İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KARA LAHANA (*Brassica oleracea* var. *acephala*) VE PAZI (*Beta vulgaris* var. *cicla*) 'DA KURŞUN VE ÇİNKO STRESİNİN ARAŞTIRILMASI

Nalan ŞAFAK

Biyoloji Anabilim Dalı

Botanik Programı

Danışman

Y. Doç. Dr. Ergül ÇETİN

ARALIK, 2011

İSTANBUL

Bu çalışma 23/12/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Biyoloji Anabilim Dalı Botanik programındaYüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Danışman Adı
Yard.Doç.Dr.Ergül ÇETİN

İstanbul Üniversitesi

Jüri
Prof.Dr.Muammer ÜNAL

İstanbul Üniversitesi

Jüri Adı
Prof.Dr.Meral ÜNAL

Marmara Üniversitesi

Jüri Adı
Doç.Dr.Gülriz BAYÇU

İstanbul Üniversitesi

Jüri Adı
Doç.Dr.Tamer ÖZCAN

İstanbul Üniversitesi

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 14655 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı değerli hocam Y.Doç.Dr. Ergül ÇETİN' e en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Tezim süresince bilimsel bilgi birikimini bizlerle paylaşan İÜ. Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Öğretim Üyelerinden Doç.Dr.Gülriz BAYÇU ve Araş.Gör.Dr.Hakan ÖZDEN' e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca yüksek lisans arkadaşım Selda YAZILAN' a, çalışmamın uygulama kısmını destekleyen İstanbul Üniversitesi BAP birimine, Atomik Absorpsiyon ölçümlerinde yardım eden İÜ. Deniz Bilimleri Enstitüsü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Nuray BALKIS' a, Deiyonize su sağlamamıza yardımlarını esirgemeyen İÜ. Eczacılık Fakültesi Öğretim Üyesi Prof.Dr.Serap SAĞLIK' a teşekkür ederim.

Gerek tez çalışmalarım ve gerekse tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ..... **I**

ŞEKİL LİSTESİ ..... **IV**

TABLO LİSTESİ ..... **VI**

SEMBOL LİSTESİ ..... **VII**

ÖZET ..... **IX**

SUMMARY ..... **IX**
I

1.GİRİŞ **1**

2. GENEL BİLGİLER **4**

2.1. KURŞUN VE BİYOLOJİK ÖNEMİ **4**

2.2. ÇİNKO VE BİYOLOJİK ÖNEMİ **5**

2.3. BİTKİLERİN AĞIR METALLERE KARŞI GELİŞTİRDİKLERİ TOLERANS MEKANİZMALARI **6**

2.4. BİTKİLERDE AĞIR METAL STRESİ **6**

2.5. YEŞİL ISLAH (FİTOREMEDİASYON) **7**

3. MALZEME VE YÖNTEM **10**

3.1. BİTKİ METARYALİ **10**

3.1.1. KARALAHANA (*Brassica olerace* L. var. *acephala*) **10**

3.1.2. PAZI (*Beta vulgaris* L. var. *cicla*) **12**

3.2. BİTKİLERİN ÇİMLENME VE YETİŞTİRİLME KOŞULLARI **13**

3.3. KLOROFİL TAYİNİ **17**

3.4. ATOMİK ABSORPSİYON SPEKTROFOTOMETRESİ (AAS) İLE AĞIR METAL ÖLÇÜMLERİ **17**

3.4.1. ASS ve Çalışma Şekli **18**

4. BULGULAR **19**

4.1.*BRASSICA OLERACE* VAR. *ACEPHALA VE BETA VULGARIS* VAR. *CICLA* BİTKİLERİNİN GELİŞİMİ SÜRESİNDE MEYDANA GELEN DEĞİŞİKLİKLER.. **19**

4.2. Pb ve Zn UYGULANAN *BRASSICA OLERACE* VAR. *ACEPHALA* ve *BETA VULGARIS* VAR. *CICLA* BİTKİLERİNİNDE GÖZLEMLENEN MORFOLOJİK DEĞİŞİKLİKLER **21**

4.3. BİTKİ ORGANLARINDA PB VE ZN BİRİKİMLERİ (µg /g KA) **27**

4.3.1. *Brassica olerace* var. *acephala*'nın vejetatif organlarında 50 ppm Zn Uygulaması: 27

4.3.2. *Brassica olerace* var. *acephala*'nın vejetatif organlarında 200 ppm Zn Uygulaması: 28

4.3.3. *Brassica olerace* var. *acephala*'nın vejetatif organlarında 100 ppm Pb Uygulaması: 29

4.3.4. *Brassica olerace* var. *acephala'*nın vejetatif organlarında 400 ppm Pb Uygulaması: 30

4.3.5. *Beta vulgaris* var. *cicla'* nın vejetatif organlarında 50 ppm Zn Uygulaması: . 31

4.3.6. *Beta vulgaris var. cicla*'nın vejetatif organlarında 200 ppm Zn Uygulaması: 32

4.3.7. *Beta vulgaris var. cicla*'nın vejetatif organlarında 100 ppm Pb Uygulaması:. 33

4.3.8. *Beta vulgaris* var. *cicla*'nın vejetatif organlarında 400 ppm Pb uygulaması:. 34

4.4. Pb VE Zn UYGULANAN BİTKİLERİNİN YAPRAKLARINDA KLOROFİL MİKTARI: 35

4.4.1. .*Brassica olerace* var. *acephala*'nın yapraklarında klorofil miktarı: 35

4.4.2. *Beta vulgaris* var. *cicla*' nın yapraklarında klorofil miktarı: 36

4.5. Pb ve Zn UYGULANAN BİTKİLERİN VEJETATİF ORGANLARINDA TAZE VE KURU AĞIRLIK 37

4.5.1. Pb ve Zn uygulanan *Brassica olerace* var. *acephala*' nın vejetatif organlarında taze ağırlık: 37

4.5.2. Pb ve Zn uygulanan *Brassica olerace* var. *acephala* 'nın vejetatif organlarında kuru ağırlık: 40

4.5.3. Pb ve Zn uygulanan *Beta vulgaris var. cicla* 'nın vejetatif organlarında taze ağırlık: 43

4.5.4.Pb ve Zn uygulanan *Beta vulgaris var. cicla* 'nın vejetatif organlarında kuru ağırlık: 45

5. TARTIŞMA VE SONUÇ 47

6. KAYNAKLAR 57

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 : Çimlenen *Brassica oleracea* var.*acephala* tohumları (3günlük).....14

Şekil 3.2 :Çimlenen *Beta vulgaris* var.*cicla* tohumları (3günlük).....14

Şekil 4.1 : Perlit (%50) +kum (%50) karışımında yetiştirilen 20 günlük *Brassica olerace* var. *acephala*.....19

Şekil 4.2 :Perlit (%50) +kum (%50) karışımında yetiştirilen 20 günlük *Beta vulgaris* var. *cicla*.....19

Şekil 4.3 : Perlit (%50) +kum (%50) karışımında yetiştirilen 2 aylık *Brassica olerace* var. *acephala* 20

Şekil 4.4 : Perlit (%50) +kum (%50) karışımında yetiştirilen 2aylık *Beta vulgaris* var. *cicla*.....20

Şekil 4.5 : *Brassica oleracea* var. *acephala* kontrol bitkisi.....21

Şekil 4.6 : 10 gün süreyle 50 ppm Zn uygulanan *Brassica oleracea* var. *acephala* bitkisi.....21

Şekil 4.7 : 10 gün süreyle 200 ppm Zn uygulanan *Brassica oleracea* var. *acephala* bitkisi.....22

Şekil 4.8 : 10 gün süreyle 100 ppm Pb uygulanan *Brassica oleracea* var. *acephala* bitkisi.....23

Şekil 4.9 : 10 gün süreyle 400 ppm Pb uygulanan *Brassica oleracea* var. *acephala* bitkisi.....23

Şekil 4.10 :*Beta vulgaris* var. *cicla* kontrol bitkisi.....24

Şekil 4.11 :10 gün süreyle 50 ppm Zn uygulanmış *Beta vulgaris* var.*cicla* bitkisi.....24

Şekil 4.12 :10 gün süreyle 200 ppm Zn uygulanmış *Beta vulgaris* var. *cicla* bitkisi.....25

Şekil 4.13 : 10 gün süreyle 100 ppm Pb uygulan *Beta vulgaris* var. *cicla* bitkisi.....26

Şekil 4.14 : 10 gün süreyle 400 ppm Pb uygulan *Beta vulgaris* var. *cicla* bitkisi.....26

Şekil 4.15 : 50 ppm uygulanan*Brassica olerace* var. *acephala* bitkisinin vejetatif organlarında Zn birikimi (µg/g KA).....27

Şekil 4.16 : 200 ppm Zn uygulanan *Brassica olerace* var. *acephala* bitkisinin vejetatif organlarında Zn birikimi (µg/g KA) 28

Şekil 4.17 : 100 ppm Pb uygulanan *Brassica olerace* var.*acephala* bitkisinin vejetatif organlarında Pb birikimi (µg/g KA).....29

Şekil 4.18 : 400 ppm Pb uygulanan *Brassica olerace* var. *acephala* bitkisinin vejetatif organlarında Pb birikimi (µg/g KA) 30

Şekil 4.19 : 50 µM Zn uygulanan *Beta vulgaris* var. *cicla* bitkinin vejetatif organlarında Zn birikimi (µg/g KA).....31

Şekil 4.20 : 200 ppm Zn uygulanan *Beta vulgaris* var. *cicla* bitkisinin vejetatif organlarında Zn birikimi (µg/g KA).....32

Şekil 4.21 : 100 ppm Pb uygulanan *Beta vulgaris* var. *cicla* bitkisinin vejetatif organlarında Pb birikimi (µg/g KA).....33

Şekil 4.22 : 400 ppm Pb uygulanan *Beta vulgaris* var. *cicla* bitkisininvejetatif organlarında Pb birikimi (µg/g KA).....34

Şekil 4.23 : *Brassica oleracea* var. *acephala* bitkisinin yapraklarında klorofil miktarı (mg/g TA) 35

Şekil 4.24 : *Beta vulgaris* var. *cicla* bitkisinin yapraklarında klorofil miktarı (mg/g TA).....36

Şekil 4.25 : *Brassica olerace* var. *acephala* yapraklarının taze ağırlığı (g).....37

Şekil 4.26 : *Brassica olerace* var. *acephala* gövdelerinin taze ağırlığı (g).....38

Şekil 4.27 : *Brassica olerace* var.*acephala* köklerinin taze ağırlığı (g).....39

Şekil 4.28 : *Brassica olerace* var.*acephala* yapraklarının kuru ağırlığı (g).....40

Şekil 4.29 : *Brassica olerace* var.*acephala* gövdelerinin kuru ağırlığı (g).....41

Şekil 4.30 : *Brassica olerace* var.*acephala* köklerinin kuru ağırlığı (g).....42

Şekil 4.31 : *Beta vulgaris* var. *cicla* yapraklarının taze ağırlığı (g).....43

Şekil 4.32 : *Beta vulgaris* var.*cicla* köklerinin taze ağırlığı (g).....44

Şekil 4.33 : *Beta vulgaris* var.*cicla* yapraklarının kuru ağırlığı (g).....45

Şekil 4.34 : *Beta vulgaris* var. *cicla* köklerinin kuru ağırlığı (g).....46

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.5 : Ekosisteme dahil olan toksik ağır metallerin kaynakları…..…....8

Tablo 3.1 : Ingestad besiçözeltisi…….....….15

SEMBOL LİSTESİ

Pb : Kurşun

Zn : Çinko

Mg : Magnezyum

Se : Selenyum

Co : Kobalt

Cr : Krom

Mn : Mangan

Ni : Nikel

Hg : Civa

Fe : Demir

Sb : Antimon

Sr : Stronsiyum

Ti : Titanyum

K : Potasyum

Mo : Molybdenum

Al : Alüminyum

PbS : Kurşun sülfür

PbO : Kurşun oksit

KA : Kuru ağırlık

CO_2 : Karbondioksit

TA :Taze ağırlık

$PbSO_4$: Kurşun sülfat

$ZnSO_4$: Çinko sülfat

ATP : Adenin tri fosfat

$ZnSO_4$: Çinko sülfat

AAS : Atomik absorbsiyon Spektrofotometresi

EPA : Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)

ÖZET

KARA LAHANA (*Brassica oleracea* var. *acephala)* VE PAZI (*Beta vulgaris* var. *cicla)* 'DA KURŞUN VE ÇİNKO STRESİNİN ARAŞTIRILMASI

Bu çalışmada kurşun (Pb) ve çinko (Zn) stresinin *Brassica oleracea* var. *acephala* ve *Beta vulgaris* var. *cicla* üzerine etkileri araştırılmış, ve bitkilerdeki bu metallerin dağılımı ve birikimi incelenmiştir.

Tohumlar çimlendirilerek Ingestad besi çözeltisi ile yetiştirilmiştir. Daha sonra, bitkilere 50 ve 200 ppm Zn ile 100 ve 400 ppm Pb uygulanmıştır. Ağır metal uygulaması sonucunda bitkide meydana gelen morfolojik değişiklikler fotoğraflandırılıp kayıt altına alınmıştır.

Bitkilerin yapraklarından ekstreler alınarak spektrofotometrik yöntemlerle klorofil içeriği saptanmıştır. Ayrıca bitkilerin yaprak, gövde ve köklerinden atomik absorpsiyon spektrometresiyle Zn ve Pb miktarları belirlenmiştir.

Sonuç olarak; Pb ağır metal uygulanan bitkilerin farklı organlarında aşırı miktarda birikim görülmemiştir. Diğer taraftan Zn ağır metal uygulanan bitkilerin köklerinde aşırı miktarda birikim görülmüştür. Uygulanan ağır metal türü ve konsantrasyonuna bağlı olarak, *Brassica oleracea* var. *acephala* ve *Beta vulgaris* var. *cicla* yapraklarında kloroz oluşmuştur. Buna ilaveten, her iki bitkinin taze ve kuru ağırlıkları ile klorofil miktarlarında azalmalar görülmüştür. Bu araştırmaya göre bu bitkilerin fazla miktarda Zn biriktirdiğinden dolayı Zn bakımından zengin topraklarda yetiştirilebileceği kanısına varılmıştır.

SUMMARY

INVESTIGATION OF LEAD AND ZINC STRESS iN COLLARDS (*Brassica olerace* var. *acephala*) AND CHARD (*Beta vulgaris* var. *cicla*)

In this study, the effects of lead (Pb) and zinc (Zn) stress on *Brassica oleracea* var. *acephala* and *Beta vulgaris* var. *cicla* were investigated, and the distribution and accumulation of these metals were examined in plants.

The seeds were germinated and grown with Ingested nutrient solution. Afterwards, the plants were treated with 50 and 200 ppm Zn and 100and 400 ppm Pb. The morphological changes which were seen on the plants after using heavy metals were photographed and registered.

By taking extracts from the leaves of the plants, their chlorophyll contents were determined with spectrophotometric methods. Furthermore, the amounts of Zn and Pb in plants were determined by using atomic absorption spectrometer on their leaves, stems and roots.

In conclusion, excessive amounts of accumulation was not observed in the different organes of Pb heavy metal treated plants. On the other hand, excessive amounts of accumulation was observed in the roots of Zn heavy metal treated plants. Depending on the heavy metal type and concentration, the chlorosis was observed in the leaves of *Brassica oleracea* var. *acephala* and *Beta vulgaris* var. *cicla*. In addition, reductions were observed on fresh and dry weights, and chlorophyll contents of both plants. According to the research it was concluded that these plants can be grown in soils which are rich in terms of zinc as they accumulated large amounts of Zn.

1.GİRİŞ

Toprakta ağır metal kirliliği önemli çevresel problemlerden birisidir. Ağır metallerin toprakta birikmesinin sadece toprak verimliliğini ve ekosistem fonksiyonları üzerinde değil aynı zamanda besin zinciri yoluyla hayvan ve insan sağlığı üzerinde de önemli etkileri vardır. Bitki bünyesine ulaşan ağır metaller bitkilerin fizyolojik aktivitelerini engellemekte, verimliliklerini azaltmakta ve ölümlerine neden olmakta dolayısıyla ürün kalite ve miktarının azalmasına yol açmaktadır (Öktüren ve Sönmez, 2006).

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 (Friedland, 1990). Artan kirlilik bütün canlıları tehdit eder duruma gelmiştir. Bu tehdit primer üretici konumunda olan bitkiler üzerinde çok daha fazladır.

Yoğunluğu 5 g/cm^3 ten daha yoğun olan metallere ağır metal denir. 60'dan fazla element ağır metal olarak kabul edilse de bakır (Cu), demir (Fe), çinko (Zn), kurşun (Pb), civa (Hg), kobalt (Co), mangan (Mn), krom (Cr), selenyum (Se), nikel (Ni) ve kadmiyum (Cd) en sık rastlanan ve en çok tanınan ağır metallerdir (Azevedo ve Lea, 2005).

Elementlerin bir kısmı enzim, vitamin ve hormonların bileşenlerinde bulunur. Yanı sıra emilme, sindirim ve metabolizmada görev alırlar ve belirli vücut yapılarında tamamlayıcı olarak rol oynarlar. Doğada bulunan Cd, Cr, Hg ve Pb gibi ağır metaller canlılar için mutlak gerekli olmayıp eser miktarları bile toksik etki gösterirken, Cu, Cr, Fe, Mn, Mo, Zn ve Ni gibi ağır metaller canlılar için belli bir doza kadar gereklidir, bu elementler "iz" veya "eser" element olarak adlandırılır (Somers, 1974).

Bazı ağır metaller önemli olmasına rağmen bitkilerde fotosentez, transpirasyon, enzim aktivitesi, klorofil biyosentezi, çimlenme gibi olayları olumsuz yönde etkileyerek fitotoksik sorunlar ortaya çıkarırlar (Phalsson, 1989).

Ağır metaller bitkide klorofil içeriğini düşürür, bitki gelişimini ve solunumu inhibe eder, hücre organellerinin yapısını değiştirir, çeşitli metabolik yollardaki anahtar enzimlerin aktivite ve miktarını değiştirir, böylece metabolizmada bozukluk meydana getirirler (Guo ve Zhang , 2007).

Yüksek konsantrasyonda 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) (MacFarlane ve Burchett, 2000). 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 arttırma,

5) Hücre yapısı bozulduğunda tamirin gerçekleşmesini ve metabolik yolların yeterince fonksiyonel olmasını sağlamak için metabolizmanın modifikasyonu ve aktivasyonunu gerçekleştirme (Hall, 2002; Brune ve Dietz, 1995).

Ağır metallerin çevreyi kirleten unsurların başında gelmesi ve bu kirliliğin tehlikeli boyutlara ulaşması; çalışmaları bu yöne kaydırmış ve çok sayıda araştırmaya konu olmuştur. Yüksek bitkiler insanların beslenmesinde temel kaynaktır. Bundan dolayı

sebze ve meyve gibi besleyici bitkilerin ağır metal içeriği, insan sağlığıyla yakından ilişkilidir.

Dünya ve Türkiye' de sıklıkla tarımı yapılan ve besin olarak da tüketilen karalahana ve pazı bitkisine uygulanan kurşun ve çinko ağır metallerinin bitkideki biriken miktarlarını ve yol açtığı morfolojik ve biyokimyasal değişikliklerinin tespit edilmesi önem taşımaktadır.

Bu çalışmada deney bitkileri olarak karalahana (*Brassica olerace* L. var. *acephala*) ve pazı (*Beta vulgaris* L. var. *cicla)* kullanılmıştır. Uygulanan her iki metalin her iki bitkiye etkisiyle bu iki bitki arasında ne gibi benzerlik ve farklılıkların oluşacağını, bu bitkilerin seçilen ağır metallere karşı tolerans sınırlarını ve ağır metalleri ne miktarlarda bünyelerinde biriktireceğini, ağır metallere karşı dayanıklılığını belirlemek amaçlanmıştır. Ayrıca bu bitkilerin fitoremediasyon açısından kullanıp kullanılamayacağı saptanmak istenmiştir.

Bu araştırmada Zn ve Pb ağır metalleri uygulandıktan sonra bitkilerin morfolojik değişiklikleri, klorofil miktarı, taze ve kuru ağırlığı, kurşun ve çinko birikimi saptanmıştır. Kurşun ve çinkonun karalahana ve pazı üzerine etkileri ortaya konmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. KURŞUN VE BİYOLOJİK ÖNEMİ

Kurşun bütün dünyada doğal kaynaklar içinde çeşitli formlar halinde bulunan ve günümüzde en geniş çaplı ve düzenli olarak açığa çıkan ağır metallerden biridir (Nriagu, 1992). Pek çok çalışma göstermektedir ki önemli miktarda kurşun genellikle toprakta bulunmaktadır. Motorlu taşıtların egzoz gazları, maden ocakları, metal işleyen tesisler, endüstriyel faaliyetler, kurşun ile kirlenmiş atık sular, sanayi atıkları ve tarımda gübreleme gibi pek çok etmen toprak ve bitkilerin maruz kaldığı kurşun kirlenmesinin başlıca sebepleridir (Kabata-Pendias, ve Pendias, 1984).

Topraklarda oluşan kurşun kirlenmesinde en büyük etkenlerden birisi, benzinin yanması sonucu, atmosferde oluşmuş Pb nedeniyledir. Bu atmosfer oluşumlu kaynağın önemi, büyük karayolları ile bölünen arazilerdeki bitki ve topraklarda kurşunun önemli konsantrasyonlarda bulunması ile doğrulanmaktadır (Haktanır ve Arcak, 1998).

Kurşun elementi, hücre turgoru ve hücre duvarı stabilitesini olumsuz etkilemesi, stoma hareketlerini ve yaprak alanını azaltması nedeniyle bitki su rejimini etkilemektedir. Aynı zamanda kökler tarafından tutulması ve kök gelişimini azaltması nedeniyle bitkilerin katyon ve anyon alımını azaltmakta dolayısıyla besin alımını etkilemektedir (Sharma ve Dubey, 2005).

Bitkilerde aşırı kurşun alınımı çeşitli fizyolojik mekanizmalarla engellenmektedir , fakat yinede bitkiler topraktan belirli miktarlarda kurşunu almakta ve çeşitli dokularında depolayabilmektedirler (Sawidis ve diğ., 1995).

2.2. ÇİNKO VE BİYOLOJİK ÖNEMİ

Çinko endüstride metal kaplama ve alaşımlarda kullanılan önemli bir elementtir. Ayrıca; mürekkep, kopya kâğıtları, kozmetik, boya, lastik, muşamba, maden sanayi gibi pek çok sanayide kullanılır. Çinko, yoğun endüstri alanlarından bırakılan atık sularla, kanalizasyon sularıyla ve asit yağmurları aracılığıyla toprağa ulaşmaktadır (Vaillant ve diğ., 2005).

Diğer taraftan, çinko 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 karbohidrat, yağ, protein, nükleik asit sentezi ya da degradasyon gibi çeşitli metabolik prosesler için gereklidir (Dudka ve Terelak, 1996).

Mikro element olarak besi suyunda bulunan çinko, bitki gelişiminde çok küçük miktarlarda da olsa gereklidir. Çinko bitkilerde çeşitli enzimatik süreçlerde görevlidir. Örnegin klorofil sentezi, nişasta oluşumu, protein sentezi ve büyüme olaylarında kullanılır. Bazı bitkilerde tohum gelişimi ve olgunlaşmasında etkili olduğu ortaya çıkmıstır. Çinkonun fazla oranda bulunması belirgin toksik etkilere neden olmaktadır. Besi çözeltisinde ortalama 0,5 ppm değerinde olması gerekirken, 1 ppm ve üzeri bitkiler için toksik düzeydir. Yüksek dozlardaki çinkonun klorofil sentezini etkilemesinin nedeni olarak yeterli demir bulunması halinde bile bitkinin bundan yararlanmasını engellemesi ve klorofilin merkezinde bulunan magnezyumun yerine geçmesi gösterilmektedir (Van Assche ve Clijsters, 1990).

Çinko toksisitesinde bitkilerin kök ve sürgün büyümesi azalır, kökler incelir, genç yapraklar kıvrılır ve kloroz görülür, hücre büyümesi ve uzaması engellenir, hücre organelleri parçalanır ve klorofil sentezi azalır (Rout ve Das, 2003).

2.3. BİTKİLERİN AĞIR METALLERE KARŞI GELİŞTİRDİKLERİ TOLERANS MEKANİZMALARI

Bitkilerde ağır metallere tolerans, bir genotip ve çevresi arasındaki etkileşim ile belirlenen ağır metal alınımındaki azalma veya içsel alıkoyma ile ilişkilidir. Ağır metallerin detoksifikasyonunda potansiyel mekanizmalara sahip olan bazı bitkiler ağır metallere toleranslı olarak ifade edilmektedir (Hall, 2002). Ağır metallere karşı bitkiler tarafından geliştirilen korunma mekanizmaları familya, cins, tür, alttür ve çeşit seviyesinde farklılıklar gösterebilmektedir (Ekmekçi, 2008).

Ağır metalleri akümüle edebilen bitkilerin tolerans mekanizmaları; 1)Hücre duvarlarına metal bağlanması, 2) Hücre membranlarına doğru taşınımın azalması, ağır metallerin bitki köklerinde tutulup, gövde ve sürgünlere taşınmasının engellenmesi ile taşınma azaltılmaktadır, 3) Vakuollerde depolama, 4) Şelatlama olarak sıralanabilir (Aksu ve Yıldız, 2004).

2.4. BİTKİLERDE AĞIR METAL STRESİ

Bitkiler normal gelişimlerini optimum koşullarda geliştirirler. Bir çevrede devamlı olarak veya arada sırada meydana gelen çok sayıdaki olumsuz fakat hemen öldürücü olmayan koşullar stres olarak adlandırılır. Bir başka yaklaşımsa bitkide metobolizmayı, büyümeyi ve gelişmeyi etkileyen ya da engelleyen, uygun olmayan herhangi bir durum veya madde stres olarak kabul edilir (Lichtenthaler, 1998).

Yüksek ışıma, yüksek ve düşük sıcaklıklar, ani donma, su kıtlığı ve mineral eksikliği doğal stres faktörlerini oluştururken; hava kirleticileri, aşırı azot verilmesi, foto oksidantlar, reaktif oksijen türleri ve ağır metaller insan kaynaklı stres faktörlerini oluşturmaktadır (Koç ve Üstün, 2008).

2.5. YEŞİL ISLAH (FİTOREMEDİASYON)

Ağır metaller birçok kaynaktan ekosisteme dahil olmaktadırlar (Tablo II.5.). Akut toksik etkileri nedeniyle, hem ucuz hem de uygun metotlarla çevreden uzaklaştırılmaları veya daha az toksik formlara dönüştürülmeleri gerekmektir. Fitoremediasyon (temizleme), özel olarak belli metalleri bağlayan ve biriktiren bitkilerin çevresel temizlik için kullanılması olarak tanımlanmaktadır (Terry ve diğ., 2003; Salt ve diğ., 1996).

Fitoremediasyon terimini kelime anlamı olarak incelediğimizde, bitki anlamındaki "fito" ile ıslah anlamındaki "remediasyon" kelimelerinden türetilmiş olup, 1991' de terminolojiye girmiştir (EPA, 2000).

Fitoremediasyon ile organik ve inorganik maddeler ki özellikle son yıllarda gelişen sanayileşmeden dolayı çevreye verilen ağır metallerin neden olduğu kirlilik, bitkiler tarafından kirlenmiş olan alandan bertaraf edilebilmektedir (Henry, 2000).

A- ENDÜSTRİ
Plastikler (Co, Cr, Cd, Hg)
Ev aletleri yapım sanayi (Cu, Ni, Cd, Zn, Sb)
Tekstil (Zn, Al, Ti, Sn)
Ağaç işlemeciliği (Cu, Cr, As)
Rafineri (Pb, Ni, Cr)
B- HAVADAKİ PARTİKÜL VE DUMANLAR
Fosil yakıtlar (As, Pb, Sb, Se, U, V, Zn, Cd)
Metal işlemeciliği (As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Ti, Zn)
Şehir, fabrika vs. (Cd, Cu, Pb, Sn, Hg, V)
Taşıtlar (Pb, V, Cd)
C- TARIM
Sulama (Cd, Pb, Zn)
Gübreleme (As, Cd, Mn, U, V, Zn)
Pestisit uygulaması (Cu, Mn, Zn)
Hayvansal gübreler (As, Cu, Mn, Zn)
Kireçler (As, Pb)
Metal aşınması (Fe, Pb, Zn)
D- METAL İŞLETMECİLİĞİ VE ERİTMEDEN GELEN ATIKLAR
Maden işlemlerinden rüzgarla çevreye yayılanlar (Cd, Hg, Pb, As)
Metallerin eritilmesinden (As, Cd, Hg, Pb, Se)
Demir ve çelik endüstrisinden (Zn, Cu, Ni, Cr, Cd)
Metal işlemciliğinden (Zn, Cu, Ni, Cr, Cd)
E- ATIKLAR
Lağım (Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, V, Zn)
Kazma ve delme (As, Cd, Fe, Pb)
Küller (Cu, Pb)

Tablo 2.5. Ekosisteme dahil olan toksik ağır metallerin kaynakları (Markert, 1993).

Bitkiler tarafından alınan bir kısım metaller, bitki bünyesindeki enzimler aracılığıyla bozunmakta ve kimyasal formları değişikliğe uğramaktadır. Çoğu metaller ise herhangi bir bozunmaya uğramadan bitkinin yaprak ve saplarında birikerek, bitkinin hasadıyla ortamdan uzaklaşmaktadırlar (Vanlı ve Yazgan, 2001; Bayçu, 2003).

Kirlilik etmeni, bulunduğu yerde veya başka bir ortama taşınarak bertaraf edilebilir. Bu teknolojinin en önemli olumsuz yönü ise ağır düzeylerde kirlenmiş alanlarda bitkilerin kısa sürede etkinliğini gösterememesidir. Bu nedenle ancak düşük düzeylerde kirlenmiş alanlarda kullanılır. Sistemin etkinliği, kök derinlikleri ve iklim koşulları ile sınırlıdır. Doğal olmayan bitkilerin bu amaçla kullanılması biyolojik çeşitliliği olumsuz yönde etkileyebilir (EPA, 2000; Henry, 2000; Bayçu, 2003).

Fitoremediasyon ile yapılacak çalışmalarda kullanılacak en uygun bitkiler, ortamdaki yüksek ağır metal konsantrasyonlarında yaşayabilen, güçlü ve zengin bir kök sistemine sahip olan, hasat edilebilen kısımlarında yüksek düzeyde metal toplayabilen, hızlı bir büyüme yeteneği ve arazide çok miktarda biyokütle üretebilme potansiyeline sahip olan bitkilerdir (Reevers ve Baker, 1999; Bayçu, 2003).

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. BİTKİ METARYALİ

3.1.1. KARALAHANA (*Brassica olerace* L. var. *acephala*)

Alem: Plantae (Bitkiler)

Bölüm: Magnoliophyta (Kapalı tohumlular)

Sınıf: Magnoliopsida (İki çenekliler)

Takım: Brassicales

Familya: Brassicaceae (Turpgiller)

Cins: *Brassica*

Tür: *oleracea*

Kültür Grubu

Brassica oleracea L. var. *acephala*

Nemli bölgelerde yetişen bu soğuk iklim bitkisi Akdeniz bölgesinde 2000 yıl öncesine kadar uzanan kültüre sahiptir. Günümüzde dünyanın pek çok yerinde yaygın olarak yetiştirilmektedir. Yılın her döneminde bulunabilen lahana (*Brassica oleracea*), özellikle bahar ve yağışlı dönemlerde daha bol bulunmaktadır (Boriss ve diğ., 2006).

Lahana ülkemizde hemen her bölgede geniş alanlarda yetiştirilmektedir. Toprak yapısı bakımından seçici olmayan lahananın yetiştiriciliğini iklim faktörleri sınırlar. Gelişme dönemi boyunca süren düşük nem ve yüksek sıcaklıklar lahanalarda kalite kayıplarına neden olur. Dünyada yaygın olarak çok farklı tipte lahanalar yetiştirilmesine rağmen ülkemizde sınırlı sayıda lahana türleri yetiştirilmekte ve tüketilmektedir.(Yağmur ve diğ., 2003).

Çeşitli türleri bulunan lahana sebzesi, besinsel değeri yüksek olan Ca, Mg, P, K, ve Fe gibi elementleri içerdiği için çokça tüketilir (Farnham ve diğ., 2000). Özellikle karalahananın besin elementi içeriği açısından iyi bir kaynak olduğu ortaya çıkarılmıştır. Hatta karalahanadan Ca alınımının sütten daha fazla olduğu belirtilmiştir (Heaney ve Weaver, 1990).

Lahanalar oldukça derine giden kazık köklerin dışında bol miktarda saçak kök meydana getirirler. Kazık kök etli, kalın ve koniktir. Doğrudan tohum ekimi ile yapılan yetiştiricilikte tek bir kazık kök buna bağlı saçak kökler oluşur. Saçak kökler üzerinde bol miktarda kılcal kökler bulunur. Lahanalarda toprakla temas halinde bulunan gövde kısmından nadiren saçak kökler meydana gelebilir (Gürhan, 1995a).

Lahanalarda gövdenin uzunluğu ve kalınlığı çeşitlere göre değişir. Yaprak ve baş lahanalarda kalın ve kısa bir gövde bulunmaktadır. Lahananın yaprakları gövdeye kısa ve uzun saplarla bağlanırlar. İlk oluşan yapraklar döküldüklerinde gövde üzerinde iz bırakırlar. Lahanalarda önceleri otsu yapıda olan gövde daha sonra öz kısmı yumuşak, dış kısmı selülozik yapıda sert ve dayanıklı bir dokuya dönüşmektedir. Lahanalarda gövde kalınlığı ortalama olarak 5-10 cm, gövde uzunluğu ise 30-50 cm arasında değişmektedir. Lahana yaprakları şekil, renk, büyüklük, etlilik, düz veya kıvırcık oluşları bakımından çeşitlere göre farklılıklar gösterir (Gürhan, 1995a)

3.1.2. PAZI (*Beta vulgaris* L. var. *cicla*)

Alem: Plantae

Şube: Magnoliophyta

Sınıf: Magnoliopsida

Alt sınıf: Caryophyllidae

Takım: Caryophyllales

Familya: Chenopodiaceae

Cins: *Beta*

Tür: *vulgaris*

Alt tür: var. *cicla*

Binominal adı

(Syn: *Beta vulgaris* subsp. *cicla* (L.) W.D.J. Koch

Pazı (*Beta vulgaris* var. *cicla*), yaprakları büyük olan bir sebze bitkisidir. Pancarın yakın akrabası olan çeşidine göre yaprak, sap veya her ikisi birden yenen iki senelik bir bitkidir. Sindirimi kolay ve bol vitaminli olduğundan besleyicidir (Anonim 1, 2011).

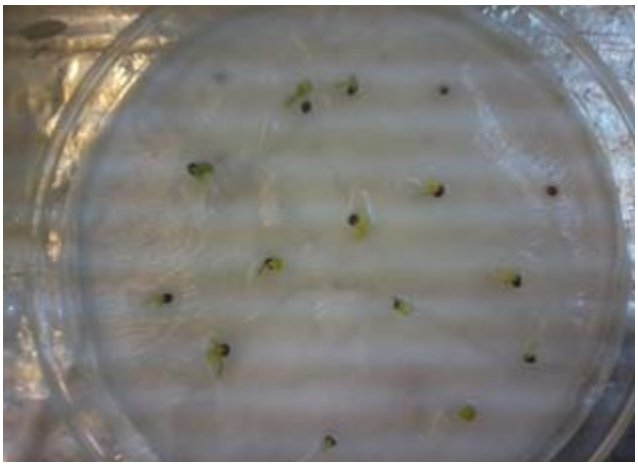
Anavatanı Akdeniz ülkeleri olan pazı dünyaya buradan yayılmıştır. M.Ö. IV. yy. da ünlü filozof Aristo'nun pazı ile ilgili yazıları bulunmaktadır, ayrıca Romalılar pazıyı tıbbı bitki olarak kullanmışlardır. Pazı ülkemizde Ege-Marmara ve Akdeniz bölgelerinde yetiştirilerek tüketilen bir sebzedir. Bünyesinde yüksek miktarda A, C ve K vitamini, magnezyum, manganez, potasyum, demir ve E vitamini içermektedir. Özellikle yükek miktardaki K vitamininin kemik gelişimi üzerine önemli etkisi olduğu bildirilmektedir (Eşiyok ve Bozokalfa, 2007).

Pazı ılık iklim sebzesidir. Direk tohum ekilerek veya fide yetiştirmek suretiyle yetiştiriciliği yapılmaktadır. Tohum ekildikten 2-3 ay sonra hasat edilir.

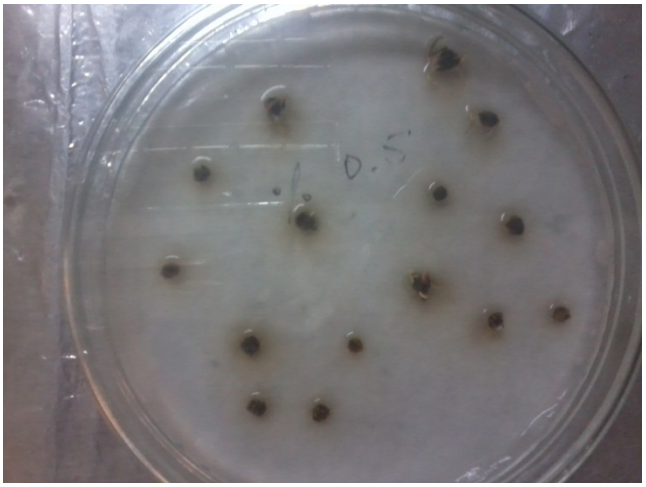
Pazı kazık köke sahip bir bitkidir. Kazık kök 10-20 cm derinliğe kadar iner. Sonra dallanma başlar. Kazık kök üst kısmında etlidir ve aşağıya doğru inildikçe incelir. Pazı kök üstünde birbiri üstünde çıkan saplar ve bunlara bağlı yapraklardan oluşur. Toprak üstünde sap ve yapraklar 50- 100 cm boylanabilir. Sapların dipten yukarı doğru kalınlığı azalır (Gürhan, 1995b).

3.2. BİTKİLERİN ÇİMLENME VE YETİŞTİRİLME KOŞULLARI

Tohumlar deiyonize su ile yıkandı. Pazı tohumlarında testanın sert ve kalın olması nedeniyle tohumlar bir gün suda bekletildi. Deiyonize su ile yıkanan tohumlar yine içinde deiyonize su ile ıslatılmış filtre kağıdı olan 15 cm çapındaki petrilere yerleştirilerek çimlenmeye bırakıldı. Her birine 15'şer adet gelecek şekilde ekilmiştir. Her iki çeşit tohumda 3-6 gün içerisinde çimlendiler.



Şekil 3.1: Çimlenen karalahana (*Brassica oleracea* var. *acephala)* tohumları (3 günlük).



Şekil 3.2: Çimlenen pazı (*Beta vulgaris* var. *cicla)* tohumları (3 günlük).

Tohumlar gün aşırı filtre kağıdı nemli tutulmak kaydıyla kontrol edildi.

Çimlenen tohumlardan ilk yaprakları çıkanlar %50 perlit + %50 yıkanmış kum karışımının bulunduğu 200mm x 800mm x 160mm = 17 lt ebatlarındaki 4 adet balkon tipi uzun saksıya nakledildi ve 3 gün boyunca her bir saksı 500 ml deiyonize su ile sulandı. Daha sonra, fideler gün aşırı olmak üzere 1 hafta süresince %50 sulandırılmış 200 ml Ingestad besi çözeltisi ile ve deneyin yürütüldüğü, hasada kadarki zaman içerisinde ise tam Ingestad ile sulandı (Tablo III.1).

Bitkilerin bulunduğu iklim odası şartları:

Sıcaklık: 25 ± 2^0C

Işık periyodu: 16 saat aydınlık, 8 saat karanlık

Nem: %50

3 ay sonuda kontrol ve ağır metal uygulanacak bitkiler orta boy tektek saksılara nakledildi. Farklı konsantrasyonlardaki Pb ve Zn çözeltileri hazırlandı ve 10 gün boyunca uygulandı.

Gelişen fidelerde her gün düzenli olarak morfolojik gözlemler yapıldı. Meydana gelen değişiklikler izlendi ve hasat günü bitkilerin fotoğrafları çekildi.

Makro ve mikro element tuzları	Stok çözeltideki miktar (g/l)	Besi çözeltisindeki stok çözelti miktarı (ml/l)
KH_2PO_4	32.930	2.00
K_2SO_4	29.070	2.00
$MgSO_4 . 7 H_2O$	30.420	4.00
$CaCl_2 . 4 H_2O$	11.000	4.00
NH_4NO_3	56.000	5.00
$MnCl_2 . 4 H_2O$	1.443	1.00
$NaMoO_4 . 2 H_2O$	0.018	1.00
H_3BO_3	0.018	1.00
$CuSO_4 . 5 H_2O$	0.08	1.00
$ZnSO_4 . 7 H_2O$	1.440	1.00
$FeSO_4 . 7 H_2O$	7.000	
+ +		1.00
Titriplex III EDTA	9.300	

Tablo 3.1: Ingestad besi çözeltisi (değiştirilmiş, Bayçu G., 1995).

Pb ve Zn çözeltilerinin hazırlanması ve uygulanması:

Pb çözeltisi hazırlanmasında $Pb(NO_3)_2$ (SIGMA) ve Zn çözeltisi hazırlanmasında $ZnSO_4.7H_2O$ (SIGMA) kullanıldı. Bunlardan stok çözelti hazırlandı ve istenen Zn ve Pb konsantrasyonları için belli miktarlarda alınarak Ingestad besi çözeltisine aktarıldı.

10 gün süresince her gün uygulanan konsantrasyonlar;

50 ppm Zn

200 ppm Zn

100 ppm Pb

400 ppm Pb

Bitkilerin Hasat Edilmesi

90 günlük pazı ve karalahana bitkisine 10 gün boyunca ağır metal uygulanmasından sonra kumdan dikkatlice çıkarıldı. Bitkiler önce musluk suyundan daha sonra 3 kez deiyonize sudan geçirildi. Kök, gövde ve yaprak kısımları birbirinden ayrıldı. Hemen sonra kök, gövde ve yaprak kısımları ayrı ayrı tartıldı. Bitki organlarının taze ağırlıkları saptandıktan sonra 80 ^{0}C'lik etüvde 3 gün kurutuldu ve kuru ağırlıkları ölçüldü. Bir kısmı klorofil miktarı ölçümleri için analiz aşamasına kadar plastik torbalar içinde -20 ^{0}C'de dondurucuda muhafaza edildi.

3.3. KLOROFİL TAYİNİ

Klorofil tayini Arnon D. (1949) tarafından saptanan metotla yapıldı.

Kontrol ve farklı Pb ve Zn konsantrasyonlarında yetiştirilen pazı ve karalahananın taze yapraklarından 300 mg tartıldı. Soğuk porselen havanda bıçak ucu $CaCO_3$ ve 6 ml' lik %80 aseton ile ekstre edildi. Elde edilen ekstre santrifüj tüpüne konularak 5 ^{0}C ve 3500 rpm' de 25 dakika homojenize edildi (Heraeus Labofuge 400R). Elde edilen süpernatantların hacimleri ölçüldü ve spektrofotometrede (Shimadzu UV – Visible Spectrophotometer UV – 1601) 645 ve 663 nm dalga boyunda klorofil ölçümleri yapıldı. Sonuçlar aşağıdaki formüle göre hesaplandı.

Total Klorofil = 20.2 x D645 + 8.02 x D663

3.4. ATOMİK ABSORPSİYON SPEKTROFOTOMETRESİ (AAS) İLE AĞIR METAL ÖLÇÜMLERİ

Bitki örnekleri kurutulduktan sonra kapalı çözünürleştirme sisteminde (mikrodalga fırın) HNO_3: H_2SO_4 (1:1) asit karışımı ile 180 ^{0}C de çözünürleştirildi (Loring ve Rantala, 1992). 1 M HCl ile seyreltilerek çözeltiye alındı. SHIMADZU 6701F Atomik Absorbsiyon Spektrometresinde (AAS), Pb ve Zn elementleri hava-asetilen aleviyle analiz edildi. (İÜ Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Kimyasal Oşinografi Laboratuarı).

Bitkilerin ölçüm yapıldığı dalga boyları:

Pb: 217.0 nm dalga boyu

Zn: 213.9 nm dalga boyu

3.4.1. ASS ve Çalışma Şekli

Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi, atomların kendine özgü ışığı absorplaması prensibine dayanır. Bir numunenin gaz halindeki atomlara veya temel iyonlara dönüştürülmesine atomlaşma denir. Temel halde bulunan atomlar dışarıdan uyarılarak yüksek enerji seviyesine geçerler. Bu halde uzun süre kalmayan atomlar tekrar temel yüzeye dönerken kendine özgü dalga boylarında ışıma yaparlar. Atomik absorpsiyon cihazlarında her element için oyuk katot lambalar kullanılır. Örneklerin atomlaşmasını sağlamak için gerekli sistemler alevli ve alevsiz olmak üzere ikiye ayrılır. Alevli sistemlerde örnekler atomlaştırıldıktan sonra oyuk katot lambası ile (gelen ışında absorplanan) ölçüm yapılmıştır (İÜ Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Kimyasal Oşinografi Laboratuarı).

4. BULGULAR

4.1.*BRASSICA OLERACE* VAR. *ACEPHALA VE BETA VULGARIS* VAR. *CICLA* BİTKİLERİNİN GELİŞİMİ SÜRESİNDE MEYDANA GELEN DEĞİŞİKLİKLER

3 ay boyunca Ingestad çözeltisi verilerek kum kültürlerinde yetiştirilen *Brassica oleraca* var. *acephala* ve *Beta vulgaris* var. *cicla* fideleri bu süre sonunda morfolojik anlamda gayet iyi bir gelişim gösterdi.

Şekil 4. 1: Perlit (%50) + kum+ (%50) karışımında yetiştirilen 20 günlük *Brassica olerace* var. *acephala.*

Şekil 4. 2: Perlit (%50) + kum (%50) karışımında yetiştirilen 20 günlük *Beta vulgaris* var. *cicla.*

Şekil 4. 3: Perlit (%50) + kum (%50) karışımında yetiştirilen 2 aylık *Brassica olerace* var. *acephala.*

Şekil 4. 4 : Perlit (%50) + kum (%50) karışımında yetiştirilen 2 aylık *Beta vulgaris* var. *cicla.*

4.2. Pb ve Zn UYGULANAN *BRASSICA OLERACE* VAR. *ACEPHALA* ve *BETA VULGARIS* VAR. *CICLA* BİTKİLERİNİNDE GÖZLEMLENEN MORFOLOJİK DEĞİŞİKLİKLER

10 gün boyunca farklı ağır metal konsantrasyonlarına maruz kalan bitki yapraklarında genel olarak kloroz, bölgesel nekroz, bitki boylarında kısalma, bitkinin taze ve kuru ağırlıklarında azalma saptandı ve bu durum ağır metalin türü, konsantrasyonu ve uygulama zamanına bağlı olarak değişiklik gösterdi.

Şekil 4. 5: *Brassica oleracea* var. *acephala* kontrol bitkisi.

Şekil 4. 6: 10 gün süreyle 50 ppm Zn uygulanan *Brassica oleracea* var. *acephala* bitkisi.

Şekil 4. 7: 10 gün süreyle 200 ppm Zn uygulanan *Brassica oleracea* var. *acephala* bitkisi.

200 ppm Zn uygulaması ile yapraklarda yaygın kloroz ve nekroz saptandı. Köklerde ise morfolojik olarak bir değişikliğe rastlanmazken taze ve kuru ağırlıklarında azalma saptandı.

Şekil 4. 8: 10 gün süreyle 100 ppm Pb uygulanan *Brassica oleracea* var. *acephala* bitkisi.

Şekil 4. 9: 10 gün süreyle 400 ppm Pb uygulanan *Brassica oleracea* var. *acephala* bitkisi.

Farklı konsantrasyonlardaki kurşun uygulamalarında yapraklarda morfolojik olarak değişiklikler saptanmıştır. Pb uygulanmış yapraklarda klorozis ve nekrozis durumları gözlemlenmiştir. Taze ve kuru ağırlıkta kontrole göre azalma saptanmıştır.

Şekil 4. 10: *Beta vulgaris* var. *cicla* kontrol bitkisi.

Şekil 4. 11: 10 gün süreyle 50 ppm Zn uygulanmış *Beta vulgaris* var.*cicla* bitkisi.

Şekil 4.12: 10 gün süreyle 200 ppm Zn uygulanmış *Beta vulgaris* var. *cicla* bitkisi.

50 ppm Zn uygulanan pazıda (*Beta vulgaris* var. *cicla)* morfolojik olarak değişikliğe rastlanmazken, 200 ppm Zn uygulanan bitkilerin yapraklarında yaygın bir şekilde kloroz saptandı. Taze ve kuru ağırlıkları kontrole göre azalma göstermiştir.

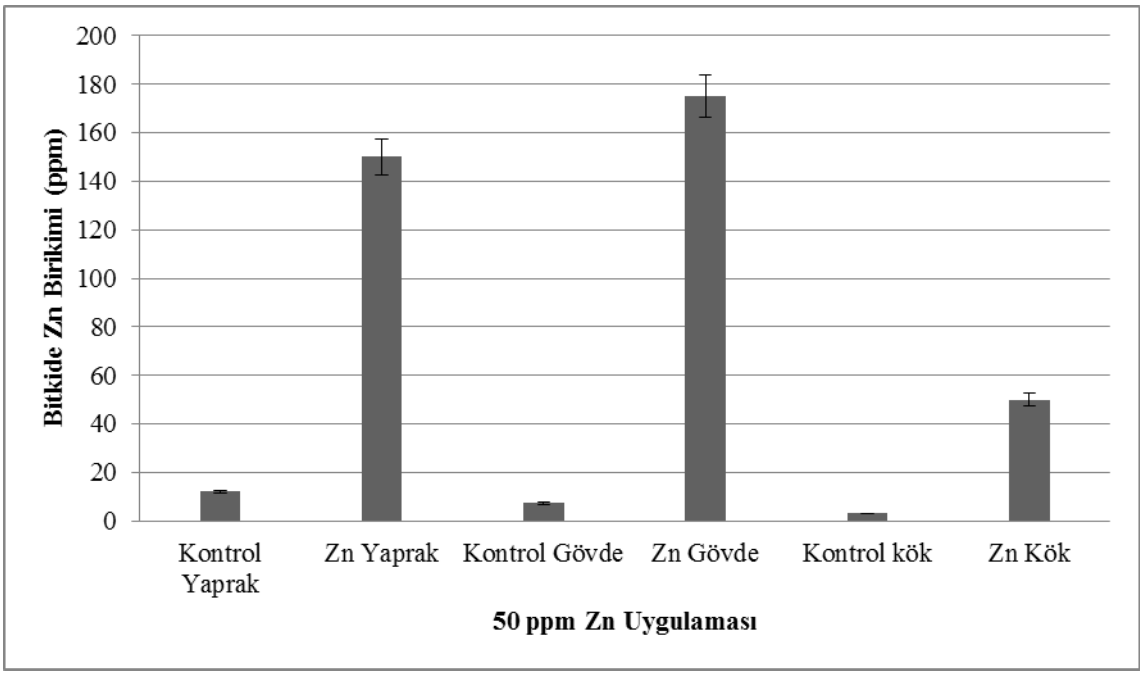
Şekil 4.13: 10 gün süreyle 100 ppm Pb uygulanan *Beta vulgaris* var. *cicla* bitkisi.

Şekil 4.14: 10 gün süreyle 400 ppm Pb uygulanan *Beta vulgaris* var. *cicla* bitkisi.

Pb uygulanması pazının (*Beta vulgaris* var. *cicla)* yapraklarında sararmalara solgunluğa ve kurumalara neden olmuştur.

4.3. BİTKİ ORGANLARINDA PB VE ZN BİRİKİMLERİ (µg /g KA)

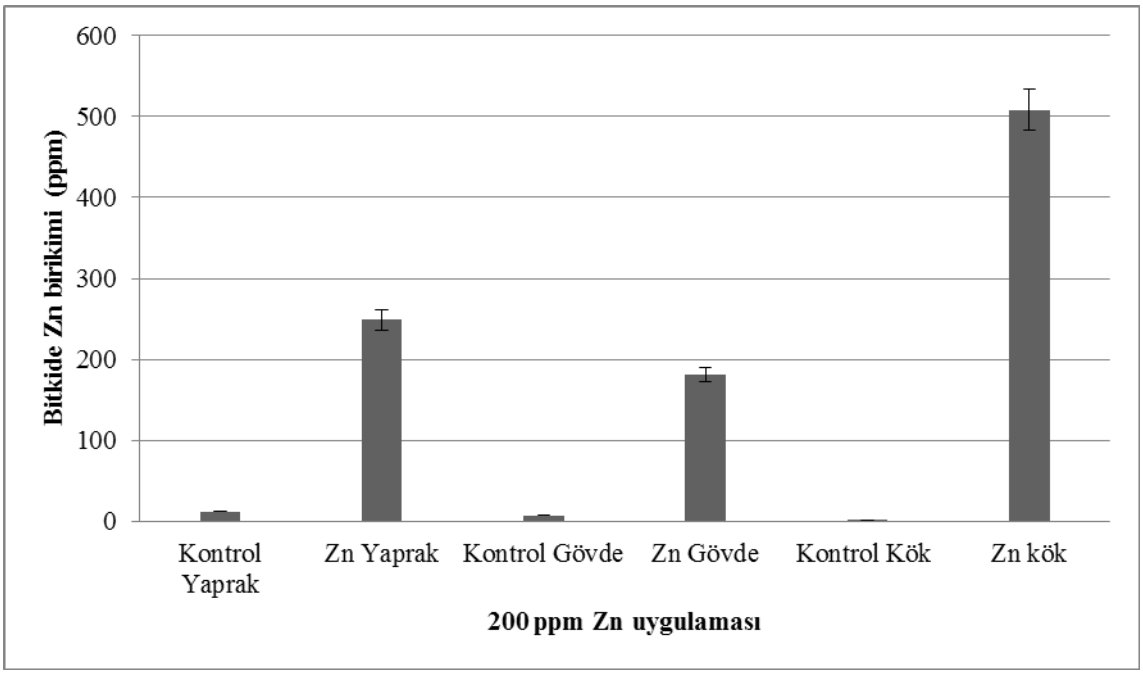
4.3.1. *Brassica olerace* var. *acephala*'nın vejetatif organlarında 50 ppm Zn Uygulaması:



Şekil 4.15: 50 ppm uygulanan karalahananın (*Brassica olerace* var. *acephala)* vejetatif organlarında Zn birikimi (µg/g KA).

50 ppm Zn uyguladığımız karalahananın (*Brassica olerace* var. *acephala*) yapraklarında 150 ppm, gövdede 175 ppm ve kökte ise 50 ppm birikim gözlenmiştir. Zn birikimine en fazla gövdede rastlanmıştır. Kontrollerde Zn bulunması Ingestad besi çözeltisinden kaynaklanmaktadır.

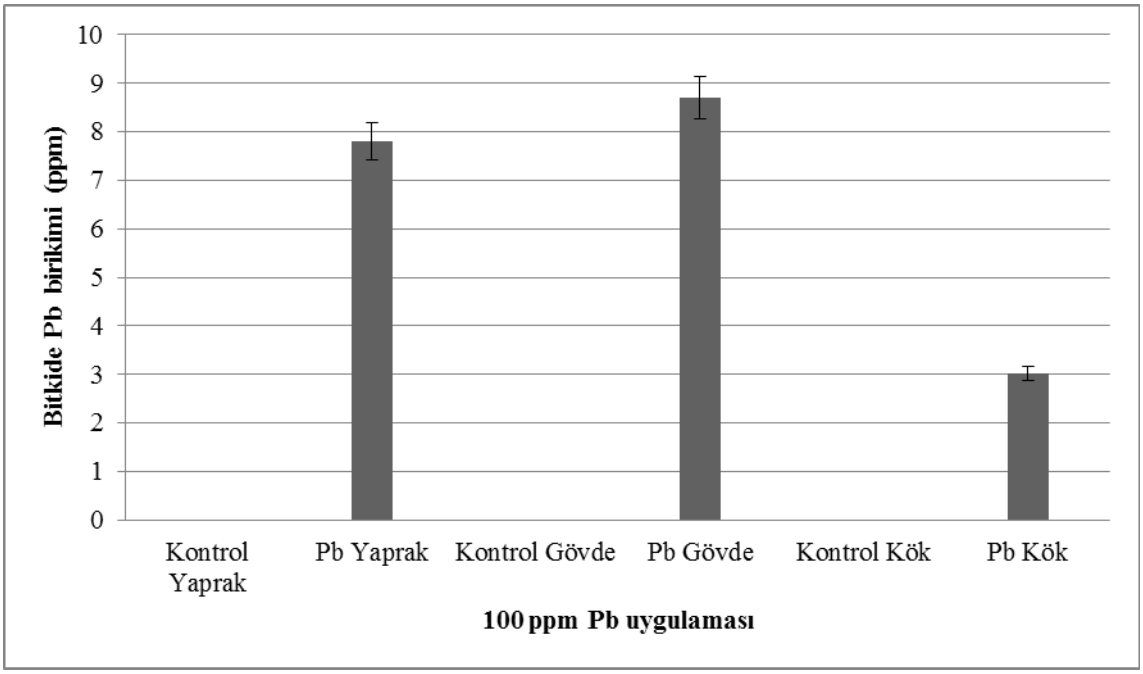
4.3.2. *Brassica olerace* var. *acephala*'nın vejetatif organlarında 200 ppm Zn Uygulaması:



Şekil 4.16: 200 ppm Zn uygulanan karalahananın (*Brassica olerace* var. *acephala)* vejetatif organlarında Zn birikimi (µg/g KA).

200 ppm Zn uyguladığımız karalahananın (*Brassica olerace* var. *acephala*) yapraklarında 249 ppm, gövdede 181 ppm ve kökte ise 508 ppm Zn birikimi gözlenmiştir. Ağır metal uygulaması esnasında bitkinin besin eksikliğini gidermek için bitkiye verilen Ingestad besi suyundaki çinko konsantrasyonu göz önüne alınarak Zn konsantrasyonu uygulandı.

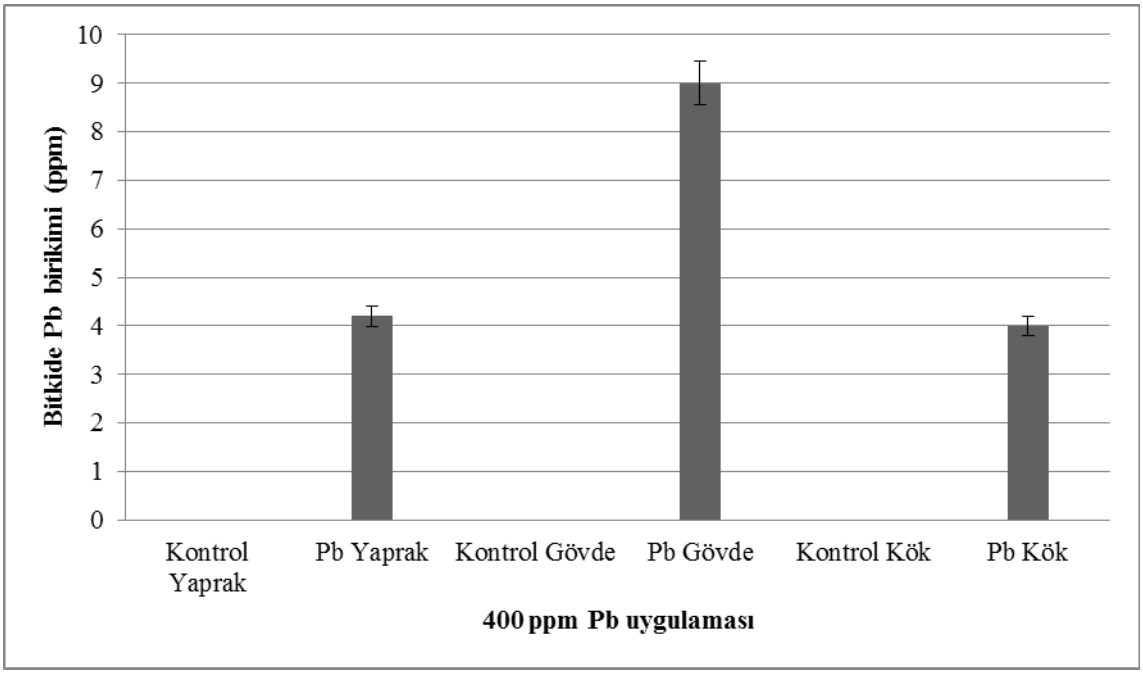
4.3.3. *Brassica olerace* var. *acephala*'nın vejetatif organlarında 100 ppm Pb Uygulaması:



Şekil 4.17: 100 ppm Pb uygulanan karalahananın *(Brassica olerace* var. *acephala)* vejetatif organlarında Pb birikimi (µg/g KA).

100 ppm Pb uyguladığımız karalahananın (*Brassica olerace* var. *acephala*) yapraklarında 7,8 ppm, gövdede 8,7 ppm ve köklerde ise 3,02 ppm Pb birikimi olmuştur. Gövde ve yapraklarda, köke göre önemli miktarda Pb birikimi olduğu saptanmıştır.

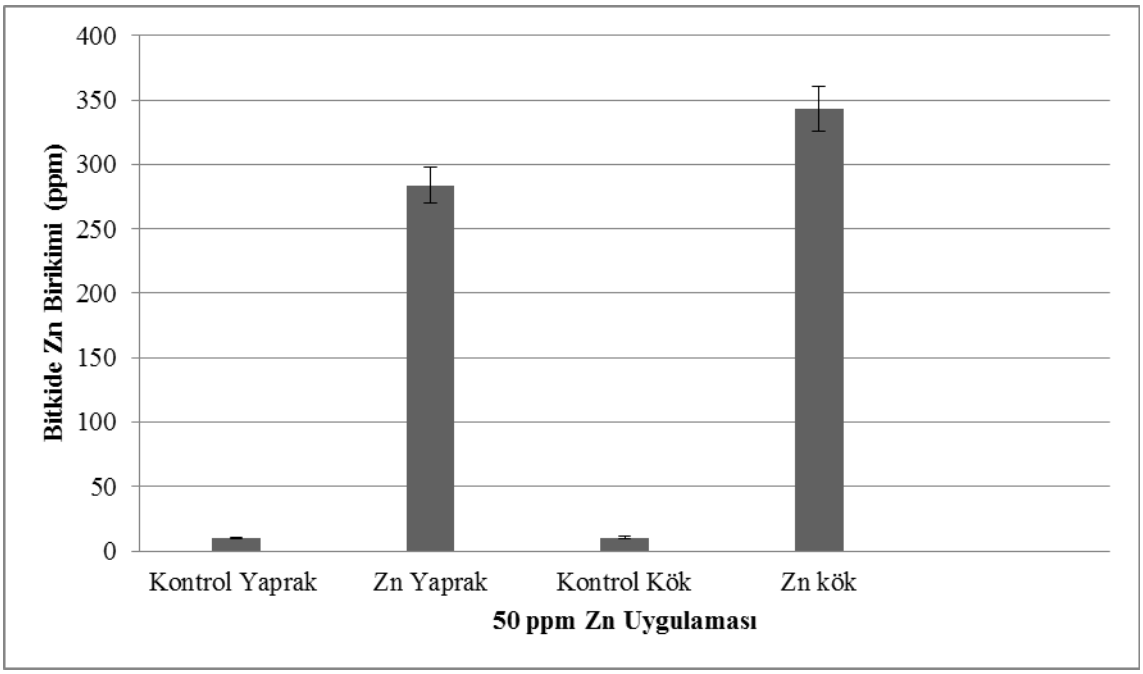
4.3.4. *Brassica olerace* var. *acephala*'nın vejetatif organlarında 400 ppm Pb Uygulaması:



Şekil 4.18: 400 ppm Pb uygulanan karalahananın *(Brassica olerace* var. *acephala)* vejetatif organlarında Pb birikimi (µg/g KA).

400 ppm Pb uyguladığımız karalahananın (*Brassica olerace* var. *acephala*) yapraklarında 4,2 ppm, gövdede 9 ppm ve köklerinde ise 4,01 ppm birikim gözlenmiştir.

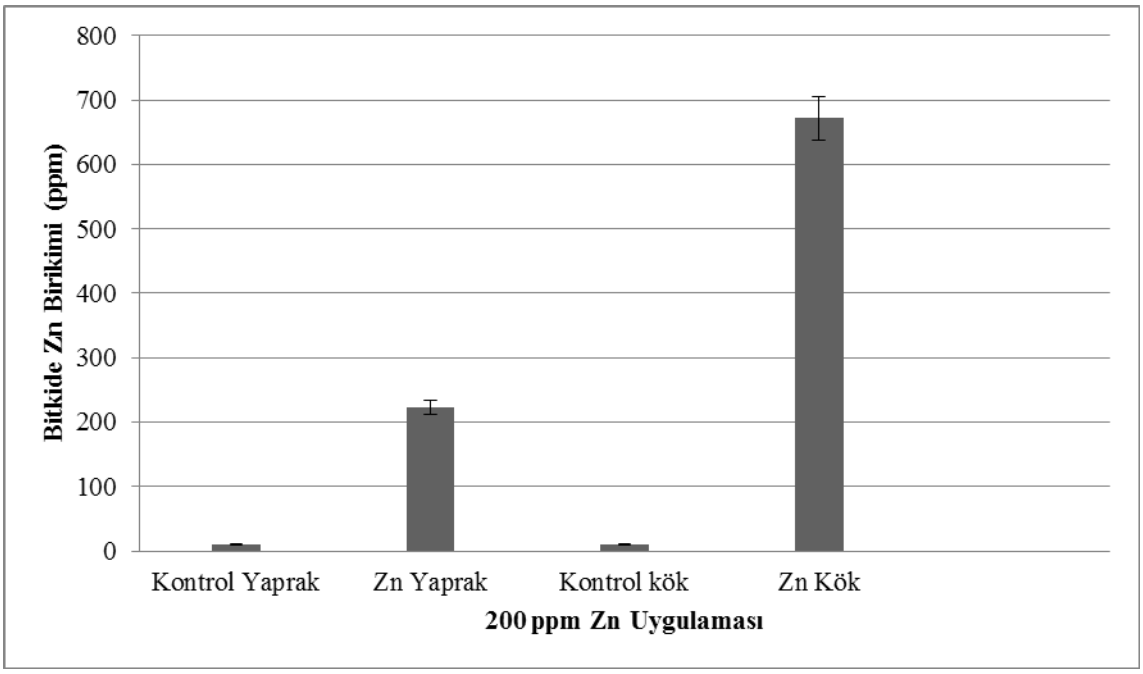
4.3.5. *Beta vulgaris* var. *cicla'* nın vejetatif organlarında 50 ppm Zn Uygulaması:



Şekil 4.19: 50 ppm Zn uygulanan pazının *(Beta vulgaris* var. *cicla)* vejetatif organlarında Zn birikimi (µg/g KA).

50 ppm Zn uyguladığımız pazının (*Beta vulgaris* var. *cicla*) yapraklarında 284 ppm, kökte ise 343 ppm birikim gözlenmiştir. Yaprakta ve kökte fazla miktarda Zn birikimi bulunmuştur.

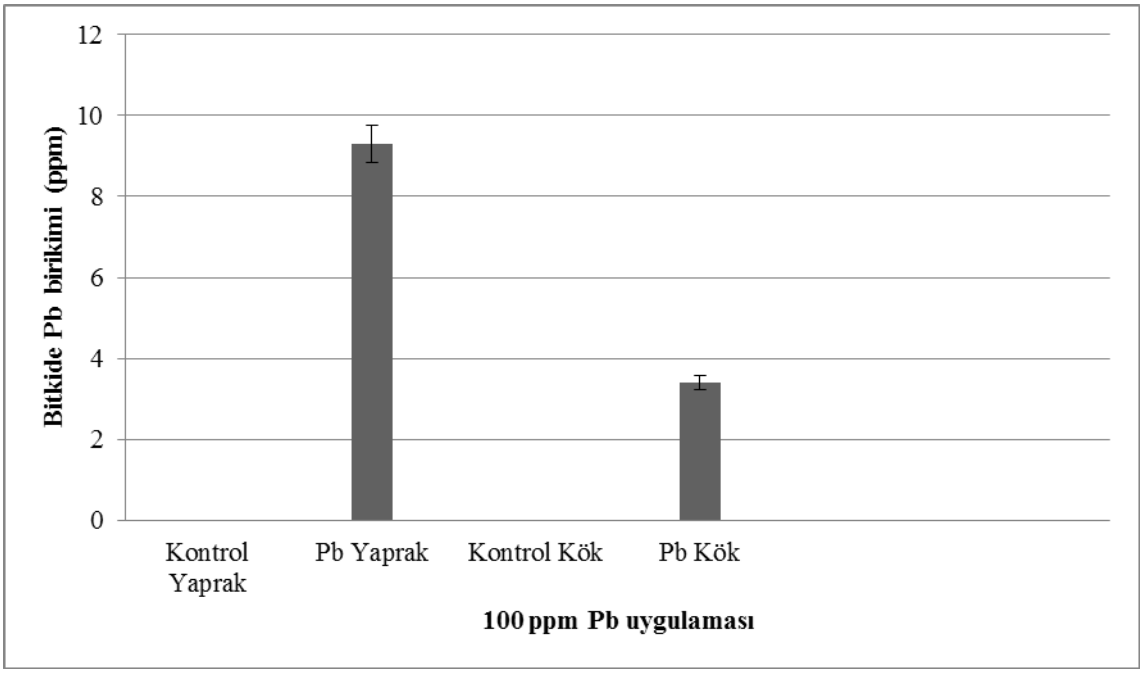
4.3.6. *Beta vulgaris var. cicla*'nın vejetatif organlarında 200 ppm Zn Uygulaması:



Şekil 4.20: 200 ppm Zn uygulanan pazının *(Beta vulgaris* var. *cicla)* vejetatif organlarında Zn birikimi (µg/g KA).

200 ppm Zn uyguladığımız pazının (*Beta vulgaris var. cicla*) yapraklarında 223 ppm, köklerinde ise 503 ppm birikim gözlenmiştir. Köklerde önemli miktarda Zn birikimi saptanmıştır.

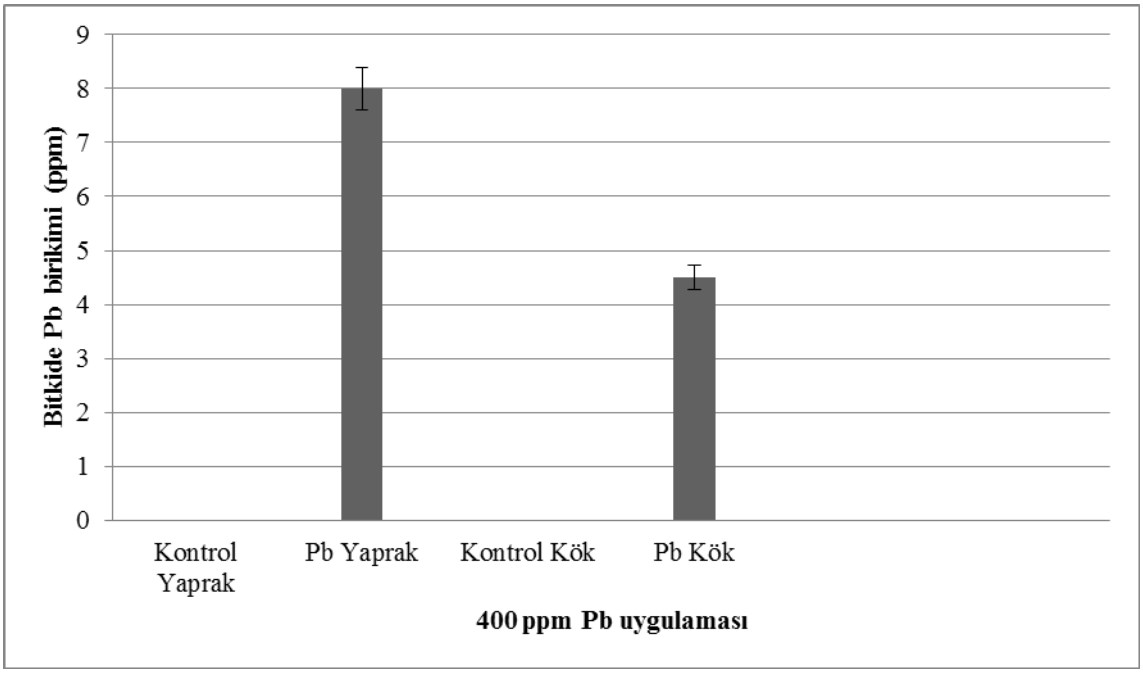
4.3.7. *Beta vulgaris var. cicla*'nın vejetatif organlarında 100 ppm Pb Uygulaması:



Şekil 4.21: 100 ppm Pb uygulanan pazının *(Beta vulgaris* var. *cicla)* vejetatif organlarında Pb birikimi (µg/g KA).

100 ppm Pb uyguladığımız pazının (*Beta vulgaris* var. *cicla*) yapraklarında 9,3 ppm, köklerinde ise 3,4 ppm Pb birikimi saptanmıştır. Yapraklarda biriken Pb birikimi yaklaşık olarak köklerde birikenin üç katına yakın bulunmuştur.

4.3.8. *Beta vulgaris* var. *cicla*'nın vejetatif organlarında 400 ppm Pb uygulaması:

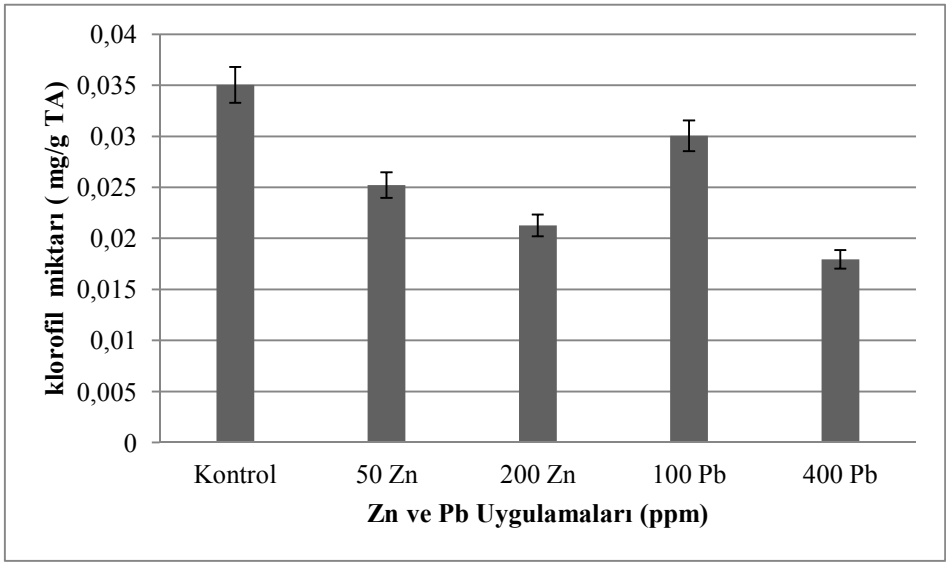


Şekil 4.22: 400 ppm Pb uygulanan pazının *(Beta vulgaris* var. *cicla)* vejetatif organlarında Pb birikimi (µg/g KA).

400 ppm Pb uyguladığımız pazının (*Beta vulgaris* var. *cicla*) yapraklarında 8 ppm ve köklerinde ise 5,1 ppm Pb birikimi gözlenmiştir. Kökte ve özellikle yaprakta fazla miktarda Pb birikimi saptanmıştır.

4.4. Pb VE Zn UYGULANAN BİTKİLERİNİN YAPRAKLARINDA KLOROFİL MİKTARI:

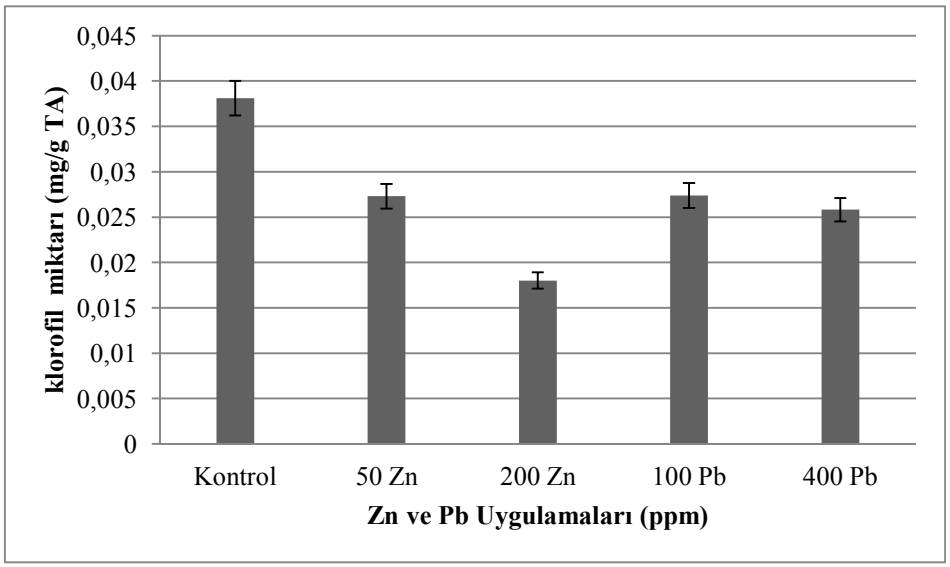
4.4.1. .*Brassica olerace* var. *acephala*'nın yapraklarında klorofil miktarı:



Şekil 4.23: Karalahananın (*Brassica oleracea* var. *acephala)* yapraklarında klorofil miktarı (mg/g TA).

Şekil 4.23' de görüldüğü gibi kontrole göre ağır metal uygulanan karalahananın yapraklarındaki klorofil miktarlarında birbirine paralel bir azalma görülmektedir. Kontrol bitkisinde 0,0350 mg/g, 50 ppm Zn' da 0,025 mg/g, 200 ppm Zn' da 0,021 mg/g, 100 ppm Pb' da 0,03 mg/g, 400 ppm Pb 'da ise 0,017 mg/g kadardır.

4.4.2. *Beta vulgaris* var. *cicla*' nın yapraklarında klorofil miktarı:



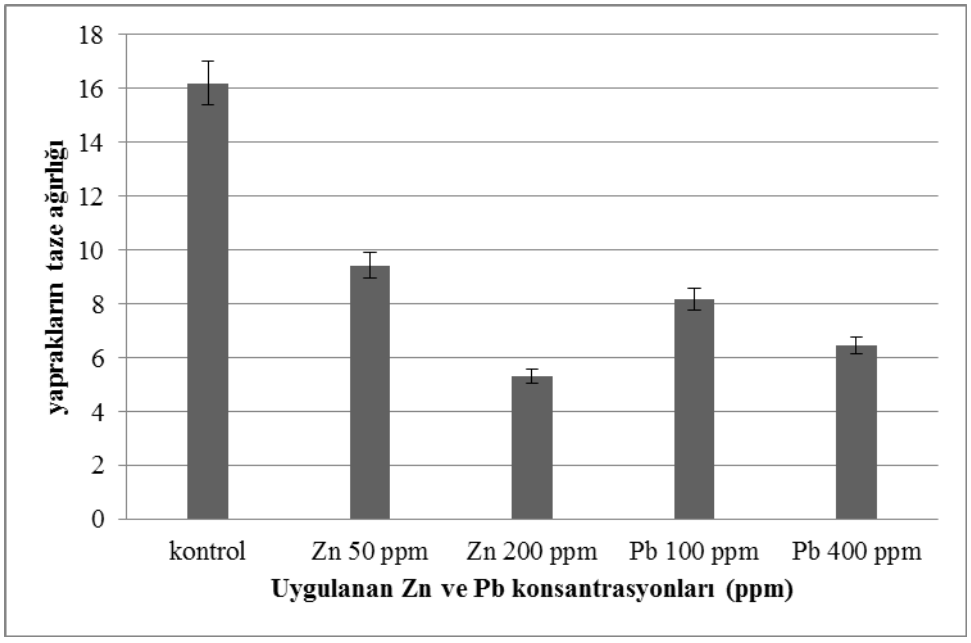
Şekil 4.24: Pazının (*Beta vulgaris* var. *cicla)* yapraklarında klorofil miktarı (mg/g TA).

Şekil 4.24' de görüldüğü gibi kontrole göre ağır metal uygulanan pazının yapraklarındaki klorofil miktarlarında azalma görülmüştür. Kontrolde bu miktar 0,038 mg/g iken, 50 ppm Zn'da 0,027 mg/g, 200 ppm Zn' da 0,018 mg/g, 100 ppm Pb' da 0,027mg/g, 400 ppm Pb' da 0,025 mg/g' dır.

4.5. Pb ve Zn UYGULANAN BİTKİLERİN VEJETATİF ORGANLARINDA TAZE VE KURU AĞIRLIK

4.5.1. Pb ve Zn uygulanan *Brassica olerace* var. *acephala*' nın vejetatif organlarında taze ağırlık:

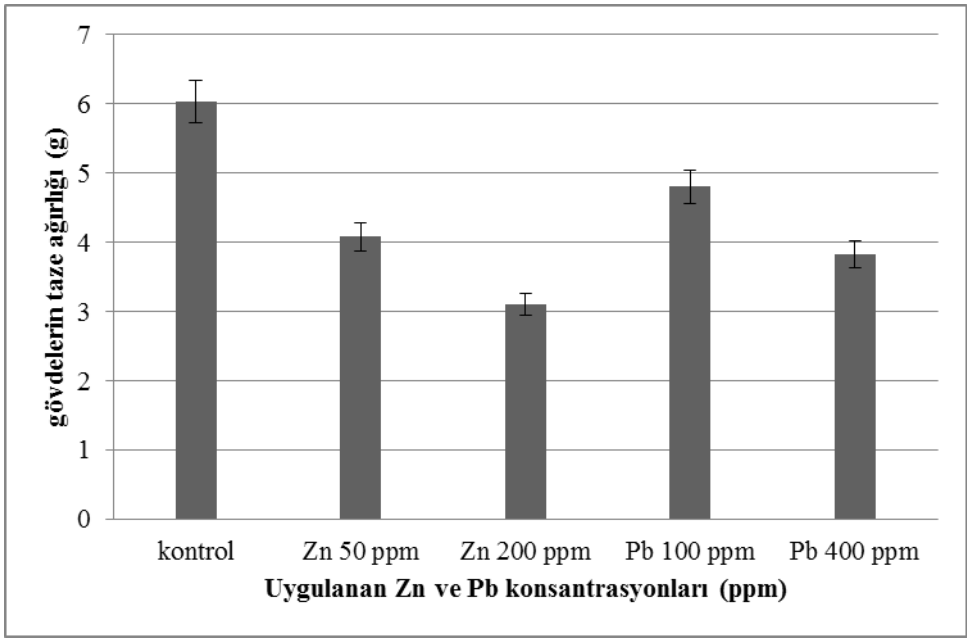
4.5.1.1. Yapraklarda taze ağırlık



Şekil 4.25: Karalahana (*Brassica olerace* var. *acephala)* yapraklarının taze ağırlığı (g).

Şekil 4.25'de izlenildiği gibi ağır metal uygulanan karalahananın yapraklarında taze ağırlık miktarı, kontrol bitkilerinde diğer ağır metal uygulanan bitkilerin taze ağırlık miktarlarından fazla olduğu görülmektedir. Kontrolde taze ağırlık miktarı 16,2 gr, 50 ppm Zn' da 9,43 gr, 200 ppm Zn' da 5,3 gr, 100 ppm Pb' da 8,18 gr ve 400 ppm Pb' da ise 6,45 gr' dır.

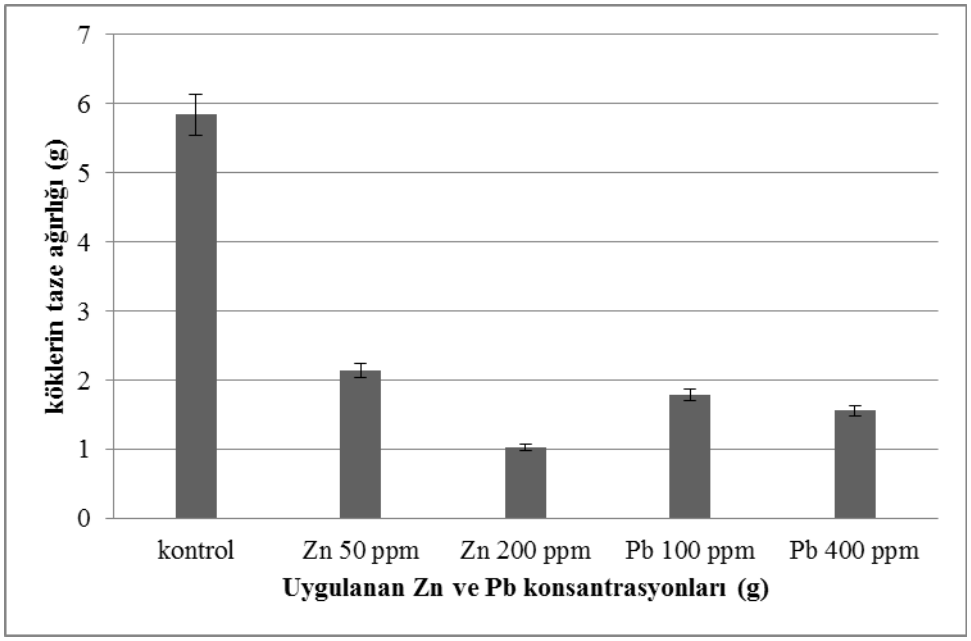
4.5.1.2.Gövdelerde taze ağırlık



Şekil 4.26: Karalahana (*Brassica olerace* var. *acephala)* gövdelerinin taze ağırlığı (g).

Şekil 4.26'da ağır metal uygulanan karalahananın gövdelerindeki taze ağırlık miktarı kontrole göre alt seviyelerdedir. Kontrolde bu miktar 6,03 gr, 50 µM Zn' da 4,08 gr, 200 µM Zn' da 3,1 gr, 100 µM Pb' da 3,83 gr ve 400 µM Pb' da ise 4,82 gr' dır.

4.5.1.3.Köklerde taze ağırlık

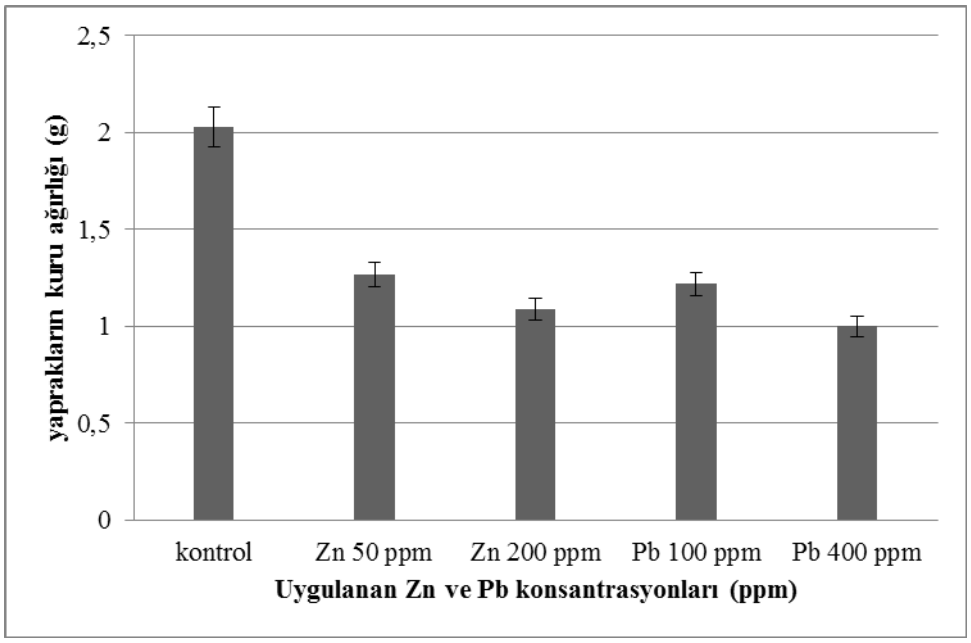


Şekil 4.27: Karalahana (*Brassica olerace* var. *acephala)* köklerinin taze ağırlığı (g).

Şekil 4.27'de ise ağır metal uygulanan karalahananın köklerindeki taze ağırlık miktarı kontrole göre alt seviyelerdedir. Kontrolde bu miktar 5,84 gr, 50 ppm Zn' da 2,14 gr, 200 ppm Zn' da 1,03 gr, 100 ppm Pb' da 1,79 gr ve 400 ppm Pb' da ise 1,56 gr' dır.

4.5.2. Pb ve Zn uygulanan *Brassica olerace* var. *acephala* 'nın vejetatif organlarında kuru ağırlık:

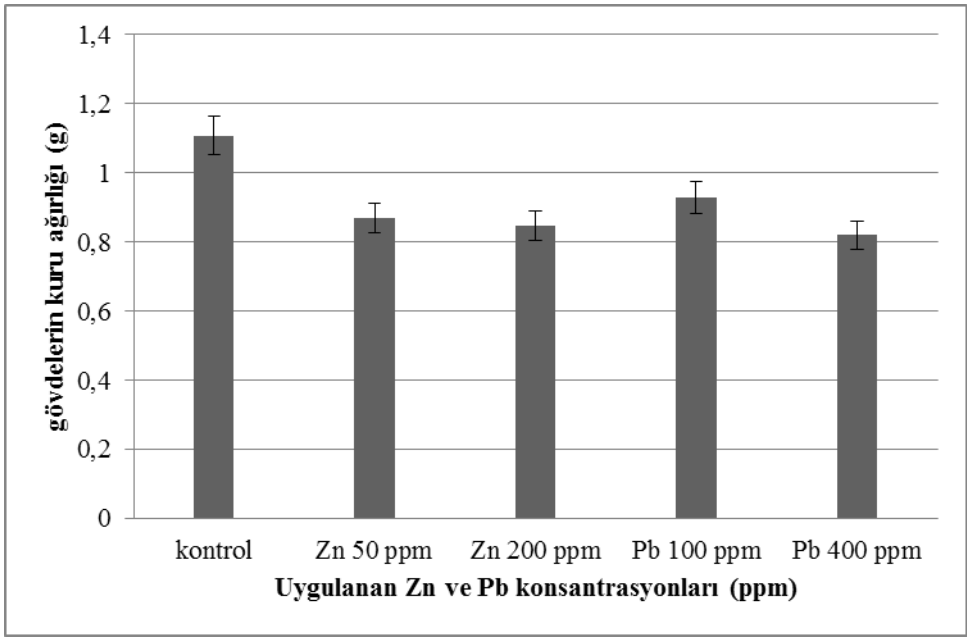
4.5.2.1. Yapraklarda kuru ağırlık



Şekil 4.28: Karalahana (*Brassica olerace* var. *acephala)* yapraklarının kuru ağırlığı (g).

Şekil 4.28'de görüldüğü gibi ağır metal uygulanan karalahananın yapraklarındaki kuru ağırlık miktarı kontrole göre alt seviyelerdedir. Kontrolde bu miktar 2,03 gr, 50 ppm Zn' da 1,27 gr, 200 ppm Zn' da 1,09 gr, 100 ppm Pb' da 1,22 gr ve 400 ppm Pb' da ise 1 gr' dır.

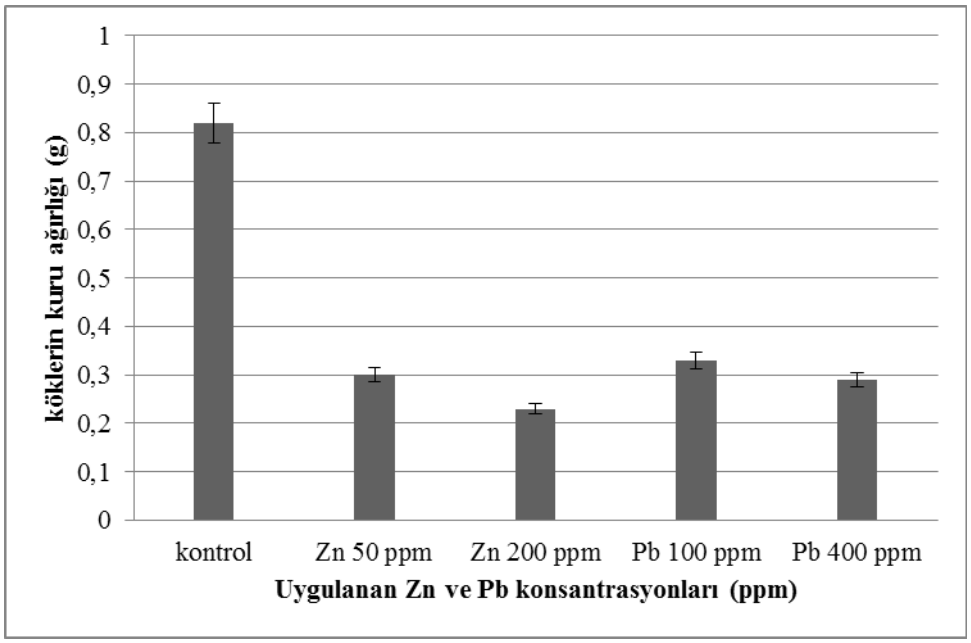
4.5.2.2. Gövdede kuru ağırlık



Şekil 4.29: Karalahana (*Brassica olerace* var. *acephala)* gövdelerinin kuru ağırlığı (g).

Şekil 4.29'da görüldüğü gibi ağır metal uygulanan karalahananın gövdelerindeki kuru ağırlık miktarı kontrole göre alt seviyelerdedir. Kontrolde bu miktar 1,107 gr, 50 ppm Zn' da 0,87 gr, 200 ppm Zn' da 0,84 gr, 100 ppm Pb' da 0,93 gr ve 400 ppm Pb' da ise 0,82 gr' dır.

4.5.2.3.Köklerde kuru ağırlık

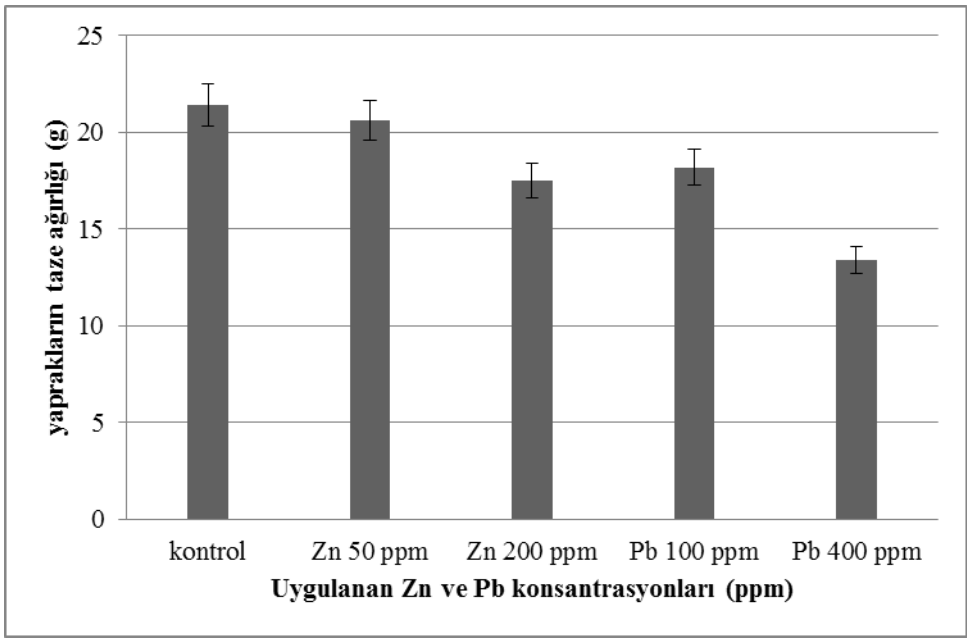


Şekil 4.30: Karalahana (*Brassica olerace* var. *acephala)* köklerinin kuru ağırlığı (g).

Şekil 4.30'da görüldüğü gibi ağır metal uygulanan karalahananın köklerindeki kuru ağırlık miktarı kontrole göre alt seviyelerdedir. Kontrolde bu miktar 0,82 gr, 50 ppm Zn' da 0,3 gr, 200 ppm Zn' da 0,23 gr, 100 ppm Pb' da 0,33 gr ve 400 ppm Pb' da ise 0,29 gr' dır.

4.5.3. Pb ve Zn uygulanan *Beta vulgaris var. cicla* 'nın vejetatif organlarında taze ağırlık:

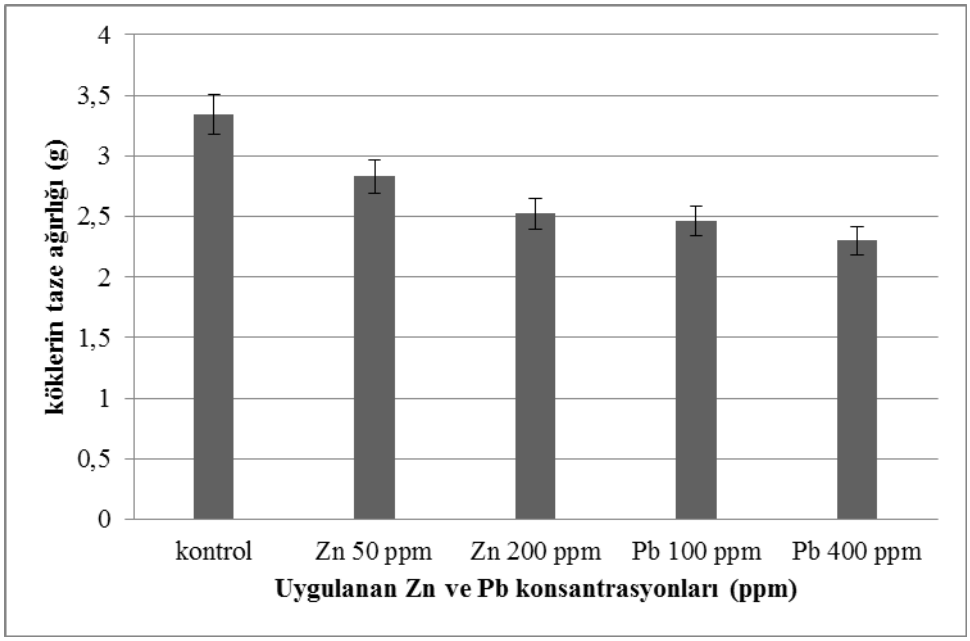
4.5.3.1. Yapraklarda taze ağırlık



Şekil 4.31: Pazı (*Beta vulgaris* var.*cicla)* yapraklarının taze ağırlığı (g).

Şekil 4.31'de görüldüğü gibi ağır metal uygulanan pazının yapraklardaki taze ağırlık miktarı kontrole göre alt seviyelerdedir. Kontrolde bu miktar 21,43 gr, 50 ppm Zn' da 20,6 gr, 200 ppm Zn' da 17,5 gr, 100 ppm Pb' da 18,2 gr ve 400 ppm Pb' da ise 13,4 gr' dır.

4.5.3.2. Köklerde taze ağırlık

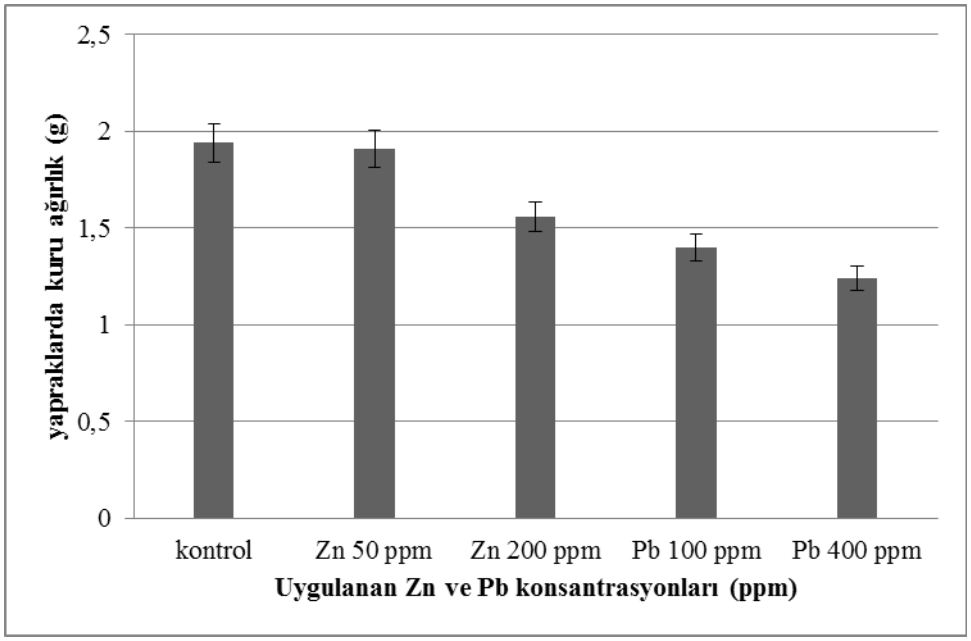


Şekil 4.32: Pazı (*Beta vulgaris* var. *cicla)* köklerinin taze ağırlığı (g).

Şekil 4.32'de ise ağır metal uygulanan pazının köklerindeki taze ağırlık miktarı kontrole göre alt seviyelerdedir. Kontrolde bu miktar 3,34 gr, 50 ppm Zn' da 2,83 gr, 200 ppm Zn' da 2,53 gr, 100 ppm Pb' da 2,46 gr ve 400 ppm Pb' da ise 2,3 gr' dır.

4.5.4.Pb ve Zn uygulanan *Beta vulgaris var. cicla* 'nın vejetatif organlarında kuru ağırlık:

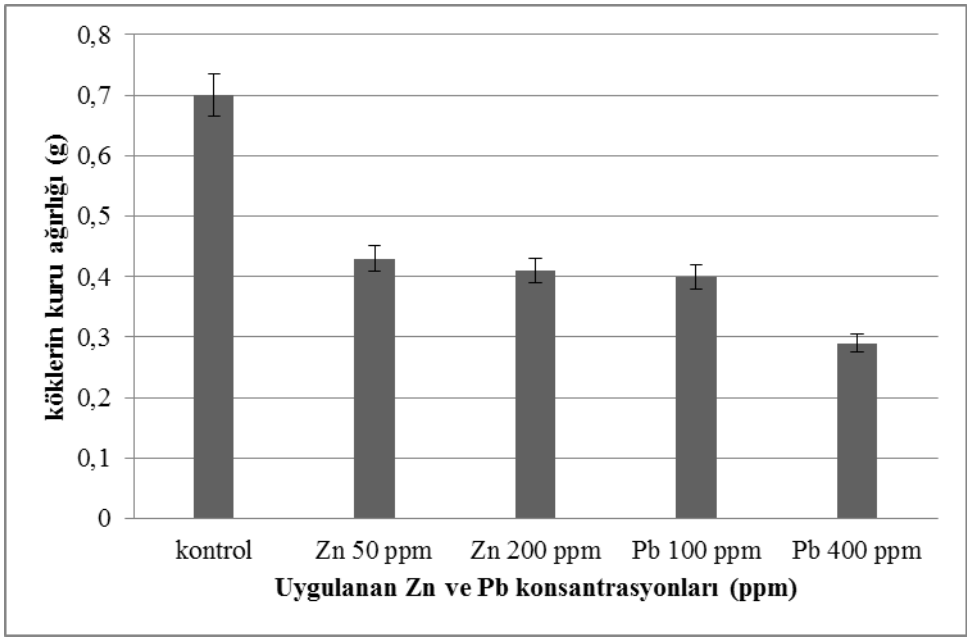
4.5.4.1. Yapraklarda kuru ağırlık



Şekil 4.33: Pazı (*Beta vulgaris* var. *cicla)* yapraklarının kuru ağırlığı (g).

Şekil 4.33' de ise yapraklardaki kuru ağırlık miktarları 200 ppm Zn ve 400 ppm Pb pazının yapraklarında kontrole göre üst seviyede iken; 50 ppm Zn ve 100 ppm Pb pazının yapraklarında ise kuru ağırlık miktarları kontrole göre alt seviyededir. Kontrolde bu miktar 1,94 gr, 50 ppm Zn' da 1,91 gr, 200 ppm Zn' da 1,56 gr, 100 ppm Pb' da 1,4 gr ve 400 ppm Pb' da ise 1,24 gr' dır.

4.5.4.2.Köklerde kuru ağırlık



Şekil 4.34: Pazı (*Beta vulgaris* var. *cicla)* köklerinin kuru ağırlığı (g).

Şekil 4.34' de ise ağır metal uygulanan pazının köklerindeki kuru ağırlık miktarı kontrole göre alt seviyelerdedir. Kontrolde bu miktar 0,7 gr, 50 ppm Zn' da 0,43 gr, 200 ppm Zn' da 0,41 gr, 100 ppm Pb' da 0,4 gr ve 400 ppm Pb' da ise 0,29 gr' dır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Ağır metaller bitki için gerekli olsun veya olmasın bunların doku ve organlardaki aşırı birikimi toksik etki yapar ve sonunda bitkiyi ölüme götürür (Moustakas, 1994; Ouzounidou, 1994). Bunlar doğal ortamda her zaman vardır (Gupta ve Sinha, 2006).

Ağır metallerin bitkilerdeki metabolik olayları nasıl etkilediğini ortaya koymak, 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 (Gupta ve Sinha, 2006).

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 (Gupta ve Sinha, 2006).

Bu çalışmada ağır metallerden kurşun (Pb) ve çinko (Zn)'nun toksik etkileri, yetişme ortamındaki farklı konsantrasyonlara ve bitkinin özelliklerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bununla ilgili olarak bitkilerde Pb ve Zn tolerans sınırları ve olası tolerans mekanizmaları farklı gelişmektedir.

Bu araştırmada *Brassica olerace* var. *acephala* ve *Beta vulgaris var. cicla* ' nın yetiştirilme koşulları, farklı Pb ve Zn konsantrasyonlarının her iki bitkide oluşturduğu toksik etkiler morfolojik anlamda incelenmiş, Pb, Zn birikimleri ve klorofil miktarları belirlenmiş, iki bitki arasında karşılaştırmalar yapılmıştır.

Kurşunun bitkiler üzerindeki etkileri konusunda çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar sırasında kurşunun tohum çimlenmesi ile kök ve gövde uzamasını azalttığı, klorofil biyosentezini engellediği, klorozise sebep olduğu, fotosentezi inhibe ettiği, bir çok enzimde indüksiyon veya inhibisyona yol açtığı ve hücre yapısında bozulma ile kromozom lezyonları meydana getirdiği görülmüştür (Bazzaz ve Rolfe, 1974).

10 gün boyunca uygulanan kurşun konsantrasyonlarına bağlı olarak elde edilen sonuçlara bakıldığında; karalahana (*Brassica olerace* var. *acephala*) bitkisinin kök büyümesinde kurşun konsantrasyonundaki artışa paralel olarak önemli oranda azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.27). Kök, gövde ve yapraklarının taze ve kuru ağırlıklarında azalmaya ve klorozise neden olmuştur (Şekil 4. 14).

Pazıda da (*Beta vulgaris var. cicla*) karalahanaya (*Brassica olerace* var. *acephala*) benzer sonuçlar alınmıştır. Ağır metal uygulamasında kök ve yapraklarının taze ve kuru ağırlıklarında kontrole göre azalma tespit edilmiştir. Kurşun, pazı (*Beta vulgaris var. cicla*) bitkisinin yapraklarında klorozise neden olmuştur.

Kloroz genel olarak bitkiye uygulanan yüksek ağır metal konsantrasyonlarından kaynaklanır. Ağır metaller bitkide Fe, Zn ve Mn gibi klorofil oluşumunda görev alan iyonlarla yer değiştirerek, bitkinin bu metalleri yeterli düzeyde alamamasına sebep olur böylece yapraklarda kloroz meydana gelir (Kukkola, E. ve diğ.,2000; Lombardi, L., 2005).

Bileşiminde kurşun bulunan egzoz gazının *Triticum aestivum* ve *Cucumis sativus* tohumlarında çimlenme ile fide büyümesini engellediği, klorozis ve nekrozise neden olduğu bildirilmiştir (Yassoglou ve diğ., 1987).

Düşük kurşun konsantrasyonları ile muamele edilen *Lupinus luteus, Sesamum indicum, Sinapis alba, Raphanus sativus* ve *Lactuva sativa* tohumlarının çimlenmesinde, fidelerin kök ve gövde uzunluklarında, kontrole göre belirli bir farkın olmadığı, ancak yüksek kurşun konsantrasyonlarında tohumların çimlenmelerinde, kök ve gövdenin uzamasında konsantrasyon artışıyla azalma olduğu, ayrıca kökün gövdeye göre daha fazla etkilendiği bildirilmiştir (Sanchez ve diğ., 1999).

Lens culinaris ile yapılan bir çalışmada kurşunun artan konsantrasyonlarının, yaprak oluşumunu engellediği, yapraklarda klorozis, nekrozis ve solgunluğa neden olduğu; gövdede yaş ve kuru ağırlığı azalttığı bildirilmiştir (Jana ve Barua, 1987).

Kurşunun *Triticum aestivum ve Cucumis sativus* tohumlarında çimlenme ile fide büyümesini engelllediği, klorozis ve nekrozise neden olduğu rapor edilmiştir (Sinba ve Tripathi, 1993).

Kurşunun *Phaseolus vulgaris* L. nin kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine etkileri ile yapılan bir çalışmada; ağır metale en duyarlı kısmın kökler olduğu bunuda sırasıyla gövde ve yapraklarının takip ettiği bildirilmiştir (Ayaz ve Kadıoğlu, 1997). Bu çalışmada karalahana ve pazıya uygulanan kurşun ağır metalinin en fazla yapraklarda görülmüştür.

Çinko toksisitesinde bitkilerin kök ve sürgün büyümesi azalır, kökler incelir, genç yapraklar kıvrılır ve kloroz görülür, hücre büyümesi ve uzaması engellenir, hücre organelleri parçalanır ve klorofil sentezi azalır (Rout ve Das, 2003).

10 gün boyunca uygulanan çinko konsantrasyonlarına bağlı olarak elde edilen sonuçlara bakıldığında, karalahananın (*Brassica olerace* var. *acephala*) kök büyümesinin 200 ppm Zn' da önemli oranda azaldığı tespit edilmiştir. Kök, gövde ve yapraklarının taze ve kuru ağırlıklarında azalmaya ve klorozise neden olmuştur.

50 ppm Zn uygulanan pazının (*Beta vulgaris* var. *cicla*) yapraklarında klorozis görülürken 200 ppm' de hem artan klorozis hem de kıvrılmalar görülmüştür (Şekil 4.11 ve Şekil 4.12).Yüksek dozlardaki çinkonun klorofil sentezini etkilemesinin nedeni olarak yeterli konsantrasyonunda morfolojik olarak bir değişiklik saptanmamıştır. 200 ppm Zn konsantrasyonunda ise kök ve yapraklarının taze ve kuru ağırlıklarında kontrole göre azalma tespit edilmiştir.

Yüksek dozlardaki çinkonun klorofil sentezini etkilemesinin nedeni olarak yeterli demir bulunması halinde bile bitkinin bundan yararlanmasını engellemesi ve klorofilin

merkezinde bulunan magnezyumun yerine geçmesi gösterilmektedir (Van Assche ve Clijsters, 1990).

Artan çinko dozlarının klorofil sentez, miktar ve dağılımı üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada Solanacea familyasının otçul cinslerinden biri olan *Datura* bitkisinin farklı varyeteleri *(Datura innoxia, Datura metel, Datura sanguinea ve Datura tatula*) kullanılmıştır. Çalışmada çinkonun toksik etkisinin türlere bağlı olarak değiştiği, Zn uygulanan bitkilerde klorofil içeriğinin azaldığı tespit edilmiştir (Vaillant ve diğ., 2005).

Karalahana (*Brassica olerace* var. *acephala*) yapraklarında taze ağırlıklar 50 ppm Zn' da %42, 200 ppm Zn' da %70, 100 ppm Pb'da %50, 200 ppm Pb'da %60 oranında kontrole göre azalmıştır (Şekil 4.25). Kuru ağırlıklar ise 50 ppm Zn' da %38, 200 ppm Zn' da %47, 100 ppm Pb'da %40, 200 ppm Pb'da %50 oranında kontrole göre azalma görülmüştür. Uygulanan Pb ve Zn ağır metal konsantrasyonları bitkinin yapraklarında biyosentez olaylarını inhibe etmiş ve biyokütleyi azaltmış olmaktadır.

Pazı (*Beta vulgaris var. cicla*) bitkisinin yapraklarındaki taze ağırlıklar 50 ppm Zn' da %4, 200 ppm Zn' da %19, 100 ppm Pb'da %16, 400 ppm Pb'da %32 oranında kontrole göre azalmıştır (Şekil 4.31). Kuru ağırlıklar ise 50 ppm Zn' da %1.5, 200 ppm Zn' da %20, 100 ppm Pb'da %28, 200 ppm Pb'da %36 oranında kontrole göre azalmıştır (Şekil 4.33). Uygulanan Pb ve Zn ağır metal konsantrasyonları bitkinin yapraklarında biyosentez olaylarını inhibe etmiş ve biyokütleyi azaltmış olmaktadır. Karalahana bitkisi ile benzer sonuç görülmektedir.

Karalahananın (*Brassica olerace* var. *acephala*) gövdelerindeki taze ağırlıklar 50 ppm Zn' da %33, 200 ppm Zn' da %49, 100 ppm Pb'da %21, 400 ppm Pb'da %37 oranında kontrole göre azalmıştır (Şekil 4.26). Kuru ağırlıklar ise, 50 ppm Zn' da %23, 200 ppm Zn' da %24, 100 ppm Pb'da %16, 400 ppm Pb'da %24 oranında kontrole göre azalma görülmüştür (Şekil 4.29). Ağır metaller gövde de biyokütleyi azaltmış olmaktadır.

Karalahananın (*Brassica olerace* var. *acephala*) köklerindeki taze ağırlıklar 50 ppm Zn' da %64, 200 ppm Zn' da %83, 100 ppm Pb'da %70, 400 ppm Pb'da %74

oranında kontrole göre azalmıştır (Şekil 4.27). Kuru ağırlıklar ise, 50 ppm Zn' da %62.5, 200 ppm Zn' da %71, 100 ppm Pb'da %58, 400 ppm Pb'da %63.7 oranında kontrole göre azalma görülmüştür (Şekil 4.30). Ağır metaller kökte de biyokütleyi azaltmış olmaktadır.

Pazının (*Beta vulgaris* var. *cicla*) köklerindeki taze ağırlıklar 50 ppm Zn' da %16, 200 ppm Zn' da %25, 100 ppm Pb'da %27, 400 ppm Pb'da %32 oranında kontrole göre azalmıştır (Şekil 4.32). Kuru ağırlıklar ise 50 ppm Zn' da %39, 200 ppm Zn' da %42, 100 ppm Pb'da %43, 200 ppm Pb'da %59 oranında kontrole göre azalmıştır (Şekil 4.34). Uygulanan Pb ve Zn ağır metal konsantrasyonları bitkinin köklerinde kontrole göre biyokütlede azalmaya neden olmuştur. Karalahana ile benzer sonuç vermiştir.

Kurşun uygulanan *Hordeum vulgare* ve *Zea mays* bitkilerinin kök/gövde oranları kontrol bitkilerine göre azaldığı bildirilmiştir (Wierzbicka 1998).

Farklı konsantrasyonlarda kurşunun *Allium cepa, Zea mays, Brassica pekinensis* Rupr. ve *Brassica juncea* L. tohumlarının çimlenmesi ile kök ve fide gelişimini engelleyip, mitotik indeksi ve normal bölünen hücre sayısını olumsuz etkileyerek, kök ile gövdenin taze ve kuru ağırlıklarını azaltıp, klorozise neden olduğu belirtilmiştir (Yentür, 1995).

Çinkonun, fasulye bitkisinin kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada artan çinko konsantrasyonlarıyla ilişkili olarak kök, gövde ve yaprak büyümesinin azaldığı tespit edilmiştir (Zengin ve Munzuroğlu, 2005).

Çinkonun kök meristem hücrelerinde bölünecek olan hücrelerde birikerek profazın sonundaki olayları engelleyerek mitoz bölünmeyi engellediği ayrıca hücrelerin ligninleşmesini sağlayarak hem kök hem de gövde büyümesini engellediği ifade edilmiştir (El-Ghamery ve diğ., 2003).

Yapılan çalışmalarda Zn ve Pb' nun artşıyla genel olarak bitkilerin taze ve kuru ağırlıklarında azalmaya sebep olmuştur. Bu azalma farklı bitkilerde farklı miktarlarda görülmüştür.

Yüksek yapılı bitkilerde, siyanobakterlerde ve yeşil alglerde; fotosentezin diğer metabolik proseslere oranla ağır metal toksisitesine daha duyarlı olduğu belirtilmektedir (Lu ve ark. 2000).

Deney sonuçlarına göre, her iki bitkide de klorofil miktarı, uygulanan konsantrasyon arttıkça miktarı düşmüştür (Şekil 4.23 ve Şekil 4.24).

Çevresel stres faktörlerinin bitkiler üzerindeki etkilerini anlamak amacıyla sıkça başvurulan yollardan biri organizmadaki klorofil içeriğini belirlemektir. Çeşitli araştırıcılar tarafından metal kirliliğine bağlı olarak değişik bitki türlerinde klorofil miktarının azaldığı rapor edilmiştir. Örneğin, Bakır, çinko ve kurşun *Cladonia convoluta* ve *Cladonia rangiformis* likenlerine uygulandığında klorofil a/b oranının azaldığı, stroma ve grana lamellerinde yapısal bozuklukların meydana geldiği (Chettri ve diğ., 1998), *Brassica oleracea* var. *botrytis* klorofil a ve b miktarının kontrole göre azaldığı rapor edilmiştir (Chatterjee ve Chatterjee, 2000).

Pennisetum typhoideum ve *Phaseolus vulgaris* bitkilerine yüksek konsantrasyonda kurşun uygulandığında Alfa-Linolenik Asit miktarının değişmediği fakat aktivitesinin azaldığı, bunun sebebinin ise enzimin aktif bölgesindeki SH gruplarıyla kurşunun birleştiği ve böylece aktivitesini engellediği rapor edilmiştir. Ağır metal uygulanması sonucu ALA sentezinin ve dolayısıyla klorofil biyosentezinin engellendiği bildirilmiştir (Allan ve diğ., 1985).

Ağır metal stresine bağlı olarak klorofil içeriğinde görülen azalma, klorofil biyosentez yolunda iş gören enzimlerin ağır metaller tarafından engellenmesinin bir sonucu olabilir.

Bitkilerdeki Zn konsantrasyonları normal bitkilerde 5-100 ppm arasındadır. Görülen toksisiteler genellikle 400 ppm'den sonra başlamaktadır (Özbek ve diğ., 1995).

50 ppm Zn uyguladığımız karalahana yapraklarında 150 ppm, gövdede 50 ppm ve kökte ise 175 ppm Zn birikimi gözlenmiştir (Şekil 4.15). Bitkinin yaprak ve köklerinde normal seviyenin üzerinde bir birikim görülmüştür. En fazla birikim köklerde olmuştur.

50 ppm Zn uyguladığımız pazının (*Beta vulgaris var. cicla*) yapraklarında 284 ppm ve kökte ise 343 ppm Zn birikimi gözlenmiştir (Şekil 4.19). Kök ve yapraklarda normal sınırların üzerinde bir birikim olmuştur.

200 ppm Zn uyguladığımız karalahananın (*Brassica olerace* var. *acephala*) yapraklarında 249 ppm, gövdede 181 ppm ve kökte ise 508 ppm bir birikim gözlenmiştir (Şekil 4.16). En fazla birikim köklerde görülmüştür. Köklerdeki birikim ile limitlerde toksik etki göze çarpmaktadır.

200 ppm Zn uyguladığımız pazının (*Beta vulgaris* var. *cicla*) yapraklarında 223 ppm ve köklerinde ise 503 ppm birikim gözlenmiştir (Şekil 4.20). Bu bitkide de en fazla birikim köklerde ve toksik etki limitlerde olmuştur.

Her iki bitkide de oluşan Zn birikimleri birbiri ile paralellik göstermektedir.

Bitkilerde Pb konsantrasyonları normal bitkilerde 5-10 ppm arasındadır. Toksisite ise 30-300 ppm sınırları arasındadır (Pais ve Jones, 1997).

100 ppm Pb uyguladığımız karalahananın (*Brassica olerace* var. *acephala*) yapraklarında 7,8 ppm, gövdede 8,7 ppm ve köklerde ise 3,02 ppm birikim olmuştur (Şekil 4.17). En fazla birikim gövdede görülmektedir ve normal sınırlarda bir birikim olmuştur.

100 ppm Pb uyguladığımız pazının (*Beta vulgaris var. cicla*) yapraklarında 9,3 ppm ve köklerde ise 3,4 ppm birikim gözlenmiştir (Şekil 4.21). 100 ppm Pb' da bitki normal sınırlarda birikim saptanmıştır.

400 ppm Pb uyguladığımız karalahana (*Brassica olerace acephala*) bitkisinin yapraklarında 4,2 ppm, gövdede 9 ppm ve köklerinde ise 4,01 ppm birikim gözlenmiştir (Şekil 4.18). En fazla birikim sırasıyla gövdede, yaprak ve köklerde görülmüştür.

400 ppm Pb uyguladığımız pazı (*Beta vulgaris var. cicla*) bitkisinin yapraklarında 8 ppm ve köklerinde ise 5,1 ppm birikim gözlenmiştir (Şekil 4.22). Yapraklarda köklere göre daha fazla birikim olmuştur.

Pb uygulanan karalahana (*Brassica olerace acephala*) bitkisinde en fazla birikim gövdede olurken pazı (*Beta vulgaris* var. *cicla*) bitkisinde yapraklarda görülmüştür. Bu sonuca göre ağır metaller farklı bitki türlerinde farklı organlarda birikebilirler.

Karalahanada hem 100 ppm Pb hem de 400 ppm Pb uygulamalarında birikim sırasıyla gövde , yaprak ve kökte bulunmuştur. Pazıda ise kurşun birikimi köklere göre yapraklarda daha fazla görülmüştür. Pazıda düşük konsantrasyonlarda kurşunu yapraklara iletirken yüksek konsantrasyonlarda yapraklara iletim daha az olmuştur. Yüksek konsantrasyonda düşük konsantrasyona göre birikim köklerde daha fazla görülmüştür.

Metal içerikleri yüksek olan topraklarda bile karalahananın bu yükseklikten fazla etkilenmediği ve yine kendileri için yeteri kadar elementi absorpladığı görülmüştür (Gündoğdu, 2005). Ancak eser elementleri kabul edilebilir sınırların çok üzerinde ve bir sağlık tehlikesi oluşturabilecek düzeyde içeren topraklarda yetişen bazı bitkilerin eser element içeriklerinin çok yüksek olabileceği literatürde bildirilmiştir (Kabata - Pendias ve Pendias, 2000).

Wang ve diğ., (2009) saksılarda dört farklı konsantrasyonda ağır metal içeren topraklarda ürünler yetiştirmişlerdir. Ürünlerde ve topraktaki ağır metal birikimini belli aralıklarla ölçmüşlerdir. Sonuçta ürünlerden farklı zamanlarda alınan numunelerin ölçüm sonuçlarına göre ağır metal konsantrasyonlarının farklı ve bu farklılıktaki sıralamanın kök > gövde > tohum, yaprak olduğunu belirtmişlerdir. Topraktan bünyelerine aldıkları ağır metallerin de Zn, Cr > Cd, Cu > Pb şeklinde olduğunu saptamışlardır.

Triticum aestivum L. ve *Beta vulgaris* L. bitkileriyle yapılan çalışmada atık çamur miktarı arttıkça gövde+yaprakta Pb miktarı artmıştır. Bu da Pb'nin gövde ve yapraklara kadar taşındığını göstermektedir. Atık çamur miktarının aşırı artması bitkice alınan Pb miktarını düşürmüştür. Bu çalışma bizim çalışmamızla paralellik göstermektedir. Yine aynı çalışmada *Beta vulgaris* L. bitkisine uygulanan atık çamur uygulamasından sonra köklerdeki Zn miktarının yapraklardaki birikimin iki katı olduğu görülmüştür (Ekşi, 2007). Bizim çalışmamızda artan konsantrasyonlardaki Zn birikimi, hem karalahananın hem de pazının köklerinde yapraklardakinin yaklaşık iki katı kadardır.

Bizim bulgularımızda olduğu gibi, kanalizasyon atıklarının bulunduğu toprakta yapılan bir deneyde ise *Beta vulgaris* bitkisinde Zn, Cu, Mn, Cd, Pb ve Ni miktarlarına bakılmış ve köklerinde Cu, Zn ve Ni; gövdelerinde ise Mn, Cd ve Pb'u daha çok biriktirdiği belirlenmiştir.

Sonuç olarak, uygulanan Zn ve Pb ağır metalleri karalahananın ve pazının klorofil miktarlarında, taze ve kuru ağırlıklarında belli ölçülerde azalmalara sebep olmuştur.

Zn her iki bitkimizin köklerinde çok miktarda birikmektedir. Topraktan aldıkları Zn' yu toprak üstü organlarına daha az iletmektedirler. Köklerinde birktirdikleri Zn miktarı toksik olduğu halde yenilen toprak üstü organlarındaki Zn miktarının toksik olmadığı görülmektedir. Bulduğumuz sonuçlar bu bitkilerin toprak üstü organlarının çinkoyu normal sınırlar içinde biriktirmiş olduğundan, çinkoya toleranslı olduklarını fitoremediasyon açısından bu bitkilerin kullanılabileceği söylenebilir.

Pb ağır metalini, hem karalahananın hem pazının Zn birikiminin aksine olarak toprak üstü kısımlarında köklerden daha fazla biriktirmiş olduğu saptanmıştır.

Her iki bitkimizin organlarında aşırı miktarda Pb birikimi gözlenmemiştir. Karalahanada alınan az miktardaki kurşun konsantrasyonlarının özellikle gövdede lokalize olması bitkinin kök ve yapraklarında gelişen fitotoksisite derecesini düşürdüğünü düşündürmektedir. Pazıda ise biriken Pb miktarı, toprak üstü organlarında köktekinden fazladır. Her iki bitkide de köklerden toprak üstü organlarına taşınan Pb miktarı kökte birikenden fazladır.

Pb ve Zn ağır metaline maruz kalan her iki bitkide de konsantrasyon artıkça, taze ve kuru ağırlıklarında azalmalar görülmüştür.

Metal kirlilik düzeyinin yüksek olduğu tarım alanlarında bitkinin yenilebilir kısımlarında metal birikimlerine belirli bir limite kadar azda olsa izin verildiğinden *Brassica olerace* var. *acephala* ve *Beta vulgaris* var. *cicla* Zn ağır metalini köklerinde biriktirip toprak üstü organlarına daha azını ilettiğinden Zn bakımından zengin topraklarda yetiştirileceği düşünülebilir. Yüksek kurşun konsantrasyonlarına maruz kalan her iki bitki Pb miktarını normal seviyelerde biriktirdiğinden Pb bakımından zengin topraklarda yetiştirilebilir.

Birinci derece üretici olan bitkiler ile bu ağır metal kirliliği doğrudan onları tüketen bizleri etkilemektedir. Bu yüzden tüketilen bitkilerin ne miktarda ağır metal biriktirdiğini bilmemiz faydalı olacaktır.

Bu tez çalışmasında karalahana ve pazıda kurşun ve çinko stresi araştırılmıştır. Farklı yoğunluklarda verilen metalleri yaprak, kök ve gövdede birikimleri incelenmiş ve bu bitkilerin Zn bakımından zengin topraklarda yetiştirilebileceği sonucuca varılmıştır.

6. KAYNAKLAR

AKSU, E. ve YILDIZ, N., 2004, Heavy Metal Stress and Tolerance of Plants. *International Soil Congress on Natural Resource Management for Sustainable Development.* Erzurum.

ALLAN, K., STOBART, W., GRIFFITHS, T., AMEEN-BUKHORI ve SHERWOOD, R.P., 1995, Effect of Cd+2 on the biosynthesis of chlorophyll in leaves of barley, *Physiol. Plant*, 63, 293-298.

Anonim 1, http://tr.wikipedia.org/wiki/Paz%C4%B1 (04.06.2011.)

ARNON, D., 1949, Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris, Plant Physiology,* 24, 1-15.

AYAZ, F.A. ve A. KADIOĞLU., 1997, Ağır Metallerin (Zn, Cd, Cu, Hg) Çimlenen *Lens* esculenta L. Tohumlarındaki Çözünür Protein Bantları Üzerine Etkileri, *Tr. J. of Bot.,* 21 (2), 85-88.

AZEVEDO, R.A. ve LEA, P. J., 2005, Toxic metals in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology.* 17-1.

BAYÇU, G., 1995, *Ailanthus Altissima' da Kadmiyum Toleransı ve Fitokelatin Oluşumu,* Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bölümü. 11.

BAYÇU, G., 2003, Çevre Kirliliğinin Bitkilerle Giderilmesi: Fitoremediasyon, 21. Yüzyılın Bilimi Biyolojide Son Gelişmeler V (Sistematik ve Çevre Biyolojisi), Yaz Eğitimi, İÜ. Fen Fak. Biyoloji Bölümü, 114-124.

BAZZAZ, F.A. ve ROLFE, P. Windle., 1974, Differing Sensitivity of Corn and Soybean Photosynthesis and Transpiration to Lead Contamination, *J. Environ. Qual*., 3, 156-158.

BORISS, H., BRUNKE, H. ve KREITH, M., 2006, Commodity Profile: Cauliflower Agricultural Issues Center Unıversity Of California http://faostat.fao.org/faostat/collections.

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

CHATTERJEE, J. ve CHATTERJEE, C., 2000, 'Phytoyoxicity of cobalt, chromium and copper in cauliflower', *Environmental Pollution,* 109, 69-74.

CHETTRI, M.K., COOK, C.M., VARDAKA, E., SAWIDIS, T. ve LANARAS,T., 1998, The Effect of Cu, Zn and Pb on the chlorophyll content of the lichens Cladonia convoluta and Cladonia rangiformis, *Environ. Exp. Bot.,* 39, 1-10.

DUDKA, M., ve TERELAK, H., 1996., Transfer of Cadmium, Lead, and Zinc From Industrially Contaminated Soil to Crop Plants, A Field Study. *Environmental Pollution*, 94, 181-188.

EKMEKÇİ, Y., 2008, et al., Effects of Cadmium on Antioxidant Enzyme and Photosynthetic Activities in Leaves of Two Maize Cultivars*, J. Plant Physiol*., 165, 600-611.

EKŞİ, A., 2007, *Atıksu Arıtma Tesislerinden Elde Edilen Çamurlar Kullanılarak Yetiştirilen Triticum Aestivum L. Ve Beta Vulgaris L.'te Ağır Metal Taşınımının İncelenmesi,* Yüksek Lisans, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bölümü.

EL-GHAMERY, A.A., EL-KHOLY, M.A. ve EL-YOUSSER, A., 2003, Evaluation of cytological effects of Zn+2 in relation to germination and root growth of Nigella sativa L. And Triticum aestivum L., Mutation Research, 537, 29-41.

EPA, 2000, Environmental Protection Agency, " Introduction to Phytoremediation", *Epa/600/R-99/107,* Cincinati, Ohio, U.S.A, p 72.

EŞİYOK D. ve BOZOKALFA, K., 2007, Pazı Yetiştiriciliği (*Beta vulgaris* subsp. *cicla*) ve Besin İçeriği , E.Ü. Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü http://www.forumfood.net/pazi-yetistiriciligi-beta-vulgaris-subsp-cicla-ve-besin-icerigi-t3733.html [(Erişim tarihi : 10.05.2011].

FARNHAM, M.W., GURUSAK, M.A., ve WANG., 2000, Calcium and Magnesium Concertration of Inbred and Hybrid Broccoli Heads, *J. Amer. Soc. Hort. Sei.,* 125, 344-349.

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

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

GUPTA, A. K., ve SINHA, S., 2006, 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.

GÜNDOĞDU, A., 2005, *Karalahanalarda (Brassica oleracea var. acephala) Bazı Element Tayinleri,* Yüksek lisans. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

GÜRHAN. C., 1995a, Lahana Yetiştiriciliği, Sebzecilik, Anadolu Üniversitesi, 263-264.

GÜRHAN. C., 1995b, Pazı Yetiştiriciliği, Sebzecilik, Anadolu Üniversitesi, 255.

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

HAKTANIR, K. ve ARCAK, S., 1998, Çevre Kirliliği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:1503, Ankara.

HEANEY, R.P. ve WEAVER, C.M., 1990, Calcium Absorpstion from Kale. *Amer. J. Clinic Nutr.,* 51, 656-657.

HENRY, J., 2000, An overview of the Phytoremediation of Lead and Mercur,. U.S. Epa, Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation Office. 51.

JANA, T. Dalal., ve BARUA, B., 1987, Effects and Relative Toxicity of Heavy Metals on Cuscuta reflexa, *Water, Air and Soil Pollution*, 33, 23-27.

KABATA – PENDIAS, A. ve PENDIAS, H. 1984, *Trace element in soils and plants*. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida.

KOÇ E. ve ÜSTÜN A. S. , 2008, Patojenlere karşı bitkilerde savunma ve antioksidantlar, *Erciyes Üni. Fen Bilimleri Enst. DER.* 24 (1-2), 82- 100

KUKKOLA, E., RAUTİO, P. ve HUTTUNEN, S., 2000, Stress indications in copper and nickel-exposed Scots pine Seedlings, *Envirolmental and Experimental Botany,* 43, 197-210.

LANE, E. S. MARTIN., 1980, Further Observations on the Distribution of Lead in Juvenile Roots of Raphanus sativus. *Z.Pflanzenphysiol*, 97, 145-152.

LICHTENTHALER, H.K., 1998, The stress concept in plants: An introduction, *Annals of The NewYork of Sciences,* 851, 187 – 198.

LOMBARDI, L, 2005, Copper toxicity in Prunus cerasifera: growth and antioxidant enzymes responses of in vitro grown plants, *Plant Sciens,* 168, 797-802.

LORING, D.H. ve RANTALA, T.T., 1992, 'Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter' , *Earth- Sciens. Review,* 32, 235-83.

LU, C.M., CHAU, C.W., ve ZHANG, J.H., 2000, Acute Toxicity of Excess Mercury on The Photosynthetic Performance of *Cyanobacterium, S. Platensis*- Assessment by Chlorophyll Fluorescence Analysis. *Chemosphere.,* 41, 191-196.

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

MARKERT, B., 1993, Plant as biomonitors: Indicators for heavy metals in the terrestria environment, B.Markert (ed), VCH Weinheim, New York/Basel/Cambridge.

MOUSTAKAS, M., LANARAS, T., SYMEONIDIS, L. ve KARATAGLIS, S., 1994, Growth and SomePhotosynthetic Charecteristics of Field Grown Avena sativa Under Copper and Lead Stres, *Photosynthetica*, 30, 389-396.

NRIAGU, J. O., 1992, "Toxic metal pollution in Africa", *Sci. Total Environ*., 121, 1-37.

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

ÖKTÜREN, F. ve SÖNMEZ, S., 2006, Ağır metal Toksisitesinin Bitki Metobolizması Üzerine Etkileri, Derim 23 (2), 36-45.

ÖZBEK, H., KAYA, Z., GÖK, M ve KAPTAN, H., 1995, *Toprak Bilimi*. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fak. Genel Yayın No: 73 Ders Kitapları Yayın No:16, ADANA.

PAIS, I. ve JONES, Jr. J.B., 1997, The Handbook of trace elements, St. Lucie Pres, Boca Raton, Fla.,223 pp.

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

REEVERS, R.D. ve BAKER, AJM., 1999, Metal-accumulating plants. In Phytoremediation of toxic Metals: Using Plants to Clean up the Environment, eds, I Raskin, BD Ensley, pp 193-229, John Wiley&Sons Inc, New York.

ROUT, G.R. ve DAS, P., 2003, Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism: I.Zinc. *Agronomie* 23, 3-11.

SALT, D.E., BLAYLOCK, M., KUMAR, P.B.A.N., DUSHENKOV, V., ENSLEY, B.D, CHET, I., ve RASKIN, I., 1996, Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Biotechnol*., 13, 468-474.

SANCHEZ, G., MOYANO, A. ve MUNEZ, C., 1999, 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.

SHARMA, P. ve DUBEY, R.S., 2005, Lead toxicity in plants. *Braz. J. Plant Physiol*., 17 (1), 35-52.

SINBA, H. S. ve TRIPATHI, R., 1993, Influence of Some Growth Regulators and Cations on the Inhibition of Chlorophyll Biosynthesis by Lead in Maize, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 51, 241-246.

SOMERS, E., 1974, The toxic potential of Trace Metals in Foods. *A Review*, 39, 215-217.

SAWIDIS, T., MAMASIDIS, A., ZACHARIADIS, G. ve STRATIS, J., 1995, "A study of air pollution with heavy metals in Thessaloniki city (Greece) using trees as biological indicators", *Arch Environ Contam Toxicol*, 28, 118-124.

TERRY, N., SAMBUKUMAR, S.V. ve LEDUC, D.L., 2003, Biotechnological approaches for enhancing phytoremediation of heavy metals and metalloids. *Acta Biotechnol.*, 23, 281–288.

VAILLANT, N., MONNET, F., HITMI, A., SALLANON, H. ve COUDRET, A., 2005, Comparative study of responses in four Datura species to a zinc stress. *Chemosphere*, 59, 1005-1013.

VAN ASSCHE, F.V ve CLIJTERS, H., 1990, Effects of metals on enzyme activity in plants. *Plant Cell Environ*. 13, 95-206.

VANLI Ö., ve YAZGAN M., 2001, Ağır Metallerle Kirlenmiş Toprakların TemizlenmesindeFitoremediasyonTekniği, www.tarimsal.com/fitoremediasyon/fitoremediasyon.html. (10.01.2011)

WANG, S., NAN, Z., LIU, X., LI.,Y., QIN, S. ve DING. H., 2009, Accumulation and bioavailability of copper and nickel in wheat plants grown in contaminated soils from the oasis, northwest China, *Geoderma,* 152, 290-295.

WIERZBICKA, W., ve OBIDZINSKA, J., 1998, The Effects of Lead on Seed Imbibitions and Germination in Different Plant Species, *Plant Science*, 137, 155-171.

YAĞMUR, B., KAVAK, S., UĞUR, A., BOZOKALFA, M.K., ve EŞİYOK, D., 2003, Potasyum Uygulamalarının Savoy Lahanasında (*Brassica oleracea* L. var. *sabauda*) Verim ve Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi, *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg*., 40 (2), 113-120.

YASSOGLU, Y., C., KOSMAS, J. ASIMAKOPOULOS ve C. KALLIAOUN., 1987, Heavy Metal Contamination of Roadside Soils in the Greater Athens Area, *Environmental Pollution*, 47, 293-304.

YENTÜR, S., 1995, *Bitki Anatomisi*, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 296-447.

ZENGİN, K.F ve MUNZUROĞLU, Ö., 2005, Fasulye Fidelerinin (Phaseolus vulgaris L.Strike) Klorofil ve Karotenoid Miktarı Üzerine Bazı Ağır Metallerin (Ni+2, Co+2, Cr+3, Zn+2) Etkileri, *F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 17 (1), 164-172.