T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDEN ELDE EDİLEN ÇAMURLAR KULLANILARAK YETİŞTİRİLEN *TRITICUM AESTIVUM* L. VE *BETA VULGARIS* L.' TE AĞIR METAL TAŞINIMININ İNCELENMESİ

Tezi Hazırlayan
Ayşegül EKŞİ

Tezi Yöneten
Yrd. Doç. Dr. Dilek DEMİREZEN YILMAZ
Prof. Dr. Mustafa TURAN

Biyoloji Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Mayıs 2007
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDEN ELDE EDİLEN ÇAMURLAR KULLANILARAK YETİŞTİRİLEN *TRITICUM AESTIVUM* L. VE *BETA VULGARIS* L.' TE AĞIR METAL TAŞINIMININ İNCELENMESİ

Tezi Hazırlayan
Ayşegül EKŞİ

Tezi Yöneten
Yrd. Doç. Dr. Dilek DEMİREZEN YILMAZ
Prof. Dr. Mustafa TURAN

Biyoloji Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FBT-06-08 kodu ile desteklenmiştir.

Mayıs 2007
KAYSERİ

Yrd. Doç. Dr. Dilek DEMİREZEN YILMAZ ve Prof. Dr. Mustafa TURAN danışmanlığında **Ayşegül EKŞİ** tarafından hazırlanan **"Atıksu Arıtma Tesislerinden Elde Edilen Çamurlar Kullanılarak Yetiştirilen *Triticum aestivum* L. ve *Beta vulgaris* L.' te Ağır Metal Taşınımının İncelenmesi"** adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

29/05/07

JÜRİ:

Başkan :...Doç. Dr. Ahmet AKSOY.....

Üye :Yrd. Doç. Dr. Dilek Demirezen Yılmaz

Üye :...Yrd. Doç. Dr. Fatih DUMAN.....

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 05/06/2007 tarih ve ...2007/15-03 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

..5./..6../ 2007

N. Ayyıldız

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Nusret AYYILDIZ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen hocalarım Yrd. Doç. Dr. Dilek DEMİREZEN YILMAZ ve Prof. Dr. Mustafa TURAN'a, bilgi ve görüşlerinden yararlandığım saygıdeğer hocalarım Doç. Dr. Ahmet AKSOY, Yrd. Doç. Dr. Cem VURAL ve Yrd. Doç. Dr. Mikail AKBULUT'a ve bölümümüzün diğer saygıdeğer hocalarına teşekkür ederim.

Araştırmalarım süresince bilgi ve yardımlarıyla beni destekleyen Kayseri Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi (KASKİ) Genel Müdürü Sayın Ender BATUKAN, Atıksu Arıtma Dairesi Başkanı Sayın Özgür ÖZDEMİR, Atıksu Arıtma Tesisi Şube Müdürü Sayın Emre EREN, Atıksu Ruhsat ve Denetleme Şube Müdürü Sayın Fazilet MALİK ve Kayseri Büyükşehir Belediyesi Raylı Sistem Kontrol Mühendisi Sayın Soner TUNA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında maddi ve manevi desteklerini sunan arkadaşlarım Arş. Gör. Fahriye SÜMER, Kadiriye URUÇ, Orhan DEMİRSU, Rıdvan TEMİZGÜL, Zerrin KARACA, Tuğba TOSUN, Mustafa ÇEVRİM, Güler TOPRAK ve Selcen ÇAKIR'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında her türlü maddi ve manevi destekleriyle beni yalnız bırakmayan değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDEN ELDE EDİLEN ÇAMURLAR KULLANILARAK YETİŞTİRİLEN *TRITICUM AESTIVUM* L. VE *BETA VULGARIS* L.' TE AĞIR METAL TAŞINIMININ İNCELENMESİ

Ayşegül EKŞİ
Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2007
Tez Yöneticisi: Yrd. Doç. Dr. Dilek DEMİREZEN YILMAZ
Prof. Dr. Mustafa TURAN

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, atıksu arıtma tesisinden alınan yaş ve kuru çamurda yetişen *Triticum aestivum* L. ve *Beta vulgaris* L.' in farklı dokularında ağır metallerin (As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Se, Pb, Zn ve Fe) taşınımını belirlemektir. Toprak ve çamurun farklı karışımları (yaş çamur için %10–25–50 ve kuru çamur için %2–5–10, w/w) denenmiştir.

Deneyler için kullanılan toprak numuneleri kirlenmemiş ve tarım arazilerinden uzak alanlardan alınmıştır. Bu çalışmada öncelikle toprak ve atık çamur karakteristikleri (pH, iletkenlik, katı ve organik madde, toplam kjeldahl azotu, fosfor ve potasyum) incelenmiştir. Bitkilerin farklı dokularındaki ağır metallerin konsantrasyonlarının belirlenmesi ICP-OES ile yapılmıştır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar her iki bitkinin köklerinin bunların gövde ve yapraklarından daha yüksek miktarda ağır metal biriktirdiğini göstermiştir. Ayrıca, kuru çamur ortamında yetişen bitkiler yaş çamur uygulamasındaki bitkiler ile karşılaştırıldığında daha yüksek miktarda ağır metal biriktirdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık çamur, ağır metal, *Triticum aestivum*, *Beta vulgaris*

INVESTIGATION OF HEAVY METAL MOVEMENT IN *TRITICUM AESTIVUM* AND *BETA VULGARIS* GROWN USING SLUDGE OBTAINED FROM WASTEWATER TREATMENT PLANT

Ayşegül EKŞİ
Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
M. Sc. Thesis, May 2007
Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dilek DEMİREZEN YILMAZ
Prof. Dr. Mustafa TURAN

ABSTRACT

The aim of this study was to determine of heavy metal (As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Se, Pb, Zn ve Fe) movement in different tissues of *Triticum aestivum* and *Beta vulgaris* were grown in wet and dry sewage sludge collected from wastewater treatment plant. Different combinations of soil and sludge (for wet sludge 10, 25, 50 % and for dry sludge 2, 5, 10 % , w/w) were tested.

Soil samples that were used for experiments were taken from the areas that uncontaminated and far from the agricultural fields. Primarily characteristics of soil and sewage sludge (pH, conductivity, solid, organic substance, total kjeldahl nitrogen, phosphorus and potassium) were investigated in this study. Determinations of the heavy metal concentrations in different tissues of plants were carried out by ICP-OES.

The results obtained from this study indicated that roots of both plants were accumulated higher amount of heavy metals than their shoots and leaves. Furthermore, the plants grown in dry sewage media were accumulated higher heavy metal concentrations corresponding to wet in plants in dry sewage sludge applications.

Keywords: Sewage sludge, heavy metal, *Triticum aestivum*, *Beta vulgaris*

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

KABUL VE ONAY.....i

TEŞEKKÜR……..……...…….……...….....ii

ÖZET……...…….……....….....iii

ABSTRACT……...…….……...….....…iv

TABLOLARIN LİSTESİ……...……...……..….....ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ……..……...…….....xi

KISALTMALAR……...……...…….....xiii

1. BÖLÜM Sayfa No

GİRİŞ……1

2. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER Sayfa No

2.1 Atık Çamurun Tanımı……...……..…….……..…….3

2.1.1 Ham Çamur……...……..……..……..…….3

2.1.2 Atık Çamur (Stabilize Arıtma Çamuru = Biyokatı)……..…. 3

2.2 Atık Çamur Oluşum Mekanizmaları……..…….3

2.2.1 Ön Arıtım……..……..…..…..…….…3

2.2.2 İkincil Arıtım……..……...…….……..…..4

2.2.2.1 Aktif Çamur Sistemleri……...……..……...…..…….…4

2.2.2.2 Damlatmalı Filtre Sistemi……..……...……....5

2.2.3 Üçüncül Arıtım (Fiziksel-Kimyasal Arıtma)……...…….……...6

2.2.3.1 Biyolojik Azot ve Fosfor Giderimi……...……..6

2.3 Atık Çamurun Kimyasal Özellikleri……..…...…….……..……6

2.3.1 Organik Madde.....6

2.3.2 Azot……..…….……..……7

2.3.3 Fosfor……....…….……..……...7

2.3.4 Potasyum……...……..……....8

2.3.5 Toksik Organik Bileşikler…….……..……....8

2.3.6 Ağır Metaller……..……..……..…....8
2.3.6.1 Ağır Metallerin Bitki Bünyesine Alınması ve Bitkiye Etkileri…….…….9
2.3.7 Patojenler……..……....……..……..11
2.4 Atık Çamurların Akıbeti……..……..…….....12
2.4.1 Yakma……...…..……...…12
2.4.2 Okyanusa Boşaltma……..…...……..13
2.4.3 Düzenli Depolama…….……..……...……...13
2.4.4 Zirai Kullanım (Araziye Uygulama)……...……..14
2.4.4.1 Tarımsal Kullanımın Tanımı……..……...……...14
2.4.5 Avrupa Birliği (AB)'nde Durum…….....……..……16
2.4.6 Türkiye'deki Durum…….…….……...……..…...17

3. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM Sayfa No

3.1 Materyaller…….…….....……...19
3.1.1 *Triticum aestivum* L. (Buğday)…….…….……19
3.1.2 *Beta vulgaris var. saccharifera* (Şeker Pancarı)…….…….….19
3.1.3 Atık Çamur…….……...20
3.2 Yöntemler…….…….……20
3.2.1 Atık Çamur Numunelerinin Alınması ve Hazırlanması…….……...20
3.2.2 Bitki Yetiştirme Ortamının Hazırlanması…….…….…….……...20
3.2.3 Kullanılan Malzemelerin Temizliği…….……..……20
3.2.4 Tohumların Ekimi ve Çimlendirilmesi…….……..……...21
3.2.5 Bitkilerin Yetiştirilmesi…….…….…….…..21
3.2.6 Bitkilerin Hasadı…….…….…….….21
3.2.7 Numunelerin Saklanması ve Korunması……..…….……....21
3.2.8 Toprak ve Atık Çamur Analizleri……..…….……...21
3.2.8.1 pH…….…….……21
3.2.8.2 İletkenlik…….....……..…….……21
3.2.8.3 Katı Madde…….…….……..22
3.2.8.4 Organik Madde…….…….……...22
3.2.8.5 Azot (N)…….……22

3.2.8.6 Fosfor (P)…….……..…….. 22
3.2.8.7 Potasyum (K)…….……22
3.2.9 Çözme İşlemleri……..…….…….……22
3.2.9.1 Mikrodalga Numune Hazırlama Cihazı…….…….……...22
3.2.9.2 Toprak ve Atık Çamur Numunelerinin Mikrodalgada Parçalanması İşlemi…….23
3.2.9.3 Bitki Örneklerinin Mikrodalgada Parçalanması İşlemi…….……....23
3.2.10 Ağır Metal Tayini İşlemleri…….…….…….....23
3.2.10.1 ICP-OES……..……..23
3.2.11 Klorofil Tayini……..…….……....24
3.2.12 İstatistiksel Analizler…….…..……..…25
3.2.13 Toprak ve Atık Çamur Karakteri……..…….……....25

4. BÖLÜM
BULGULAR ve TARTIŞMA Sayfa No
4.3 Ağır Metaller……...……..……27
4.3.1 Arsenik……...……..……..27
4.3.2 Kadmiyum……..……....…….……..30
4.3.3 Kobalt…….……...…….…….……..34
4.3.4 Krom.……...……...…..…….……...38
4.3.5 Bakır...……...…….…….……..41
4.3.6 Nikel...……...45
4.3.7 Kurşun……..…...……..…49
4.3.8 Selenyum……..……..……...53
4.3.9 Çinko..……..……...……..…57
4.3.10 Demir..……..……..……...60
4.4 Klorofil Konsantrasyonu……..……..……...63

5. BÖLÜM Sayfa No
SONUÇ..……..66
KAYNAKLAR…….……...…68

EKLER……...…….74
ÖZGEÇMİŞ……...……..…….76

TABLOLARIN LİSTESİ

Tablo 2.1. Atıksu arıtma yöntemlerine göre arıtılmış atıksu ve biyokatıda bulunabilecek mikroorganizma sayıları……..……..…..…..11

Tablo 2.2. Toprağa uygulanacak biyokatıların izin verilen potansiyel toksik element kapsamları……..…….……15

Tablo 2.3. TKKY/EK I'de verilen topraktaki ağır metal sınır değerleri…….…….....18

Tablo 2.4. TKKY/EK II'de verilen Toprakta Kullanılabilecek Arıtma Çamurunda Müsaade Edilecek Maksimum Ağır Metal Muhtevaları…….……...18

Tablo 3.1. Deneyde kullanılan toprak ve atık çamurlara ait bazı karakteristik özellikler……..……..…….....27

Tablo 3.2. Deneyde kullanılan toprak ve atık çamurlara ait TKKY bakımından önem taşıyan ağır metal içerikleri……..…….….27

Tablo 4.1. Kuru atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'de As birikimi……..28

Tablo 4.2. Yaş atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'de As birikimi……..……....…….28

Tablo 4.3. Kuru atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'de Cd birikimi.…….....31

Tablo 4.4. Yaş atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'de Cd birikimi…….….31

Tablo 4.5. Kuru atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'de Co birikimi……...…...35

Tablo 4.6. Yaş atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'de Co birikimi.……...…….35

Tablo 4.7. Kuru atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'de Cr birikimi…….....39

Tablo 4.8. Yaş atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'de Cr birikimi…….……..39

Tablo 4.9. Kuru atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'de Cu birikimi…….....42

Tablo 4.10. Yaş atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'de Cu birikimi…….……..…42

Tablo 4.11. Kuru atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'de Ni birikimi…….....46
Tablo 4.12. Yaş atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'de Ni birikimi…….…….…….46
Tablo 4.13. Kuru atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'de Pb birikimi……...49
Tablo 4.14. Yaş atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'de Pb birikimi……..49
Tablo 4.15. Kuru atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'de Se birikimi…….....53
Tablo 4.16. Yaş atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'de Se birikimi…….……..53
Tablo 4.17. Kuru atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'de Zn birikimi……...57
Tablo 4.18. Yaş atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'de Zn birikimi…….….....57
Tablo 4.19. Kuru atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'de Fe birikimi……..61
Tablo 4.20. Yaş atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'de Fe birikimi……...61
Tablo 4.21. Kuru atık çamur uygulamasında klorofil miktarları …….....64
Tablo 4.22. Yaş atık çamur uygulamasında klorofil miktarları.……...….....64

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2.1. Ön Arıtım Sisteminin Akış Şeması……..……..……..…..4
Şekil 2.2. Aktif Çamur Sisteminin Kullanıldığı İkincil Arıtım……..…..……...5
Şekil 2.3. Damlatmalı Filtre Sisteminin Kullanıldığı İkincil Arıtım……..…..…..5
Şekil 4.1. Farklı konsantrasyonlarda kuru ve yaş çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum*'da As birikimi……...29
Şekil 4.2. Farklı konsantrasyonlarda atık yaş ve kuru çamur uygulamaları sonucu *Beta vulgaris*'de As birikimi…….……..……...29
Şekil 4.3. Farklı konsantrasyonlarda kuru ve yaş çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum*'da Cd birikimi…….……...……...…33
Şekil 4.4. Farklı konsantrasyonlarda atık yaş ve kuru çamur uygulamaları sonucu *Beta vulgaris*'de Cd birikimi.. ……...33
Şekil 4.5. Farklı konsantrasyonlarda kuru ve yaş çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum*'da Co birikimi..…….…….……...37
Şekil 4.6. Farklı konsantrasyonlarda atık yaş ve kuru çamur uygulamaları sonucu *Beta vulgaris*'de Co birikimi..…….…...…37
Şekil 4.7. Farklı konsantrasyonlarda kuru ve yaş çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum*'da Cr birikimi..…….....40
Şekil 4.8. Farklı konsantrasyonlarda atık yaş ve kuru çamur uygulamaları sonucu *Beta vulgaris*'de Cr birikimi.……..……40
Şekil 4.9. Farklı konsantrasyonlarda kuru ve yaş çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum*'da Cu birikimi..……..……...44
Şekil 4.10. Farklı konsantrasyonlarda atık yaş ve kuru çamur uygulamaları sonucu *Beta vulgaris*'de Cu birikimi.…….44
Şekil 4.11. Farklı konsantrasyonlarda kuru ve yaş çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum*'da Ni birikimi.…….....…48
Şekil 4.12. Farklı konsantrasyonlarda atık yaş ve kuru çamur uygulamaları sonucu *Beta vulgaris*'de Ni birikimi.....48
Şekil 4.13. Farklı konsantrasyonlarda kuru ve yaş çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum*'da Pb birikimi.……..…51
Şekil 4.14. Farklı konsantrasyonlarda atık yaş ve kuru çamur uygulamaları sonucu *Beta vulgaris*'de Pb birikimi……...…….…...51

Şekil 4.15. Farklı konsantrasyonlarda kuru ve yaş çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum*'da Se birikimi……..……..……...56

Şekil 4.16. Farklı konsantrasyonlarda atık yaş ve kuru çamur uygulamaları sonucu *Beta vulgaris*'de Se birikimi…….. …….……...56

Şekil 4.17. Farklı konsantrasyonlarda kuru ve yaş çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum*'da Zn birikimi……...……....59

Şekil 4.18. Farklı konsantrasyonlarda atık yaş ve kuru çamur uygulamaları sonucu *Beta vulgaris*'de Zn birikimi……..…… …...59

Şekil 4.19. Farklı konsantrasyonlarda kuru ve yaş çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum*'da Fe birikimi……...……. …..62

Şekil 4.20. Farklı konsantrasyonlarda atık yaş ve kuru çamur uygulamaları sonucu *Beta vulgaris*'de Fe birikimi……. ……..…...62

KISALTMALAR

KAAT: Kayseri Atıksu Arıtma Tesisi

TKKY: Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği

Ta: *Triticum aestivum*

Bv: *Beta vulgaris*

EC: Elektriksel İletkenlik

K: Kök

G: Gövde

Y: Yaprak

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Son yıllarda hızlı kentleşme ve sanayileşme, gelişen teknoloji, artan enerji ihtiyacına bağlı olarak üretim miktarının artması, yoğun maden işletmeciliği, tarımda kullanılan gübre ve ilaçlar gibi nedenlerden dolayı insan ve canlı faaliyetleri için önem taşıyan hava, su ve toprak ortamı aşırı şekilde kirletilmektedir [1]. Doğal çevrenin korunması günümüzde giderek önem kazanan bir konu haline gelmiştir. Atıkların büyük ölçüde çevre ile uyumlu hale getirilip uygun şekilde bertaraf edilmesi ve yeni kirliliklere yol açmadan değerlendirilmesi ekosistemin sürdürülebilirliğinin ön koşuludur.

Atık suların çevreye olası zararlarını azaltmak ve kullanılabilir suların devamlılığını sağlamak için kurulan atık su arıtma tesisleri giderek yaygınlaşmaktadır. Bunun sonucu olarak da arıtmadan sonra geriye kalan ve biyoatık olarak adlandırılan atık çamurların güvenli bir şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir. Atık çamurun taşınması ve bertarafı arıtma tesisi sermaye maliyetinin % 40–60'ı, işletme maliyetinin % 50'si kadardır [2]. Atık çamurların uzaklaştırma yöntemleri; yakma, arazi doldurma, okyanusa boşaltma ve araziye uygulama şeklindedir. Son zamanlarda atık çamurların araziye uygulanması tercih edilen bir yol haline gelmiştir [3].

Atık çamur yüksek organik madde ve bitki besin içeriğine sahiptir, bu nedenle, toprak üretkenliğini artırmak için büyük bir potansiyeli vardır [4]. Atık çamurlardaki azot ve fosfor gibi elementlerin atığa faydalı bir gübre [5], organik maddelerin ise iyi bir toprak ıslah edici madde özelliği göstermesi [6] sebebi ile ABD Çevre Koruma Örgütü (EPA) başta olmak üzere birçok ülkedeki yetkili kuruluş atık çamur gibi biyolojik katıların tarımda kullanımını desteklemeye başlamışlardır. 1978'den bu yana, araziye uygulama ABD'de en sık kullanılan çamur bertaraf yöntemi olarak ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte atık çamurun araziye uygulanması ağır metal gibi kirleticilerin de içinde

bulunduğu, alıcı ortamlarda birikmeleri sonucu toksikliğe neden olan elementlerin toprağa girmesine yol açabilmektedir [3, 4, 6, 7].

Kentsel ve endüstriyel atık suların arıtımı ile oluşan atık çamurlar bünyelerinde toksik elementler bulundururlar. Önemli etkiye sahip olan toksik elementlerin başında ise ağır metaller gelir. Ağır metaller bitki için gerekli olsun veya olmasın bunların doku ve organlardaki aşırı birikimi toksik etki yapar ve sonunda bitkiyi ölüme götürür [8, 9, 10]. Bunlar doğal ortamda her zaman vardır [3]. Bu elementlerin toprak içindeki konsantrasyonları; toprak ana materyalinin bileşimine, mineralizasyon derecesine ve toprak yapısına göre farklılıklar gösterebilir.

Bazı ağır metaller önemli olmasına rağmen bitkilerde fotosentez, transpirasyon, enzim aktivitesi, klorofil biyosentezi, çimlenme gibi olayları olumsuz yönde etkileyerek [11] fitotoksik sorunlar ortaya çıkarırlar. Toprak pH'sı bu elementlerin bitki tarafından alınabilirliğini belirlemede en önemli faktör olarak göze çarpmaktadır [12]. Molibden hariç diğer elementlerin bitki tarafından alınımı toprak pH'sı arttıkça azalmaktadır [13]. Bu nedenle yönetmeliklerce arıtma çamuru uygulanacak toprağın pH'sının 6,5 veya daha yüksek olması istenir. Böylelikle ağır metallerin topraktaki hareketleri sınırlandırılmış olur. Bunlar bitkiler tarafından alındığında sadece verimde azalmaya neden olmamakta aynı zamanda insan ve hayvan sağlığını da olumsuz yönde etkilemektedir.

Bu çalışmanın amacı; bitkiye etkisi yönünden, arıtma tesisinden alınan iki farklı formdaki (kuru/yaş) atık çamurun toprağa uygulanan değişik oranlarında *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'te meydana gelen ağır metal birikimlerini araştırmaktır.

2. BÖLÜM
GENEL BİLGİLER

2.1. Atık Çamurun Tanımı

2.1.1. Ham Çamur

Atıksu arıtma tesislerinde, atıksu içinde kendiliğinden çöken, sıvı veya yarı katı halde, kokulu, uygulanan arıtma işlemine bağlı olarak % 0.25 ila % 12 oranında katı madde içeren atıklar " ham arıtma çamuru" veya kısaca " ham çamur" olarak tanımlanır. Ham çamurun toprakta kullanımı yasaktır.

2.1.2. Atık Çamur (Stabilize Arıtma Çamuru = Biyokatı)

Ham çamurlar değişik yöntemlerle stabilize edilerek ekolojik olarak kullanıma uygun hale getirildikten sonra "Atık Çamur", "Stabilize Arıtma Çamuru" veya kısaca "Biyokatı" olarak isimlendirilmektedir**.**

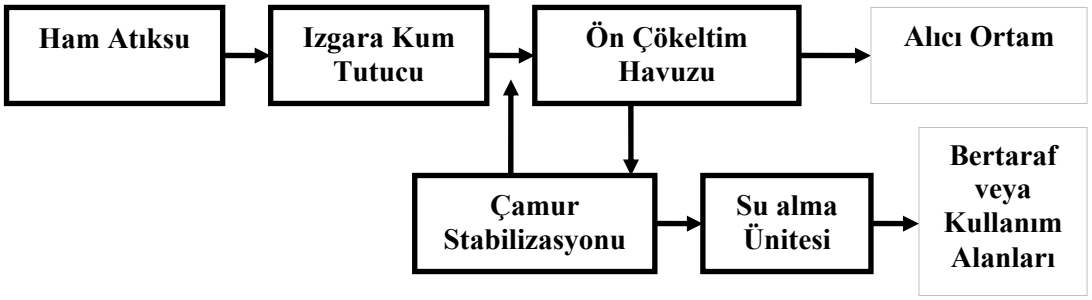
2.2. Atık Çamur Oluşum Mekanizmaları

Atık çamurun kaynağı, prosesin tipi ve işletme metoduna göre değişiklik gösterir. Arıtma sisteminin çeşidine göre çöktürme tankı, yoğunlaştırma, çürütme, şartlandırma ve susuzlaştırma üniteleri birer atık çamur kaynağı olarak düşünülebilir.

2.2.1. Ön Arıtma

Birincil arıtım olarak da ifade edilir. Burada fiziksel arıtım yapılır. Arıtımın bu ilk aşamasında inorganik karakterli katı maddeler ızgara ve kum tutucu filtrelerinde toplandıktan sonra bertaraf sahasına iletilirler. Izgara ve kum tutucudan geçen atıksu ön çökeltim havuzlarına iletilir (Şekil 2.1) [13].

Çökeltim havuzu tabanında toplanan maddeler " ham ön çökeltim çamuru" olarak tanımlanır. Bu çamurun stabilizasyonunda genellikle anaerobik çürütme yöntemi kullanılmaktadır. Anaerobik çürütme ile çamur koku ve patojenlerden önemli oranda arındırılır. Kurutma yataklarında veya mekanik olarak suyu alındıktan sonra kullanımı mümkün olmaktadır.



Şekil 2.1. Ön arıtım sisteminin akış şeması.

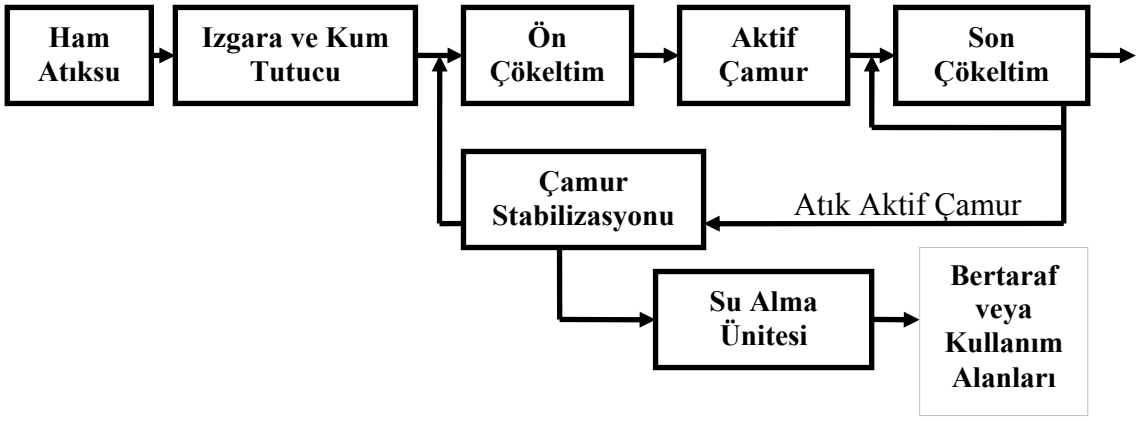
Ön çökeltim sisteminin yanı sıra destilasyon, dondurma ve ters osmoz yöntemleriyle de ön arıtma yapılabilmekte, bu sistemlerin Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ) giderim verimi %90–95 arasında olmaktadır. %30–35 BOİ giderim verimi olmasına rağmen ön çökeltim havuzlarıyla ön arıtım düşük maliyeti nedeniyle tercih edilmektedir [14].

2.2.2. İkincil Arıtma

İkincil arıtımın amacı BOİ giderimidir. Bu nedenle, yöntemin temeli çözünebilir organik maddelerin biyokimyasal oksidasyonuna dayanır. En yaygın olarak kullanılan ikincil arıtım sistemleri; aktif çamur ve damlatmalı filtrelerdir [14].

2.2.2.1. Aktif Çamur Sistemleri

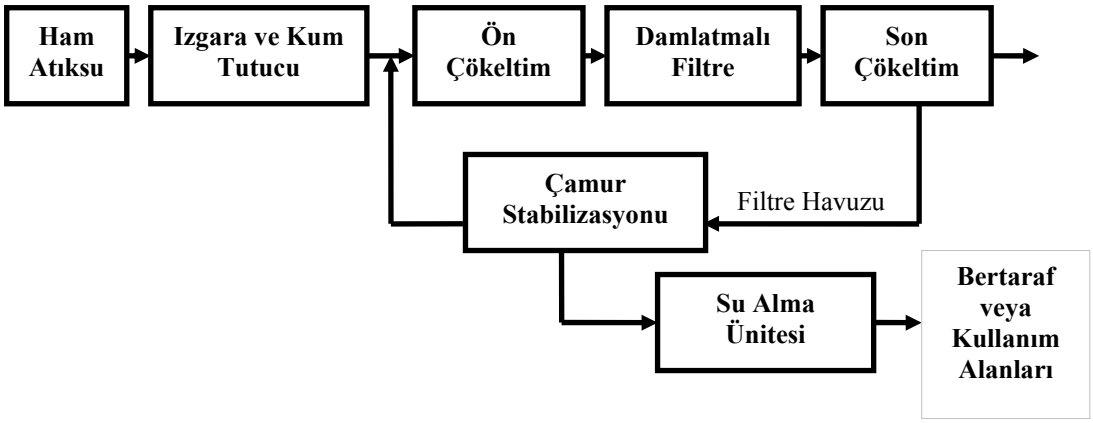
Genellikle büyükşehirlerde atık suların arıtımında kullanılmaktadır. Aktif çamur, süspanse bir yapı içerisinde yerleşmiş çeşitli bakteri türlerinden ve protozoalardan oluşmaktadır. Bu sistemde son çökeltme havuzunda toplanan " atık aktif çamurun" sadece bir kısmı stabilize edilmek üzere sistemden uzaklaştırılmakta, diğer kısmı ise geri dönüş çamuru olarak sisteme gönderilmektedir (Şekil 2.2). Tasarımı iyi yapılmış aktif çamur sistemine göre işletilen bir tesisin BOİ arıtma verimi %80–90 arasında değişmektedir [13].



Şekil 2.2. Aktif çamur sisteminin kullanıldığı ikincil arıtım.

2.2.2.2. Damlatmalı Filtre Sistemi

Damlatmalı filtreler üzerinde mikroorganizmaların biyofilm halinde büyüdüğü katı tanecikler içeren bir dolgulu sistemdir. Bu sistem küçük yerleşim yerlerine ait atık suların ve biyolojik olarak ayrışabilen endüstri sularının arıtılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemdeki biyolojik süreçler gerçek anlamda mekanik bir filtre olarak çalışmazlar. Bu nedenle, filtrelerin" biyolojik reaksiyon yatakları" olarak isimlendirilmesi daha doğru bir yaklaşımdır. Filtre yataklarından kopan katı partiküller son çökeltim havuzunda arıtılmış sudan ayrılır ve bu çamur " filtre humusu" olarak tanımlanır ancak miktarı azdır. Filtre humusu genellikle ham ön çökeltim çamuru ile karıştırılmakta ve genellikle anaerobik olarak çürütülmektedir (Şekil 2.3); [13].



Şekil 2.3. Damlatmalı filtre sisteminin kullanıldığı ikincil arıtım.

2.2.3. Üçüncül Arıtım (Fiziksel-Kimyasal Arıtma)

İkincil arıtmadan daha yüksek kalitede arıtım sağlamak üzere uygulanan ileri arıtım kademesidir. Üçüncül arıtım atık suda azot ve fosfor giderimi ile dezenfeksiyon işlemlerini kapsar. Gelişmiş ülkelerde bile bu tür ayırım yapan tesislerin sayısı çok azdır [13].

2.2.3.1. Biyolojik Azot ve Fosfor Giderimi

Ham atık suda azot, amonyak veya organik formda olup, her ikisi de çözünmüş ve katı halde olabilirler. Azotun nitrit ve nitrat formları ise bazı endüstriyel atık sular haricinde atık sularda yok sayılabilecek kadar az bulunurlar. Azot formlarından çözünmüş organik azot atık suda daha çok üre ve amino asit halinde bulunur. Katı halindeki organik maddeler ise ön çöktürme ile giderilir. Biyolojik arıtma sırasında, organik azotun birçoğu amonyum ve diğer inorganik formlara dönüşürken amonyumun bir kısmı da mikroorganizmalar tarafından hücre sentezinde kullanılır. Atık sudaki azot konsantrasyonuna bağlı olarak tek veya iki adımda arıtma yapılabilmektedir. Birinci adımda amonyum havalı ortamda nitrata dönüştürülürken (nitrifikasyon) ikinci adımda ise nitrat azot gazına dönüştürülür (denitrifikasyon) [14].

Birçok atık suda, çözünmemiş halde olan ve sudaki fosforun yaklaşık %10'una karşılık gelen katı formdaki fosfor ön çöktürme ile giderilir. Mikroorganizma tarafından hücre sentezinde kullanılan miktar hariç, kalan çözünmüş fosforun konvansiyonel biyolojik arıtma ile giderimi oldukça zordur. Biyolojik fosfor giderimi mikroorganizmaların strese sokularak hücre büyümesi için gerekenden daha fazlasını adsorblamaları esasına dayanır. Birçok biyolojik proses kimyasal arıtıma alternatif olarak geliştirilmiştir [14].

2.3. Atık Çamurun Kimyasal Özellikleri

2.3.1. Organik Madde

Belediye atığında bulunan toplam katının yaklaşık %50' si organiktir [15]. Atık çamurun organik madde içeriği toprağı şartlandırma özelliği bakımından değerli bir kaynaktır. Araştırmalar göstermiştir ki, toprağa çamur eklenmesi toprak gözenekliliğini artırmakta, böylece toprak-su-bitki ilişkisine yardımcı olan ve toprak yapısını koruyan gözeneklerin sayısı da artmaktadır [15]. Çamur uygulamasının toprağın su tutma kapasitesi ve katyon değişim kapasitesini (CEC) artırdığı da bulunmuştur. Bu CEC

artışı çamur organik maddesinin yüksek değişim kapasitesinden kaynaklanmaktadır. CEC'deki artış bitki besinlerinin toprakta daha uzun tutulabildiği ve bitki alımı için daha yavaş serbest kaldığı anlamına gelir. Organik maddeler ağır metalleri absorblar ve böylece bunların toksik belirtilerini azaltır [7]. Ayrıca atık çamurlar yüksek organik madde nedeniyle patojen gelişimi için çok müsait ortamlardır [16].

2.3.2. Azot

Atık çamurlar genel olarak kuru maddede %1–6 oranında azot içerirler. Ticari gübrelerde bu oran %11–82 arasında değişmektedir. Atık çamurlarda bulunan azot hem organik hem de bitkinin kullanabileceği inorganik (amonyak, nitrat) formdadır. Atık çamurların içeriğindeki azotun tamamı bitkiler tarafından uygulamanın ilk yılı alınabilir durumda değildir. Çünkü bitkiler organik azotu direkt alamazlar, öncelikle mineralize olup suda çözünebilir forma (inorganik azota) dönüşmesi gerekir. Organik azotun mineralizasyon oranı da atık çamurun stabilizasyon yöntemine, iklime, toprak yapısına, mikroorganizma faaliyetlerine ve diğer faktörlere bağlıdır. Bu nedenle burada sabit bir oran vermek mümkün değildir, ancak genel bir yaklaşımla organik azotun büyük bir kısmı ilk yıl mineralize olmakta ve izleyen her yıl önceki yılın yarısı oranında azalmaktadır. Bu azalma genellikle %3 seviyesine ulaşıncaya kadar devam etmekte geri kalan azot toprakta azot fraksiyonları olarak kalmaktadır [13].

2.3.3. Fosfor

Fosfor önemli bir bitki besinidir ve atık sulardan fosfor giderme zorunluluğu nedeniyle atık çamurda fosfor içeriği meydana gelmektedir. Atık çamurlar genel olarak kuru maddede %0,8–6,1 arasında fosfor içerir. Ticari gübreler ise %8–24 oranında fosfor içermektedir. Atık çamurda fosfor da azot gibi hem organik hem de inorganik formda bulunur. İnorganik fosfor bileşikleri; kalsiyum, demir ve alüminyum fosfatları şeklinde karşımıza çıkar. Ancak inorganik fosfor inorganik azotun aksine toprakta meydana gelen çeşitli kimyasal reaksiyonlar sonucu bağlanmakta ve bitkiye yarayışlılığı %50 oranında azalmaktadır. Atık çamurların agronomik uygulama miktarları hesaplanırken uygulama yapılacak yerdeki toprağın azot ve fosfor içerikleri önemlidir. Fosfor oranı yüksek bir toprağa uygulanacaksa fosfor esas alınarak yapılmalıdır. Aksi takdirde yüksek fosfor miktarı yüzey sularının kirlenmesine neden olabilmektedir [13].

2.3.4. Potasyum

Diğer bir önemli bitki besini, ticari gübrelerin en yaygın esas bileşeni olan potasyumdur. Potasyumun çözünür doğasından dolayı, çamurda bulunan potasyum konsantrasyonu çamur susuzlaştırma işlemine bağlıdır. Tipik potasyum konsantrasyonu %0,5–1'dir [15]. Çamur uygulamaları süresince var olan potasyum bir potasyum kaynağı olarak düşünülebilir. Ne var ki, ülkemiz topraklarının büyük kısmında bitkiye yarayışlı potasyum miktarı yüksektir ve çoğu zaman tarımda potasyumlu gübre kullanılmamaktadır [13].

2.3.5. Toksik Organik Bileşikler

Toksik organik kimyasal maddeler (toplam poli klorlandırılmış bifeniller, PCB; poliçiklik aromatik hidrokarbon bileşikleri, PAH; toplam halojenlendirilmiş organik bileşikler, AOX; linear alkil benzen sülfanat, LAS; Di-Etilheksi fitalat, DEHP; nonilfenol ve nonilfitalatlar, NPE, vb.) in üretimi ve kullanımı bütün ülkelerde yasal düzenlemelerle kontrol altında tutulmaktadır. Bu bileşiklerin atık çamurlarda var olması durumunda ise konsantrasyonlarının atık çamurda düşük olması, toprakta degredasyona uğramaları ve toprak partikülleri tarafından adsorbe edilmeleri gibi nedenlerle insan sağlığı ve yeraltı suları için bir risk oluşturmayacağı belirtilmektedir [13].

2.3.6. Ağır Metaller

Ağır metallerin insan sağlığına etkileri söz konusu olduğunda kadmiyum üzerinde en fazla durulan metaldir. Kadmiyum; atmosferik depozisyon, fosforlu gübreler ve atık çamur uygulamaları ile toprağa geçer. Yüksek derecede toksik, vücutta tutulma süresi uzun ve toprak-bitki sisteminde yüksek derecede mobil olan kadmiyum çevresel toksikolojide önemle ele alınmaktadır [13].

Bakır ve diğer ağır metallerin bitkilerde esansiyal elementlerin alınımını kısıtlayabildikleri rapor edilmiştir [17]. Bu elementlerin eksikliği ile bitkilerde sıklıkla toksik etkiler ortaya çıkarmaktadır [18].

Atık çamur uygulanan topraklarda kadmiyum, bakır, nikel ve çinkonun biyolojik olarak bulunabilirliğinin, kurşun, civa ve kromdan daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ancak mobil elementler için bile atık çamur ile her yıl eklenen metal miktarının %0,05' inden

daha küçük bir bölümünün ürüne geçtiği belirtilmektedir. Aynı zamanda atık çamurlar diğer ağır metal içeren kaynakların çoğundan farklı bir özelliğe sahiptir, bu da atık çamurun önemli oranda organik madde, demir ve mangan gibi adsorbtif maddeleri bünyesinde bulundurmasıdır [13].

Genellikle çinko, bakır ve nikel bitki dokusunda insan sağlığına zarar verecek seviyeye ulaşmadan önce bitkiler için fitotoksik olmakta ve ayrıca bu üç elementin bitkide fitotoksik etkisi sadece asidik topraklarda ortaya çıkmaktadır [13]. Toprak pH'sının azalması ile aktif alüminyum miktarı da önemli derecede artar [19].

Mangan, demir ve alüminyumun topraktaki doğal miktarları atık çamur ile uygulanacak miktarların genellikle üzerindedir. Alüminyum ve manganın fitotoksik etkisi sadece asit karakterli topraklarda görülmektedir. Toprağın asitleşmesi bitki büyümesi ve gelişimini olumsuz yönde etkileyen ağır metallerin (Cd^{2+}, Cu^{2+}, As^{2+} ve Pb^{2+}) konsantrasyonunu artırırken temel katyonlar (Ca^{2+}, Mg^{2+} ve K^{+}) ın konsantrasyonlarının düşmesine neden olur [19]. Bitkilerin bu elementlerden toksik olarak etkilendikleri belirlendiğinde toprağa kireç uygulaması sonucu bu zararlı etkiler giderilebilmektedir.

Otlatma alanlarında yüzeye uygulanan atık çamurlar, hayvanların hareketleri ve yağmur damlalarının sıçratmasıyla, yem bitkilerinin yapraklarına bulaşabilmekte ve hayvanlar tarafından doğrudan alınabilmektedir. Bu yolla kurşun, selenyum, bakır ve molibdenin hayvanlara geçebileceği ve bu metallerin hayvan sağlığını etkileyebileceği belirtilmektedir. Diğer taraftan nikelin hayvanlara diğer metallerden daha az toksik olduğu ve atık çamur bulaşmış bitkilerin otlatma sırasında doğrudan alımı ile hayvanlarda sağlık probleminin oluşmadığı da yapılan araştırmalarla belirlenmiştir [13].

2.3.6.1 Ağır Metallerin Bitki Bünyesine Alınması ve Bitkiye Etkileri

Ağır metallerin bitkilerdeki metabolik olayları nasıl etkilediğini açığa çıkarmak, bu kirleticilere karşı hangi tepkileri verdiğini bilmek ve hangi uyum mekanizmalarını geliştirdiklerini belirlemek oldukça önemlidir. Metallerin bitkiler üzerindeki kombine etkileri ile ilgili henüz fazla çalışma olmamasına rağmen tek tek etkileri hakkında elde edilmiş değerli bilgiler mevcuttur [3].

Ağır metaller (Cu, Mo, Ni, Zn, Mn, Fe vb.) düşük konsantrasyonda bitki gelişimi için önemlidir. Bununla birlikte belirli eşik konsantrasyonların üzerinde bu elementler birçok bitki türü için toksik hale gelmektedir [3].

Bitkilerin canlılığını sürdürebilmesi için gerçekleştirdiği fotosentez, transpirasyon, enzim aktivitesi, klorofil biyosentezi, çimlenme gibi olaylar ağır metallerin varlığından olumsuz yönde etkilenir [11]. Ağır metaller bitkide klorofil içeriğini düşürür, bitki gelişimini ve respirasyonunu inhibe eder, hücre organellerinin yapısını değiştirir, çeşitli metabolik yollardaki anahtar enzimlerin aktivite ve miktarını değiştirir, böylece metabolizmada bozukluk meydana getirirler [19].

Bitkiler ortamda bulunan aşırı miktardaki ağır metalleri alarak proteinlerin sülfidril gruplarına bağlayabilir ve bu da bir fonksiyon kaybına neden olabilir veya yapıyı bozabilir, böylece esansiyel elementlerin (Zn, Mg, Ca ve Fe gibi) alınımı engellenebilir ya da daha farklı bir takım olumsuz etkiler doğabilir. Diğer taraftan ağır metaller serbest radikal oluşumunu tetikleyebilir veya oksijene bağlı reaksiyonlara ve böylece de oksidatif strese neden olabilirler [20, 21]. Metallerin toksisitesi, reaktif oksijen türlerinin oluşumuna neden olarak protein, nükleik asit ve yağların yapısını bozar ve sonunda hücrenin ölümüne yol açar [10].

Toprakta bulunan besinler (organik maddeler) de ağır metallerin bitkiler tarafından alınımını etkilemektedir [22, 23]. Atık çamur uygulamasından sonra çamurdan gelen ağır metallerin biyolojik mevcudiyeti hakkında iki hipotez vardır; a) "Çamur koruma" hipotezine göre atık çamurdan kaynaklanan ağır metaller toprakta kalmak şartıyla çamurun inorganik bileşikleri tarafından düşük biyolojik mevcudiyet formunda korunurlar, b) İkinci hipoteze göre ise organik maddeler ağır metalleri absorblar ve böylece bunların toksik belirtilerini azaltır [7].

Yoğun ağır metal içeren ortamda yetişen bitkiler bunlardan en az etkilenecek şekilde kendilerini korumaya çalışırlar. Bu nedenle bir takım mekanizmalar geliştirmişlerdir. Örneğin; aşırı ağır metal alımı ve bitki dokularına taşınımı sonucunda; hücre dış sınırının şekli değişir ve burada musilaj üretimi gerçekleşir, ayrıca endodermal kaspari şeridi veya hücre duvarı aracılığıyla geçiş durdurulmaktadır. Bunun aksine ağır metal

biriktirme kapasitesi yüksek olan bitkiler ağır metalleri vakuollerine taşırlar; burada yer alan organik asit, amino asit veya metal bağlayan peptidler aracılığı ile bağlayarak toksisitelerini giderirler (detoksifikasyon) [24]. Ağır metallerin bitkide oluşturduğu bir takım fizyolojik ve moleküler cevaplar şu şekilde sıralanabilir:

1) Hücre dışı salgı salgılama ve hücre duvarına bağlama yoluyla alınımı azaltma,

2) Vakuol ya da tonoplastlarda depolama,

3) Organik asit, amino asit vb. moleküllerin yapısına katma,

4) Protein veya antioksidatif enzimlerin üretimini artırma,

5) Hücre yapısı bozulduğunda tamirin gerçekleşmesini ve metabolik yolların yeterince fonksiyonel olmasını sağlamak için metabolizmanın modifikasyonu ve aktivasyonunu gerçekleştirme [25, 20].

2.3.7. Patojenler

Ham kanalizasyon ortamında bakteri, virüs ve protozoa gibi patojenik mikroorganizmalar ile helmintler her zaman bulunmaktadır [16]. Kanalizasyon ortamındaki bu patojenler kullanılan atıksu arıtma teknolojileri ile önemli düzeyde azaltılmakta ve bu sayede arıtma tesislerinden çıkan atıksu ve atık çamurlar alıcı ortamlara verilebilmektedir. Stabilizasyon ve dezenfeksiyon işlemleri bu amaçla kullanılmaktadır. Arıtma tesislerine giren kanalizasyonun ve değişik arıtımlar sonucu oluşan atık çamurun içerdiği mikroorganizma sayıları Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Atıksu arıtma yöntemlerine göre arıtılmış atıksu ve atık çamurda bulunabilecek mikroorganizma sayıları (EMS: En muhtemel sayı, PFB: Plak form birim).

Mikroorganizma	Arıtılmış atıksuyun 100 mL' sinde bulunan sayı				Çamurun 1 gr'ında bulunan sayı	
	Ham Lagün	Birincil Arıtım	İkincil Arıtım	Üçüncül Arıtım	Ham Çamur	Stabilize Çamur
Fekal koliform (EMS)	10^9	10^7	10^6	<2	10^7	10^6
Salmonella (EMS)	8.000	800	8	<2	1.800	18
Shigella (EMS)	1.000	100	1	<2	220	3
Enterik virüs (PFB)	50.000	15.000	1.500	0.002	1.400	210
Giardia lamblia kistleri	10.000	5.000	2.500	3	140	43
Helmint yumurtası	800	80	0.08	<0.08	30	10

2.4. Atık Çamurların Akıbeti

Atık çamurların ekosistemdeki toplam metal yüküne nisbi katkısı düşüktür [13]. Ancak yöresel olarak ve aşırı miktarda uygulandıklarında topraklarda potansiyel olarak zararlı bazı metallerin konsantrasyonlarının aşırı derecede artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle atık çamurların çevreye zarar vermeden bertaraf edilmesi gerekmektedir. Bertarafın son kademesi önemli bir kaygı haline gelmiştir [26]. Son yıllarda bu konuda geliştirilen yöntemler arıtma tesisleri için ciddi tasarruflar sunabilir. Atık çamur bertarafında kullanılan yöntemler arasında; yakma, okyanusa boşaltma, düzenli depolama, araziye uygulama, vb. metotlar yer almaktadır.

2.4.1. Yakma

Günümüzde, atık çamurlarının bertaraf yöntemi olarak uygulanan yakma yöntemi Avrupa'da atık çamurların toplam kütlesinin yaklaşık % 15 kadarına uygulanmaktadır [27]. Bu uygulamada arıtma çamurları ya tek başlarına, ya da diğer atıklarla birlikte yakılmaktadır.

Arıtma çamurlarının doğrudan zirai amaçlı olarak kullanılması veya düzenli depolama sahalarına gönderilerek bertaraf edilmesi giderek artan yasal kontrollere tabi olmaktadır. Bu nedenle, yakma sistemlerindeki yatırım maliyetlerinin yüksek olmasına, yakma kriterlerinin sıkılığına, emisyon gazlarının işlenmesi ile ilgili maliyetlerin artmasına ve uçucu küllerle yanma ürünü olarak ortaya çıkan küllerin bertarafı işlemlerinin zorlaşmasına rağmen, arıtma çamurlarının yakılarak bertaraf yönteminin giderek daha fazla kullanılacağı beklenmektedir [27].

Arıtma çamurlarının yakılması işlemi ya doğrudan bu atıkları yakmak üzere kurulmuş olan yakma tesislerinde ya da diğer evsel atıkların da yakıldığı yakma tesislerinde gerçekleştirilebilir. Arıtma çamurlarını diğer atıklarla birlikte yakan tesislerde, arıtma çamurlarındaki organik maddenin yakılmasından kaynaklanan sınırlamalara uyum gösterilir [26].

Yanmadan sonra arıtma çamuru hacminde önemli azalma meydana gelir, arıtma çamurlarından enerji olarak yararlanılmış olur, arıtma çamurunun yakılmasından sonra ortaya çıkan yan ürünlerin geri dönüşüm amacı ile kullanılması mümkündür (asfalt

yollarda dolgu maddesi, beton üretimi ve tuğla yapımı), bu proses çamur kompozisyonuna fazla hassas değildir, güvenilir sistemlerdir ve sitemin kapalı olması ve yüksek sıcaklıklar nedeni ile kokular minimize edilir. Bu avantajlarının yanı sıra yakma tesisleri yatırım maliyetleri yüksek işletmelerdir. Bunlar ancak büyük hacimlerin bertarafı için uygundur.

2.4.2. Okyanusa Boşaltma

Okyanusa boşaltma uzun süre önce atık çamur bertarafında uygulanmış ancak şu an geçerliliği olmayan bir yöntemdir. Atık çamurun okyanusa dökülmesi oradaki ekosistemi ciddi şekilde etkiler. Çamurda yer alan toksik maddeler kabuklular tarafından alınabilir ve oradan da insan besin zincirine girebilir. Yine çamurdaki yağ ve gres gibi yüzen materyaller tekrar kıyıya sürüklenebilir, sağlık ve estetik kaygılar doğurabilir. Bu gibi nedenlerden dolayı atık çamurun okyanusa ya da denize boşaltılması birçok ülkede yasal düzenlemelerle kaldırılmıştır [15].

2.4.3. Düzenli Depolama

1993 yılında Avrupa Birliğinde 230 milyon ton (yaş) atık çamur üretildiği hesaplanmıştır. Almanya'da üretilen arıtma çamurun % 25 kadarı zirai amaçlarla, % 65 kadarı düzenli olarak depolanmakta ve % 10 kadarı da yakılarak bertaraf edilmiştir. İsviçre'de bu değerler % 50, 30 ve 20 ve Fransa'da ise % 55, 25 ve 20 şeklinde gerçekleşmiştir [27]. Böylelikle her ülkeye göre değişiklikler ortaya çıkmıştır. Ancak, gelecekte atık çamurlarının düzenli depolama alanlarında bertarafı, başka hiçbir işleme yöntemi olmadığı durumlar için geçerli olacak ve bu şekilde bertaraf en düşük öncelikte kalacaktır. Günümüzdeki arıtma çamuru bertarafı zirai kullanım ve yakmaya yöneliktir.

Düzenli depolama alanları ile ilgili tercihler yapılırken en iyi tercihlerde (yerleşim koşullarında) ve en iyi işletme koşullarında bile bir miktar toprak altı kirliliğinin olması muhtemeldir. Bu nedenle depolama sahası seçimi yapılırken jeolojik olarak sakıncası olan sahalardan sakınılması gerekliliği ortaya konulmuştur. Düzenli bir depolama sahası için yapılan seçimlerde, önemli diğer bir faktör de bu sahanın "kuru" bir bölgede yer almasının zorunluluğudur. Depolama sahası yeraltı su tabakasından yukarıda olmalıdır yani depolama sahasının tabanı ile doymamış bölge arasındaki mesafenin mümkün olduğunca büyük olması da gerekmektedir. Çevresel kirlilik; doğru saha seçiminin

yapılması, katı atıkların organize bir şekilde bertaraf edilmesi, depolama sahasının yüzeyinin profesyonelce korunması ve bertaraf tesisinin devamlı olarak düzenli tutulması ile minimize edilebilir.

Organik maddeler (yağ, proteinler, karbonhidratlar) biyolojik olarak kolaylıkla parçalanabilirler. Bu parçalanma sırasında ve depolama aşamasında koku problemleri ortaya çıkar. Çamur aynı zamanda bulaşıcı hastalıklara da neden olabilir.

Atık çamurlarının depolanması ile ilgili iki alternatif vardır: Bunlardan biri, arıtma çamurunun tek başına bertaraf edilmesi, diğeri ise evsel atık su tesislerinden çıkan çamurun evsel katı atıklarla birlikte bertaraf edilmesidir. Tek-başına (mono) depolama işleminin yapılacağı sahalardaki en önemli sınırlama arıtma çamurunun muhtevasındaki su miktarıdır. Genelde bu % 65'den daha fazla olmamalıdır, çünkü daha fazla su miktarları taşıma ve işleme sırasında kullanılan mekanik araçlara zarar verir. Karışık depolama yapılması durumunda, daha fazla olan malzeme evsel katı atıktır. Bu durumda arıtma çamuru ikinci bir ilave maddedir ve toplamın sadece % 20 – 25 kadarını oluşturur. Katı atıkların su tutma kapasitesi göreceli olarak yüksektir. Depolama sahasında uygun bir mikrobiyolojik faaliyetin başlaması için, atıkların % 60 – 65 civarında su ihtiva etmesi gerekir. Atıklar zamanla olgunlaşır ve depolama gazı oluşumu güçlenir. Bu depolama alanlarında oluşan depolama gazının toplanması ve kullanılması arzu edilen bir husustur [28].

2.4.4. Zirai Kullanım (Araziye Uygulama)

2.4.4.1. Zirai Kullanımın Tanımı

Atık çamur genel olarak arıtma tesisinde depolanır veya çiftçinin kullanımı için çiftlikteki depoya götürülür. Ortaya çıkan arıtma çamurlarının yüksek miktarlarda oluşu ve depolama kapasitelerinin sınırlı oluşu, çamurun hacminin azaltılması için susuzlaştırılmasını gerektirir.

Normal olarak arıtma çamuru tarım arazisine, sabanlama ve tohumlamaya bağlı olarak yılda bir ya da iki defa serilir. Böylelikle, çamurun içindeki besleyici maddeler tarım

ürünleri tarafından maksimum oranda alınır ve yüzey ve yeraltı sularına giden madde miktarı azalmış olur.

Genel olarak, atık çamurun tarım arazisine serilmesi için çiftçinin sıvı ve tezek sermek gayesi ile kendi kullandığı ekipmanları kullanılır. Bu ekipmanlar ideal olmadıkları için, araziye verilen kuru madde ve besleyici madde miktarlarının kontrollü bir şekilde verilerek yasalarda öngörülen (izin verilen) değerlerde olmalarını sağlamak oldukça güçtür (Tablo 2.2).

Tablo 2.2. Toprağa uygulanacak atık çamurların çeşitli ülke ve kuruluşlarda izin verilen potansiyel toksik element kapsamları (ppm-kuru madde).

Element	Avrupa birliği (86/278/EEC)	Fransa		Almanya		Hollanda	Amerika (EPA, 1993)	
		Referans	Limit	Toprak pH 5-6	pH>6		Önerilen Limit	Tavan Limit
Cd	20-40	20	40	5	10	1,25	39	85
Cu	1000-1750	1000	2000	800	800	75	1500	4300
Ni	300-400	200	400	200	200	30	420	420
Pb	750-1200	800	1600	900	900	100	300	840
Zn	2500-4000	3000	6000	2000	2500	300	2800	7500
Cr	_	1000	2000	900	900	75	1200	3000
Hg	16-25	10	20	8	8	0,75	17	57
Se	_	100	200	_	_	_	36	100
As	_	_	_	_	_	_	41	75
Mo	_	_	_	_	_	_	18	75

Sonuçta, atık çamurda olması gereken kuru madde miktarının mevcut ekipmana uygun olması önemlidir. Aksi takdirde serpme işleri için özel ekipmanlara yatırım yapılması gerekir. Serpme işleminden sonra, atık çamur toprağın içine (saban ile) verilir. Yasalar kokudan dolayı ortaya çıkan rahatsızlığı önlemek için bu sürenin (serilme /toprak içine verilme süresi) çok kısa olmasını öngörür.

Atık çamurun tarım arazilerine uygulanmasının aşağıdaki avantajları vardır:

- Atık çamur içindeki fosfor ve azot gibi besleyici maddelerin kullanılması,
- Toprağın humus tabakasını iyileştirmek maksadı ile atık çamur içindeki organik maddelerin kullanılması (yani toprağın ıslah edilmesi),
- Genel olarak atık çamur bertarafının en ucuz yöntemi olması.

Atık çamurun tarım arazilerine uygulanmasının aşağıdaki dezavantajları mevcuttur:

- Bir yıl içinde atık çamur tarım arazisi üzerine ancak belirli sayıda serilebildiği için çamur depolama tesisleri için önemli yatırımların yapılması gerekliliği,
- Çiftçilere olan bağımlılıktan dolayı çok sayıda idari anlaşmanın yapılması zorunluluğu,
- Atık çamur içinde bulunan mikro kirletici muhtevası ve bunların besin zincirine yapacakları etkiler konusunda bilgi düzeyinin yetersiz oluşu,
- Tam olarak yasal uyum kontrolü yapılmasının güçlüğü.

2.4.5. Avrupa Birliği (AB)'nde Durum

Türkiye'nin gelecekteki AB üyeliği de dikkate alınarak AB üye ülkelerindeki duruma bakmakta fayda vardır. Atık su arıtma çamurunun son bertarafı için değişik üye ülkelerin uyguladıkları (uygulayacakları) metotlar ve yaklaşımlarla ilgili bilgiler halen kesinlik kazanmış değildir. Bazı Avrupa ülkelerinde atık çamurlarının bertarafındaki ana uygulama yöntemi bunların düzenli depolama sahalarında gömülmeleridir. % 50 – 75 arasındaki uygulama bu yöndedir. Geri kalan (% 25 ile 35 arası) miktarlar zirai tarım bölgelerinde toprak iyileştiricisi / gübre amaçlı kullanılmakta veya diğer geri dönüşüm sistemleri içinde (örneğin, parklar, saha ıslah işlemleri ve peyzaj gibi amaçlarla) değerlendirilmektedir [27].

Atık çamurların denize gönderilerek bertarafı günümüzde yasaklanmış, bunların depolama alanlarında bertarafı ise yeni yayınlanmış olan "Düzenli Depolama Sahası Yönetmeliği" sayesinde kontrol altına alınmıştır. Söz konusu Düzenli Depolama Sahası Yönetmeliği atıkların depolama sahasında depolanmalarından önce, bunların bütün organik içeriklerinden arındırılması zorunluluğunu getirmiştir. Atık çamurun nihai bertarafı ile ilgili sorun, bu atıkların miktarlarının devamlı olarak artması ve yine bu atıkların tarım arazilerinde sınırlı olarak kullanılabilmeleri nedeni ile hala çözüme

kavuşmamıştır. Bu sorunun çözümü, her yıl yaklaşık olarak 4 milyon ton mertebesinde atık çamur ortaya çıkaracak olan ve atık sularını henüz arıtmayan ancak arıtmak üzere yeni tesisleri devreye almak zorunda bulunan geçiş durumundaki ülkeler için daha da zordur.

Arıtma tesislerinde ortaya çıkan atık çamurların, aerobik veya anaerobik yöntemlerle parçalanması, mekanik yöntemle kurutulması ve yakılması gibi yöntemlerle bertaraf edilmesinin maliyeti genelde arıtma tesisi için yapılan toplam yatırımın % 50'sini oluşturmaktadır. Arıtma tesislerindeki işlemler, oluşacak nihai, ancak daha kompleks yöntemlerle bertaraf edilmesi gereken atık çamur miktarını önemli derecede azaltabilir. Bu yüzden atık çamurun bertarafına yönelik yönetim stratejileri planlanırken, atık çamur işleme alternatiflerinin tamamının göz önünde bulundurulması önem kazanmaktadır.

2.4.6. Türkiye' deki Durum

Ülkemizde atıksu arıtma tesislerinin sayısının giderek artması atık çamurların nasıl değerlendirilmesi konusunu yoğun olarak düşündürmektedir. Ancak bu konuda yeterli araştırma verilerinin olmadığı da bir gerçektir. Mevcut uygulamaya bakılacak olursa, atık çamurlar ya çöp depolama alanlarına dökülmekte ya da tesis yakınındaki çiftçiler tarafından gübre olarak bilinçsizce tarımsal üretimde kullanılmaktadır. Oysa organik madde bakımından zengin, ıslah edici özelliği olan atık çamurların toksik element içeriklerinin olduğu göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle atık çamur kullanımının topraklarda metal kirliliğine yol açmaması ve çevresel toksisitenin önüne geçilmesi amacıyla ülkemiz de dahil olmak üzere birçok ülkede çeşitli yönetmelikler çıkarılmıştır. Ülkemizde Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (TKKY) kapsamında atık çamurun toprağa uygulanması ile ilgili ayrıntılar yer almaktadır. Bu yönetmeliğe göre topraktaki ağır metal sınır değerleri Tablo 2.3 ve toprakta kullanılabilecek arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal içerikleri Tablo 2.4' de verilmiştir.

Tablo 2.3. TKKY/EK I'de verilen topraktaki ağır metal sınır değerleri [29].

Ağır Metal	pH <= 6 $mgkg^{-1}$ Fırın Kuru Toprak	pH > 6 $mgkg^{-1}$ Fırın Kuru Toprak
Kurşun	50 **	300 **
Kadmiyum	1 **	3 **
Krom	100 **	100 **
Bakır *	50 **	140 **
Nikel *	30 **	75 **
Çinko *	150 **	300 **
Civa	1 **	1,5 **

* pH değeri 7'den büyük ise Bakanlık sınır değerleri % 50'ye kadar artırabilir.

** Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda, bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.

Tablo 2.4. TKKY/EK II'de verilen toprakta kullanılabilecek arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevaları [29].

Ağır Metal Muhtevaları	Sınır Değerler ($mgkg^{-1}$ fırın kuru toprak)
Kurşun	1200
Kadmiyum	40
Krom	1200
Bakır	1750
Nikel	400
Çinko	4000
Civa	25

3. BÖLÜM
MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyaller

Bu çalışmada kullanılan *Triticum aestivum* (buğday) tohumları Kayseri TİGEM (Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü) Bayii'nden, *Beta vulgaris var. saccharifera* (şeker pancarı) tohumları ise Tarım Kredi Koop.'dan temin edilmiştir.

3.1.1. *Triticum aestivum* L. (Buğday)

Poaceae familyasına ait tek yıllık, otsu bir türdür. Karasal iklimi tercih eder. Her türlü iklim ve toprak koşullarında yetişebilecek çok sayıda çeşide sahip olması nedeniyle dünyanın hemen her tarafında yetiştirilmektedir [30]. Gerek dünyada ve gerekse ülkemizde en fazla üretilen tarım ürünüdür. Buğday un ve yem üretiminde kullanılan temel bir besin maddesidir. Aynı zamanda çiftlik hayvanları için yem maddesi olarak da üretilmektedir. Buğday genellikle ılık ve serin iklim şartlarında yetişir. 10–15 ^{0}C sıcaklık ve %60 nisbi nem yetişmesi için uygun ortamdır. Derin, killi, tınlı-killi olan ve yeterli organik maddesi olan, fosfor ve kireci bulunan, kumlu ve tınlı topraklar buğdayın en iyi yetiştiği topraklardır.

3.1.2. *Beta vulgaris var. saccharifera* L. (Şeker Pancarı)

Chenopodiaceae familyasına ait, ılıman iklimde yetişen iki yıllık otsu bir türdür. İlk yıl vejetatif organları gelişirken kök kısmında bol miktarda şeker depolar, ikinci yıl ise çiçek ve tohum üretir [31].

Şeker pancarının yapısında % 4–5 hücre dokusu, % 4–5 kimyasal bağlı su, % 90–95 özsuyu bulunur. Pancar öz suyu ise % 15–18 şeker (sakaroz), % 1,0–0,6 diğer organik maddeler, % 0,8 inorganik tuzlar içermektedir.

Endüstri bitkileri içerisinde *Beta vulgaris* L. (şeker pancarı) önemli bir yere sahiptir. Dünya'da tüketilen 110 milyon ton şekerin %63'ü şeker kamışından, %37'si ise şekerpancarından elde edilmektedir [32]. Şeker pancarı kuzey yarımkürede ülkemizin de içinde bulunduğu 30° güney, 60° kuzey enlemleri arasında değişik iklim kuşakları ve bölgelerde yetişmektedir. Ülkemizde kıyı bölgeler hariç diğer bölgelerde şeker pancarı üretimi yapılmaktadır [33].

3.1.3. Atık Çamur

Atık çamur numuneleri Kayseri Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi (KASKİ) Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınmıştır (Ek-1-3).

3.2. Yöntemler

3.2.1. Atık Çamur Numunelerinin Alınması ve Hazırlanması

Bitkilerin yetiştirilmesinde yerleşim alanlarından uzak olan noktalardan alınan toprak ile belli oranlarda karıştırılarak kullanılacak olan atık çamur numuneleri KASKİ Atıksu Arıtma Tesisi çamur susuzlaştırma ünitesinden alınmıştır. Plastik kaplar içerisinde laboratuara getirilmiştir. Yaş atık çamur ile yapılacak deneyler için numune alındığı gün bitki yetiştirme deneyleri başlatılmıştır. Kuru atık çamur ile yapılacak deneyler için çamur gölge bir ortamda düzenli şekilde karıştırılıp kurutularak, 2 mm'lik elekten geçirildikten sonra bitki yetiştirme deneyleri ve analitik işlemlere kadar şeffaf plastik torbalarda muhafaza edilmiştir.

3.2.2. Bitki Yetiştirme Ortamının Hazırlanması

Yaş atık çamur ile yapılacak denemeler için; %10, %25, %50 ve kuru atık çamur ile yapılacak denemeler için; %2, %5 ve %10 oranlarında çamur ağırlık temel alınarak toprak ile karıştırılmış [34] ve 15 cm çaplı saksılara konulmuştur.

3.2.3. Kullanılan Malzemelerin Temizliği

Çalışmalar sırasında kullanılan cam, plastik ve porselen malzemeler öncelikle bir gün boyunca deterjanlı suda bekletilmiştir. Sonra musluk suyunda yıkanarak %20'lik nitrik asit içeren ortama alınıp bir gece de burada bekletilmiştir. Daha sonra yine musluk suyunda yıkanıp iki kez çift distile su ile yıkanarak 60 °C'de etüvde kurutulmuştur.

3.2.4. Tohumların Ekimi ve Çimlendirilmesi

Tohumlar üç kez 5'er dak. aralıklarla çift distile su ile yıkanmıştır. İçinde kurutma kâğıdı bulunan petri kaplarına çimlendirilmek üzere konulmuştur. Çimlenme 23 °C'de, %60 nem sağlayan bitki büyütme çemberinde gerçekleştirilmiştir.

3.2.5. Bitkilerin Yetiştirilmesi

Çimlenen tohumlar önceden hazırlanmış saksılara 0,5 cm derinlikte ekilmiştir. Saksılar 23 °C sıcaklık, 16 saat gün ışığı, 8 saat karanlık ve %60 nem sağlayan bitki büyütme çemberine alınmış ve hasada kadar bu ortamda yetiştirilmiştir (Ek–4). Saksılar her gün eşit miktarda musluk suyu ile sulanmıştır.

3.2.6. Bitkilerin Hasadı

Bitkiler 1 aylık inkübasyondan sonra hasat edilmiştir. Önce musluk suyunda, ardından çift distile suda iki defa yıkanmıştır. Yıkama işlemini takiben bitkiler kısımlarına (buğdayda; yaprak+gövde, kök ve pancarda; yaprak, gövde, kök) ayrılmıştır.

3.2.7. Numunelerin Saklanması ve Korunması

Hasattan elde edilen bitki materyalleri, toprak ve çamur numuneleri mikrobiyal bozunmaya engel olmak ve kuru ağırlık almak için 80 °C'de 24 saat kurutularak, analitik işlemlere kadar kese kâğıtlarında muhafaza edilmiştir.

3.2.8. Toprak ve Atık Çamur Analizleri

3.2.8.1. pH

Toprak ve atık çamur numunelerinin pH' ı distile su süspansiyonunda (1:5 w/v toprakta, 1:6 w/v çamurda) pH metre ile tespit edilmiştir.

3.2.8.2. İletkenlik

Toprak ve atık çamur numunelerinin iletkenliği (EC) distile su süspansiyonunda (1:5 w/v toprakta, 1:6 w/v çamurda) iletkenlik ölçer ile tespit edilmiştir.

3.2.8.3. Katı Madde

Numunelerdeki katı madde tayini SM–2540 D [35] yöntemine göre yapılmıştır. Toprak ve atık çamur numuneleri 103 °C' de sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuş ve katı madde içerikleri hesaplanmıştır.

3.2.8.4. Organik Madde

Numunelerde organik madde tayini SM–2540 Uçucu Katılar [35] yöntemine göre yapılmıştır. Toprak ve atık çamur numuneleri 550 °C' de sabit tartıma gelinceye kadar yakılmış ve organik madde miktarları hesaplanmıştır.

3.2.8.5. Azot (N)

Toprak ve atık çamur numunelerinin azot tayini SM–4500-N_{org}. B [35] yöntemine göre yapılmıştır. Numuneler H_2SO_4 ile yüksek ısıda parçalanarak bütün azot formları amonyak azotu (NH_4-N)'na dönüştürülmüştür. NaOH içeren ortamda destilasyon yapılarak destilat borik asitli ortamda toplanmıştır. HCl ile titre edilerek toplam kjeldahl azotu (TKN=organik azot + amonyak azotu) miktarı belirlenmiştir.

3.2.8.6. Fosfor (P)

Toprak ve atık çamur numunelerinde bulunan toplam fosfor Olsen metoduna göre tespit edilmiştir. Numunelerde bulunan fosfor sodyum bikarbonat ($NaCO_3$) ile açığa çıkarılarak çözeltide bulunan fosforun miktarına göre mavi renk oluşturan ortamda fosforu bağlayıp, indirgeyerek elde edilen mavi rengin yoğunluğunun spektrofotometrede okunması ve okunan değerin aynı koşullarda hazırlanmış ve içindeki fosfor miktarı bilinen standartlarla kıyaslanması esasına göre bulunmuştur [36].

3.2.8.7. Potasyum (K)

Mikrodalga parçalamasıyla hazırlanan örneklerde K içeriği ICP-OES cihazında belirlenmiştir.

3.2.9. Çözme İşlemleri

3.2.9.1. Mikrodalga Numune Hazırlama Cihazı

Mikrodalga numune hazırlama cihazı birçok materyali parçalamak, çözmek, hidroliz etmek, ekstrakte etmek veya kurutmak için tasarlanmıştır. Başlıca amacı; atomik

absorbsiyon (AA) ve indüktif eşleşmiş plazma emisyon spektroskopisi (ICP) ve gaz veya sıvı kromatografisi ile analiz yapmak için numunelerin hızlı ve güvenilir bir şekilde hazırlanmasını sağlamaktır. Numuneleri ısıtmak için mikrodalga enerjisi kullanılır. Polar bir sıvı veya iyonik bir çözelti ile birlikte mikrodalgayı geçiren kapalı kaplara konulan numune kısa bir süre içerisinde parçalanmak veya çözülmek üzere hızlı ısı ve yüksek basınca maruz bırakılır [37].

3.2.9.2. Toprak ve Atık Çamur Numunelerinin Mikrodalgada Parçalanması İşlemi

Daha önceden hazırlanmış kuru toprak ve atık çamur numuneleri 0,5 g tartılarak mikrodalga hücrelerine konulmuştur. Üzerine 10 ml %65'lik nitrik asit (HNO_3) eklenmiştir. 20 °C'de, 130 PSI'da 25 dakika mikrodalga cihazında parçalanmıştır. Mikrodalga hücrelerinden alınan parçalanmış numuneler 3500 rpm'de 20 dak santrifüj edilmiş ve süpernatant kısımları alınarak hacim çift distile su ile 30 ml'ye tamamlanmıştır. Ön işlemden geçmiş numuneler Inductively Coupled Plasma Optic Emission Spectrometer = İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES)'nde okuma işlemine kadar soğuk odada muhafaza edilmiştir.

3.2.9.3. Bitki Örneklerinin Mikrodalgada Parçalanması İşlemi

Kuru olarak kese kâğıtlarında muhafaza edilen kısımlarına ayrılmış bitki numuneleri porselen havanda ezilip karıştırılarak metal içeriğinin homojen bir şekilde dağılması sağlanmıştır. Her bir örnekten 0,5 g tartılarak mikrodalga cihazının kaplarına konulmuş ve 10 ml % 65'lik HNO_3 eklenmiştir. Parçalama işlemi 170 °C'de, 110 PSI'da 20 dak sürdürülmüştür. Numuneler santrifüj tüplerine konulup 3500 rpm'de 20 dak santrifüj edilmiş ve süpernatant kısımları alınarak hacim çift distile su ile 30 ml'ye tamamlanmıştır. Hazırlanmış numuneler ICP-OES'de okuma zamanına kadar soğuk odada bekletilmiştir.

3.2.10. Ağır Metal Tayini İşlemleri

3.2.10.1. ICP-OES

ICP-OES katı ve sıvı örneklerde çok sayıda elementin hızlı, hassas ve doğru biçimde, niteliksel, niceliksel ya da yarı-niceliksel olarak ölçülmesine olanak sağlayan ileri teknoloji ürünü bir elementel analiz tekniğidir. Teknik elektromanyetik indüksiyonla

6000–10000 K sıcaklığa ulaştırılan argon plazması tarafından örneğin iyonize edilmesi; iyonize elementlerin karakteristik dalga boyunda yaydığı ışığa göre ayrıştırılması ve element derişimlerinin standartlara karşı kalibre edilerek bulunması aşamalarını içerir. Örnekteki tüm elementlerin derişimleri 1 ile 2 dakika arasında değişen oldukça kısa bir sürede ölçülür.

Kolay iyonlaşabilmesi ve inert olması nedeniyle, ICP tekniğindeki plazma, argon gazı ile oluşturulur. Çok çeşitli yöntemlerle plazma oluşturmak mümkün olmakla birlikte bu yöntemde elektromanyetik olarak, argon gazının indüksiyon sarımlarında bir radyo frekans (rf) jeneratörünün etkileştirilmesi ile elde edilir. Örnek çözeltisi argon gazı ile birlikte silindirik bir kuartz tüp içinden plazmaya pompalanır. Plazmayı oluşturacak argon gazı; çapı bu silindirik tüpten biraz daha fazla olan ikinci bir kuartz silindirin içinden geçirilir. ICP cihazlarında frekans 27 MHz'dir. Argon gazı akımında ilk elektronların oluşturulması, bir elektron kaynağı ile sağlanır ve argon atomları ile çarpışırlar ve argon iyonları daha fazla sayıda elektronun oluşmasını sağlar. Bu işlemin tekrarlanması ile ortam sıcaklığı 6000–10000 K (+273=°C) arasında değişen bir sıcaklığa ulaşır. Plazmanın içine giren örnek çözeltisi, atomlaşır ve uyarılır. ICP yönteminin üstünlükleri; yüksek sıcaklıklara ulaşabilmesi, örnek çözeltinin plazma içerisinde oldukça uzun alıkonma süresine sahip olması ve atomlaştırılması, uyarma işlemlerinin inert kimyasal çevrede gerçekleştirilmesidir. ICP emisyon spektrokopisinde, elde edilen yüksek sıcaklık nedeniyle, çok kararlı bileşikler bile, plazma sıcaklığında atomlarına ayrışırlar. Ayrıca alevin kullanıldığı absorpsiyon ve emisyon spektroskopisi yöntemlerinde, oksijenin yüksek kısmi basıncı nedeniyle, toprak alkali elementleri, nadir toprak elementleri ve bor, silisyum gibi bozunmayan oksit ve hidroksit radikaller oluşturan elementlerin analizinde duyarlılık düşüktür. Fakat argon gazı ile oluşturulan plazmada böyle bir sorun yoktur. ICP yöntemi ile ise aynı anda, analizi mümkün olan tüm elementlerin nitel ve nicel tayinleri yapılabilir [38].

3.2.11. Klorofil Tayini

Klorofil tayini için 2 g örnek alınarak üzerine 25 ml %96 etilalkol (Et-OH) eklenmiştir. Bir müddet çalkalandıktan sonra karanlıkta 24 saat muhafaza edilmiştir. Bu süre sonunda solüsyon başka bir kaba alınıp, yapraklar üzerine tekrar 25 ml %96 Et-OH eklenerek yukarıdaki işlem bir kez daha tekrarlanmıştır. Bu işlemin üçüncü kez

tekrarlanmasından sonra elde edilen solüsyon %96 Et-OH ile 100 ml'ye tamamlanmıştır. Filtre kağıdı ile filtre edildikten sonra 10000 rpm'de +4 ^{0}C'de 20 dakika santrifüj edilmiştir. Süpernatant alınarak spektrofotometrede OD_{645} ve OD_{663} nm'de absorbansları ölçülmüştür [39–41].

Çıkan sonuçlar Mackinney G., (1941) tarafından verilen klorofil a ve b için spesifik absorbsiyon katsayıları kullanılarak ikili bir denkleme dönüştürülmek suretiyle klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil miktarları hesaplanmıştır [42].

D_{663}= 82.04 x Ca + 9.27 x Cb
D_{645}= 16.75 x Ca + 45.6 x Cb
Toplam klorofil= Ca + Cb

3.2.12. İstatistiksel Analizler

Elde edilen sonuçlara ait standart hatalar gruplar arası ve grup içi elementler arası değerlendirmeler "SPSS 13.0 for Windows" programı kullanılarak test edilmiştir. Her bir element $P \leq 0.05$ önem derecesinde Tukey ve Duncan'a göre test edilmiştir.

3.2.13. Toprak ve Atık Çamur Karakteri

Çalışmada kullanılan toprak ve atık çamurlara ait bazı karakteristik özellikler Tablo 3.1'de, TKKY bakımından önem taşıyan ağır metal içerikleri ise Tablo 3.2'de yer almaktadır. OM değerlerinden anlaşılacağı üzere toprağa atık çamur eklemenin en önemli faydalarından biri organik madde miktarını artırmasıdır [7]. Karaca (2004), çamurdan kaynaklanan organik maddenin besin havuzu gibi rol oynadığını ve besin çevrimini geliştirdiğini belirtmiştir [43]. Organik madde ve pH topraktaki ağır metallerin varlığını kontrol etmede en önemli faktörlerdir [13].

Tablo 3.1. Deneyde kullanılan toprak ve atık çamurlara ait bazı karakteristik özellikler

Parametreler	Toprak	Atık çamur (%10'luk yaş denemelerde kullanılan)	Atık çamur (%25-50'lik yaş denemelerde kullanılan)	Atık çamur (%2–5–10'luk kuru denemelerde kullanılan)
pH	8,42	5,94	5,88	6,15
EC (µs/cm)	227	5130	3620	4830
KM (%)	94,6	20,4	17,8	20,1
OM (%)	5,57	56,8	53,9	46,2
TKN (%)	0,0714	4,312	4,032	3,052
P (%)	0,1045	1,442	1,321	1,187
K (%)	0,5617	1,3807	1,1998	1,1044

Tablo 3.2. Deneyde kullanılan toprak ve atık çamurlara ait TKKY bakımından önem taşıyan ağır metal içerikleri

Parametre	Toprak	Atık çamur (%10'luk yaş denemelerde kullanılan)	Atık çamur (%25-50'lik yaş denemelerde kullanılan)	Atık çamur (%2–5–10'luk kuru denemelerde kullanılan)	TKKY sınır değerleri	
					Toprak İçin	Atık Çamur İçin (pH>6)
Pb ($mgkg^{-1}$)	8,47	235,5	191,5	264	1200	300
Cd ($mgkg^{-1}$)	0,452	2,19	3,355	4,12	40	3
Cr ($mgkg^{-1}$)	22,7	883	758	825,5	1200	100
Cu ($mgkg^{-1}$)	27,88	289,5	393	614	1750	140
Ni ($mgkg^{-1}$)	33,03	322	272,5	309	400	75
Zn ($mgkg^{-1}$)	35,2	1487	1304	1560	4000	300

4. BÖLÜM
BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Ağır Metaller

4.1.1. Arsenik (As)

Kuru atık çamur uygulamalarında *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'te kök, gövde ve yapraklarda Arsenik (As) birikimleri Tablo 4.1 ve Şekil 4.1'de verilmektedir. *Triticum aestivum*'da kuru atık çamur kullanılan denemelerde uygulamalara bağlı olarak bitkinin kök ve gövde+yapraklarında kontrol grubuna göre As birikimi bakımından istatistiksel olarak önemli farklar vardır ($p \leq 0{,}001$). Kontrol kök ve kontrol gövde+yaprak arasında önemli bir fark olmamasına rağmen, bunlarla %2 atık çamur uygulamasında kök kısmı (%2 kök), %5 atık çamur uygulamasında kök kısmı (%5kök) ve %10 atık çamur uygulamasında kök kısmı (%10 kök) arasında belirgin farklar göze çarpmaktadır. Bunun yanı sıra 7,51 $mgkg^{-1}$'lık birikimle %10 kök tüm diğer gruplardan farklaşmaktadır. %2 kök ile %5 kök arasında ise önemli bir fark yoktur ($p \leq 0{,}414$).

Beta vulgaris'te kuru atık çamur kullanılan denemelerde kontrol grupları ile % 2 ve %5 uygulamalarının yaprak ve gövdelerinde biriken As miktarları arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmamaktadır ($p \leq 0{,}287$). Ancak %5 ve %2 atık çamur uygulamaları sonucu köklerde biriken As miktarları önemli oranda artmıştır ($p \leq 0{,}001$). Bunun yanı sıra %2 ile %5 atık çamur uygulaması sonucu köklerde biriken As miktarları da önemli oranda farklıdır ($p \leq 0{,}001$). En fazla As birikimi 32,75 $mgkg^{-1}$ ile %2 atık çamur uygulaması sonucu köklerde elde edilmiştir. Ayrıca %5 atık çamur uygulaması sonucu köklerde 24.555 $mgkg^{-1}$ As birikimi bulunmuştur (Tablo 4.1 ve Şekil 4.2).

Yaş atık çamur ile yapılan denemelerde *Triticum aestivum*'da %10, %25, %50'lik oranlar arasında kök, gövde+yaprakta As birikimi bakımından önemli bir farklılık kaydedilmemiştir ($p \leq 0{,}127$) (Tablo 4.2 ve Şekil 4.1).

Tablo 4.1. Kuru atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'in kök, gövde, gövde+yaprak ve yapraklarında As birikimi ($mgkg^{-1}$).

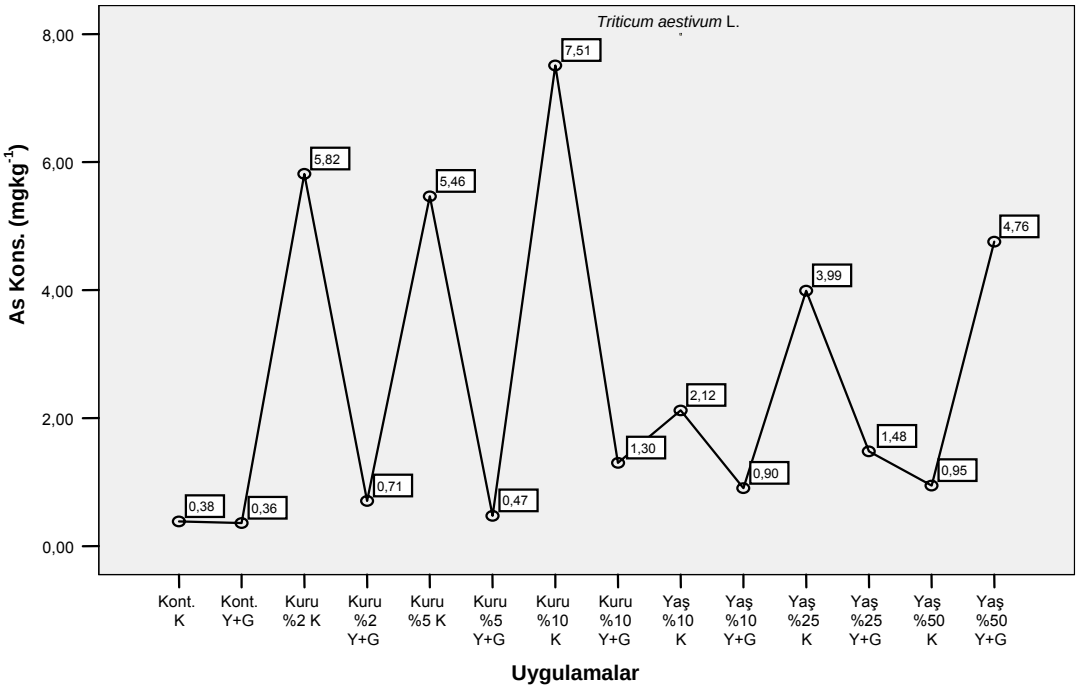
Yetişme Ortamı	*Triticum aestivum*		*Beta vulgaris*		
	Kök	Gövde+Yaprak	Kök	Gövde	Yaprak
Kontrol	0,39 ± 0,006	0,36 ± 0,052	0,51 ± 0,025	0,49 ± 0,020	0,50 ± 0,066
%2	5,82 ± 0,355	0,71 ± 0,009	32,75 ± 1,356	0,02 ± 0,017	1,33 ± 0,012
%5	5,47 ± 0,187	0,47 ± 0,005	24,56 ± 0,401	0,23 ± 0,225	0,61 ± 0,094
%10	7,51 ± 0,722	1,30 ± 0,104	*	*	*

*: *Beta vulgaris*'te bu uygulama sonucunda bitkiler yetiştirilememiştir.

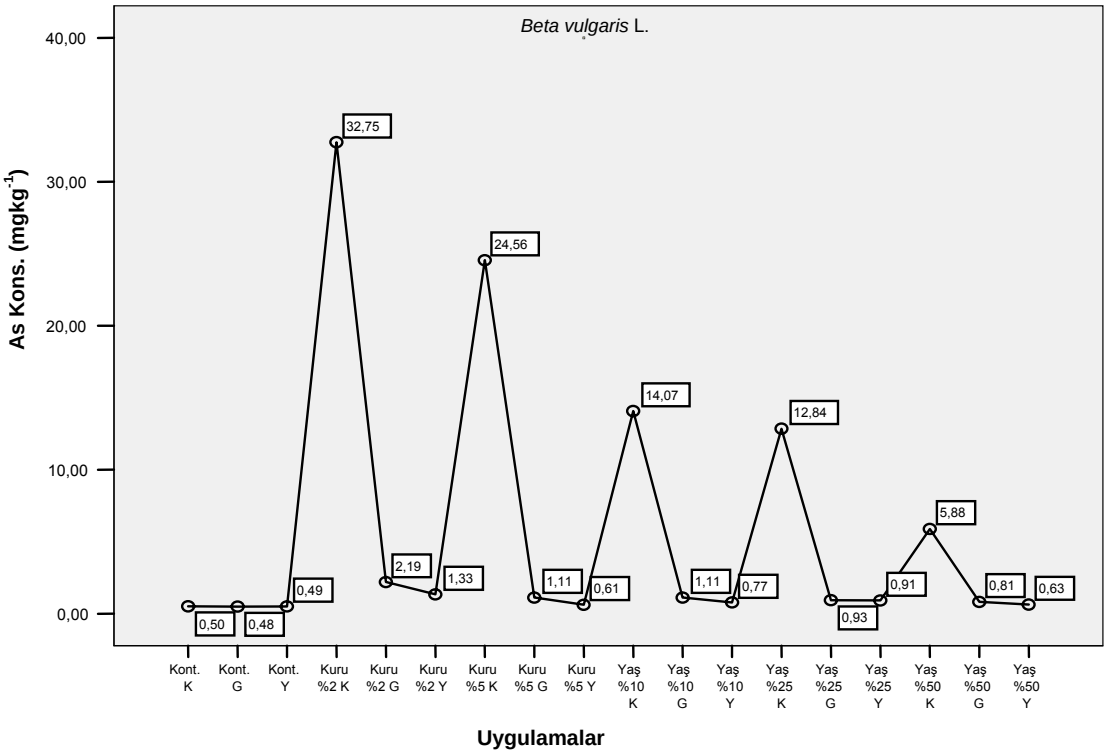
Tablo 4.2. Yaş atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'in kök, gövde, gövde+yaprak ve yapraklarında As birikimi ($mgkg^{-1}$).

Yetişme Ortamı	*Triticum aestivum*		*Beta vulgaris*		
	Kök	Gövde+Yaprak	Kök	Gövde	Yaprak
Kontrol	0,39 ± 0,006	0,36 ± 0,052	0,51 ± 0,025	0,49 ± 0,020	0,50 ± 0,066
%10	2,12 ± 0,034	0,90 ± 0,136	14,1 ± 0,190	1,11 ± 0,225	0,77 ± 0,129
%25	3,99 ± 0,121	1,48 ± 0,271	12,85 ± 2,629	0,93 ± 0,116	0,91 ± 0,056
%50	0,95 ± 0,118	4,76 ± 2,360	5,88 ± 0,346	0,81 ± 0,018	0,63 ± 0,124

Farklı konsantrasyonlarda yaş atık çamur içeren ortamlarda yetiştirilen pancar bitkisinde As elementi birikimi bakımından bitkinin gövde ve yapraklarında kontrol bitkileri ile kıyaslandığında istatistiksel olarak önemli oranda fark gözlenmemiştir ($p \leq 1{,}000$). Bunun aksine bitkinin köklerinde uygulamalar arasında As birikimi bakımından önemli farklılıklar bulunmaktadır ($p \leq 0{,}002$). Özellikle %10 ve %25 atık çamur uygulamaları sonucu bitkinin köklerinde önemli oranda As birikimi olmaktadır. %50 atık çamur uygulaması sonucunda köklerde önemli oranda As birikimi olmakla birlikte bu birikim %10 ve %25 uygulamaları ile kıyaslandığında daha düşüktür. %10 ve %25 atık çamur uygulamaları arasında istatistiksel olarak bir fark olmamakla birlikte ($p \leq 0{,}990$) elde edilen As birikimi %50 atık çamur uygulamasının yaklaşık 2 katı, kontrol uygulamaları sonucu elde edilenin yaklaşık 20 katıdır (Tablo 4.2 ve Şekil 4.2).



Şekil 4.1. Farklı konsantrasyonlarda kuru ve yaş çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum*'da As birikimi. K: Kontrol, Y+G: Yaprak + Gövde.



Şekil 4.2. Farklı konsantrasyonlarda atık yaş ve kuru çamur uygulamaları sonucu *Beta vulgaris*'de As birikimi. K: Kök; G: Gövde; Y: Yaprak.

Endüstride arseniğin en bilinen uygulamaları yarı iletken teknolojilerinde ve lazer üretimindedir. Elementel arsenik suda çözünmezken, inorganik arsenik tuzları, pH ve iyonik ortama bağlı olarak geniş aralıklı çözünürlükler gösterir. Madencilik, demir-dışı metallerin ergitilmesi ve fosil yakıtların yanması gibi büyük endüstriyel prosesler arseniğin hava, su ve toprağa yayılarak kirletmesine sebep olmaktadır. Arsenik içeren tarımsal ilaçların kullanılması ve kereste muhafazasında arsenik kullanılması çevre kirliliğine neden olmaktadır Topraktaki zemin konsantrasyonu 1–40 $mgkg^{-1}$ arasında olup ortalama değerler 5 $mgkg^{-1}$ civarındadır [44].

Arseniğin kronik olarak artışı kromozom ve genler üzerinde negatif değişimlere neden olmaktadır. Aslında düşük miktarlardaki arsenik insan vücudu için gerekli bir mineraldir. Doğal olarak yeryüzünde ve yiyeceklerde bulunan arsenatlar şeklindeki organik arsenik bileşikleri çok zehirli değillerdir. Vücut tarafından böbreklerde kolaylıkla giderilirler. Arsenik trioksitler gibi, inorganik arsenik bileşikleri endüstriyel olarak kullanılırlar ve toprağı, dolayısıyla yiyecek maddelerini kirleterek esas problemi teşkil ederler. Bunlar vücutta, saçta, ciltte, tırnaklarda ve iç organlarda birikirler. Ortalama olarak insan vücudunda 10–20 mg'ın üzerindeki oranlarda bulunan arsenik problem yaratır. Böbrek fonksiyonlarındaki azalma da arsenik birikimini arttırır. Arsenik absorbsiyonu en fazla %5 gibi düşük oranlarda gerçekleşir ve büyük kısmı dışkı ve idrar yoluyla vücuttan atılır. Tavsiye edilen güvenlik limiti yetişkinlerde 15 μgkg^{-1} (vücut ağırlığı/hafta)'dır [45].

Mesleki arsenik alınımı büyük oranda soluma yoluyla olup genelde akciğer kanseri ile sonuçlanmaktadır. Çözünebilen inorganik arsenik bileşikleri kuvvetli zehir olduklarından yüksek dozlarda emilimi çeşitli sindirim ve sinir sistemi rahatsızlıklarına sebebiyet verebilmektedir. İçme suyundaki arseniğin ($\leq$ 50 µg As/L) uzun süreli etkileşimi sonucunda deri, akciğer ve böbrek kanserine yakalanma riski çok yüksek olup aynı zamanda deri görüntüsünün değişimi görülmektedir [44].

4.1.2. Kadmiyum (Cd)

Triticum aestivum'u farklı konsantrasyonlarda kuru atık çamur içeren ortamlarda yetiştirmek Kadmiyum (Cd) birikimi bakımından kök ve gövde+yaprak kısımlarında önemli oranda farklılıklar yaratmıştır ($p \leq 0{,}001$). Kontrol grupları ile % 5 gövde+yaprak,

%10 kök ve %10 gövde+yaprak arasında önemli bir fark olmamasına rağmen ($p \leq 0,464$), %2 ile %5 uygulamaları bunlardan önemli oranda ayrılmaktadır. Uygulama sonuçları Tablo 4.3 ve Şekil 4.3'de verilmektedir. Bitki bünyesindeki Cd konsantrasyonunun toprak pH'sı arttıkça azaldığı bildirilmektedir [46]. Bu çalışmada da elde edilen sonuçlar bunu doğrular niteliktedir. Atık çamur oranının artmasıyla birlikte pH'da meydana gelen azalma Cd'nin bitki tarafından alınımını artırmıştır. Bu uygulamalarda köklerdeki birikim kontrol grupları, %5 ve %10 gövde+yaprak uygulamalarına göre yüksek oranda Cd birikimi görülmektedir. Bununla birlikte, %2 kök ile %5 kök arasında istatistiksel olarak bir fark görülmemektedir ($p \leq 0,236$).

Tablo 4.3. Kuru atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'in kök, gövde, gövde+yaprak ve yapraklarında Cd birikimi ($mgkg^{-1}$).

Yetişme Ortamı	*Triticum aestivum*		*Beta vulgaris*		
	Kök	Gövde+Yaprak	Kök	Gövde	Yaprak
Kontrol	0,21 ± 0,100	0,27 ± 0,040	0,40 ± 0,037	0,38 ± 0,022	0,39 ± 0,048
%2	2,40 ± 0,415	1,53 ± 0,017	1,00 ± 0,126	0,42 ± 0,001	0,41 ± 0,003
%5	2,99 ± 0,144	0,12 ± 0,002	1,14 ± 0,017	0,42 ± 0,001	0,43 ± 0,001
%10	0,60 ± 0,044	0,32 ± 0,058	*	*	*

*: *Beta vulgaris*'te bu uygulamada bitki yetiştirilememiştir.

Tablo 4.4. Yaş atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'in kök, gövde, gövde+yaprak ve yapraklarında Cd birikimi ($mgkg^{-1}$).

Yetişme Ortamı	*Triticum aestivum*		*Beta vulgaris*		
	Kök	Gövde+Yaprak	Kök	Gövde	Yaprak
Kontrol	0,21 ± 0,100	0,27 ± 0,040	0,40 ± 0,037	0,38 ± 0,022	0,39 ± 0,048
%10	0,77 ± 0,406	1,41 ± 0,012	0,69 ± 0,017	0,42 ± 0,001	0,47 ± 0,005
%25	0,55 ± 0,012	0,25 ± 0,028	1,20 ± 0,101	0,56 ± 0,017	0,65 ± 0,006
%50	1,93 ± 0,449	0,38 ± 0,043	1,05 ± 0,017	0,51 ± 0,017	0,69 ± 0,001

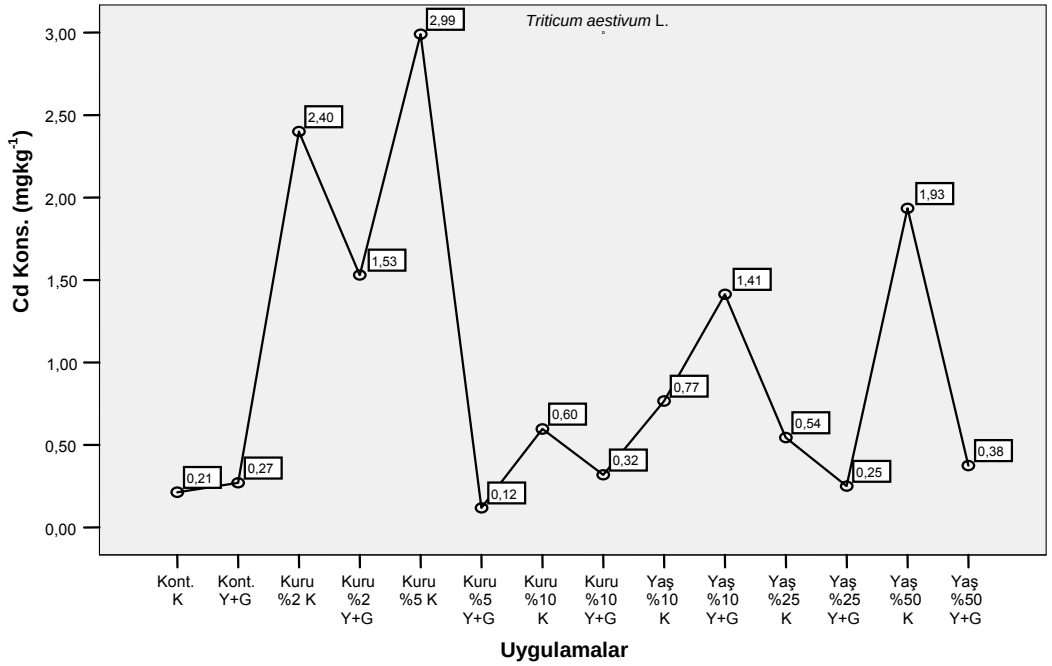
Kuru atık çamur ile yapılan denemelerde *Beta vulgaris*'te diğer kuru atık çamur denemelerinin çoğunda elde edilen sonuçlara benzer şekilde %2 ve %5 uygulamalarında da köklerin Cd konsantrasyonları diğer gruplardan istatistiksel olarak farklıdır ($p \leq 0,001$). Ancak bu iki grup kendi arasında köklerde Cd birikimi açısından

değerlendirildiğinde istatistiksel olarak bir farklılık gözlenmemiştir ($p \leq 0,525$). *Mentha aquatica* ile yapılan bir araştırmaya göre en yüksek Cd birikimi köklerde gerçekleşmiştir [46]. Bu çalışmada da en fazla Cd birikimi %5 uygulamasında kökte gerçekleşmiştir (1,14 $mgkg^{-1}$).

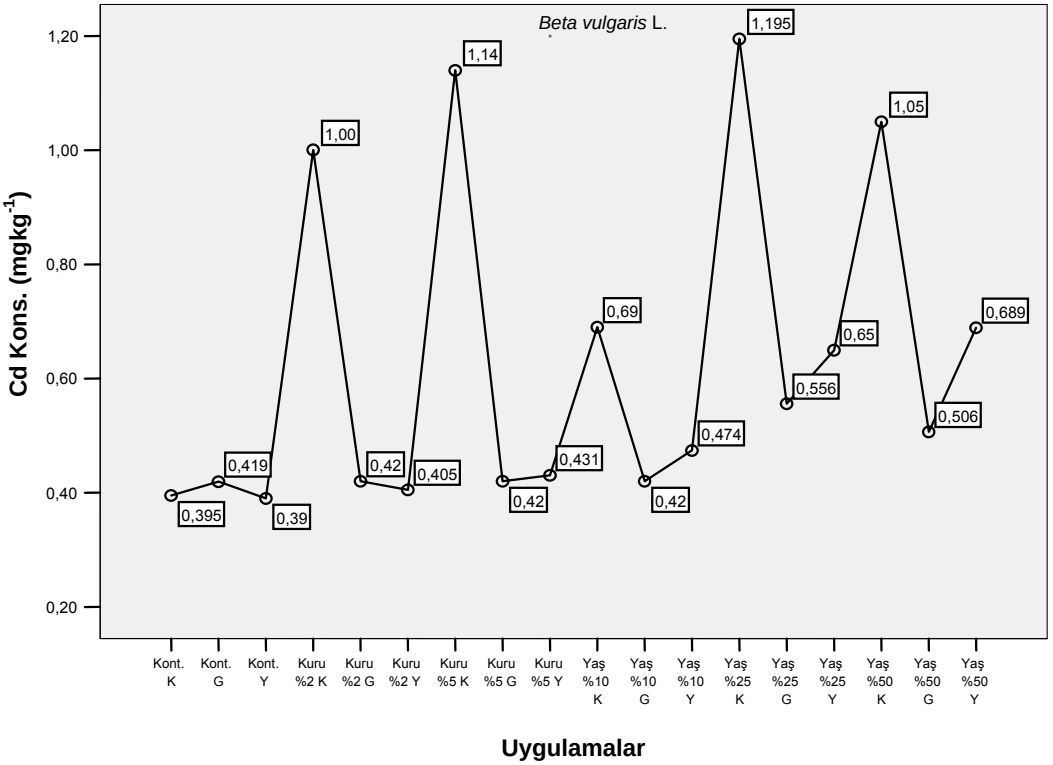
Triticum aestivum'da yaş atık çamur ile yapılan denemelerde farklı uygulamalar arasında gövde+yaprakta Cd birikimi çok farklı değildir (Tablo 4.4). Ancak %50 atık çamur içeren ortamda yetişen buğdayın köklerinde meydana gelen Cd birikimi diğer uygulamaların kök ve gövde+yapraklarından daha fazladır ($p \leq 0,018$). Ayrıca %10 kök, %10 gövde+yaprak ve %50 kökte de Cd birikimi açısından fark vardır ($p \leq 0,043$).

Farklı konsantrasyonlarda yaş atık çamur uygulayarak yetiştirilen pancar bitkileri üzerinde yapılan ağır metal analizlerinde Cd birikimi açısından kök, gövde ve yapraklar arasında farklı oranlarda Cd birikimi olduğu gözlenmiştir (Tablo 4.4 ve Şekil 4.4). Kontrol grupları ile %10 ve %25 atık çamur uygulamaları yapılmış bitkinin gövde yapraklarındaki Cd birikimi farkı istatistiksel olarak önemsiz bulunmuşken ($p \leq 0,106$) bu bitkinin köklerindeki birikim farkı istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p \leq 0,001$). Ayrıca % 10 atık çamur uygulaması ile %25 ve %50 atık çamur uygulamaları sonucu kökteki Cd birikimleri arasında önemli fark vardır ($p \leq 0,001$). Bunun yanı sıra %25 atık çamur uygulaması ile %50 atık çamur uygulaması yapılan bitkilerin kökleri arasında önemli bir fark gözlenmemiş ($p \leq 0,227$) ve bitkinin bu farklı uygulamalar sonucunda gövdelerinde biriktirdikleri Cd miktarlarında önemli farklar bulunmamıştır ($p \leq 0,106$).

Kadmiyum, çinko üretimi sırasında açığa çıkan bir metaldir. Günümüzde kadmiyum endüstriyel olarak nikel/kadmiyum pillerde, korozyona karşı özellikle denizel koşullara dayanımı nedeniyle gemi sanayinde çeliklerin kaplanmasında, boya sanayinde, PVC stabilizatörü olarak, alaşımlarda ve elektronik sanayinde kullanılır. Kadmiyum ayrıca fosfatlı gübrelerde, deterjanlarda ve rafine petrol türevlerinde bulunur ve bunların çok yaygın kullanımı sonucunda da önemli miktarda kadmiyum kirliliği ortaya çıkar [47].



Şekil 4.3. Farklı konsantrasyonlarda kuru ve yaş çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum*'da Cd birikimi. K: Kontrol, Y+G: Yaprak + Gövde.



Şekil 4.4. Farklı konsantrasyonlarda atık yaş ve kuru çamur uygulamaları sonucu *Beta vulgaris*'de Cd birikimi. K: Kök; G: Gövde; Y: Yaprak.

Kadmiyum ve çinko yerkürede bir arada ve benzer yapılarda bulunurlar. Kadmiyum, önemli enzim ve organ fonksiyonlarında çinkonun yerini alabilmektedir ve bu fonksiyonların gerekli şekilde gerçekleşmesini engellemektedir. Zn ve Cd'nin vücut içindeki oranları, Cd zehirlenmesi Zn yetersizliğiyle arttığından çok önemlidir. Tahılların rafinasyon işlemi bu oranı düşürmekte, dolayısıyla Zn eksikliği ve Cd zehirlenmesi fazla rafine edilmiş tahıl ve unların tüketimiyle artış göstermektedir [48].

Kadmiyum diğer ağır metallerle içinde suda çözünme özelliği en yüksek olan elementtir. Bu nedenle doğada yayınım hızı yüksektir ve insan yaşamı için gerekli elementlerden değildir. Suda çözünebilir özelliğinden dolayı Cd^{2+} halinde bitki ve deniz canlıları tarafından biyolojik sistemlere alınır ve birikme özelliğine sahiptir. Kadmiyum ve bileşikleri genellikle böbrekler ve akciğerde birikir ve ilerleyen yaşlarla böbreklerdeki birikim yüksek tansiyona da sebep olabilmektedir. Dünya sağlık örgütü sınıflandırmasına göre (1993) kurşun 1. sınıf kansorejendir [44].

4.1.3. Kobalt (Co)

Kuru atık çamur ortamında yetiştirilen *Triticum aestivum*'da %2, %5, %10 gövde+yaprak'ta Kobalt (Co) birikimi açısından kontroldekine oranla önemli bir farklılık gözlenmemiştir ($p \leq 0{,}971$) . Bunun aksine köklerde dikkate değer Co birikimine rastlanmıştır ($p \leq 0{,}001$). Ayrıca kuru atık çamur oranı arttıkça köklerde Co birikiminin de giderek arttığı gözlenmektedir (Tablo 4.5 ve Şekil 4.5).

Pancarda kuru atık çamur ile yapılan denemeler Co birikimi bakımından değerlendirildiğinde Cd'ye benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir (Tablo 4.5 ve Şekil 4.6). Burada da kontrol grupları ile %2 ve %5 uygulamalarında gövde ve yaprak kısımlarında Co birikimi açısından bir fark oluşmamıştır ($p \leq 0{,}921$). Buna karşın %2 ve %5 uygulamalarında kökte Co birikimi gerek kontrol ve gerekse de diğer grupların gövde ve yapraklarından önemli şekilde farklılanmaktadır ($p \leq 0{,}001$). %5 kuru atık çamur uygulamasında 18,2 $mgkg^{-1}$ ile kökte en yüksek Co birikimi gözlenmesine rağmen bunun %2 kuru atık çamur uygulamasından farkı istatistiksel olarak önemsizdir ($p \leq 1{,}000$).

Tablo 4.5. Kuru atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'in kök, gövde, gövde+yaprak ve yapraklarında Co birikimi ($mgkg^{-1}$).

Yetişme Ortamı	*Triticum aestivum*		*Beta vulgaris*		
	Kök	Gövde+Yaprak	Kök	Gövde	Yaprak
Kontrol	0,55 ± 0,006	0,52 ± 0,606	0,12 ± 0,009	0,10 ± 0,009	0,11± 0,009
%2	6,56 ± 0,329	1,35 ± 0,017	17,95 ± 0,952	0,36 ± 0,001	0,69 ± 0,027
%5	11,03 ± 0,909	1,28 ± 0,014	18,2 ± 0,173	0,45 ± 0,017	0,60 ± 0,021
%10	9,89 ± 1,394	0,68 ± 0,005	*	*	*

*: *Beta vulgaris*'te bu uygulamada bitki yetiştirilememiştir.

Tablo 4.6. Yaş atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'in kök, gövde, gövde+yaprak ve yapraklarında Co birikimi ($mgkg^{-1}$).

Yetişme Ortamı	*Triticum aestivum*		*Beta vulgaris*		
	Kök	Gövde+Yaprak	Kök	Gövde	Yaprak
Kontrol	0,55 ± 0,006	0,52 ± 0,606	0,12 ± 0,009	0,10 ± 0,009	0,11± 0,009
%10	3,91 ± 0,176	0,50 ± 0,009	5,85 ± 0,051	0,16 ± 0,023	0,08 ± 0,012
%25	6,24 ± 0,078	0,50 ± 0,014	4,03 ± 0,848	0,12 ± 0,013	0,14 ± 0,001
%50	3,43 ± 0,990	2,48 ± 1,072	6,54 ± 0,001	0,30 ± 0,053	0,57± 0,032

Yaş atık çamur ortamında yetiştirilen *Triticum aestivum*'da ise gövde+yaprakta biriken Co miktarı bakımından uygulamalar arasında belirgin bir fark bulunmamıştır ($p \leq 0,253$). Sonuçlar Tablo 4.6 ve Şekil 4.5'de verilmektedir. Bu uygulamalar kök bakımından değerlendirildiğinde de benzer tablo ile karşılaşılmıştır ($p \leq 0,055$). Ancak burada farklı bitki kısımları arasında karşılaştırma yapılırsa önemli farklar ortaya çıkmaktadır ($p \leq 0,017$). Genel olarak yaş atık çamur uygulamalarında da birikim en fazla köklerde gerçekleşmiştir ve atık çamur konsantrasyonu arttıkça kökte biriken Co miktarı da artmıştır.

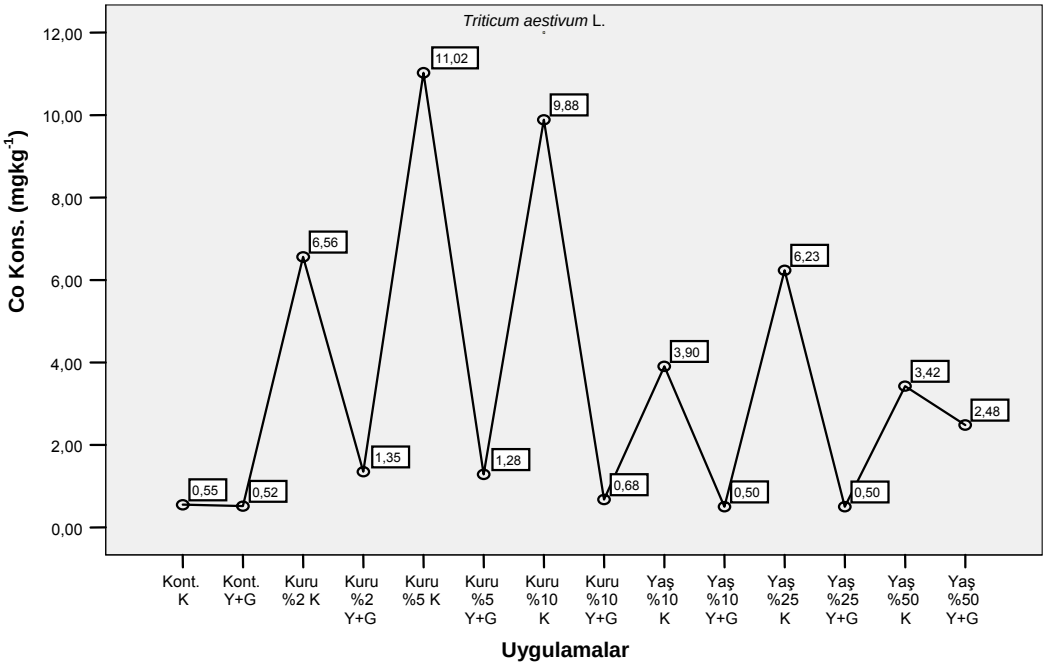
Farklı konsantrasyonlarda yaş atık çamur uygulamaları sonucu pancar bitkisinin çeşitli kısımlarında ağır metal birikimi açısından yapılan ICP analizleri sonucunda kontrol grupları ile bitkinin gövde ve yaprakları arasındaki Co birikimi arasında bir fark bulunamamıştır ($p \leq 0,950$). Ancak bitkinin kökleri Co birikimi açısından gerek gövde ve yapraklar ve gerekse kontrol gruplarından farklanmaktadır (Tablo 4.6 ve Şekil 4.6).

Köklerde gövde ve yapraklara oranla önemli oranda fazla ($p \leq 0,001$) Co birikimi olmaktadır. Buna ek olarak bitkinin kökleri de uygulamalara bağlı olarak farklı oranlarda Co biriktirmektedir. %10 ve %50 atık çamur uygulamaları sonucunda kökteki Co birikimi açısından önemli bir fark olmamasına rağmen %25 atık çamur uygulaması sonucunda kökteki birikim bu uygulamalardan farklanmaktadır ($p \leq 0,001$). Diğer ağır metallerden elde edilen sonuçların aksine Co'da %25 atık çamur uygulaması sonucunda kökteki birikim %10 ve %50 atık çamur uygulamalarından daha düşük gözlenmiştir.

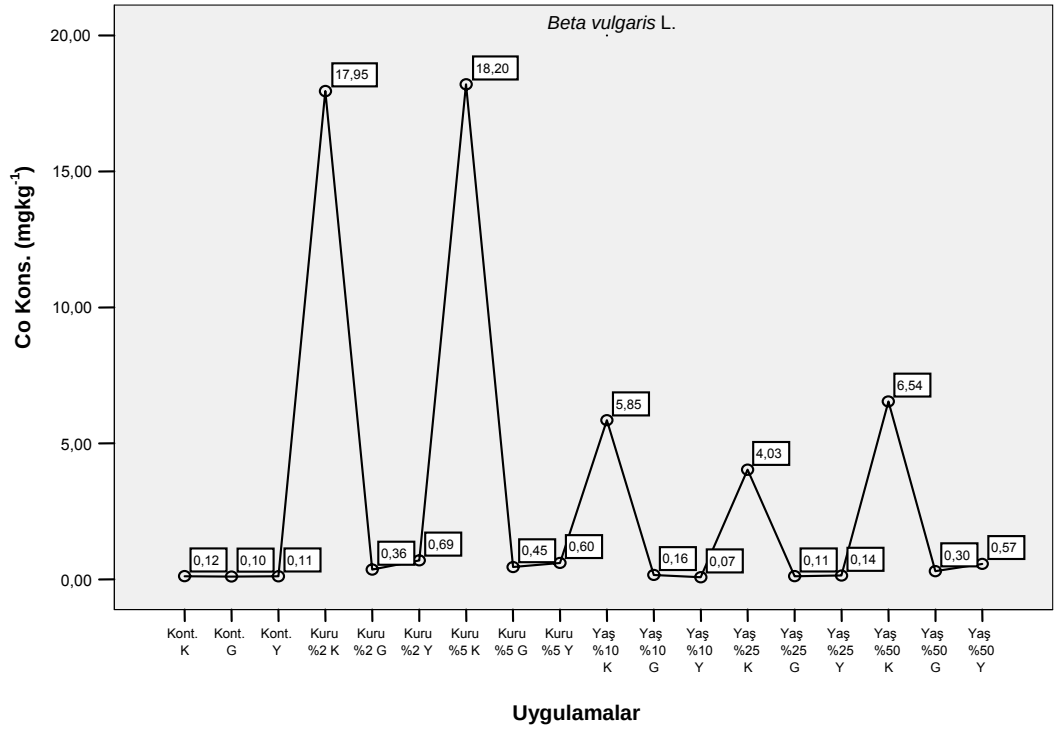
Kobalt stratejik ve endüstriyel uygulamalarda ve askeri alanda önemli kullanım alanlarına sahiptir. En çok süper alaşım olarak jet motor türbinlerinde kullanılırken, malzemelere manyetiklik özelliği kazandırma, korozyondan korunma ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla alaşımlarda, yüksek hız çeliklerinde, takım çeliklerinde, elmas takımlarında ve kesici uçlarda alaşım elementi olarak da kullanılır. Bileşikleri ise petrol ve seramik endüstrisinde katalizör ve boyalarda pigment, mürekkep ve verniklerde kurutma maddesi olarak kullanılır. Ayrıca pil elektrotlarında, her tip manyetik malzemelerde ve kayıt cihazlarında kullanılmaktadır. Günümüzde kobaltın en büyük maden üretici ülkesi Zaire (% 52) ve en büyük metal kullanıcısı ise Amerika Birleşik Devletleri'dir [44].

Kobalt ve kobalt bileşiklerinin insanlar üzerinde kansere neden olduğuna dair henüz kesin bulgular olmamasına rağmen, kobalt bileşikleri risk teşkil etmektedirler ve kanserojen madde gibi muamele görürler. Kobalt içeren bölgelerdeki canlılarda tümör oluşumuna da rastlanmış ve hayvanlar üzerinde yapılan deneylerde, suda çözünür kobalt bileşiklerinin kansere yol açtığı kanıtlanmıştır [44].

Günlük besin ihtiyacımızda çok küçük bir yer teşkil eden kobalt, kırmızı kan hücrelerini üretiminin ve sinir düzenlenmesinde kullanılan B_{12} vitaminin bileşenidir. Kobalt vücutta yapı taşı olarak bulunur ve anemiyi engeller, ayrıca B_{12} vitaminin yorgunluk, sindirim kolaylığı ve kas problemlerinin giderilmesine faydası vardır. Yetersiz kobalt alınımında zararlı anemi ve sinirlerde bozukluk gibi problemler ve semptomlar ortaya çıkar, yeterli B_{12} vitamini alınarak etkiler ortadan kaldırılabilir [49].



Şekil 4.5. Farklı konsantrasyonlarda kuru ve yaş çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum*'da Co birikimi. K: Kontrol, Y+G: Yaprak + gövde.



Şekil 4.6. Farklı konsantrasyonlarda atık yaş ve kuru çamur uygulamaları sonucu *Beta vulgaris*'de Co birikimi. K: Kök; G: Gövde; Y: Yaprak.

4.1.4. Krom (Cr)

Değişik oranlarda kuru atık çamur içeren ortamlarda yetiştirilen *Triticum aestivum*'da Krom (Cr) birikimi bakımından değerlendirildiğinde, Tablo 4.7 ve Şekil 4.7'de de görüldüğü gibi, Co'ya benzer sonuçlar alınmıştır. Burada da kontrolün gövde+yaprak kısımları ile diğer grupların gövde+yaprak kısımları arasında önemli bir fark görülmemektedir. Ancak bu elementin kökteki birikiminin Co'ya oranla daha fazla olduğu gözlenmiştir (16,35 $mgkg^{-1}$'dan 37,3 $mgkg^{-1}$'a kadar). Bitkiler tarafından geliştirilen mekanizma, zararlı metal ve iyonların bitkinin yaprak ve diğer organlarındaki fotosentez ve diğer metabolik olaylarda hasara yol açmasını önlemeye yöneliktir [46]. Çalışmada en fazla birikimin köklerde olması bunu doğrulamaktadır. %5 ve %10 kuru atık çamur uygulamalarında %2'ye göre iki kat daha fazla birikim olduğu görülmektedir.

Kuru atık çamur uygulanmış pancarlarda kontrol grupları ile karşılaştırıldığında %2 ve %5 uygulamalarının gövde ve yapraklarında Cr birikimi açısından önemli bir fark gözlenmemiştir ($p \leq 1{,}000$). Ancak %2 ve %5 uygulamalarının köklerinde diğer elementlerde gerçekleşen durumun aksine Cr birikimi açısından büyük fark vardır ($p \leq 0{,}005$). En fazla Cr birikimi 33,15 $mgkg^{-1}$ ile %5 uygulamasında köklerde gözlenmiştir.

Cr birikimi bakımından yaş atık çamur uygulamalarında *Triticum aestivum*'da gövde+yaprakta önemli farklılıklar bulunmamaktadır ($p \leq 0{,}984$). Ancak %10 ve %25 atık çamur uygulamalarında istatistiksel olarak önemli miktarda Cr birikimi olduğu göze çarpmaktadır ($p \leq 0{,}001$). Uygulama sonuçları Tablo 4.8 ve Şekil 4.7'de verilmektedir. %50 yaş atık çamur uygulamasına gelindiğinde ise bitkide biriken Cr miktarında büyük oranda düşüş olduğu görülmekle birlikte bu uygulama sonucunda da yine bitkide köklerde biriken Cr miktarı yaprak ve gövdelerdekinden biraz farklaşmakta, ancak bu fark istatistiksel olarak bir önem ifade etmemektedir ($p \leq 0{,}984$). 27,2 $mgkg^{-1}$ Cr birikimi ile en yüksek birikim %25 yaş atık çamur uygulamasında gözlenmiştir.

Tablo 4.7. Kuru atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'in kök, gövde, gövde+yaprak ve yapraklarında Cr birikimi ($mgkg^{-1}$).

Yetişme Ortamı	*Triticum aestivum*		*Beta vulgaris*		
	Kök	Gövde+Yaprak	Kök	Gövde	Yaprak
Kontrol	0,81 ± 0,006	0,80 ± 0,054	0,88 ± 0,014	0,83 ± 0,213	0,81 ± 0,011
%2	16,35 ± 2,626	1,69 ± 0,04	33,15 ± 4,301	0,87 ± 0,017	1,03 ± 0,038
%5	35,50 ± 5,427	1,74 ± 0,071	23,75 ± 0,087	0,90 ± 0,001	0,93 ± 0,01
%10	37,30 ± 1,674	0,85 ± 0,061	*	*	*

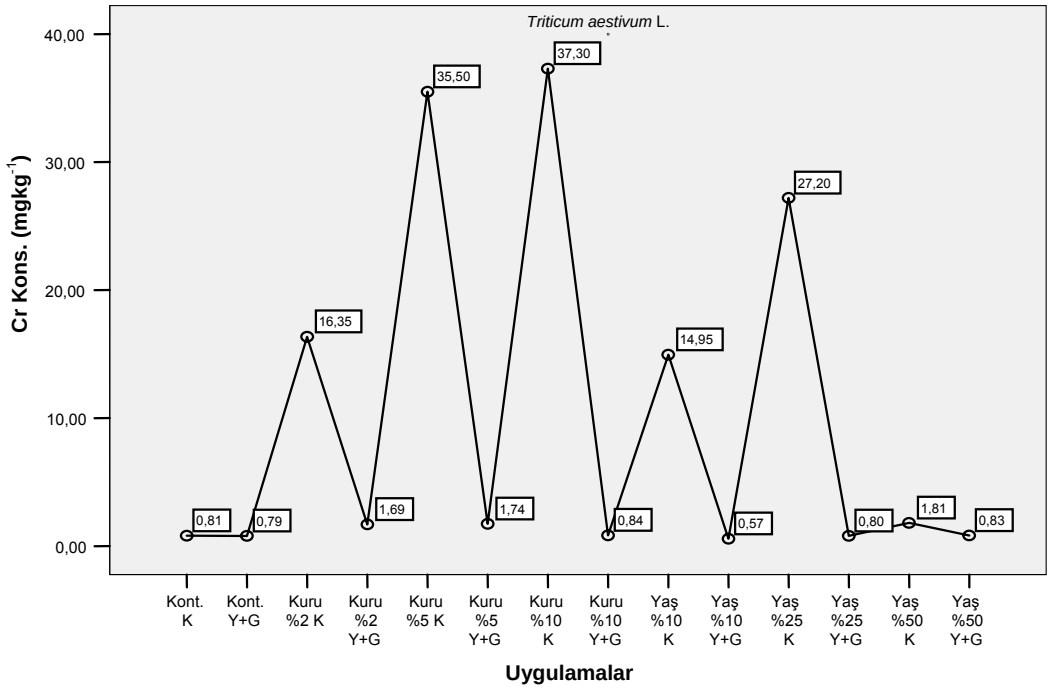
*: *Beta vulgaris*'te bu uygulamada bitki yetiştirilememiştir.

Tablo 4.8. Yaş atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'in kök, gövde, gövde+yaprak ve yapraklarında Cr birikimi ($mgkg^{-1}$).

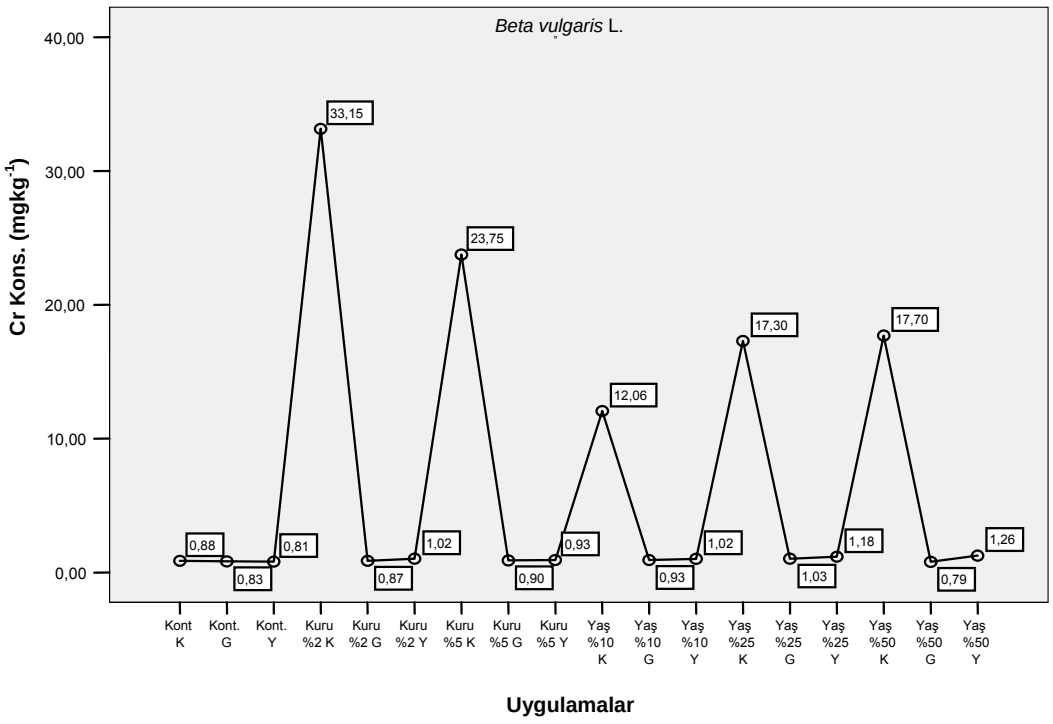
Yetişme Ortamı	*Triticum aestivum*		*Beta vulgaris*		
	Kök	Gövde+Yaprak	Kök	Gövde	Yaprak
Kontrol	0,81 ± 0,006	0,80 ± 0,054	0,88 ± 0,014	0,83 ± 0,213	0,81 ± 0,011
%10	14,95 ± 2,626	0,57 ± 0,032	12,06 ± 0,104	0,93 ± 0,017	1,02 ± 0,016
%25	27,20 ± 1,963	0,80 ± 0,063	17,30 ± 3,752	1,03 ± 0,131	1,18 ± 0,052
%50	1,81 ± 0,248	0,83 ± 0,042	17,70 ± 0,035	0,79 ± 0,008	1,27 ± 0,078

Pancar bitkisine farklı konsantrasyonlarda atık çamur uygulamaları sonucu bitkinin çeşitli kısımlarında ağır metal analizlerinde Cr bakımından As, Cd ve Co'da elde edilen sonuçlara benzer sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 4.8 ve Şekil 4.8). Kontrol uygulamaları ile %10, %25 ve %50 atık çamur uygulamalarının gövde ve yapraklarındaki Cr birikimleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunamamasına rağmen ($p \leq 0,792$) bu uygulamalar sonucu köklerde konsantrasyona bağlı olarak farklı birikimler olduğu gözlenmektedir. Özellikle konsantrasyonun artmasına bağlı olarak Cr birikiminin de arttığı dikkat çekmektedir. Ancak %10 atık çamur uygulaması ile %25 atık çamur uygulaması arasındaki Cr birikimi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p \leq 0,076$). Buna karşılık bu uygulamalar ile %50 atık çamur uygulaması arasındaki Cr birikimi farkı istatistiksel olarak önemlidir ($p \leq 0,043$).

Krom içeren minerallerin endüstriyel oksidasyonu ve fosil yakıtların, ağaç ve kâğıt ürünlerin yanması neticesinde doğada (hexavalent) altı değerlikli krom oluşmaktadır.



Şekil 4.7. Farklı konsantrasyonlarda kuru ve yaş çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum*'da Cr birikimi. K: Kontrol, Y+G: Yaprak + Gövde.



Şekil 4.8. Farklı konsantrasyonlarda atık yaş ve kuru çamur uygulamaları sonucu *Beta vulgaris*'de Cr birikimi. K: Kök; G: Gövde; Y: Yaprak.

Okside krom havada ve saf suda nispeten kararlı iken ekosistemdeki organik yapılarda, toprakta ve suda üç değerliğe geri redüklenir. Kromun kayalardan ve topraktan suya, ekosisteme, havaya ve tekrar toprağa olmak üzere doğal bir dönüşümü vardır [50].

Laboratuvar denemelerinde Cr^{6+}'nın kanserojen özelliği tespit edilmiştir. Kanserojen etki özellikle bronş sisteminde etkindir. Kromatlama yapan ve krom üretiminde çalışan işçiler üzerinde yapılan araştırmalarda, cevherden dikromatların ($Cr_2O_7^{2-}$) üretilmesinde ve izolasyonunda çalışan işçilerde bronşit kanserinin arttığı tespit edilmiştir. Kanser oluşum mekanizması kesin olarak bilinmemekle beraber Cr^{6+}'nın DNA'ya bağlandığı kabul edilmektedir. Dolayısıyla, Cr^{6+} gen kopyalanmasını, onarımını ve duplikasyonunu değiştirmektedir [44].

Krom, metal alaşımlandırmada kullanılmasının yanısıra boyalar, çimento, kâğıt, kauçuk ve diğer malzemeler için pigment olarak da kullanılmaktadır. Düşük seviyelerde kroma maruz kalındığında, deride iritasyon ve ülser meydana gelir. Uzun süreli maruz kalındığında böbreklerde ve karaciğerde hasara yol açabildiği gibi kan dolaşım sistemini ve sinir dokularını tahrip edebilir. Krom daha çok sulu ortamlarda birikerek çoğalır. Dolayısıyla yüksek seviyelerde kroma maruz kalmış balık yemek oldukça tehlikelidir [44].

4.1.5. Bakır (Cu)

Yukarıda saydığımız elementler ile karşılaştırıldığında *Triticum aestivum*'da kuru atık çamur ile yapılan denemelerde Bakır (Cu) birikiminin daha fazla olduğu Tablo 4.9 ve Şekil 4.9'da görülmektedir. Kontrol uygulamalarındaki birikim ile bitkinin gövde+yaprak kısımlarındaki birikim arasında önemli bir fark gözlenmemesine karşın ($p \leq 0{,}866$), %5 ve %10 köklerde çok yoğun Cu birikimi meydana gelmiştir (yaklaşık olarak 124 $mgkg^{-1}$).

Kuru atık çamur uygulamasında pancarda Cu birikimi açısından kök, gövde ve yaprak kısımları kontrolden önemli miktarda farklılaşmaktadır ($p \leq 0{,}033$) (Tablo 4.9 ve Şekil 4.10). Ancak gövde ve yapraklardaki birikim kendi içinde değerlendirildiği zaman Cu birikimi bakımından uygulamalardan kaynaklanan bir farklılık gözlenememiştir. Buna karşılık köklerde farklı atık çamur uygulamalarına bağlı olarak önemli farklılıklar

gözlenmiştir (p≤0,001). Uygulanan atık çamur konsantrasyonu arttıkça köklerde Cu birikiminin de arttığı gözlenmektedir.

Tablo 4.9. Kuru atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'in kök, gövde, gövde+yaprak ve yapraklarında Cu birikimi ($mgkg^{-1}$).

Yetişme Ortamı	*Triticum aestivum*		*Beta vulgaris*		
	Kök	Gövde+Yaprak	Kök	Gövde	Yaprak
Kontrol	10,50 ± 0,404	10,20 ± 0,461	4,20 ± 0,173	3,76 ± 0,092	3,95 ± 0,086
%2	37,95 ± 1,876	11,25 ± 0,028	62,05 ± 2,973	12,24 ± 0,001	20,75 ± 0,837
%5	124,00 ± 12,701	11,61 ± 1,091	74,60 ± 3,579	11,01 ± 0,018	14,65 ± 0,029
%10	116,00 ± 7,505	11,45 ± 0,375	*	*	*

*: *Beta vulgaris*'te bu uygulamada bitki yetiştirilememiştir.

Tablo 4.10. Yaş atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'in kök, gövde, gövde+yaprak ve yapraklarında Cu birikimi ($mgkg^{-1}$).

Yetişme Ortamı	*Triticum aestivum*		*Beta vulgaris*		
	Kök	Gövde+Yaprak	Kök	Gövde	Yaprak
Kontrol	10,50 ± 0,404	10,20 ± 0,461	4,20 ± 0,173	3,76 ± 0,092	3,95 ± 0,086
%10	16,55 ± 1,356	7,65 ± 0,303	26,28 ± 0,207	7,02 ± 0,034	9,70 ± 0,231
%25	79,00 ± 3,868	11,70 ± 0,057	33,05 ± 9,728	10,13 ± 1,255	10,85 ± 0,144
%50	37,60 ± 0,462	11,94 ± 1,654	30,45 ± 0,052	5,85 ± 0,909	14,15 ± 1,587

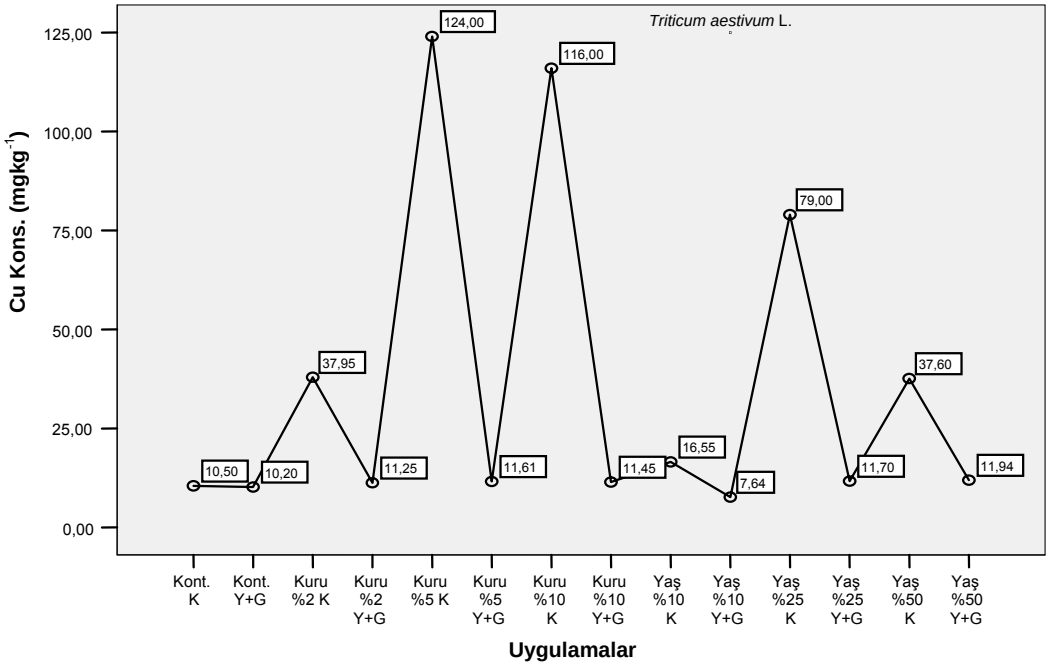
Değişik konsantrasyonlardaki yaş atık çamur uygulamalarında da *Triticum aestivum*'da yine Cr'dekine benzer sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 4.10 ve Şekil 4.9). Gövde+yapraklarda uygulamalar bakımından Cu birikiminde bir farklılık olmamaktadır (p≤0,575). Yine bu elementte de kökte birikim gövde+yapraklara oranla çok daha fazladır (p≤0,001). Burada da en yüksek birikim %25 atık çamur uygulamasında kökte elde edilmiştir. Atık çamur konsantrasyonunun artmasına paralel olarak biriken Cu miktarı da artmakla birlikte belli konsantrasyondan sonra (%25) bu birikim düşmektedir. Nitekim %50 atık çamur uygulamasından elde edilen Cu miktarının %25 atık çamur uygulamasından elde edilenden daha düşük olması bu hipotezimizi destekler niteliktedir (p≤ 0,001).

Farklı konsantrasyonlarda yaş atık çamur uygulamaları sonucu pancar bitkisinin çeşitli kısımlarında Cu birikimini test etmek amacıyla yapılan çalışmalarda da bundan önce bahsedilen diğer ağır metallerde elde edilen sonuçlara benzer sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 4.10 ve Şekil 4.10). Bu farklı uygulamalardan kaynaklanan bitkinin farklı kısımlarında ki Cu birikimleri açısından kontrol gruplarına göre gövde ve yapraklarda bir farklılık gözükmemektedir ($p \leq 0{,}359$). Buna karşılık bitkinin köklerinde bu uygulama farklılıklarına bağlı olarak Cu birikimi açısından önemli farklılıklar göze çarpmaktadır. %10 yaş atık çamur uygulamaları sonucu köklerde biriken Cu miktarı tüm uygulamalarda, gövde ve yapraklarda elde edilen birikimlerden önemli oranda farklı olmasına rağmen ($p \leq 0{,}034$) bu uygulama sonucu kökte birikim %25 ve %50 atık çamur uygulamalarından daha düşüktür. %10, %25 ve %50 atık çamur uygulamalarında kökte Cu birikimi açısından istatistiksel olarak bir fark olmamasına rağmen ($p \leq 0{,}869$) 33,05 $mgkg^{-1}$ ile en fazla Cu birikimi %25 atık çamur uygulamasından elde edilmiştir.

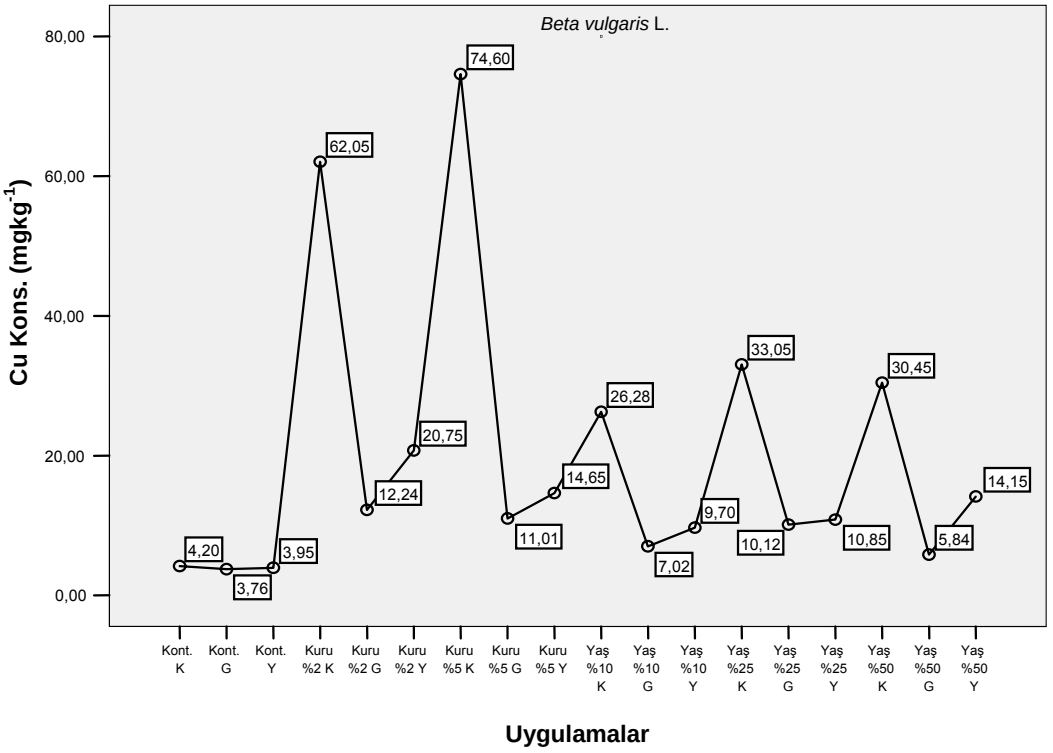
Bakırın en önemli özelliklerinin arasında yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, aşınmaya ve korozyon direnci, çekilebilme ve dövülebilme özellikleri sayılabilir. Ayrıca alaşımları çok çeşitli olup endüstride (otomotiv, basınçlı sistemler, borular, vanalar, elektrik santralleri ve elektrik, elektronik vd.) değişik amaçlı kullanılmaktadır [44].

Tarımsal kesimlerde havadaki ortalama bakır konsantrasyonu 5 ila 50 $ng(m^3)^{-1}$ iken endüstriyel kirletilmemiş bölgelerdeki deniz suyundaki bakır konsantrasyonu 0,15 μgL^{-1} ve tatlı suda ise 1–20 μgL^{-1}'dir. Doğal suların pH değerine bağlı olarak çözünürlük sınırındaki azalma sonucu suların dibinde çökelir ve doğal yeraltı tatlı suların çökeleklerinde yaklaşık 16 – 5000 $mgkg^{-1}$ (kuru ağırlık) arasında ve deniz dibinde ortalama 2 – 740 $mgkg^{-1}$ (kuru ağırlık) bakır bulunur. Kirletilmemiş toprakta bakır konsantrasyonu ortalama 30 $mgkg^{-1}$ (sınır değeri 2–250 $mgkg^{-1}$) seviyelerindedir [9, 19,22].

Bakırın bitkiler ve canlılar üzerindeki etkisi, kimyasal formuna ve canlının büyüklüğüne göre değişir. Küçük ve basit yapılı canlılar için zehir özelliği gösterirken büyük canlılar için temel yapı bileşenidir.



Şekil 4.9. Farklı konsantrasyonlarda kuru ve yaş çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum*'da Cu birikimi. K: Kontrol, Y+G: Yaprak + Gövde.



Şekil 4.10. Farklı konsantrasyonlarda atık yaş ve kuru çamur uygulamaları sonucu *Beta vulgaris*'de Cu birikimi. K: Kök; G: Gövde; Y: Yaprak.

Bakır ve bileşikleri fungusit, biosit, anti bakteriyel madde ve böcek zehiri olarak tarım zararlılarına ve yumuşakçalara karşı yaygın olarak kullanılır. Bakır elementi bitkide klorozise, köklerde büyüme geriliğine ve plazma membran geçirgenliğinin bozulmasına neden olmaktadır [51, 52].

Bakır doğada pek çok sebzede ve meyvede bulunur. Bakır eksikliğine bağlı olarak hayvanlarda ve insanlarda büyümede gecikme, solunum sisteminde enfeksiyonlar, kemik erimesi, anemi, saç ve deride renk kaybı gibi rahatsızlıklar kendini gösterirken, bakır bilezikler eklemlerin kireçlenmesine ve romatizmaya karşı kullanılır.

Erişkin insanlarda ortama 50 – 120 mg bulunan bakır, amino grup asitler, yağ asitleri ve vitaminlerin normal koşullarda metabolizmadaki reaksiyonlarının vazgeçilmez öğesidir. Birçok enzim ve proteinin yapısında bulunan bakır, demirin fonksiyonlarını yerine getirmesinde aktivatör görevi üstlenir [44].

4.1.6. Nikel (Ni)

Nikel (Ni) birikimi açısından kuru atık çamur içeren ortamlarda yetişen *Triticum aestivum*'da kontrol ile karşılaştırıldığında gövde+yaprakta meydana gelen birikim önemli bulunmamıştır ($p \leq 0{,}088$); (Tablo 4.11 ve Şekil 4.11). Bunun aksine, artan atık çamur konsantrasyonuna bağlı olarak köklerde Ni miktarı giderek artmıştır ($p \leq 0{,}001$). Atık çamur konsantrasyonunda yapılan yaklaşık iki kat artış Ni birikiminde de yaklaşık iki kat artışa sebep olmuştur (%2 →49,75 $mgkg^{-1}$; %5→131 $mgkg^{-1}$). Bu artış %10'luk uygulamada devam etmemekte ve 100,25 $mgkg^{-1}$'a düşmektedir. Muhtemelen artan atık çamur konsantrasyonuyla birlikte ortam pH'sının azalması sonucu ortamdan Ni alımı düşmektedir.

Kuru atık çamur uygulamalarında pancar bitkisinin çeşitli kısımlarında (kök, gövde ve yaprak) Ni birikimi açısından yapılan analizlerde %5 uygulaması sonucunda bitkinin yaprak ve gövdelerindeki Ni birikimi kontrol ve %2 uygulamalarından önemli derecede farklanmaktadır ($p \leq 0{,}001$). Nitekim %5 uygulamalarında gövde ve yapraklarda daha fazla Ni birikimi gözlenmektedir. Aynı zamanda farklı uygulamalara bağlı olarak bitkinin kökleri arasında da önemli farklılıklar ortaya çıkmaktadır ($p \leq 0{,}001$). Yaklaşık 2

katlık bir atık çamur konsantrasyonu artması köklerde biriken Ni miktarını da yaklaşık olarak 2 kat artırmaktadır. Toprakta bulunan ağır metallerin bitkilerce alınmasını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlardan biri de çözünürlük durumudur. Ni'nin çözünmüş formu %20–80 oranında bitkiler tarafından alınabilmektedir. Ni birikimi yapan bitkilerde bu oran daha da yüksektir [46]. Bu çalışmada da %10 uygulamasına kadar EC artıştı ile Ni birikimi artmıştır.

Tablo 4.11. Kuru atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'in kök, gövde, gövde+yaprak ve yapraklarında Ni birikimi ($mgkg^{-1}$).

Yetişme Ortamı	*Triticum aestivum*		*Beta vulgaris*		
	Kök	Gövde+Yaprak	Kök	Gövde	Yaprak
Kontrol	26,30 ± 0,981	1,85 ± 0,150	1,27 ± 0,075	1,53 ± 0,014	1,87 ± 0,031
%2	49,75 ± 0,433	2,20 ± 0,058	39,45 ± 2,396	3,72 ± 0,035	3,06 ± 0,037
%5	131,00 ± 13,279	3,23 ± 0,144	68,15 ± 0,375	8,16 ± 0,001	8,89 ± 0,066
%10	100,25 ± 7,938	3,62 ± 0,263	*	*	*

*: Bu uygulama sonucunda *Beta vulgaris*'te bitki yetiştirilememiştir.

Tablo 4.12. Yaş atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'in kök, gövde, gövde+yaprak ve yapraklarında Ni birikimi ($mgkg^{-1}$).

Yetişme Ortamı	*Triticum aestivum*		*Beta vulgaris*		
	Kök	Gövde+Yaprak	Kök	Gövde	Yaprak
Kontrol	26,30 ± 0,981	1,85 ± 0,150	1,27 ± 0,075	1,53 ± 0,014	1,87 ± 0,031
%10	3,97 ± 0,658	1,25 ± 0,017	21,30 ± 0,069	2,13 ± 0,052	2,71 ± 0,158
%25	7,11 ± 0,348	0,73 ± 0,209	35,35 ± 8,054	3,52 ± 0,121	3,73 ± 0,124
%50	6,69 ± 0,190	0,54 ± 0,011	34,50 ± 0,156	3,66 ± 0,681	4,41 ± 0,075

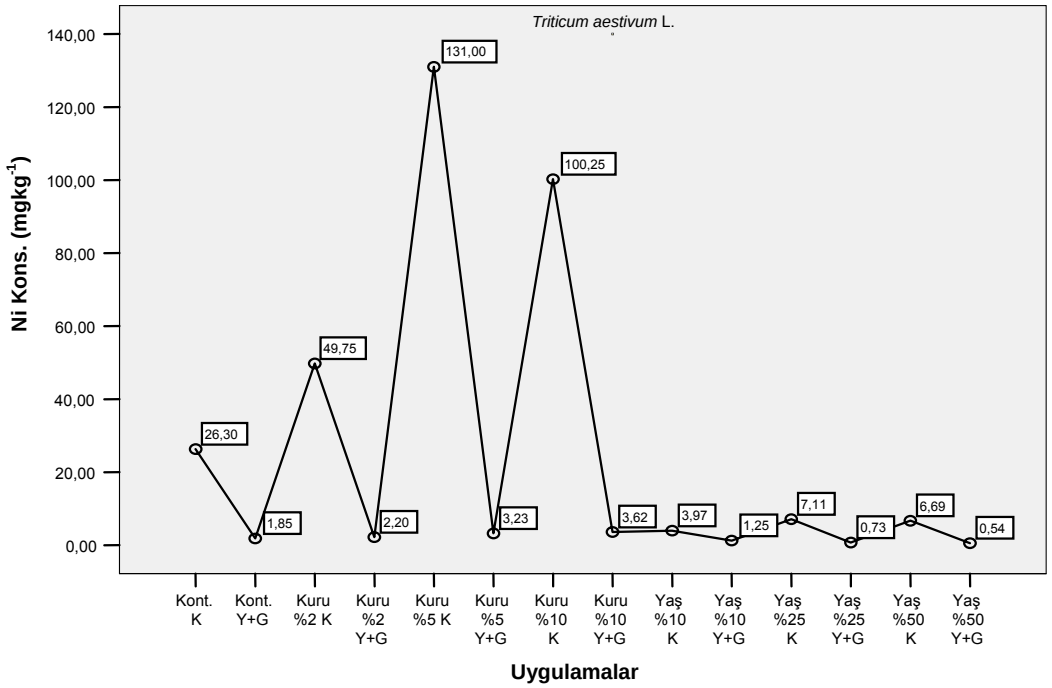
Triticum aestivum'da nikel birikimi açısından yaş atık çamur uygulamaları arasında bitkinin gövde+yapraklarında birikimler arasında önemli bir farklılık yoktur ($p \leq 0,640$). Bitkinin köklerinde Ni birikimi gövde+yapraklara oranla önemli oranda farklılaşmakta ($p \leq 0,001$) ve kökler arasında da yine en yüksek birikim %25 atık çamur uygulamasından elde edilmektedir (Tablo 4.12 ve Şekil 4.11). Ancak burada farklı olarak %25 atık çamur uygulaması ile %50 atık çamur uygulaması sonucunda köklerde

elde edilen Ni birikimi açısından kayda değer bir fark gözlenmemektedir ($p \leq 0,934$). Ayrıca %25 ve %50 atık çamur uygulamaları sonucu köklerde elde edilen Ni birikimi %10 atık çamur uygulaması sonucu birikimden önemli oranda fazladır ($p \leq 0,001$).

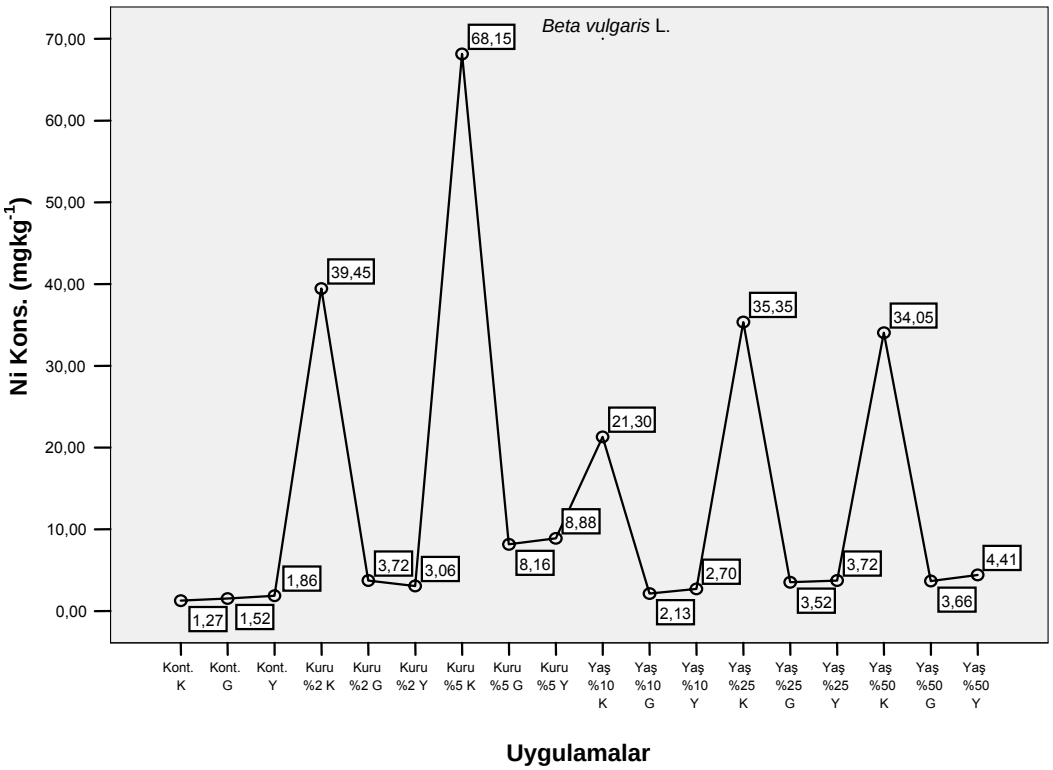
Farklı konsantrasyonlarda yaş atık çamur uygulaması yaparak pancar bitkisinin kök, gövde ve yapraklarında Ni birikimi bakımından yapılan incelemeler sonucunda bitkinin gövde ve yapraklarındaki Ni birikiminin kontrol bitkilerinden farklı olmadığı gözlemlenmiştir ($p \leq 0,998$). Ancak bu farklı konsantrasyonlarda atık çamur uygulamaları sonucunda bitkinin köklerinde biriken Ni miktarları gerek kontrol bitkilerinden ve gerekse aynı bitkinin yaprak ve gövdelerindeki birikimden önemli derecede fazla olduğu bulunmuştur ($p \leq 0,001$). Buna ek olarak bu farklı konsantrasyonlarda atık çamur uygulamaları sonucunda konsantrasyon farkına bağlı olarak da köklerde biriken Ni miktarları önemli oranda farklanmaktadır (Tablo 4.12 ve Şekil 4.12). Nitekim %25 ve %50 atık çamur uygulamaları sonucu Ni birikimi %10 atık çamur uygulaması sonucu birikimden önemli derecede fazladır ($p \leq 0,012$). Ancak %25 atık çamur uygulaması ile %50 atık çamur uygulaması arasında önemli bir fark görülmemektedir ($p \leq 1,000$). Bu uygulamalar sonucunda kökte en fazla Ni birikimi %25 atık çamur uygulaması sonucu görülürken gövde ve yapraklarda en fazla Ni birikimi %50 atık çamur uygulamalarından elde edilmiştir.

Çoğunlukla sülfat ve oksitler halinde bulunan ve yeryüzünde bulunma sıklığı 24. sırada olan nikelin ortalama konsantrasyonu % 0,008'dir. Nikelin büyük bir çoğunluğu (% 80), korozyon ve ısı direncinin yüksek, sertliğinin ve dayanımının iyi olması sebebiyle alaşım üretiminde kullanılmaktadır. Nikelin ana kullanım alanı paslanmaz çelik, bakır-nikel alaşımları ve diğer korozyona dayanıklı alaşım üretimleridir. Saf nikel kimyasal katalizör olarak elektrolitik kaplamada ve alkali pillerde, pigmentler, madeni para, kaynak ürünleri, mıknatıslar, elektrotlarda, elektrik fişlerinde, makine parçaları ve tıbbi protezlerde kullanılmaktadır [44].

Nikelin bilinen biyolojik fonksiyonu olmamakla birlikte orta seviyede zehirleyici özelliği vardır. Nikelin organik formu, inorganik formundan daha zehirleyicidir. Deriyi tahriş etmesinin yanında kalp-damar sistemine çok zararlı ve kanserojen bir metaldir. Zararlı etkilerine rağmen nikel ve tuzlarıyla zehirlenme nadir rastlanan bir vakadır.



Şekil 4.11. Farklı konsantrasyonlarda kuru ve yaş çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum*'da Ni birikimi. K: Kontrol, Y+G: Yaprak + gövde.



Şekil 4.12. Farklı konsantrasyonlarda atık yaş ve kuru çamur uygulamaları sonucu *Beta vulgaris*'de Ni birikimi. K: Kök; G: Gövde; Y: Yaprak.

4.1.7. Kurşun (Pb)

Değişik oranlarda kuru atık çamur ortamında yetiştirilen *Triticum aestivum*'da Kurşun (Pb) birikimi bakımından kayda değer farklılıklar ortaya çıkmıştır (Tablo 4.13 ve Şekil 4.13). Şimdiye kadar verilen ağır metaller konsantrasyon olarak gövde+yaprak kısımlarında kontrolden önemli oranda farlılık göstermezken Pb'de durum aynı değildir. Atık çamur miktarının artması ile gövde+yaprakta Pb miktarı artmıştır. Bu da Pb'nin gövde ve yapraklara kadar taşındığını göstermektedir. Nitekim yapılan analizlerde özellikle %5 ve yukarısındaki atık çamur uygulamalarında kökteki Pb birikimi ile gövde+yapraktaki Pb birikimi yaklaşık olarak birbirine eşittir ve bunlar arasında istatistiksel bir fark olmadığı sonucuna varılmıştır ($p \leq 0{,}323$). Kökte de artan atık çamur oranına bağlı olarak Pb birikimi artmıştır. Ni de olduğu gibi kuru atık çamur miktarı yaklaşık 2 kat arttığında birikim de yine yaklaşık 2 kat artış göstermiştir ve atık çamur miktarının aşırı artması bitkice alınan Pb miktarını düşürmüştür. %10 uygulamasında gövde+yaprak kontrolden önemli şekilde farklılık göstermemektedir ($p \leq 0{,}960$).

Tablo 4.13. Kuru atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'in kök, gövde, gövde+yaprak ve yapraklarında Pb birikimi ($mgkg^{-1}$).

Yetişme Ortamı	*Triticum aestivum*		*Beta vulgaris*		
	Kök	Gövde+Yaprak	Kök	Gövde	Yaprak
Kontrol	2,30 ± 0,051	0,75 ± 0,057	0,39 ± 0,012	0,31 ± 0,028	0,36 ± 0,015
%2	7,934 ± 0,990	1,04 ± 0,008	13,70 ± 2,020	0,57 ± 0,017	0,65 ± 0,132
%5	15,90 ± 1,789	17,50 ± 1,674	31,85 ± 0,144	0,57 ± 0,017	7,41 ± 0,546
%10	17,35 ± 1,356	0,85 ± 0,049	*	*	*

*: Bu uygulama sonucunda *Beta vulgaris*'te bitki yetiştirilememiştir.

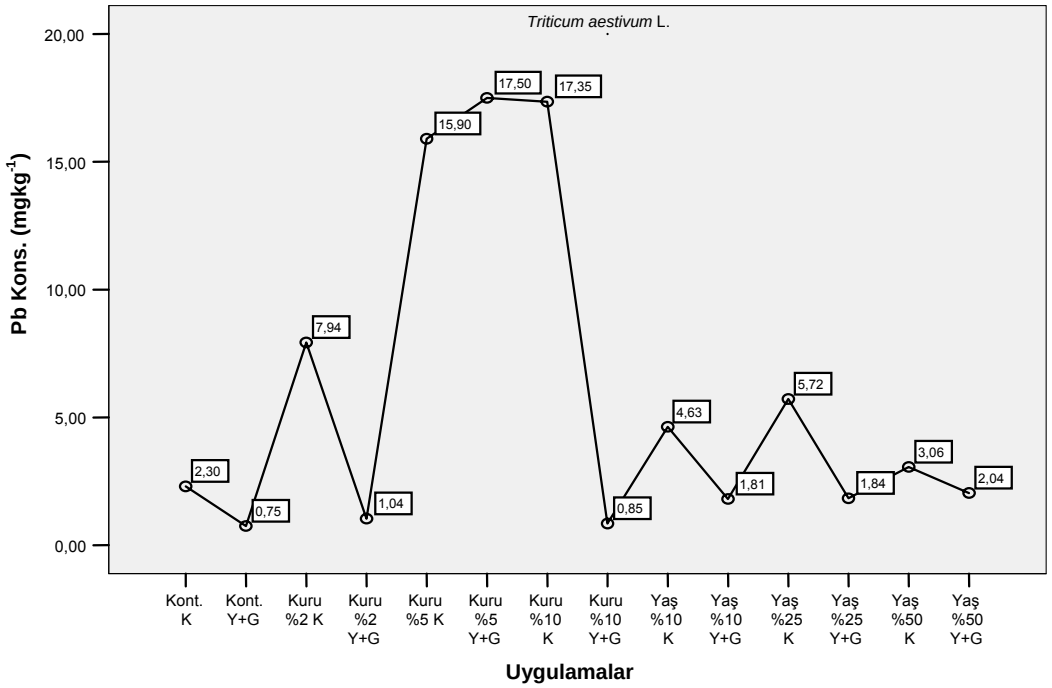
Tablo 4.14. Yaş atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'in kök, gövde, gövde+yaprak ve yapraklarında Pb birikimi ($mgkg^{-1}$).

Yetişme Ortamı	*Triticum aestivum*		*Beta vulgaris*		
	Kök	Gövde+Yaprak	Kök	Gövde	Yaprak
Kontrol	2,30 ± 0,051	0,75 ± 0,057	0,39 ± 0,012	0,31 ± 0,028	0,36 ± 0,015
%10	4,60 ± 0,733	1,81± 0,109	4,56 ± 0,034	0,48 ± 0,138	1,65 ± 0,040
%25	5,72 ± 0,386	1,84 ± 0,118	5,37 ± 1,258	0,70 ± 0,331	0,91 ± 0,076
%50	3,06 ± 0,923	2,04 ± 0,057	4,80 ± 0,035	0,42 ± 0,194	0,90 ± 0,251

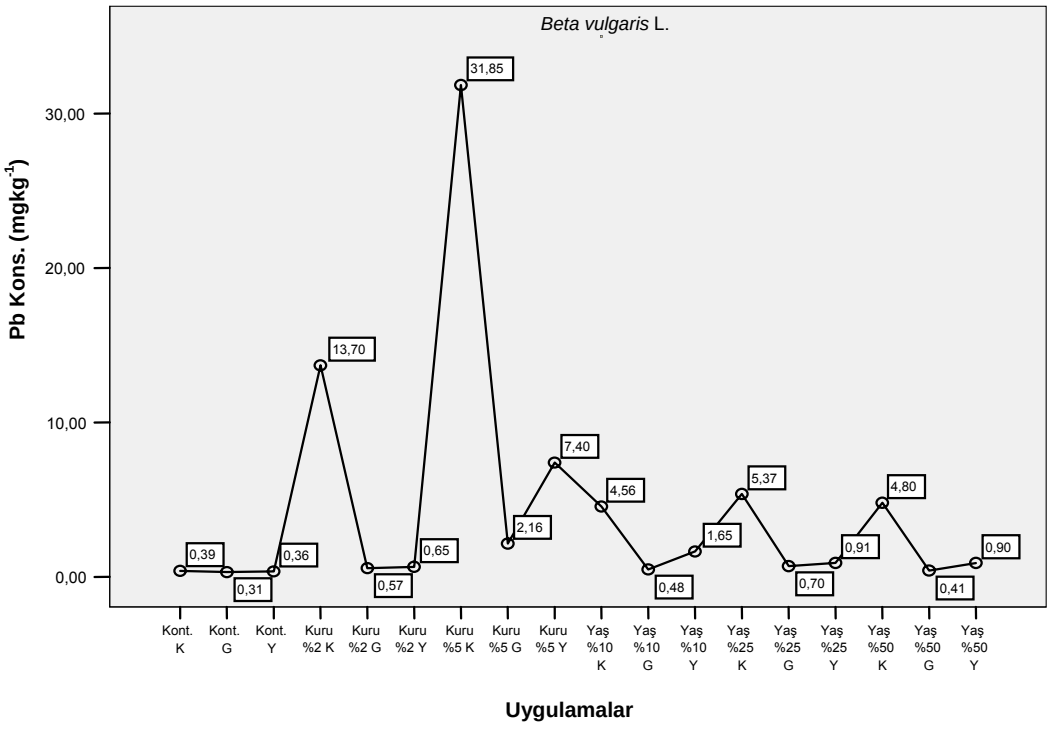
Farklı konsantrasyonlarda (%2 ve %5) kuru atık çamur uygulamaları sonucu pancar bitkisinin çeşitli kısımlarında (kök, gövde ve yaprak) Pb birikimi açısından yapılan değerlendirmeler sonucunda kontrol grupları ile %2 atık çamur uygulanan bitkilerin gövde ve yaprakları ve %5 atık çamur uygulanan bitkilerin gövdeleri arasında önemli bir farka rastlanamamasına rağmen ($p \leq 0{,}645$), %5 atık çamur uygulanmış bitkilerin yapraklarındaki ve her iki uygulamanın köklerindeki Pb birikimi önemli oranda farklanmaktadır (Tablo 4.13 ve Şekil 4.14). Atık çamur konsantrasyonunun artmasına paralel olarak köklerde ve yapraklarda biriken Pb miktarı da artmaktadır. Nitekim 31,85 $mgkg^{-1}$ Pb birikimi ile en fazla birikim %5 atık çamur uygulanmış bitkilerin köklerinden elde edilmektedir. Bitkilerde 30–300 $mgkg^{-1}$ arasında Pb birikimi toksisiteye neden olmaktadır [46]. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre bitkinin kök kısmında bu sınır az da olsa aşılmıştır.

Yaş atık çamur denemelerinde *Triticum aestivum*'da gövde+yaprakta Pb birikimi açısından uygulamalardan kaynaklanan bir fark bulunmamaktadır ($p \leq 0{,}540$). En yüksek birikim %25 atık çamur uygulamasından kökte elde edilmiştir (Tablo 4.14 ve Şekil 4.13). Ancak %25 atık çamur uygulaması ile %10 atık çamur uygulaması arasında kökte Pb birikimi açısından önemli bir fark bulunmamaktadır ($p \leq 0{,}667$). %10 atık çamur uygulaması ile %50 atık çamur uygulamasında da kökte Pb birikimi açısından istatistiksel olarak bir fark yoktur, fakat %25 atık çamur uygulamasından elde edilen kökteki birikim %50 atık çamur uygulamasından elde edilenden önemli oranda fazladır ($p \leq 0{,}029$). Bu sonuçlar atık çamur konsantrasyonu belli seviyenin üzerine çıkınca ağır metal birikiminin negatif yönde etkilendiğini göstermektedir.

Farklı konsantrasyonlarda (%10, %25 ve %50) atık yaş atık çamur uygulamaları sonucu *Beta vulgaris* bitkisinin kök, gövde ve yapraklarındaki Pb birikimi incelendiğinde bu uygulamalar sonucunda bitkinin gövde ve yapraklarında oluşan Pb birikiminin kontrol bitkilerinden farklı olmadığı görülmüştür ($p \leq 0{,}425$). Ancak bitkinin köklerindeki Pb birikimi gövde ve yapraklardan önemli oranda farklanmakta ($p \leq 0{,}001$), bu kısımlarda birikim yaprak ve gövdedeki birikime oranla daha fazla olmaktadır. Ama bu köklerde atık çamur konsantrasyonuna bağlı olarak önemli bir birikim farkı da gözükmemektedir ($p \leq 0{,}935$) (Tablo 4.14 ve Şekil 4.14).



Şekil 4.13. Farklı konsantrasyonlarda kuru ve yaş çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum*'da Pb birikimi. K: Kontrol, Y+G: Yaprak + Gövde.



Şekil 4.14. Farklı konsantrasyonlarda atık yaş ve kuru çamur uygulamaları sonucu *Beta vulgaris*'de Pb birikimi. K: Kök; G: Gövde; Y: Yaprak.

Kurşun insan faaliyetleri ile ekolojik sisteme en önemli zararlı veren ilk metal olma özelliği taşımaktadır. Kurşun atmosfere metal veya bileşik olarak yayıldığından ve her durumda toksik özellik taşıdığından (Çalışma ortamında izin verilen sınır 0,1 $mg(m^3)^{-1}$) çevresel kirlilik yaratan en önemli ağır metaldir. 1920'lerde kurşun bileşikleri [Kurşun tetraetil $Pb(C_2H_5)_4$] benzine ilave edilmeye başlanmıştır ve bu kullanım alanı kurşunun ekolojik sisteme yayınımında önemli rol oynar (227,250 ton/yıl ABD). Günümüzde kurşunsuz benzin kullanımı ile atmosfere kurşun yayınımı azalmakla beraber kurşunsuz benzin bileşiminde bulunan kurşun birçok birincil metal üretim aşamasından atmosfere kurşun ve bileşiklerinin yayınımı devam etmektedir [52].

Kurşun 20. yy'da yüksek oranlarda paslanmaya karşı oksit boya hammaddesi olarak kullanılmıştır. Almanya ve diğer gelişmiş ülkelerde 1971'de boya maddelerindeki kurşun kullanımı ve 1979'da ise yemek saklama kutularındaki kurşun kullanımını sınırlayıcı yasalar çıkarılmıştır. Kurşunun diğer önemli kullanım alanları ise; teneke kutu kapakları, kurşun-kalay alaşımlı kaplar, seramik sırları, böcek ilaçları, aküler vb. alanlardır [44].

Kurşunlu benzin ve boya maddelerinin yanı sıra yiyecekler ve su da kurşun kaynağı olabilmektedir. Özellikle endüstriyel ve şehir merkezlerine yakın yerlerde yetişen yiyecekler; tahıllar, baklagiller, bahçe meyveleri ve birçok et ürünü bünyesinde normal seviyelerin üzerinde kurşun bulundurur. Su borularında kullanılan kurşun kaynaklar ve eski evlerde bulunan kurşun tesisatlarda, kurşunun suya karışmasına sebep olabilmektedir. Kozmetik malzemelerde bulunan birçok pigment ve diğer ana maddelerde kurşun bulundururlar. Diğer taraftan sigara ve böcek ilaçları da kurşun kaynakları arasında sayılabilirler. Endüstriyel olarak kuyumculuk sektöründe altın rafinasyon ve geri kazanımı esnasında uygulanan "Kal" işlemi illegal olarak önemli oranda kurşunun oksit halinde atmosfere atılmasına neden olmaktadır.

Kurşunun vücutta absorbsiyonu çocuklarda daha yüksek olmakla beraber normalde %5 gibi düşük bir oranda gerçekleşmektedir Bu oran dahi kalsiyum ve demir gibi birçok mineralin vücut tarafından emilimini azaltmaktadır. Kana karışan kurşun buradan kemiklere ve diğer dokulara gitmekte ya da dışkı ve böbrekler yoluyla vücuttan atılmaktadır. Kemiklerde biriken kurşun zamana bağlı olarak (yarılanma ömrü yaklaşık

20 yıl) çözünerek böbreklerde tahribata neden olur. Kurşun bir nevi nörotoksindir ve anormal beyin ve sinir sistemi fonksiyonlarına sebep olmaktadır. Çocuklar üzerinde yapılan araştırmalarda kanda kurşun miktarı arttıkça IQ seviyesinin düştüğü tespit edilmiştir. Diğer taraftan kurşun nörotoksik özelliğinden dolayı sinir sisteminde iletimin azalmasına da yol açmaktadır [53].

4.1.8. Selenyum (Se)

Kuru atık çamur denemelerinde *Triticum aestivum*'un gövde+yapraklarında Selenyum (Se) birikim kontrolden çok farklı değildir ($p \leq 0{,}148$). Oysa kuru atık çamur uygulanan köklerdeki Se birikimi kontrol grubundaki köklerden oldukça faklıdır ($p \leq 0{,}013$). Burada da kök kısımları artan atık çamur miktarına bağlı olarak daha fazla Se biriktirmiştir (Tablo 4.15 ve Şekil 4.15). En yüksek Se birikimi (6,88 $mgkg^{-1}$) %10 kuru atık çamur içeren ortamda yetiştirilen buğday bitkisinin köklerinde gerçekleşmiştir.

Tablo 4.15. Kuru atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'in kök, gövde, gövde+yaprak ve yapraklarında Se birikimi ($mgkg^{-1}$).

Yetişme Ortamı	*Triticum aestivum*		*Beta vulgaris*		
	Kök	Gövde+Yaprak	Kök	Gövde	Yaprak
Kontrol	2,16 ± 0,285	1,78 ± 0,173	0,60 ± 0,043	0,42 ± 0,138	0,54 ± 0,035
%2	4,84 ± 0,668	2,76 ± 0,001	7,79 ± 0,816	1,47 ± 0,572	1,04 ± 0,260
%5	5,83 ± 1,218	0,25 ± 0,074	5,67 ± 0,263	0,07 ± 0,003	1,26 ± 0,064
%10	6,88 ± 1,033	2,23 ± 0,113	*	*	*

*: Bu uygulama sonucunda *Beta vulgaris*'te bitki yetiştirilememiştir.

Tablo 4.16. Yaş atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'in kök, gövde, gövde+yaprak ve yapraklarında Se birikimi ($mgkg^{-1}$).

Yetişme Ortamı	*Triticum aestivum*		*Beta vulgaris*		
	Kök	Gövde+Yaprak	Kök	Gövde	Yaprak
Kontrol	2,16 ± 0,285	1,78 ± 0,173	0,60 ± 0,043	0,42 ± 0,138	0,54 ± 0,035
%10	25,85 ± 0,529	3,095 ± 0,043	2,88 ± 0,242	2,07 ± 0,640	0,95 ± 0,143
%25	84,60 ± 2,367	5,15 ± 0,407	4,22 ± 0,510	0,84 ± 0,448	0,60 ± 0,086
%50	27,74 ± 11,064	6,27 ± 0,274	3,60 ± 0,450	0,40 ± 0,029	1,48 ± 0,452

Farklı konsantrasyonlarda atık kuru atık çamur uygulamaları sonucunda pancar bitkisinde Se birikiminin incelenmesi sonucunda kontrol grupları ile %2 ve %5 atık çamur uygulamalarının yaprak ve gövdelerinde önemli bir birikim farkı gözlenmemiştir ($p \leq 0,191$). Ancak bu uygulamalar sonucunda köklerde biriken Se miktarları incelendiğinde önemli miktarlarda farklılıklar olduğu göze çarpmaktadır ($p \leq 0,013$). Bunun yanısıra en yüksek Se birikimi %2 kuru atık çamur uygulamasında köklerde elde edilmiştir (7,785 $mgkg^{-1}$) (Tablo 4.15 ve Şekil 4.16).

Yaş atık çamur denemeleri sonucunda buğday bitkisinin değişik kısımlarında (kök, gövde ve yaprak) Se birikimi açısından oluşan tablo yukarıda bahsettiğimiz tezi doğrular niteliktedir. Se birikimi açısından gövde+yapraklarda uygulamalardan kaynaklanan bir birikim farkı gözlenmemektedir (Tablo 4.16 ve Şekil 4.15). Ancak kökte uygulamalardan kaynaklanan önemli birikim farklılıkları göze çarpmaktadır. Yine yaş atık çamur uygulamalarında daha önce bahsettiğimiz ağır metallerde olduğu gibi en yüksek birikim %25 atık çamur uygulaması yapılmış buğdayların köklerinde elde edilmiştir. %10 atık çamur uygulaması sonucunda bitkinin köklerindeki Se birikimi de yine bitkinin gövde ve yaprakları ile kıyaslandığında önemli oranda fazladır ($p \leq 0,043$). Ancak %10 atık çamur uygulaması ile %50 atık çamur uygulamaları sonucu kökte Se birikimi açısından bir fark bulunmamaktadır ($p \leq 0,780$). 84,6 $mgkg^{-1}$ Se birikimi ile %25 atık çamur uygulanmış bitki kökleri tüm bunlardan önemli oranda farklaşmaktadır ($p \leq 0,001$).

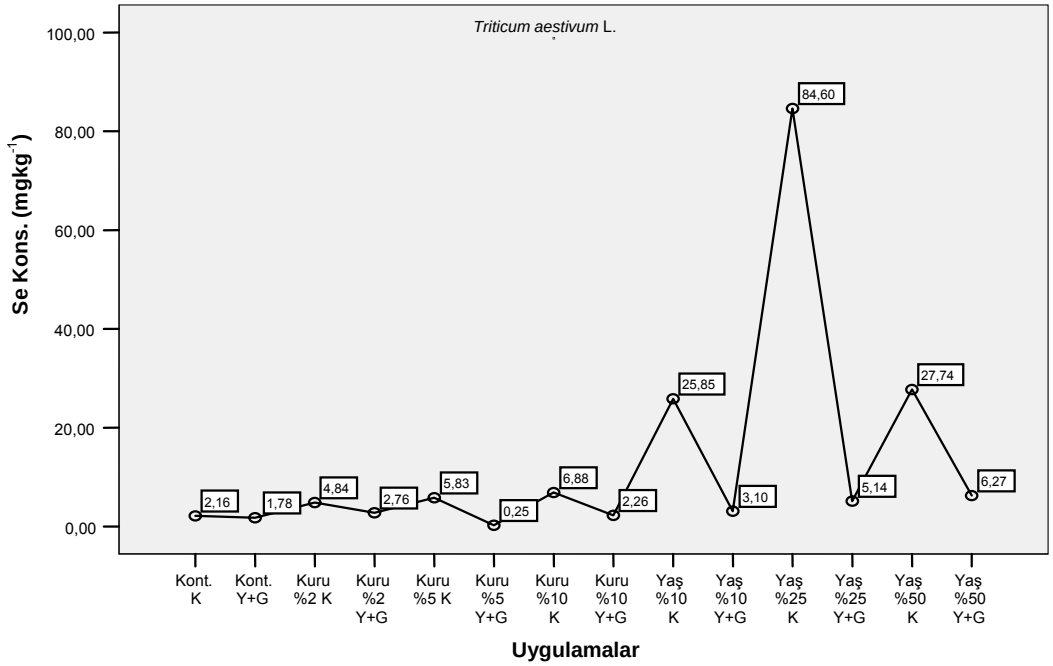
Atık yaş atık çamur uygulamaları sonucu pancar bitkisinin kök, gövde ve yapraklarında ne kadar Se biriktirdiğini test etmeye yönelik çalışmanın sonuçları göstermiştir ki farklı konsantrasyonlarda atık çamur uygulamalarının bitkinin gövde ve yapraklarında Se birikimine bir etkisi yoktur ($p \leq 0,065$). Bunun aksine bitkinin köklerindeki Se birikimi değişen atık çamur konsantrasyonuyla değişmekte, genel olarak atık çamur konsantrasyonunun artmasıyla birikimde artmaktadır (Tablo 4.16 ve Şekil 4.16). Ancak %25 atık çamur konsantrasyonun üzerine çıkıldığında kökteki Se birikiminin düştüğü gözlenmektedir. Bununla birlikte genel anlamda %10, %25 ve %50 atık çamur uygulamaları sonucu kökteki Se birikimleri arasında istatistiksel olarak bir fark görülmemektedir ($p \leq 0,251$). Kökteki Se birikimi ile gövde ve yapraklardaki Se birikimi karşılaştırıldığında ise bu fark istatistiksel olarak önemli olmaktadır ($p \leq 0,021$). Bunun

yanısıra %50 yaprak, %10 gövde ve %10 kök uygulamaları arasında da bir fark bulunamamıştır ($p \leq 0,197$). Aynı zamanda %10 gövde, %10 kök ve %50 kök uygulamaları arasında da Se birikimi açısından istatistiksel olarak bir fark gözükmemektedir ($p \leq 0,120$).

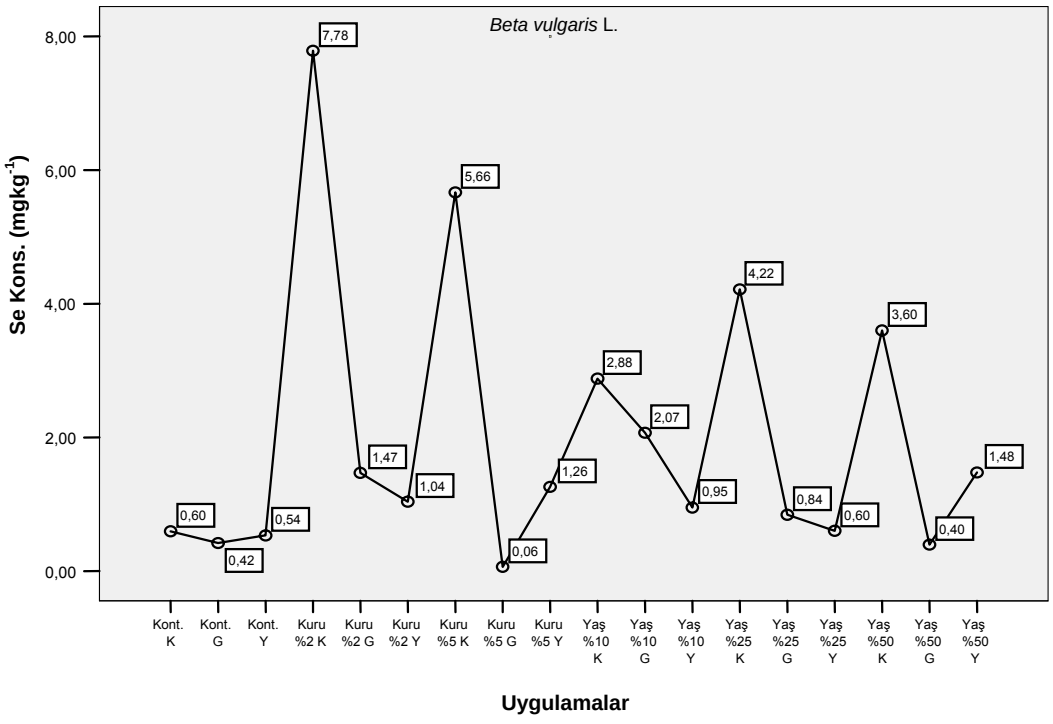
Selenyum, bakır, çinko ve kurşun gibi metallerin üretimi sırasında yan ürün olarak 16 ton/yıl kapsite ile üretilir. Selenyum ana üretim kaynağını ise, bakır anot atık çamurlarıdır ve bu atık çamurların soda veya sülfürik asit ile kavrulması ile geri kazanılır. Kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı, başta fotoelektrik hücreler olmak üzere, elektronik, cam, metalürji, tarımsal ve biyolojik alanlarda endüstriyel uygulamaya sahiptir [44].

Selenyum kirliliğin en önemli nedeni selenyum içeren katı atık depo sahalarıdır. Bu tür sahaların bulunduğu bölgelerde yetişen tarım ürünleri ile besin zincirine girer ve insan vücuduna kadar ulaşır. Selenyum düşük konsantrasyonda vücut için önemli bir iz elementi olmakla beraber, yüksek konsantrasyonda zehirlidir. Selenyum, pek çok vitamin ve sülfür içeren amino asitler ile etkileşim halindedir. Aynı zamanda civa, kadmiyum, kurşun, gümüş, bakır ve arsenik gibi birçok metallin toksikolojik etkisini azaltır.

Hayvanlar üzerinde yapılan araştırma sonucunda uygun miktarda selenyumun canlıları kansere neden olan kimyasallara ve ultraviole ışınlara karşı koruduğunu göstermiştir. Epidemiolojikal çalışmalar neticesinde insanlarda selenyumun eksikliğinden kaynaklanan kalp rahatsızlıkları riski selenyum fazlalığından kaynaklananlara oranla 2–3 kat daha fazla olduğu saptanmıştır. Çok az sayıdaki selenyum bileşiği ani ölümlere neden olmaktadır. Sindirim sistemindeki mukoz membranlarında tahrişe, karaciğer hasarına ve akciğerde toksik ödemlere neden olduğu gözlenmiştir. Değişik yiyeceklerde selenyum içeriği bölgedeki doğal selenyum içeriğine, insansal aktivitelere bağlı olarak çok geniş oranda değişmektedir.



Şekil 4.15. Farklı konsantrasyonlarda kuru ve yaş çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum*'da Se birikimi. K: Kontrol, Y+G: Yaprak + Gövde.



Şekil 4.16. Farklı konsantrasyonlarda atık yaş ve kuru çamur uygulamaları sonucu *Beta vulgaris*'de Se birikimi. K: Kök; G: Gövde; Y: Yaprak.

4.1.9. Çinko (Zn)

Triticum aestivum ile yapılan kuru atık çamur deneylerinde en fazla Çinko (Zn) birikimi %5'lik ortamda kökte olmuştur (Tablo 4.17 ve Şekil 4.17) ve bu birikim diğer gruplardan önemli oranda farklıdır ($p \leq 0{,}001$). Bitkinin gövde+yaprak kısımlarında Zn birikimi açısından kontrole göre önemli bir faklılık söz konusu değildir ($p \leq 0{,}193$). %2 ve %10'luk ortamda yetiştirilen örneklerin köklerinde Zn birikimi kontrol grubu ve bitkinin gövdesine oranla daha yüksek olmasına rağmen bu uygulamalar sonucunda köklerdeki birikim %5'lik ortamda yetişen buğday bitkisinin köklerinden önemli derecede düşüktür ($p \leq 0{,}001$).

Tablo 4.17. Kuru atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'in kök, gövde, gövde+yaprak ve yapraklarında Zn birikimi ($mgkg^{-1}$).

Yetişme Ortamı	*Triticum aestivum*		*Beta vulgaris*		
	Kök	Gövde+Yaprak	Kök	Gövde	Yaprak
Kontrol	148,50 ± 3,175	41,05 ± 0,49	40,20 ± 2,021	36,50 ± 6,755	39,75 ± 2,800
%2	183,00 ± 8,660	55,50 ± 1,385	125,50 ± 7,216	38,61 ± 0,017	69,05 ± 2,165
%5	254,00 ± 20,207	73,30 ± 7,390	136,00 ± 1,155	28,25 ± 0,375	54,95 ± 0,375
%10	158,50 ± 3,752	44,90 ± 2,829	*	*	*

*: Bu uygulama sonucunda *Beta vulgaris*'te bitki yetiştirilememiştir.

Tablo 4.18. Yaş atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'in kök, gövde, gövde+yaprak ve yapraklarında Zn birikimi ($mgkg^{-1}$).

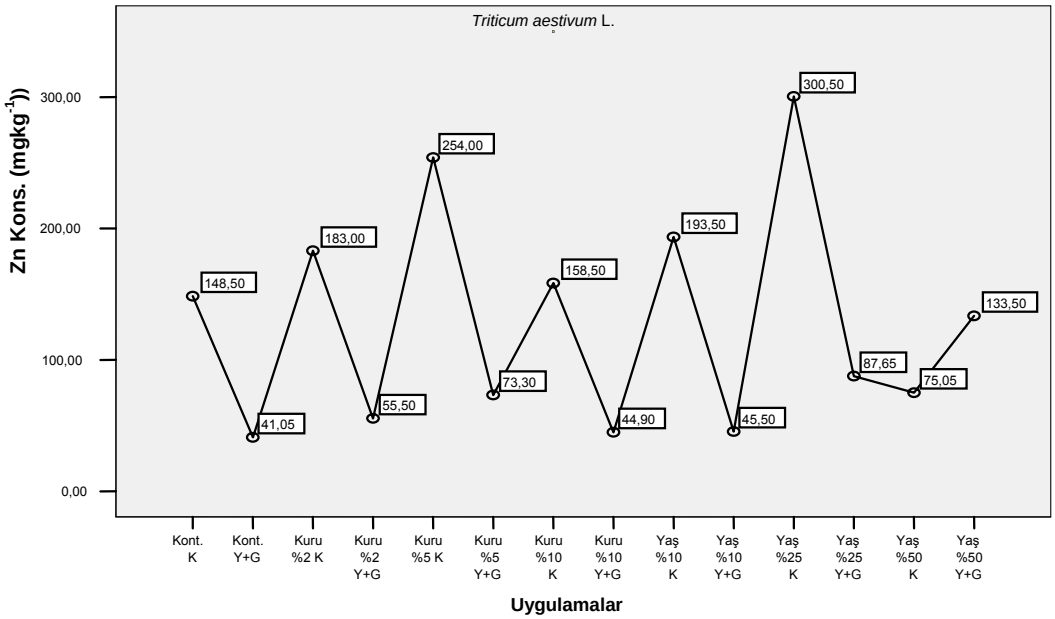
Yetişme Ortamı	*Triticum aestivum*		*Beta vulgaris*		
	Kök	Gövde+Yaprak	Kök	Gövde	Yaprak
Kontrol	148,50 ± 3,175	41,05 ± 0,490	40,20 ± 2,021	36,50 ± 6,755	39,75 ± 2,800
%10	193,50 ± 0,866	45,50 ± 1,501	139,89 ± 0,710	50,19 ± 0,121	58,75 ± 1,299
%25	300,50 ± 6,062	87,65 ± 5,860	119,85 ± 28,950	43,80 ± 0,115	76,20 ± 0,750
%50	75,05 ± 12,380	133,50 ± 6,062	124,59 ± 0,121	37,45 ± 4,936	92,50 ± 0,230

Beta vulgaris için yapılan kuru atık çamur denemelerinde bitkinin çeşitli kısımlarında Zn birikimi açısından büyük farklılıklar ortaya çıkmaktadır (Tablo 4.17 ve Şekil 4.18). Bitkinin gövdesinde uygulamalara bağlı olarak kontrol bitkileri ile karşılaştırıldığında fark görülmemesine karşın yapraklarda ve köklerdeki birikim kontrol bitkilerinden

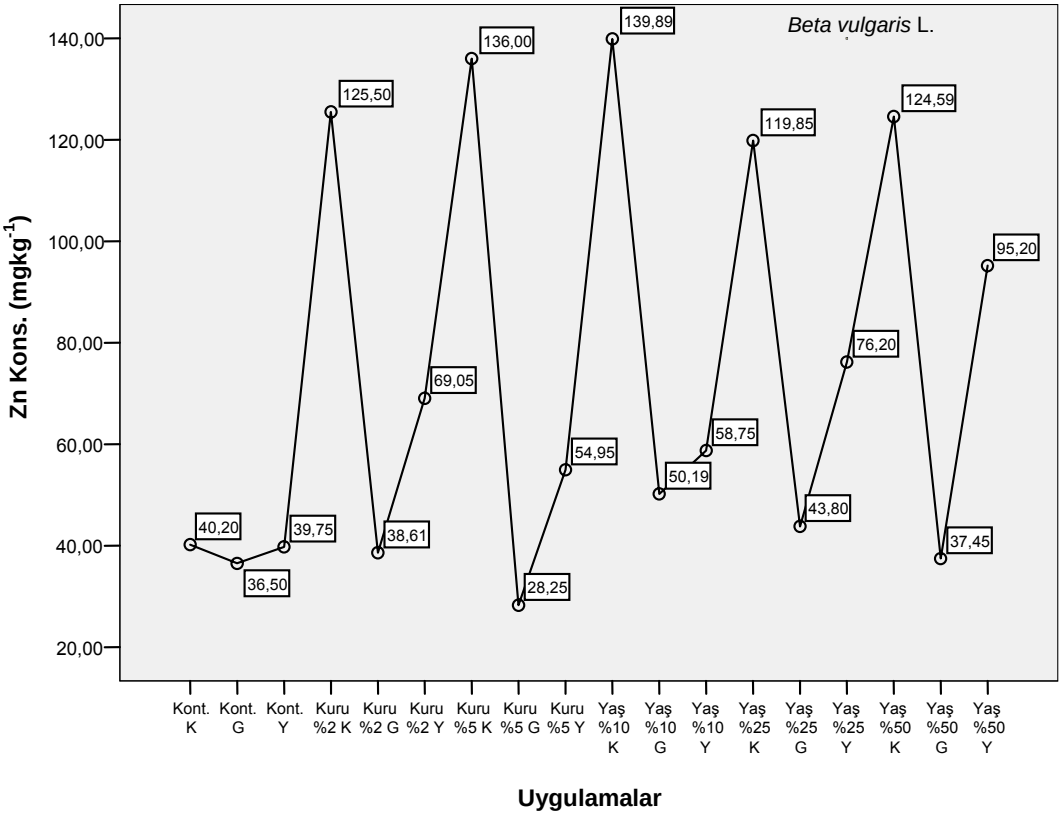
farklanmaktadır. %2 ve %5 atık çamur uygulamalarına bağlı olarak bitkinin gövdelerinde biriken Zn miktarları kendi içinde değerlendirildiğinde önemli bir fark bulunmamaktadır ($p \leq 0,189$). Aynı şekilde farklı konsantrasyondaki atık çamur uygulamalarına bağlı olarak köklerdeki birikim yapraklardan önemli derecede farklı olmakla birlikte ($p \leq 0,001$) kendi aralarında değerlendirildiğinde bir fark gözükmemektedir ($p \leq 0,521$). Buna ek olarak köklerde uygulamalara bağlı olarak birikim yapraklardakinden yaklaşık olarak 2 kat fazladır. Kökler bitkinin diğer kısımlarından 7–8 kat daha fazla oranda Zn ve Cu biriktirmektedir (46). Çalışmada elde edilen sonuçlar bunu doğrulamaktadır.

Değişik konsantrasyonlarda yaş atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum*'un çeşitli kısımlarında (kök, gövde+yaprak) Zn birikimi bakımından önemli farklılıklar vardır ($p \leq 0,001$). 300,5 $mgkg^{-1}$ Zn birikimi ile en yüksek birikim yine %25 atık çamur uygulaması sonucu köklerde elde edilmişken (Tablo 4.18 ve Şekil 4.17) en düşük birikim 45,5 $mgkg^{-1}$ birikimle bitkinin gövde+yapraklarında elde edilmiştir. %10 atık çamur uygulaması ile %25 atık çamur uygulamasından elde edilen Zn birikimleri de istatistiksel olarak önemli oranda farklıdır ($p \leq 0,001$). Yine bu uygulamalarda dikkat çeken bir nokta %50 atık çamur uygulanan bitkilerin gövde+yapraktaki Zn birikimidir. %50 atık çamur uygulamasında bitkinin gövde+yapraktaki Zn birikimi aynı bitkinin köklerinden önemli derecede fazla olmaktadır ($p \leq 0,001$). Bununla birlikte %25 atık çamur uygulanmış bitkilerin gövde+yapraktaki Zn birikimi ile %50 atık çamur uygulanmış bitkilerin köklerindeki Zn birikimi arasında önemli bir fark görülmemektedir ($p \leq 0,758$).

Yaş atık çamur ile yapılan denemelerde *Beta vulgaris*'de Zn birikimi bakımından uygulamaların kök kısımları arasında önemli bir fark olmamasına karşın ($p \leq 0,139$) bunlar uygulamaların gövde ve yapraklarından önemli şekilde ayrılmaktadır ($p \leq 0,001$); (Tablo 4.18 ve Şekil 4.18). Bununla birlikte, %10, %25 ve %50 yaş atık çamur uygulamalarında bitkinin yapraklarında biriken Zn miktarı gövdelerde biriken miktardan daha fazla olup, yaklaşık olarak 2 katıdır. Bununla birlikte bu uygulamalar sonucu yapraklarda biriken Zn miktarları arasında ise istatistiksel olarak bir fark yoktur ($p \leq 0,189$).



Şekil 4.17. Farklı konsantrasyonlarda kuru ve yaş çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum*'da Zn birikimi. K: Kontrol, Y+G: Yaprak + Gövde.



Şekil 4.18. Farklı konsantrasyonlarda atık yaş ve kuru çamur uygulamaları sonucu *Beta vulgaris*'de Zn birikimi. K: Kök; G: Gövde; Y: Yaprak.

Çinko insanlar ve tüm bitki formları ile hayvan yaşamları için önemli ve yaşamsal elementlerden biridir (günlük doz 10–20 mg). Gelişme, deri bütünlüğü ve fonksiyonu, yumurta olgunlaşması, bağışıklık gücü, yara iyileşmesi ve karbonhidrat, yağ, protein, nükleik asit sentezi ya da degradasyon gibi çeşitli metabolik prosesler için gereklidir [54].

Çinko ve çinko tuzlarından zehirlenme nadir görülmektedir. Besin kaplarından çinkonun çözünmesiyle kirlenen besinin tüketilmesi veya mesleki koşullar altında çinko ya da çinko oksit tozunun solunumuyla zehirlenme ortaya çıkabilmektedir.

4.1.10. Demir (Fe)

Kuru atık çamur ile yapılan denemelerde *Triticum aestivum*'da gövde+yaprakta Demir (Fe) birikimi bakımından kontrol gruplarına göre önemli bir fark bulunamamıştır ($p \leq 0{,}998$). Gövde+yaprak kısımlarının aksine kökte yoğun bir Fe birikimi meydana gelmiştir (yaklaşık olarak 18000 $mgkg^{-1}$) (Tablo 4.19 ve Şekil 4.19). Atık çamur miktarına bağlı olarak Fe birikimi de istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p \leq 0{,}001$). Ancak kökten gövde ve yapraklara Fe taşınımı fazla olmamaktadır. %2 ve %5 atık çamur uygulamalarında köklerde birikim, kontrol grupları ve uygulamalar sonucu yaprak ve gövdelerdeki Fe birikimi önemli oranda farklanmaktadır ($p \leq 0{,}001$). Bunun yanısıra farklı uygulamalara bağlı olarak köklerde Fe birikimi de değişmektedir. 2535 $mgkg^{-1}$ Fe birikimi ile en fazla birikim %2 atık çamur uygulamasında köklerden elde edilmiştir.

Değişik konsantrasyonlarda atık yaş atık çamur uygulamaları sonucunda *Triticum aestivum*'da Fe birikiminde karşımıza önceki elementlerden farklı bir tablo çıkmaktadır (Tablo 4.20 ve Şekil 4.19). Bu uygulamalar sonucu en düşük Fe birikimi %50 atık çamur uygulamalarında köklerde elde edilmiştir. Ayrıca yapraktaki birikimle bunun arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p \leq 0{,}840$). Fe açısından da uygulamalar arasında en yüksek birikim %25 atık çamur uygulamasında köklerde elde edilmiştir. %25 atık çamur uygulamasından elde edilen birikim ile %10 atık çamur uygulamasından elde edilen birikim arasındaki fark da istatistiksel olarak önemsizdir ($p \leq 0{,}156$).

Tablo 4.19. Kuru atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'in kök, gövde, gövde+yaprak ve yapraklarında Fe birikimi ($mgkg^{-1}$).

Yetişme Ortamı	*Triticum aestivum*		*Beta vulgaris*		
	Kök	Gövde+Yaprak	Kök	Gövde	Yaprak
Kontrol	985,00 ± 14,433	76,80 ± 3,637	46,23 ± 1,200	40,50 ± 2,021	45,70 ± 1,125
%2	1177,50 ± 20,490	112,70 ± 11,142	2535,00 ± 300,800	78,27 ± 0,190	101,50 ± 1,440
%5	1587,00 ± 96,417	90,40 ± 11,893	1676,00 ± 0,577	83,04 ± 0,485	112,00 ± 2,309
%10	1793,50 ± 60,910	86,25 ± 4,128	*	*	*

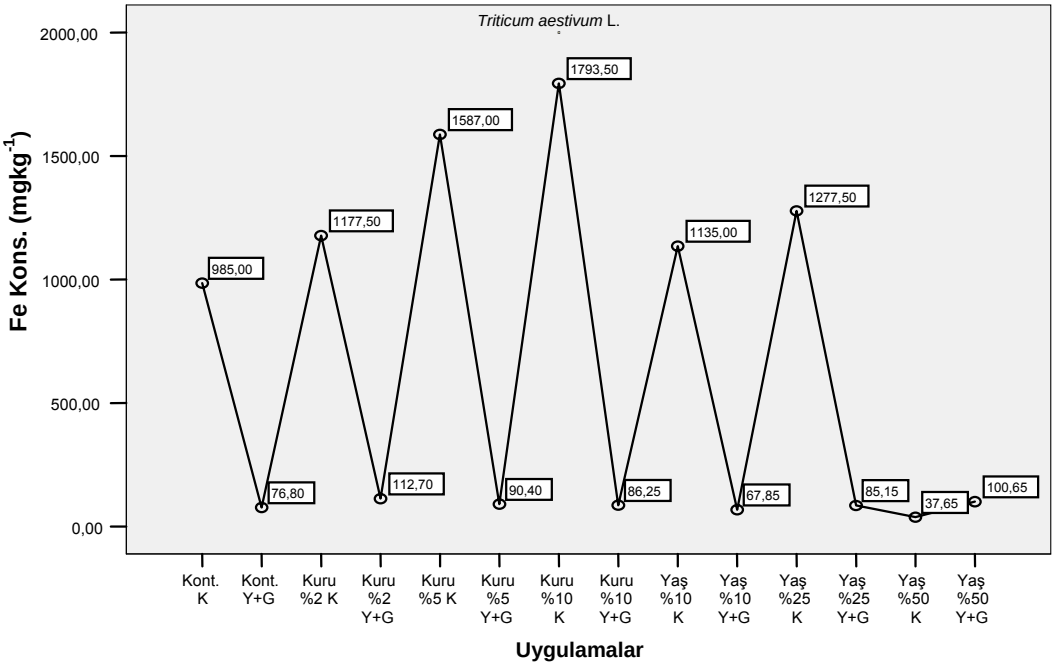
*: Bu uygulamalar sonucunda *Beta vulgaris*'te bitki yetiştirilememiştir.

Tablo 4.20. Yaş atık çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum* ve *Beta vulgaris*'in kök, gövde, gövde+yaprak ve yapraklarında Fe birikimi ($mgkg^{-1}$).

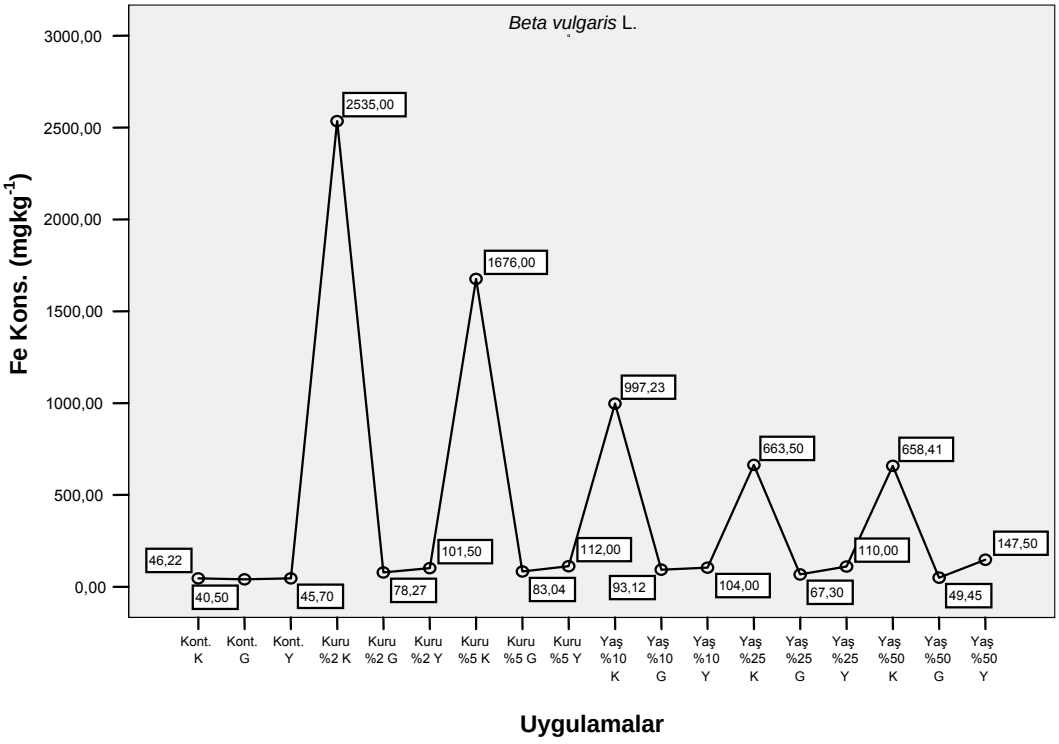
Yetişme Ortamı	*Triticum aestivum*		*Beta vulgaris*		
	Kök	Gövde+Yaprak	Kök	Gövde	Yaprak
Kontrol	985,00 ± 14,433	76,80 ± 3,637	46,23 ± 1,198	40,5 ± 2,021	45,70 ± 1,125
%10	1135,00 ± 54,425	67,85 ± 2,511	997,23 ± 4,070	93,12 ± 0,727	104,00 ± 1,732
%25	1277,50 ± 73,612	85,15 ± 7,707	663,50 ± 152,130	67,30 ± 10,796	110,00 ± 2,886
%50	37,65 ± 1,472	100,65 ± 8,284	658,41 ± 0,502	49,45 ± 4,820	147,50 ± 3,175

Ancak buralardaki birikim diğer uygulamalardan elde edilen birikimden önemli oranda fazladır ($p \leq 0,001$). Bitkiler tarafından alınan Fe oranı, mobil organik kompleks ile metal tutucuların varlığı, topraktaki yüksek su miktarı ve düşük pH değeri nedenleriyle artarken, yüksek pH ve toprağı havalandırma bu oranı azaltmaktadır (18). Demirin alınabilir formunu ortamda bulunan elementlerin yoğunluklarının da etkilediği bilinen bir gerçektir. Özellikle ortamda bulunan organik maddeler alınabilir demir oranını düşürmektedir. % 50 atık çamur uygulamalarında da ortamdaki organik madde miktarının çok fazla olması nedeniyle bitki tarafından demir alınımının düşmesi beklenen bir durumdur.

Farklı konsantrasyonlarda atık yaş çamur uygulanmış topraklarda yetiştirilen pancar bitkileri üzerinde Fe birikimi bakımından yapılan analizlere bakıldığında yine Pb ve diğer elementlerde olduğu gibi bir tablo karşımıza çıkmaktadır (Tablo 4.20 ve Şekil 4.20). Bitkinin gövde ve yapraklarındaki Fe birikimi kontrol bitkilerinden farklı değildir



Şekil 4.19. Farklı konsantrasyonlarda kuru ve yaş çamur uygulamaları sonucu *Triticum aestivum*'da Fe birikimi. K: Kontrol, Y+G: Yaprak + Gövde.



Şekil 4.20. Farklı konsantrasyonlarda atık yaş ve kuru çamur uygulamaları sonucu *Beta vulgaris*'de Fe birikimi. K: Kök; G: Gövde; Y: Yaprak.

($p \leq 0{,}844$) ancak, köklerdeki birikim yine bunlardan önemli oranda ayrılmaktadır ($p \leq 0{,}001$). Bunun yanı sıra kökler kendi arasında değerlendirildiğinde ise bu uygulama farklılıklarına bağlı olarak çeşitli farklılıklar karşımıza çıkmakta, özellikle 997,23 $mgkg^{-1}$ Fe biriktirimi ile %10 kök diğer uygulamalardan ayrılmaktadır ($p \leq 0{,}001$). %25 atık çamur uygulaması ile %50 atık çamur uygulamasının ise köklerde Fe biriktirimi açısından bir farkı gözükmemektedir ($p \leq 1{,}000$).

Fe^{2+} formunda klorofilin sentezinde önemli rol oynar. Eksikliğinde klorozis görülür. Öte yandan solunumda rol oynayan sitokrom oksidaz, katalaz ve peroksidaz gibi çeşitli enzimlerin ve sitokrom sistemi gibi elektron taşıyıcılarının da bileşimine girdiğinden hücre metabolizmasında ayrıca önem taşır [55].

Atık çamurda bulunan organik maddenin bitki besin maddelerinin topraktaki durumları, hareketleri ve formları üzerine de etkisi vardır. Toprakta bulunan Fe gibi ağır metaller genellikle suda zor çözünür bileşikler halindedir. Oysa organik maddenin bu minerallerle meydana getirdiği şelatlar minerallerin çözünürlüğünü artırır ve bu suretle bitkilerin mikro element ihtiyacı karşılanmış olur [56].

2.4. Klorofil Konsantrasyonu

Stres faktörlerinin bitkiler üzerindeki etkilerini anlamak amacıyla başvurulan yollardan biri de klorofil içeriğini belirlemektir. Bu amaçla çalışmada yetiştirilen bitkilerden örnekler alınıp klorofil konsantrasyonları belirlenmiştir.

Farklı oranlarda kuru atık çamur uygulaması yapılan buğday bitkisinde toplam klorofil miktarı uygulamalar arasında çok fazla değişmemekle birlikte en fazla konsantrasyon %5'lik, en az ise %10'luk, atık çamur uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 4.21). Daha önce yapılan çeşitli araştırmalara göre metal kirliliğinin bitkilerde klorofil miktarını azalttığı belirlenmiştir [57]. Nikel ve Bakır kirliliği olan toprakta yetiştirilen *E. nigrum*' da klorofil miktarı %15–30 oranında azalmıştır [17].

Pancar bitkisinde kuru atık çamur uygulamaları kontrol ile karşılaştırıldığında klorofil miktarının azaldığı gözlenmiştir. Ancak bu azalma artan atık çamur oranına bağlı olmayıp, %2'lik uygulamadan elde edilen numunelerde klorofil miktarı %5'lik

uygulamadan elde edilenlerden daha düşüktür (Tablo 4.21). Atık çamurda birçok ağır metal ve diğer maddeler bulunduğundan değerlendirmede bunların birlikte etkilerinin klorofil içeriği bakımından değişik sonuçlar doğurabileceği söylenebilir. Ağır metallerin etilen üretimini artırdığı ve stomalarda kapanmaya yol açarak erken yaşlanma sinyallerine sebep olduğu ileri sürülmüştür [58].

Tablo 4.21. Kuru atık çamur uygulamasında klorofil miktarları ($mgkg^{-1}$).

Yetişme Ortamı	*Triticum aestivum*			*Beta vulgaris*		
	Klo-a	Klo-b	T- Klo.	Klo-a	Klo-b	T-Klo.
Kontrol	1,52 ± 0,086	0,43 ± 0,026	1,95 ± 0,113	1,44 ± 0,011	0,44 ± 0,001	1,88 ± 0,012
%2	1,15 ± 0,032	0,82 ± 0,032	1,97 ± 0,064	1,06 ± 0,024	0,42 ± 0,009	1,48 ± 0,017
%5	1,13 ± 0,061	0,86 ± 0,121	1,99 ± 0,185	1,10 ± 0,004	0,53 ± 0,015	1,62 ± 0,015
%10	1,51 ± 0,075	0,43 ± 0,035	1,94 ± 0,038	_	_	_

Tablo 4.22. Yaş atık çamur uygulamasında klorofil miktarları ($mgkg^{-1}$).

Yetişme Ortamı	*Triticum aestivum*			*Beta vulgaris*		
	Klo-a	Klo-b	T- Klo.	Klo-a	Klo-b	T-Klo.
Kontrol	1,52 ± 0,086	0,43 ± 0,026	1,95 ± 0,113	1,44 ± 0,011	0,44 ± 0,001	1,88 ± 0,012
%10	2,78 ± 0,075	0,84 ± 0,081	3,62 ± 0,156	1,62 ± 0,018	0,48 ± 0,017	2,10 ± 0,035
%25	1,14 ± 0,090	0,65 ± 0,016	1,79 ± 0,075	1,09 ± 0,051	0,60 ± 0,069	1,69 ± 0,020
%50	1,10 ± 0,136	0,53 ± 0,064	1,63 ± 0,199	1,09 ± 0,066	0,59 ± 0,038	1,68 ± 0,104

Yaş atık çamur ile yapılan denemelerde buğdayda klorofil içeriği bakımından meydana gelen değişiklikler Tablo 4.22'de verilmiştir. En az klorofil içeriği %50'lik yaş atık çamur uygulamasından elde edilmiştir. Bunu sırasıyla kontrol, %25'lik atık çamur uygulaması ve % 10'lik atık çamur uygulaması izler. Benzer sonuçlar pancar bitkisinde de gözlenmiştir. Klorofil içeriğinin belli bir orana (%10 uygulamasına) kadar artıp yeniden azalması atık çamur içerisindeki değişik birçok ağır metal ve diğer materyallerin varlığına bağlı olarak gerçekleşmiş olabilir. Ağır metaller klorofil biyosentezinde görev yapan enzimleri etkileyerek işlevlerini engellemektedir. Örneğin

Kadmiyumun protoklorofil reduktaz aminoevulinik asit (ALA) sentezini dolayısıyla klorofil biyosentezini engellediği bildirilmiştir [59]. Ağır metaller serbest radikal oluşumuna ve bu yolla tilakoid membran lipidlerinin oksidatif yıkımına neden olmaktadır [60].

5. BÖLÜM

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Kuru atık çamur uygulamalarında (%2, %5, %10) en fazla As, Co, Pb, Se ve Fe birikimi pancarda gerçekleşirken; buğdayda Cd, Cr, Cu, Ni, Zn birikiminin daha fazla olduğu görülmektedir.

Yaş çamur uygulamalarında (%10, %25, %50) Cd, Cr, Cu, Pb, Se, Zn ve Fe birikiminin pancar bitkisine nispeten buğday bitkisinde daha fazla olduğu; en fazla As, Co ve Ni birikiminin ise pancar bitkisinde meydana geldiği belirlenmiştir. Burada dikkat çekici bir nokta kuru çamur uygulamalarında Ni buğdayda fazla birikim gösterirken yaş çamur uygulamalarında pancar bitkisinde daha fazla birikim olduğu gözlenmiştir.

Ağır metal birikiminin en fazla olduğu bitki kısmı her iki bitkide de kökler olmuştur. Gövde ve yapraklarda ağır metal birikiminin köke kıyasla düşük olması muhtemelen kökten gövde ve yapraklara ağır metal taşınımının az olduğunu göstermektedir. Kökte aşırı ağır metal birikimi sonucu bitki bundan olumsuz etkilenmekte ve alınan ağır metal oranı düşmektedir.

Beta vulgaris daha çok kökünden faydalanılan bir tarım bitkisi olduğu için buradaki birikim büyük önem taşımaktadır. Çünkü ağır metallerin doğrudan insan tarafından alınması söz konusudur. *Triticum aestivum*'un kökleri hasat sonrasında genellikle toprakta kalmakta ve toprağın organik madde içeriğini oluşturmaktadır. Belli bir süre bu ağır metal içeren atık çamurların buralarda gübre olarak kullanılması sonucu bu

ortamlarda aşırı ağır metal birikimi gözlenecek ve besin zinciri de bundan olumsuz şekilde etkilenecektir.

Ağır metallerin alınımını önemli oranda etkileyen faktörlerden birisi de pH olarak göze çarpmaktadır. Nitekim yapılan çalışmada ortam pH'sının değişimine paralel olarak bitkiler tarafından alınan ağır metal oranının da değiştiği gözlenmiştir. Ortam pH'ının azalması ile genel olarak ağır metal birikimi belli bir seviyeye kadar artmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre incelenen bütün ağır metaller içinde Fe elementi birikimi çok yüksektir. Toprak ve çamurda da Fe içeriğinin yüksek olması birikimin de fazla olmasına neden olmuştur. Zaten Fe elementinin toprak ve çamurda normal olan miktarı diğer elementlere oranla önemli ölçüde fazladır.

Klorofil içeriği kuru ve yaş atık çamur uygulamalarından etkilenmektedir. Yüksek miktarda atık çamur içeren ortamda yetişen buğday ve pancar bitkilerinde klorofil miktarının kontrol gruplarından düşük olduğu görülmüştür. Ancak düşük seviyelerde atık çamur uygulamalarının (%2 ,%5 kuru ve %10, %25 yaş atık çamur) klorofil konsantrasyonunu bir miktar artırdığı da belirlenmiştir.

Arıtma tesislerinin sayılarında, boyutlarında ve verimliliklerinde yapılan gelişmeler su ortamlarının kalite ve sağlığına önemli pozitif etkiler yapmaktadır. Ancak, arıtma çamurları bertaraf edilirken, su ortamlarında meydana gelmiş olan (su ortamını olumsuz şekilde etkileyen) kirliliğin hava ve toprak gibi diğer ortamlara geçmemesine büyük gayret göstermek gerekir.

Sonuç olarak atık çamurların tarımsal alanlarda bilinçsiz bir şekilde kullanılması geri dönüşümü olmayan muhtemel çevre ve sağlık sorunlarını beraberinde getirecektir. Bu nedenle toprak ekosistemini ve canlı sağlığını bozacak unsurlardan birisi olan ağır metaller dikkatle ele alınmalı ve izlenmelidir. Tarımda kullanılacak atık çamurların öncelikle element içerikleri belirlenmeli, en az toksik etki verecek oran dikkate alınmak suretiyle kullanılmalıdır. Çiftçiler bunların kullanımı hususunda yeterince bilinçlendirilmeli ve bilgilendirilmelidir. Bu atık çamurların kullanımı hususunda gerekli yasal düzenlemelerin denetimi yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Friedland, A.J., The Movement of Metals Through Soils and Ecosystems. in: Shaw, A.J. (Ed.), Heavy Metal Tolerance in Plants: Evolutionary Aspects, CRC Press, Boca Raton,1990.

2. Metcalf and Eddy, Inc., Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse, 3rd Edition, Mc Graw Hill Book Co., New York, 1991.

3. Gupta, A. K., Sinha, S., Chemical Fractionation and Heavy Metal Accumulation in The Plant of *Sesamum indicum* (L.) Var. T55 Grown on Soil Amended with Tannery Sludge: Selection of Single Extractants, Chemosphere, 64, 161-173, 2006.

4. Banerjee, M.R., Burton, D.L., Depoe S Impact of Sewage Sludge Application on Soil Biological Characteristics, Agric Ecosyst Environ., 66, 241–249, 1997.

5. Smith, M.T., Cade-Menun, B. J., Soil Phosphorus Dynamics and Phytoavailability From Sewage Sludge at Different Stages in A Treatment Stream, Biol Fretil Soils, 42, 186-197, 2006.

6. Wang, H., Magesan, G.N., Kimberley, M.O., Environmental and Nutritional Responses of A *Pinus radiata* Plantation to Biosolids Application, Plant and Soil, 267, 255-262, 2004.

7. Pascual, I., Antolin, M.C., Garcia, C., Plant Availability of Heavy Metals in A Soil Amended With A High Dose Of Sewage Sludge Under Drought Conditions. Biol. Fertil Soils, 40, 291-299, 2004.

8. Moustakas, M., Lanaras, T., Symeonidis, L., Karataglis, S., Growth and Some Photosynthetic Charecteristics of Field Grown *Avena sativa* Under Copper and Lead Stres, Photosynthetica, 30, 389-396, 1994.

9. Ouzounidou, G., Copper Induced Changes on Growth Metal Content and Photosynthetic Functions of *Alyssum montanum* L. Plant, Env. Exp. Bot., 34, 165-172, 1994.

10. Bai, Z., Harvey, L.M., McNeil, B., Oxidative Stress in Submerged Cultures of Fungi, Crit Rev Biotechnol., 23,267–302, 2003.

11. Phalsson, A.M.B., Toxicity of Heavy Metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to Vascular Plants, Water, Air, Soil Pollut., 47, 287-319, 1989.

12. Walker, D.J., Clements, R., Bernal, M.P., Contrasting Effects of Manure and Compost on Soil Ph Heavy Metal Availability and Growth of *Chenopodium album* L. in A Soil Contaminated by Pyrite Mine Waste. Chemos., 57 ,215–224, 2004.

13. Bilgin, N., Eyüpoğlu. H., Üstün, H., Biyokatıların (Arıtma Çamurlarının) Arazide Kullanımı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü, Ankara 2002.

14. Daigger, T., Lim, H.C., Grady, L., Biological Wastewater Treatment, 1999.

15. Frost H.L., Land Apllication, Biological Decontamination, and Speciation of Metal-Laden Sewage Sludge, The Department of Civil Engineering and Geological Sciences. Notre Dame, Indiana ,2001.

16. Pepper, I.L., Brooks, J.P., Gerba, C.P., Pathogens in Biosolids, Advances in Agronomy, 90, 1-41, 2006.

17. Monni, S., Uhlig, C., Hansen, E., Magel, E., Ecophysiological Responses Of *Empetrum nigrum* to Heavy Metal Pollution, Environ. Pollut.,112, 121-129, 2001.

18. Antosiewicz, D.M., The Relationships Between Constitutional and Inducible Pb-Tolerance and Tolerance to Mineral Deficits in *Biscutella laevigata* and *Silene inflata*, Environ. Exp. Bot.,35 (1), 55–69, 1995.

19. Guo, T.R., Zhang G.R., Physiological Changes in Barley Plants Under Combined Toxicity of Aluminum, Copper and Cadmium, Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 57, 82–188, 2007.

20. Hall, J.L., Cellular Mechanisms for Heavy Metal Detoxification and Tolerance. J. Exp. Bot., 53, 1–11, 2002.

21. Metwally, A., Safronova, V.I., Belimov, A.A., Dietz1, K.J., Genotypic Variation of The Response to Cadmium Toxicity in *Pisum sativum* L.,J. Exp. Bot., 56, 167–178, 2005.

22. Xiong, Z.T., Li, Y.H., Xu, B., Nutrition Influence on Copper Accumulation by *Brassica pekinensis* Rupr., Ecotox. Environ. Safe., 53, 200–205, 2002.

23. Wu, L.H., Li, H., Luo, Y.M., Christie, P., Nutrients Can Enhance Phytoremediation by Indian Mustard, Environ. Geochem. Health, 26, 331–335, 2004.

24. MacFarlane, G.R., Burchett, M.D., Cellular Distribution of Copper, Lead and Zinc in Grey Mangrove, Avicennia Marina Vierh, Aquat. Bot., 68, 45–49, 2000.

25. Brune, A., Dietz, K.J., A Comparative Analysis of Element Composition of Barley Roots and Leaves Under Cadmium-, Molybdenum-, Nickel-, and Zinc-Stress, J. Plant Nutr., 18, 853–868, 1995.

26. Vesilina, A., Spinosa L., Sludge into Biosolids: Prosessing, Disposal and Utulization, 2001.

27. Çevre ve Orman Bakanlığı, Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, http://www.atikyonetimi.cevreorman.gov.tr/evsel/13.doc, Türkiye, 2006.

28. Castorani, A., Spinosa, L., Trosi, S., Preliminary Criteria for The Design of Sewage and Sludge Pumping Systems, Phoenix International, 3/4, 22-29, 1985.

29. Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, T.C. Çevre Bakanlığı. 24609 Sayılı Resmi Gazete, 2001.

30. Triska. Dr. Hamlyn Encyclopaedia of Plants. Hamlyn ISBN 0-600-33545-3 Very Interesting Reading, Giving Some Details of Plant Uses and Quite A Lot Of Folk-Lore, 1975.

31. Lange, W., Brandenburg, W.A., de Bock, T.S.M., Taxonomy and Cultonomy of Beet (Beta vulgaris L.), Botanical Journal of the Linnean Society, 130(1), 81–96, 1999.

32. Gencer, O., Genel Tarla Bitkileri (Endüstri Bitkileri), Çukurova Üniv. Ziraat Fak., Ders Kitabı, No:42, Adana, 1988.

33. Geerdes, T., Ana Besin Maddelerinden Şeker ve Tarihi, Türkiye Şeker Fabrikaları Anonim Şirketi Yayını, No:118, 1966.

34. Kumar, P., Chandra, R., Effect of Distillery Effluent Sludge on Seed Germination And Growth Parameters of Green gram (*Phaseolus mungo* L), Environmental Microbiol., Section Industrial Toxicology Research Centre, LUCKNOW, India, 2005.

35. Eaton, A.D., Clesceri, L.S., Rice, E.W., Greenberg, A.E., Franson, M.A.H., Standard Methods For The Examination of Water And Wastewater, 21st Edition, 2005.

36. Tüziner, A., Kurucu, N., Toprak ve Su Analiz Laboratuarları El Kitabı. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 1990.

37. CEM Corporation Matthews, Operation Manual of Mars, 600122 Rev.1:1, 2004.

38. Yıldız, A., Genç, Ö., Enstrümantal Analiz, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, A-64, Ankara, 1993.

39. Arnon, D., Copper Enzymes Im Isolated Chloroplasts, Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*, Plant Physiol., 24, 1-15, 1949.

40. Knudson, L.L., Tibbitts W.T., Edwards E.G., Measurement of Ozone Injury by Determination of Leaf Chlorophyll Concentration, Plant physiol., 60, 606–608, 1977.

41. Aronoff, S., Photochemical Reduction of Chloroplast Grana, Plant Physiol., 21, 393–409, 1946.

42. Mackınney, G., Absorption of Light by Chlorophyll Solutions, Jour. Biol. Chem., 140, 315-322, 1941.

43. Karaca, A., Effect or Organic Wastes on The Extractability of Cadmium, Copper, Nickel and Zinc in Soil, Geoderma., 122 (2–4), 297–303, 2004.

44. Kahvecioglu, O., Kartal, G., Güven, A., Metallerin Çevresel Etkileri, İTÜ Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 2005.

45. Clemens, S., Toxic Metal Accumulation, Responses to Exposure and Mechanisms of Tolerance in Plants, Biochimie., 88, 1707-1719, 2006.

46. Demirezen, D., Aksoy, A., Accumulation of Heavy Metals in *Typha angustifolia* (L.) and *Potamogeton pectinatus* (L.) Living in Sultan Marsh (Kayseri , Turkey), Chemosphere, 56, 685-696, 2004.

47. Chen, C-M., Liu, M-C., Ecological Risk Assessment on a Cadmium Contaminated Soil Landfill-a Preliminary Evaluation Based on Toxicity Tests on Local Species and Site-Specific Information, Science of The Total Environment, 359, 120-129, 2006.

48. Gardea-Torresdey, J.L., Peralta-videa, J.R., Montes, M., de la Rosa, G., Corral-Diaz, B., Bioaccumulation of Cadmium, Chromium and Copper by *Convolvus arvensis* L.: Impact on Plant Growth and Uptake of Nutrient Elements, Bioresour. Technol., 92, 229–235, 2004.

49. Kawashima, T., Henry, P.R., Ammerman C. B., Littell, R.C., and Price J., Bioavailability of cobalt sources for ruminants. 2. Estimation of the relative value of reagent grade and feed grade cobalt sources from tissue cobalt accumulation and vitamin B12 concentrations, Nutrition Research, 17:957-974,(1997).

50. Palacios M.R., Go´mez, G., Navarro-Pedreno, J., Mataix, J., Distribution and Accumulation of Heavy Metals (Cd, Ni and Cr) in Tomato Plant, Fres. Envir. Bull., 3, 395–399, 1994.

51. Ouzounidou, G., Eleftheriou, E.P., Karataglis, S., Ecophysiological and Ultrastructural Effects of Copper in *Thlaspi ochroleucum*, Can. J. Bot., 70, 947–957, 1992.

52. Berti, W.R., Jacobs, L.W., Heavy Metals in the Environment: Chemistry and Phytotoxicity of Soil Trace Elements From Repeated Sewage Sludge Applications, J. Environ. Qual., 25,1025–1032, 1996.

53. Sanchez, G., Moyano, A., Munez, C., Forms of Cadmium. Lead And Zinc in Polluted Mining Soils and Uptake by Plants (Soria Province, Spain), Commun. Soil Sci. Plant Anal., 30,1385–1402, 1999.

54. Dudka, M., Terelak, H., Transfer of Cadmium, Lead, and Zinc From Industrially Contaminated Soil to Crop Plants, A Field Study.Environmental Pollution, 94, 181-188, 1996.

55. Kadıoğlu, A., Bitki Fizyolojisi, 2. baskı, Trabzon, 1999.

56. Madrid, F., Liphadzi, M.S., Kirkham, M.B., Heavy Metal Displacement in Chelate-Irrigated Soil During Phytoremediation, Journal of Hydrology, 272, 107-119, 2003.

57. Manios, T., Stentiford, E., The Effect of Heavy Metals Accumulation on The Chlorophyll Concentration of *Typha Latifolia* Plants , Growing in a Subsrate Containing Sewage Sludge Compost and Watered With Metaliferus Water, Ecological Engineering, 20, 65-74, 2003.

58. Barcelo, J., Cabot, C., Poschenrieder, C., Cadmium Induced Decrease of Water Stress Resistance in Bush Bean Plants (*Phaseolus vulgaris* L. Cv Contender), II Effects Of Cd on Endogenous Abscisic Acid Levels, J. Plant Physiol., 125, 27-34, 1986.

59. Stobart, A.K., Griffiths, W. T., Amcen-bukhari, I., Sherwood, R.P., The Effect of Cd^{+2} on the Biosynthesis of Chlorophyll in Leaves of Barley, Physiol. Plant., 63, 293-298, 1985.

60. Sandmann, G., Böger, O., Copper-Mediated Lipid Peroxidation Processes in Photosynthetic Memranes, Plant Physiol., 66, 797-800, 1980.

EKLER



Ek-1. KAAT'ın üstten görünümü 1.



Ek-2. KAAT'ın üstten görünümü 2.



Ek-3. Arıtma çamurunun kek sahasındaki görünümü.



Ek-4. Bitki yetiştirme ortamından bir görünüm.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Ayşegül EKŞİ
Baba Adı: Mehmet
Ana Adı: Nazmiye
Doğum Yeri: Kayseri
Doğum Tarihi: 21.04.1981

1981 yılında Kayseri' de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kayseri'de tamamladıktan sonra 1999 yılında Erciyes Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü' ne girdi ve 2003 yılında buradan mezun oldu. Aynı yıl Kayseri Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi (KASKİ) Atıksu Arıtma Tesisi Laboratuarı'nda biyolog olarak göreve başladı. 2004 yılında Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı'na yüksek lisans öğrencisi olarak kaydoldu. Halen bu anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.

19 Mayıs Mah. Gökyüzü Siteleri
No:19/41 Belsin Melikgazi/KAYSERİ
Tel: 0352 697 42 67
e-posta: ayseguleksi81@hotmail.com