arıtılmamış ve ön arıtımdan geçmiş atık sular ile sulamanın toprak profili ve üründeki makro ve mikro elementler üzerine etkisi araştırılmıştır. Atıksu ile sulamanın 0-30 cm toprak katmanında toprak kimyasal özelliklerini ve hasattan sonra bitki nutrient içeriğini önemli şekilde etkilediği tespit edilmiştir. Toprağın tuzluluk, organik madde, değişebilir Na, K, Ca, Mg miktarlarının, karnıbahar ve kırmızı lahana bitkilerinde N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni ve Cd içeriğinin arttığı, toprağın pH değerinin azaldığını tespit edilmiştir. Arıtılmamış atıksu ile sulamanın, karnıbahar ve kırmızı lahana bitkilerinde makro-mikro besin alımıyla yüksek verim gözlendiği, atıksu ile sulama sonucunda toprakta ve bitkide ağır metal kirlenmesi, tuzlanma gibi istenmeyen yan etkiler görüldüğü, arıtılmamış atıksuyun tarım alanlarında kısa vadede güvenle kullanılabileceği, birincil arıtımdan sonra ise uzun vadede kullanılabileceği çalışma sonucunda elde edilen bilgiler arasındadır.

Demir ve Aydın (2000), yaptıkları çalışmada Diyarbakır'da bulunan ve foseptik atıklarla sulanan Hevsel bahçelerinde yetiştirilen marul (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia* Lam.) bitkisi, su ve toprak örneklerinde ağır metal (Zn, Cu, Pb, Mn ve Fe) miktarlarını belirlemişlerdir. Kontrol için bu atklar ile sulanmayan Fabrika deresi alanlarından alınan örnekler kullanılmıştır. Analizler atomik absorbsiyon spektrometresi ile yapılmıştır. Foseptik atıklar ile sulanan Hevsel bahçelerinden alınan toprak, su ve marul örneklerinde Zn, Cu, Pb ve Mn miktarları Fabrika deresi alanından alınan örneklere göre çok daha yüksek bulunmuştur. Fabrika deresi alanından alınan toprak ve marul örneklerinde ise Fe miktarı daha yüksek bulunmuştur. Çalışma bulgularına göre ağır metal miktarının marulun yetişme ortamına bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Foseptik atıklarla sulanan marulda en fazla birikim Mn'de görülmüştür. Bunu sırasıyla Cu, Zn ve Pb izlemiştir. Foseptik atıklarla sulanan alanda yetiştirilen marulda Cu, Zn, Mn ve Pb miktarının yüksek çıkması üründe toksik etki yaratarak verimi olumsuz etkileyebileceği gibi insan sağlığı açısından da sorun yaratabilir. Foseptik atıkların tarımsal alanlarda kullanılmaması veya arıtıldıktan sonra kullanılmaları gerekmektedir.

Qishlaqi ve ark. (2008), Shiraz banliyö bölgesinde (GB İran), Khosk Nehri kanalı boyunca atıksu ile sulamanın toprak ve ürünler üzerindeki olumsuz etkilerinin değerlendirilmesini yapmışlardır. Bu amaçla toprak profili (0-60 cm derinlik) ve ürün örnekleri atıksu ile sulanmış iki alandan toplanmış ve temiz su ile sulanan alandan kontrol örnekleri alınmıştır. Pb, Ni, Cd, Zn ve Cr metallerinin topraklardaki toplam konsantrasyonu ve topraklarda yetişen bitkiler tarafından alınım miktarı tespit edilmiştir. Toprak için Kirlilik Yükü İndeksleri (PLIs) ve Kirlilik faktörleri (CFs) ve bazı bitkiler için Tehlike Katsayıları (ΣHQ) hesaplanmıştır. Çalışma için bu alanda yetiştirilen başlıca dört ürün seçilmiştir; buğday (*T.aestivum*), ıspanak (*Spinacia oleracea*), marul (*Lactuca sativa*) ve kereviz (*Apium graveolens*). Çalışmada ağır metaller atomik absorbsiyon spektrofotometresi kullanılarak analiz edilmiştir. Toprak örneklerinde ağır metal miktarları ortalama 276.6 mg/kg Ni, 110.6 mg/kg Zn, 0.35 mg/kg Cd, 441.7 mg/kg Pb, 26.0 mg/kg Cr olarak tespit edilmiştir. Ürünlerde ise, buğdayda ortalama değerler; Pb için 25.40 mg/kg, Ni için 23.39 mg/kg, Ispanak ve marulda Cd miktarı sırasıyla 3.59 mg/kg ve 2.17 mg/kg olarak ölçülmüştür.

Arıtılmamış atıksu kullanımının kontrol alanı ile karşılaştırıldığında; toprağın organik madde içeriğinde %20-30 artış gösterdiği, pH'ın 2-3 birim arttığı, özellikle toprağın üst kısmında yüksek CEC ile sonuçlanan Ex-Ca (değiştirilebilir Ca) konsantrasyonunda önemli artış, yüzey toprağında ağır metal birikimi, özellikle Pb ve

Ni, maksimum izin verilebilen limitlerin üzerinde (MPLs) orta dereceli bir metal kontaminasyonu gözlenmiştir (PLI>1, CF>2.5). Ispanak ve marul gibi bazı sebzelerin Cd ile kirlenmesi nedeniyle toprağın üst tabakasında yüksek bitki yaralanımının (HQ>1) olduğu, uzun süreli atıksu uygulaması sonucunda ağır metallerden Ni ve Pb'nin buğdayda aşırı birikimine neden olduğu belirlenmiştir. Çalışmada çalışılan alandaki atıksu ile sulamanın negatif etkilerini en aza indirmek için sıkı koruma tedbirleri, sıkı kurallar ve atıksuyun arıtılması ve geri dönüşüm için bir entegre sisteme ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca atıksu ile sulamayı sonlandırmak için çiftçilerin nehir boyunca kullandıkları pompaları kaldırmaları gerekmektedir. Genel bir eğitim programı amacıyla çiftçilerin atıksu ile sulamanın olumsuz etkilerinin farkına varmaları sağlanmalıdır.

Wang ve Tao (1998), Pekin'in doğusunda dış tarım alanlarında atıksu ile sulanan tarım topraklarındaki ağır metallerin (Co, Cr, Cu, Mn, Fe, Ni, Pb ve Zn) mekansal dağılım modeli ve ilişkilerini değerlendirmişlerdir. Toprak kirliliğinin en önemli kaynaklarından biri, endüstriyel ve evsel kaynaklı atıksulardaki inorganik ve organik kirleticilerin (ağır metaller de dahil olmak üzere) atıksu ile sulama uygulaması yoluyla tarım arazilerine ulaşmasıdır. Su kaynaklarının sınırlı olması atıksuların farklı amaçlar için yeniden kullanımını gerektirmektedir. Büyük kentsel alanlara bitişik tarım alanlarında, özellikle Kuzey Çin'de atıksuların arıtılmaksızın sulamada kullanımı akut bir sorundur. Yapılan birçok çalışma atıksu ile uzun süre sulanan Pekin'e komşu olan tarımsal toprakların ağır metal içeriğinde belirgin bir artış olduğunu göstermiştir. Pekin'in doğu bölgelerindeki tarım alanlarının büyük bir kısmı otuz yılı aşkın süredir atıksu ile sulanmıştır. Bu bölgelerdeki toprak, su ve ürünün kirlenmesi ile ilgili oldukça kapsamlı bir çalışma 1980 yılında yapılmıştır. Büyük atıksu çıkışları ve yapılan diğer çalışma alanlarına yakınlığı nedeniyle çalışma için doğu bölgelerinde örnekleme alanı seçmişlerdir. Çalışma alanının yaklaşık dörtte üçü çeltik alanı, geri kalanı da sebze bahçeleri olarak kullanılmaktadır. Çiftçiler bu alanların sulanmasında ağır metallerle kirlenmiş evsel ve endüstriyel kaynaklardan gelen arıtılmamış atıksuyu organik bileşikleri, besin maddesi, sulama ve gübreleme (organik madde) amaçlı kullanmışlardır. Örnekler toprak yüzeyinden (0-10 cm derinlikte), 190 noktadan 1995 yılının yaz aylarında toplanmıştır. Örneklerin 19'u doğu-batı (E-W) doğrultusunda, örneklerin 10'u da kuzey-güney (N-S) doğrultusunda 40 ve 50 m aralıklarla alınmıştır. Toprak örnekleri hava ile kurutulmuş, organik madde içeriği ve tane boyutu ölçülmeden önce 1 mm'lik elekten geçirilmiştir. Örneklerde sekiz ağır metal (Co, Cr, Cu, Mn, Fe,

Ni, Pb, Zn) içeriği, alevli atomik absorbsiyon spektrofotometresi ile, Çin Ulusal Çevre İzleme Merkezi (1990) tarafından geliştirilen standart bir prosedür kullanılarak (kalite kontrol dahil olmak üzere) ölçülmüştür. İncelenen sekiz ağır metalin ortalamaları, Pekin çevresinde aynı geçmişe sahip alüvyonlu tarım topraklarında bulunan ağır metallerden daha yüksek tespit edilmiştir. Çalışma bölgesi ortalama değerleri Cu, Zn ve Pb için sırasıyla 41.6, 124.2, 31.7 mg/kg'dır. Deng ve ark. (1986)'nın çalışması temel alınarak aynı ağır metaller için karşılaştırıldığında tespit edilen değerler sırasıyla 13.1, 50.6 ve 15.9 mg/kg'dır. Ağır metal içerikleri arasındaki önemli farkın nedeninin atıksu ile sulama olduğu, çalışma alanına başka bir girişin olmadığı belirlenmiştir. Çalışmaya göre Thonghui nehrinde (nehir suları sulamada kullanılıyor) Cu, Pb, Zn ve Cr'nin ortalama değerleri sırasıyla sedimentte 410.7, 136.2, 1131.5 ve 270.5 mg/kg'dir.

Tiwari ve ark. (2011), Hindistan, Gujarat, Vadodara yakınlarındaki karışık endüstriyel atıksu ile sulanan tarım arazilerinde yetiştirilen 10 ürün ve sebzede metal konsantrasyonunu belirlemişlerdir. Hindistan, Gujarat, Vadodara ilçesinin Umariya kasabasında 100 km uzunluğunda bir kanal özel ilaçlar, pigmentler, petrokimya, boya, böcek ilaçları, kimyasallar ve yağlar gibi çeşitli endüstriyel birimlerin atıksularının deşarjı için inşa edilmiştir. Toplanan atıksular Umman Denizi'ne deşarj edilmektedir. Yerel çiftçiler kanal boyunca tarım alanlarında yetiştirilen ürünlerini temiz sulama suyu azlığı nedeniyle bu atıksuları sulama için kullanmaktadırlar. Umariya'da yerel çiftçiler tarafından genellikle yetiştirilen sebzeler ıspanak (*Spinacia oleracea L*), turp (*Raphanus sativus*), domates (*Lycopersicon esculentum*), tere (*Lepidium sativum*), dereotu (*Peucedanum graveolens*), kişniş (*Coriandrum sativum*), kırmızı biber (*Capsicum annum*), lahana (*Brassica oleracea varcapitata*), patlıcan (*Solanum melongena*) ve bamya (*Hibiscus esculentus*)'dır. Atıksular ile sulanan topraklarda üretilen yenebilir bitkilerde, yasal sınırları aşan metallerin yüksek dozlarda sindirilmesinin risklerine tüketiciler maruz kalabilir bu da uzun vadede subakut ve kronik zehirlenmeler neden olabilir.

Metaller yerkabuğunun bir parçasıdır ancak bugün toprağın ağır metallerle kirlenmesi global ölçekte çevresel bir sorundur ve sanayileşme ile birlikte gittikçe artmaktadır. Endüstriyel aktiviteler, madencilik, elektrokaplama gibi üretimler ve temel imalatlar ağır metaller ve diğer toksik maddeleri içeren büyük hacimlerde atıksu üretir ve bu atıksuların alıcı ortamlara deşarjı su kalitesini bozar. Metaller çevrede son derece kalıcıdır ve parçalanmaz bu nedenle atıksuların uzun vadeli uygulamaları nedeniyle kolaylıkla toksik düzeylere birikebilirler. Çeşitli endüstriyel alanlardan deşarjın yanı

sıra metallerin sürekli olarak insan ve hayvanlar tarafından tüketilen su kaynaklarına girmesi onların büyümelerini ve sağlığını tehlikeye atmaktadır. Kirlenmiş toprakta yetişen bitkiler, kirlenmemiş toprakta yetişen bitkilerden daha yüksek miktarda metal içerdiği birçok çalışmada tespit edilmiştir.

Gelişmekte olan ülkelerde atıksularda ve atıksularla sulanan topraklarda ağır metal kirliliği ile ilgili bir dizi çalışma gerçekleştirilmiştir. Hindistan da dahil olmak üzere gelişmekte olan ülkelerde alternatif sulama suyu kaynaklarının kullanılamaması nedeniyle çeşitli toksik metallerin (Cu, Cd, Cr, Zn, Fe, Ni, Mn ve Pb) yüksek düzeyde olduğu endüstriyel atıksular ile tarım ürünleri sulanmaktadır. Bazı araştırmacılar seyreltilmiş endüstriyel atıksu/çamur kullanımının tarım bitkilerinde büyümeye ve verimlilik artırıcı etkiye sahip olduğunu belgelemiştir. Ancak ağır metal yüklemesi toprak sağlığının ve ağırlıklı olarak bu tür topraklarda yetişen sebzeler aracılığıyla besin zincirinin bozulmasına yol açabilmektedir. Farklı bitkiler tarafından metal alımı ve birikim prosesi toprakta metallerin mevcut konsantrasyonu ve bu topraklarda büyüyen bitki türlerine bağlıdır.

Hindistan'da sulama suyunda, toprakta ağır metal içeriği ve metalle kirlenmiş tarım alanlarındaki tarım ürünlerinde ve özellikle sebzeler ile ilgili çok sınırlı sayısal bilgi vardır. Bu çalışmada atıksu sulaması ile kirlenmiş tarım alanları ve burada yetişen sebzelerde metal seviyesinin direk ilişkisini saptamak için tarım alanları seçilmiştir. Mevcut çalışmaların temel amacı topraktaki metal konsantrasyonu seviyelerini ve onların sebzelerdeki translokasyonunun sağlık tehlikelerini değerlendirmek ve kirlenmiş alanlarda güvenli sebze yetiştirmek için politikalar oluşturulmasına yardımcı olabilmektir. Umariya'da mücavir alanlarda çok sayıda imalathane bulunmaktadır. Arıtılmış ve arıtılmamış atıkların çoğu bu atık kanalı aracılığıyla deşarj edilmektedir. Kanalın atıksuyu ile sulanan tarım arazisinde yerel çiftçiler ekonomik öneme sahip çeşitli bitki türleri ve mevsim sebzeleri yetiştirmektedir. Yerel çiftçiler tarafından verilen bilgiler uyarınca bu alan belirlenmiştir, atıksu ile sulama uzun yıllar yaygın bir uygulama olmuştur. Sulama suyu, arıtılmış ya da arıtılmamış endüstriyel atıksu kaynaklı olabilir. Temiz su örnekleri kanaldan 2 km uzaklıktan alınmıştır. Sulama suyu için alınan örnekler ve temiz su örnekleri, toprak numuneleri ve sebze numuneleri İndüktif Eşleşmiş Plazma Spektrometresi kullanılarak As, Cd. Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonları analiz edilmiştir. Numunelerin her bir seti ile yöntemlerin hassas kontrolü için üç tekrarlı çalışılmıştır.

Seçilen sebze türlerinde çeşitli metallerin translokasyonu ve diferansiyel birikimi gözlenmiştir. Metal miktarları endüstriyel atıksu ile sulanan topraklarda temiz su (kuyu suyu) ile sulanan topraklardan daha yüksek bulunmuştur ve Fe> Mn> Zn> Cd> Cu> Pb> Cr> As şeklindedir, ancak As, Cr ve Pb'nin miktarları kuyu suyu ile sulanan topraklarda dedeksiyon limitinin altında bulunmuştur. Köklerde ve bitkinin üst kısmında metal birikiminin, toprak ve bitki genotipi metal miktarı ilişkisinde önemli ölçüde değişmediği, endüstriyel atıksularla sulanmış tarım alanlarında ve buralarda yetişen ıspanak, turp, domates, biber ve lahana bitkilerinin yenilebilir kısımlarında toksik metallerin (As, Cd, Cr, Pb ve Ni) yüksek birikim ve translokasyonu görülmüştür. Bu yüzden ağır metallerin gıda zincirine transfer olasılığı nedeniyle atıksular ile sulanarak yetiştirilmelerinin güvenli olmadığı ve sağlık açısından tehlike oluşturabileceği sonucuna varılmıştır.

Karışık endüstriyel atıksuyun As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonu temiz sudan daha yüksek bulunmuştur. Temiz su metal konsantrasyonunun ortalama değerleri Cd 0.05 mg/L, Cu 0.09 mg/L, Fe 0.35 mg/L, Mn 0.16 mg/L, Ni 0.07 mg/L ve Zn 0.17 mg/L olup As, Pb ve Cr konsantrasyonu dedeksiyon limitinin altında bulunmuştur. Endüstriyel atık suyun metal konsantrasyonu As 5.92 mg/L, Cd 4.31 mg/L, Cr 4.57 mg/L, Cu 6.71 mg/L, Fe 25.09 mg/L, Mn 9.16 mg/L, Ni 5.32 mg/L, Pb 4.86 mg/L ve Zn 12.58 mg/L'dir. Benzer şekilde, endüstriyel atıksularla sulanan topraklarda ağır metal miktarları As 9.62 mg/kg, Cd 19.25 mg/kg, Cr 12.78 mg/kg, Cu 18.41 mg/kg, Fe 278.87 mg/kg, Mn 94.53 mg/kg, Ni 14.97 mg/kg, Pb 13.12 mg/kg ve Zn 85.36 mg/kg olarak yüksek değerlerde bulunmuştur. Endüstriyel atıksu ile toprağın tekrarlanan sulamasında toprağın As, Cr ve Pb kirlenmesi ve tarım alanlarında Cd, Fe, Cu, Mn, Ni ve Zn içeriği yüksek miktarda saptanmıştır.

Evsel ve endüstriyel atıksular genellikle ağır metal içerir, ağır metal konsantrasyonları doğal sulardan önemli derecede yüksektir. Sulama için arıtılmamış atıksuların tekrar kullanımı, sulanan tarım alanlarında bu metallerin birikmesine katkıda bulunabilir. Çoğu metal bitkiler tarafından köklerden alınır. Toplanan sebzelerde metal birikimi, karışık atıksularla sulanan tarım alanlarında büyüyen bitkilerde temiz su ile sulanan topraktaki bitkilere kıyasla daha yüksek miktarda görülmüştür. Veriler, temiz su ile sulanan sebzelerde Cd, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn düşük birikim gösterdiğini ortaya koymuştur ancak Cr, Pb dedeksiyon limitinin altında bulunmuştur. Metallerin maksimum birikim sırası, ıspanakta kök kısmına göre sürgün kısımlarında Fe> Mn> Zn, turpta kök kısmına göre sürgün kısımlarında Cd> Cr> Cu> Fe> Mn> Ni, domates

bitkisinde birikim sürgün kısımlarında Cu> Fe> Mn> Ni> Zn, tere bitkisinde birikim sürgün kısımlarında Cr> Cu> Fe> Mn, dereotu bitkisinde birikim sürgün kısımlarında As> Cr> Cu> Fe> Mn> Ni, kişniş bitkisinde birikim sürgün kısımlarında Cd> Cu> Fe> Zn, kırmızı biber bitkisinde birikim sürgün kısımlarında Cu ve Ni, lahana bitkisinde birikim sürgün kısımlarında Cu, patlıcan bitkisinde birikim sürgün kısımlarında Cu> Fe> Mn, bamya bitkisinde maksimum Cu sürgün kısımlarında gözlenmiştir.

Endüstriyel atıksularla sulanan alanlarda yetiştirilen ürünlerde maksimum As miktarda bamya kökünde 12.8 µg/mg, lahanada 6.5 µg/mg, ıspanakta en az 1.48 µg/mg, Cd turp kökünde 23.5 µg/mg, kişnişte en az 2.29 µg/mg, Cr lahana kökünde 23.8 µg/mg, Ni lahana kökünde 26.9 µg/mg, kişnişte minimum 3.66 µg/mg, Pb kişniş kökünde 24.27 µg/mg, dereotunda minimum 3.73 µg/mg olarak belirlenmiştir. Diğer bitkilerin aksine kişniş ve patlıcan bitkisinde Cd miktarı dedeksiyon limitinin altında görülmüştür. Benzer şekilde Ni miktarı da kişniş bitkisinde dedeksiyon limitinin altında bulunmuştur. Farklı sebze türlerinde farklı metaller, çevre koşulları, metal türleri ve ağır metallerin bitkideki mevcut formlarına bağlı olarak birikmektedir. Genel sonuçların karşılaştırılması, sudaki metallerin bitki örtüsü üzerinde topraktan daha fazla etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bitkilerin metalleri tutmaya doğal bir eğilimi vardır. Cu, Co, Fe, Mo, Mn, Ni ve Zn gibi metaller mineral besin maddesi olarak bitki için gereklidir. Cd ve Pb'nin bitkiler üzerindeki fizyolojik aktivitesi bilinmemektedir. Bitkiler kökleri ile metalleri son derece yüksek bir kapasiteyle alırlar ve sürgün kısımlarında depolarlar. Çalışma sonucunda, karışık endüstriyel atıksu ile rutin sulama uygulamasının tarım alanlarında ve sonrasında burada büyüyen bitkilerde metal konsantrasyonun artmasına yol açtığı, karışık endüstriyel atıksularla sulanan tarım alanında yetişen sebze türleri örneğin ıspanak, turp, domates, kırmızı biber ve lahananın yenilebilir kısımlarında toksik metallerin (As, Cd, Cr, Pb ve Ni) yüksek birikim ve translokasyon gösterdiği, sebzelerin metal kirliliğinin insanlar için ve besin zinciri yoluyla önemli risk ve zararlı etki gösterdiği belirlenmiştir.

Özellikle kurak ve yarı-kurak bölgelerde varolan su kaynaklarını daha verimli kullanmak ve mevcut su kaynaklarının büyük bir kısmının tüketildiği tarımsal alanda daha az su kullanarak daha çok verim elde etmek yaşam için gerekli olmuştur. Tarımsal ihtiyaçlar için atıksuların sulama amaçlı yeniden kullanımı suyun geri dönüşümünü sağladığı için tercih edilmekte, hem varolan büyük hacimdeki su güvenilir su ihtiyacını karşılamakta hem de mevcut su kaynaklarının sürdürülebilirliğini sağlamaktadır. Ayrıca

atıksuyun bünyesindeki nutrientler gerekli gübre ihtiyacını azaltmakta, toprak ve bitki tarafından gerçekleştirilen filtrasyon prosesi arıtım ihtiyaçlarını azaltmaktadır. Pek çok olumlu etkisine rağmen atıksuların sulama amaçlı kullanımında mevcut suyun kalitesinin ne olduğu ile ilgili, sulamanın bitki ve ürün kalitesi üzerindeki etkisi ile ilgili önemli endişeler mevcuttur. Literatür çalışmaları incelendiğinde arıtılmış veya arıtılmamış atıksuların tarımsal alanları sulama amaçlı kullanımı toprakta ağır metal ve organik kirliliğe sebep olduğu, bu topraklardaki kirliliğin yetişen bitki ve ürüne taşındığı tespit edilmiştir. Yine gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde toprak, bitki ve üründe olması gereken kirlilik limit değerlerinin çoğunlukla aşıldığı ve insan sağlığı için risk oluşturduğu görülmüştür. Hatta toprak ve sulama suyunda ağır metal için verilen limit değerler sağlandığı halde üründe tespit edilen ağır metal değerlerinin limit değerleri aştığı tespit edilmiştir.

Ülkemizin yarı kurak bir bölge de yer alması ve son yıllarda ciddi şekilde hissedilen su sıkıntısı mevcut su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için gerekli önlemleri almaya zorlamaktadır. Tarımsal amaçlı su kullanımı su kullanım miktarının en büyük yüzdesini oluşturmakta olup, özellikle arıtılmış veya arıtılmamış atıksuların bu amaçla kullanımı yasal veya yasal olmayan şekilde sürdürülmektedir. Ülkemizde bu konu ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalar sınırlı sayıda olup, atıksular ile sulanan toprakların ve bu topraklarda yetiştirilen ürünlerin kirlilik seviyesi ile ilgili çalışmaların yapılması, mevcut durumun belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Konya kentinde ekonomik ve teknolojik gelişmeye paralel olarak faaliyet gösteren endüstrilerin tür ve miktarlarının artmasına bağlı olarak endüstrilerden kaynaklanan atıksu miktarları ve Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi (KOSKİ) kanalizasyon şebekesine deşarj edilen kirletici tür ve miktarı da artmıştır.

2.1. Konya Bölgesi ve Ana Tahliye Kanalı İle İlgili Çalışmalar

Tahliye kanalı boyunca su kirliliğindeki değişimleri görebilmek amacıyla beş farklı noktadan alınan atıksu örneklerinin ağır metal içerikleri, fiziksel ve kimyasal özellikleri tespit edilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, Konya kentsel atıksuyu Amerika Birleşik Devletleri (ABD) tuzluluk sınıflamasına göre C1-S1 ve Wilcox sınıflamasında şüpheli-kullanılamaz su, elektriksel iletkenlik bakımında 4. Sınıf su (dikkatli kullanılmalı) sınıfına girmektedir. Ana Tahliye Kanalından yılda ortalama

olarak taşınan ağır metal yükleri 3120 kg Zn, 1272 kg Pb, 520 kg T-Cr, 158.4 kg Cu, 152 kg Hg, 69.9 kg Cd olarak tespit edilmiştir (Aydın, 2000).

Aydın ve ark. (2003) Konya Ana Tahliye Kanalı Boyunca belirlenen 6 farklı noktadan su ve sediment numuneleri almışlar ve tarımsal faaliyetlerde çok sık kullanılan aldrin, dieldrin, lindan, heptachlor, o,p-DDE, p,p-DDD, p,p-DDT, metoxychlor ve mirex gibi organoklorlu pestisitlerin miktarını araştırmışlardır. Sediment numunelerindeki incelenen organoklorlu pestisitlerin tür ve miktarının tespiti için Alman DFG S19 metodu, su numunelerinde ise Stantdart Metot 6630 kullanılmıştır. Çalışmada geri kazanım oranı atıksu numuneleri için %72-100, sediment numuneleri için ise %98-124 arasında bulunmuştur. Analizler gaz kromatografi-ECD sistemin ile gerçekleştirilmiştir. Ana Tahliye Kanalında belirlenen 6 farklı noktadan alınan numunulerin analizleri sonucunda, suda bulunan organoklorlu pestisit konsantrasyonları 0.01-16.08 µg/L, sedimentte ise 0.02-175.86 ng/g arasında tespit edilmiştir.

Aydın ve ark. (2008), Konya kanalizasyon sisteminin çeşitli noktalarından atıksu örnekleri alarak akut toksisitenin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için *Lepidium sativum* toksisite testi, *Lemna minor* toksisite testi, balık toksisite testi, thamnotox, daphtox, algaltox toksisite testi, *Vibrio fischeri* toksisite testleri ile inceleme yapılmıştır. Test sonuçları değerlendirildiğinde, Thamnotox toksisite testinde Meram sanayi çıkışı "çok toksik" olarak sınıflandırılırken, diğer tüm noktalar "toksik" sınıfta görülmüştür. Balık toksisite testinde sedece Komderi noktasından alınan atıksu numuneleri "toksik değil" sınıfına girerken, diğer tüm noktalar "toksik" sınıfına girmiştir. Daphtox toksisite testinin sonucunda ise tüm noktalar "toksik" olarak sınıflandırılmıştır. *Lemna minor* toksisite testine göre ise Meram sanayi girişi, I. Organize sanayi ve Terfi merkezi "toksik" sınıfına girmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, Konya kanalizasyon sisteminin çeşitli noktalarından alınan kentsel atıksuların genellikle "toksik" sınıfına girdiği, alıcı ortam için ve bu sular ile sulanan tarımsal alanlar için risk oluşturduğu görülmüştür.

Karataş ve ark. (2007), atıksular ile sulanan toprakta ve bu topraklarda yetiştirilen ürünlerde ağır metal (Cu, Cr, Ni ve Pb) birikimini tespit etmek amacı ile Konya Ana Tahliye Kanalının Çengilli bölgesinde atıksular ile sulanan alanlardan, altı aylık süre ile su ve toprak numunesi ve üç aylık süre ile de buğday örnekleri alarak ağır metal analizleri yapmışlardır. Bitki, toprak ve sudaki metal analizleri ICP-AES sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucunda, toprakta tespit edilen ağır metal derişimi, kanal suyuna göre daha yüksek bulunmuştur. Buğday bitkisinde ise ağır metal

derişiminin toksik etki yapacak seviyeye ulaşmadığı tespit edilmiştir. Buğdayın başak kısmında tespit edilen en yüksek ağır metal miktarları Cu için 5.4 mg/kg, Cr için 5.47 mg/kg, Ni için 9.92 mg/kg, Pb için 1.63 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Toprakta ise en yüksek değer 75.4 mg/kg ile Ni için ölçülmüştür. Cr miktarı yaklaşık olarak 22 mg/kg, Cu miktarı yaklaşık olarak 18 mg/kg, Pb miktarı yaklaşık olarak 9 mg/kg olarak tespit edilmiştir.

Özdemir (2002), Konya Ana Tahliye Kanalı Terfi Merkezinden numuneler alarak klorlu alifatik bileşiklerin olup olmadığını, içme suyu temininde kullanılan klor tipi ve dozlama şeklinin trihalometan (THM) konsantrasyonlarına olan etkisini incelemiştir. Saatlik (iki gün boyunca birer saat arayla 48 adet), üç hafta boyunca günlük (21 adet), haftalık ve yıl boyunca her ay alınan (dokuz adet) numuneler incelenmiştir. Analiz sonuçlarında, klorlu alifatiklerin sayısı günlük numunelerde 7 adet olarak çoğunlukla ilk hafta alınan numune grubunda gözlenmiştir. Kloroform, tetrakloroetilen, trikloroetilen ve 1,4-diklorobenzen en sık rastlanan bileşikler olmuştur. Saatlik ve günlük numunelerin her ikisinde de kloroform ve tetrakloroetilene rastlanmıştır. Kloroform, tetrakloretilen ve trikloretilen aylık numunelerde en çok rastlanan bileşikler olmuştur. Nadiren karşılaşılan bileşikler ise dibromoklorometan, 1,1,2,2-tetrakloroetan ve trans-1,2 dikloroetilen olmuştur.

Uyanöz (1998), Konya kentinde sulama suyu olarak atıksuların kullanılmasının tarım topraklarının bazı kimyasal, fiziksel ve biyoloik özellikleri ile bu alanlarda yetiştirilen bitkiler (buğday, arpa ve yonca) üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Tarım arazilerinde atıksu ile sulama nedeniyle, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinde belirgin değişmeler saptanmıştır. Toprakta (0-30 cm derinlik) genellikle bitkiye elverişli fosfor, organik madde potasyum DTPA ile ekstrakte edilebilir. Fe, Zn ve Mn miktarlarında artış, tuz miktarında ise genel bir azalış gözlenmiştir. Atıksu ile sulanmayan toprak örneklerinde (0-90 cm) Cu miktarı 23.60 mg/kg, Zn miktarı 15.32 mg/kg, atıksu ile üç yıl sulanan toprak örneklerinde (0-90 cm) Cu miktarı 31.48 mg/kg, Zn miktarı 9.84 mg/kg, atıksu ile 10 yıl sulanan toprak örneklerinde (0-90 cm) Cu miktarı 47.32 mg/kg, Zn miktarı 19.28 mg/kg, atıksu ile 20 yıl sulanan toprak örneklerinde (0-90 cm) Cu miktarı 14.68 mg/kg, Zn miktarı 8.56 mg/kg olarak ölçülmüştür. Ayrıca bu atıksular ile sulanan topraklarda yetişen bitkilerde (buğday, arpa ve yonca) insan, bitki ve hayvan sağlığını etkileyebilecek iz elementlere rastlanmıştır. Atıksu ile sulanmayan tarım alanlarında Fe konsantrasyonu buğdayda ortalama 260.57 mg/kg, arpada 282.00 mg/kg, yoncada 356 mg/kg, Zn konsantrasyonu

buğdayda ortalama 39.20 mg/kg, arpada 38.20 mg/kg, yoncada 41.30 mg/kg, Mn konsantrasyonu buğdayda ortalama 49.75 mg/kg, arpada 45.44 mg/kg, yoncada 56.00 mg/kg, Cu konsantrasyonu buğdayda ortalama 28.01 mg/kg, arpada 23.00 mg/kg, yoncada 22.00 mg/kg olarak ölçülmüştür. Atıksu ile 20 yıl sulanan tarım alanlarında yetiştirilen ürünlerde Fe konsantrasyonu ortalama buğdayda 345.33 mg/kg, arpada 361.67 mg/kg, yoncada 345.67 mg/kg, Zn konsantrasyonu buğdayda ortalama 47.92 mg/kg, arpada 41.55 mg/kg, yoncada 61.10 mg/kg, Mn konsantrasyonu buğdayda ortalama 68.00 mg/kg, arpada 40.30 mg/kg, yoncada 59.67 mg/kg, Cu konsantrasyonu buğdayda ortalama 33.70 mg/kg, arpada 33.00 mg/kg, yoncada 28.75 mg/kg olarak ölçülmüştür. Konya kentinde sulama suyu olarak kullanılan atıksuların herhangi bir arıtılmaya tabi tutulmadan tarımsal alanların sulanması da dahil, herhangi bir amaçla kullanılmaması önerilmiştir.

Yıldız (2004), Konya Ana Tahliye Kanalı ağır metal kirliliğini tespit etmek için 1 nolu pompa istasyonu, 2 nolu pompa istasyonu ve Gölyazı Köprüsü Tuz Gölü Girişi'nden belirli zaman aralıklarında su ve sediment numuneleri almıştır. Bunun yanı sıra göldeki ağır metal kirliliğini tespit etmek için Tuz Gölü'nden de su ve tuz numuneleri alınarak analiz edilmiştir. Ağır metaller için yüzeysel su kriteri olarak Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından öngörülen değerler alınmıştır. Çalışma sonucunda, Aralık 2002'de yapılan ağır metal analizlerinde Li değeri, Mart 2003'de yapılan ağır metal analizlerinde Li, B ve V değerleri, Nisan 2003'de B ve V değerleri, Mayıs 2003'de Tuz Gölü'nde Cr, Li ve V numune alma noktalarında Fe, Li, B ve V değerleri, Haziran 2003'de Tuz Gölü ve numune alma noktalarında Se, Fe, Li, B ve Ni değerleri, Ağustos 2003'de Tuz Gölü ve numune alma noktalarında V, Li ve B değerleri, numune alma noktalarında Fe değeri yönetmeliklerde belirtilen kriterlerin üzerinde bulunmuştur.

Konya Organize Sanayi Bölgesi kanalizasyon sisteminde kirleticilerin izlenmesi ile ilgili yapılan bir çalışmada, atıksu arıtma tesisinin işletmesi sırasında problem olacak parametrelerin ve kaynakların tespit edilmesi amaçlanmıştır. Konya Organize Sanayi arıtılmış sularının arıtılsa bile sulama amaçlı kullanılamayacağı tespit edilmiştir. Ağır metal derişimi (Cd, Cr^{+6}, Cu, Zn, Pb) , atıksu arıtma tesisi fizibilite çalışmalarına göre yüksek bulunmuş, ancak alıcı ortam deşarj limitlerinin altında tespit edilmiştir. Bu çalışmada, ağır metal arıtımına gerek olmadığı ancak mevcut analizlere göre ağır metal miktarında artış gösterdiği belirtilmiştir. İleri arıtımdan geçirilmiş suların sulamada

kullanılması durumunda bitki gelişimini yavaşlatabileceği belirtilmiştir (Arundaş, 2010).

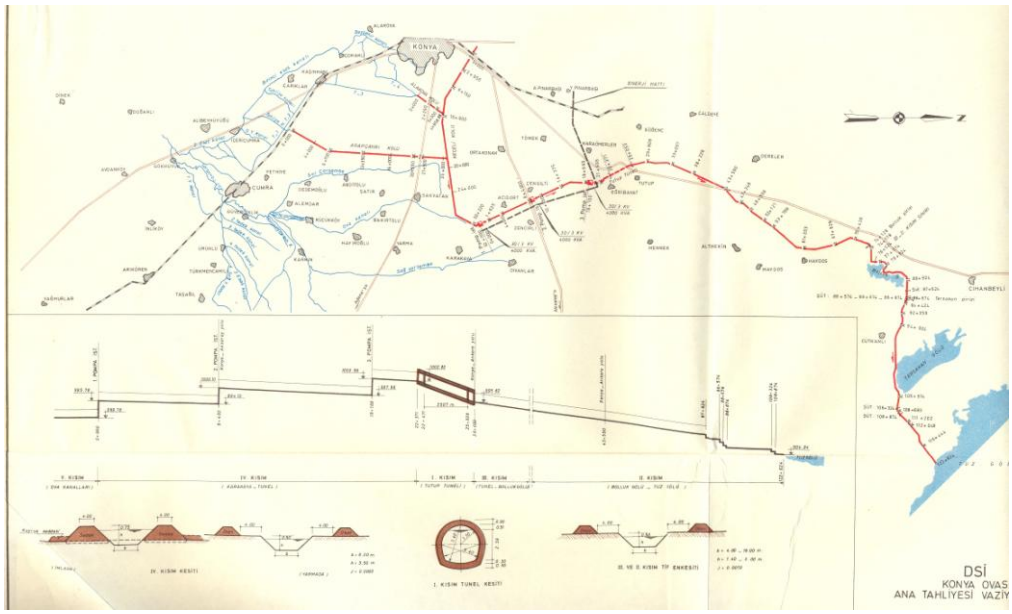
Literatür çalışmaları incelendiğinde, atıksuyun sulama amaçlı kullanımı sonucu toprak, bitki ve üründe bu bileşiklerin konsantre hale gelerek daha toksik bir hale gelebileceğini göstermektedir. Bu sebeple Konya kentsel atıksuları ile sulanan toprakların ve bu topraklarda yetişen gıda ürünlerinin ağır metal içeriğinin belirlenmesi çevre ve insan sağlığının korunması için çok önemlidir.

Bu çalışmanın amacı, Ana Tahliye Kanalı boyunca Konya kentsel atıksuyu ile sulanan tarımsal topraklardaki mevcut ağır metal (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Hg) kirliliğinin belirlenmesidir. Tarımsal toprakların organik ve inorganik kirleticiler ile kirlenmesi sadece çevresel kirliliğe sebep olmamakta ayrıca, bu topraklarda yetişen ürünler tarafından alınan ve depolanan kirlilik yiyecek kalitesini ve güvenliğini etkilemekte ve halk sağlığını tehdit etmektedir. Bu sebeple mevcut durumda söz konusu topraklarda yetişen ürünler ağır metal birikimi açısından incelenmiş, atıksular ile sulamanın bu topraklarda yetiştirilen ürünlere ve besin zincirine taşınımı değerlendirilmiştir.

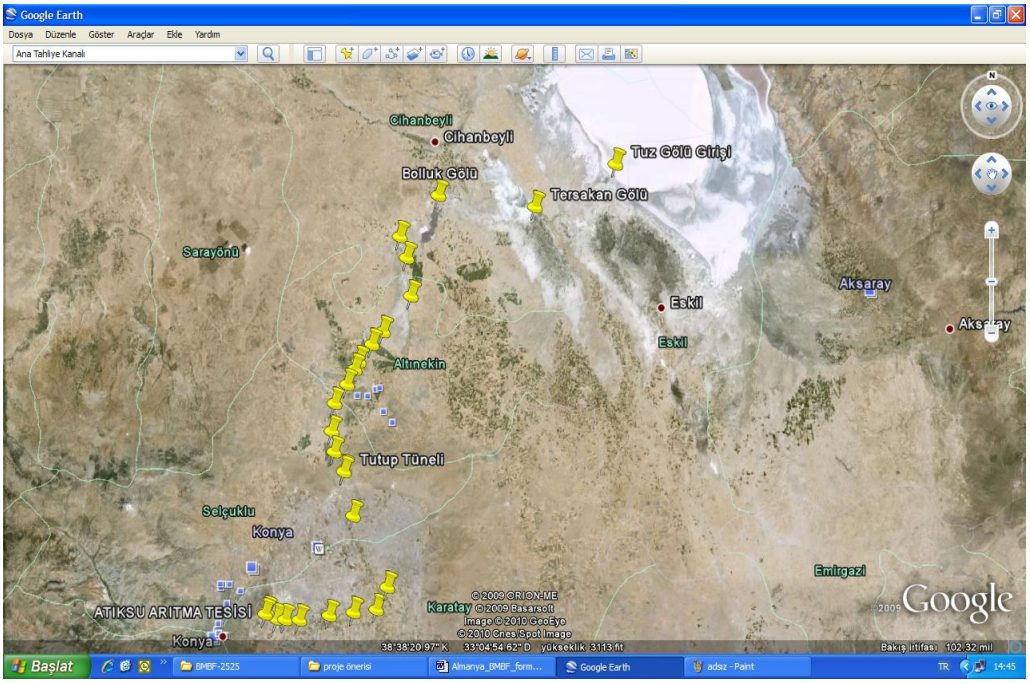
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Bölgesi

Konya kentinin atıksuları birleşik kanalizasyon sistemi ile toplanmakta olup, kentte ekonomik ve teknolojik gelişmeye paralel olarak faaliyet gösteren endüstrilerin tür ve miktarlarının artmasına bağlı olarak endüstrilerden kaynaklanan atıksu miktarları ve kanalizasyon şebekesine deşarj edilen kirletici tür ve miktarı da artmıştır. Toplanan bu atıksular Terfi Merkezi'ne iletildikten sonra Ana Tahliye Kanalı ile Tuz Gölü'ne uzaklaştırılmaktadır. Konya Ana Tahliye Kanalı'nın yapımına 1969 yılında başlanmış ve 1974 yılında işletmeye açılmıştır. Kanal, Keçili, Yarma-İsmail-Karkın, Alakova ve Arapçayırı kollarından oluşmaktadır. Kanal kapasitesi 25 m^3/sn'dir ve kanal güzergahı boyunca üç ayrı yerde DSİ pompa istasyonları ile yaklaşık 18 m terfi sağlanarak Tuz Gölü'ne ulaşmaktadır. Kanal projesi ile 204.700 ha arazinin sulanması öngörülmüştür. Konya Ana Tahliye Kanalı yaklaşık 150 km uzunluğunda genelde trapez kesitli toprak bir kanaldır. Terfi kanalı üzerinde üç pompa istasyonu bulunmaktadır. Her pompa istasyonunda her biri 5 m^3/s kapasiteli 5 pompa ile 5 m terfi yapılmaktadır. Dolayısıyla kanalın maksimum tahliye kapasitesi 25 m^3/s'dir. Debi açısından Konya Ana Tahliye Kanalında dört ayrı yağış dönemi gerçekleşmektedir. Kasım, Aralık, Ocak, Şubat ayları kış dönemi; Mart, Nisan ayları yağışlı dönem; Mayıs, Haziran, Temmuz ayları kanallardaki suyun tarım amacıyla kullanıldığı az yağışlı dönem ve Ağustos, Eylül, Ekim ayları ise kurak dönemlerdir. Kurak dönemlerde pompa istasyonları hiç çalıştırılmamakta az yağışlı dönemde ise kanaldaki su tarım amacıyla kullanıldığı için kanal boyunca tüketilmektedir. Tahliye Kanalı'nın suları kış dönemi ve yağışlı dönemlerde Tuz Gölü'ne kadar ulaşmaktadır. Aşağıda Şekil 3.1'de Ana Tahliye Kanalı yerleşim planı ve Şekil 3.2'de de Ana Tahliye Kanalı güzergahı görülmektedir.



Şekil 3.1. Konya Ana Tahliye Kanalı yerleşim planı (DSİ, 2012)

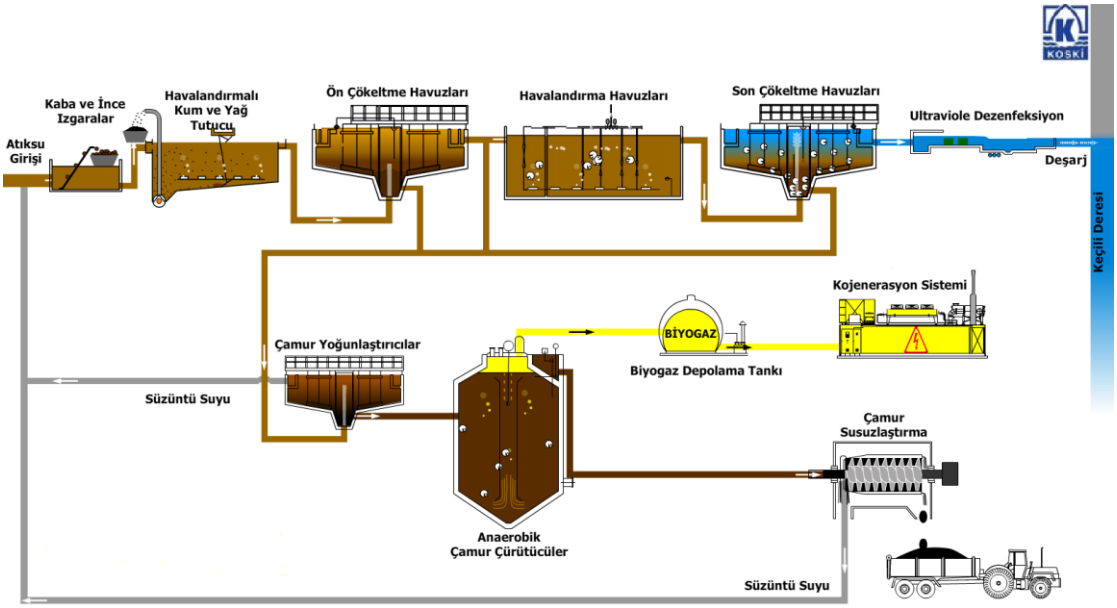


Şekil 3.2. Konya Ana Tahliye Kanalı güzergahı (Google Earth, 2012)

Konya'daki kanalizasyon sistemi birleşik kanalizasyon sistemi olup, atıksu ve yağmur suları aynı kanalda toplanmaktadır. Atıksular, 2009 yılına kadar hiçbir arıtma işlemine tabi tutulmaksızın Ana Tahliye Kanalı ile Tuz Gölü'ne deşarj edilmiştir. 2009 yılının ikinci yarısında Konya Atıksu Arıtma Tesisi hizmete girmiştir. 2015 yılı ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde projelendirilen kanalizasyon sistemi 1,300,000 kişilik

nüfusa hizmet verebilecek kapasitededir. Şehirden kaynaklanan atıksular kanalizasyon şebekesinin toplayıcı hatları ve kuşaklama kanallarıyla ana kolektör hattında toplanarak, Aslım mevkiinde bulunan atıksu arıtma tesisine iletilmektedir. Konya atıksu arıtma tesisine gelen atıksuyun yaklaşık %6'sı endüstriyel nitelikli olup, geri kalan kısmı ise evsel nitelikli atıksulardan ve hastane atıksularından oluşmaktadır.

2009 yılı içerisinde işletmeye alınan atıksu arıtma tesisi için yapılan fizibilite çalışması sonucuna göre en uygun sistem olan klasik aktif çamur sistemi seçilmiştir. Sistem, biyolojik bir arıtma olup atıksuların içerdikleri organik maddelerin aerobik bir ortamda biyokimyasal yollarla ayrışması ve kararlı son ürünlere dönüşümü esasına dayanmaktadır. Konya kentsel atıksu arıtma tesisi akım şeması Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Konya atıksu arıtma tesisi akım şeması (Anonim, 2012b)

Tesis giriş yapısı, pompa istasyonu, kaba ve ince ızgara, havalandırmalı kum ve yağ tutucular, ön çökeltme tankları, havalandırma tankları, son çökeltme tankları, çamur ön yoğunlaştırıcılar, anaerobik çürütücüler, çamur son yoğunlaştırıcılar, stabilize çamurun mekanik susuzlaştırılması, ultraviyole ile dezenfeksiyon sistemi ünitelerinden oluşmaktadır. Konya atıksu arıtma tesisi tasarım kriterleri $BOİ_5$ için 320 mg/L, AKM için 295 mg/L, Toplam Kjeldahl Azotu 50 mg/L, Toplam Fosfor 15 mg/L, yağ-gres 150 mg/L olarak alınmıştır. 2015 ve 2030 yılları için deşarj kriterleri AKM<20 mg/L, $BOİ_5$<20 mg/L, KOİ<90 mg/L, pH 6-9, TN<10 mg/l, TP<1 mg/L'dir. Dört adet çamur yoğunlaştırma ünitesi bulunan tesiste çamur yoğunlaştırıcı çıkışında çamur katı madde oranı %6'dır. Yoğunlaştırılmış ön çöktürme çamuru ve biyolojik çamurun çürütülmesi

amacıyla dört adet anaerobik (mezofilik) çamur çürütücü dizayn edilmiştir. Betonarme tanklar mekanik karıştırma sistemine sahip olup, alt ve üst konik ile silindirik ana gövdeden oluşmaktadır. Çürütme prosesinde elde edilen biyogaz, gaz motorunda yakılarak çürütücünün ısıtılması için gerekli ısı ve elektrik enerjisini sağlanmaktadır. Çamur susuzlaştırma amacıyla, paralel çalışan dört adet santrifüj dekantör tesis edilmiştir. Polielektrolit ile şartlandırma sonrası, stabilize olmuş çamur %27 katı madde oranında susuzlaştırılmaktadır (Anonim, 2012c). Arıtılmış atıksular Ana Tahliye Kanalı vasıtasıyla Tuz Gölü'ne deşarj edilmektedir. Kurak dönemlerde Ana Tahliye Kanalı boyunca söz konusu sular tarımsal alanların sulanması amaçlı kullanılmakta, gıda ürünleri yetiştirilmekte ve bu ürünler kontrol edilmeksizin tüketilmektedir.

Ayrıca Konya Organize Sanayi atıksuları da Konya Ana Tahliye Kanalı'na deşarj edilmektedir. Organize sanayinin atıksularını arıtan bir arıtma tesisi mevcuttur. Organize sanayi bölgesinde, dokuma- giyim, gıda, kağıt, orman, basım, deri mamülleri, rezerve kauçuk, plastik, lastik, kimya, demir ve çelik, ısı cam, demir dışı metaller, elektriksiz makinalar, madeni eşya, elektrikli makinalar, elektronik, tarım alet ve makinaları, otomotiv sanayi dallarında faaliyet gösterilmektedir (Anonim, 2012d).

Konya Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Artıma Tesisi fizibilite çalışmalarına 2006 yılında ve arıtma tesisi inşaatı ise 2009 yılında başlamıştır. Atıksu arıtma tesisi, organize sanayinin genişleme bölgeleri dikkate alınarak 2013 yılı kapasitesi göz önüne alınarak projelendirilmiştir. Atıksu arıtma tesisi tasarımında baz alınan debi değeri günlük ortalama 7,000 m^3/gün'dür. Atıksu arıtma tesisi, fiziksel, kimyasal, biyolojik arıtma üniteleri ve ileri arıtma sistemleri ile çamur susuzlaştırma ünitelerinden oluşmaktadır. Fiziksel arıtma üniteleri; otomatik temizlemeli kaba ızgara (20 mm aralıklı), otomatik temizlemeli ince ızgara (5 mm aralıklı), otomatik temizlemeli ince/kalın ızgara (by-Pass hattı), havalandırmalı kum-yağ tutucu, debi ölçümü ve dengeleme havuzundan oluşmaktadır. Kimyasal arıtma üniteleri; hızlı karıştırma (koagülasyon) havuzları, yavaş karıştırma (flokülasyon) havuzları ve kimyasal çöktürme havuzundan oluşmaktadır. Biyolojik arıtma üniteleri; anaerobik/selektör havuzu, dağıtım yapısı, havalandırma havuzları ve biyolojik çöktürme havuzlarında oluşmaktadır. Çamur susuzlaştırma üniteleri; çamur karıştırma havuzu, çamur yoğunlaştırma havuzu, dekantörden oluşmaktadır. İleri arıtma ünitelerinde ise, biyolojik arıtma çıkış suyunun 2000 m^3/gün'lük kısmına geri kullanım için ileri arıtma uygulanacaktır. Bunun için klorlama, kum ve aktif karbon filtrasyonu kullanılacaktır. Atıksu arıtma tesisi akım şeması Ek- 4'te verilmiştir (Arundaş, 2010).

Arıtma tesisi çıkış suyu tasarım kriterleri; $BOİ_5$ 100 mg/L, KOİ 200 mg/L, AKM 90 mg/L, yağ ve gres 20 mg/L, toplam fosfor 2 mg/L, toplam azot 10 mg/L, toplam Cr 2 mg/L, Cr^{+6} 0.5 mg/L, Pb 2 mg/L, CN^- 1 mg/L, Cd 0.1 mg/L, Fe 10 mg/L, F^- 15 mg/L, Cu 3 mg/L, Zn 5 mg/L, Balık Biyodeneyi ZSF 10 mg/L, pH 6.0-8.5'tir (Arundaş, 2010).

Şekil 3.4'de yer alan fotoğraflarda Ana Tahliye Kanalından pompalarla tarımsal alanlara su alınması ve çiftçiler tarafından oluşturulan kanallar vasıtasıyla sulamanın yapıldığı görülmektedir.



Şekil 3.4. Konya Ana Tahliye Kanalından su alınması

Ana Tahliye Kanalı'nda 1, 2 ve 3 no'lu pompa istasyonlarının her birinden, kanal yanından, kanaldan 100 m ve 500 m içerideki 0-25 cm, 25-50 cm ve 50-75 cm derinliklerden toprak örnekleri alınmıştır. Arazi çalışması sırasında atıksular ile sulanan alanlarda yetiştirilen buğdaylardan da örnekler alınmıştır.

Ayrıca, referans olarak seçilen temiz su ile sulanan alanlarda 0-25 cm, 25-50 cm ve 50-75 cm derinliklerden toprak numuneleri ve bu topraklarda yetişen buğdaylardan da örnekler alınmıştır.

Cam kavanozlar içerisine alınan numuneler, ağızları kapatılarak içerisinde soğutucu torbaların olduğu örnek taşıma çantasıyla laboratuvara getirilmiş ve çalışma süresince buzdolabında muhafaza edilmiştir.

Şekil 3.5'de yapılan arazi çalışması esnasında Ana Tahliye Kanalı 3 nolu pompa istasyonundan bir görüntü verilmiştir. Şekil 3.6'da atıksuyun sulamada kullanılması amacıyla Ana Tahliye Kanalından alınması, Şekil 3.7'de ise atıksular ile sulanan zirai alanlar ile ilgili bir fotoğraf görülmektedir.



Şekil 3.5. Ana Tahliye Kanalı 3 nolu pompa istasyonu (05.07.2011)



Şekil 3.6. Ana Tahliye Kanalından atıksuyun alınması (05.07.2011)



Şekil 3.7. Atıksular ile sulanmış zirai alanlar (05.07.2011)

Toprak ve buğday örneklerinin alındığı noktaların koordinatları GPS aleti ile belirlenmiştir. Örnekleme noktalarının isimleri ve koordinatları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Örnekleme noktaları ve GPS koordinatları

No	**Toprak Örnekleri**	**GPS Koordinatları**
1	Referans toprak, 0-25 cm	064-17-953D 069-76-642K
2	Referans toprak, 25-50 cm	064-17-953D 069-76-642K
3	Referans toprak, 50-75 cm	064-17-953D 069-76-642K
4	1 No'lu Pompa, Kanal Yanı, 0-25 cm	064-17-542D 069-65-938K
5	1 No'lu Pompa, Kanal Yanı, 25-50 cm	064-17-542D 069-65-938K
6	1 No'lu Pompa, Kanal Yanı, 50-75 cm	064-17-542D 069-65-938K
7	1 No'lu Pompa, 100 m içeri, 0-25 cm	064-17-470D 069-65-799K
8	1 No'lu Pompa, 100 m içeri, 25-50 cm	064-17-470D 069-65-799K
9	1 No'lu Pompa, 100 m içeri, 50-75 cm	064-17-470D 069-65-799K
10	1 No'lu Pompa, 500 m içeri, 0-25 cm	064-16-857D 069-65-221K
11	1 No'lu Pompa, 500 m içeri, 25-50 cm	064-16-857D 069-65-221K
12	1 No'lu Pompa, 500 m içeri, 50-75 cm	064-16-857D 069-65-221K
13	2 No'lu Pompa, Kanal Yanı, 0-25 cm	064-04-489D 069-67-416K
14	2 No'lu Pompa, Kanal Yanı, 25-50 cm	064-04-489D 069-67-416K
15	2 No'lu Pompa, Kanal Yanı, 50-75 cm	064-04-489D 069-67-416K
16	2 No'lu Pompa, 100 m içeri, 0-25 cm	064-04-369D 069-67-187K
17	2 No'lu Pompa, 100 m içeri, 25-50 cm	064-04-369D 069-67-187K
18	2 No'lu Pompa, 100 m içeri, 50-75 cm	064-04-369D 069-67-187K
19	2 No'lu Pompa, 500 m içeri, 0-25 cm	064-03-874D 069-66-204K
20	2 No'lu Pompa, 500 m içeri, 25-50 cm	064-03-874D 069-66-204K
21	2 No'lu Pompa, 500 m içeri, 50-75 cm	064-03-874D 069-66-204K
22	3 No'lu Pompa, Kanal Yanı, 0-25 cm	063-91-950D 069-69-812K
23	3 No'lu Pompa, Kanal Yanı, 25-50 cm	063-91-950D 069-69-812K
24	3 No'lu Pompa, Kanal Yanı, 50-75 cm	063-91-950D 069-69-812K
25	3 No'lu Pompa, 100 m içeri, 0-25 cm	063-91-855D 069-69-694K
26	3 No'lu Pompa, 100 m içeri, 25-50 cm	063-91-855D 069-69-694K
27	3 No'lu Pompa, 100 m içeri, 50-75 cm	063-91-855D 069-69-694K
28	3 No'lu Pompa, 500 m içeri, 0-25 cm	063-91-355D 069-69-694K
29	3 No'lu Pompa, 500 m içeri, 25-50 cm	063-91-355D 069-69-694K
30	3 No'lu Pompa, 500 m içeri, 50-75 cm	063-91-355D 069-69-694K
No	Buğday Örnekleri	
1	Referans	064-17-953D 069-76-642K
2	1 No'lu Pompa, Kanal Yanı	064-17-542D 069-65-938K
3	1 No'lu Pompa, 100 m içeri	064-17-470D 069-65-799K
4	1 No'lu Pompa, 500 m içeri	064-16-857D 069-65-221K
5	2 No'lu Pompa, Kanal Yanı	064-04-489D 069-67-416K
6	2 No'lu Pompa, 100 m içeri	064-04-369D 069-67-187K
7	2 No'lu Pompa, 500 m içeri	064-03-874D 069-66-204K
8	3 No'lu Pompa, Kanal Yanı	063-91-950D 069-69-812K
9	3 No'lu Pompa, 100 m içeri	063-91-855D 069-69-694K
10	3 No'lu Pompa, 500 m içeri	063-91-355D 069-69-694K

Çizelge 3.1'de koordinatları verilen noktalardan, 0-25, 25-50 ve 50-75 cm derinliklerden toprak örnekleri zemin örnekleyicisi ile alınmış ve etiket bilgileri yazılan kutuların içerisine aktarılmıştır. Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da toprak örnekleme çalışmaları gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Toprak örneklerinin alınması



Şekil 3.9. Toprak örneklerinin alınması

3.2. Numune Hazırlama

Toprak örnekleri kullanımlarından önce numune hazırlama aşamasında 2 mm'lik elekten elenmiştir. Şekil 3.10'da toprak örneklerinin elekten elenmesi ile ilgili bir fotoğraf görülmektedir.



Şekil 3.10. Toprak örneklerinin elenmesi

Alınan ürün örneklerinden buğday örneklerinin ise tane kısımları ayrılmıştır. Ağır metal analizleri için buğday örnekleri değirmen ile öğütüldükten sonra kullanılmıştır. Buğday örneklerinin alındığı bazı noktalar karayoluna çok yakın (25-30 m) olması sebebiyle burada taşıtlardan kaynaklanan veya toz partiküllerinden kaynaklanan ağır metal kontaminasyonunun önlenmesi için, ağır metal analizlerinden önce buğday örnekleri safsu ile yıkanarak kurutulmuş ve sonrasında öğütülmesi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de laboratuvar ortamına getirilmiş buğday örnekleri ve buğday tanelerinin ayrılması aşamasında çekilmiş fotoğraflar görülmektedir.



Şekil 3.11. Buğday örnekleri



Şekil 3.12. Buğday tanelerinin ayrılması

3.2.1. Toprak örneklerinin pH analizi

Laboratuvar ortamında kurutulmuş 5 g toprak numunesinin 25 mL safsu çözeltisi ile oluşturduğu süspansiyonun pH değeri tespit edilmiştir. Bunun için oluşturulan süspansiyonlar 5 dakika çalkalandıktan sonra en az 2 saat bekletilmiş, toprak süspansiyonu tekrar çalkalandıktan sonra pH metre (Hach Lange marka cihaz ile) ile okumalar gerçekleştirilmiştir (DIN ISO, 2005).

3.2.2. Elektriksel iletkenlik (EC) tayini

Laboratuvar ortamında kurutulmuş 20 g toprak numunesi üzerine 100 mL safsu eklenerek 30 dakika yatay çalkalayıcıda çalkalanmış, filtre kağıdından süzülerek elektriksel iletkenlik okumaları (Hach Lange marka cihaz ile) gerçekleştirilmiştir (DIN ISO, 1997).

3.2.3. Kil/Silt/Kum İçeriği

Toprak örneklerinin kil/silt/kum içeriği Bouyoucos Hydrometer metotuna göre tespit edilmiştir. 50 g numune ve 2 g sodyum hexametaphosphate beher içerine konularak yaklaşık 600 mL safsu eklenmiş ve 5 dakika mikser ile karıştırılmıştır. Toprak süspansiyonu mezür içerisine konularak içerisinde hidrometre varken 1130 mL çizgisine kadar safsu ile doldurulmuştur. Hidrometre mezur içerisinden uzaklaştırılmış ve mezürün ağzı parafilm ile kapatıldıktan sonra ters-düz edilerek toprak süspansiyonunun tamamen karışması sağlanmıştır. Süspansiyonun ilk hidrometre ve sıcaklık okumaları 40 sn sonra, ikinci okumaları ise 2 saat sonra gerçekleştirilmiştir. Toprak numunelerinin kütlesi alınırken nem içeriklerine göre düzeltme yapılmıştır. 1. hidrometre okuması silt ve kil kütlesini, 2. hidrometre okuması ise kil kütlesini vermektedir. Hesaplamalar aşağıda verilen formüller ile gerçekleştirildikten sonra tekstür üçgeni kullanılarak toprak tipi belirlenmiştir (Bouyoucos Hydrometer metod, 2004).

Düzeltilmiş 1. hidrometre okuması : 1. hidrometre okuması + (1. sıcaklık okuması – 20 ^{o}C) x 0.36 g/^{o}C

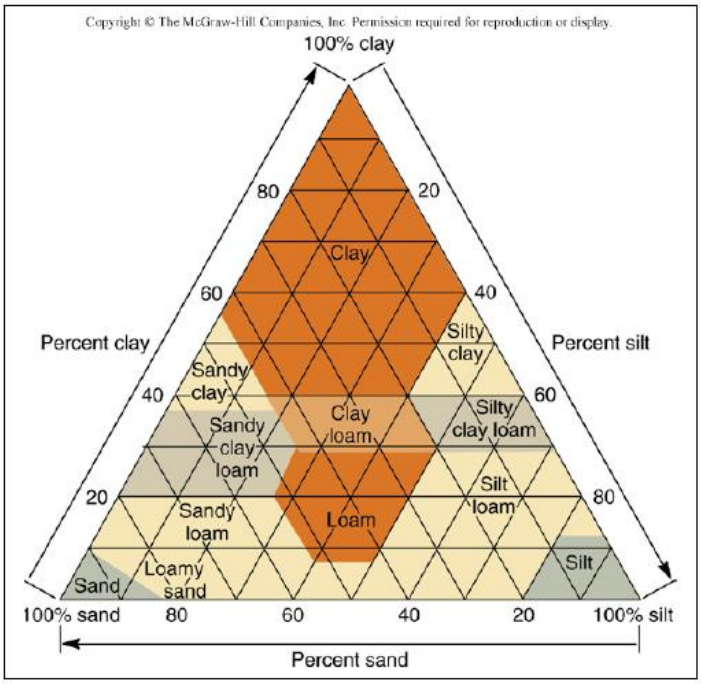
Düzeltilmiş 2. hidrometre okuması : 2. hidrometre okuması + (2. sıcaklık okuması – 20 ^{o}C) x 0.36 g/^{o}C

$$\%\,silt + kil = \frac{düzeltilmiş\ 1.hidrometre\ okuması\ x\ 100}{numune\ miktarı\ (g)} \qquad (3.1)$$

$$\%\,kil = \frac{düzeltilmiş\ 2.hidrometre\ okuması\ x\ 100}{numune\ miktarı\ (g)} \qquad (3.2)$$

$$\%\,kum = 100 - \%\,silt + kil \qquad (3.3)$$

Toprak örneklerinden elde edilen kil, silt ve kum yüzdeleri ile Şekil 3.13'de verilen tekstür üçgeni kullanılarak toprağın tekstür sınıfı belirlenmiştir. Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'de ise toprak örneklerinin kil/silt/kum içeriğinin belirlenmesi aşamasında çekilmiş fotoğraflar görülmektedir.



Şekil 3.13. Tekstür üçgeni



Şekil 3.14. Toprak örneklerinin hazırlanması



Şekil 3.15. Toprak örneklerinin hazırlanması

3.3. Ağır Metal Analizi

Toprak ve buğday örneklerinde ağır metaller, mikrodalga parçalama yöntemi ile örneklerin parçalanmasından sonra toprak örnekleri alev AAS (Perkin Elmer 800) ile tayin edilmiştir (US EPA 3051, 1994; US EPA, 7000a, 7000b, 7010, 1998). Pb, Cr, Cu, Cd, Zn, Ni, Hg'nın tayin edilebilmesi için AAS siteminde kullanılan dalga boyları sırasıyla 283.3, 357.9, 324.8, 228.8, 213.9, 232.0, 253.7 nm'dir. Alev-AAS sisteminde alev ortamı hava-asetilen veya nitröz oksit-asetilen gazları kullanılarak oluşturulmuştur. Hg analizleri hidrür sistemi ile AAS'de tespit edilmiştir. Alınan ürün örneklerinin (buğday) ağır metal içeriği ise Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma Merkezindeki ICP-MS ile tespit edilmiştir.

Şekil 3.16'da ağır metal analizlerinin gerçekleştirildiği AAS (Perkin Elmer 800) cihazının fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 3.16. Atomik adsorpsiyon spektrometresi (Perkin Elmer 800)

Toprak örnekleri için 0.5 g'lık numune üzerine 9.5 mL HNO_3 ve 0.5 mL HCl karışımı ilave edilmiş ve mikrodalga sistemine (CEM, MarsXpress, USA) yerleştirilmiş 1600 W, 15 dakikada 200 ^{o}C'ye ulaşma, 200 ^{o}C'de 10 dakika bekleme sıcaklık programı ile parçalanmıştır.

Ürün örnekleri ise, aynı mikrodalga sisteminde 0.5 g'lık numune üzerine 10 mL HNO_3 ilave edilerek 1600 W, 15 dakikada 180 ^{o}C'ye ulaşma, 180 ^{o}C'de 10 dakika bekleme sıcaklık programı ile parçalanmıştır.

Kapsüller soğuduktan sonra kapsüllerin kapakları çeker ocakta dikkatlice açılmıştır. Hunilere kağıt filtre takılarak numuneler 25 mL'lik balon jojelere süzülerek üzerleri saf su ile 25 mL'ye tamamlanmıştır. Numuneler 50 mL'lik numune tüplerine alınarak analiz işlemlerine kadar buzdolabında saklanmıştır.

Toprak ve ürün örnekleri için uygulanacak mikrodalga parçalama metotlarının verimliliği sırasıyla SRM 1646a (sediment) ve SRM 1515 (elma yaprakları) Standart Referans Maddeleri ile kontrol edilmiştir.

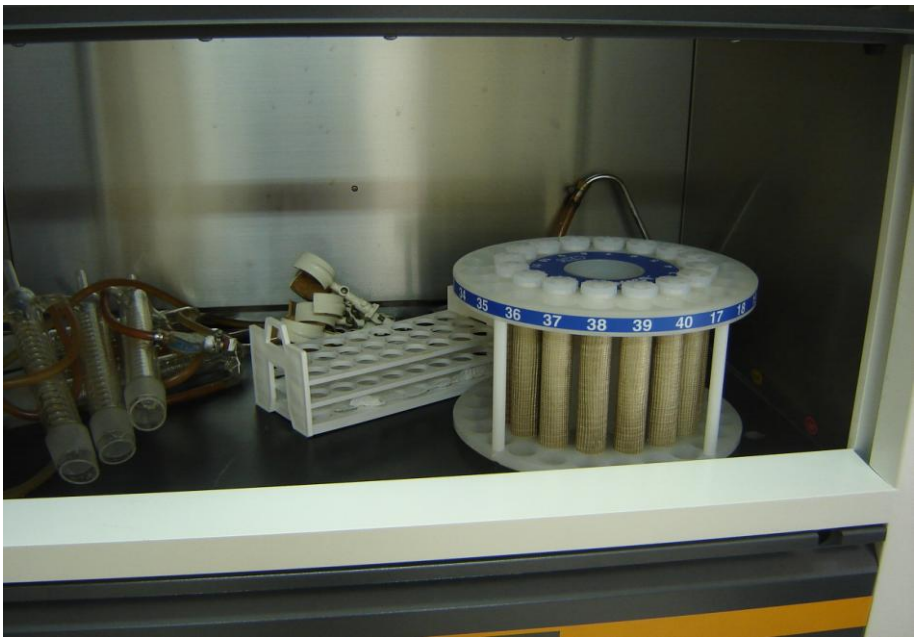
Analiz işlemlerinde kullanılan araç, gereç ve cihazlar ile ilgili fotoğraflar Şekil 3.17, Şekil 3.18, Şekil 3.19, Şekil 3.20, Şekil 3.21'de gösterilmiştir.



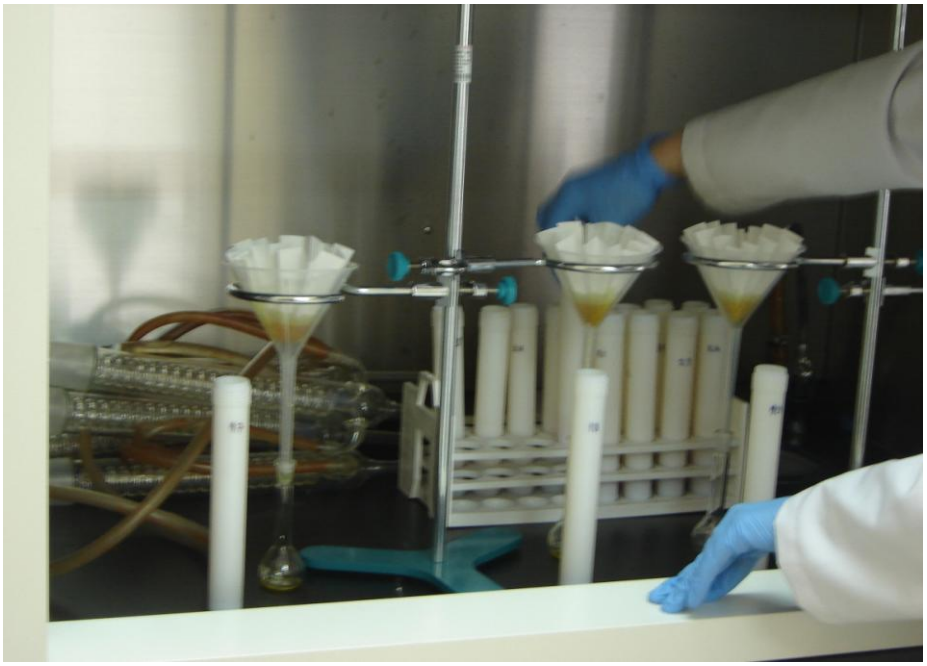
Şekil 3.17. Çalışma örneklerinin tartıldığı hassas terazi



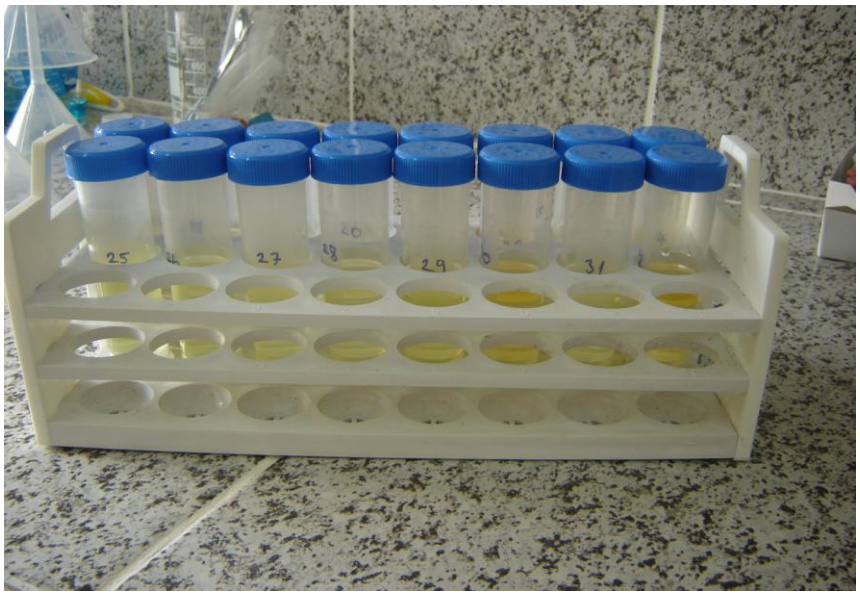
Şekil 3.18. CEM, MarsXpress mikrodalga fırını



Şekil 3.19. Örneklerin yerleştirildiği mikrodalga kapsüllerinin çeker ocakta soğuması



Şekil 3.20. Numunelerin filtre kağıdından süzülmesi



Şekil 3.21. Çalışma örneklerinin çözelti halinde saklandığı tüpler

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Standart Referans Madde Analiz Sonuçları

Toprak ve ürünlerde ağır metal analizlerinden önce standart referans madde (SRM) üzerinde, uygulanan mikrodalga ile parçalama metodunun uygun olup olmadığı incelenen metal bileşikleri için geri kazanım verimleri ile belirlenmiştir. Toprak örneklerinin parçalanmasında kullanılacak mikrodalga metodu SRM 1646a (sediment) üzerinde, ürün örneklerinin parçalanmasında kullanılacak mikrodalga metodu ise SRM 1515 (elma yaprağı) üzerinde denenmiştir. Mikrodalga ile parçalanan SRM'lerin metal tayinleri ICP-MS (Perkin Elmer) ile yapılmıştır. SRM 1646a analiz sonuçları Çizelge 4.1'de, SRM 1515 analiz sonuçları ise Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. SRM 1646a analiz sonuçları

	Sertifika konsantrasyonu, mg/kg	**Tayin edilen konsantrasyon, mg/kg, [n=4]**	**Geri kazanım, % [n=4]**
As	6.23±0.21	6.63±0.61	106±9
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

Çizelge 4.1'de As, Cr, Cu, Pb ve Zn'nin SRM 1646a' ya göre analiz sonuçları verilmiştir. Sertifika konsantrasyonları sırasıyla As 6.23±0.21 mg/kg, Cr 40.9±1.9 mg/kg, Cu 10.01±0.34 mg/kg, Pb 11.7±1.2 mg/kg ve Zn 48.9±1.6'dır. Analiz sonucunda geri kazanım yüzdeleri sırasıyla As %106±9, Cr %98±14, Cu %95±16, Pb %92±10 ve Zn %93±13'dür. Geri kazanım değerleri gayet yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.2. SRM 1515 analiz sonuçları

	Sertifika konsantrasyonu, µg/g	**Tayin edilen konsantrasyon, µg/g, [n=3]**	**Geri kazanım, % [n=3]**
Cu	5.64±0.24	5.57±0.63	98±11
Pb	0.470±0.024	0.452±0.050	96±11
Zn	12.5±0.3	11.8±1.5	95±13

Çizelge 4.2'de Cu, Pb ve Zn'nin SRM 1515'e göre analiz sonuçları verilmiştir. Sertifika konsantrasyonları sırasıyla Cu 5.64±0.24 µg/g, Pb 0.470±0.024 µg/g ve Zn 12.5±0.3 µg/g olarak bulunmuştur. Geri kazanım yüzdeleri Cu için %98±11, Pb için %96±11 ve Zn için %95±13'dür. Geri kazanım değerleri gayet yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verilen sonuçlardan da görüldüğü üzere SRM'lerin sertifikalarında belirtilen ve incelenecek olan metallere ait geri kazanım değerleri SRM 1646a için %92-106 aralığında, SRM 1515 için ise %95-98 aralığında tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar uygulanan mikrodalga ile parçalama metotlarının yeterli verimlilikte olduğunu göstermiştir.

4.2. Toprak Örnekleri pH ve EC Sonuçları

Çizelge 4.3'de toprak örneklerinin pH ve EC değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.3. Toprak örnekleri pH ve EC değerleri

No	Toprak Örnekleri	pH	EC (µS/cm)
1	Referans toprak, 0-25 m	8.96	116.4
2	Referans toprak, 25-50 m	8.98	111.3
3	Referans toprak, 50-75 m	9.06	107
4	1 no'lu pompa, kanal yanı, 0-25 cm	9.21	222
5	1 no'lu pompa, kanal yanı, 25-50 cm	9.32	276
6	1 no'lu pompa, kanal yanı, 50-75 cm	9.31	299
7	1 no'lu pompa, 100 m içeri, 0-25 cm	9.05	176.3
8	1 no'lu pompa, 100 m içeri, 25-50 cm	9.34	263
9	1 no'lu pompa, 100 m içeri, 50-75 cm	9.40	331
10	1 no'lu pompa, 500 m içeri, 0-25 cm	8.61	865
11	1 no'lu pompa, 500 m içeri, 25-50 cm	8.86	942
12	1 no'lu pompa, 500 m içeri, 50-75 cm	8.89	1016
13	2 no'lu pompa, kanal yanı, 0-25 cm	8.90	159.7
14	2 no'lu pompa, kanal yanı, 25-50 cm	9.13	426
15	2 no'lu pompa, kanal yanı, 50-75 cm	8.99	429
16	2 no'lu pompa, 100 m içeri, 0-25 cm	8.67	222
17	2 no'lu pompa, 100 m içeri, 25-50 cm	8.55	815
18	2 no'lu pompa, 100 m içeri, 50-75 cm	8.59	1983
19	2 no'lu pompa, 500 m içeri, 0-25 cm	9.07	342
20	2 no'lu pompa, 500 m içeri, 25-50 cm	9.15	312
21	2 no'lu pompa, 500 m içeri, 50-75 cm	9.03	412
22	3 no'lu pompa, kanal yanı, 0-25 cm	9.07	172.3
23	3 no'lu pompa, kanal yanı, 25-50 cm	9.40	191.9
24	3 no'lu pompa, kanal yanı, 50-75 cm	9.48	230
25	3 no'lu pompa, 100 m içeri, 0-25 cm	9.02	130.9
26	3 no'lu pompa, 100 m içeri, 25-50 cm	9.22	125.7
27	3 no'lu pompa, 100 m içeri, 50-75 cm	9.24	145.2
28	3 no'lu pompa, 500 m içeri, 0-25 cm	8.96	133.4
29	3 no'lu pompa, 500 m içeri, 25-50 cm	9.17	134.5
30	3 no'lu pompa, 500 m içeri, 50-75 cm	9.17	137.4

Toprak örneklerinin analiz sonuçlarında en düşük pH 8.55 ile 2 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde, en yüksek pH 9.48 3 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde tespit edilmiştir. pH değerleri toprağın alt katmanlarına doğru artış göstermiştir.

1 no'lu pompa kanal yanı ve 100 m içeriden alınan toprak örneklerinin pH değerleri referans değerlerinden yüksek, 1 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde pH değeri referans değerlerden düşük tespit edilmiştir. 1 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde pH 9.21 iken, 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde 9.05, 500 m içeri 0-25 cm derinlikten

alınan toprak örneklerinde 8.61 olarak ölçülmüştür. 1 no'lu pompa 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde pH değeri 100 m ve 500 m içeride azalma göstermiştir.

1 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde pH 9.32 iken, 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde 9.34, 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde 8.86 olarak ölçülmüştür.1 no'lu pompa 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde pH değeri, kanaldan 500 m içeride azalma göstermiştir.

1 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde pH 9.31 iken, 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde 9.40, 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde 8.89 olarak ölçülmüştür.1 no'lu pompa 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde pH değeri, kanaldan 500 m içeride azalma göstermiştir.

2 no'lu pompa kanal yanı ve 500 m içeriden alınan toprak örneklerinin pH'ı referans değerlerden yüksek, 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde ise referans değerlerden düşük tespit edilmiştir. 2 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde pH 8.90 iken, 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde 8.67, 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde 9.07 olarak ölçülmüştür. 2 no'lu pompa 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde pH değeri 100 m içeride azalırken, 500 m içeride artma göstermiştir.

2 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde pH 9.13 iken, 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde 8.55, 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde 9.15 olarak ölçülmüştür.1 no'lu pompa 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde pH değeri, kanaldan 100 m içeride azalmış, 500 m içeride artmıştır.

2 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde pH 8.99 iken, 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde 8.59, 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde 9.03 olarak ölçülmüştür.2 no'lu pompa 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde pH değeri, kanaldan 100 m içeride azalmış, 500 m içeride artmıştır.

3 no'lu pompa kanal yanı, 100 m içeri ve 500 m içeriden alınan toprak örneklerinin hepsinde pH değerleri referans değerlerden yüksek bulunmuştur. 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde pH 9.07 iken, 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde 9.02, 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde 8.96 olarak ölçülmüştür.3 no'lu pompa 0-25 cm

derinlikten alınan toprak örneklerinde pH değeri, kanaldan 100 m ve 500 m içeride azalma göstermiştir.

3 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde pH 9.40 iken, 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde 9.22, 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde 9.17 olarak ölçülmüştür.3 no'lu pompa 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde pH değeri, kanaldan 100 m ve 500 m içeride azalma göstermiştir.

3 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde pH 9.48 iken, 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde 9.24, 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde 9.17 olarak ölçülmüştür.3 no'lu pompa 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde pH değeri, kanaldan 100 m ve 500 m içeride azalma göstermiştir.

Toprak örneklerinin EC değerleri en düşük 125.7 µS/cm ile 3 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneğinde, en yüksek 1,983 µS/cm ile 2 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneğinde tespit edilmiştir. EC değerlerinin derinlikle arttığı ve referans değerlerlerden yüksek olduğu görülmüştür. Bölge topraklarının pH'ı 7.5-8.5 arasında değişmektedir (Yılmaz, 1993). Yılmaz (1993), yaptığı çalışmada Ana Tahliye Kanalı boyunca atıksularla sulanan toprakların pH değerini 7.02-8.40 arasında ölçmüştür. EC değerlerini 850-19,280 µS/cm olarak tespit etmiştir. Uyanöz (1998), ise atıksu ile sulanmayan tarım alanlarında pH değerini 7.09-8.43, EC değerlerini 1,025-6,332 µS/cm, 20 yıl atıksu ile sulanan tarım alanlarında pH değerlerini 7.52-8.50, EC değerlerini 1,845-5,759 µS/cm olarak ölçmüştür. Aşağıdaki sonuçlar ile karşılaştırıldığında toprağın pH değerinin arttığı ve elektiriksel iletkenlik değerinin azaldığı görülmektedir. Toprağın pH değerinin yükselmesine atıksu ile sulamanın neden olduğu düşünülmektedir.

4.3. Toprak Örnekleri Kil/Silt/Kum İçeriği ve Tipi

Çizelge 4.4'de toprak örneklerinin kil, silt, kum içeriği ve tipi belirtilmiştir.

Çizelge 4.4. Toprak örneklerinin kil/silt/kum içeriği ve tipi

No	Toprak Örnekleri	%kil	%silt	%kum	tipi
1	Referans toprak, 0-25 m	54.06	19.68	26.26	killi
2	Referans toprak, 25-50 m	71.39	15.76	12.85	killi
3	Referans toprak, 50-75 m	76.80	16.83	6.37	killi
4	1 no'lu pompa, kanal yanı, 0-25 cm	65.39	18.70	15.91	killi
5	1 no'lu pompa, kanal yanı, 25-50 cm	75.05	16.69	8.26	killi
6	1 no'lu pompa, kanal yanı, 50-75 cm	78.74	17.96	3.30	killi
7	1 no'lu pompa, 100 m içeri, 0-25 cm	56.73	21.75	21.52	killi
8	1 no'lu pompa, 100 m içeri, 25-50 cm	69.44	22.34	8.22	killi
9	1 no'lu pompa, 100 m içeri, 50-75 cm	75.05	20.42	4.53	killi
10	1 no'lu pompa, 500 m içeri, 0-25 cm	46.50	15.44	38.06	killi
11	1 no'lu pompa, 500 m içeri, 25-50 cm	66.92	18.41	14.67	killi
12	1 no'lu pompa, 500 m içeri, 50-75 cm	72.72	16.38	10.90	killi
13	2 no'lu pompa, kanal yanı, 0-25 cm	36.87	23.75	39.38	killi-tınlı
14	2 no'lu pompa, kanal yanı, 25-50 cm	49.50	24.66	25.85	killi
15	2 no'lu pompa, kanal yanı, 50-75 cm	52.59	21.19	26.22	killi
16	2 no'lu pompa, 100 m içeri, 0-25 cm	30.60	27.57	44.83	killi-tınlı
17	2 no'lu pompa, 100 m içeri, 25-50 cm	41.52	27.22	31.27	killi
18	2 no'lu pompa, 100 m içeri, 50-75 cm	59.89	24.60	15.51	killi
19	2 no'lu pompa, 500 m içeri, 0-25 cm	36.70	24.20	39.10	Killi
20	2 no'lu pompa, 500 m içeri, 25-50 cm	37.84	25.33	36.83	Killi
21	2 no'lu pompa, 500 m içeri, 50-75 cm	45.46	22.69	31.35	killi
22	3 no'lu pompa, kanal yanı, 0-25 cm	40.06	25.23	34.72	killi
23	3 no'lu pompa, kanal yanı, 25-50 cm	52.34	19.13	28.53	killi
24	3 no'lu pompa, kanal yanı, 50-75 cm	59.16	18.02	22.82	killi
25	3 no'lu pompa, 100 m içeri, 0-25 cm	39.93	23.61	36.46	killi-tınlı
26	3 no'lu pompa, 100 m içeri, 25-50 cm	53.54	29.69	22.07	killi
27	3 no'lu pompa, 100 m içeri, 50-75 cm	53.37	18.21	28.42	killi
28	3 no'lu pompa, 500 m içeri, 0-25 cm	42.16	22.86	34.97	killi
29	3 no'lu pompa, 500 m içeri, 25-50 cm	62.52	14.19	23.29	killi
30	3 no'lu pompa, 500 m içeri, 50-75 cm	61.64	13.99	24.37	killi

Toprak bünyesi 2 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm, 2 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm ve 3 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örnekleri killi-tınlı, diğer örneklerde ise killi bünyede tespit edilmiştir. Kil oranı toprağın üst kısımlarında düşük, alt katmalarına doğru artmıştır. Kum ve silt içeriği ise alt katmanlara doğru azalmıştır. Kil oranı en düşük % 30.60, en yüksek % 78.74, silt oranı en düşük % 14.19, en yüksek % 29.69, kum oranı en düşük % 3.30, en yüksek %44.83 olarak tespit edilmiştir.

1 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerindeki kil oranı, referans değerlerden yüksek olarak tespit edilmiştir. 1 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde kil oranı %65.39 iken, 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde %56.73, 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde %46.50 olarak tespit edilmiştir.1 no'lu pompa 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde kil oranı, kanaldan 100 m ve 500 m içeride azalma göstermiştir.

1 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde kil oranı %75.05 iken, 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde

%69.44, 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde %66.92 olarak tespit edilmiştir. 1 no'lu pompa 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde kil oranı, kanaldan 100 m ve 500 m içeride azalma göstermiştir.

1 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde kil oranı %78.74 iken, 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde %75.05, 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde %72.72 olarak tespit edilmiştir. 1 no'lu pompa 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde kil oranı, kanaldan 100 m ve 500 m içeride azalma göstermiştir.

2 no'lu pompa kanal yanı, 100 m ve 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde kil oranı, referans değerlerden düşük tespit edilmiştir. 2 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde kil oranı %36.87 iken, 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde %30.60, 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde %36.70 olarak tespit edilmiştir. 2 no'lu pompa 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde kil oranı, kanaldan 100 m içeride azalmış ve 500 m içeride ise artış göstermiştir.

2 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde kil oranı %49.50 iken, 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde %41.52, 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde %37.84 olarak tespit edilmiştir. 2 no'lu pompa 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde kil oranı, kanaldan 100 m ve 500 m içeride azalma göstermiştir.

2 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde kil oranı %52.59 iken, 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde %59.89, 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde %45.46 olarak tespit edilmiştir. 1 no'lu pompa 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde kil oranı, kanaldan 100 m içeride artış göstermiş ve 500 m içeride azalmıştır.

3 no'lu pompa kanal yanı, 100 m ve 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde kil oranı referans değerden düşük tespit edilmiştir. 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde kil oranı %40.06 iken, 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde %39.93, 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde %42.16 olarak tespit edilmiştir. 3 no'lu pompa 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde kil oranı, kanaldan 100 m içeride azalmış ve 500 m içeride artmıştır.

3 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde kil oranı %52.34 iken, 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde

%53.54, 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde %62.52 olarak tespit edilmiştir. 3 no'lu pompa 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde kil oranı, kanaldan 100 m ve 500 m içeride artış göstermiştir.

3 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde kil oranı %59.16 iken, 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde %53.37, 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde %61.64 olarak tespit edilmiştir. 3 no'lu pompa 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde kil oranı, kanaldan 100 m içeride azalmış ve 500 m içeride artmıştır.

Yılmaz (1993), yaptığı çalışmada kil oranını % 31- 54, kum oranını %31-48, silt oranını %9-26 olarak ölçmüştür. Uyanöz (1998), kil oranını % 32-64, kum oranını % 20-40, silt oranını %12-28 olarak tespit etmiştir. Buna göre toprağın kil oranın, silt ve kum oranın farklı olduğu görülmüştür. Toprak yapısındaki farklılıkların, örnekleme yapılan çalışma bölgelerinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.4. Toprak Örneklerinde Tespit Edilen Ağır Metal Miktarları

Ana Tahliye Kanalı 1 nolu pompa kanal yanı, 2 nolu pompa kanal yanı, 3 nolu pompa kanal yanı, 100 m ve 500 m içeride atıksular ile sulanan toprakların, temiz su ile sulanan referans toprak örneklerinin 0-25 cm, 25-50 cm ve 50-75 cm derinliklerinden alınan toprak örneklerinde tespit edilen ağır metal miktarları Çizelge 4.5.'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Toprak örneklerinde tespit edilen ağır metal miktarları (mg/kg)

No	Toprak Örnekleri	Pb	Cr	Cu	Cd	Zn	Ni	Hg
1	Referans toprak, 0-25 cm	66.50	192.05	20.82	8.98	58.95	78.84	0.143
2	Referans toprak, 25-50 cm	67.10	216.37	24.26	9.34	61.97	103.99	<dl
3	Referans toprak, 50-75 cm	70.93	226.63	24.45	9.45	64.46	114.31	<dl
4	1 no'lu pompa, kanal yanı, 0-25 cm	100.47	192.90	23.74	11.34	50.98	47.73	0.165
5	1 no'lu pompa, kanal yanı, 25-50 cm	100.75	220.46	27.63	10.84	60.34	65.37	0.307
6	1 no'lu pompa, kanal yanı, 50-75 cm	97.69	248.57	26.85	11.62	64.68	89.53	0.346
7	1 no'lu pompa, 100 m içeri, 0-25 cm	92.61	199.19	23.72	8.77	57.26	84.65	0.340
8	1 no'lu pompa, 100 m içeri, 25-50 cm	95.60	198.27	24.40	8.23	56.79	89.90	0.170
9	1 no'lu pompa, 100 m içeri, 50-75 cm	87.80	219.02	23.48	8.61	59.33	106.07	0.315
10	1 no'lu pompa, 500 m içeri, 0-25 cm	71.62	178.27	20.60	8.73	51.94	70.59	0.140
11	1 no'lu pompa, 500 m içeri, 25-50 cm	77.35	201.83	20.04	8.48	55.55	93.03	<dl
12	1 no'lu pompa, 500 m içeri, 50-75 cm	84.00	212.83	20.66	8.84	64.32	102.53	<dl
13	2 no'lu pompa, kanal yanı, 0-25 cm	68.36	192.64	26.00	8.79	60.58	95.40	<dl
14	2 no'lu pompa, kanal yanı, 25-50 cm	79.13	175.19	20.94	8.43	54.29	78.03	<dl
15	2 no'lu pompa, kanal yanı, 50-75 cm	68.28	190.10	22.33	8.83	50.07	81.36	<dl
16	2 no'lu pompa, 100 m içeri, 0-25 cm	72.24	190.77	26.05	8.96	61.89	65.08	<dl
17	2 no'lu pompa, 100 m içeri, 25-50 cm	80.66	185.35	26.21	8.74	62.73	72.94	<dl
18	2 no'lu pompa, 100 m içeri, 50-75 cm	92.88	203.40	49.46	8.96	81.35	74.84	<dl
19	2 no'lu pompa, 500 m içeri, 0-25 cm	68.85	199.05	28.10	9.24	62.02	80.72	<dl
20	2 no'lu pompa, 500 m içeri, 25-50 cm	78.94	184.78	29.35	8.99	64.06	73.26	<dl
21	2 no'lu pompa, 500 m içeri, 50-75 cm	68.57	171.56	25.52	8.91	51.03	61.93	<dl
22	3 no'lu pompa, kanal yanı, 0-25 cm	75.26	246.26	31.47	8.60	91.51	134.04	<dl
23	3 no'lu pompa, kanal yanı, 25-50 cm	65.25	194.06	21.73	8.91	53.63	110.45	<dl
24	3 no'lu pompa, kanal yanı, 50-75 cm	69.43	204.18	19.89	8.85	53.30	112.77	<dl
25	3 no'lu pompa, 100 m içeri, 0-25 cm	67.53	231.13	28.52	8.73	73.49	88.91	<dl
26	3 no'lu pompa, 100 m içeri, 25-50 cm	70.66	207.76	20.72	9.63	53.17	91.45	<dl
27	3 no'lu pompa, 100 m içeri, 50-75 cm	67.44	205.21	20.72	9.43	53.82	101.61	<dl
28	3 no'lu pompa, 500 m içeri, 0-25 cm	77.32	218.97	26.19	9.50	64.47	105.63	<dl
29	3 no'lu pompa, 500 m içeri, 25-50 cm	63.97	178.62	15.51	9.79	37.83	83.75	<dl
30	3 no'lu pompa, 500 m içeri, 50-75 cm	74.75	195.92	18.68	10.10	46.87	94.05	<dl

<dl: dedeksiyon limitinin altında

Toprak örneklerinin analizinde en düşük ve en yüksek ağır metal miktarları sırasıyla; Pb 63.97-100.75 mg/kg, Cr 171.56-248.57 mg/kg, Cu 15.51-49.46 mg/kg, Cd

8.23-11.62 mg/kg, Zn 37.83-91.51 mg/kg, Ni 47.73-134.04 mg/kg, Hg 0.14-0.34 mg/kg olarak ölçülmüştür. Bu değerler atıksu ile sulanmamış olan alanlardan alınan toprak örneklerinden elde edilen referans değerlerle karşılaştırıldığında bütün örneklerde Pb ve Hg miktarlarının yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Referans toprakta Pb miktarı 66.50-70.93 mg/kg aralığında ölçülmüştür. Referans toprakta en düşük değer 66. 50 mg/kg, 0-25 cm derinliğinde, en yüksek değer 70.93 mg/kg, 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprakta Pb miktarının derinlikle birlikte arttığı görülmüştür.

1 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde Pb miktarı 97.69-100.75 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 1 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde en düşük değer 97.69 mg/kg 50-75 cm derinlikte, en yüksek değer 100.75 mg/kg 25-50 cm derinlikte ölçülmüştür. 1 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde Pb miktarının derinlikle azaldığı görülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Pb miktarı 66.50 mg/kg, 1 no'lu pompa kanal yanı, 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 100.47 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Pb miktarı 67.10 mg/kg, 1 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 100.75 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Pb miktarı 70.93 mg/kg, 1 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 97.69 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Pb miktarı 87.80-95.60 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 87.80 mg/kg 50-75 cm derinlikte, en yüksek değer 95.60 mg/kg 25-50 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Pb miktarı 66.50 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 92.61 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak

örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Pb miktarı 67.10 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 95.60 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Pb miktarı 70.93 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 87.80 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

1 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Pb miktarı 71.62-84.00 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 1 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 71.62 mg/kg 0-25 cm derinlikte, en yüksek değer 84.00 mg/kg 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. 1 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Pb miktarının derinlikle arttığı gözlenmiştir. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Pb miktarı 66.50 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 71.62 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Pb miktarı 67.10 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 77.35 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Pb miktarı 70.93 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 84.00 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

2 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde Pb miktarı 68.28-79.13 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 2 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde en düşük değer 68.28 mg/kg 50-75 cm derinlikte, en yüksek değer 79.13 mg/kg 25-50 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Pb miktarı 66.50 mg/kg iken, 2 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 68.36 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Pb miktarı 67.10 mg/kg iken, 2 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 79.13 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Pb miktarı 70.93 mg/kg iken, 2 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 68.28 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, referans toprak Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

2 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Pb miktarı 72.24-92.88 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 2 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 72.24 mg/kg 0-25 cm derinlikte, en yüksek değer 92.88 mg/kg 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. 2 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Pb miktarının derinlikle arttığı gözlenmiştir. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Pb miktarı 66.50 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 72.24 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Pb miktarı 67.109 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 80.66 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans

toprak 50-75 cm derinlikte Pb miktarı 70.93 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 92.88 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

2 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Pb miktarı 68.57-78.94 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 2 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 68.57 mg/kg 50-75 cm derinlikte, en yüksek değer 78.94 mg/kg 25-50 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Pb miktarı 66.50 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 68.85 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Pb miktarı 67.10 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 78.94 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Pb miktarı 70.93 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 68.57'dır. 2 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

3 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde Pb miktarı 65.25-75.26 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 3 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde en düşük değer 65.25 mg/kg 25-50 cm derinlikte, en yüksek değer 75.26 mg/kg 0-25 cm derinlikte ölçülmüştür. 3 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde Pb miktarının derinlikle azaldığı görülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Pb miktarı 66.50 mg/kg iken, 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 75.26 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Pb miktarı

67.10 mg/kg iken, 3 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 65.25 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Pb miktarı 70.93 mg/kg iken, 3 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 69.43 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

3 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Pb miktarı 67.44-70.66 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 3 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 67.44 mg /kg 50-75 cm derinlikte, en yüksek değer 70.66 mg/kg 25-50 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Pb miktarı 66.50 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 67.53 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Pb miktarı 67.10 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 70.66 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Pb miktarı 70.93 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 67.44 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

3 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Pb miktarı 63.97-77.32 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 3 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 63.97 mg/kg 25-50 cm derinlikte, en yüksek değer 77.32 mg/kg 0-25 cm derinlikte ölçülmüştür. 3 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Pb miktarının derinlikle azaldığı görülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Pb

miktarı 66.50 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 77.32 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Pb miktarı 67.10 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 63.97 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Pb miktarı 70.93 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb miktarı 74.75 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Pb miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Pb miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Pb miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

Referans toprakta Cr miktarı 192.05-226.63 mg/kg aralığında ölçülmüştür. Referans toprakta en düşük değer 192.05 mg/kg, 0-25 cm derinliğinde, en yüksek değer 226.63 mg/kg, 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprakta Cr miktarının derinlikle birlikte arttığı görülmüştür.

1 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde Cr miktarı 192.90-248.57 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 1 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde en düşük değer 192.90 mg/kg 0-25 cm derinlikte, en yüksek değer 248.57 mg/kg 50-75 cm cm derinlikte ölçülmüştür. 1 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde Cr miktarının derinlikle arttığı görülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cr miktarı 192.05 mg/kg, 1 no'lu pompa kanal yanı, 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 192.90 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, Cr miktarlarının birbirine yakın değerler olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cr miktarı 216.37 mg/kg, 1 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 220.46 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cr miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cr miktarı

226.63 mg/kg, 1 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 248.57 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cr miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Cr miktarı 198.27-219.02 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 198.27 mg/kg 25-50 cm derinlikte, en yüksek değer 219.02 mg/kg 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. 1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Cr miktarının derinlikle arttığı görülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cr miktarı 192.05 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 199.19 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cr miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cr miktarı 216.37 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 198.27 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cr miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cr miktarı 226.63 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 219.02 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cr miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

1 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Cr miktarı 178.27-212.83 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 1 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 178.27 mg/kg 0-25 cm derinlikte, en yüksek değer 212.83 mg/kg 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. 1 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Cr miktarının derinlikle arttığı gözlenmiştir. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cr miktarı 192.05 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 178.27 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cr miktarının daha

yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cr miktarı 216.37 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 201.83 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cr miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cr miktarı 226.63 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 212.83 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, referans toprak Cr miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

2 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde Cr miktarı 175.19-192.64 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 2 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde en düşük değer 175.19 mg/kg 25-50 cm derinlikte, en yüksek değer 192.64 mg/kg 0-25 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cr miktarı 192.05 mg/kg iken, 2 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 192.64 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, değerlerin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cr miktarı 216.37 mg/kg iken, 2 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 175.19 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cr miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cr miktarı 226.63 mg/kg iken, 2 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 190.10 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cr miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

2 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Cr miktarı 185.35-203.40 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 2 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 185.35 mg /kg 25-50 cm derinlikte, en yüksek değer 203.40 mg/kg 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cr miktarı 192.05 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde

ise Cr miktarı 190.77 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cr miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cr miktarı 216.37 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 185.35 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cr miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cr miktarı 226.63 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 203.40 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cr miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

2 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Cr miktarı 171.56-199.05 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 2 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 171.56 mg /kg 50-75 cm derinlikte, en yüksek değer 199.05 mg/kg 0-25 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cr miktarı 192.05 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 199.05 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cr miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cr miktarı 216.37 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 184.78 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cr miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cr miktarı 226.63 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 171.56 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cr miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

3 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde Cr miktarı 194.06-246.26 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 3 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde en düşük değer 194.06 mg/kg 25-50 cm derinlikte, en yüksek değer 246.26 mg/kg 0-25 cm derinlikte ölçülmüştür. 3 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde Cr miktarının derinlikle azaldığı görülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cr miktarı 192.05 mg/kg iken, 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 246.26 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cr miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cr miktarı 216.37 mg/kg iken, 3 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 194.06 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cr miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cr miktarı 226.63 mg/kg iken, 3 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 204.18 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cr miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

3 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Cr miktarı 205.21-231.13 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 3 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 205.21 mg /kg 50-75 cm derinlikte, en yüksek değer 231.13 mg/kg 0-25 cm derinlikte ölçülmüştür. 3 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Cr miktarının derinlikle arttığı görülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cr miktarı 192.05 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 231.13 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cr miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cr miktarı 216.37 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 207.76 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta

Cr miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cr miktarı 226.63 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 205.21 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cr miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

3 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Cr miktarı 178.62-218.97 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 3 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 178.62 mg/kg 25-50 cm derinlikte, en yüksek değer 218.97 mg/kg 0-25 cm derinlikte ölçülmüştür. 3 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Cr miktarının derinlikle azaldığı görülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cr miktarı 192.05 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 218.97 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cr miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cr miktarı 216.37 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 178.62 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cr miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cr miktarı 226.63 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr miktarı 195.92 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cr miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cr miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

Referans toprakta Cu miktarı 20.82-24.45 mg/kg aralığında ölçülmüştür. Referans toprakta en düşük değer 20.82 mg/kg, 0-25 cm derinliğinde, en yüksek değer 24.45 mg/kg, 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprakta Cu miktarının derinlikle birlikte arttığı görülmüştür.

1 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde Cu miktarı 23.74-27.63 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 1 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde en düşük değer 23.74 mg/kg 0-25 cm derinlikte, en yüksek değer 27.63 mg/kg 25-50 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cu miktarı 20.82 mg/kg, 1

no'lu pompa kanal yanı, 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu miktarı 23.74 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cu miktarı 24.26 mg/kg, 1 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu miktarı 27.63 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cu miktarı 24.45 mg/kg, 1 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu miktarı 26.85 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Cu miktarı 23.48-24.40 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 23.48 mg/kg 50-75 cm derinlikte, en yüksek değer 24.40 mg/kg 25-50 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cu miktarı 20.82 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu miktarı 23.72 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cu miktarı 24.26 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu miktarı 24.40 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, iki değerin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cu miktarı 24.45 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu miktarı 23.48 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

1 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Cu miktarı 20.04-20.66 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 1 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 20.04 mg/kg 25-50 cm derinlikte, en yüksek değer 20.66 mg/kg 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cu miktarı 20.82 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu miktarı 20.60 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cr miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cu miktarı 24.26 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu miktarı 20.04 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cu miktarı 24.45 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu miktarı 20.66 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

2 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde Cu miktarı 20.94-26.08 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 2 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde en düşük değer 20.94 mg/kg 25-50 cm derinlikte, en yüksek değer 26.00 mg/kg 0-25 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cu miktarı 20.82 mg/kg iken, 2 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu miktarı 26.00 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cu miktarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cu miktarı 24.26 mg/kg iken, 2 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu miktarı 20.94 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cu miktarı 24.45 mg/kg iken, 2 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu

miktarı 22.33 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

2 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Cu miktarı 26.05-49.46 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 2 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 26.05 mg/kg 0-25 cm derinlikte, en yüksek değer 49.46 mg/kg 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. 2 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Cu miktarının derinlikle arttığı görülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cu miktarı 20.82 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu miktarı 26.05 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cu miktarı 24.26 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu miktarı 26.21 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cu miktarı 24.45 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu miktarı 49.46 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

2 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Cu miktarı 25.52-29.35 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 2 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 25.52 mg/kg 50-75 cm derinlikte, en yüksek değer 29.35 mg/kg 25-50 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cu miktarı 20.82 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu miktarı 28.10 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cu miktarı 24.26 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak

örneklerinde ise Cu miktarı 29.35 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cu miktarı 24.45 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu miktarı 25.52 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

3 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde Cu miktarı 19.89-31.47 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 3 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde en düşük değer 19.89 mg/kg 50-75 cm derinlikte, en yüksek değer 31.47 mg/kg 0-25 cm derinlikte ölçülmüştür. 3 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde Cu miktarının derinlikle azaldığı görülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cu miktarı 20.82 mg/kg iken, 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu miktarı 31.47 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cu miktarı 24.26 mg/kg iken, 3 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu miktarı 21.73 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cu miktarı 24.45 mg/kg iken, 3 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu miktarı 19.89 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

3 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Cu miktarı 20.72-28.52 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 3 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 20.72 mg/kg 25-50 cm derinlikte, en yüksek değer 28.52 mg/kg 0-25 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cu miktarı 20.82 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu

miktarı 28.52 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cu miktarı 24.26 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu miktarı 20.72 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cu miktarı 24.45 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu miktarı 20.72 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

3 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Cu miktarı 15.51-26.19 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 3 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 15.51 mg/kg 25-50 cm derinlikte, en yüksek değer 26.19 mg/kg 0-25 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cu miktarı 20.82 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu miktarı 26.19 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cu miktarı 24.26 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu miktarı 15.51 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cu miktarı 24.45 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cu miktarı 18.68 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cu miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cu miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

Referans toprakta Cd miktarı 8.98-9.45 mg/kg aralığında ölçülmüştür. Referans toprakta en düşük değer 8.98 mg/kg, 0-25 cm derinliğinde, en yüksek değer 9.45 mg/kg, 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprakta Cd miktarının derinlikle birlikte arttığı görülmüştür.

1 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde Cd miktarı 10.84-11.62 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 1 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde en düşük değer 10.84 mg/kg 25-50 cm derinlikte, en yüksek değer 11.62 mg/kg 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cd miktarı 8.98 mg/kg, 1 no'lu pompa kanal yanı, 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 11.34 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cd miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cd miktarı 9.34 mg/kg, 1 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 10.84 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cd miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cd miktarı 9.45 mg/kg, 1 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 11.62 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cd miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Cd miktarı 8.23-8.77 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 8.23 mg/kg 25-50 cm derinlikte, en yüksek değer 8.77 mg/kg 0-25 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cd miktarı 8.98 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 8.77 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cd miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cd miktarı 9.34 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 8.23 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde

bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cd miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cd miktarı 9.45 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 8.61 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cd miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

1 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Cd miktarı 8.48-8.84 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 1 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 8.48 mg/kg 25-50 cm derinlikte, en yüksek değer 8.84 mg/kg 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cd miktarı 8.98 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 8.73 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cd miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cd miktarı 9.345 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 8.48 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cd miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cd miktarı 9.45 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 8.84 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cd miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

2 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde Cd miktarı 8.43-8.83 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 2 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde en düşük değer 8.43 mg/kg 25-50 cm derinlikte, en yüksek değer 8.83 mg/kg 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cd miktarı 8.98 mg/kg iken, 2 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 8.79 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd

miktarı karşılaştırıldığında, iki değerin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cd miktarı 9.34 mg/kg iken, 2 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 8.43 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cd miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cd miktarı 9.45 mg/kg iken, 2 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 8.83 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cd miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

2 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Cd miktarı 8.74-8.96 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 2 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 8.74 mg/kg 25-50 cm derinlikte, en yüksek değer 8.96 mg/kg 0-25 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cd miktarı 8.98 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 8.96 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, iki değerin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cd miktarı 9.34 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 8.74 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cd miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cd miktarı 9.45 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 8.96 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cd miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

2 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Cd miktarı 8.91-9.24 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 2 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 8.91 mg/kg 50-75 cm derinlikte, en yüksek değer 9.24 mg/kg 0-25 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cd miktarı 8.98 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd

miktarı 9.24 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cd miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cd miktarı 9.34 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 8.99 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cd miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cd miktarı 9.45 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 8.91 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cd miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

3 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde Cd miktarı 8.60-8.91 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 3 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde en düşük değer 8.60 mg/kg 0-25 cm derinlikte, en yüksek değer 8.91 mg/kg 25-50 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cd miktarı 8.98 mg/kg iken, 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 8.60 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cd miktarının yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cd miktarı 9.34 mg/kg iken, 3 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 8.91 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cd miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cd miktarı 9.45 mg/kg iken, 3 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 8.85 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cu miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

3 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Cd miktarı 8.73-9.63 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 3 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 8.73 mg/kg 0-25 cm derinlikte, en yüksek değer 9.63 mg/kg 25-50 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cd miktarı 8.98 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 8.73 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Cd miktarının yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cd miktarı 9.34 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 9.63 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cd miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cd miktarı 9.45 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 9.43 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, iki değerin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

3 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Cd miktarı 9.50-10.10 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 3 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 9.50 mg/kg 0-25 cm derinlikte, en yüksek değer 10.10 mg/kg 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Cd miktarı 8.98 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 9.50 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cd miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Cd miktarı 9.34 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 9.79 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cd miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Cd miktarı 9.45 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cd miktarı 10.10 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 500 m içeri

50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Cd miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Cd miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Cd miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

Referans toprakta Zn miktarı 58.95-64.46 mg/kg aralığında ölçülmüştür. Referans toprakta en düşük değer 58.95 mg/kg, 0-25 cm derinliğinde, en yüksek değer 64.46 mg/kg, 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprakta Zn miktarının derinlikle birlikte arttığı görülmüştür.

1 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde Zn miktarı 50.98-64.68 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 1 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde en düşük değer 50.98 mg/kg 0-25 cm derinlikte, en yüksek değer 64.68 mg/kg 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Zn miktarı 58.95 mg/kg, 1 no'lu pompa kanal yanı, 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 50.98 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Zn miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Zn miktarı 61.97 mg/kg, 1 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 60.34 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Zn miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Zn miktarı 64.46 mg/kg, 1 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 64.68 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, iki değerin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Zn miktarı 56.79-59.33 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 56.79 mg/kg 25-50 cm derinlikte, en yüksek değer 59.33 mg/kg 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Zn miktarı 64.46 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 57.26 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Zn miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Zn miktarı 61.97 mg/kg iken, 1 no'lu

pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 56.79 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Zn miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Zn miktarı 64.46 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 59.33 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Zn miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

1 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Zn miktarı 51.94-64.32 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 1 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 51.94 mg/kg 0-25 cm derinlikte, en yüksek değer 64.32 mg/kg 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Zn miktarı 58.95 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 51.94 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Zn miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Zn miktarı 61.97 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 55.55 mg/kg olduğu görülmüştür. 1 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Zn miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Zn miktarı 64.46 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 64.32 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, iki değerin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

2 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde Zn miktarı 50.07-60.58 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 2 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde en düşük değer 50.07 mg/kg 50-75 cm derinlikte, en yüksek değer 60.58 mg/kg 0-25 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Zn miktarı 58.95 mg/kg iken, 2 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 60.58 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak

örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Zn miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Zn miktarı 61.97 mg/kg iken, 2 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 54.29 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Zn miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Zn miktarı 64.46 mg/kg iken, 2 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 50.072 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Zn miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

2 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Zn miktarı 61.89-81.35 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 2 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 61.89 mg/kg 0-25 cm derinlikte, en yüksek değer 81.35 mg/kg 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. 2 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Zn miktarının derinlikle arttığı görülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Zn miktarı 58.95 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 61.89 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Zn miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Zn miktarı 61.97 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 62.73 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Zn miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Zn miktarı 64.46 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 81.35 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Zn miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

2 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Zn miktarı 51.03-64.06 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 2 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 51.03 mg/kg 50-75 cm derinlikte, en yüksek değer 64.06 mg/kg 25-50 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Zn miktarı 58.95 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 62.02 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Zn miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Zn miktarı 61.97 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 64.06 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Zn miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Zn miktarı 64.46 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 51.03 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Zn miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

3 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde Zn miktarı 53.30-91.51 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 3 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde en düşük değer 53.30 mg/kg 50-75 cm derinlikte, en yüksek değer 91.51 mg/kg 0-25 cm derinlikte ölçülmüştür. 3 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde Zn miktarının derinlikle azaldığı görülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Zn miktarı 58.95 mg/kg iken, 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 91.51 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Zn miktarının yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Zn miktarı 61.97 mg/kg iken, 3 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 53.63 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Zn miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Zn miktarı

64.46 mg/kg iken, 3 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 53.30 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Zn miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

3 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Zn miktarı 53.17-73.49 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 3 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 53.17 mg/kg 25-50 cm derinlikte, en yüksek değer 73.49 mg/kg 0-25 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Zn miktarı 58.95 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 73.49 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Zn miktarının yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Zn miktarı 61.97 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 53.17 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Zn miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Zn miktarı 64.46 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 53.82 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Zn miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

3 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Zn miktarı 37.83-64.47 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 3 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 37.83 mg/kg 25-50 cm derinlikte, en yüksek değer 64.47 mg/kg 0-25 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Zn miktarı 58.95 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 64.47 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Zn miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Zn miktarı 61.97 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak

örneklerinde ise Zn miktarı 37.83 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Zn miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Zn miktarı 64.46 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Zn miktarı 46.87 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Zn miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Zn miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Zn miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

Referans toprakta Ni miktarı 78.84-114.31 mg/kg aralığında ölçülmüştür. Referans toprakta en düşük değer 78.84 mg/kg, 0-25 cm derinliğinde, en yüksek değer 114.31 mg/kg, 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprakta Ni miktarının derinlikle birlikte arttığı görülmüştür.

1 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde Ni miktarı 47.73-89.53 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 1 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde en düşük değer 47.73 mg/kg 0-25 cm derinlikte, en yüksek değer 89.53 mg/kg 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. 1 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde Ni miktarının derinlikle arttığı görülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Ni miktarı 78.84 mg/kg, 1 no'lu pompa kanal yanı, 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 47.73 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Ni miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Ni miktarı 103.99 mg/kg, 1 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 65.37 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Ni miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Ni miktarı 114.31 mg/kg, 1 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 89.53 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Ni miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Ni miktarı 84.65-106.07 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 84.65 mg/kg 0-25 cm derinlikte, en yüksek değer 106.07 mg/kg 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. 1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Ni miktarının derinlikle arttığı görülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Ni miktarı 78.84 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 84.65 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Ni miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Ni miktarı 103.99 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 89.90 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Ni miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Ni miktarı 114.31 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 106.07 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Ni miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

1 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Ni miktarı 70.59-102.53 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 1 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 70.59 mg/kg 0-25 cm derinlikte, en yüksek değer 102.53 mg/kg 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. 1 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Ni miktarının derinlikle arttığı görülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Ni miktarı 78.84 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 70.59 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Ni miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Ni miktarı 103.99 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 93.03 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Ni miktarının daha

yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Ni miktarı 114.31 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 102.53 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Ni miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

2 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde Ni miktarı 78.03-95.40 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 2 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde en düşük değer 78.03 mg/kg 25-50 cm derinlikte, en yüksek değer 95.40 mg/kg 0-25 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Ni miktarı 78.84 mg/kg iken, 2 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 95.40 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Ni miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Ni miktarı 103.99 mg/kg iken, 2 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 78.03 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Ni miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Ni miktarı 114.31 mg/kg iken, 2 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 81.36 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Ni miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

2 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Ni miktarı 65.08-74.84 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 2 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 65.08 mg/kg 0-25 cm derinlikte, en yüksek değer 74.84 mg/kg 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. 2 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Ni miktarının derinlikle arttığı görülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Ni miktarı 78.84 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 65.08 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Ni miktarının daha

yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Ni miktarı 103.99 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 72.94 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Ni miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Ni miktarı 114.31 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 74.84 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Ni miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

2 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Ni miktarı 61.93-80.72 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 2 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 61.93 mg/kg 50-75 cm derinlikte, en yüksek değer 80.72 mg/kg 0-25 cm derinlikte ölçülmüştür. 2 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Ni miktarının derinlikle azaldığı görülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Ni miktarı 78.84 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 80.72 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Ni miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Ni miktarı 103.99 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 73.26 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Ni miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Ni miktarı 114.31 mg/kg iken, 2 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 61.92 mg/kg'dır. 2 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Ni miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

3 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde Ni miktarı 110.45-134.04 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 3 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde en düşük değer 110.45 mg/kg 25-50 cm derinlikte, en yüksek değer 134.04 mg/kg 0-25

cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Ni miktarı 78.84 mg/kg iken, 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 134.04 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Ni miktarının yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Ni miktarı 103.99 mg/kg iken, 3 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 110.45 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Ni miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Ni miktarı 114.31 mg/kg iken, 3 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 112.77 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Ni miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

3 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Ni miktarı 88.91-101.61 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 3 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 88.91 mg/kg 0-25 cm derinlikte, en yüksek değer 101.61 mg/kg 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. 3 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Ni miktarının derinlikle arttığı görülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Ni miktarı 78.84 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 88.91 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Ni miktarının yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Ni miktarı 103.99 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 91.45 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Ni miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Ni miktarı 114.31 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 101.61 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki

referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Ni miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

3 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Ni miktarı 83.75-105.63 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 3 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 83.75 mg/kg 25-50 cm derinlikte, en yüksek değer 105.63 mg/kg 0-25 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Ni miktarı 78.84 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 105.63 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Ni miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Ni miktarı 103.99 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 83.75 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Ni miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Ni miktarı 114.31 mg/kg iken, 3 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Ni miktarı 94.05 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa 500 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Ni miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Ni miktarı karşılaştırıldığında, referans toprakta Ni miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

Referans toprakta Hg, 0-25 cm derinlikte 0.14 mg/kg olarak ölçülmüştür. Referans toprakta Hg miktarı, 25-50 cm ve 50-75 cm derinliklerde dedeksiyon limitinin altında tespit edilmiştir.

1 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde Hg miktarı 0.16-0.34 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 1 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde en düşük değer 0.16 mg/kg 0-25 cm derinlikte, en yüksek değer 0.34 mg/kg 50-75 cm derinlikte ölçülmüştür. 1 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde Hg miktarının derinlikle arttığı görülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Hg miktarı 0.14 mg/kg, 1 no'lu pompa kanal yanı, 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Hg miktarı 0.16 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Hg miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Hg miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Hg miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Hg,

dedeksiyon limitinin altında tespit edilmiştir. 1 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Hg miktarının 0.30 mg/kg olduğu görülmüştür. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Hg, dedeksiyon limitinin altında tespit edilmiştir. 1 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Hg miktarının 0.34 mg/kg'dır.

1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Hg miktarı 0.17-0.34 mg/kg aralığında ölçülmüştür. 1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde en düşük değer 0.17 mg /kg 25-50 cm derinlikte, en yüksek değer 0.34 mg/kg 0-25 cm derinlikte ölçülmüştür. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Hg miktarı 0.14 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Hg miktarı 0.34 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Hg miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Hg miktarı karşılaştırıldığında, atıksu ile sulanan toprak örneklerinde Hg miktarının daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Referans toprak 25-50 cm derinlikte Hg dedeksiyon limitinin altında tespit edilmiştir. 1 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Hg miktarı 0.17 mg/kg'dır. Referans toprak 50-75 cm derinlikte Hg, dedeksiyon limitinin altında tespit edilmiştir. 1 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Hg miktarı 0.31 mg/kg'dır.

1 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Hg, 0-25 cm derinlikte 0.14 mg/kg olarak ölçülmüştür. 25-50 cm ve 50-75 cm derinliklerde Hg miktarı dedeksiyon limitinin altında tespit edilmiştir. Referans toprak 0-25 cm derinlikte Hg miktarı 0.14 mg/kg iken, 1 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Hg miktarı 0.14 mg/kg'dır. 1 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bulunan Hg miktarı ile aynı derinlikteki referans toprakta bulunan Hg miktarı karşılaştırıldığında, değerlerin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Diğer örnekleme noktalarında Hg, dedeksiyon limitinin altında tespit edilmiştir.

Huang ve ark. (2007), toprakta Pb, Cu, Ni miktarlarını ortalama 30 mg/kg, Cd 0.3 mg/kg, Cr 80 mg/kg, Hg 0.2 mg/kg, Zn 98. 1 mg/kg olarak tespit etmişlerdir.

Li ve ark. (2009), Cd miktarını 1.75 mg/kg, Pb 40.46 mg/kg, Zn 150.01 mg/kg, Cu 32.15 mg/kg ölçmüşlerdir.

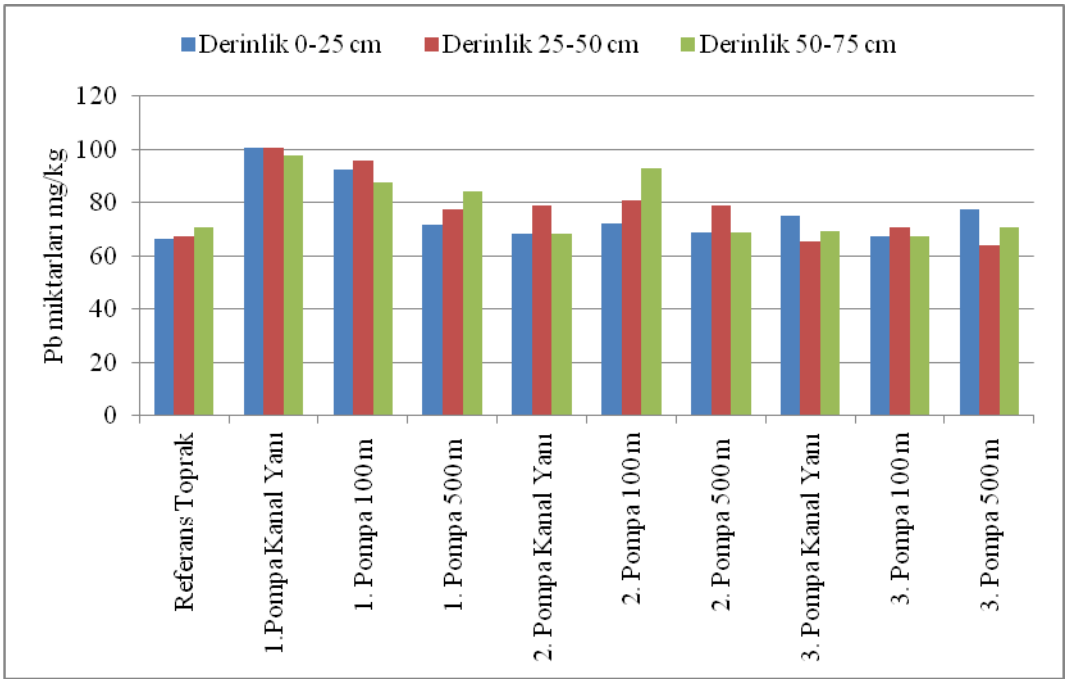
Lucho-Constantino ve ark. (2005), Cd miktarını 0.51-1.89 mg/kg, Cr 11.59-27.42 mg/kg, Pb 3.99- 47.08, Hg 0.77 mg / kg tespit etmişlerdir.

Qishlaqi ve ark. (2008), toprak örneklerindeki ağır metal miktarlarını ortalama 276.60 mg/kg Ni, 110.60 mg/kg Zn, 0.35 mg/kg Cd, 441.70 mg/kg Pb, 26.00 mg/kg Cr olarak tespit etmişlerdir.

Tiwari ve ark. (2011), toprak örneklerinde Ni miktarını 14.97 mg/kg, Pb miktarını 13.12 mg/kg, Zn miktarını 85.36 mg/kg olarak tespit etmişlerdir.

Sarı (2009) yaptığı çalışmada, Cr, Ni, Co, Pb ve Cd miktarları ile kil miktarı, pH değeri, kireç içeriği ve organik madde miktarı arasında %5 düzeyinde istatistiksel korelasyonlar belirlemiştir. Kil miktarı artıkça Cr, Co, Pb, Cd ve Ni içerikleri, pH arttıkça, Co, Cr, Ni ve içerikleri, kireç arttıkça Ni ve Pb miktarları, organik madde arttıkça Cd ve Ni içeriklerinin arttığını saptamıştır.

Toprak örneklerinde analizleri yapılan her bir ağır metal için elde edilen grafikler aşağıda verilmiştir.

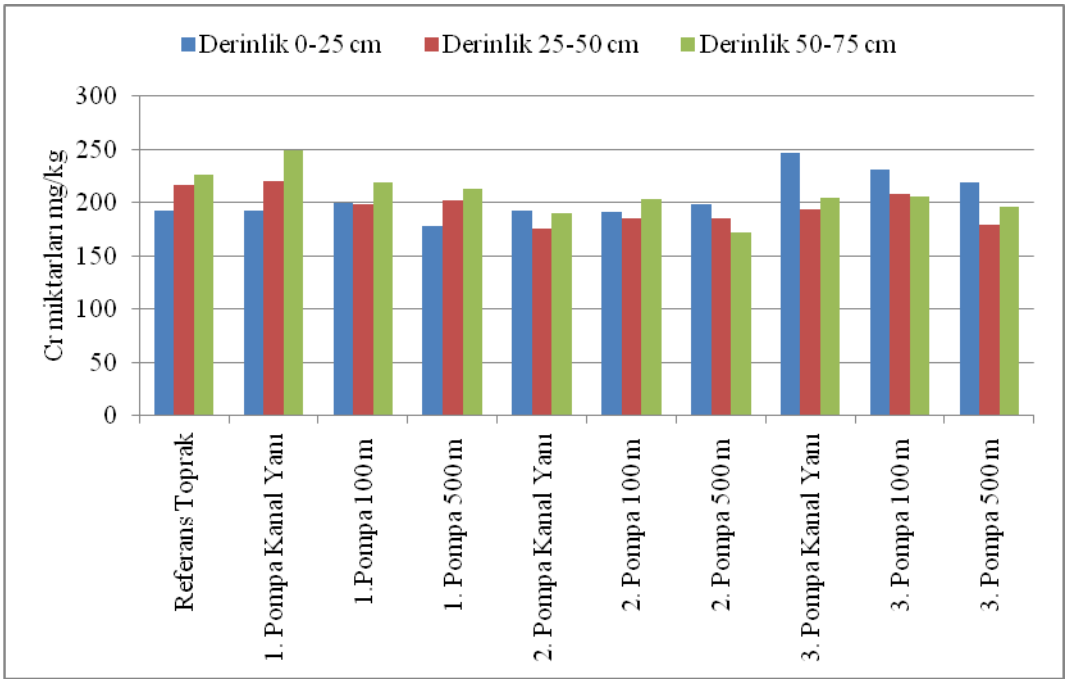


Şekil 4.1. Toprak örneklerinde tespit edilen Pb miktarları (mg/kg)

Referans toprakta Pb değerleri 66.504- 70.930 mg/kg aralığında iken, 1 no'lu pompa kanal yanında Pb miktarı 97.694-100.754 mg/kg aralığında tespit edilmiştir. Referans toprakta pH 8.96-9.06'dır. 1 no'lu pompa kanal yanında pH değerleri 9.21-9.31 aralığında ölçülmüştür. Referans toprakta kil oranı %54.06-76.80 iken, 1 no'lu pompa kanal yanında %65.39-76.80 olarak tespit edilmiştir. Toprakta Pb miktarı ile toprak pH ve kil içeriği arasında doğrusal bir ilişki vardır (Sarı, 2009). Analiz

sonuçlarında 1 no'lu pompa kanal yanında kil oranı ve pH değerlerinin yüksek olması ve atıksu ile sulama nedeniyle toprakta Pb miktarının arttığı düşünülmüştür. 1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Pb miktarı 87.805-95.600 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Toprak örneklerinde pH değerlerinin referans değerlerden yüksek olduğu görülmüştür. Atıksu ile sulamanın 1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Pb miktarını artırdığı düşünülmüştür. Ayrıca 2 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde Pb miktarı 92.886 mg/kg tespit edilmiştir. Burada da toprağın jeolojik yapısından kaynaklanan bir artış olduğu düşünülmektedir. 1no'lu pompada kanaldan 100 m ve 500 m içeride değerlerin azaldığı tespit edilmiştir. 2 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerin Pb miktarı, 2 no'lu pompa kanal yanı ve 500 m içeriden alınan örneklerden daha yüksek miktarlarda bulunmuştur. 3 no'lu pompada ise kanal yanı ve kanaldan 500 m içeriden alınan örneklerde Pb miktarı yüksek, kanaldan 100 m içeride ise referans değerlere yakın olarak ölçülmüştür. Ayrıca 1 no'lu pompadan sonra toprakta Pb miktarı azalmıştır. Bunun nedeni olarak, atıksuda Pb'nin kanal boyunca çökeldiği düşünülmüştür.

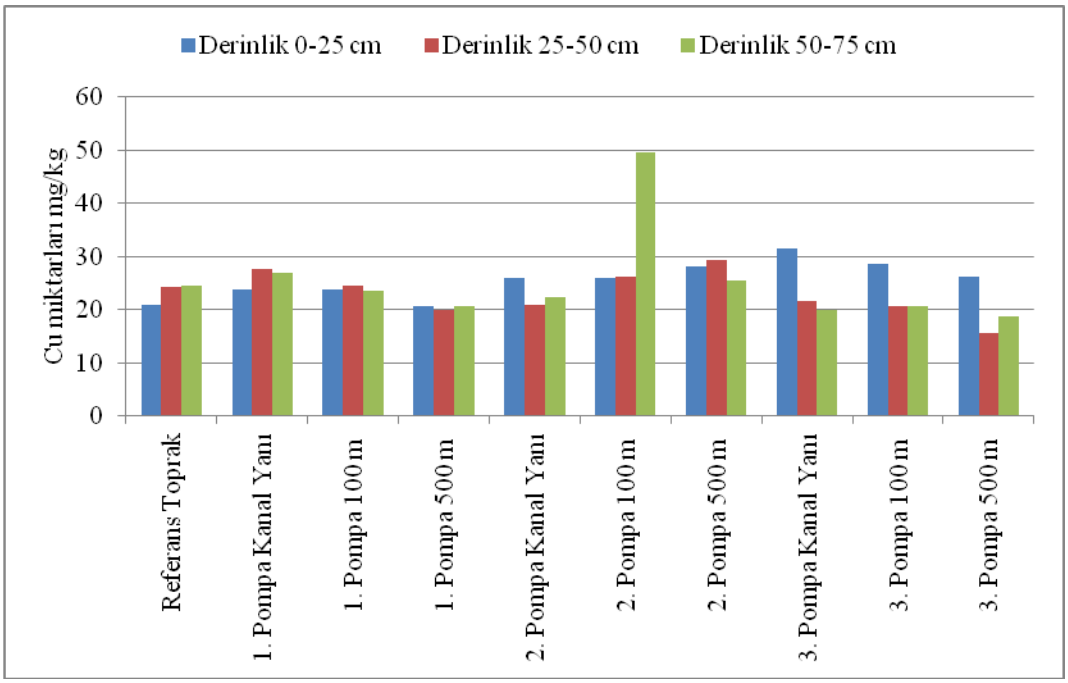
Karataş ve ark., (2007), Konya Ana Tahliye Kanalı Çengilli bölgesinde atıksularla sulanan tarım arazilerinde Pb miktarını yaklaşık olarak 9 mg/kg tespit etmişlerdir. Analiz sonuçları, bu çalışma ile karşılaştırıldığında Pb miktarının yüksek değerlerde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.2. Toprak örneklerinde tespit edilen Cr miktarları (mg/kg)

Cr'nin yerkabuğunda bulunuş sırası 21'dir ve yerkabuğunda bolca bulunur (Bradl, 2005b). Toprak örneklerinde en yüksek Cr miktarı 1 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm derinlikte tespit edilmiştir. Toprakta Cr miktarı pH ve kil miktarı arttıkça artar (Sarı, 2009). Referans toprakta pH 8.96-9.06 ve kil oranı %54-76.80, 1 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm de pH 9.31 ve kil oranı %78.74 olarak ölçülmüştür. 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde Cr miktarı yüksek, pH ise 9.07 olarak tespit edilmiştir. 3 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde Cr miktarı yüksek ve pH 9.02 olarak ölçülmüştür. Atıksu ile sulama sonucu toprakta Cr miktarının pH ve kil oranına bağlı olarak arttığı düşünülmektedir. 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde Cr miktarı da referans değerden yüksek tespit edilmiştir. Kil oranı referans değerin altında, pH ise referans değere eşit ölçülmüştür. 3 no'lu pompa 500 m içeride Cr miktarının atıksu ile sulama sonucu arttığı düşünülmektedir. 1 no'lu pompa 100 m içeri ve 2 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde Cr, referans değerden yüksek miktarda ölçülmüştür. pH değerleri sırasıyla 9.05 ve 9.07 olarak ölçülmüştür. Cr miktarının atıksu ile sulama ve pH'a bağlı olarak arttığı düşünülmektedir. 1 ve 3 no'lu pompada kanaldan 100 ve 500 m içeriye gidildikçe Cr miktarının azaldığı görülmüştür.

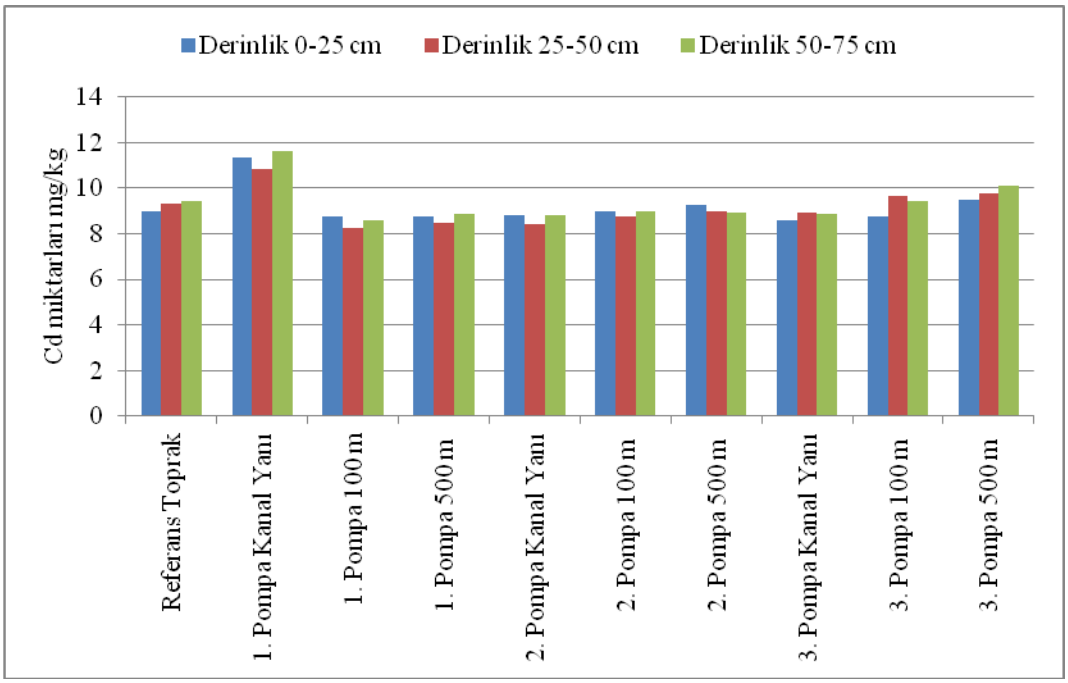
Karataş ve ark., (2007), çalışmalarında Cr miktarını yaklaşık olarak 22 mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Analiz sonuçları bu çalışma ile karşılaştırıldığında Cr miktarının yüksek değerlerde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.3. Toprak örneklerinde tespit edilen Cu miktarları (mg/kg)

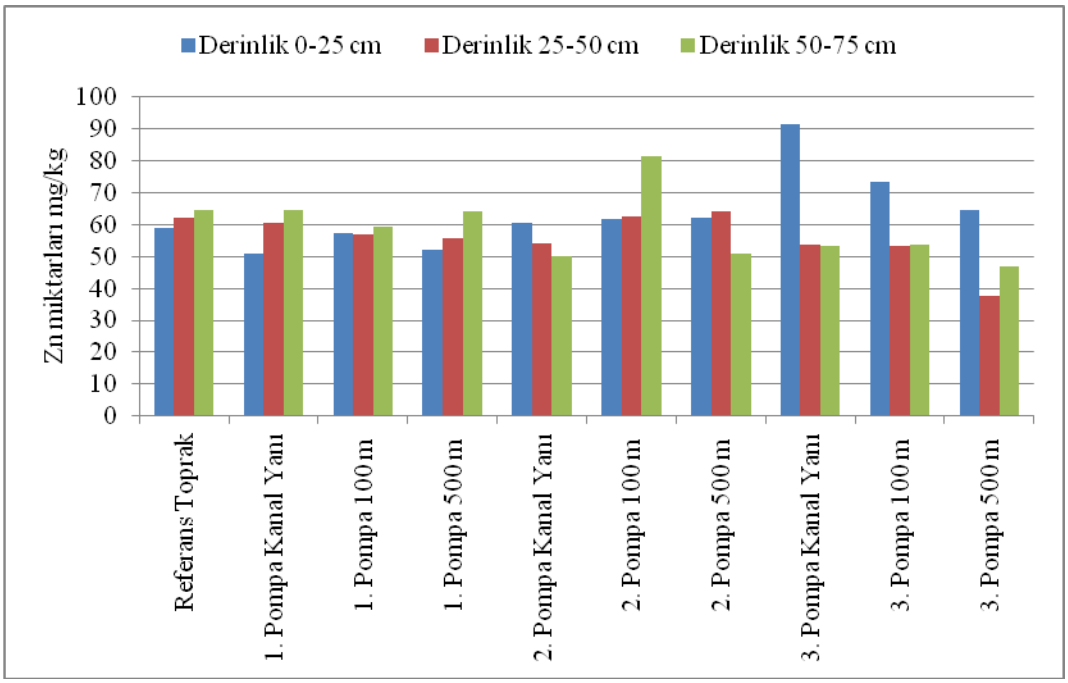
Cu miktarı 1 no'lu pompa kanal yanında yüksek miktarlarda bulunmuş ve kanaldan 100 m ve 500 m içeride bu değerler azalmıştır. 2 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm yüksek miktarda ölçülmüş ve derinlikle azalmıştır. 2 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm toprak örneklerinde Cu miktarı yüksek ölçülmüş ve derinlikle artmıştır. 50-75 cm derinlikte en yüksek Cu değeri ölçülmüş ve toprağın jeolojik yapısından kaynaklandığı düşünülmüştür. 2 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde de Cu miktarı yüksek ölçülmüştür. 3 no'lu pompada ise kanal yanı, 100 m ve 500 m içeriden 0-25 cm derinlikten alınan örneklerde Cu miktarları yüksek bulunmuştur. Genel olarak Cu toprak parçacıklarına kuvvetli bir şekilde bağlanma eğilimindedir. Toprak üst katmanında yüksek ve alt profillere doğru azalma gözlenmektedir. Bazı örneklerde alt profillerde yüksek çıkması, toprak ana yapısındaki Cu miktarının fazlalılığı olarak düşünülmüştür.

Karataş ve ark., (2007) çalışmalarında tespit ettikleri Cu miktarı yaklaşık olarak 18 mg/kg'dır. Uyanöz (1998), yaptığı çalışmada atıksularla 20 yıl sulanan tarım topraklarında (0-90 cm) en yüksek Cu değerini 14.68 mg/kg olarak tespit etmiştir. Analiz sonuçları bu çalışmalar ile karşılaştırıldığında Cu miktarının yüksek değerlerde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.4. Toprak örneklerinde tespit edilen Cd miktarları (mg/kg)

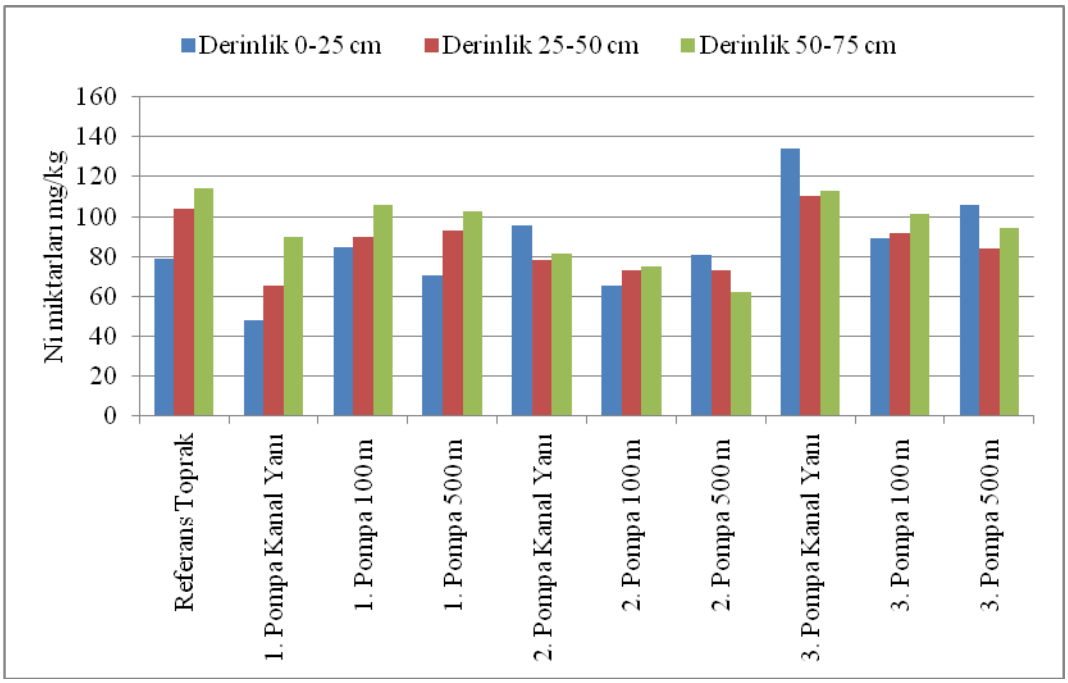
Toprakta kil miktarı arttıkça Cd miktarı da artar (Sarı, 2009). En yüksek Cd miktarları 1 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde tespit edilmiştir. 50-75 cm derinlikte Cd mikarı maksimum seviyede ölçülmüştür. 1 no'lu pompa kanal yanında kil oranlarının %65.39-78.74 ile en yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. Atıksu ile sulama ve kil oranına bağlı olarak 1 no'lu pompa kanal yanında Cd miktarlarında artış olduğu düşünülmüştür. Kanaldan 100 m ve 500 m içeriye gidildikçe Cd miktarının azaldığı görülmüştür. 2 no'lu pompa kanal yanı ve 100 m içeride Cd miktarlarında bir artış gözlenmemiştir. 2 no'lu pompada 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde Cd miktarında artış olduğu görülmüştür. Buradaki kil oranı referans değerden daha düşüktür. Cd miktarının atıksu ile sulama sonucu arttığı düşünülmektedir. 3 no'lu pompa kanal yanında Cd miktarlarında bir artış gözlenmemiştir. 3 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde 25-50 ve 50-75 cm derinliklerde Cd miktarında artış görülmüştür. Bu artışa toprağın jeolojik yapısının neden olduğu düşünülmüştür. 3 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak örneklerinde Cd miktarı yüksek bulunmuştur.



Şekil 4.5. Toprak örneklerinde tespit edilen Zn miktarları (mg/kg)

Zn yerkabuğunda 24. sırada (70 mg/kg) bulunmaktadır ve toprakta Zn miktarını pH ve kil oranı etkilemektedir (Bradl, 2005b). 1 no'lu pompa boyunca Zn miktarlarında bir artış gözlenmemiştir. 2 no'lu pompa kanal yanı, 100 m ve 500 m içeriden 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde Zn miktarının yükseldiği gözlenmiştir. 2 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm, 3 no'lu pompa kanal yanı ve 100m içeriden 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde önemli artışlar gözlenmiştir. 3 no'lu pompa kanal yanı ve 100 m içeride pH değerinin referans değerden yüksek olduğu görülmüştür. Kil oranları ile ilgili bir korelasyon gözlenmemiştir. Toprakta Zn miktarının artışında, 0-25 cm'de atıksu ile sulamanın 50-75 cm'de ise toprağın jeolojik özelliklerinin etkisi olduğu düşünülmektedir.

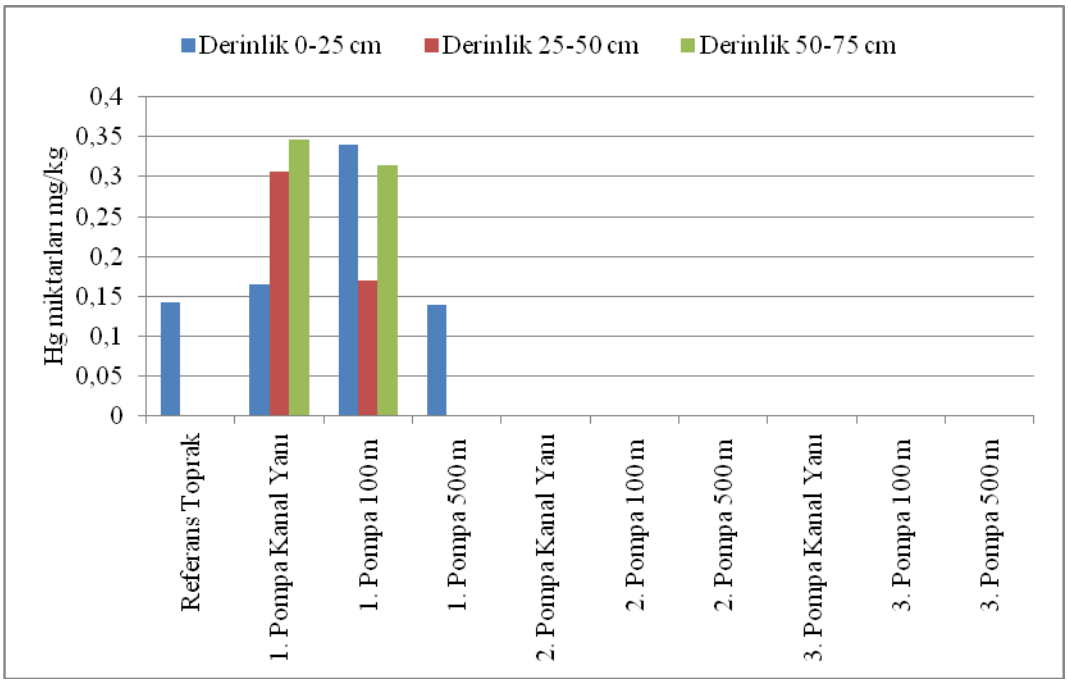
Uyanöz (1998), yaptığı çalışmada atıksularla 20 yıl sulanan tarım topraklarında (0-90 cm) Zn miktarını en yüksek 8.56 mg/kg olarak tespit etmiştir. Analiz sonuçları bu çalışma ile karşılaştırıldığında Zn miktarının yüksek değerlerde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.6. Toprak örneklerinde tespit edilen Ni miktarları (mg/kg)

Toprakta Ni içerikleri kil ve pH arttıkça artmaktadır (Sarı, 2009). 1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde Ni miktarında artış gözlenmiş ve bu noktada pH ile kil oranının referans değerlerden yüksek olduğu görülmüştür. 2 no'lu pompa kanal yanı ve 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde Ni miktarında artış gözlenmiştir. Bu noktalarda pH, kil oranı ve Ni miktarı arasında bir korelasyon gözlenmemiştir. 2 no'lu pompa 500 m içeri, 3 no'lu pompa kanal yanı ve 3 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm, 3 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde Ni miktarında ve pH değerinde artış gözlenmiştir. Atıksu ile sulamanın toprakta Ni miktarını artırdığı düşünülmektedir.

Karataş ve ark., (2007) yaptığı çalışmada Ni miktarı 75.40 mg/kg ile en yüksek değerde ölçülmüştür. Analiz sonuçları bu çalışma ile karşılaştırıldığında Ni miktarının daha yüksek değerlerde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.7. Toprak örneklerinde tespit edilen Hg miktarları (mg/kg)

Hg'nin topraktaki davranışında pH önemli bir faktördür (Bradl, 2005b). 1 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde Hg miktarında önemli artışlar gözlenmiştir. 1 no'lu pompa kanal yanında pH değerlerinin referans değerlerden yüksek olduğu görülmüştür. 1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak örneklerinde de Hg miktarında önemli artışlar görülmektedir. Atıksu ile sulama ve pH'a bağlı olarak toprakta Hg miktarının arttığı düşünülmektedir. Kanaldan 500 m içeride Hg miktarı düşmüş, 0-25 cm derinlik hariç, dedeksiyon limitinin altında kalmıştır. 1 no'lu pompadan sonra, kanal boyunca ve kanaldan içeride Hg miktarı dedeksiyon limitinin altında kalmıştır. Bunun nedeni olarak Hg'nin kanal boyunca çökeldiği düşünülmüştür.

2 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde Pb, Cu ve Zn miktarlarının referans değerlerden yüksek olduğu görülmüştür. Bu derinlikte ağır metal miktarının toprağın jeolojik yapısından dolayı yüksek çıktığı düşünülmektedir. Özellikle 3 no'lu pompa boyunca kirliliğin yoğun olduğu görülmektedir. 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Pb, Cr, Cu, Zn ve Ni miktarlarının, 3 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise Cr, Cu, Zn ve Ni miktarlarının ve 500 m içeri 0-25 cm'de ise Pb, Cr, Cu, Cd, Zn ve Ni değerlerinin referans değerlerden yüksek olduğu görülmüştür. Atıksu ile sulamanın ve karayoluna yakın olmasının 3 no'lu pompa boyunca toprakta ağır metal miktarını artırdığı düşünülmektedir.

4.5. Referans Değer Bazında Sahanın Ağır Metal Sapma Değerlerinin Değerlendirilmesi

Toprak örnekleri için ağır metal analiz sonuçları, TKKNKKSDY (2010), Ek 9'a göre değerlendirilmiştir. Yönetmeliğe göre herhangi bir noktasal kaynak veya insan faaliyeti nedeniyle kirlenmiş olduğu düşünülen/varsayılan alandan alınan toprak, yüzey suyu, yeraltı suyu, gaz örneklerinde hedef kirleticilerin konsantrasyon ölçümleri yapılır ve bu sonuçlar ölçüm değeri (ÖD) olarak adlandırılır. Buna göre hedef kirleticilerin konsantrasyon ölçümleri (ÖD), sahaya özgü referans değeri (RD) ile karşılaştırılır.

Referans değeri (RD), şüpheli saha yakın çevresinde bulunan, herhangi bir noktasal kaynak veya insan faaliyeti nedeniyle kirlenmemiş (temiz) olduğu düşünülen/varsayılan alandan alınan toprak, yüzey suyu, yeraltı suyu örneklerinde hedef kirletici konsantrasyonu ölçümleri ile belirlenir. Sahada ölçülen değerlerin referans değerler ile karşılaştırması yapılır ve referans değerden sapma düzeyine bakılır. Sapma düzeyi, sahanın, herhangi bir noktasal kaynaklı faaliyet nedeniyle etkilenip etkilenmediğini belirlemede ve dolayısıyla, izlenecek yolu işaret etmekte kullanılır.

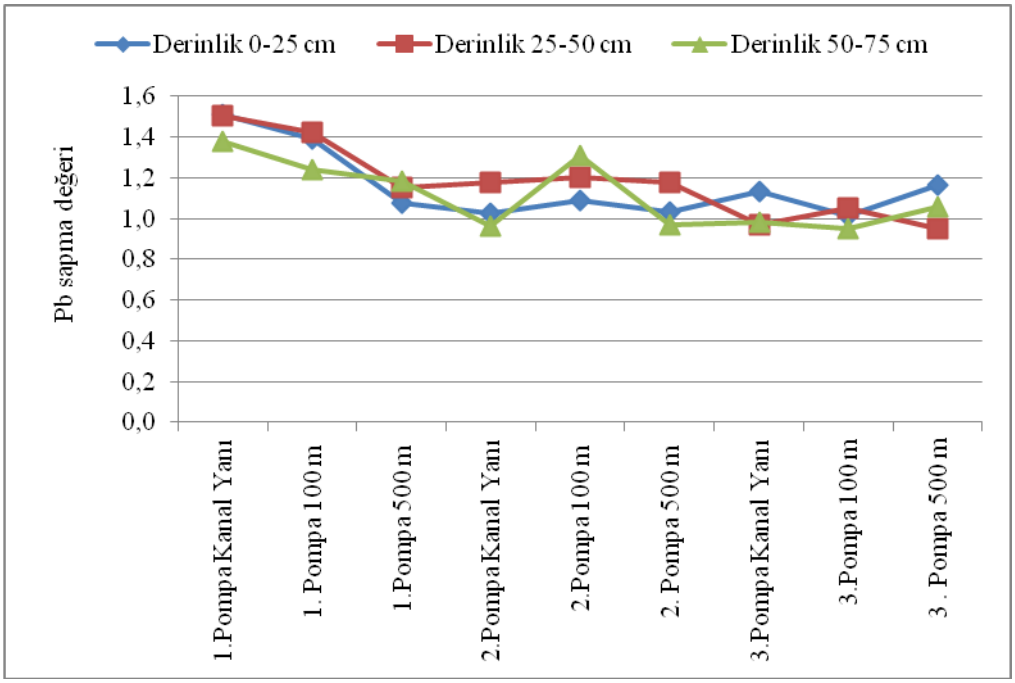
$$\text{Sapma} = \frac{\text{Maksimum Ölçüm Degeri } (\text{ÖD}_{\text{maks}})}{\text{Referans Degeri (RD)}}$$

Değerlendirme Çizelge 4.7'ye göre yapılmıştır. Buna göre, eğer maksimum ölçülen değerin referans değere oranı 1 veya 1'den küçükse; sahanın Takip Gerektirmeyen Saha, sapma değeri 1-25 değerleri arasında ise; saha İkinci Aşama Değerlendirmeye tabi Takip Gerektiren Saha, sapma değeri 25' ten büyükse, kirliliğin fazla ve tehlikeli olduğuna kanaat getirilir ve saha temizlenmesi gereken Kirlenmiş Saha olarak tespit edilir.

Çizelge 4.6. Referans değer bazında sahanın kirlilik değerlendirmesi

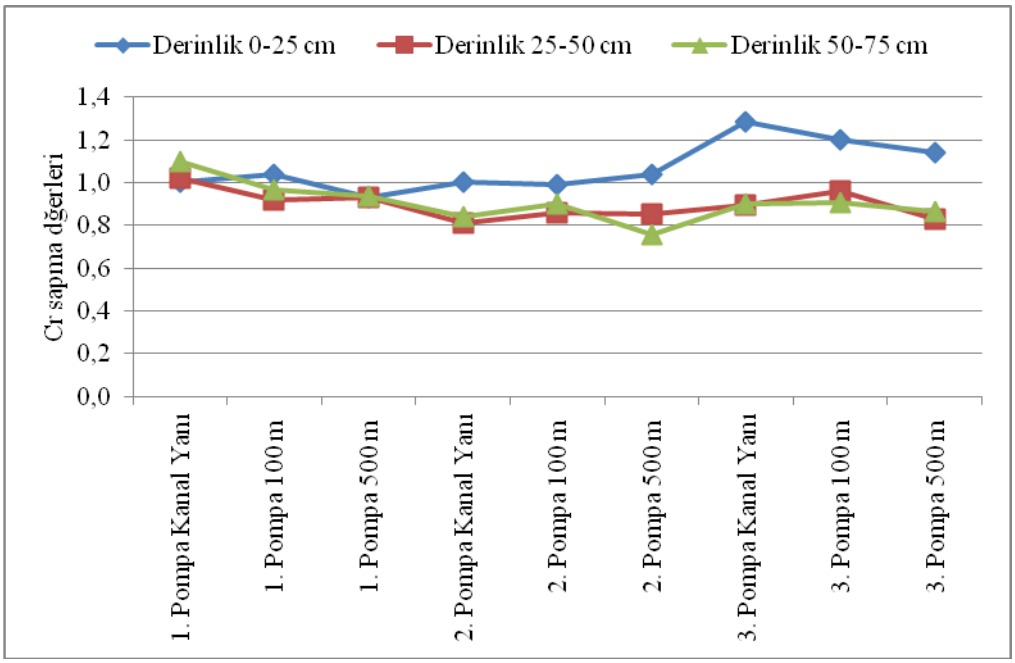
Kriter (Sapma=Ölçülen Değer/Referans Değer	**Değerlendirme**
≤ 1	Takip Gerektirmeyen Saha
>1	İkinci Aşama Değerlendirme sürecine tabi Takip Gerektiren Saha
>25	Bakanlıkça belirlenen süreç uyarınca temizlenmesi gereken Kirlenmiş Saha

TKKNKKSDY (2010) Ek 9'a göre belirlenen sapma değerlerinin grafikleri aşağıda gösterilmiştir.



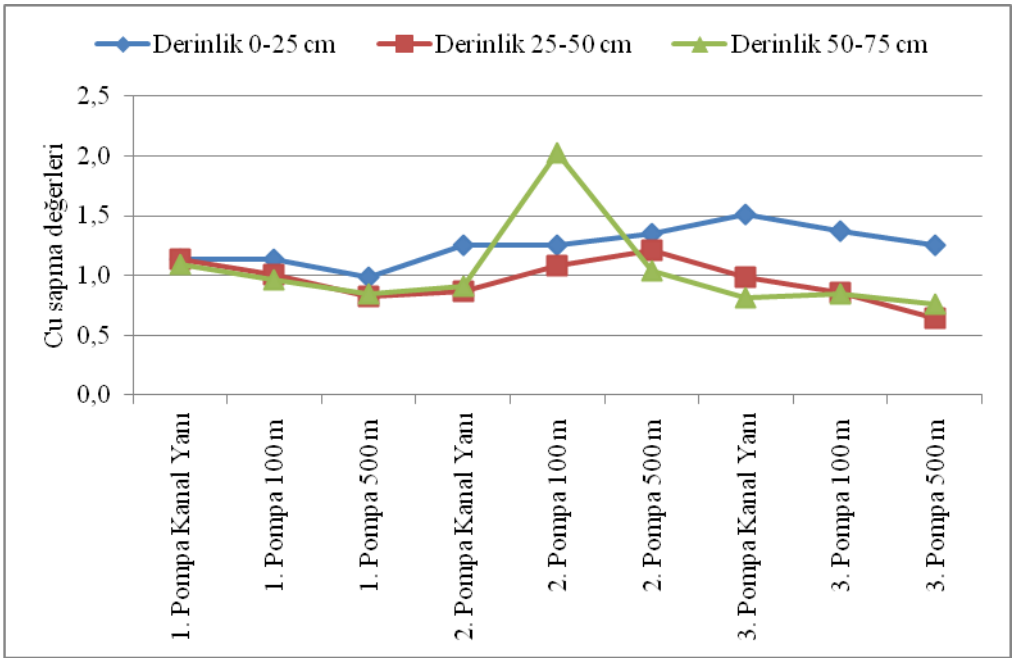
Şekil 4.8. Referans değer bazında sahanın Pb sapma değerleri

Pb'nin sapma değerleri 1.5 ile en yüksek 1 no'lu pompa kanal yanı 0-25 ve 25-50 cm derinlikten alınan örneklerde tespit edilmiştir. 2 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm ve 50-75 cm, 2 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm ve 50-75 cm, 3 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm ve 50-75 cm, 3 nolu pompa 100 m içeri 0-25 cm ve 50-75 cm, 3 no'lu pompa 500 m içeri 25-50 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde Pb'nin sapma değeri <1' dir. Bu noktaların dışında kalan 1 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm, 1 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm, 25-50 cm ve 50-75 cm, 1 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm, 25-50 cm ve 50-75 cm, 2 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm, 2 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm, 25-50 cm ve 50-75 cm, 2 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm ve 25- 50 cm, 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm, 3 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm, 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm ve 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise sapma değeri >1'dir ve Pb açısından Takip Gerektiren Saha olarak sınıflandırılmıştır.



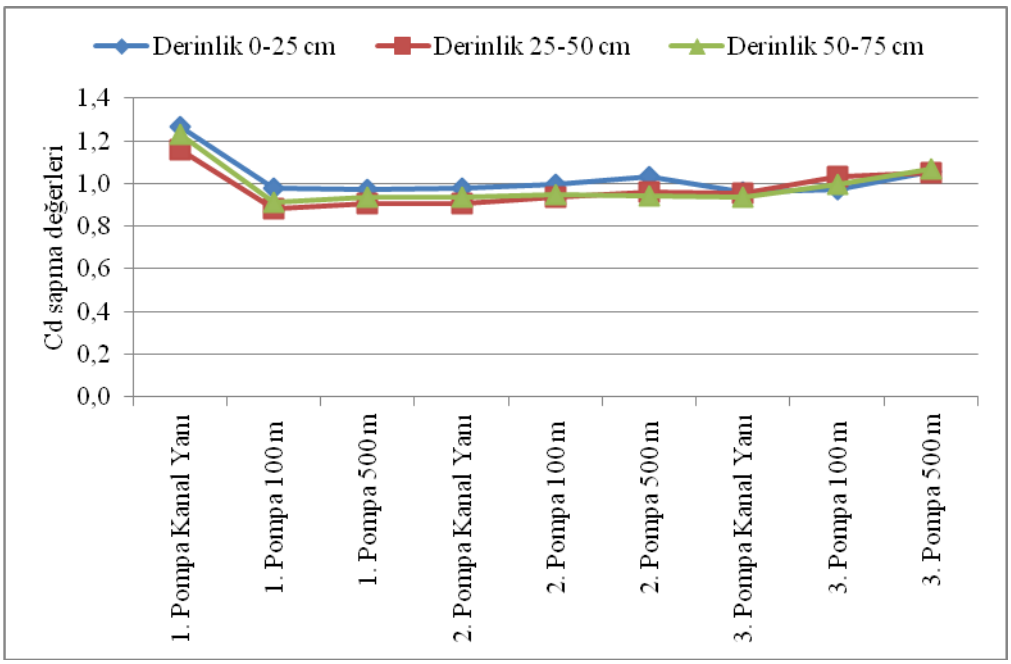
Şekil 4.9. Referans değer bazında sahanın Cr sapma değerleri

Cr' nin sapma değerleri incelendiğinde, 1.3 ile 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneğinde en yüksek değere ulaştığı görülmüştür. Ayrıca 1 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm, 3 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm, 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneğinde sapma değeri >1 olarak tespit edilmiştir. Bu noktalar Cr açısından Takip Gerektiren Saha olarak sınıflandırılmıştır.



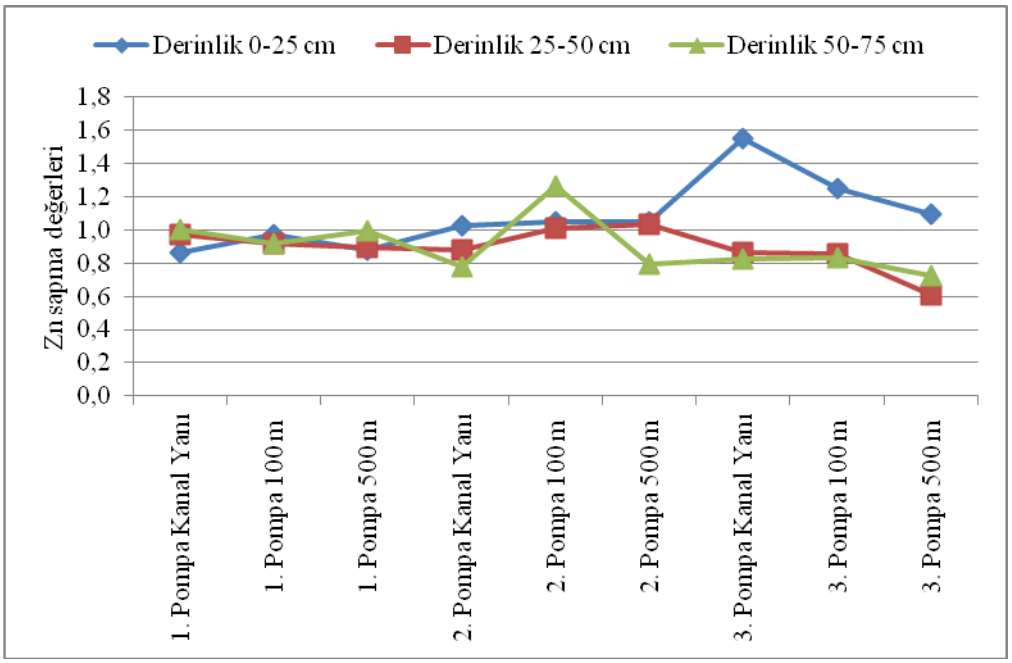
Şekil 4.10. Referans değer bazında sahanın Cu sapma değerleri

Cu'nun sapma değerleri incelendiğinde, 2 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneğinde sapma değerinin 2.0 ile en yüksek değerde olduğu görülmüştür. Ayrıca 1 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm, 25-50 cm ve 50-75 cm, 1 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm, 2 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm, 2 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm ve 25-50 cm, 2 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cmve 25-50 cm, 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm, 3 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm, 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde Cu'nun sapma değeri >1 olarak bulunmuş ve bu sahalar Cu açısından Takip Gerektiren Saha olarak sınıflandırılmıştır.



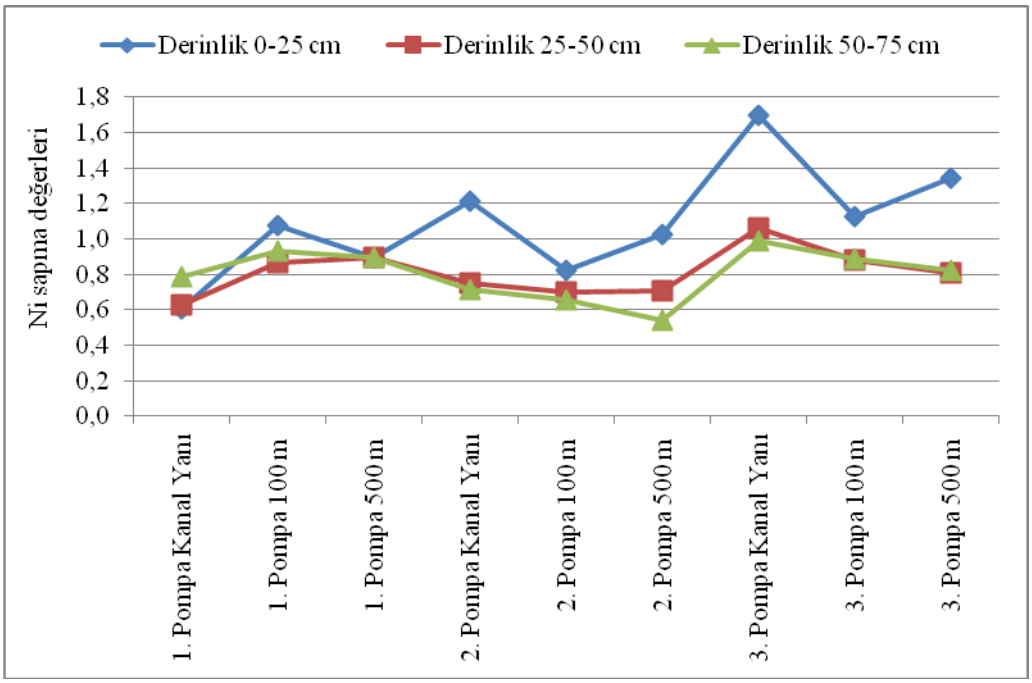
Şekil 4.11. Referans değer bazında sahanın Cd sapma değerleri

Cd' nin sapma değerleri incelendiğinde, 1 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneğinde sapma değerinin 1.3 olduğu görülmüştür. 1 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm ve 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde ise sapma değeri 1.2 olarak bulunmuştur. Ayrıca, 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm ve 50-75 cm içeriden alınan toprak örneklerinde de sapma değeri >1 olarak bulunmuştur. Bu sahalar Cd açısından Takip Gerektiren Saha olarak sınıflandırılmıştır.



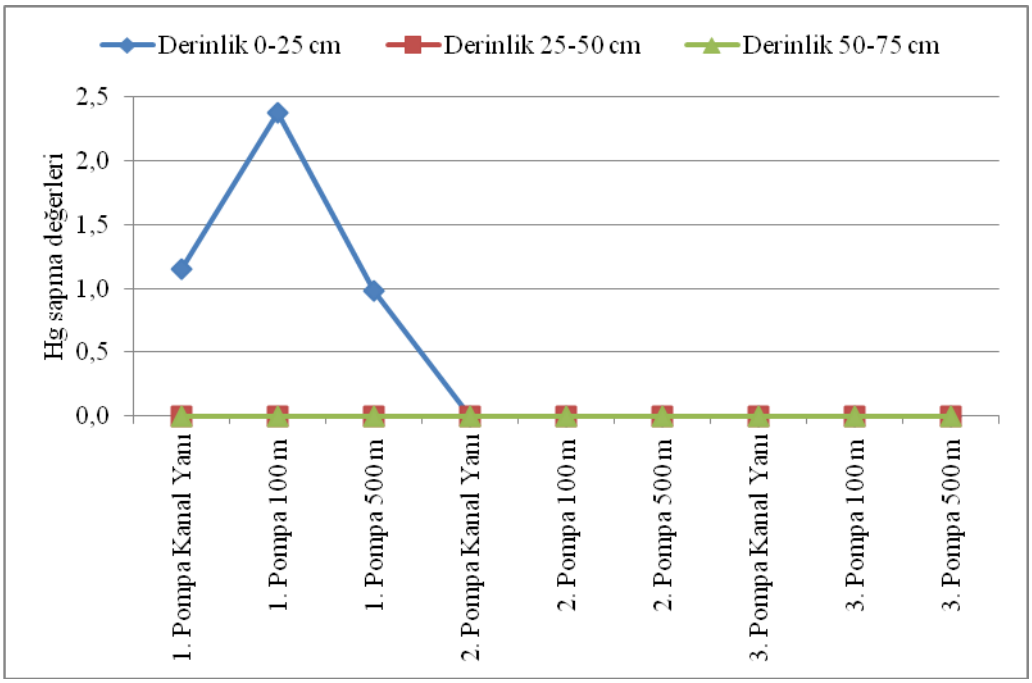
Şekil 4.12. Referans değer bazında sahanın Zn sapma değerleri

Zn' nin sapma değerleri incelendiğinde, 1.6 ile en yüksek değer 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneğinde görülmüştür. Ayrıca, 2 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm derinlikten alınan toprak örneğinde sapma değeri 1.3, 3 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneğinde ise Zn'nin sapma değeri 1.2 olarak bulunmuştur. Ayrıca 2 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm, 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde de sapma değeri > 1 bulunmuş ve bu sahalar Zn açısından Takip Gerektiren Saha olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 4.13. Referans değer bazında sahanın Ni sapma değerleri

Ni'nin sapma değerleri incelendiğinde, 1.7 ile en yüksek değer 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneğinde görülmüştür. 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneğinde Ni'nin sapma değeri 1.3, 2 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneğinde ise sapma değeri 1.2 olarak bulunmuştur. Ayrıca 1 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm, 3 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm ve 3 no'lu pompa 100 içeri 0-25 cm derinlikten alınan örneklerde sapma değeri >1 olarak bulunmuş ve bu sahalar Ni açısından Takip Gerektiren Saha olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 4.14. Referans değer bazında sahanın Hg sapma değerleri

Hg miktarları, 2 ve 3 no'lu referans örneklerinde dedeksiyon limitinin altında ölçüldüğünden yalnızca 3 noktada sapma değeri hesaplanmıştır. 1 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde sapma değeri 1.2, 1 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan örnekte Hg'nin sapma değeri 2.4 olarak tespit edilmiş ve bu sahalar Hg açısından Takip Gerektiren Saha olarak sınıflandırılmıştır. 1 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan örnekte ise sapma değeri 1.0 olarak tespit edilmiş ve ≤ 1 olduğundan Takip Gerektirmeyen Saha olarak sınıflandırılmıştır.

4.5. Buğday Örneklerinde Tespit Edilen Ağır Metal Miktarları

Ana Tahliye Kanalı 1 nolu pompa kanal yanı, 2 nolu pompa kanal yanı, 3 nolu pompa kanal yanı, 100 m ve 500 m içeride atıksular ile sulanan topraklarda yetişen, temiz su ile sulanan referans topraklarda yetişen buğday tanelerinde tespit edilen ağır metal miktarları Çizelge 4.6.'da verilmiştir.

Çizelge 4.7. Buğday tanelerinde tespit edilen ağır metal miktarları (mg/kg)

No	Numune Noktası	Pb	Cr	Cu	Cd	Zn	Ni	Hg
1	Referans buğday	0.20	1.84	9.10	<dl	19.81	0.56	<dl
2	1 no'lu pompa, kanal yanı	0.09	0.73	7.61	<dl	19.43	0.52	<dl
3	1 no'lu pompa, 100 m içeri	0.01	0.55	5.27	<dl	24.23	0.37	<dl
4	1 no'lu pompa, 500 m içeri	5.38	1.00	6.98	<dl	22.38	0.63	<dl
5	2 no'lu pompa, kanal yanı	13.35	1.40	7.41	<dl	23.36	0.35	<dl
6	2 no'lu pompa, 100 m içeri	10.42	1.19	7.98	<dl	22.86	0.94	<dl
7	2 no'lu pompa, 500 m içeri	0.02	1.87	7.25	<dl	29.30	0.26	<dl
8	3 no'lu pompa, kanal yanı	0.005	1.18	6.84	<dl	14.43	0.61	<dl
9	3 no'lu pompa, 100 m içeri	3.00	0.78	6.09	<dl	17.84	0.64	<dl
10	3 no'lu pompa 500 m içeri	8.18	1.17	6.24	<dl	24.06	0.73	<dl

<dl: dedeksiyon limitinin altında

Referans buğdayda Pb miktarı 0.20 mg/kg'dır. Buğday tanelerinde en düşük değer 0.005 mg/kg ile 3 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde, en yüksek değer ise 13.35 mg/kg ile 2 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde tespit edilmiştir. Buğday örneklerindeki Pb miktarı 1 no'lu pompa kanal yanında 0.09 mg/kg iken, 500 m içeride 5.38 mg/kg olarak ölçülmüştür. 2 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde Pb miktarı 13.35 mg/kg, 100 m içeride 10.42 mg/kg ve 500 m içeride 0.02 mg/kg ile buğday tanelerindeki Pb miktarında bir azalma gözlenmiştir. 3 no'lu pompa kanal yanından alınan buğday tanelerinde Pb miktarı 0.005 mg/kg ile en düşük değerde iken, 100 m içeride 3.00 mg/kg ve 500 m içeride ise 8.18 mg/kg değerine ulaşmıştır.

Referans buğdayda Cr miktarı 1.84 mg/kg'dır. Buğday tanelerinde en düşük değer 0.55 mg/kg ile 1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde, en yüksek değer ise 1.87 mg/kg ile 2 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde tespit edilmiştir. Referans toprakta gübre uygulanmasının sonucu olarak referans buğdayda Cr miktarının yükseldiği düşünülmüştür. Buğday tanelerinde Cr miktarı 1 no'lu pompa kanal yanında 0.73 mg/kg, kanaldan 100 m içeride 0.55 mg/kg ve 500 m içeride ise 1.00 mg/kg olduğu tespit edilmiştir. 2 no'lu pompa kanal yanındana alınan buğday tanelerinde Cr miktarı 1.40 mg/kg, 100 m içeride 1.19 mg/kg ve 500 m içeride 1.87 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa kanal yanından alınan buğday tanelerinde Cr miktarı 1.18 mg/kg, kanaldan 100 m içeride 0.78 mg/kg ve kanaldan 500 m içeride 1.17 mg/kg olarak tespit edilmiştir.

Referans buğdayda Cu miktarı 9.10 mg/kg'dır. Buğday tanelerinde en düşük değer 5.27 mg/kg ile 1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde, en yüksek değer ise 7.98 mg/kg ile 2 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde tespit edilmiştir.

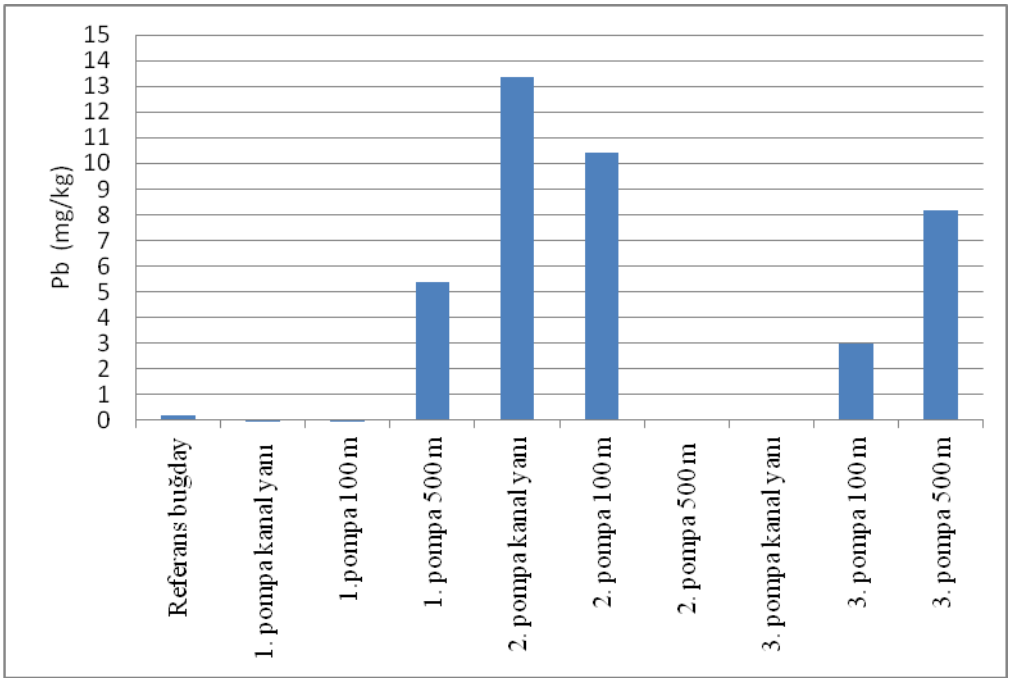
Buğday tanelerindeki Cu miktarı referans değerin altında tespit edilmiştir. Referans toprakta gübre kullanılmasının sonucu olarak referans buğdayda Cu miktarının yüksek çıktığı düşünülmektedir. 1 no'lu pompa kanal yanından alınan buğday tanelerinde Cu miktarı 7.61 mg/kg, kanaldan 100 m içeride 5.27 mg/kg ve kanaldan 500 m içeride ise 6.98 mg /kg olarak ölçülmüştür. 2 no'lu pompa kanal yanından alınan buğday tanelerinde Cu miktarı 7.41 mg/kg, 100 m içeride 7.98 mg/kg ve 500 m içeride ise 7.25 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa kanal yanından alınan buğday tanelerinde Cu miktarı 6.84 mg/kg, 100 m içeride 6.09 mg/kg ve 500 m içeride ise 6.24 mg/kg olarak tespit edilmiştir.

Cd miktarı referans buğdayda ve buğday örneklerinde dedeksiyon limitinin altında tespit edilmiştir.

Referans buğdayda Zn miktarı 19.81 mg/kg'dır. Buğday tanelerinde en düşük değer 14.43 mg/kg ile 3 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde, en yüksek değer ise 29.30 mg/kg ile 2 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde tespit edilmiştir. 1 no'lu pompa kanal yanından alınan buğday tanelerinde, Zn miktarı 19.43 mg/kg ile referans değerden düşük, 100 m içeride 24.23 mg/kg ve 500 m içeride 22.38 mg/kg ile referans değerden yüksek olarak ölçülmüştür. 2 no'lu pompa kanal yanından alınan buğday tanelerinde 23.36 mg/kg, 100 m içeriden alınan buğday tanelerinde 22.86 mg/kg ve 500 m içeride ise 29.30 mg/kg ile referans değerden daha yüksek tespit edilmiştir. 3 no'lu pompa kanal yanından alınan buğday tanelerinde Zn miktarı 14.43 mg/kg ve 100 m içeriden alınan örneklerde de 17.84 mg/kg ile referans değerden düşük miktarda ölçülmüştür. Kanaldan 500 m içeride ise 24.06 mg/kg ile referans değerden yüksek tespit edilmiştir.

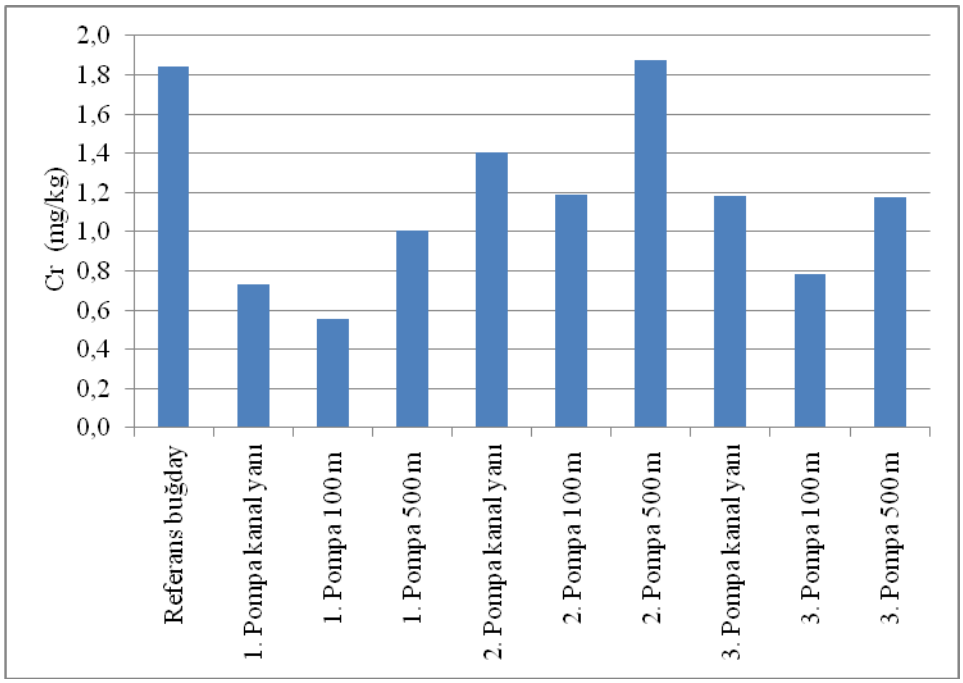
Referans buğdayda Ni miktarı 0.56 mg/kg'dır. Buğday tanelerinde en düşük değer 0.26 mg/kg ile 2 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde, en yüksek değer ise 0.94 mg/kg ile 2 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde tespit edilmiştir. 1 no'lu pompa kanal yanından alınan buğday tanelerinde Ni miktarı 0.52 mg/kg, 100 m içeriden alınan örneklerde 0.37 mg/kg ve 500 m içeride ise 0.63 mg/kg olarak tespit edilmiştir. 2 no'lu pompa kanal yanından alınan buğday tanelerinde Ni miktarı 0.35 mg/kg, 100 m içeride 0.94 mg/kg ve 500 m içeride 0.26 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa kanal yanından alınan buğday tanelerinde Ni miktarı 0.61 mg/kg, 100 m içeride 0.64 mg/kg ve 500 m içeride ise 0.73 mg/kg olarak tespit edilmiştir.

Hg miktarı referans buğdayda ve buğday örneklerinde dedeksiyon limitinin altında tespit edilmiştir.



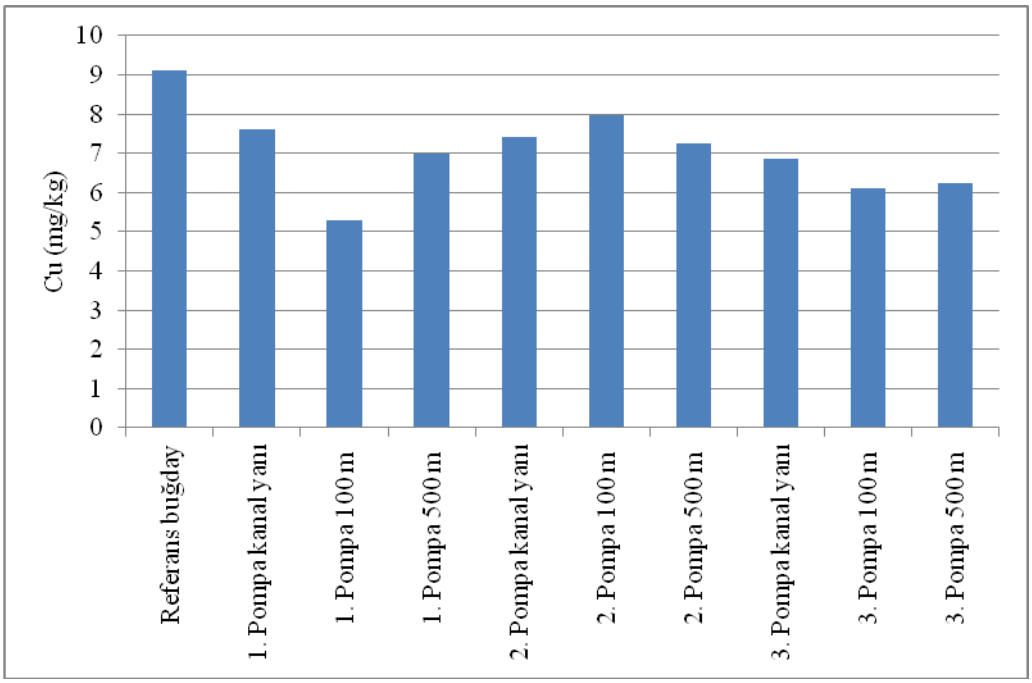
Şekil 4.15. Buğday tanelerinde tespit edilen Pb miktarları (mg/kg)

Buğday tanelerinde en düşük Pb değeri 3 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde, en yüksek değer ise 2 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde tespit edilmiştir. Buğday tanelerindeki Pb miktarı 1 no'lu pompa kanal yanında referans değerden düşük iken, 500 içeride referans değerden yüksek çıkmıştır. 2 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde Pb miktarı maksimum değerde iken, 100 m ve 500 m içeride örneklerde tespit edilen Pb miktarı azalmıştır. 3 no'lu pompa kanal yanında Pb miktarı en düşük değerde iken, kanaldan 100 m ve 500 m içeride buğday tanelerinde Pb miktarında artış meydana gelmiştir.



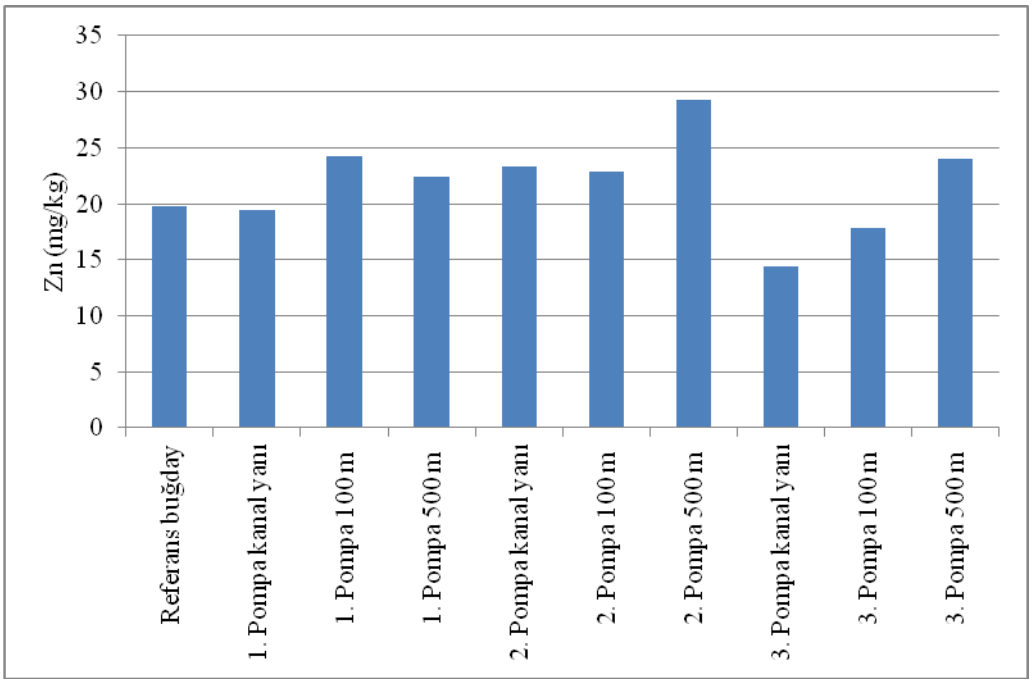
Şekil 4.16. Buğday tanelerinde tespit edilen Cr miktarları (mg/kg)

Buğday tanelerinde en düşük Cr değeri 1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde, en yüksek değer ise 2 no'lu pompa 500 m içeriden alınan buğday tanelerinde tespit edilmiştir. Cr miktarı yalnızca 2 no'lu pompa 500 m içeriden alınan buğday tanelerinde referans değerden yüksek tespit edilmiştir. Buğday tanelerindeki Cr miktarının 1 no'lu pompa kanal yanı, 100 m ve 500 m içeride referans değerden düşük olduğu gözlenmiştir. Ancak 1 no'lu pompa 500 m içeride Cr miktarı, kanal yanı ve 100 m içeriden alınan örneklere göre artış göstermiştir. 2 no'lu pompa kanal yanı ve 100 m içeriden alınan buğday tanelerinde Cr miktarı referans değerden düşük tespit edilmiştir. Kanal yanından alınan örneklerde Cr miktarı 100 m içeriden alınan örneklerden daha yüksek değerdedir. 2 no'lu pompa 500 m içeride ise buğday tanelerinde Cr miktarı referens değerden yüksek ölçülmüş ve maksimum değere ulaşmıştır. 3 no'lu pompa kanal yanı, 100 m ve 500 m içeriden alınan buğday tanelerinde ise en yüksek değer kanal yanında ölçülmüştür. Cr miktarı 100 m içeride azalmış ve 500 m içeride tekrar artmıştır. Kanaldan 100 m içeriden alınan bütün buğday tanelerindeki Cr miktarı, kanal yanı ve 500 m içeriden alınan örneklere göre daha düşük miktardadır.



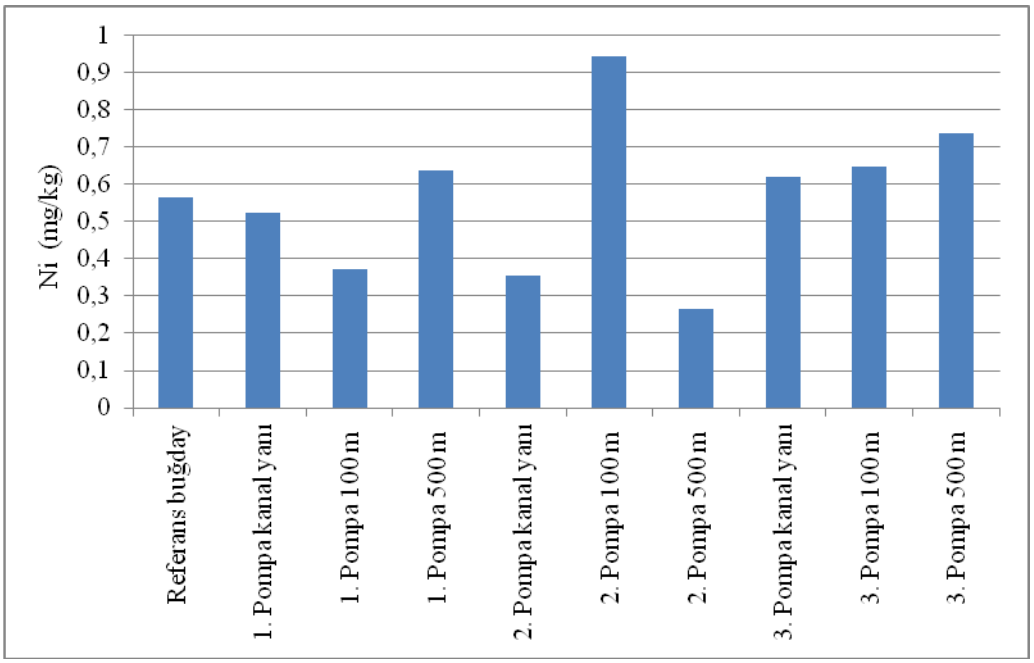
Şekil 4.17. Buğday tanelerinde tespit edilen Cu miktarları (mg/kg)

Buğday tanelerinde en düşük Cu değeri, 1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde, en yüksek Cu değeri ise 2 no'lu pompa 100 m içeriden alınan buğday tanelerinde tespit edilmiştir. Buğday tanelerindeki Cu değerleri örneklerin tümünde referans değerden düşüktür. 1 no'lu pompa kanal yanı ve 500 m içeride Cu miktarı, 100 m içeriden alınan örneklere göre daha yüksek değerdedir. 2 no'lu pompadan alınan buğday tanelerinde Cu miktarında bir artış gözlenmiştir. 2 no'lu pompa kanal yanında 7.41 mg/kg, 100 m içeride 7.98 mg/kg ve 500 m içeride ise 7.25 mg/kg'dır. 3 no'lu pompa kanal yanında Cu miktarı, 100 m ve 500 m içeriden alınan örneklere göre daha yüksek düzeyde tespit edilmiştir.



Şekil 4.18. Buğday tanelerinde tespit edilen Zn miktarları (mg/kg)

Buğday tanelerinde en düşük Zn değeri 3 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde, en yüksek Zn değeri ise 2 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde görülmüştür. 1 no'lu pompa kanal yanında referans değerden düşüktür. Kanaldan 100 m içeride Zn miktarı artış göstermiş, 500 m içeriden alınan buğday tanelerinde Zn miktarı azalmıştır. 2 no'lu pompa kanal yanında ve 100 m içeride referans değerden yüksek ve 500 m içeride ise buğday örneklerinde maksimum seviyededir. 3 no'lu pompa kanal yanından ve 100 m içeriden alınan örneklerde Zn miktarı referans değerin altına düşmüş ve 500 m içeriden alınan örneklerde artış görülmüş ve referans değerden yüksek tespit edilmiştir.



Şekil 4.19. Buğday tanelerinde tespit edilen Ni miktarları (mg/kg)

Buğday tanelerinde en düşük Ni değeri 2 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde, en yüksek Ni değeri ise 2 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde görülmüştür. 1 no'lu pompa kanal yanında referans değerden düşüktür. 1 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde Ni miktarı azalmış ve 500 m içeride ise artış göstermiş ve referans değerden yüksek tespit edilmiştir. 2 no'lu pompa kanal yanında Ni miktarı referans değerden düşüktür. 2 no'lu pompa 100 m içeride artış göstermiş ve buğday örneklerinde maksimum değere ulaşmıştır. 2 no'lu pompa 500 m içeride ise örneklerde Ni miktarı azalmış ve referans değerden düşük olduğu tespit edilmiştir. 3 no'lu pompa kanal yanında referans değerden yüksek tespit edilmiş, 100 m ve 500 m içeride ise artış göstermiştir.

Karataş ve ark. (2007), bölgede yaptıkları çalışmada buğday başağında Cu, Cr, Ni ve Pb miktarlarını tayin etmişlerdir. Cu miktarını en yüksek 5.4 mg/kg olarak ölçmüşlerdir. Cr miktarını başak kısmında 5.47 mg/kg, Ni miktarını 9.92 mg/kg ve Pb miktarını 1.63 mg/kg olarak ölçmüşlerdir. Bu çalışma ile karşılaştırıldığında buğday örneklerinde Ni ve Cr miktarlarının düşük, Cu ve Pb miktarlarının ise yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Uyanöz (1998), bölgede yaptığı çalışmada, atıksularla 20 yıl sulanan tarım arazilerinde yetiştirilen buğdayda Zn miktarını 47,92 mg/kg, Cu miktarını 33.70 mg/kg olarak ölçmüştür. Bu çalışma ile karşılaştırıldığında Cu ve Zn miktarı daha yüksek bulunmuştur.

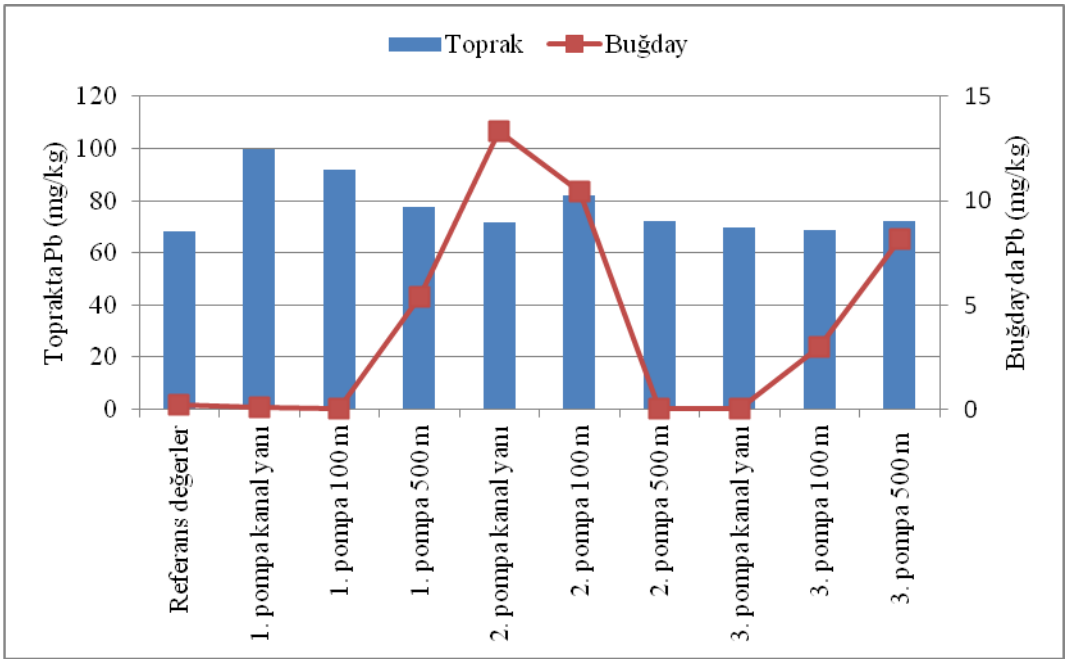
Huang ve ark. (2007), buğdayda Zn miktarını 22.4 mg/kg, Cd 0.15 mg/kg, Cu 4.1 mg/kg, Hg 0.0007 mg/kg olarak tespit etmişlerdir.

Qislaqi ve ark. (2008), buğdayda ortalama değerleri Pb 25.40 mg/kg, Ni 23.39, ve ıspanak ve marulda Cd değerlerini sırasıyla, 3.59 mg/kg ve 2.17 mg/kg tespit etmişlerdir.

Doğan (2003), soğanda ağır metal miktarlarını 6.23 µg/g Zn, 5.82 µg/g Cu, 6.15 µg/g Cd, 2.22 µg/g Pb olarak tespit etmiştir.

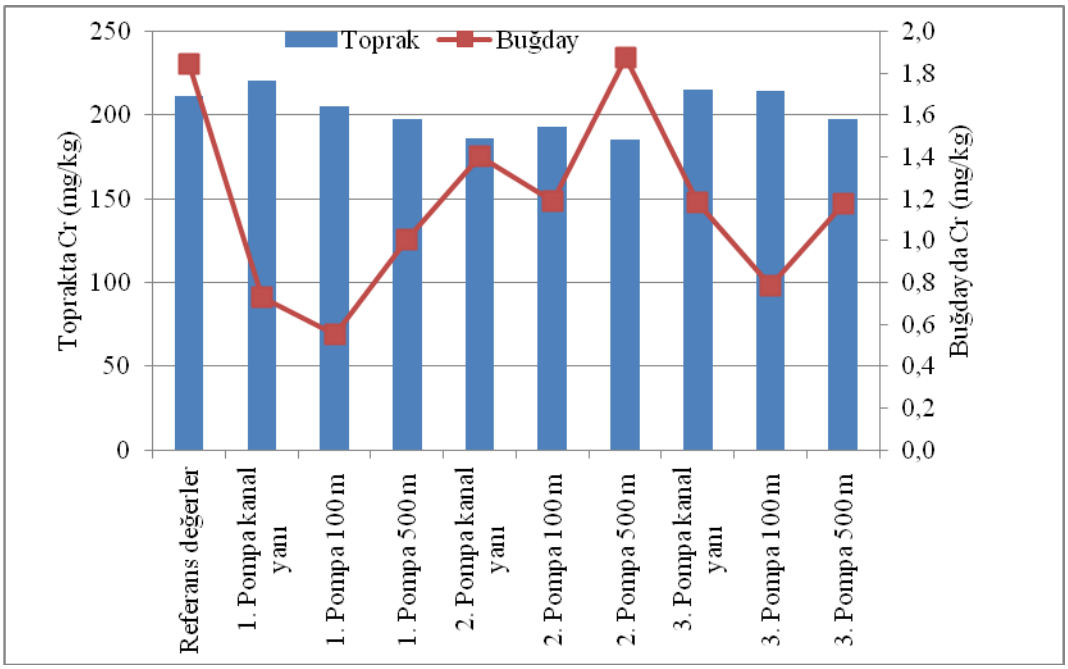
4.6. Toprak ve Buğday Örneklerinde Tespit Edilen Ağır Metal Miktarlarının Değerlendirilmesi

Örnekleme noktalarından alınan toprak ve buğdayda bulunan ağır metal miktarları aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.



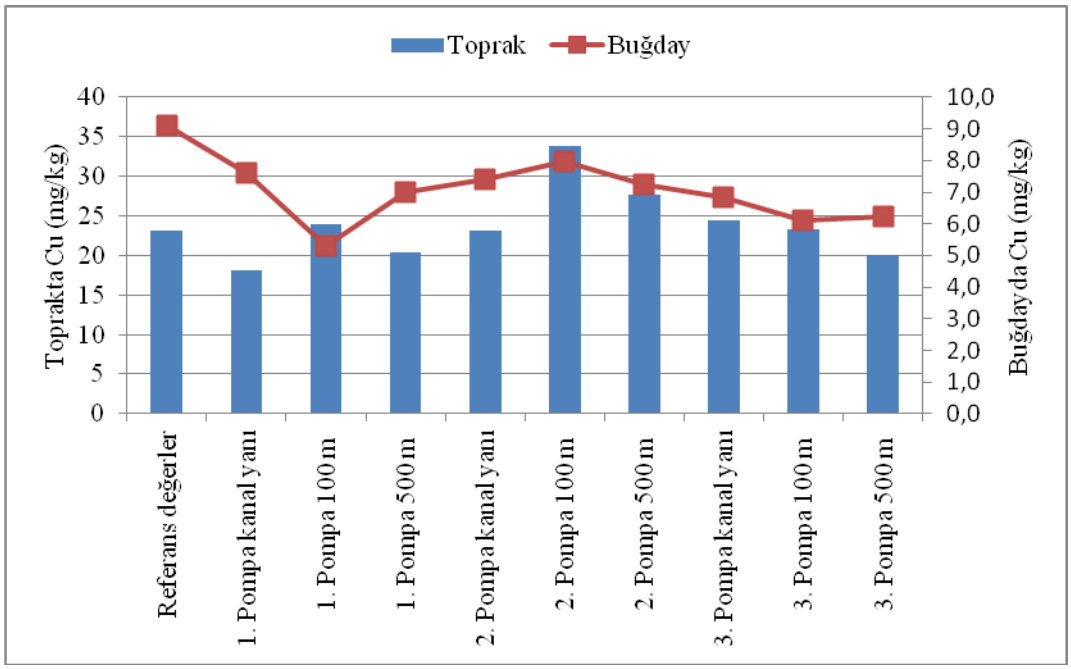
Şekil 4.20. Örnekleme noktalarında buğday ve toprakta Pb miktarlarının değerlendirilmesi (Toprak için ortalama değer alınmıştır)

Toprak ve buğday örneklerinde bulunan Pb miktarlarında düzensiz bir dağılım gözlenmiştir. 1 no'lu pompa 500 m içeriden alınan buğday tanelerinde Pb miktarı maksimum seviyede iken, toprakta maksimum Pb miktarı ise 2 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak örneklerinde tespit edilmiştir. 1 no'lu pompa kanal yanından alınan buğday örneklerinde ise Pb miktarı düşük miktarda tespit edilmiştir (R^2=0.0385).



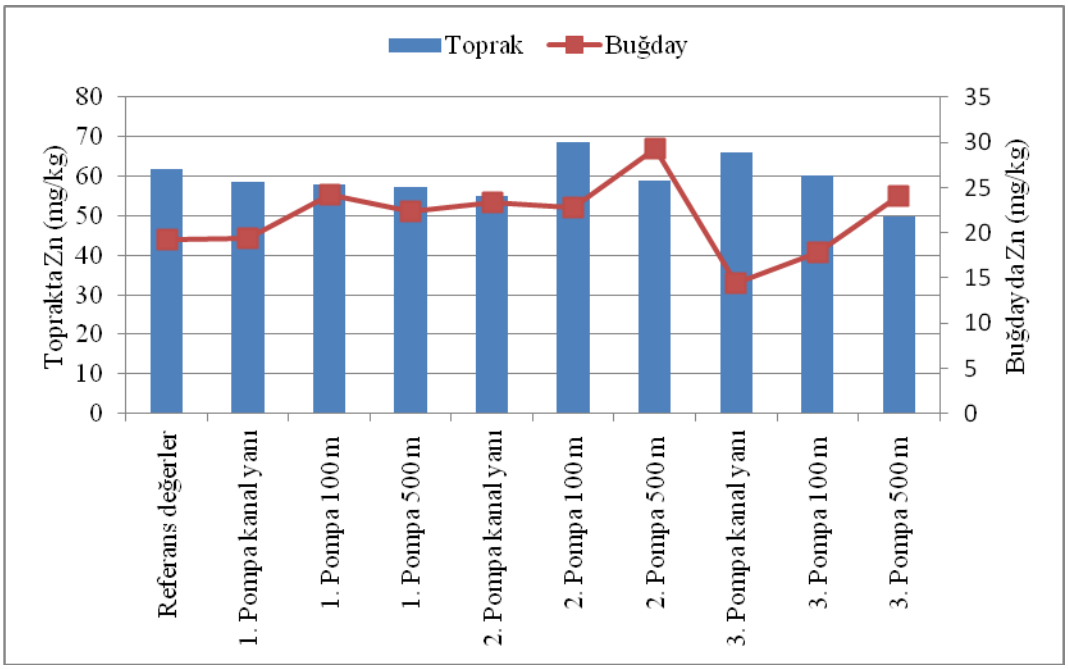
Şekil 4.21. Örnekleme noktalarında buğday ve toprakta Cr miktarlarının değerlendirilmesi (Toprak için ortalama değer alınmıştır)

Referans toprakta ve buğdayda Cr miktarları yüksek düzeydedir. Gübre kullanımının Cr miktarını toprak ve buğdayda artırdığı düşünülmektedir. Toprak ve buğday örneklerinde bulunan Cr miktarlarında düzensiz bir dağılım gözlenmiştir. 2 no'lu pompa 100 m içeri ve 3 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak ve buğday örneklerinde bulunan Cr miktarı benzerlik göstermektedir (R^2=0.2245).



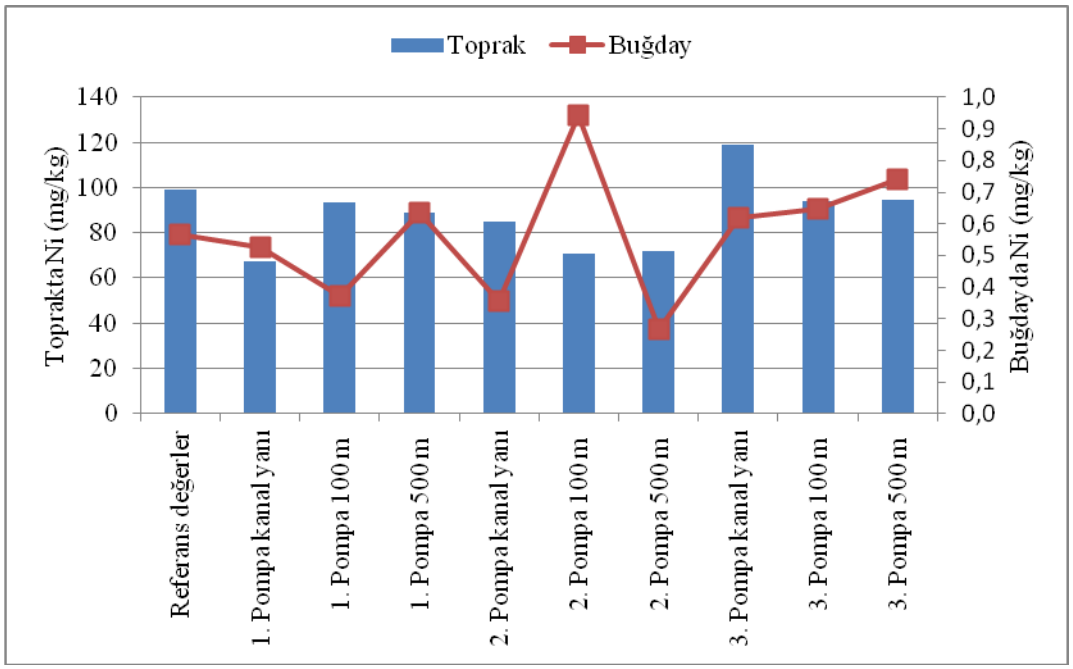
Şekil 4.22. Örnekleme noktalarında buğday ve toprakta Cu miktarlarınının değerlendirilmesi (Toprak için ortalama değer alınmıştır)

Referans toprakta yetiştirilen buğdayda Cu miktarının yüksek olmasının nedeni olarak tarım arazisine gübre uygulanması olduğu düşünülmüştür. Buğday tanelerindeki Cu miktarlarının toprak örneklerinde bulunan ağır metal miktarlarına bağlı olarak değiştiği görülmektedir. 2 no'lu pompa 100 m içeriden alınan toprak ve buğday örneklerinde Cu miktarı maksimum seviyeye ulaşmıştır (R^2=0.0441).



Şekil 4.23. Örnekleme noktalarında buğday ve toptakta Zn miktarlarının değerlendirilmesi (Toprak için ortalama değer alınmıştır)

Referans toprak ve 1 no'lu pompa kanal yanından alınan toprak ve buğday tanelerinde Zn miktarları yakın değerlerdedir. 1 no'lu pompa 100 m ve 500 m içeride, 2 no'lu pompa kanal yanından alınan buğday örneklerindeki Zn miktarı, topraktaki Zn miktarına bağlı olarak değişmektedir. 2 no'lu pompa 500 m içeride buğdayda Zn miktarı maksimum iken, toprakta ağır metal miktarının maksimum düzeyde olmadığı görülmüştür (R^2= 0.1752).



Şekil 4.24. Örnekleme noktalarında buğday ve toprakta Ni miktarlarının değerlendirilmesi (Toprak için ortalama değer alınmıştır)

Toprak ve buğday örneklerinin Ni içerikleri düzensiz bir dağılım göstermiştir. 1 no'lu pompa 500 m içeri, 3 no'lu pompa 100 m içeri ve 3 no'lu pompa 500 m içeriden alınan toprak ve buğday örneklerinde Ni miktarlarının benzerlik gösterdiği görülmüştür (R^2=0.0055).

4.6. Toprak ve Buğday Örneklerinde Tespit Edilen Ağır Metal Miktarlarının Yönetmeliklere Göre Değerlendirilmesi

TKKNKKSDY (2010)'a göre değerlendirilen toprak örneklerinde Takip Gerektirmeyen Saha olarak tespit edilen alanlar için, kirlilik şüphesinin geçerli olmadığı ve Yönetmelikte öngörülen sürece tabi tutulmasına gerek olmadığı görülmüştür. Ancak Yönetmelik uyarınca Takip Gerektirmeyen Sahalar potansiyel kirlenmiş saha listesine alınır. Değerlendirme sonucu Takip Gerektiren Saha olarak tespit edilen alanlar için, kirlilik şüphesinin gerçekçi olduğu ve Yönetmelikte öngörülen ikinci aşama değerlendirmeye tabi tutulmasının gerekli olduğu görülmüştür. İkinci aşama değerlendirmede amaç, saha ve kirlilik karakterizasyonu ve risk analizi değerlendirmelerine tabi tutularak temizleme gerektiren kirlenmiş saha veya takip gerektirmeyen saha olup olmadığının tespit edilmesidir. Bu süreçte saha durum ve risk değerlendirme ön raporu ve saha durum ve risk değerlendirme nihai raporları

hazırlanarak sahanın takip gerektirmeyen saha veya temizlenmesi gereken kirlenmiş saha olduğu konusundaki değerlendirmeler yapılır.

Buğday tanelerindeki ağır metal miktarları TGKBY (2011)'e göre Cd ve Pb için değerlendirme yapılabilmektedir. Buğday için diğer ağır metallerde bir limit belirlenmemiştir. Yönetmelikte, buğdayda maksimum limit Cd için 0.2 mg/kg, Pb için ise tahıllar ve baklagillerde 0.2 mg/kg olarak belirlenmiştir. Analizi yapılan buğday örneklerindeki Cd miktarı dedeksiyon limitinin altında tespit edilmiştir. Pb miktarları ise, 1 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde 50.388 mg/kg, 2 no'lu pompa kanal yanından alınan örneklerde 13.35 mg/kg, 2'nolu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde 10.426 mg/kg, 3 no'lu pompa 100 m içeriden alınan örneklerde 3.00 mg/kg, 3 no'lu pompa 500 m içeriden alınan örneklerde 8.185 mg/kg ile yönetmelikte belirlenen 0.2 mg/kg limitinin çok üstünde değerler olduğu görülmüştür.

Atıksular ile yapılan sulamanın toprak ve bitki üzerindeki etkilerini ağır metaller açısından inceleyen çalışmalar yapılmıştır. Evsel, endüstriyel ve ticari kaynakların artılmamış atıksularını içeren Akaki Nehri suları tarım alanlarında sebze sulamasında kullanılmıştır. Çalışmanın amacı, atıksu ile sulamanın ağır metal seviyelerine etkisini belirlenmek, ağır metallerin potansiyel hareketliliğini ve biyoyararlanımını tahmin etmektir. Kirlenmemiş alanlara göre çalışma bölgelerinde (Vertisol ve Fluvisol) son yıllarda atıksu ile sulama nedeniyle Co, Cr, Ni, Zn, V, Hg, Pb ve Se elementlerinin yüksek konsantrasyonda gözlemlenmesine neden olmuştur. Vertisol bölgesinde Cr, Cu, Ni, Zn, V ve Cd seviyeleri, Fluvisol bölgesinde Se ve Pb içeriği yüksek bulunmuştur. İki toprakta da aynı elementler karşılaştırıldığında, 0-20 cm derinlikte Cr, Cu, Ni, Pb, Se, Zn, Cd, V ve 30-50 cm derinlikte ise Cr, Ni, Cu, Cd ve Zn anlamlı farklılıklar göstermiştir. Cr, Hg, Zn ve Se her iki toprakta da kalıntı fraksiyon göstermiştir. Ağır metaller arasında nispeten yüksek seviyelerde ve potansiyel hareketlilikte bulunan Co, Cu ve Ni (her iki toprakta), V (Vertisol), Pb ve Zn (Fluvisol) atıksu ile sulanan topraklarda besin zinciri yoluyla insan sağlığını tehdit edebilecek düzeylerde bulunmuştur (Fitamo ve ark., 2007).

Hindistan, Varasi banliyö alanlarında yapılan bir çalışmada, ağır metaller kirlenmiş *Beta vulgaris* (PALAK) üzerinde atıksu ile sulamanın etkisi araştırılmıştır. Bu, Hindistan'da yaygın olarak yetiştirilen, besin kalitesi yüksek, özellikle yoksullar tarafından tüketilen yapraklı bir bitkidir. Çalışma Varanasi banliyö alanlarında arıtılmış ve arıtılmamış atıksularla sulanan üç büyük bölgede yapılmıştır. Sulama suyu, toprak ve bitkinin yenilebilir kısımlarından yaz ve kış mevsimlerinde aylık olarak örnekler

toplanmış ve Cd, Cu, Zn, Pb, Cr, Mn ve Ni incelenmiştir. Bütün alanlarda, Cd hariç, sulama suyundaki ağır metaller tarımsal kullanım için uluslarası belirlenmiş (WHO) maksimum limitlerin altında kalmıştır. Benzer şekilde, toprakta ortalama ağır metal konsantrasyonları tüm metaller için Hindistan standartlarını aşmamış, ancak Ocak ayında kaydedilen Cd maksimum değeri standartları aşmıştır. Ancak Beta vulgaris yenilebilir kısımlarında Cd konsantrasyonunun yaz boyunca Hindistan standart sınır değerinden daha yüksek, Pb ve Ni konsantrasyonları ise yaz ve kış mevsimlerinde yüksek bulumuştur. Toprak ve sebze örneklerinde ağır metal konsantrasyonları arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için hesaplanan lineer regresyon analizi sonuçları kış aylarında topraktaki Zn'nin sebze kontaminasyonu ile pozitif anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir. Toprak ve bitkide Cd, Cu ve Mn konsantarsyonları sadece yaz aylarında anlamlı pozitif ilişki göstermiştir. Cr ve Pb konsantrasyonu kış aylarında, Zn ve Ni konsantrasyonu yaz aylarında toprak ve bitki kirliliği arasında anlamlı negatif ilişki göstermiştir. Çalışma sonucunda arıtılmış ve arıtılmamış atıksu ile sulama sebzelerin yenilebilir kısımlarında Cd, Pb ve Ni kirlenmesini artırmıştır. Uzun vadede sağlık riskine neden olabilir. Çalışma aynı zamanda toprak ve sulama suyunun ağır metal kirliliği standartlarına uygunluğunun güvenli gıda temin etmediği gerçeğine işaret etmektedir (Kumar ve ark. 2007).

Çin'de ağır sanayi, madencilik, eritme ve atıksu ile sulama sonucu kirlenmiş alanlarda toprak ve bitkilerde ağır metal kirliliği araştırılmıştır. İncelenen alanlarda Cd ve Zn gibi ağır metal konsantarasyonları hükümetin belirlediği toprakta ağır metal sınırlarını aşmıştır. Bitkilerde metallerin konsantrasyonu, alanın metal kirlilik durumu, ağır metallerin toprakta birikimi ve çeşitli bitki türlerinin alım yetenekleri saptanmıştır. Bitki türleri arasında ağır metal birikimleri önemli farklılıklar göstermiştir. Polygonum hydropiper bir atıksu havuzuyla kirlenmiş toprakta büyümüş ve sürgünlerinde 1061 mg/kg Zn birikmiştir. Bir dökümhane yanında büyüyen Rumex acetosa L. kök ve sürgünlerinde Zn birikimi 900 mg/kg'dan fazladır. Çalışma sonuçları, bitkilerin kirlenmesi ve metallerin gıda zincirine taşınmasında toprak dinamiklerinin aydınlatılması gerektiğini göstermemiştir. Ayrıca çalışma sonuçları, Cd, Cr ve Zn ile kirletilmiş çeltik topraklarında yetiştirilen pirinç tüketiminin insan sağlığı için ciddi bir risk teşkil edebileceğini vurgulamaktadır, çünkü pirinç tanesinin biyokütlesinde toplam metal içeriği %22-24'dür. Çevre ortamına giren ağır metallerin kaynakları arıtılmamış atıksu, atıklar veya çamurlar, arıtma çamurları ve metal cevheri madenciliğinden kaynaklanan toz birikimidir. Pb, Zn ve Cd konsantrasyonları iyi bir üstel korelasyon

uyarınca (R^2>0.9) metal dökümhanelerine olan uzaklıkla azalmıştır, bu da metal tozlarının birkiminin toprakta metal kirliliğinde önemli bir etken olduğunu göstermiştir (Wang ve ark., 2003).

Hindistan'da bulunan Ramgarh Göl suyu ile sulanan topraklarda ve bu topraklarda yetişen çeltik bitkisinde ağır metal birikimi incelenmiştir. Ağır metaller yan etkiler gösterdiği bilinen çok kirletici bir gruptur ve canlı organizmalarda birikme eğilimindedirler. Ramgarh Gölü son birkaç on yıldır arıtılmış, kısmen arıtılmış ve arıtılmamış atıksular deşarj edilmiş ve göl suyu tarım alanlarının sulamasında kullanılmıştır. Pirinç bitki örnekleri üzerinde yapılan bu çalışmada, hasat dönemi boyunca göl ve kontrol suyu ile sulanan çeltik bitkisinde ağır metallerin birikimi ve translokasyonu araştırılmıştır. Ağır metaller (Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, As, Mn ve Hg) pirinç bitkisinin (Oryza sativa) farklı bölgelerinde tespit edilmiştir. Sonuçta, toprakta ve pirinç bitkisinin farklı bölümlerinde (kök, saman ve tahıl) Cd, Cr, Pb, Zn, As, Mn, Hg ortalama seviyeleri Cu dışında yüksek bulunmuştur. Bu sekiz toksik metalin içeriği üst kısımlara göre kök kısmında anlamlı derecede yüksek bulunmuştur. Cr, Cu, Zn ve Mn kökler tarafından topraktan alınırken, pirinç kökleri Cd, As, Hg ve As açısından zenginleşmiştir. Tahıl ve saman kısımlarında ağır metal birikiminin Hindistan standartları ve WHO tarafından izin verilen limitlerin altında kaldığı görülmüştür. Hg biyoakümülasyon faktörü diğer ağır metallerden daha yüksek bulunmuştur. Topraktan pirinç bitkisine metal transfer faktörleri Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, As, Mn ve Hg için anlamlı bulunmuştur. Göl suyu metal konsantrasyonları As ve Hg dışında Merkez Kirliliği Kontrol Kurulu (2000) tarafından öngörülen Hindistan stantartlarının izin verilen sınırları içinde bulunmuştur. As ve Hg'nin yüksek konsantrasyonları evsel ve endüstriyel atıksu deşarjına atfedilmiştir. Çalışma alanının toprak özelliklerinde bazik kayaçlar bulunmuş ve pirinç bitkisi için toksik maddelerin durumu düşük bulunmuştur. Bitkilere metallerin girmesinin önlenmesinde toprak, bitki ve su kalitesinin birlikte izlenmesi, metal ile kirlenmiş göl suyu ile sulamada sağlık tehlikelerini önlemek için bir ön koşul olarak belirlenmiştir (Singh ve ark., 2011).

Konya ili atıksuları ile ilgili yapılan bir çalışmada, Konya Ana Tahliye Kanalı'na deşarj edilen atıksularının değişen konsantrasyonlarda ağır metal içerdiği belirtilmiştir. Ağır metallerin Tuz Gölü'ne kadar olan mesafede, geçtikleri yerlerde toprağı ve su kaynaklarını kirlettikleri belirtilmiştir. Tespit edilen ağır metal konsantrasyonları (Cd, Zn, C, Pb, Hg ve toplam Cr) atıksuların deşarjında izin verilen

sınırların altında tepit edilmiştir, ancak uzun zamanda birikerek sınır değerlerin üzerine çıkabileceği tespit edilmiştir (Korkmaz, 2006).

Başka bir çalışmada Konya ana tahliye kanalından alınan sediment ve atıksu örneklerinde metal konsantrasyonu üzerinde çalışılmıştır. Tüm örnekleme noktalarında sediment örnekleri için, sırasıyla Fe ≥ Zn > Cr > Ni > Cu > Pb miktarlarında azalma görülmüştür. Alınan bütün atıksu örneklerinde, Türk Standartları Enstitüsü izin verilebilen maksimum atıksu deşarj limitlerini aşan ağır metal konsantrasyonu tespit edilmemiştir (Aydın ve ark., 2006).

Evsel atıksuların geri kazanılarak sulamada kullanılmasını değerlendirmek amacıyla yapılan çalışmada, Konya atıksuyuna ait parametreler Su Kirliliği Kontrolü Yönemeliği Teknik Usuller Tebliği'ne göre ağır metaller ve toksik elementlerin konsantrasyonları değerlendirildiğinde, Florür hariç, Al, As, Be, B, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Li, Mn, Ni, ve Se değerlerinin sürekli sulama yapılması durumunda her türlü zeminde ve pH değeri 6.0-8.5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapılması durumunda izin verilen maksimum konsantrasyon sınır değerlerini aşmadığı belirlenmiştir. Ayrıca Konya atıksuyunun sulama amaçlı kullanılacağı bölgenin toprak özelliklerinin de önemli bir faktör olduğu ve toprak özelliklerinin belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır (Aydın ve ark., 2008).

Sanayi kuruluşları ve araç trafiği yoğun olan endüstriyel alanlarda yetiştirilen sebzelerde Pb, Cd ve Cr konsantrasyonun incelendiği diğer bir çalışmada ise, hızlı sanayileşme ve kentleşme sonucu kirlenen Çorlu Deresi'nin (ağır metal kirliliği açısından Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre IV. Sınıf- çok kirlenmiş su) yaygın olarak sulamada kullanıldığı belirtilmiştir. Tarımsal alanlarda ağır metal kirliliğine etki eden bütün faktörlerin (araçlardan kaynaklı kirlilik, atıkların vahşi depolanması, gübre ve pestisit kullanımı, atıksu ile sulama) tümünün yetiştirilen bitkiler üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Sonbahar ve kış ayları ayları ile yaz ayları karşılaştırıldığında bitkilerdeki ağır metal konsantrasyonları arasında belirgin bir fark görülmüştür. Bitki örneklerinde (ayçiçeği, buğday, mısır, biber, patates, soğan, marul, maydanoz) ağır metal konsantrasyonları en fazla kök kısmında, daha sonra yaprak ve meyve olarak sıralanmıştır. Çorlu ve civarında yetişen bitki örneklerinde Pb ve Cd konsantrasyonları Türk Gıda Kodeksi limitlerine göre değerlendirilmiştir. Pb için Türk Gıda Kodeksi limitlerini aşan değerler, yapraklı ve yumrulu bitkiler ile tahılların tamamında saptanmıştır. Pb içeren gübre ve pestisitlerin aşırı kullanımı, taşıtlarda Pb-alkil ilaveli yakıtların kullanılması, sanayide Pb içeriği yüksek kömürlerin kullanılması ve atıksular

ile sulamanın Pb kirliliğine neden olabileceği düşünülmüştür. Cd için Türk Gıda Kodeksi limitlerini aşan değerler, yapraklı ve yumrulu bitkilerin tamamında saptanmıştır. Buğday, mısır, biber ve ayçiçeğinde Cd kirliliği tespit edilmemiştir. Cd içeriği yüksek katı ve sıvı yakıtların yakılması, atıksular ile yapılan sulama ve Cd içeriği yüksek gübre kullanılmasının Cd kirliliğine neden olabileceği düşünülmüştür. Cr ile ilgili Türk Gıda Kodeksinde bir sınırlama yoktur. Cr değerlerini, Çalışkan (2007), bitkilerin çoğunun kökünde ve yaprağında Kabata-Pendias ve Pendias (1992) tarafından bildirilen toksik ve kritik değerler ile karşılaştırmış ve bu değerlerin üstünde krom konsantarsyonlarına rastlamıştır. Endüstriyel faaliyetler sonucu kirlenmiş sular ile sulama yapılması, toprağa fosforlu gübrelerin bilinçsizce uygulanması ve aeresollerin Cr kirliliğine neden olabileceği düşünülmüştür. Sonuçta, yenilebilir bazı bitki örneklerinde tespit edilen ağır metal konsantrasyonlarının halk sağlığı açısından risk oluşturma olasılığı tespit edilmiştir (Çalışkan, 2007).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada arıtılmamış atıksularla sulanan topraklarda ağır metal kirliliğini değerlendirmek amacıyla, Konya Ana Tahliye Kanalı boyunca Tuz Gölü'ne kadar olan güzergahta atıksu ve temiz su ile sulanan alanlardan toprak örnekleri alınmıştır. Ayrıca bu güzergah boyunca atıksularla sulanan tarım alanlarında yetiştirilen buğdaydan da örnekler alınmıştır. Konya Ana Tahliye Kanalı 1974 yılından 2009 yılına kadar hiçbir arıtma işlemine tabi tutulmadan deşerj edilen evsel ve endüstriyel atıksuları taşımıştır. Konya atıksu arıtma tesisi 2009 yılından itibaren arıtıma başlamıştır. Konya Organize Sanayi bölgesi atıksu arıtma tesisi ise 2010 yılında arıtıma başlamıştır. Organize Sanayi Bölgesi atıksuları arıtıma tabi tutulması çok kısa bir zaman öncesine dayanmaktadır. Daha öncesinde sanayi kuruluşlarının atıksuları arıtılmadan tahliye kanalına deşarj edilmiştir.

Uzun süreli atıksu kullanımı sonucu toprakta ve bu topraklarda yetiştirilen ürünlerde ağır metal birikimi meydana gelmektedir. Ağır metallerle kirlenmiş topraklarda yetiştirilen ürünler, besin zinciri ile insan sağlığını ve diğer canlıların yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir. Sulama suyu ağır metal içeriğinin sulama suyu standartlarının altında kalması, bu suyun sulamada kullanılmasının güvenli olduğunun bir göstergesi olarak kabul edilmemelidir. Uzun vadede oluşturabileceği sonuçlar dikkate alınmalıdır.

Çalışma sonucunda toprak örneklerinde Pb, Cr, Cu, Cd, Zn, Ni ve Hg miktarlarının yüksek değerlerde olduğu görülmüş ve buğday tanelerinde Pb, Cr, Cu, Zn ve Ni tespit edilmiştir. Toprakta bulunan Pb, Cr, Cu, Cd, Zn, Ni ve Hg'nin miktarlarının atıksu ile sulama sonucu arttığı ve bu topraklarda yetiştirilen buğdayın Pb, Cr, Cu, Zn, Ni içerdiği ve bu buğdayı tüketen insanlar üzerinde kısa ve uzun vadede sağlık sorunlarına yol açabileceği düşünülmüştür.

Konya Ana Tahliye kanalı boyunca alınan toprak ve buğday örneklerinin analiz sonuçları incelendiğinde; Pb miktarı, toprakta en yüksek 100.75 mg/kg bulunmuştur. Buğday örneklerinde ise, 13.35 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Toprak örnekleri, TKKNKKSDY (2010)'a göre değerlendirildiğinde 1 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm, 1 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm, 25-50 cm ve 50-75 cm, 1 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm, 25-50 cm ve 50-75 cm, 2 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm, 2 no'lu pompa

100 m içeri 0-25 cm, 25-50 cm ve 50-75 cm, 2 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm ve 25-50 cm, 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm, 3 no'lu pompa 100 m içeri 25-50 cm, 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm ve 50-75 cm derinlikten alınan toprak örnekleri Pb açısından Takip Gerektiren Saha olarak sınıflandırılmıştır. Buğdayda Pb içeriği, TGKBY (2011)'e göre değerlendirildiğinde 1 no'lu pompa 500 m içeri, 2 no'lu pompa kanal yanı ve 100 m içeri, 3 no'lu pompa 100 m içeri ve 500 m içeriden alınan buğday örneklerinde limiti aşan değerlerde ölçülmüştür. Bu buğdayların tüketilmesinin insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler göstereceği düşünülmektedir. Pb kirliliğine, atıksu ile sulama, Pb içeren pestisitlerin bilinçsizce kullanılmasının neden olabileceği düşünülmüştür.

Cr miktarı, toprakta en yüksek 248.57 mg/kg olarak bulunmuştur. Buğday örneklerinde ise, 1.87 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Toprak örnekleri, TKKNKKSDY (2010)'a göre değerlendirildiğinde, 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm, 1 no'lu pompa kanal yanı 50-75 cm, 3 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm, 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örnekleri Cr açısından Takip Gerektiren Saha olarak sınıflandırılmıştır. Buğdayda Cr içeriği ile ilgili Türk Gıda Kodeksi'nde herhangi bir limit belirlenmemiştir. Cr kirliliğine, atıksu ile sulama ve atmosferik birikimin neden olduğu düşünülmektedir.

Cu miktarı, toprakta en yüksek 49.46 mg/kg olarak bulunmuştur. Tespit edilen Cu miktarı, genellike yüzeye yakın kısımlarda daha yüksek bulunmuştur. Buğday örneklerinde ise, 7.98 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Toprak örnekleri, TKKNKKSDY (2010)'a göre değerlendirildiğinde, 1 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm, 25-50 cm ve 50-75 cm, 1 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm, 2 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm, 2 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm ve 25-50 cm, 2 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cmve 25-50 cm, 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm, 3 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm, 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örnekleri Cu açısından Takip Gerektiren Saha sınıfında değerlendirilmiştir. Buğdayda Cu içeriği ile ilgili Türk Gıda Kodeksi'nde herhangi bir limit belirlenmemiştir. Cu kirliliğine, atıksu ile sulama ve pestisit kullanımının neden olduğu düşünülmektedir.

Cd miktarı, toprakta en yüksek 11.62 mg/kg olarak bulunmuştur. Buğday örneklerinde ise, dedeksiyon limitinin altında çıkmıştır. Toprak örnekleri, TKKNKKSDY (2010)'a göre değerlendirildiğinde, 1 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm, 1 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm ve 50-75 cm, 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm ve 50-75 cm içeriden alınan toprak örnekleri Cd açısından Takip Gerektiren Saha sınıfında

değerlendirilmiştir. Buğday örneklerinde Cd miktarı dedeksiyon limitinin altında tespit edilmiştir. Cd kirliliğine atıksu ile yapılan sulama ve pestisit kullanımının neden olduğu düşünülmektedir.

Zn miktarı, toprakta en yüksek 91.51 mg/kg olarak bulunmuştur. Buğday örneklerinde ise, 29.30 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Toprak örnekleri, TKKNKKSDY (2010)'a göre değerlendirildiğinde, 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25, 2 no'lu pompa 100 m içeri 50-75 cm, 3 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm, 2 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm, 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örnekleri Zn açısından Takip Gerektiren Saha sınıfında değerlendirilmiştir. Buğdayda Zn içeriği ile ilgili Türk Gıda Kodeksi'nde herhangi bir limit belirlenmemiştir. Zn kirliliğine, atıksu ile sulama ve araçların egzozlarının neden olduğu düşünülmektedir.

Ni miktarı, toprakta en yüksek 134.04 mg/kg olarak bulunmuştur. Buğday örneklerinde ise, 29.30 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Toprak örnekleri, TKKNKKSDY (2010)'a göre değerlendirildiğinde, 3 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm, 3 no'lu pompa 500 m içeri 0-25 cm, 2 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm, 1 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm, 3 no'lu pompa kanal yanı 25-50 cm ve 3 no'lu pompa 100 içeri 0-25 cm derinlikten alınan örnekler Ni açısından Takip Gerektiren Saha sınıfında değerlendirilmiştir. Buğdayda Ni ile ilgili Türk Gıda Koteksi'nde herhangi bir limit belirlenmemiştir. Ni kirliliğine atıksu ile sulamanın neden olduğu düşünülmektedir.

Hg miktarı, toprakta en yüksek 0.34 mg/kg olarak bulunmuştur. 8 noktada Hg konsantrasyonu ölçülmüş diğer noktalarda dedeksiyon limitinin altında tespit edilmiştir. Buğday örneklerinde ise Hg, dedeksiyon limitinin altında çıkmıştır. Toprak örnekleri, TKKNKKSDY (2010)'a göre değerlendirildiğinde, 1 no'lu pompa kanal yanı 0-25 cm, 1 no'lu pompa 100 m içeri 0-25 cm derinlikten alınan toprak örnekleri Hg açısından Takip Gerektiren Saha sınıfında değerlendirilmiştir. Buğday örneklerinde Hg miktarı dedeksiyon limitinin altında tespit edilmiştir. Hg kirliliğine atıksu ile sulamanın neden olduğu düşünülmektedir.

Referans toprakta gübre ve pestisit kullanıldığı için hiç tarım uygulaması yapılmayan topraklarada analiz yapılması önerilmektedir.

Ayrıca çalışmanın bundan sonraki aşamasında topraktaki ağır metal miktarının jeoleojik formasyona bağlı olup olmadığının araştırılması gerekmektedir.

5.2 Öneriler

Ülkemizde yağışların yetersiz olması, son yıllarda yaşanan su sıkıntısı, ülkemiz su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için gerekli tedbirlerin alınmasını zorunlu hale getirmiştir. Tarımda sulama amaçlı su ihtiyacı da gittikçe artmakta, buna bağlı olarak atıksuların sulamada kullanılması sürdürülmektedir. Kullanılan atıksuların içerdiği ağır metallerin verdiği zararların önlenmesi için, atıksular arıtıldıktan sonra sulama amaçlı kullanılmalı ve bunun için gerekli önlemler alınmalıdır. Atıksular ile sulanan toprakların mevcut kirlilik seviyesini belirlemek için çalışmalar yapılması ve önlemlerin alınması gerekmektedir. Ağır metal ile kirlenmiş topraklarda yetişen ürünlerde bir belirleme çalışması yapılıp, Türk Gıda Kodeksi'nde gıdalarda ağır metal limitlerinin belirlenmesi ve bu durumun uygulamada takip edilmesi gerektiği düşünülmektedir. Ülkemizde, toprak, gıda ve su kirlenmeleri ile ilgili mevzuat eksikliklerinin en kısa sürede giderilmesi, bunun için gerekli tedbirlerin alınması, öncelikle insan sağlının ve buna bağlı olarak ekolojik düzenin korunması açısından önem taşımaktadır.

- Atıksular kanalizasyona deşarj edilmeden önce endüstriyel arıtım yapılmalıdır.
- Atıksu sulamada kullanılacaksa ileri arıtım uygulanması gerekmektedir.
- Atıksu ile sulanan alanlarda denetim ve kontrol mekanizmasının geliştirilmesi ve uygulanması gerekmektedir.
- Sulamada atıksu kullanan çiftçiler bilinçlendirilmeli ve atıksu ile sulamanın bitirilmesi sağlanmalıdır.
- Mevcut temiz su kaynaklarını verimli kullanabilmek için sulama yöntemleri değiştirilmeli ve etkin yöntemler uygulanmalıdır.
- Atıksu ile sulanan alanlarda ağır metal birikimine duyarlı ürünler yetiştirilmemelidir.

KAYNAKLAR

Anonim, 2012a, ICP-MS [online], Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi, http://www.selcukiltek.com/equipment-106-icp-ms-.aspx [Ziyaret Tarihi :18 Temmuz 2012].

Anonim, 2012b, Konya atıksu artıma akış şeması (Türkçe) [online], Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi, http://www.koski.gov.tr/mAtiksuAritma/atikSuAritma-TRKShema.php?pd=73||68& [Ziyaret Tarihi : 30 Haziran 2012].

Anonim, 2012c, Konya atıksu artıma tesisi [online], Konya Büyükşehir Belediyesi, http://www.konya.bel.tr/index.php [Ziyaret Tarihi : 14 Mayıs 2012].

Anonim, 2012d, KOSB Hakkında [online], Konya Organize Sanayi Bölgesi, http://www.kos.org.tr/tr/default.asp [Ziyaret Tarihi :6 Temmuz 2012].

Arundaş, A., 2010, Konya Organize Sanayi Bölgesi, kanalizasyon sisteminde kirleticilerin izlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 41-46,90-92.

Aydın, M.E., 2000, Konya Ana Tahliye Kanalının Tuz Gölü'nün Kirliliğine Etkisi, *3. GAP Mühendislik Kongresi*, 24-26 Mayıs 2000, Şanlıurfa- Türkiye, 356-363.

Aydın, M.E., Özcan, S., Sarı, S., 2003, Konya Ana Tahliye Kanalında Su ve Sedimentte Organoklorlu Pestisitler (OCPs), *V. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, Ankara, 112-125.

Aydın, M.E., Bircan, E., Özcan, S., 2008, Evsel Atıksuların Geri Kazanılarak Sulamada Kullanımı, *Konya Kapalı Havzası Yer Altı Suyu Ve Kuraklık Konferansı*, 11-12 Eylül 2008, Konya, 17-25.

Aydın, M.E., Yıldız, S., Tor., A., 2006, A preliminary investigation on boron and metal concentrations of the main drainage channel in Konya-Turkey, *Environmental Technology*, 27, 1257-1260.

Aydın, M.E., Tor, A., Kara, G., Yıldız, S., Özcan, S., 2008, Evaluation of Suitable Toxicity Tests for Industrial Wastewaters, TÜBİTAK-JULİCH Proje No: 104I136.

Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010.

Baba, B, 2007, Biga Yarımadası (Çanakkale) sıcak su kaynaklarındaki arsenikin (As) voltametri ve indüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS) teknikleri ile kantitatif tayini, Yüksek Lisans Tezi, *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 21-23.

Bradl, H.B., 2005a, Heavy metals in the environment, Chapter 1, Sources and origins of heavy metals, 6, Arthur Hubbard, Elsevier akademic pres, Germany, 1-12.

Bradl, H.B., 2005b, Heavy metals in the environment, Chapter 2, Interactions of heavy metals, 6, Arthur Hubbard, Elsevier akademic pres, Germany, 29-148.

Bradl, H.B., 2005c, Heavy metals in the environment, Chapter 3, Remediation techniques, 6, Arthur Hubbard, Elsevier akademic pres, Germany, 166-251.

Bouyoucos hydrometer method, 2004, Soil particle size analysis.

Çalışkan, S. 2007, Çorlu ve civarında yetişen bitkilerde ağır metal konsantrasyonun belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ, 105-107.

DIN ISO 10390 (2005-12), Soil quality-Determination of pH (ISO 10390:2005).

DIN ISO 11265 (1997-06), Soil quality-Determination of the specific electrical conductivity (ISO 11265:1994 + Corr 1:1996).

Demir, R., Aydın, F., 2000, Foseptik atıklarla sulanan marullarda (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia* Lam.) ağır metal miktarları üzerinde bir çalışma, *Ekoloji Çevre Dergisi*, 36 (9), 15-17.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, DSİ 4. Bölge Müdürlüğü, Konya, 2012.

Doğan, M., 2003, Şanlıurfa'da Karakoyun Deresi atıksuları ile sulanan soğanda (*Allium cepa L.*) toksik element birikimi üzerine bir araştırma, *Ekoloji Çevre Dergisi*, 48 (12), 1-3.

Fitamo, D., Itana F., Olsson M., 2007, Total contents and sequential extraction of heavy metals in soils irrigated with wastewater, Akaki, Ethiopia, *Environ Manage*., 39 (2), 178-193.

Google Earth, Konya ana tahliye kanalı, 2012.

Huang, S.S., Liao, Q.L., Hua, M., Wu, X.M., Bi, K.S.,Yan, C.Y., Chen, B., Zhang, X.Y., 2007, Survey of heavy metal pollution and assessment of agricultural soil in Yangzhong district, Jiangsu Province, China, *Chemosphere* , 67 , 2148–2155.

Karataş, M., Güler, E., Dursun, Ş., Özdemir, C. , Argun, M.E., 2007, Konya ana tahliye kanalının Çengelli Bölgesi tarım topraklarında ve buğdayda Cu, Cr, Ni ve Pb Derişimlerinin Belirlenmesi, *S.Ü. Fen Ed. Fak.Derg*.,29, 91-99.

Keser, B., 2008, Aydın ilinde Büyük Menderes nehri ile sulanan bölgelerde yetişen bazı sebze ve meyvelerdeki ağır metal kirliliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Aydın, iv, 120-121.

Kızıloğlu, F.M., Turan, M., Şahin, U., Kuslu, Y., Dursun , A., 2008, Effects of Untreated and Treated Wastewater Irrigation on Some Chemical Properties of Cauliflower (Brassica olerecea L. var. botrytis) and Red Cabbage (Brassica olerecea L. var. rubra) Grown on Calcareous Soil in Turkey, *Agricultural Water Management*, 95, 716-724.

Korkmaz, G., 2006, Konya ili atıksularının Tuz Gölü üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, 39-40.

Kumar, S.R., Agrawal, M., Marshall, F., 2007, Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, İndia, *Ecotoxicol Environ. Saf*., 66(2), 258-266.

Li, P., Wang, X., Allinson, G., Li, X., Xiong, X., 2009, "Risk assessment of heavy metals in soil previously irrigated with industrial wastewater in Shenyang, China , *Journal of Hazardous Materials*, 161, 516–521

Lucho-Constantino, C.A., A´ lvarez-Sua´rez, M., Beltra´n-Herna´ndez, R.I., Prieto-Garcı´a, F., Poggi-Varaldo, H.M., 2005, A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater, *Environment International 31*, 313-323

Lucho-Constantino, C.A., Prieto-Garcı´a, F., Del Razo, L.M., Rodrı´guez-Va´zquez, R., Poggi-Varaldo, H.M., 2005, Chemical fractionation of boron and heavy metals in soils irrigated with wastewater in central Mexico, Agriculture, *Ecosystems & Environment*, 108, 57-71.

Özaydın, S.Z., 2011, Kontrolsüz tekstil ürünlerinin kurşun içeriklerinin ICP-MS yardımıyla toksikolojik boyutunun incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Adli Tıp Enstitüsü*, İstanbul, 36.

Özbek, Z., 2010, Topraktaki Ağır Metaller İçin Sınır Değerlerin Uygulanabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* İstanbul, 9-10.

Özdemir, C., 1998, Konya Ana Tahliye Kanalında kirlilik araştırması ve klorlu alifatiklerin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 3.

Özdemir, C., 2002, Konya Ana Tahliye Kanalında Trihalometan Potansiyeli, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi,* 4, 1-12.

Qishlaqi, A., Moore, F., Forghani, G., 2008, Impact of untreated wastewater irrigation on solis and crops in Shiraz suburban area, SW Iran, *Environ Monit Assess*, 141, 257-273.

Rattan, R.K., Datta, S.P., Chhonkar, P.K., Suribabu, K., Singh,A.K., 2005, Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater—a case study, Agriculture, *Ecosystems and Environment* 109, 310–322.

Saçmacı, Ş., 2000, Solvent eksraksiyonuyla atıksulardaki ağır metallerin AAS ile tayini, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 34-36.

Sa´nchez-Moreno, S., Navas, A., 2007, Nematode diversity and food web condition in heavy metal polluted soils in a river basin in southern Spain, *European Journal of Soil Biology*, 43, 166-179.

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 13, Mercury, Bibudhendra Sarkar, Marcel Dekker İnc., USA, 457-497.

Sarkar, B., 2002b, Heavy metals in the environment, Chapter 11, Nicel, Bibudhendra Sarkar, Marcel Dekker İnc., USA, 349-389.

Sarkar, B., 2002c, Heavy metals in the environment, Chapter 12, Lead, Bibudhendra Sarkar, Marcel Dekker İnc., USA, 409-446.

Sarkar, B., 2002d, Heavy metals in the environment, Chapter 8, Mercury, Bibudhendra Sarkar, Marcel Dekker İnc., USA, 231-263.

Singh, J., Upadhyay, S.K., Pathak, R.K., Gupta, V., 2011, Accumulation of heavy metals in soil and paddy crop (Oryza sativa), irrigated with water of Ramgarh Lake, Gorakhpur, UP, India, *Toxicological and Environmental Chemistry*, 93 (3), 462-473.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Çevre ve Orman Bakanlığı, 2004.

Tiwari, K.K., Singh, N.K., Patel, M.P., Tiwari. M.R., Rai, U.N., 2011, Metal contamination of soil and translocation in vagetables growing under industrial wastewater irrigated agricultural field of Vadodara, Gujarat, India, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 74, 1670-1677.

Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik, Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010.

Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği, Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, 2011.

Uyanöz, R., 1998, Konya'da sulama suyu olarak kullanılan atıksuların tarım topraklarının bazı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine etkileri, *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, i, 77-96.

Wang, X.J., Tao, S., 1998, Spatial structures and relations of heavy metal contenet in wastewater irrigated agricultural soil of Beijing's eastern farming regions, *Bull. Environ. Contam. Toxicol*., 61, 261-268.

Wang, QR., Cui, YS., Lui, XM., Dong, YT., Christie, P., 2003, Soil contamination and plant uptake of heavy metals at polluted sites in China, *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng*., 38(5), 823-838.

Yazılan, S., 2010, Dilovası organize sanayi bölgesi (Gebze-Kocaeli)' ndeki ağır metal kirliliğinin bitkiler üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 55.

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.

Yılmaz, A.M, 1993, Konya Ovası drenaj şebekesi sularının sulamada kullanılması ve ortaya çıkaracağı sorunlar, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Konya, 20-25.

Yurtseven, E., Çakmak, B., Kesmez, G.D.,Polat, H.E., 2010, Tarımsal atıksuların sulamada yeniden kullanılması, *Türkiye Ziraat Mühendisligi VII. Teknik Kongresi*, Ankara, 135-154.

EKLER

EK-1

TabloE7.1. sulama suyunda geri kazanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması (Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği 20.03.2010/27527)

Geri kazanım türü	Arıtma tipi	Geri kazanılmış suyun kalitesi[a]	İzleme periyodu	Uygulama mesafesi[b]
Sınıf A				
a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenmeyen gıda ürünleri[l] b-Kentsel alanların sulanması				
a)Yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanan ve ham olarak direkt olarak yenilebilen her tür gıda ürünü **b)**Her türlü yeşil alan sulaması (Parklar, golf sahaları vb.)	-İkincil arıtma[c] -Filtrasyon[d] -Dezenfeksiyon[e]	-pH=6-9 -BOİ5 < 20 mg/L -Bulanıklık < 2 NTUf -Fekal koliform: 0/100 mL[g,h] -Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. -Bakiye klor > 1 mg/L[i]	-pH: Haftalık -BOİ$_5$: Haftalık -Bulanıklık: Sürekli -Koliform: günlük -Bakiye klor: sürekli	İçme suyu temin edilen kuyulara en az 50 m mesafede
Açıklamalar: -Tarımsal sulamada tavsiye edilen ağır metal analizlerine dikkat edilmelidir. -Standarları sağlamak üzere filtrasyon öncesinde koagülant ilavesi yapılabilir. -Geri kullanılacak arıtılmış atıksu renksiz ve kokusuz olmalıdır. -Virüs ve diğer parazitlerin yok edilmesi için daha uzun dezenfeksiyon temas süreleri kullanılabilir. -Arıtılmış atıksu dağıtım sisteminde (en son uygulama noktasında) bakiye klor değeri 0.5 mg/L'nin üzerinde olmalıdır. -Virüs ve diğer parazitlerin yok edilmesi için daha uzun dezenfeksiyon temas süreleri kullanılabilir. -Yüksek nütrient içeriği besinleri büyüme aşamasında etkileyebilir.				
Sınıf B				
a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenen gıda ürünleri[m] b-Girişi kısıtlı sulama alanları c- Tarımsal sulama: Gıda ürünü olmayan bitkiler				
a)Meyve bahçeleri ve üzüm bağları gibi ürünlerin salma sulama ile sulanması **b)**Çim üretimi ve kültür tarımı gibi halkın girişinin kısıtlı olduğu yerler **c)**Otlak hayvanları için mera sulaması	-İkincil arıtma[c] -Dezenfeksiyon[e]	-pH=6-9 -BOİ5 < 30 mg/L -AKM < 30 mg/L -Fekal koliform < 200 ad/100 mL[g,j,k] -Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. -Bakiye klor > 1 mg/L[i]	-pH: Haftalık -BOİ$_5$: Haftalık -AKM: günlük -Koliform: günlük -Bakiye klor: sürekli	-İçme suyu temin edilen kuyulara en az 90 m mesafede. -Yağmurlama sulama yapılıyor ise halkın bulunduğu ortama en az 30 m mesafede
Açıklamalar: -Tarımsal sulama için tavsiye edilen limitlerde gözönünde bulundurulmalıdır. -Püstkürtmeli sulama yapılıyor ise AKM < 30 mg/L olmalıdır. -Yüksek nütrient içeriği besinleri büyüme aşamasında etkileyebilir. -Süt hayvanlarının meralara girişi sulama yapıldıktan 15 gün sonra olmalıdır. Bu süre kısa olması gerektiği durumlarda, fekal koliform değeri en fazla 14 ad/100 mL olabilir.				

[a]Aksi belirtilmedikçe, arıtılmış atıksu kalitesini belirtmektedir.
[b]Su kaynalarını ve dolayısıyla insanları arıtılmış atıksuyun etkisinden korumak için konuluş bir sınırlamadır.
[c]İkincil arıtma, aktif çamur sistemleri, biyodisk, damlatmalı filtreler, stabilizasyon havuzları, havalandırmalı lagünleri vb içerebilir.
[d]Kum filtreleri veya mikrofiltrasyon ile ultrafiltrasyon gibi membran filtreler olabilir.
[e]Dezenfektant olarak klor kullanılması, diğer dezenfeksiyon yöntemlerinin de kullanımını kısıtlamaz.
[f]Tavsiye edilen bulanıklık değeri dezenfeksiyon öncesinde sağlanmalıdır. Hiç bir zaman 5 NTU'yu geçmemelidir. Bulanıklık yerine AKM'nin kullanıldığı durumlarda, AKM değeri 5 mg/L'nin altında olmalıdır.
[g]7günlük ortalama değerleri karakterize eder.
[h]Fekal koliform değeri hiç bir zaman 14 ad/100 mL'yi geçmemelidir.

[i]Bakiye klor değeri 30 dk temas süresi sonrasındaki değeri kazakterize etmektedir.
[j]Fekal koliform değeri hiç bir zaman 800 ad/100 mL'yi geçmemelidir.
[k]Stabilizasyon havuzları fekal koliform değerini dezenfeksiyon olmadan da sağlayabilir.
[l]İleri arıtma uygulanmalıdır.
[m]Ticari olarak işlenen gıda ürünleri halka satılmadan önce patojen mikroorganzmaların öldürülmesi için fiziksel veya kimysal bir işlemden geçirilen ürünlerdir.

EK-2

Tablo E7.6. bitkilerin bora karşı dayanıklılık dereceleri (Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği 20.03.2010/27527)

Bitki ismi	Hassaslık*			
	Toleranslı	Orta toleranslı	Orta hassas	Hassas
	Bor: > 4.0 mg/L	Bor: 2.0-4.0 mg/L	Bor: 1.0-2.0 mg/L	Bor: 0.5-1.0 mg/L
Tarla bitkileri				
Arpa		√		
Fasulye				√
Mısır		√		
Pamuk	√			
Yer fıstığı				√
Yulaf		√		
Sorgum	√			
Şeker pancarı	√			
Buğday				√
Sebzeler				
Enginar		√		
Kuşkonmaz	√			
Kızmızı pancar	√			
Lahana		√		
Havuç			√	
Kereviz		√		
Salatalık			√	
Marul		√		
Soğan				√
Patates			√	
Domates	√			
Şalgam		√		
Yem bitkileri				
Kaba yonca	√			
Arpa (at yemi)				√
Börülce				√
Meyveli ağaçlar				
Kayısı				√
Böğürtlen				√
Üzüm				√
Portakal				√
Şeftali				√
Erik				√

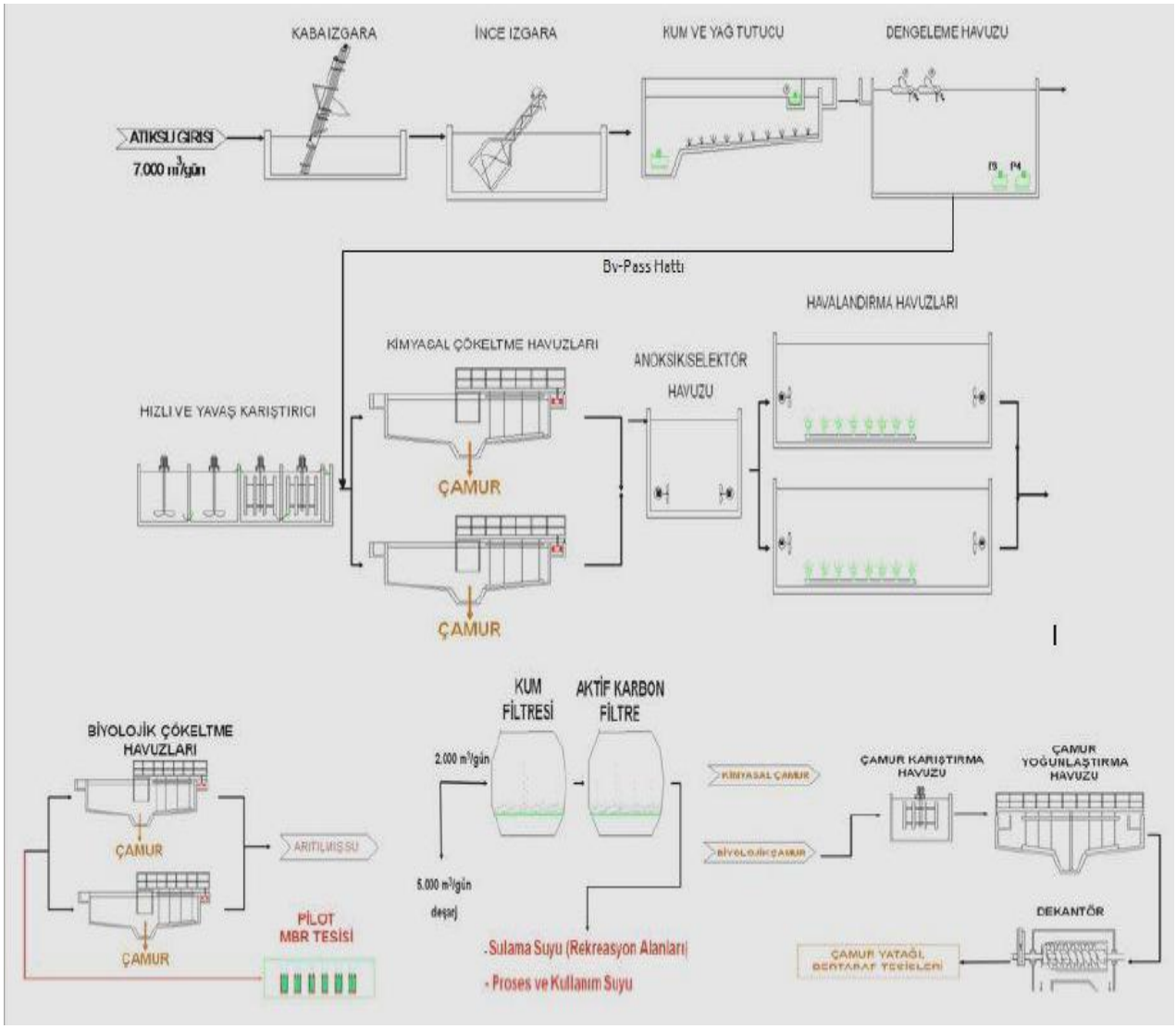
*Hassaslık, iklime, toprak durumuna ve kültürel şartlara göre değişibilir

EK- 3

Tablo E7.16. Sulama yönteminin arıtılmış atıksu için değerlendirilmesi kriterleri (Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği 20.03.2010/27527)

Değerlendirme parametreleri	Karık usulü sulama	Kenar sulaması	Yağmurlama sulama	Damlatmalı sulama
Yaprakların zarar görmesi	Bitki sırtta dikildiğinde yaprakta problem olmamaktadır.	Bazı alt yapraklar zarar görebilir.	Verim kaybına sebep olacak, yaprak hasarı oluşabilir.	Yaprak hasarı oluşmaz.
Kökde tuz birikmesi	Bitkiye zarar veren sırtta tuz birikmesi olabilmektedir.	Tuzlar düşey hareket eder ve birikmez.	Tuz, alt katmanlara doğru hareket eder ve birikme olmaz.	Tuz hareketi radyaldir ve damlama noktaları arasında tuz sıkışması olabilir.
Sulama sonrası toprak su potansiyeli	Sulamalar arasında bitkiler su stresine girebilmektedir.	Sulamalar arasında bitkiler su stresine girebilmektedir	Büyüme mevsiminde sulama sonrası toprak su potansiyeli düşer.	Büyüme mevsiminde sulama sonrası yüksek toprak su potansiyeli oluşturur ve tuzluluğun etkisini azaltır.
Verim kaybı olmaksızın tuzlu arıtılmış suyun uygulanabilirliği	Zayıf-Orta	Zayıf-Orta: İyi sulama ve drenaj	Zayıf: Bir çok bitkinin yaprağı zarar görebilir.	Çok iyi: Bir çok bitki çok az verim kaybı ile büyüyebilirler.

EK- 4 Konya Organize Sanayi Bölgesi evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesisi akım şeması



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Sevda ÖNDER
Uyruğu	**:**	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Ankara-16.12.1975
Telefon	**:**	0535 734 09 94
Faks	**:**	-
e-mail	**:**	sevdaonder@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Aydınlıkevler Lisesi, Ankara,Altındağ	1994
Üniversite	:	Süleyman Demirel Ünv., Çünür, Isparta	1999
Yüksek Lisans	:		
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
11	Ölçme Seçme ve Yerleştirme Merkezi	Uzman

UZMANLIK ALANI

Çevre Mühendisliği

YABANCI DİLLER

İngilizce