T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KADMİYUM ÇİNKO İNTERAKSİYONUNUN KARABUĞDAYIN (*Fagopyrum esculentum*) GELİŞİMİ VE METABOLİZMASINA ETKİSİ

Nurdan OLGUNÇELİK KAPLAN

YÜKSEK LİSANS

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Kasım-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KADMİYUM ÇİNKO İNTERAKSİYONUNUN KARABUĞDAYIN (*Fagopyrum esculentum*) GELİŞİMİ VE METABOLİZMASINA ETKİSİ

Nurdan OLGUNÇELİK KAPLAN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayşen AKAY

2018, 106 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Ayşen AKAY
Prof. Dr. Cevdet ŞEKER
Doç. Dr. Hatice DAĞHAN

Bu tez çalışması farklı dozlarda çinko (Zn) ve kadmiyum (Cd) uygulamalarının; karabuğday bitkisinin gelişimi, verimi ve kalitesine etkisini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Denemede; 2 farklı karabuğday (Güneş ve Aktaş) çeşidi kullanılmıştır. Kadmiyum 0-12.5-25-50-100 mg Cd kg^{-1} dozlarında, $3CdSO_4.8H_2O$ formunda ve Zn 0-10-30 mg Zn kg^{-1} dozlarında, $ZnSO_4.7H_2O$ formunda uygulanmıştır. Deneme sera koşullarında 5 ay boyunca yürütülmüştür.

Elde edilen bulgulara göre ortalama bitki boyu 32.42-65.58 cm, tane verimi 77.4-359.5 kg da^{-1}, biyomas verimi 47-1517 kg da^{-1}, bin tane ağırlığı 22.20-30.92 g arasında değişmiştir. Yeşil aksam Cd içeriği 0.17-9.67 mg kg^{-1}, tane Cd içeriği 0.01-1.56 mg kg^{-1} ve yaprak Cd içeriği 1.75-43.82 mg kg^{-1} arasındadır ve artan Cd dozları arasında önemli farklılıklar ($p<0.01$) bulunmuştur. Yeşil aksam Zn içeriği 9.87-28.14 mg kg^{-1}, tane Zn içeriği 24.37-44.52 mg kg^{-1} ve yaprak Zn içeriği 33.76-107.07 mg kg^{-1} arasındadır. Hem Aktaş hem de Güneş çeşidinde yeşil aksam, yaprak ve tane Zn içeriği artan Zn dozları ile önemli farkılık göstermiştir ($p<0.01$).

Yeşil aksam ve tane ile kaldırılan Cd miktarı artan Cd dozlarıyla artmıştır ($p<0.01$). Tane ile kaldırılan Zn, artan Zn dozlarıyla değişmiş; Cd fitoekstraksiyon kapasitesi Cd dozları ile artmıştır ($p <0.01$). Çinko fitoekstraksiyon kapasitesi ortalama değerler dikkate alındığında; Zn dozları arasında istatistiki fark bulunmuştur ($p<0.01$). Kadmiyum transfer faktörü (TF) değeri 0.35-6.83 mg kg^{-1} ve Zn TF değeri 5.88-66.22 mg kg^{-1} arasındadır. Zn - TF her iki çeşitte de artan Zn dozları ile genel olarak azalmıştır ($p<0.01$).

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, Çinko, *Fagopyrum esculentum*, Fitoremediasyon, Kadmiyum, Kadmiyum toksisitesi, Karabuğday.

ABSTRACT

MS THESIS

THE EFFECT OF CADMIUM AND ZINC INTERACTION ON THE DEVELOPMENT AND METABOLISM OF BUCKWHEAT (*FAGOPYRUM ESCULENTUM*)

Nurdan OLGUNÇELİK KAPLAN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN SOIL SCIENCE AND PLANT NUTRITION DEPARTMENT

Advisor: Prof. Dr. Ayşen AKAY

2018, 106 Pages

Jury
Advisor Prof. Dr. Ayşen AKAY
Prof. Dr. Cevdet ŞEKER
Assoc. Prof. Dr. Hatice DAĞHAN

This study was carried out to determine the effect of different doses of zinc (Zn) and cadmium (Cd) on the growth, yield and quality of buckwheat plants. In the trial; 2 different buckwheat variety (Günes and Aktas) were used. Cadmium was applied in doses of 0-12.5-25-50-100 mg Cd kg^{-1} as $3CdSO_4.8H_2O$ and zinc was applied as $ZnSO_4.7H_2O$ in doses of 0-10-30 mg Zn kg^{-1}. The experiment was carried out in greenhouse conditions for 5 months.

According to the results, average plant height, the grain yield, biomass yield, and thousand grain weight were changed between 32.42-65.58 cm, 77.4-359.5 kg da^{-1}, 47-1517 kg da^{-1} and 22.20-30.92 respectively. The contents of Cd in the stem, seed, and leaf were changed between 0.17-9.67 mg kg^{-1}, 0.01-1.56 mg kg^{-1}, and 1.75-43.82 mg kg^{-1}, respectively and in these data with increasing of Cd doses were found statistically significant differences ($P < 0.01$). The content of Zn content in the stem, seed, and leaf was changed 9.87-28.14 mg kg^{-1}, 24.37-44.52 mg kg^{-1}, and 33.76-107.07 mg kg^{-1}, respectively. The Zn content in stem, leaf, and seed were statistically significant ($P < 0.01$) with increasing of Zn doses both Aktaş and Güneş variety.

The amount of Cd uptake with plant aboveground part and grain increased with increasing Cd doses ($p<0.01$). The amount of Zn removed with grain changed with increasing Zn doses. Cd phytoextraction capacity increased with Cd doses ($p<0.01$). Considering the mean values of Zn phytoextraction capacity was found statistically significant ($p<0.01$) difference between Zn doses. The cadmium TF value is 0.35-6.83 mg kg^{-1} and the zinc TF value is 5.88-66.22 mg kg^{-1}. Zn-TF was generally decreased in both species with increasing Zn doses ($p < 0.01$).

Keywords: Heavy metal, Zinc, *Fagopyrum esculentum*, Phytoremediation, Cadmium, Cadmium toxicity, Buckwheat.

ÖNSÖZ

Hızla gelişmeye devam eden sanayi, kentsel trafik, kömür ve fosfatlı gübreler Cd'nin çevreye salınmasında ki başlıca unsurlardır. Bu çalışmada, insan sağlığı ve tarımsal üretim için son derece tehlikeli olabilen Cd'nin alınabilirliğinin Zn ile kısıtlanma olasılığının araştırılması ve özellikle son zamanlarda faydalı bir besin maddesi olarak tüketilen, ayrıca arıcılıkta da önemli bir yere sahip olan karabuğday *(Fagopyrum esculentum)* bitkisinin yeşil aksam ve tanelerinde Cd birikim seviyesinin incelenmesi amacıyla hareket edilmiştir.

Yüksek lisans çalışmamın her aşamasında bana yardımcı olan, beni her konuda yönlendiren, bilimsel bilgi ve tecrübeleriyle beni aydınlatan değerli hocam, tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Ayşen AKAY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda bilgi birikiminden yararlandığım Sayın Öğr. Gör. Hamza NEGİŞ'e ve analiz çalışmalarımda yardımları olan Kimyager Ali KAHRAMAN ve Toprak Lab. Görevlisi Öznur YALÇIN'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeden sürekli yanımda olan aileme ve eşim Yaşar KAPLAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca bu araştırmanın gerçekleştirilmesine destek sağlayan Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü yetkililerine teşekkür ederim.

Nurdan OLGUNÇELİK KAPLAN
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **4**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **14**

3.1. Materyal 14
3.1.1. Araştırmada kullanılan toprak materyali 14
3.1.2. Bitki materyalinin özellikleri 14
3.1.3. Ağır metaller 15
3.2. Yöntem 15
3.2.1. Toprak hazırlığı 15
3.2.2. Saksı denemesi ve yürütülmesi 15
3.2.3. Toprak analizleri 17
3.2.3.1. Toprak tekstürü 17
3.2.3.2. Toprak reaksiyonu (pH) 17
3.2.3.3. Toplam tuz analizi 17
3.2.3.4. Kireç tayini 17
3.2.3.5. Organik madde miktarı 17
3.2.3.6. Fosfor tayini 17
3.2.3.7. Bitki tarafından alınabilir mikro element ve ağır metallerin tayini 17
3.2.3.8. Ekstrakte edilebilir katyonlar tayini 18
3.2.4. Bitki analizleri 18
3.2.4.1. Bitki yaş ve kuru ağırlığı 18
3.2.4.2 Bitki boyu uzunluğu 18
3.2.4.3. SPAD değeri 18
3.2.4.4. Yaprak oransal su içeriği 19
3.2.4.5. Biyomas 19
3.2.4.6. Tane verimi 19
3.2.4.7. Bin tane ağırlığı 19
3.2.4.8. Tane sayısı 19
3.2.4.9. Bitki başına tane verimi 19
3.2.4.10. Yaprak, tane ve yeşil aksam element konsantrasyonları 20
3.2.4.11. Yeşil aksam tarafından kaldırılan Cd ve Zn miktarları 20

3.2.4.12. Tane tarafından kaldırılan Cd ve Zn miktarları 20
3.2.5. Fitoremediasyon Parametreleri 20
3.2.5.1. Fitoekstraksiyon kapasitesi 20
3.2.5.2. Taşıma faktörü 21
3.3. İstatistiksel Değerlendirme 21

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 22

4.1. Bitki Boy Uzunluğu 23
4.2. Yaprak Klorofil Miktarı 26
4.3. Tane Verimi 29
4.4. Biyomas 31
4.5. Bin Tane Ağırlığı 32
4.6. Bitki başına tane verimi 33
4.7. Yaprak oransal su içeriği 34
4.8. Tane Sayısı 36
4.9. Karabuğday Bitkisinin Yeşil Aksam, Tane ve Yaprak Cd İçerikleri 37
4.10. Karabuğday Bitkisinin Yeşil Aksam, Tane ve Yaprak Zn İçerikleri 47
4.11. Yeşil Aksam ile Kaldırılan Kadmiyum Miktarı 54
4.12. Yeşil Aksamlar ile Kaldırılan Zn Miktarı 61
4.13. Tane ile Kaldırılan Cd Miktarı 65
4.14. Tane ile Kaldırılan Zn Miktarı 69
4.15. Kadmiyum ve Zn Uygulamalarının Karabuğday Bitkisinin Fitoekstraksiyon Kapasitesine Etkisi 73
4.16. Taşıma Faktörü 78

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 85

KAYNAKLAR 89

ÖZGEÇMİŞ 97

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

$CdSO_4$	Kadmiyum Sülfat
$ZnSO_4$	Çinko Sülfat
HCI	Hidroklorik Asit
Cd	Kadmiyum
S	Kükürt
Cu	Bakır
Fe	Demir
Mn	Mangan
B	Bor
Mo	Molibden
Pb	Kurşun
Ni	Nikel
Zn	Çinko
Na	Sodyum
K	Potasyum
Ca	Kalsiyum
Mg	Magnezyum

Kısaltmalar

SPAD	Soil Plant Analytical Division
YA	Yaş Ağırlık
KA	Kuru Ağırlık
TA	Turgor Ağırlığı
TF	Taşıma Faktörü

1. GİRİŞ

Toprak, tarımsal ürünlerin büyümesi ve geliştirilmesi için bir temel teşkil eder. İz seviyelerinde ağır metaller toprağın doğal bileşenleri olmasına rağmen, madencilik, yerel tarım ve atık su uygulaması gibi artan antropojenik faaliyetler topraktaki ağır metal seviyelerini arttırmıştır. (Sharma ve ark., 2007).

Metallerin türüne, topraktaki konumuna, metallerin toprakta bulunan konsantrasyonlarına bağlı olarak miktarları iz seviyeden 100.000 mg kg^{-1}'e kadar artabilmektedir (Blaylock ve Huang, 2000).

Ağır metal kirliliği, ürünlerin güvenli yetiştirilmesi göz önüne alındığında tarımsal topraklarda ortaya çıkan önemli bir sorun haline gelmiştir (Huang ve ark., 2007; Wei ve Yang, 2010)

Ağır metaller son derece kalıcıdırlar ve binlerce yıl toprak matrislerinde tutulma eğilimindedirler. Topraktaki ağır metaller mikroorganizmalar, bitkiler ve hayvanlar için toksiktirler. Ayrıca, insan vücuduna girdikten sonra insan sağlığını etkileyerek çeşitli hastalıklara neden olabilmekte, buna ek olarak ise toprak verimliliğini olumsuz etkilemektedirler (Sun ve ark., 2001).

Sanayi atıkları dahil belediye katı atıklarının toprağa bırakılması, toprakta ağır metal kirliliğine neden olmaktadır (Reddy ve Pattnaik, 2009). Kirliliğin nedeni olan ağır metaller, petrol ürünleri ve tehlikeli atıklar da dahil olmak üzere çok çeşitli inorganik ve organik toksik maddelerin kaynağıdır (Ghosh ve Singh, 2005). İnorganik kirleticilerin ana bileşeni ağır metallerdir ve yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır (Reddy ve Pattnaik, 2009). Ağır metaller doğada kalıcı olmalarından dolayı toprağa zarar vermekte ve biyosferde su kirliliğine neden olmaktadır (Lasat, 2002). Ağır metallerin kalıcılığı, biyoakümülasyon ve biyomagnifikasyonlar sebebiyle insan, bitki ve hayvanlar için ekotoksisiteye neden olduğundan dolayı çevre için büyük bir endişe kaynağıdır (Kirkham, 2006). Çinko, bakır (Cu), mangan (Mn) ve nikel (Ni) gibi bazı ağır metaller insanlar, hayvanlar ve bitkiler için önemli mikro besin elementleridir. Civa (Hg), Cd, arsenik (As) ve kurşun (Pb) gibi elementler ise canlılar için oldukça toksik etkiye sahiptirler (Intawongse ve Dean, 2006).

Sanayi ve tarımdaki son gelişmeler, tarım topraklarında Cd düzeylerinin yükselmesine neden olmuştur (Lim ve ark., 2013). Kadmiyum, topraklarda yüksek hareket kabiliyetine sahip olduğu için, Cd ile kirli olan topraklarda yetişen bitkilerde

Cd'nin birikimi insan ve hayvan sağlığı için ciddi tehdit oluşturmaktadır (Sarwar ve ark., 2010).

Kadmiyum normalde topraklarda düşük konsantrasyonlarda bulunmaktadır ve yüksek mobilite ve toksisitesi nedeniyle, düşük konsantrasyonda bile ortamdaki en toksik ağır metallerden biri olarak bilinmektedir (Wagner, 1993; Farmer ve Farmer, 2000).

Kadmiyumun besin zincirine girişi çok sayıda sağlık sorunlarına risk teşkil etmesi nedeniyle en aza indirilmelidir. Kadmiyum fitotoksisitesini en aza indirgemek ve besin zincirine girmesini kısıtlamak için tasarlanan stratejilerin birçoğu tahıllarda ve diğer yenilebilir bitkilerde nispeten az miktarda Cd biriktiren bitki veya çeşitlerin seçimi ve yetiştirilmesini içermektedir (Usman ve ark., 2012). Bununla birlikte bu yaklaşım, düşük Cd içeren gıdaları üretmek için, yeni çeşitlerin geliştirilmesi ve test edilmesi için uzun zaman gereken periyot ile sınırlandırılmıştır. Gıda zincirine Cd girişimini en aza indirgemenin bir yaklaşımı olan fitoekstraksiyon, topraktan kadmiyumu kaldırmak için hiperakümülatör bitkilerin kullanılmasını gerektirmektedir. Bununla birlikte, bu bitkiler yavaş büyümekte, çok düşük biyokütle üretmekte ve kirlenmiş bölgelerin iyileştirilmesi için uzun bir zaman gerektirmektedir (Saifullah ve ark., 2009).

Bitkilerde Cd toksisitesini azaltmak için bitki besin maddelerinin kullanımı gıdaların Cd ile kirlenmesini önlemek için nispeten ucuz, hızlı ve etkili bir yaklaşımdır. En elverişli bitki büyümesi için uygun miktarda ve uygun zamanda besin maddelerinin yeterli bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Bazı bitki besin maddeleri (azot (N), fosfor (P), Zn) Cd bulunabilirliği ve toksisitesi üzerinde doğrudan veya dolaylı etkiye sahiptir. Doğrudan etkiler, çökelme ve adsorpsiyonu etkileyerek toprakta Cd çözünürlüğünün azalması, aynı membran taşıyıcıları için Cd ile rekabet etmesi ve bitkilerin vejetatif kısımlarındaki Cd'nin tutulması ile taneye ya da yenilebilir kısımlara translokasyonunu önler. Dolaylı etkiler, bitki biyokütlesinin arttırılması ve fizyolojik stresin hafifletilmesi yoluyla Cd'nin seyreltilmesini içermektedir (Saifullah ve ark., 2014).

Çinko, bitkiler ve hayvanlar için vazgeçilmez bir iz elementtir ve Zn eksikliği ürünlerin üretiminde ve beslenme kalitesinde önemli düşüşlere neden olmaktadır (Graham ve Welch, 1996; Alloway, 2004)

Çoğunlukla Cd'nin, Zn ve kalsiyum (Ca) gibi elementler için taşıyıcılar tarafından alındığı kabul edilmektedir. Hiperakümülatör olmayan bitkilerde gözlemlenen Cd ve Zn arasındaki rekabetçi etkileşimler, Cd ve Zn'nin kök hücre

plazma membranları seviyesinde ortak bir taşıma sistemini paylaştıklarını ortaya koymaktadır (Hart ve ark., 2002).

Karabuğday, *Polygonaceae* familyasına aittir ve rutin antioksidanları içerdikleri için sağlıklı gıda olarak kabul edilmiştir (Morishita ve ark., 2007).

Avrupa ve Kuzey Amerika'da 19. yüzyıla kadar yaygın olarak yetiştirilen, ancak daha sonra özellikle Batı Avrupa'da terk edilmiş olan Asya kökenli eski bir bitkidir (Campbell, 1997). Bugün, bu ürüne, insan ve hayvan beslenmesi için kalitesi nedeniyle, dünya çapında yenilenmiş bir ilgi vardır. Karabuğday bitkileri yüksek biyolojik değere sahip proteinler, flavonoid rutin, polisakkaritler, diyet lifleri, lipitler, polifenoller ve mikro besinleri (mineraller ve vitaminler) içerir (Ahmed ve ark., 2014). Tarımsal ekosistemlerde karabuğday ek bir değere sahiptir, çünkü çok düşük gübre girdisi gerektirir, yabani otları bastırmaya yardımcı olur ve aynı zamanda böcekler ve bal arılarına yönelik önemli bir geç yaz besleme kaynağı sunar (Amelchanka ve ark., 2010). Karabuğday, tahıl ve pirinç için uygun olmayan yüksek rakımlarda gelişen önemli bir tarım bitkisidir (Gaberscik ve ark., 2002).

Dünya karabuğday üretim miktarı 2016 yılında 2.395.822 ton ve ilk beş üretici Rusya, Çin, Ukrayna, Fransa ve Polonya'dır. Verim açısından, 2016 yılındaki en büyük 5 ülke Fransa (37.347 hg ha^{-1}), Kırgızistan (28.150 hg ha^{-1}), Çek Cumhuriyeti (25.424 hg ha^{-1}), Bhutan (17.473 hg ha^{-1}) ve Polanya'dır (14.439 hg ha^{-1}) (FAOSTAT, 2018).

Bu çalışmanın amacını; farklı dozlarda ki Zn ve Cd ağır metallerince kirlenmiş topraklarda yetiştirilen karabuğdayın $Cd^{x}Zn$ etkileşimi altında Cd alım mekanizmasının ve Cd'nin taneye geçme derecesinin incelenmesi oluşturmaktadır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Türkiye'de, endüstriyel atıkların uygun olmayan bir şekilde çevreye bırakılmasından kaynaklanan Cu, Cd ve Zn ile kirlenmiş topraklar, birçok bölgede çevresel bir tehdit oluşturmaktadır (Abumaizar ve Khan, 1996).

Yoğunluğu 5.0 g cm^{-3}'ten daha yüksek olan metaller ağır metal olarak tanımlanır. Toprak, hava ve suda az miktarlarda bulunmaları halinde bile bütün canlılar için toksik olabilirler. Ağır metaller, Pb, krom (Cr), Ni, Cd, kobalt (Co), demir (Fe), Hg, Cu ve Zn olmak üzere 60'tan daha fazla metal içermektedir (Sanita di Toppi ve Gabbrielli, 1999).

Ağır metaller toksik ve çevrede kalıcı olmasından dolayı insan kaynaklı kirleticiler arasında tehlikeli grup olarak bilinmektedir (Huang ve ark., 2013). Genel olarak, Pb, Cr, Cu, Cd ve Zn gibi çeşitli ağır metaller, madencilik ve eritme atıklarında bulunmaktadır ve yakın yerlerde ki topraklarda birikebilecekleri gibi başka yerlere de taşınabilmektedir (Shao ve ark., 2008; Cao ve ark., 2015)

Bazı ağır metaller bitkiler için gerekli olmamakla birlikte bitkiler tarafından kolayca alınabilmekte ve bitkilerin çeşitli kısımlarında birikebilmektedir. Bu metaller besin zinciri yoluyla vücuda ulaşarak insan sağlığı için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır (Intawongse ve Dean, 2006). Yüksek dozlarda biriken ağır metaller, bitkileri etkileyerek bodur büyümeye neden olmakta ve biyokütle üretimini azaltmaktadır (Abe ve ark., 2006).

Ağır metaller bitkilerde transpirasyon, fotosentez, stoma hareketleri, enzim aktivitesi, protein sentezi, membran stabilitesi, çimlenme gibi bazı fizyolojik olaylara etki ederek, bozulmalara sebep olmaktadır (Kennedy ve Gonsalves, 1987). İnsanlarda ise ağır metaller, kemiklerde yumuşama, anemi, cilt kanseri, akciğer hastalıkları, kalp kası bozukluğu, hipertansiyon, alzhemier gibi ciddi hastalıklara neden olmaktadır (Plumlee ve ark., 2003).

Kadmiyum, Cr, Pb, As ve Hg gibi ağır metaller, çoğu zaman birincil kirleticiler olarak öne sürülür ve iki veya daha fazla metalin sinerjik etki olasılığı, ağır metallerle kirlenmiş bazı bölgelerde daha fazla önem taşımaktadır (Nan ve ark., 2002). Bu metaller, topraktan bitki kökleri ile alındıktan sonra dokularda konsantre olarak, hem bitki büyümesinde hem de buğdayın tane veriminde önemli azalmalara neden olurlar (Oncel ve ark., 2000; Athar ve Ahmad, 2002). Ağır metaller bitkide fotosentetik

aktivite, klorofil sentezi ve antioksidan enzimleri üzerine toksik etkilidir (Ouzounidou ve ark., 1997; Panda ve ark., 2003; Murzaeva, 2004).

Kirlenmiş toprakları temizlemek için çeşitli fiziksel ve kimyasal teknikler uygulanmaktadır ancak, hepsi yoğun maliyet ve emek gerektirmektedir ve ağır metallerle kirlenmiş büyük alanlara uygulanması olanaksızdır (Burns ve ark., 1996).

Bu teknikler toprağın biyolojisini bozmakta ve faydalı bakteriler ile P arttırıcı mikorizal mantarlar da dahil olmak üzere tüm flora ve faunayı bitki büyümesi için yararsız hale getirmektedir. Mikrobiyal biyoremediasyon teknolojisi ise organik maddelerin arındırılması için, inorganik ağır metallerin biyodegradasyonunda büyük ölçekli bir şekilde kullanışlı değildir. Toksik metallerin birikmesinden kaynaklanan sağlık tehlikelerinin bulunduğu ve bozulmuş araziyi geri kazanmak için metal ile kirlenmiş toprağın değiştirilmesi yüksek maliyet gerektirdiği için, alternatif ve daha ucuz teknikler geliştirme çabaları başlamıştır (Khan, 2003).

Bu alandaki mevcut araştırmalar şu anda kirlenmiş toprakları iyileştirmek için bitkilerin kullanılmasını ve şiddetli erozyon durumlarında toprak yapısının iyileştirilmesini kolaylaştırmayı içeren, yenilikçi bir teknik fitoremediasyon teknolojisi olarak bilinmektedir (Khan, 2003).

Fitoremediasyon teknolojisi, bitkilerin topraktan ağır metalleri kökleri ile alarak üst akşamlara taşınmasıdır. Ağır metallerin topraktan bitkinin yeşil aksamlarına taşınması ve biriktirilmesi, köklerin emilim kapasitesine dayanmaktadır (Hughes ve ark., 1997). Topraktaki ağır metallerle temas halinde bulunduklarından dolayı kökler, genellikle sürgünlerden daha fazla ağır metal içermektedirler (Satpathy ve Reddy, 2013).

Kirliliğin türüne ve derinliğine bağlı olarak topraklar için farklı iyileştirme yaklaşımları önerilmiştir; (Mulligan ve ark., 2001) fakat çoğu geleneksel iyileştirme yaklaşımları, metal kirliliğinin neden olduğu toksisiteye karşı kabul edilebilir bir çözüm sağlamamaktadır (Wang ve ark., 2007). Bu yöntemlerden sadece fitostabilizasyon, kirleticileri toprakta stabilize ederek zararsız hale getirir ve kirletici maddelerin yeraltı suyuna sızarak veya havadan yayılarak oluşabilecek daha fazla çevre kirliliği riskini azaltır (El Kheir ve ark., 2008).

Fitoekstraksiyon, topraktan gelen metalleri uzaklaştırmak için çevre dostu ve potansiyel olarak uygun maliyetli bir teknik olarak dünya çapında ilgi görmüştür. Hiperakümülasyon yapan bitki türlerinin kullanımı fitoekstraksiyon için umut verici bir strateji olarak önerilmiştir (McGrath ve ark., 2001). Hiperakumülatör bitkiler doğal

habitatlarında yetiştikleri zaman vejetatif aksamların kuru maddesinde > 100 mg kg^{-1} Cd > 1000 mg kg^{-1} Cu, Ni ve Pb ve > 10000 mg kg^{-1} Zn biriktirebilen yüksek bitkiler olarak tanımlanırlar (Baker ve Brooks, 1989).

Kadmiyum (yoğunluk =8.6 g cm^{-3}); güç istasyonları, ısıtma sistemleri, metal çalışma endüstrileri, atık yakma fırını, kentsel trafik, çimento fabrikaları ve fosfatlı gübrelerin yan ürünü olarak çevreye salınan yaygın ağır metallerdendir. Düşük antropojenik basınç alanlarında kadmiyum kaya mineralizasyon sürecinin bir sonucu olarakta serbest bırakılabilir (Sanita di Toppi ve Gabbrielli, 1999).

Kadmiyum, vasküler bitkiler (eğrelti otu, at kuyruğu gibi damarlı bitkiler) için dördüncü en zehirli metaldir. Amerikan Toksik Maddeler ve Hastalık Sicil Dairesi tarafından temin edilen ilk on öncelikli tehlikeli madde listesinde yedinci sırada yer almıştır ve bu nedenle çok ciddi bir kirletici olarak kabul edilmektedir (Kamnev ve van der Lelie, 2000). Bitki dokularında 8 mg kg^{-1}'i aşan toplam Cd miktarı ya da 0.001 mg kg^{-1}'i aşan çözünür Cd miktarı, bitkiler için toksik olarak kabul edilmektedir (Bohn ve McNeal, 1985; Kabata-Pendia ve Pendias, 1992).

Kirlenmemiş topraklarda ortalama Cd konsantrasyonu 0.06 ila 0.5 mg kg^{-1} arasında değişirken (Ryan ve ark., 1982), kirlenmiş topraklarda konsantrasyon 10 mg kg^{-1}'i aşabilmektedir (Peereboom-Stegeman ve ark., 1989).

Onder ve ark., (2007) tarafından 2003-04 yıllarında yapılan araştırmada; ağır metal kirliliği düzeylerini belirlemek için Konya il merkezinin 8 ayrı yerinden toprak örnekleri ve yeşil alanlardan çim örnekleri alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; toprak örneklerinde Zn ve Cd toksik düzeyde bulunmamıştır. Kadmiyum için elde edilen bulgularda sınır değerlerden daha düşük seviyeler görülmüştür ve inceleme alanında kadmiyum açısından risk bulunmamıştır. Çim bitkisi numunelerinde, Cd miktarı bitkiler için kritik seviyelerden daha yüksek düzeyde olduğu ve bitkilerde Cd kirliliğinin olduğu belirlenmiştir.

Fosfatlı gübreler, genellikle, gübrenin türetildiği kayadaki Cd içeriğine bağlı olarak, çeşitli konsantrasyonlarda Cd içermektedirler (Williams ve David, 1973). Fosforlu gübreler, toprak pH'sı, iyonik mukavemet, Zn konsantrasyonu ve bitki büyümesi üzerine etki ederek Cd'nin kullanılabilirliğini de etkileyebilir (Grant ve Bailey, 1997).

Daghan ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada Cd'nin artan dozlarıyla bitkilerin yeşil aksamının N, P ve K konsantrasyonlarında istatistiki olarak önemli derecede bir azalma gözlenmiştir. N/P ve N/K oranları her iki bitkide de Cd

konsantrasyonuna bağlı olarak azalma gösterirken P/K oranının fazla değişmediği görülmüştür.

Fosforlu gübrelerde kabul edilebilecek Cd sınır değerleri ülkelere göre bazı farklılıklar göstermektedir. Bu değer İsviçre, Norveç, Finlandiya'da 50 mg kg^{-1}, Isveç'te 100, Danimarka'da 110, Almanya ve Belçika'da 200, Avustralya'da 345, Hollanda' da 35 mg kg^{-1} olarak kabul edilmiştir.

Ülkemizde fosforlu gübre üretimi yapan 6 fabrikada üretilen fosforlu gübrelerin ve üretimde kullanılan fosforik asit ve fosfat kayasının ağır metal içeriklerinin tespit edilmesi amacıyla yapılan bir çalışmada fosfat kayasının (358 mg kg^{-1}) en yüksek Cd içeriğine sahip olduğu; fosforik asidin 95-128 mg l^{-1} Cd içerdiği; DAP, TSP ve kompoze gübrelerin % 87'sinde 8 mg kg^{-1} gübre sınır değerine yakın (7.5 mg kg^{-1}) ya da 2 - 5 kat daha fazla olduğu saptanmıştır (Köleli ve Kantar, 2005).

Kadmiyumun bitki kökleri tarafından alınması ve daha sonra gövdeye translokasyonu, bitki genetiği, toprak çözeltisinde Cd konsantrasyonu, kökten sürgüne geçiş kolaylığı, kuru madde üretimi gibi çeşitli faktörlerden etkilenir (Jarvis ve ark., 1976; Eriksson, 1990; Singh, 1990)

Kadmiyum topraklarda doğal olarak düşük konsantrasyonlarda bulunur ancak Batı Avustralya'daki bazik, aşınmış doleritten oluşan topraklar gibi bazı topraklarda daha yüksek olabilmektedir. Avustralya tarımında Cd'nin ana kaynağı fosfatlı gübrelerdir (Williams ve David, 1973). Bitki alımı için kadmiyumun bulunabilirliği toprak pH'ı, kil mineralojisi ve organik madde gibi birçok toprak faktörü tarafından kontrol edilmektedir (Oliver ve ark., 1995).

Kadmiyum açısından zengin toprakta yetişen bitkilerde genellikle Cd bakımından zengin olabilir, bu nedenle besin zinciri yolu ile vücuda alunan Cd çeşitli organlarda birikir. Gıdalarla alınan ve böbreklerde biriken Cd'nin coğrafi farklılıklara göre değiştiği bildirilmiştir (Kawada ve Suzuki, 1998). Çinko ve Cd biyolojik olarak parçalanmazlar ve canlı organizmalarda birikerek hastalıklara ve bozulmalara neden olurlar (Bilgin ve Tulun, 2016).

Kadmiyumun insan vücudunda fazla bulunmasından kaynaklanan tipik sağlık sorunları; böbrek yetmezliği, karaciğer hasarı, akciğer ödemi, anemi ve hipertansiyondur (Basta ve ark., 1998).

Bitkilerde, kritik seviyelerin üzerindeki Cd konsantrasyonları, bitki büyümesini ciddi ölçüde azaltabilmekte, çeşitli biyokimyasal ve fizyolojik etkilere müdahale ederek hücre ölümüne neden olmaktadır (Popova ve ark., 2009).

Topraktaki Cd, bitkilerde su stresi oluşturarak, stomal iletkenlik, transprasyon oranı ve yaprak bağıl su içeriğinin azalmasına neden olabilmektedir. Bu semptomlar hücre içi boşlukların azalması, kloroplastların sayısının azalması ve hücre genişlemesi gibi fizyolojik hasarlardan kaynaklanmaktadır (Chen ve Huerta, 1997).

Farklı bitki türlerinde yapılan çalışmalar, Cd'nin birtakım metabolik süreçlere müdahale edebileceğini göstermiştir. Kadmiyum, su ve besin alımını azaltır, kloroz ve yapraklarda nekroz, boy uzunluğunda azalma ve köklerin kızarması gibi bitkilerde ki görünür yaralanma belirtileri ile sonuçlanmaktadır. Fotosentetik aparat, bitkilerdeki Cd etkisinin hedef bölgelerinden biridir. Kadmiyum, fotosentetik aparatın farklı bileşenleri ile doğrudan veya dolaylı olarak etkileşir ve elektron taşıma verimliliğini azaltabilir, klorofil biyosentezini inhibe eder ve fotosentetik karbon asimilasyonunu azaltmaktadır (Maksymiec ve ark., 2007)

Akay (2007) tarafından yapılan bir çalışmada tritikalede Cd ve Zn arasındaki etkileşim yürütülen bir tarla denemesi ile araştırılmıştır. Kardeşlenme aşamasında ki tritikaleye Cd ve Zn, yaprak uygulaması ile (tek tek ve birlikte) Cd 0, 1, 2, 4, 6 (kg da^{-1}) dozlarında ve Zn 0, 1.5 ve 3 (kg da^{-1}) dozlarında uygulanmıştır. Yaprak örnekleri başlangıç aşamasında alınmıştır ve tane örnekleri ise hasattan sonra alınmıştır. Deneme sırasında hiçbir fitotoksik semptom görülmemiştir. Kadmiyum ve Zn uygulaması tritikale tane verimini etkilememiştir. Bayrak yaprağı ve tahıldaki Cd konsantrasyonları artan Cd uygulamasıyla artmış, ancak Zn uygulamasının artmasıyla azalmıştır. Tritikalede Cd ve Zn uygulaması ile N ve K konsantrasyonu değişmemiştir. Kadmiyum ve Zn uygulamasının farklı dozlarının tane Cd içeriğine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Artan Cd dozları, tahıldaki Zn içeriğini azaltmıştır.

Kadmiyumdan farklı olarak, Zn hem bitkiler hem de insanlar için önemli bir elementtir, ancak yüksek konsantrasyonlarda mevcut olması halinde de oldukça toksik olabilmektedir. Topraklarda ve bitkilerde Zn statüsünün ürünler için Cd birikiminde önemli rol oynadığı genel olarak kabul edilmektedir (Zhao ve ark., 2005).

Çinko, önemli bir bitki besin maddesidir ve Zn'nin eksikliği kök hücrelerinde membran bütünlüğünün kaybına neden olmakta (Cakmak ve Marschner, 1988) ve bu da Cd da dahil olmak üzere kütle akışıyla hareket eden iyonların seçici olmayan alımına neden olabilmektedir. Bitkilerde Zn'nin eksiklik seviyesi açıkça tanımlanmamıştır (Choudhary ve ark., 1995).

Çinko ve Cd kimyasal olarak benzemektedir ve toprak sistemindeki bağlanma alanları ve bitki içindeki alım sahaları için rekabet edebilmektedirler (Grant ve Bailey, 1997).

Çinko eksikliği, kök hücrelerinde zar bütünlüğünün kaybedilmesine (Cakmak ve Marschner, 1987) ve dolayısıyla kütle akışı yoluyla Cd'nin bitki içine hareketinin artmasına neden olabilir. Kadmiyum ve Zn'nin rekabet edebileceği değişen mekanizmalar sayesinde, Zn ilavelerinin bir bitki toprak sistemine nihai etkisi, topraktaki Cd ve Zn konsantrasyonlarına ve toprak ve bitki özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Grant ve Bailey, 1997).

Yapılan bir tarla çalışmasında, Cd içeren topraklara Zn ilavesinin, ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) ve makarnalık buğday (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) bitkilerinde Cd birikiminin azalmasına yardımcı olabileceği bildirilmiştir. Ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) ve makarnalık buğdayın (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) kök hücre plazma membranında Zn ve Cd'nin taşınma interaksiyonlarını incelemek, içerdiği mekanizmaları anlamak için bu çalışmada ^{109}Cd ve ^{65}Zn kullanılmıştır. Sonuçlar Cd^{+2} alımının Zn^{+2} tarafından engellendiğini ve Zn^{+2} alımının da Cd^{+2} tarafından engellendiğini göstermiştir ve Cd^{+2} ve Zn^{+2} arasında rekabetçi bir etkileşim olduğunu ortaya koymuştur. Bitkiye alınan Cd^{+2} ve Zn^{+2}'nin ekmeklik ve makarnalık buğdayın kök hücre plazma membranında ortak bir taşınma sistemini paylaştığı doğrulanmıştır (Hart ve ark., 2002).

Toprakta Cd konsantrasyonunun artması, gıda zincirine girme riski nedeniyle büyük bir endişe kaynağıdır. Kadmiyuma karşı antagonist olan Zn, bitkiler üzerindeki toksik etkilerini hafifletmek ve besin zincirine girmesini sınırlamak için önemli bir mikro besindir. Sarwar ve ark. (2015) tarafından topraktan ve yapraktan uygulanan Zn'nin buğday üzerindeki fizyolojik tepkisi ve Cd konsantrasyonu üzerine etkisini araştırmak için Cd ile kirlenmiş toprak (30 mg Cd kg^{-1} toprak, $3CdSO_4.\ 8H_2O$) kullanılarak bir saksı denemesi yürütülmüştür. Çinko, 15 ve 30 mg Zn kg^{-1} çinko sülfat ($ZnSO_4.7H_2O$) olarak toprağa uygulanmıştır. Yapraktan uygulamalar için 8 haftalık büyümenin tamamlanması üzerine 3 ve 6 g L^{-1} $ZnSO_4$ çözeltisi püskürtülmüştür. Sonuçlar Zn uygulamasının, Cd ile kirlenmiş topraklarda yetiştirilen buğdayın fizyolojik performansını ve mineral içeriğini etkili bir şekilde artırabileceğini göstermiştir. Uygulanan farklı Zn gübreleri arasında, 3g L^{-1} $ZnSO_4$ çözeltisinin yapraktan uygulanması durumunda maksimum çözünür proteinler ve minimum tane Cd konsantrasyonu olduğu, 6 g L^{-1} 'de $ZnSO_4$'un toprak uygulaması veya yaprak

uygulamasının tahıllarda Cd konsantrasyonunu etkilemediğini göstermiştir. Her iki yöntemle yapılan Zn uygulaması sürgünlerde P, K ve Zn konsantrasyonlarını önemli ölçüde arttırmıştır. Tanelerde P ve K konsantrasyonlarının artmasının Zn ile pozitif bir ilişkilerinin olduğunu göstermiştir.

Wu ve ark. (2005) Cd alımını dört arpa çeşidi ile iki Cd seviyesinde incelemek üzere bir hidroponik denemesini sera koşullarında yürütmüştür. Sonuçlar, kök ve sürgünlerdeki Cd konsantrasyonlarının solüsyondaki Cd seviyeleri ile arttığını ve köklerde Cd konsantrasyonunun sürgünlerdeki Cd konsantrasyonundan çok daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur.

Doğal tarla koşullarında yetiştirilen havuç (*Daucus carota* L.) bitkilerinde Cd ve Zn'nin büyüme ve biyokütle birikimi üzerindeki tek ve kombine etkilerini değerlendirmek üzere bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Tekli ve kombinasyon olarak 10 ve 100 μg mL^{-1} Cd, 100 ve 300 μg mL^{-1} Zn doğrudan toprağa uygulanmıştır ve havuç bitkileri, tarlada yetiştirilmiştir. Kadmiyum ve Zn'nin havuç üzerindeki farklı muamelelerinin etkileri yaprak sayısı, yaprak alanı, bitki boyu ve farklı bitki yaşlarındaki bileşen bazlı biyokütle birikimi açısından değerlendirilmiştir. Sonuçlar, Cd ve Zn'nin tek başına ve kombinasyon halinde uygulanmasının, ayrıca 100 μg mL^{-1} Zn ile işleme tabi tutulan bitkilerde kontrol grubuna kıyasla havuçta yukarıdaki parametrelerin önemli ölçüde etkilendiğini ortaya koymuştur. Ayrıca Cd ve Zn uygulamalarının biyokütle verimi üzerinde önemli etkileri olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmada havuçtaki büyüme ve biyokütle birikiminin, toprak/kök/gövde/yapraklardaki Cd ve Zn konsantrasyon oranlarından önemli derecede etkilendiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, Cd ve Zn interaksiyonlarının, tek tek Cd ve Zn uygulamalarına kıyasla, yukarıdaki parametreler üzerinde daha olumsuz etkileri olduğu gözlemlenmiştir (Sharma ve ark., 2008).

Sun ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada Cd ve Zn arasındaki etkileşimlerin fitoşelatin (PC) ve glutatyon (GSH) üretimi üzerindeki etkileri, buğday dokusunda 14 günlük süreyle incelenmiştir. Plastik saksılarda 3 günlük ön kültürden elde edilen fideler çeşitli Cd ve/veya Zn seviyelerine maruz bırakılmıştır. Kadmiyumun tek başına maruz kaldığı konsantrasyonlar (μmol L^{-1}); 0 (kontrol), 2 (Cd_1), 6 (Cd_2), 18 (Cd_3) ve 54 (Cd_4); Zn'nin tek başına maruz kaldığı konsantrasyonlar 0.76 (kontrol), 2 (Zn_1), 6 (Zn_2), 18 (Zn_3) ve 54 (Zn_4) ve eş zamanlı Cd ve Zn muamelesi 2+2 (Cd_1Zn_1), 2+18 (Cd_1Zn_3), 18+2 (Cd_3Zn_1) ve 18+18 (Cd_3Zn_3) şeklinde uygulanmıştır. Sonuçlar, Zn varlığının Cd toksisitesini hafiflettiğini ve bunun da Cd alımını azaltmaya yardımcı

olduğunu göstermiştir. Kadmiyum ve Zn maruziyeti, konsantrasyonlarda doku ve zamana bağlı davranışları PC-GSH düzeylerini arttırmıştır. Kadmiyum, PC-GSH üretiminde Zn'dan daha etkili olmuştur. PC-GSH üretimi ile alakalı olarak Cd ve Zn'nin etkileşimleri, metal kombinasyonlarının konsantrasyon ve maruz kalma süresine bağlı olarak güçlü bir şekilde sinerjik veya engelleyici olabilmektedir. Çinko GSH düzeyleri üzerinde anlamlı bir etkiye sahip değil iken Cd konsantrasyon, doku ve zamana bağlı davranışlarda GSH üretimini uyarmıştır. Tek başına Cd'nin varlığına kıyasla, Zn varlığı büyüme periyodu boyunca dokuya bağlı bir şekilde GSH düzeylerini düşürmüştür.

Yapılan bir çalışmada çeltik samanı biyokömürünün topraktaki Cd immobilizasyonu üzerindeki etkisi ve tarımsal kirlenmiş bir toprakta buğday tarafından alım miktarı araştırılmıştır (Abbas ve ark., 2017). Toprağa farklı oranlarda pirinç samanı biyokömürü (% 0, % 1.5, % 3 ve % 5 w/w) katılmış ve iki hafta boyunca inkübe edilmiştir ve buğday bitkisi olgunlaşana kadar toprakta yetiştirilmiştir. Sonuçlar, biyokömür uygulamalarının toprak ve toprak çözeltisi pH içeriğini artırdığını ve topraktaki biyoyararlı Cd'u azalttığını göstermektedir. Biyokömür uygulamaları, kontrole kıyasla buğdayın filizlerinde, köklerinde ve tanelerinde Zn ve Mn konsantrasyonlarını arttırırken, Cd ve Ni konsantrasyonlarını düşürmüştür (Abbas ve ark., 2017).

Kadmiyum ve Zn arasındaki etkileşimi incelemek için sera koşullarında yetiştirilen fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) ve nane (*Mentha piperita* L.) bitkileri üzerinde yapılan çalışmada; dört konsantrasyonda (0, 1, 5, 10 mg kg^{-1}) iki faktörlü (Cd ve Zn) bir deneme gerçekleştirilmiştir (Akountianaki-Ioannidou ve ark., 2015). Büyüme ortamına artan dozlarda Cd ilave edilmesi fesleğen yapraklarındaki Cd konsantrasyonunda bir artış ve büyüme ortamına artan dozlarda Zn ilave edilmesi nane yapraklarında Zn konsantrasyonunda bir artış ile sonuçlanmıştır. Nane yapraklarında artan Zn ilavesi ile her Cd seviyesinde Cd konsantrasyonu önemli ölçüde artmıştır. Fesleğenin yapraklarında artan Zn eklenmesiyle her Cd seviyesinde Cd konsantrasyonu önemli ölçüde artmıştır. Büyüme ortamına artan dozlarda Zn eklenmesiyle nane yaprağındaki Cd konsantrasyonu artmıştır, ancak büyüme ortamına Cd eklenmesinden Zn konsantrasyonu etkilenmemiştir. DTPA-TEA ile ekstrakte edilen toprakta Cd ve Zn değerleri, büyüme ortamına ilave edilen artan miktarda Cd ve Zn ile önemli ölçüde artmış ve ayrıca önemli interaksiyon göstermiştir. DTPA-TEA ekstrakte edilebilir Cd ve Zn içeriği, incelenen her iki türün yapraklarındaki Cd ve Zn konsantrasyonları ile anlamlı derecede korelasyon göstermiştir. Sonuç olarak DTPA-TEA ile ekstrakte

edilebilir Cd ve Zn içeriğinin fesleğen ve nane bitki dokularındaki Cd ve Zn konsantrasyonlarını tahmin etmek için kullanılabileceği belirlenmiştir (Akountianaki-Ioannidou ve ark., 2015).

Abou Auda ve Ali (2010), farklı oranlardaki Cd (10, 20 ve 40 µg g^{-1} Cd) ve Zn (75, 150 ve 225 µg g^{-1} Zn) dozlarının havuç bitkisinin gelişimi üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada; toprağa tek başına ilave edilen Zn'nin tüm dozlarının ya da Cd ile birlikte kombinasyonun havuç sürgünleri ve kökleri için K, P ve N konsantrasyonlarında artış sağladığını tespit etmişlerdir. Artan Cd ile gelişme parametrelerinin azaldığı, fakat Zn eklendiği zaman bazı parametrelerde artış olduğu görülmüştür. Üstelik toprağa ilave edilen Zn'nin farklı oranlarda kullanılması durumunda Cd'nin toksik etkisinde azalma görülmüştür.

Fasulye bitkileri, tek başına ve kombinasyon olarak Cd (2 ve 5 µM) ve Zn (10 ve 25 µM) ilave edilen besin çözeltisinde 14 gün yetiştirilmiştir. Büyümenin azalması Cd uygulamaları için sürgünlerde ve Zn uygulamaları için de köklerde daha belirgin olmuştur. Kadmiyum ve Zn kombinasyonunun, büyüme üzerindeki etkileri sinerjitiktir ancak koruyucu değildir. Demir, Ca ve K' un bitki konsantrasyonları tüm uygulamalar ile değişmezken, Mn, Cu ve Mg bitki konsantrasyonları Cd ve Zn kombinasyonundan etkilenmiştir. Kadmiyum ve Zn'nin bazı kombinasyonları sürgünlerde ve köklerde sırasıyla Cd ve Zn içeriğini arttırmıştır. İki metal aynı anda uygulandığında, kökler daha az Cd tutmuştur ve sürgünlerde Cd yüzdesi artmıştır (Chaoui ve ark., 1997).

Yapılan bir çalışmada kısa süreli Pb^{+2} ve Cd^{+2}'ye maruz kalan, Hoagland besin çözeltisi içerisinde yetiştirilen üç çeşit karabuğday fidesinin (Hruszowska, Kora ve Luba) toleransı karşılaştırılmıştır. Kurşun ve Cd^{+2} 'nin düşük konsantrasyonları, çalışılan tüm fide çeşitlerinin büyümesini az miktarda uyarır iken, yüksek dozlar kök büyümesini engellemiştir ve sürgünlerin çok daha az ölçüde gelişimine neden olmuştur. Kadmiyum iyonlarının karabuğday fidelerinin gelişimi için Pb^{+2} iyonlarına göre daha fazla zararlı olduğu bildirilmiştir (Horbowicz ve ark., 2013).

Fagopyrum esculentum Moench (karabuğday) ve *Triticum aestivum*'un (ilkbahar buğdayı) Ca-bağlı formundan P alım etkinliğini araştırmak için iklimlendirme odasında gerçekleştirilen çalışmada; buğday ile karşılaştırıldığında karabuğdayın, Ca-bağlı P'u almada oldukça etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bitkiler nitrat (NO_3-) ile beslendiğinde, karabuğdayın kaya fosfatından toplam P alımı, *Triticum aestivum*'dan neredeyse 10 kat daha yüksektir. Karabuğdayın P alım verimliliğinin başlıca mekanizması, kök hücresini asitleştirebilme yeteneği olabileceği düşünülmüştür (Zhu ve ark., 2002).

Karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench), alüminyum akümülatörü olarak bilinmektedir, özellikle yapraklarda ve sürgünde kurşun konsantre olabilmektedir. Karabuğday ayrıca bir Cu ve Zn akümülatörü olarak da bilinmektedir ve bu metallerin yüksek konsantrasyonlarını tolere edebilmektedir (Tani ve Barrington, 2005). Bu türün kısa jenerasyon süresi, ağır ve asit topraklarda yetişebilme yeteneği nedeniyle faydalı bir hiperakümülatör olma potansiyeli vardır (Tamura ve ark., 2005).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırmada kullanılan toprak materyali

Sera koşullarında yapılan denemede Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Sarıcalar çiftlik arazisinden temin edilen toprak kullanılmıştır. Toprak örneklerinin temin edildiği alan, Konya il merkezinin kuzeyinde, Selçuklu ilçesinde 37° 52’ kuzey enlemi ve 32° 29’ doğu boylamı arasında yer almaktadır. Konya il merkezine 32 km uzaklıkta, denizden ortalama yüksekliği 1031 m’dir.

3.1.2. Bitki materyalinin özellikleri

Araştırmada deneme bitkisi olarak Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsünden temin edilen karabuğday bitkisinin Güneş ve Aktaş çeşitleri kullanılmıştır.

Karabuğday, Polygonaceae familyasının *Fagopyrum* cinsine aittir. En çok yetiştirilen türler, genel karabuğday (*Fagopyrum esculentum)* ve tartar karabuğday (*Fagopyrum tataricum*)'dır. Tarih boyunca, karabuğday Avrupa, Asya ve Amerika'da popüler bir gıda ürünü olmuştur (Zhu, 2016).

Karabuğday iklim isteği bakımından kısmen seçici olup daha çok iklimin serin ve havanın nemli olduğu yerlerde çok iyi şekilde yetişmektedir. Dona karşı hassas bir bitkidir. Kuru hava, yüksek sıcaklık veya soğuklar çiçeklenme ve tohum bağlama üzerine olumsuz etki yaparlar. Ekim zamanı bu sebeple son donlardan sonra ve havalar serin iken erken zamanda yapılmalıdır. Tatar karabuğdayı soğuğa daha toleranslı olup *F. esculentum*’a göre daha yüksek yerlerde yetişebilmektedir. Karabuğdayın iklim şartları uygun olduğu müddetçe topraktan talebi az olup hemen hemen her türlü toprakta yetişebilmektedir. Verimli olmayan yerlerde ve marjinal yerlerdeki ziraat sistemine uygun bir bitki olarak Güneydoğu Asya ve Asya’ nın geniş alanlarında yetiştirilmektedir. Drenajı iyi tavlı topraklar bitkinin yetiştirilmesine oldukça uygundur. Ancak kireç miktarı çok yüksek, kuru ya da çok nemli ve ağır topraklar verime olumsuz etki etmektedir (Güneş, 2014).

Karabuğday tanesi ve ununda çölyak hastalarına zararlı olan ve serin iklim tahıllarında bulunan gluten bulunmadığından gerek tanesi ve gerekse tanesinden elde edilen un rahatlıkla tüketilebilmektedir (Güneş, 2014).

3.1.3. Ağır metaller

Denemede toprağa ağır metaller olarak Cd ve Zn sırasıyla $3CdSO_4.8H_2O$ ve $ZnSO_4.7H_2O$ formlarında uygulanmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Toprak hazırlığı

Deneme toprağı Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Sarıcalar çiftlik arazisinden 0-30 cm derinlikten alınmıştır. Toprak materyalinden taş ve bitki parçacıkları ayıklandıktan sonra toprak oda koşullarında kurutulmuştur. Daha sonra saksı denemesinde kullanılacak toprak 4 mm'lik elekten geçirilmiştir. Toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesinde kullanılacak toprak örneği ise 2 mm'lik elekten geçirilerek aşağıda belirtilen analizlerde kullanılmıştır.

3.2.2. Saksı denemesi ve yürütülmesi

Deneme Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesine ait seralarda yürütülmüştür. Bitkiler serada 5 ay yetiştirilmiştir. Deneme tesadüf parselleri faktöriyel deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak 120 adet saksıda düzenlenmiştir (Şekil 3.1). 0-30 cm'den alınan ve 4 mm'lik elekten elenen hava kuru toprak materyali her saksıya 3.6 kg toprak olacak şekilde doldurulmuştur. Deneme desenine göre saksılara artan dozlarda Cd (0-12,5-25-50-100 mg kg^{-1}) $3CdSO_4.8H_2O$ formunda ve Zn (0-10-30 mg kg^{-1}) $ZnSO_4.7H_2O$ formunda uygulanmıştır. Saksılar ağır metallerin toprak tarafından absorbsiyonu için 60 gün süreyle oda sıcaklığında inkübasyona tabi tutulmuştur.

İnkübasyon sonrasında her saksıya 10 adet Karabuğday tohumu ekilmiş, ekimden 30 gün sonra saksı başına 8 adet bitki olacak şekilde seyreltme yapılmıştır. Düzenli sulama yapılarak bitkilerin su ihtiyacı tarla kapasitesinde tutulmuş ve serada ortam sıcaklığı kontrol edilmiştir.

Bitkinin 3 aylık gelişme dönemi sonunda tüm bitkilerden üstten aşağı doğru 4.olgun yapraklar alınmıştır ve bu yapraklarda ön hazırlıklar yapıldıktan sonra element analizi için muhafaza edilmiştir. Karabuğday bitkisi 5 aylık büyüme periyodu sonunda tane oluşumu ve olgunlaşması tamamlandıktan sonra hasat edilmiştir. Her saksıya ait yaş ve kuru bitki ağırlıkları ve tane ağırlıkları belirlenmiştir. Hasat döneminde her bir saksıda bulunan bitkinin kök rizosfer bölgesinden ayrı ayrı toprak numuneleri alınarak

havada kurutulmuş, 2 mm'lik elekten geçirilen toprak analize hazırlanmıştır. Yaprak örnekleri ve hasat edilen yeşil aksamları etüvde 65 °C de tamamen nemini kaybedinceye kadar 48 saat süreyle kurumaya bırakılmıştır. Saksılardan alınan toprak numuneleri, kuru ağırlıkları belirlenen ve öğütülen toprak üstü aksamı bitki örnekleri ve tane örneklerinde daha sonra makro ve mikro element analizleri yapılmıştır.



Şekil 3.1. Deneme planı

3.2.3. Toprak analizleri

3.2.3.1. Toprak tekstürü

Toprak tekstürü Bouyoucos hidrometre yöntemiyle belirlenmiştir (Bouyoucos, 1951).

3.2.3.2. Toprak reaksiyonu (pH)

Toprak pH'sı 1:5 toprak:saf su çözeltisindeki H^+ iyonu konsantrasyonu cam elektrotlu pH metre ile potansiyometrik olarak belirlenmiştir (McLean, 1982).

3.2.3.3. Toplam tuz analizi

1:5 toprak:saf su çözeltisinde elektriksel iletkenlik EC ölçer (kondaktivimetre) ile belirlenmiştir (Rhoades, 1982a).

3.2.3.4. Kireç tayini

1:3'lük HCI ile karıştırılan topraktan kalsiyum karbonatın parçalanması ile açığa çıkan CO_2 hacmi Scheibler kalsimetresi ile belirlenmiştir. CO_2 gazının hacminden yararlanılarak toprağın kireç içeriği hesaplanmıştır (Nelson, 1982).

3.2.3.5. Organik madde miktarı

Organik madde içeriği Smith – Weldon yöntemiyle belirlenmiştir (Nelson ve Sommers, 1982).

3.2.3.6. Fosfor tayini

Alınabilir fosfor miktarı Olsen (1954) tarafından geliştirilen metoda göre belirlenmiştir.

3.2.3.7. Bitki tarafından alınabilir mikro element ve ağır metallerin tayini

Elverişli Zn, Cd, kükürt (S), bakır (Cu), demir (Fe), mangan (Mn), bor (B), kurşun (Pb), nikel (Ni), konsantrasyonları DTPA yöntemine göre ekstrakte edilen süzüklerde İndüktif eşleşmiş plazma atomik emisyon spektrometre (ICP-AES) (Vista AX)'de okunmak suretiyle belirlenmiştir (Lindsay ve Norwell, 1978).

3.2.3.8. Ekstrakte edilebilir katyonlar tayini

Toprakların ekstrakte edilebilir katyonları amonyum asetatla (1 N, pH=7,0) çalkalanıp ekstrakte edildikten sonra sodyum (Na), potasyum (K), kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) konsantrasyonları Vista AX model indüktif eşleşmiş plazma atomik emisyon spektrometre cihazında belirlenmiştir (Rhoades, 1982b).

3.2.4. Bitki analizleri

3.2.4.1. Bitki yaş ve kuru ağırlığı

Karabuğday bitkisinin çiçeklenme döneminde alınan yaprak örnekleri (hasattan 3 ay önce) ve hasat edilen toprak üstü aksamı bitki örnekleri ayrı ayrı kese kağıtları içerisinde laboratuvar ortamına getirilmiştir. Getirilen toprak üstü aksamından taneler ayrılmıştır. Yaş ağırlıkları hassas terazide tartılarak tespit edilmiştir. Daha sonra örnekler tamamen temizleninceye kadar musluk suyu ile yıkanarak, 0.1 N HCI çözeltisi ve iki defa da saf su ile yıkanmıştır ve filtre kağıdı üzerinde fazla suları alınmıştır. Bitkiler kese kağıtları içerisine ayrı ayrı alındıktan sonra 65° C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutulduktan sonra bitkiler hassas terazide tekrar tartılarak kuru ağırlıkları kaydedilmiştir.

3.2.4.2 Bitki boyu uzunluğu

Hasattan önce tüm saksılardaki bitkilerin bitki boyu ölçümü için; (tesadüfen seçilen 3 bitki) saksının toprak yüzeyinden bitkinin en üst kısmına kadar metre yardımıyla ölçülmüştür. Daha sonra bu ölçüm değerlerinin aritmetik ortalaması alınmıştır.

3.2.4.3. SPAD değeri

Karabuğday bitkisinin ekilmesinden itibaren 80 gün sonra klorofil metre cihazı Soil Plant Analytical Division (SPAD 502) ile klorofil ölçümü yapılmıştır.

3.2.4.4. Yaprak oransal su içeriği

Yaprak oransal su içeriği Sanchez ve ark., (2004) ile Demiral ve Turkan (2005)'a göre belirlenmiştir. Her bir saksıdan alınan 6 adet yaprak örneğinin oransal su içeriğinin belirlenmesi için taze ağırlıkları alınmıştır. Daha sonra yaprak örnekleri saf suda 4 saat bekletilmiş ve 4 saat sonunda turgor ağırlıkları belirlenmiştir. Ağırlıkları belirlendikten sonra yaprak örnekleri 65°C etüvde 24 saat kurutulduktan sonra kuru ağırlığı alınarak, elde edilen ağırlıklardan yaprak oransal su içeriği hesaplanmıştır.

Yaprak Oransal Su İçeriği= (YA-KA)/(TA-KA)^{x}100

YA:Yaş Ağırlık

KA:Kuru Ağırlık

TA:Turgor Ağırlığı

3.2.4.5. Biyomas

Hasat edilen karabuğday bitkilerinin yeşil aksam ağırlıkları alınarak biyomas içeriği kg da^{-1} olarak hesaplanmıştır.

Biyomas İçeriği: ((250000^{x}YA)/Toprak ağırlığı)/1000

3.2.4.6. Tane verimi

Taneler olgunluğa ulaştığında her saksıdan ayrı ayrı toplanıp kese kağıtlarına koyulmuş ve laboratuvara getirilip tartılmıştır. Daha sonra saksıdan alınan tane ağırlıkları hesaplanarak dekara tane verimi kg olarak belirlenmiştir.

3.2.4.7. Bin tane ağırlığı

Her bir saksıdan elde edilen taneler 25'er adet olmak üzere 2'şerli gruplara ayrılıp tartılmış ve ağırlıklarının ortalaması alınmıştır. Buna göre bin tane ağırlıkları g olarak hesaplanmıştır.

3.2.4.8. Tane sayısı

Her bir saksıdaki bitkilerin taneleri ayrı ayrı sayılmış, sonra toplam değerler belirlenmiştir.

3.2.4.9. Bitki başına tane verimi

Her bir saksıdaki tanenin bitki başına düşen miktarı g olarak hesaplanmıştır.

3.2.4.10. Yaprak, tane ve yeşil aksam element konsantrasyonları

Öğütülen yeşil aksamı, tane ve yaprak örneğinden yaklaşık 0.2 g tartılarak 5 ml HNO_3 ile yüksek sıcaklık (210°C) ve yüksek basınç (200 PSI) altında mikrodalga cihazında (CEM Mars 5) yaş yakma işlemi yapılmıştır. Daha sonra örnekler 50 ml'lik falkon tüplerine aktarılarak soğuduktan sonra deiyonize su ile 20 ml'ye tamamlanmıştır. Bu süzükler filtre kağıdı (Whatman No: 42) ile süzülerek süzükteki P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, B, S, Mo ve Cd konsantrasyonları Vista AX model İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektrometre (ICP-AES) cihazı ile belirlenmiştir. Yapılan element analizlerindeki okumaları doğrulamak için STD CDV-1 standart sertifikalı bitki örneği kullanılmıştır.

3.2.4.11. Yeşil aksam tarafından kaldırılan Cd ve Zn miktarları

Yeşil aksam tarafından kaldırılan Cd (mg da^{-1})= ((Yeşil aksam Cd konsantrasyonu^{x}Bitki kuru ağırlığı)/Saksıdaki toprak ağırlığı)^{x}250.000
Yeşil aksam tarafından kaldırılan Zn (mg da^{-1})= ((Yeşil aksam Zn konsantrasyonu^{x}Bitki kuru ağırlığı)/Saksıdaki toprak ağırlığı)^{x}250.000

3.2.4.12. Tane tarafından kaldırılan Cd ve Zn miktarları

Tane tarafından kaldırılan Cd (mg da^{-1})= (Toplam tane ağırlığı^x Tane Cd içeriği)/ Saksıdaki toprak ağırlığı)^{x}250.000

Tane tarafından kaldırılan Zn (mg da^{-1})= (Toplam tane ağırlığı^x Tane Zn içeriği)/ Saksıdaki toprak ağırlığı)^{x}250.000

3.2.5. Fitoremediasyon Parametreleri

3.2.5.1. Fitoekstraksiyon kapasitesi

Bir hasat döngüsü boyunca 1 da alandan bitki tarafından alınan toplam kirletici miktarı Cd ve Zn için hesaplanmıştır.

$FK=(M_T \times V_T) + (M_G \times V_G)$

M_T = Tane metal konsantrasyonu (mg kg^{-1})
V_T = Tane verim (g da^{-1})
M_G = Gövde metal konsantrasyonu (mg kg^{-1})
V_G = Gövde verim (g da^{-1})

3.2.5.2. Taşıma faktörü

Taşınma faktörü (TF) toprak solüsyonunda bulunan metal konsantrasyonlarının bitki tarafından alınabilme yeteneği için kullanılan bir kriter olup, hiperakümülatör bitkilerin bu özellikleri bakımından değerlendirilmesi için kullanılmaktadır (Lubben ve Sauerbeck, 1991).

$TF=(M_T+M_G)/T_{EM}$

M_T = Tane metal konsantrasyonu (mg kg^{-1})

M_G = Gövde metal konsantrasyonu (mg kg^{-1})

T_{EM} =Hasat dönemi sonrası toprağın elverişli metal konsantrasyonu (mg kg^{-1})

3.3. İstatistiksel Değerlendirme

İstatiksel analizler, araştırma sonucu elde edilen değerler için Minitab 16 istatistik paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Tüm veriler (Cd, Zn ve Cd^xZn interaksiyonları) ile yapılan muameleye bağlı etkilerin istatistiksel önemini belirlemek için Tukey çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuştur. Grup ortalamaları, $p \leq \%1$ ve $p \leq \%5$ olan en düşük fark seçeneğiyle karşılaştırılmış ve tablolarda harflendirme ile gösterilmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Sera koşullarında yürütülmüş olan denemede başlangıç topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.1' de verilmiştir. Denemede kullanılan toprak hafif alkalin pH'ya sahip olup, az tuzlu sınıfındadır. Deneme toprağının organik madde miktarı az olmakla birlikte, kireçli toprak sınıfında yer almaktadır ve killi tın tekstüre sahiptir. Toprak örneğinin değişebillir K ve Ca+Mg içeriği yüksek, elverişli P içeriği düşük seviyededir. Kükürt, Fe, Zn yeterli seviyede, Cu, Mn, Pb konsantrasyonları yüksek seviyede, Mo, Ni, Cd normal iken B konsantrasyonu oldukça fakir düzeyde ölçülmüştür (Lindsay ve Norwell, 1978; FAO, 1980; Kabata-Pendias ve Pendias, 2001).

Çizelge 4.1. Denemede kullanılan toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellik	Birim	Değer	Yorum
pH		7.75	Hafif alkalin
EC	(µS cm^{-1})	249	Az tuzlu
$CaCO_3$	%	12.94	Kireçli
Tekstür		Killi tın	Killi tın
Organik Madde	%	1.98	Az
Değişebilir Ca+Mg	me/100 g	23.00	Yüksek
Değişebilir K	me/100 g	1.72	Yüksek
Elverişli P	mg kg^{-1}	5.15	Düşük
Elverişli S	mg kg^{-1}	28.54	Yeterli
Elverişli Cu	mg kg^{-1}	1.85	Yüksek
Elverişli Fe	mg kg^{-1}	3.69	Orta
Elverişli Mn	mg kg^{-1}	14.73	Yeterli
Elverişli B	mg kg^{-1}	0.23	Çok az
Elverişli Mo	mg kg^{-1}	0.01	Normal
Elverişli Zn	mg kg^{-1}	0.74	Yeterli
Elverişli Cd	mg kg^{-1}	0.07	Normal

4.1. Bitki Boy Uzunluğu

Kadmiyum ve Zn uygulamalarının Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin hasat öncesi bitki boy uzunluğuna ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Kadmiyum uygulamaları, çeşit^{x}Zn interaksiyonu, çeşit^{x}Cd interaksiyonu, Zn^{x}Cd interaksiyonu ve çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunun bitki boyu üzerine etkisi istatistiki olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin bitki boy uzunluğuna ait varyans analiz sonuçları

	Bitki Boyu (cm)		
Varyans Kaynağı	S.D	KO	F
Çeşit	1	109.58	2.08
Zn Dozu	2	153.02	2.90
Cd Dozu	4	401.57	7.62**
Çeşit^{x}Zn Dozu	2	1307.80	24.82**
Çeşit^{x}Cd Dozu	4	217.37	4.13**
Zn Dozu^{x}Cd Dozu	8	358.96	6.81**
Çeşit^{x}Zn^{x}Cd Dozu	8	166.16	3.15**
Hata	90	52.69	

*: $p<0.05$ ve **: $p<0.01$

Çizelge 4.3. Kadmiyum ve Zn uygulamalarının Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin bitki boyu, tane verimi, bin tane ağırlığı ve bitki başına tane verimi üzerine etkisi

Çeşit	Dozlar (mg kg^{-1}) Zn	Cd	Bitki Boyu (cm)	Tane Verimi (kg da^{-1})	Bin Tane Ağırlığı (g)	Bitki Başına Tane Verimi (g bitki^{-1})
Güneş	0	0	58.75±5.73 ^{abc}	279.4±10.93 $^{a-d}$	30.92±2.04	0.5030±0.02^{a-d}
		12,5	56.92±10.02^{a-d}	200.9±49.35 $^{a-e}$	29.67±2.54	0.3616±0.09 $^{a-e}$
		25	48.50±8.61 $^{a-g}$	228.4±20.9 $^{a-e}$	28.55±2.72	0.4110±0.04 $^{a-e}$
		50	46.08±11.50^{a-g}	159.1±45.23 $^{a-e}$	27.60±1.20	0.2865±0.08 $^{a-e}$
		100	42.67±4.92 $^{b-g}$	181.1±50.35 $^{a-e}$	27.55±1.40	0.3260±0.09 $^{a-e}$
	10	0	65.58±6.46 ^{a}	302.4±92.58 ^{abc}	28.85±1.36	0.5443±0.17 ^{abc}
		12,5	51.33±8.11 $^{a-g}$	327±115.96 ^{ab}	28.62±1.88	0.5886±0.21^{ab}
		25	44.58±3.02 $^{a-g}$	218.2±69.32^{a-e}	27.59±3.52	0.3928±0.12 $^{a-e}$
		50	53.75±0.79 $^{a-g}$	250.3±56.52 $^{a-e}$	28.78±3.09	0.4506±0.10 $^{a-e}$
		100	41.83±4.89 $^{b-g}$	240.1±50.64 $^{a-e}$	28.09±1.43	0.4321±0.09 $^{a-e}$
	30	0	47.50±19.84 $^{a-g}$	182.5±126.41 $^{a-e}$	23.96±4.32	0.3284±0.23 $^{a-e}$
		12,5	34.42±7.75 ^{efg}	77.4±24.18 ^{e}	24.61±2.23	0.1394±0.04 ^{e}
		25	35.50±4.04 $^{d-g}$	115±62.49 ^{cde}	23.07±3.31	0.2071±0.11 ^{cde}
		50	33.83±6.36 ^{fg}	126.7±4.16 $^{b-e}$	22.20±3.41	0.2280±0.01 $^{b-e}$
		100	38.08±5.69 $^{c-g}$	94.2±47.69 ^{de}	24.58±4.65	0.1695±0.09 ^{de}
Aktaş	0	0	33.92±3.07 ^{fg}	117±62.34 ^{cde}	23.70±1.82	0.2106±0.11 ^{cde}
		12,5	45.50±8.80 $^{a-g}$	234.7±51.32 $^{a-e}$	27.11±1.41	0.4224±0.09 $^{a-e}$
		25	56.67±4.83 $^{a-e}$	186.2±95.18^{a-e}	27.25±1.25	0.3352±0.17 $^{a-e}$
		50	40.25±1.89 $^{c-g}$	194.5±96.69 $^{a-e}$	22.21±2.56	0.3501±0.17 $^{a-e}$
		100	42.25±3.21 $^{b-g}$	268.6±58.38^{a-e}	28.19±1.76	0.4835±0.11 $^{a-e}$
	10	0	63.58±3.87 ^{ab}	359.5±121.61 ^{a}	29.52±2.23	0.6472±0.22 ^{a}
		12,5	39.67±3.27 $^{c-g}$	298.1±87.45 ^{abc}	25.95±1.64	0.5366±0.16 ^{abc}
		25	32.42±3.07 ^{g}	279.2±64.71 $^{a-d}$	26.91±2.19	0.5026±0.12 $^{a-d}$
		50	34.17±5.43 ^{fg}	320.3±16.26 ^{ab}	26.61±2.53	0.5766±0.21 ^{ab}
		100	37.08±5.90 $^{c-g}$	243.2±37.60 $^{a-e}$	26.24±0,82	0.4377±0.07 $^{a-e}$
	30	0	44.33±6.31 $^{a-g}$	248.9±99.56 $^{a-e}$	26.31±1.87	0.4481±0.18 $^{a-e}$
		12,5	47.92±4.85 $^{a-g}$	237.8±51.75 $^{a-e}$	29.02±0.80	0.4281±0.09 $^{a-e}$
		25	55.67±5.82 $^{a-f}$	320.1±89.09 ^{ab}	29.03±0.81	0.5761±0.16 ^{ab}
		50	46.58±8.22 $^{a-g}$	234.6±75.56^{a-e}	26.93±1.42	0.4223±0.14 $^{a-e,}$
		100	50.67±12.02 $^{a-g}$	155.3±49.43 $^{b-e}$	28.29±2.61	0.2795±0.09 $^{b-e}$
Tukey testi			p<0.01	p<0.05	-	p<0.05

Çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonu değerlendirildiğinde 10 mg Zn kg^{-1} uygulamasının Cd uygulaması olmaksızın iki çeşitte de boy uzamasını olumlu şekilde etkilediği, 30 mg Zn kg^{-1} ve 50 mg Cd kg^{-1} dozları Güneş çeşidinin, 10 mg Zn kg^{-1} ve 25 mg Cd kg^{-1} uygulaması ise Aktaş çeşidinin boy uzunluğunu önemli ve olumsuz şekilde etkilediği gözlemlenmiştir. Çeşitler ayrı ayrı değerlendirildiğinde ise Aktaş çeşidinin Cd^{x}Zn interaksiyonunda 10 mg Zn kg^{-1} uygulamasının Cd uygulaması olmaksızın boy uzamasını olumlu şekilde etkilediği, 10 mg Zn kg^{-1} ve 25 mg Cd kg^{-1} uygulaması ise Aktaş çeşidinin boy uzunluğunu önemli ve olumsuz şekilde etkilediği gözlemlenmiştir. Karabuğday bitkisinin bitki boy uzunluğu çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonu genel olarak değerlendirildiğinde artan Cd dozları ile azalmıştır (Çizelge 4.3).



Şekil 4.1. Çinko ve Cd'nin bitki boy uzunluğuna etkisi

Genel olarak Çizelge 4.3 incelendiğinde Güneş çeşidinde Zn uygulanmadığında artan Cd dozları ile bitki boyunda azalmalar gözlenmiştir. Ancak bu durum Aktaş çeşidinde görülmemektedir. Çalışmada çeşitler arasındaki en iyi boy gelişimi Güneş çeşidinde 10 mg Zn kg^{-1} uygulamasında olup kontrole göre % 12 artış gözlenmiştir (Şekil 4.1). Bunun aksine 30 mg Zn kg^{-1} ve 50 mg Cd kg^{-1} dozları uygulandığında ise Güneş çeşidinde kontrole göre % 42 oranında azalma ve 10 mg Zn kg^{-1} ve 25 mg Cd kg^{-1} uygulamasında Aktaş çeşidinde kontrole göre % 4 azalma gözlenmiştir.

Cd ve Zn metallerinin ayrı ayrı ve birlikte verildiği zaman soya fasülyesi (*Glycine max* (L.) Merr.) tarafından biriktirilen miktarlarının belirlenmesi için bir sera çalışması yapılmıştır. En yüksek Cd dozu (100 mg kg^{-1}) bitki boyu ve kuru ağırlığını (sırasıyla % 40 ve % 34'e kadar) azaltmıştır. En yüksek Zn miktarı (2000 mg kg^{-1}), bitki boyunu kontrolün % 55'ine ve kuru ağırlığı kontrolün % 70'ine indirmiştir. Her iki metalin birlikte uygulandığı bitkilerde ise, sadece Cd uygulananlara göre yaklaşık aynı bitki boyunda oldukları gözlenmiştir (Shute ve Macfie, 2006).

4.2. Yaprak Klorofil Miktarı

Kadmiyum ve Zn uygulamalarının Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin yaprak klorofil miktarına ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çeşit^{x}Zn interaksiyonunun yaprak klorofil miktarı üzerine etkisi istatistiki olarak $p<0.01$ düzeyinde, çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonu ise istatistiki olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin yaprak klorofil miktarına ait varyans analiz sonuçları

	Yaprak Klorofil Miktarı		
Varyans Kaynağı	S.D	KO	F
Çeşit	1	0.41	0.02
Zn Dozu	2	14.30	0.55
Cd Dozu	4	44.11	1.70
Çeşit^{x}Zn Dozu	2	312.15	12.02**
Çeşit^{x}Cd Dozu	4	28.76	1.11
Zn Dozu^{x}Cd Dozu	8	36.52	1.41
Çeşit^{x}Zn^{x}Cd Dozu	8	62.37	2.40*
Hata	90	25.96	

*: $p<0.05$ ve **: $p<0.01$

Çizelge 4.5. Kadmiyum ve Zn uygulamalarının Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin yaprak klorofil miktarı, biyomas, yaprak oransal su içeriği ve tane sayısı üzerine etkisi

Çeşit	Dozlar (mg kg^{-1}) Zn	Cd	Klorofil Miktarı (SPAD Birimi)	Biyomas (kg da^{-1})	Yaprak Oransal Su İçeriği	Tane Sayısı (adet saksı $^{-1}$)
Güneş	0	0	48.77±2.01 ^{ab}	1369±517.6	57.47±5.78	137.5±14.08
		12,5	47.46±5.35 ^{ab}	915±353.5	56.40±6.78	100±25.02
		25	42.55±6.26 ^{ab}	1088±118.9	56.86±6.94	137±28.72
		50	44.38±4.34 ^{ab}	971±328.6	54.86±5.88	87.8±24.60
		100	48.61±3.47 ^{ab}	814±109.1	53.83±6.76	100±28.97
	10	0	40.25±3.06 ^{ab}	1440±623.4	55.17±2.29	157.5±48.62
		12,5	46.39±5.76 ^{ab}	1517±366.1	54.18±5.20	167.8±59.84
		25	43.44±3.91 ^{ab}	1436±423.4	50.51±4.26	119.5±31.22
		50	44.08±2.50 ^{ab}	959±510.1	56.68±2.89	135.8±36.81
		100	47.03±6.36 ^{ab}	1516±468.6	54.80±2.43	126.8±24.77
	30	0	40.98±9.90 ^{ab}	1212±284.5	53.38±6.63	101.5±56.77
		12,5	39.37±4,64 ^{ab}	1109±424.3	51.41±3.71	54.3±19.40
		25	41.78±5.58 ^{ab}	940±73.9	55.48±3.85	70.5±35.90
		50	37.67±7.00 ^{ab}	1081±337.2	54.37±4.26	82.8±6.80
		100	38.78±4.60 ^{ab}	447±24.1	53.37±4.31	57.3±25.93
Aktaş	0	0	36.09±3.13 ^{b}	1001±343.2	55.01±4.84	72±36.81
		12,5	40.00±3.98 ^{ab}	1211±310.3	53.75±7.18	127.5±21.05
		25	43.42±6.10 ^{ab}	1027±383.8	52.90±5.84	91.5±50.24
		50	42.54±3.32 ^{ab,}	1215±341.3	55.53±5.76	119.5±49.26
		100	45.42±3.77 ^{ab}	1064±264.1	56.73±4.54	141±24.56
	10	0	47.93±4.94 ^{ab}	1434±354.3	58.78±2.99	177.5±59.76
		12,5	45.02±6.21 ^{ab}	1112±297.4	58.55±6.07	162.8±45.40
		25	44.36±3.60 ^{ab}	953±323.3	56.20±5.69	150±27.89
		50	35.01±2.67 ^{b}	1255±521.1	55.41±6.42	176.5±64.70
		100	41.19±4.63 ^{ab}	1068±178.8	52.17±5.63	137.8±32.06
	30	0	45.39±8.11 ^{ab}	1270±334.4	56.17±2.54	141.8±51.69
		12,5	48.50±4.45 ^{ab}	1099±348.7	59.35±5.95	122.5±29.29
		25	50.21±6.16 ^{a}	1306±569.7	51.76±7.47	164.5±40.29
		50	42.98±4.38 ^{ab}	1404±155.6	55.76±6.47	132.3±37.94
		100	41.73±3.96 ^{ab}	1428±184.9	58.78±3.98	83.3±23.54
Tukey testi			p<0.05	-	-	-

Çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonu değerlendirildiğinde Aktaş çeşidinin; $Zn_{30}Cd_{25}$ uygulamasının klorofil miktarını diğer uygulamalara göre olumlu şekilde etkilediği gözlemlenmiştir. Çeşitler ayrı ayrı değerlendirildiğinde ise Aktaş çeşidinin Cd^{x}Zn interaksiyonu aynı etkiyi göstermiştir. Güneş çeşidinde Cd ve Zn dozları klorofil miktarına istatistiki olarak herhangi bir etkide bulunmamıştır. Aktaş çeşidinde kontrol Zn uygulamasında artan Cd dozları ile klorofil içeriği artarken, Zn 10 ve 30 mg kg^{-1} dozlarında artan Cd dozları ile klorofil içeriği azalmıştır. Güneş çeşidinde ise yine Zn uygulanan bitkilerde artan Cd dozları ile klorofil içeriği azalmıştır. Bu durumda ortamda Zn'nin bulunması halinde Cd ile arasındaki olumsuz etkileşimden dolayı klorofil içeriği azalmış olabilir (Çizelge 4.5).

Kadmiyum toksisitesinin nohut (*Cicer arietinum* L) fidelerinde tohum çimlenmesi, fide büyümesi, fotosentetik pigment içeriği ve vasküler dokuların yapısal oryantasyonu üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan bir araştırmada, klorofil içeriği kontrol ile karşılaştırıldığında, Cd konsantrasyonunun artmasıyla giderek azalmıştır (Mondal ve ark., 2013).

Çalışmada çeşitler arasındaki en iyi klorofil miktarı Aktaş çeşidinde 30 mg Zn kg^{-1} ve 25 mg Cd kg^{-1} uygulamasında olup kontrole göre % 39 artış gözlenmiştir. Karabuğday bitkisinin çeşit^{x}Zn uygulaması değerlendirildiğinde Güneş çeşidinde Zn'nin artan dozları ile klorofil miktarında azalma olurken, bunun aksine Aktaş çeşidinde Zn'nin artan dozları ile klorofil miktarında artış gözlemlenmiştir.

4.3. Tane Verimi

Kadmiyum ve Zn uygulamalarının Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin tane verimine ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir. Karabuğday çeşitleri arasında, Zn dozları arasında ve çeşit^{x}Zn interaksiyonunun tane verimi üzerine etkisi istatistiki olarak $p<0.01$ düzeyinde, çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonu ise istatistiki olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonu değerlendirildiğinde Güneş çeşidinde artan Zn dozları tane veriminde (kg da^{-1}) azalmaya neden olmuştur. Aktaş çeşidinin tane verimi (kg da^{-1}), Cd uygulamasından Güneş çeşidi kadar olumsuz yönde etkilenmemiştir. En yüksek verim Güneş çeşidinde 10 mg Zn kg^{-1} ve 12.5 mg Cd kg^{-1} uygulamasında 327 kg da^{-1} iken Aktaş çeşidinde 10 mg Zn kg^{-1} uygulamasının Cd uygulaması olmaksızın tane verimi 360 kg da^{-1}'dır. Güneş çeşidinin 30 mg Zn kg^{-1} ve 12.5 mg Cd kg^{-1} uygulaması tane verimini olumsuz şekilde etkilemiştir. Çeşit^{x}Zn interaksiyonunda en yüksek verim Aktaş çeşidi 10 mg Zn kg^{-1} uygulamasında 300.1 kg da^{-1}'dır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.6. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin tane verimine (kg da^{-1}) ait varyans analiz sonuçları

	Tane Verimi (kg da^{-1})		
Varyans Kaynağı	S.D	KO	F
Çeşit	1	68223	12.67**
Zn Dozu	2	118801	22.07**
Cd Dozu	4	8585	1.59
Çeşit^{x}Zn Dozu	2	43834	8.14**
Çeşit^{x}Cd Dozu	4	7518	1.40
Zn Dozu^{x}Cd Dozu	8	9410	1.75
Çeşit^{x}Zn^{x}Cd Dozu	8	11376	2.11*
Hata	90	5383	

*: $p<0.05$ ve **: $p<0.01$

Kadmiyumun farklı pirinç çeşitlerinin kuru madde birikimi ve tane verimi üzerindeki etkilerini, pirinç bitkisinde alınım ve translokasyona yanıt olarak Cd ve beş mineral besin maddesi Fe, Zn, Mn, Cu ve Mg arasındaki etkileşimleri araştırmak amacı ile topraklara 100 mg kg^{-1} Cd ilave edilerek 20 pirinç çeşidi üzerinde saksı denemesi yapılmıştır. Ortalama tane ağırlığında, toprak Cd stresi altında önemli düşüşler olmuştur: çeşitlerin çoğu önemli düşüşler gösterirken, sadece iki çeşit önemli artış göstermektedir. Toprak Cd stresine karşı bazı çeşitler oldukça toleranslı, bazıları ise çok hassastır. Bu nedenle, Cd'nin pirinç büyümesi ve gelişimi üzerindeki etkileri, çeşitliliğe bağlı gibi görünmektedir (Liu ve ark., 2003).



Şekil 4.2. Denemeye ait karabuğday çiçek ve tane görüntüleri

Karabuğday bitkisinin çeşit^{x}Zn interaksiyonu değerlendirildiğinde 10 mg kg Zn^{-1} uygulaması her iki çeşitte de artış sağlamıştır. Çalışmada çeşitler arasındaki en iyi tane verimi Aktaş çeşidinde 10 mg Zn kg^{-1} uygulamasında olup kontrole göre % 207 artış gözlenmiştir.

4.4. Biyomas

Kadmiyum ve Zn uygulamalarının Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin biyomasına ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.7' de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre Zn dozları arasında $p<0.05$ ve çeşit^{x}Zn interaksiyonunda ortalama değerler arasında $p<0.01$ istatistiki olarak önemli farklılıklar görülmüştür.

Çizelge 4.7. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin biyomas içeriğine ait varyans analiz sonuçları

	Biyomas (kg da^{-1})		
Varyans Kaynağı	S.D	KO	F
Çeşit	1	142610	1.10
Zn Dozu	2	426246	3.30*
Cd Dozu	4	170327	1.32
Çeşit^{x}Zn Dozu	2	764752	5.92**
Çeşit^{x}Cd Dozu	4	214701	1.66
Zn Dozu^{x}Cd Dozu	8	71453	0.55
Çeşit^{x}Zn^{x}Cd Dozu	8	243673	1.89
Hata	90	129181	

*: $p<0.05$ ve **: $p<0.01$

Genel olarak çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonuna bakıldığında Güneş çeşidinde artan Cd dozları ile biyomas azalmıştır; 10 mg kg^{-1} Zn dozlarında ise değişim olmamıştır. Aktaş çeşidinde ise artan Cd dozları ile biyomas değişmemiş, Zn dozlarının artışı ile biyomas da artmıştır. Ancak istatistiki olarak fark önemli bulunmamıştır. Çeşit^{x}Zn interaksiyonunda en yüksek verim Güneş çeşidinde 10 mg Zn kg^{-1} uygulamasında 1374 kg da^{-1}'dır (Çizelge 4.5).

Zhang ve ark. tarafından (2010) dört yem bitkisinin toprak iyileştirme yeteneklerini toprak Cd ve Zn kirliliği açısından değerlendirmek için serada yürüttükleri saksı denemesinde; yüksek Cd kirliliği, 1.çeşidin (*Pennisetum americanum (L.) Leeke X Pennisetum purpureum Schumach*) biyokütlesini önemli ölçüde arttırmıştır, çeşit 2 (*Silphium perfoliatum Linn*) üzerinde ise hiçbir etki göstermemiştir ve diğer çeşitlerin biyokütlesini önemli ölçüde azaltmıştır. Yüksek Zn kirliliği, tüm bitkilerin biyomas verimini önemli ölçüde azaltmıştır.

4.5. Bin Tane Ağırlığı

Kadmiyum ve Zn uygulamalarının Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin bin tane ağırlığına ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.8'de verilmiştir. Zn uygulamaları ve çeşit^{x}Zn interaksiyonu bin tane ağırlığı üzerine etkisi istatistiki olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.8. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin bin tane ağırlığına ait varyans analiz sonuçları

	Bin Tane Ağırlığı		
Varyans Kaynağı	S.D	KO	F
Çeşit	1	0.255	0.05
Zn Dozu	2	40.233	7.17**
Cd Dozu	4	11.584	2.06
Çeşit^{x}Zn Dozu	2	148.616	26.49**
Çeşit^{x}Cd Dozu	4	8.011	1.43
Zn Dozu^{x}Cd Dozu	8	8.132	1.45
Çeşit^{x}Zn^{x}Cd Dozu	8	9.497	1.69
Hata	90	5.610	

*: $p<0.05$ ve **: $p<0.01$

Genel olarak çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonuna bakıldığında Güneş çeşidinde artan Cd dozları ve artan Zn dozları ile bin tane ağırlığı azalmıştır. Ancak istatistiki olarak fark önemli bulunmamıştır. Çeşitler ayrı ayrı değerlendirildiğinde ise Zn^{x}Cd interaksiyonunda Cd uygulaması olmaksızın Aktaş çeşidinin 10 mg Zn kg^{-1} uygulaması bin tane ağırlığını olumlu şekilde, Zn uygulaması olmaksızın 50 mg Cd kg^{-1} uygulaması bin tane ağırlığını olumsuz olarak etkilemiştir. Aktaş çeşidi Zn dozları arasında 30 mg Zn kg^{-1} uygulaması bin tane ağırlığını istatistiki olarak olumlu şekilde etkilemiştir. Aktaş çeşidinin 10 mg kg^{-1} Zn uygulaması kontrolle kıyaslandığında bin tane ağırlığında % 25 artış belirlenmiştir (Çizelge 4.3).

4.6. Bitki başına tane verimi

Kadmiyum ve Zn uygulamalarının Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin bitki başına tane verimine ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir. Çeşit^{x}Zn interaksiyonu bin tane ağırlığı üzerine etkisi istatistiki olarak $p<0.01$ düzeyinde ve çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunda $p<0.05$ düzeyinde istatistiki olarak önemli farklılıklar görülmüştür.

Çizelge 4.9. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin bitki başına tane verimine ait varyans analiz sonuçları

Bitki Başına Tane Verimi			
Varyans Kaynağı	S.D	KO	F
Çeşit	1	0.22104	12.67**
Zn Dozu	2	0.38492	22.07**
Cd Dozu	4	0.02781	1.59
Çeşit^{x}Zn Dozu	2	0.14202	8.14**
Çeşit^{x}Cd Dozu	4	0.02436	1.40
Zn Dozu^{x}Cd Dozu	8	0.03049	1.75
Çeşit^{x}Zn^{x}Cd Dozu	8	0.03686	2.11*
Hata	90	0.01744	

*: $p<0.05$ ve **: $p<0.01$

Genel olarak çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonuna bakıldığında Güneş çeşidine uygulanan 30 mg kg^{-1} Zn dozları bitki başına tane veriminde azalmaya neden olmuştur. En yüksek verim Aktaş çeşidinde Cd uygulaması olmaksızın 10 mg Zn kg^{-1} uygulamasında 0.6472 g bitki^{-1}'dir. Güneş çeşidinin 12.5 mg Cd kg^{-1} ve 30 mg Zn kg^{-1} uygulaması 0.1394 g bitki^{-1} ile bitki başına tane verimini olumsuz şekilde etkilemiştir. Çeşitler ayrı ayrı değerlendirildiğinde ise Zn^{x}Cd interaksiyonunda Cd uygulaması olmaksızın Aktaş çeşidinin 10 mg Zn kg^{-1} uygulaması bitki başına tane verimini olumlu şekilde, kontrol uygulaması bin tane ağırlığını olumsuz olarak etkilemiştir. Aktaş çeşidi Zn dozları arasında 10 mg Zn kg^{-1} uygulaması bin tane ağırlığını istatistiki olarak olumlu şekilde etkilemiştir. Güneş çeşidi Zn dozları arasında 30 mg Zn kg^{-1} uygulaması bin tane ağırlığını istatistiki olarak olumsuz şekilde etkilemiştir; Cd dozları arasında ise kontrol uygulaması diğer uygulamalara göre olumlu etkide bulunmuştur (Çizelge 4.3).

Çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunda Aktaş çeşidinin 10 mg kg^{-1} Zn uygulamasının kontrol uygulamasına kıyasla bitki başına tane veriminde % 207 artış görülmüştür. Güneş çeşidinin 12.5 mg kg^{-1} Cd ve 30 mg kg^{-1} Zn uygulaması kontrol uygulamasına kıyasla bitki başına tane veriminde % 72 azalma belirlenmiştir.

4.7. Yaprak oransal su içeriği

Kadmiyum ve Zn uygulamalarının Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin yaprak oransal su içeriğine ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir. Çinko ve Cd dozu uygulamalarının yaprak oransal su içeriği üzerine etkileri istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.10. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin yaprak oransal su içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Yaprak Oransal Su İçeriği			
Varyans Kaynağı	S.D	KO	F
Çeşit	1	43.58	1.54
Zn Dozu	2	1.34	0.05
Cd Dozu	4	14.91	0.53
Çeşit^{x}Zn Dozu	2	41.43	1.46
Çeşit^{x}Cd Dozu	4	13.38	0.47
Zn Dozu^{x}Cd Dozu	8	8.52	0.30
Çeşit^{x}Zn^{x}Cd Dozu	8	34.12	1.20
Hata	90	28.33	

*: $p<0.05$ ve **: $p<0.01$

Genel olarak bakıldığında Aktaş çeşidinin yaprak oransal su içeriği 12.5 mg Cd kg^{-1} ve 30 mg Zn kg^{-1} dozlarında Güneş çeşidine kıyasla daha yüksektir. Güneş çeşidinin 25 mg Cd kg^{-1} ve 10 mg Zn kg^{-1} uygulaması yaprak oransal su içeriğini diğer uygulamalara göre olumsuz yönde etkilemiştir. Ancak bu farklılık istatistiki olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.5).

Kırkayak çiminin (*Eremochloa ophiuroides*) fizyolojik tepkileri ve tolerans eşiği, bir kum kültürü sisteminde sekiz farklı Cd konsantrasyonu (0, 60, 120, 180, 240, 300, 360 ve 420 mg Cd kg^{-1}) altında incelenmiştir. Yaprak oransal su içeriği, kontrole göre ≤ 180 mg Cd kg^{-1}'de anlamlı bir değişiklik göstermemiş ancak ≥ 240 mg Cd kg^{-1}'de anlamlı farklılık göstermiştir ($P < 0.05$). Yapılan bu çalışmada, büyüme parametreleri (nispi büyüme oranı ve çim yoğunluğu) ve fizyolojik parametreler (yaprak oransal su içeriği, elektrolit sızıntısı, ozmotik potansiyel, klorofil içeriği ve fotokimyasal verim), 36 günlük büyümenin ardından LSD 0.05 anlamlılık seviyesinde Cd tolerans kriterini hesaplamak için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Cd stresine yanıt olarak yaprak oransal su içeriğinin en hassas parametre olduğunu göstermiştir ve en düşük Cd tolerans kriteri (197 mg Cd kg^{-1}) Cd tolerans eşiği olarak seçilmiştir (Liu ve ark., 2012).

4.8. Tane Sayısı

Kadmiyum ve Zn uygulamalarının Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin tane sayısına ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.11'de verilmiştir. Çeşit, Zn uygulamaları ve çeşit^{x}Zn interaksiyonunun tane sayısı üzerine etkisi istatistiki olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Çinko ve Cd interaksiyonunun tane sayısı üzerine etkileri ise istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin tane sayısına (adet saksı$^{-1}$) ait varyans analiz sonuçları

Tane Sayısı (adet saksı$^{-1}$)			
Varyans Kaynağı	S.D	KO	F
Çeşit	1	17715	12.16**
Zn Dozu	2	28021	19.23**
Cd Dozu	4	1734	1.19
Çeşit^{x}Zn Dozu	2	8514	5.84**
Çeşit^{x}Cd Dozu	4	1483	1.02
Zn Dozu^{x}Cd Dozu	8	2296	1.58
Çeşit^{x}Zn^{x}Cd Dozu	8	2711	1.86
Hata	90	1457	

*: $p<0.05$ ve **: $p<0.01$

Genel olarak çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonuna bakıldığında Güneş çeşidinde 30 mg kg^{-1} Zn dozları tane sayısını azaltmıştır. Ancak istatistiki olarak fark önemli bulunmamıştır. Çeşit^{x}Zn interaksiyonunda en yüksek değer Aktaş çeşidinde 10 mg kg^{-1} uygulamasında 160,9 (adet saksı$^{-1}$) ve en düşük değer Güneş çeşidinde 30 mg kg^{-1} uygulamasında 73,3 (adet saksı$^{-1}$) olmuştur. Aktaş çeşidi 10 mg kg^{-1} Zn uygulaması kontrol uygulamasına kıyasla tane sayısında % 46 artış, Güneş çeşidinin 30 mg kg^{-1} Zn uygulamasında kontrol uygulamasına kıyasla % 35 azalış görülmüştür (Çizelge 4.5).

Akay ve Köleli` nin (2007) yaptıkları bir çalışmada Cd (0, 1, 2, 4 ve 6 kg da^{-1}) ile Zn'nin (0, 1.5 ve 3 kg da^{-1}) tek başına ve kombine halde uygulanmasında tarla koşullarında yetiştirilen arpada (*Hordeum vulgare* L. cv. Karatay-94) fitotoksik semptomlar görülmemiştir ve Cd uygulaması arpa tane verimini etkilememiştir.

4.9. Karabuğday Bitkisinin Yeşil Aksam, Tane ve Yaprak Cd İçerikleri

Kadmiyum ve Zn uygulamalarının Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin yeşil aksam, tane ve yaprak Cd içeriğine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Çinko ve Cd uygulamalarının karabuğday çeşitlerinin yeşil aksam, tane ve yaprak Cd içeriği üzerine etkisi ile ilgili varyans analiz sonuçları

		Cd					
		Yeşil aksam		Tane		Yaprak	
Varyans Kaynağı	S.D	KO	F	KO	F	KO	F
Çeşit	1	0,932	0,60	0,24500	4,95*	276,98	17,76**
Zn Dozu	2	4,880	3,14*	0,41829	8,44**	69,97	4,49*
Cd Dozu	4	167,2	107,64**	3,46276	69,90**	2977,26	190,87**
Çeşit^{x}Zn Dozu	2	4,885	3,15*	0,00497	0,10	79,76	5,11**
Çeşi^{x}Cd Dozu	4	2,067	1,33	0,08679	1,75	69,65	4,47**
Zn Dozu^{x}Cd Dozu	cD	3,055	1,97	0,19979	4,03**	50,53	3,24**
Çeşit^{x}Zn^{x}Cd Dozu	8	3,743	2,41*	0,03277	0,66	42,72	2,74*
Hata	60	1,553		0,04954		15,60	

*: $p<0.05$ ve **: $p<0.01$

Varyans analiz sonuçlarına göre Cd ve Zn uygulamalarının, çeşitlerin, yaprak ($p<0.01$) ve tane ($p<0.05$) Cd içeriği üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Çinko uygulamasının yeşil aksam ve yaprak Cd içeriğine ($p<0.05$) ve tane Cd içeriği üzerine ise ($p<0.01$) düzeyinde etki etmiştir. Kadmiyum uygulamasının yeşil aksam, tane ve yaprak Cd içeriği üzerine etkisi $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çeşit^{x}Zn interaksiyonunun yeşil aksam Cd içeriği ve çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunun yeşil aksam Cd içeriği üzerine etkisi istatistiki bakımdan $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Çeşit^{x}Zn, çeşit^{x}Cd, Zn^{x}Cd uygulamalarında yaprak Cd içeriği $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunurken, çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunda $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Çinko^{x}Cd uygulamaları tane Cd içeriği üzerine etkisi istatistiki bakımdan $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.12).

Genel olarak çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonuna bakıldığında artarak uygulanan Cd dozları karabuğday bitki çeşitlerinin yeşil aksam Cd içeriğinde artış sağlamıştır. En

yüksek değer Aktaş çeşidinin 50 mg Cd kg^{-1} ve 30 mg Zn kg^{-1} dozunda iken, en düşük değer her iki çeşitte de Cd uygulanmayan Zn dozlarında görülmüştür. Çeşitler ayrı ayrı değerlendirildiğinde ise Güneş çeşidinin $Cd^{x}Zn$ interaksiyonunda istatistiki olarak fark önemli bulunmamaktadır ve Cd dozları arasında 100 mg Cd kg^{-1} uygulamasının yeşil aksam Cd içeriğini arttırdığı belirlenmiştir. Aktaş çeşidinin $Cd^{x}Zn$ interaksiyonunda 30 mg Zn kg^{-1} uygulaması ile 50 mg Cd kg^{-1} uygulaması ve Aktaş çeşidinin Zn dozları arasında 30 mg Zn kg^{-1} uygulaması yeşil aksam Cd içeriğinde artış sağlamıştır (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Çinko ve Cd uygulamalarının karabuğday çeşitlerinin yeşil aksam Cd içeriği üzerine etkisi

ÇEŞİT	Zn Dozları (mg kg^{-1})	Yeşil aksam Cd içeriği (mg kg^{-1})					
		Cd dozları (mg kg^{-1})					Ortalama
		0	12.5	25	50	100	
Güneş	0	0.32±0.04 ^{g}	1.61±0.02 ^{fg}	2.73±0.14 ^{efg}	3.66±0.68 ^{defg}	7.63±0.81 ^{abcd}	3.19±2.60 ^{B}
	10	0.26±0.03 ^{g}	2.25±0.47 ^{fg}	3.06±0.44 ^{efg}	6.54±0.91 $^{ab..e}$	8.06±2.27 ^{ab}	4.03±3.11 ^{AB}
	30	0.17±0.09 ^{g}	2.01±0.14 ^{fg}	3.24±0.64 ^{efg}	4.50±2.15 $^{bc..f}$	7.41±2.89 ^{abcd}	3.47±2.88 ^{AB}
	Ortalama	0.25±0.09 ^{D}	1.95±0.37 ^{CD}	3.01±0.45 ^{BC}	4.90±1.77 ^{B}	7.70±1.90 ^{A}	3.56±2.83
Aktaş	0	0.31±0.01 $^{g, c}$	1.98±0.38 $^{fg, c}$	2.07±0.70 $^{fg, c}$	3.94±1.34 $^{cd..g, bc}$	7.93±1.81 $^{abc, ab}$	3.25±2.85 $^{AB, B}$
	10	0.17±0.02 $^{g, c}$	1.88±0.81 $^{fg, c}$	2.63±0.75 $^{efg, c}$	4.76±1.82 $^{bc..f, bc}$	8.11±0.73 $^{ab, ab}$	3.51±2.95 $^{AB, AB}$
	30	0.40±0.14 $^{g, c}$	1.55±0.08 $^{fg, c}$	2.66±0.65 $^{efg, c}$	9.67±3.65 $^{a, a}$	8.41±1.03 $^{ab, ab}$	4.54±4.16 $^{A, A}$
	Ortalama	0.30±0.12 ^{B}	1.80±0.49 ^{B}	2.45±0.67 ^{B}	6.13±3.44 ^{A}	8.15±1.13 ^{A}	3.77±3.34

Tukey testi; çeşit^{x}Zn: $p<0.05$. çeşit^{x}Zn^{x}Cd: $p<0.05$

- Aktaş çeşidi Zn dozları arasında: $p<0.05$
- Aktaş çeşidi Cd dozları arasında: $p<0.01$
- Aktaş çeşidi Zn^{x}Cd interaksiyonunda: $p<0.01$
- Güneş çeşidi Cd dozları arasında: $p<0.01$

Harflendirmede ki siyah renkle gösterilenler çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu, kırmızı renkle gösterilenler ise çeşitlerin ayrı ayrı istatistiki analize tabi tutulduğunda elde edilen değerleri ifade etmektedir. Büyük harfle gösterilenlerde ise siyah renkli olanlar ortalama değerlerin çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu; kırmızı renkle gösterilenler ortalama değerlerin çeşitler arasında ayrı ayrı istatistiki analiz sonucunu göstermektedir.

Çizelge 4.14. Çinko ve Cd uygulamalarının karabuğday çeşitlerinin tane Cd içeriği üzerine etkisi

ÇEŞİT	Zn Dozları (mg kg^{-1})	Tane Cd İçeriği (mg kg^{-1})					Ortalama
		Cd dozları (mg kg^{-1})					
		0	12.5	25	50	100	
Güneş	0	0.06±0.03	0.20±0.13	0.37±0.09	0.67±0.11	0.80±0.21	0.42±0.31 ^{B}
	10	0.01±0.02	0.37±0.08	0.46±0.06	0.70±0.22	1.24±0.44	0.56±0.46 ^{AB}
	30	0.02±0.01	0.24±0.05	0.40±0.09	1.25±0.44	1.49±0.65	0.68±0.67 ^{A}
	Ortalama	0.03±0.03 ^{B}	0.27±0.11 ^{B}	0.41±0.08 ^{B}	0.88±0.38 ^{A}	1.17±0.51 ^{A}	0.55±0.50
Aktaş	0	0.05±0.02 ^{cd}	0.24±0.05 ^{cd}	0.24±0.01 ^{cd}	0.49±0.08 ^{cd}	0.68±0.24 ^{bc}	0.34±0.25 ^{B}
	10	0.02±0.01 ^{d}	0.22±0.07 ^{cd}	0.39±0.07 ^{cd}	0.48±0.04 ^{cd}	1.15±0.54 ^{ab}	0.45±0.45 ^{AB}
	30	0.03±0.02 ^{cd}	0.18±0.07 ^{cd}	0.37±0.06 ^{cd}	0.61±0.17 ^{bcd}	1.56±0.33 ^{a}	0.55±0.58 ^{A}
	Ortalama	0.03±0.02 ^{C}	0.21±0.06 ^{C}	0.34±0.09 ^{BC}	0.53±0.11 ^{B}	1.13±0.51 ^{A}	0.45±0.44

Tukey testi;

- Aktaş çeşidi Zn dozları arasında: $p<0.05$
- Aktaş çeşidi Cd dozları arasında: $p<0.01$
- Aktaş çeşidi Zn^{x}Cd interaksiyonunda: $p<0.01$
- Güneş çeşidi Zn dozları arasında: $p<0.05$
- Güneş çeşidi Cd dozları arasında: $p<0.01$

Harflendirmede ki siyah renkle gösterilenler çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu, kırmızı renkle gösterilenler ise çeşitlerin ayrı ayrı istatistiki analize tabi tutulduğunda elde edilen değerleri ifade etmektedir. Büyük harfle gösterilenlerde ise siyah renkli olanlar ortalama değerlerin çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu; kırmızı renkle gösterilenler ortalama değerlerin çeşitler arasında ayrı ayrı istatistiki analiz sonucunu göstermektedir.

Çizelge 4.15. Çinko ve Cd uygulamalarının karabuğday çeşitlerinin yaprak Cd içeriği üzerine etkisi

ÇEŞİT	Zn Dozları (mg kg^{-1})	Yaprak Cd İçeriği (mg kg^{-1})					
		Cd dozları (mg kg^{-1})					Ortalama
		0	12.5	25	50	100	
Güneş	0	1.75±0.21 $^{l, g}$	10.08±1.44 $^{ı-l, efg}$	21.52±3.73 $^{d-j, b-e}$	27.01±6.83 $^{c-h, bcd}$	32.96±6.75 $^{a-d, ab}$	18.66±12.37 $^{AB, AB}$
	10	2.73±0.97 $^{kl, fg}$	16.89±5.36 $^{e-k, c-f}$	19.67±1.80 $^{d-j, b-e}$	29.69±4.88 $^{a-e, abc}$	43.13±5.02 $^{ab, a}$	22.42±14.36 $^{A, A}$
	30	2.68±0.89 $^{kl, fg}$	14.28±4.61 $^{g-l, d-g}$	12.94±1.39 $^{h-l, d-g}$	18.85±2.50 $^{d-j, b-e}$	43.82±6.63 $^{a ,a}$	18.52±14.56 $^{AB, B}$
	Ortalama	2.39±0.82 $^{F, D}$	13.75±4.68 $^{DE, C}$	18.04±4.48 $^{CD, C}$	25.18±6.56 $^{BC, B}$	39.97±7.51 ^{A,A}	19.87±13.61
Aktaş	0	2.64±0.61 $^{kl, f}$	8.67±2.82 $^{jkl, ef}$	7.61±1.69 $^{jkl, ef}$	23.28±9.60 $^{c-h, bcd}$	28.55±0.54 $^{b-e, ab}$	14.15±11.00 $^{B, B}$
	10	1.93±0.34 $^{l, f}$	14.88±3.66 $^{f-k, de}$	8.45±0.60 $^{jkl, ef}$	26.81±5.95 $^{b-g, bc}$	29.30±2.73 $^{b-e, ab}$	16.28±11.22 $^{B, AB}$
	30	3.46±1.14 $^{kl, f}$	8.30±2.25 $^{jkl, ef}$	17.04±2.71 $^{d-j, cde}$	26.45±2.73 $^{b-g, bc}$	38.00±4.71 $^{ab, a}$	18.65±13.13 $^{AB, A}$
	Ortalama	2.68±0.94 $^{F, D}$	10.62±4.11 $^{E, C}$	11.03±4.80 $^{DE, C}$	25.51±6.05 $^{B, B}$	31.95±5.31 $^{B, A}$	16.36±11.70

Tukey testi; çeşit^{x}Zn: p<0.01. çeşit^{x}Cd: p<0.01. çeşit^{x}Zn^{x}Cd: p<0.05

- Aktaş çeşidi Zn dozları arasında: p<0.01
- Aktaş çeşidi Cd dozları arasında: p<0.01
- Aktaş çeşidi Zn^{x}Cd interaksiyonunda: p<0.05
- Güneş çeşidi Zn dozları arasında: p<0.05
- Güneş çeşidi Cd dozları arasında: p<0.01
- Güneş çeşidi Zn^{x}Cd interaksiyonunda: p<0.01

Harflendirmede ki siyah renkle gösterilenler çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu, kırmızı renkle gösterilenler ise çeşitlerin ayrı ayrı istatistiki analize tabi tutulduğunda elde edilen değerleri ifade etmektedir. Büyük harfle gösterilenlerde ise siyah renkli olanlar ortalama değerlerin çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu; kırmızı renkle gösterilenler ortalama değerlerin çeşitler arasında ayrı ayrı istatistiki analiz sonucunu göstermektedir.

Artan dozlarda uygulanan Cd karabuğday bitki çeşitlerinin tane Cd içeriğinde artış sağlamıştır ancak bu artış istatistiki olarak önemli değildir. Çeşitler ayrı ayrı değerlendirildiğinde ise Aktaş çeşidinin Cd^{x}Zn interaksiyonunda 30 mg Zn kg^{-1} uygulaması ile 100 mg Cd kg^{-1} uygulaması, Aktaş çeşidinin Zn dozları arasında 30 mg Zn kg^{-1} uygulaması ve Cd dozları arasında 100 mg Cd kg^{-1} uygulaması tane Cd içeriğinde artış sağlamıştır. Güneş çeşidinin Zn dozları arasında 30 mg Zn kg^{-1} uygulaması ve Cd dozları arasında 50 mg Cd kg^{-1} ve 100 mg Cd kg^{-1} uygulamaları tane Cd içeriğinde artış sağlamıştır (Çizelge 4.12).

Artarak uygulanan Cd dozları karabuğday bitki çeşitlerinin yaprak Cd içeriğinde artış sağlamıştır. En yüksek değer Güneş çeşidinin 100 mg Cd kg^{-1} ve 10 mg Zn kg^{-1}uygulamasında ve 100 mg Cd kg^{-1} ve 30 mg Zn kg^{-1} uygulamasında görülmüştür. En düşük değer ise Güneş çeşidinin kontrol uygulaması ile Aktaş çeşidinin Cd uygulaması olmaksızın 10 mg Zn kg^{-1}uygulamasındadır. Çeşitler ayrı ayrı değerlendirildiğinde ise Güneş çeşidinin Cd^{x}Zn interaksiyonunda 100 mg Cd kg^{-1} uygulaması ile 10 ve 30 mg Zn kg^{-1} uygulaması yaprak Cd içeriğinde artış sağlamıştır (43.13 ve 43.82 mg kg^{-1}); ortalama değer ise 39.97 mg kg^{-1} dir. Aktaş çeşidinin Cd^{x}Zn interaksiyonunda 30 mg Zn kg^{-1} ile 100 mg Cd kg^{-1} uygulamasında yaprak Cd içeriğinde artış sağlamıştır (38.00 mg kg^{-1}) (Çizelge 4.13). Normal bir bitkinin sürgünlerinde Cd, Pb, Zn, Cu ortalama konsantrasyonları 1, 5, 100 ve 10 mg kg^{-1}'dir (Cui ve ark., 2007). Bu değerler bitkiler için verilen 5-10 mg kg^{-1} kritik konsantrasyon (Kabata-Pendias ve Pendias, 2001) değerinin üzerindedir.

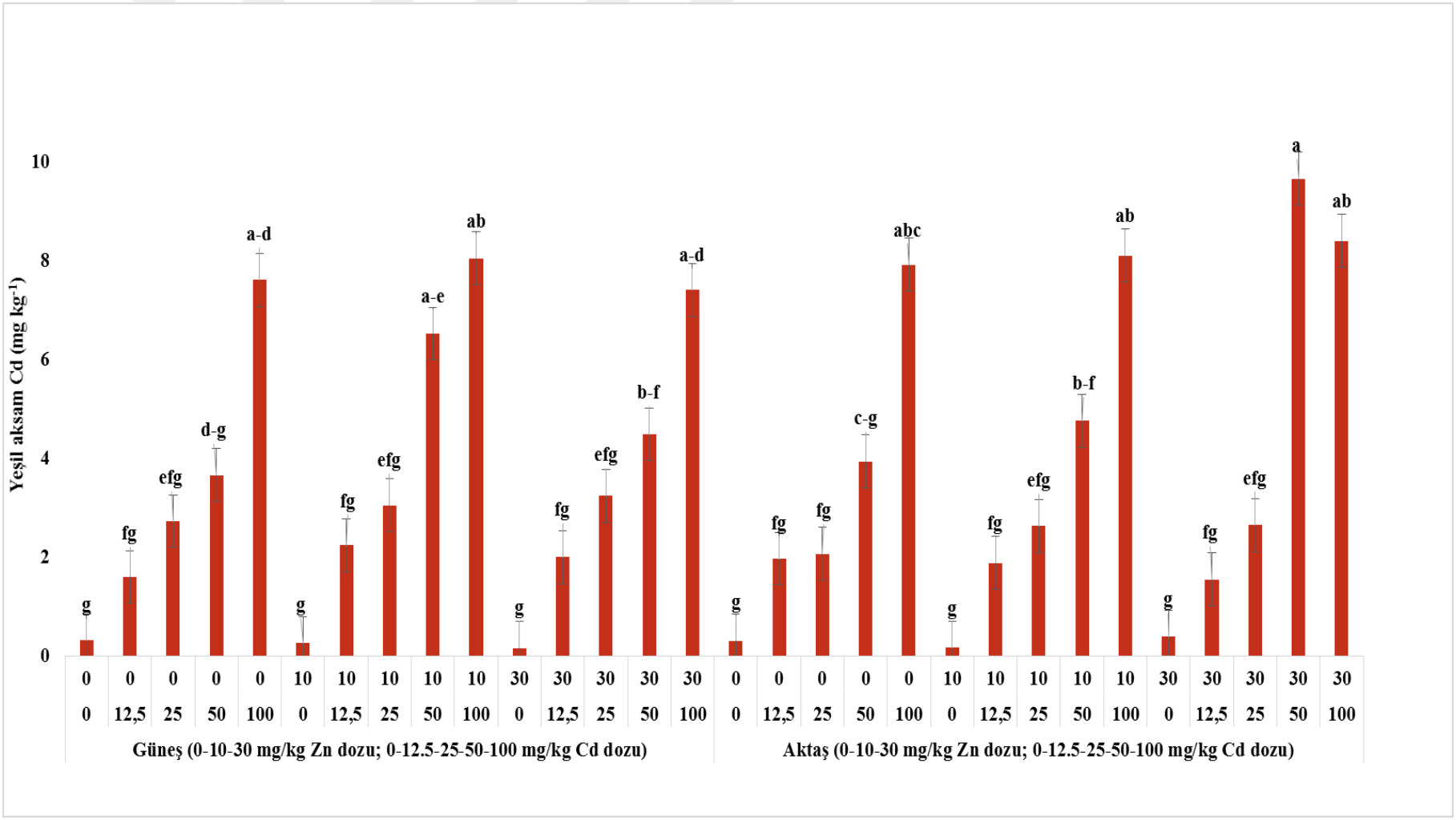
Duyarlı bitkilerde sınır değer 5-10 mg kg^{-1} olduğundan yıllık ürün kaybı %10-20'dir. Hiperakümülatör bitkilerde yaprak ve yeşil aksam Cd sınır değeri 100 mg kg^{-1}, Zn sınır değeri ise 10.000 mg kg^{-1} olarak kabul edilmektedir. Çok sayıda tahıl bitkisinin son zamanlarda fitoremediasyon bitkisi olarak kullanılması teklif edilmiştir (Kabata-Pendias ve Pendias, 2001).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) çeşitli tıbbi bitkiler için, bitki materyalinin sınırlayıcı dozu olarak 0,3 mg Cd kg^{-1}'dan fazla olmaması gerektiğini önermektedir (Organization, 1999). WHO tarafından, dünyanın farklı bölgelerinde ki ülkeler için belirlenen toksik metaller için maksimum değerler yayınlanmıştır. Bu bağlamda, WHO kuru otlarda da Cd için 0,3 mg kg^{-1} sınır değeri önermektedir (Organization, 2007).

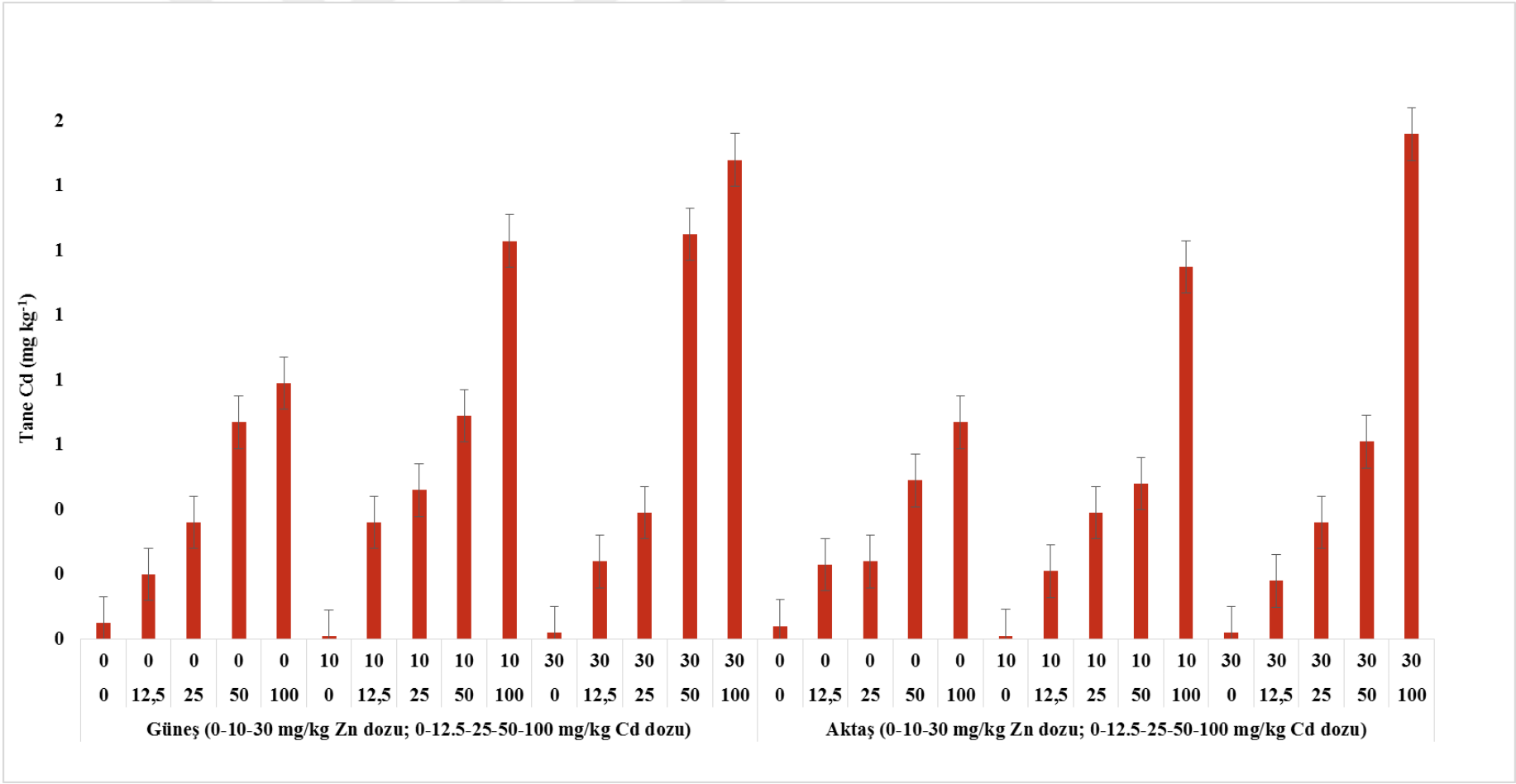
Bitkisel ilaçlar ve kurutulmuş otlarla yapılan çalışmada karabuğday bitkisinde Cd içeriği < 0.07- 0.78 mg kg^{-1} arasında bulunmuştur (Gasser ve ark., 2009). Kadmiyum ve Zn'nin etkileşimi, bitkilerde ki kök ve taşınım yoluyla alım ve topraktaki rekabetçi adsorpsiyonun süreçlerinden etkilenmektedir. Çinko kök yüzeyleri (Das ve ark., 1997) ve toprak kolloid alanları (Echeverria ve ark., 1998) için Cd ile rekabet edebilir. Düşük konsantrasyonlarda Cd ve Zn toprak kolloidlerinin tüm yerlerini işgal edemez, bu nedenle kök yüzeyler için rekabet süreci baskındır, sonuç olarak ise Zn gübrelerinin uygulanması bitkilerde Cd konsantrasyonunu azaltmaktadır (Zhang ve Song, 2006).



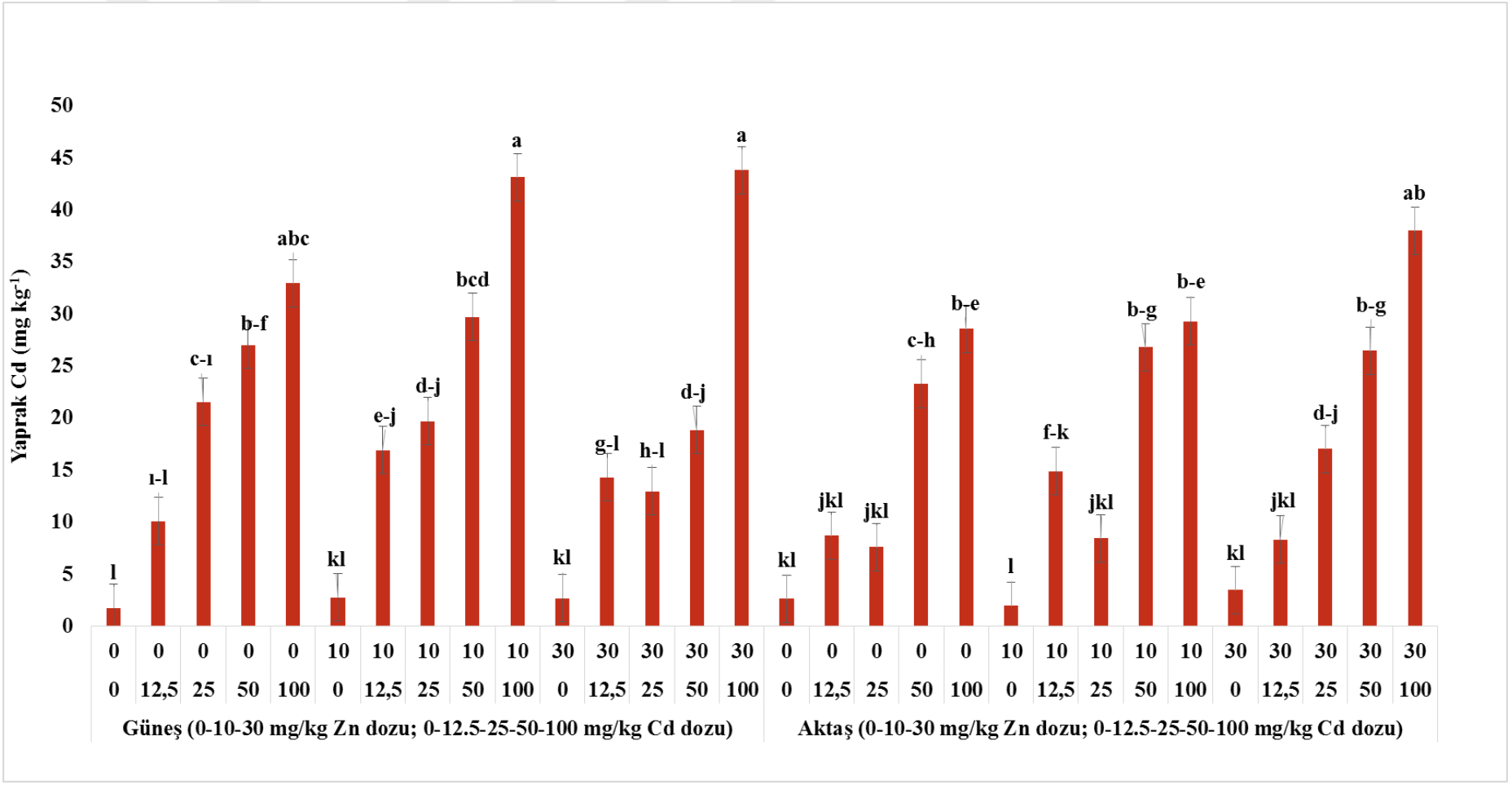
Şekil 4.3. Serada deneme sırasında bitkide görülen Cd toksisitesi görünümü



Şekil 4.4. Çinko ve Cd uygulamalarının karabuğday çeşitlerinin yeşil aksam Cd içeriği üzerine etki



Şekil 4.5. Çinko ve Cd uygulamalarının karabuğday çeşitlerinin tane Cd içeriği üzerine etkisi



Şekil 4.6. Çinko ve Cd uygulamalarının karabuğday çeşitlerinin yaprak Cd içeriği üzerine etkisi

Güneş çeşidinde artan Zn dozu yeşil aksam Cd içeriğinde azalmaya neden olmuştur. Birçok araştırmacı, Zn'nin toprağa eklenmesinin bitkilerde Cd konsantrasyonlarını azalttığını göstermiştir ancak diğer araştırmacılar, toprağa Zn eklenmesiyle Cd alımının arttığını bildirmektedir (Liu ve ark., 2003).

Tane Cd içeriği, kontrol uygulamasında Güneş çeşidi, Aktaş çeşidine göre % 20 daha fazladır. Yaprak Cd içeriği, kontrol uygulamasında Aktaş çeşidi, Güneş çeşidine göre % 51 daha fazladır. Çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunda Aktaş çeşidinin 10 mg Zn kg^{-1} uygulamasının kontrol uygulamasına kıyasla yaprak Cd içeriğinde % 27 azalış görülmüştür.

4.10. Karabuğday Bitkisinin Yeşil Aksam, Tane ve Yaprak Zn İçerikleri

Kadmiyum ve Zn uygulamalarının Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin yeşil aksam, tane ve yaprak Zn içeriğine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Çinko ve Cd uygulamalarının karabuğday çeşitlerinin yeşil aksam, tane ve yaprak Zn içeriği üzerine etkisi ile ilgili varyans analiz sonuçları

		Zn					
		Yeşil aksam		Tane		Yaprak	
Varyans Kaynağı	S.D	KO	F	KO	F	KO	F
Çeşit	1	67.39	3.45	204.19	8.74**	5069.1	44.85**
Zn Dozu	2	1002.25	51.24**	697.71	29.85**	20005.3	176.98**
Cd Dozu	4	53.24	2.72*	55.21	2.36	634.9	5.62**
Çeşit^{x}Zn Dozu	2	77.73	3.97*	89.70	3.84*	1428.4	12.64**
Çeşit^{x}Cd Dozu	4	17.49	0.89	10.48	0.45	611.4	5.41**
Zn Dozu^{x}Cd Dozu	8	28.53	1.46	41.98	1.80	1067.6	9.44**
Çeşit^{x}Zn^{x}Cd Dozu	8	27.34	1.40	32.85	1.41	1192.0	10.55**
Hata	60	19.56		23.37		113.0	

*: $p<0.05$ ve **: $p<0.01$

Varyans analiz sonuçlarına göre Cd ve Zn uygulamalarının, yeşil aksam Zn içeriği üzerine etkileri Zn dozları arasında ($p<0.01$), Cd dozları arasında ve çeşit^{x}Zn interaksiyonunda ($p<0.05$) istatistiki bakımdan önemli bulunmuştur. Tane Zn içeriği

üzerine etkileri karabuğday çeşitleri ve Zn dozlarında %1 düzeyinde ve çeşit^{x}Zn interaksiyonunda ise % 5 düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Uygulamaların yaprak Zn içeriği üzerine karabuğday çeşitlerinin, Zn dozlarının, Cd dozlarının, çeşit^{x}Zn interaksiyonunun, çeşit^{x}Cd interaksiyonunun, Zn^{x}Cd interaksiyonunun ve çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli görülmüştür (Çizelge 4.16).

Genel olarak çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonuna bakıldığında; artarak uygulanan Zn ve Cd dozları, yeşil aksam Zn (mg kg^{-1}) içeriği ve tane Zn (mg kg^{-1}) içeriğine etkisi istatistiki yönden önemli bulunmamıştır. Yaprak Zn içeriği istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p<0.01$) ve en yüksek değer Güneş çeşidinin 12.5 mg Cd kg^{-1} ve 30 mg Zn kg^{-1} dozunda belirlenmiştir (168.45 mg kg^{-1}) (Çizelge 4.19). Güneş çeşidinde Zn uygulaması olmaksızın 12.5 mg Cd kg^{-1} uygulamasında, Aktaş çeşidinde ise Zn uygulaması olmaksızın artan Cd dozlarında ki tüm uygulamalarda yaprak Zn içeriğinde azalma görülmüştür.

Çeşitler ayrı ayrı değerlendirildiğinde hem Güneş hem de Aktaş çeşidinde; Cd^{x}Zn interaksiyonunda ve Cd dozları arasında istatistiki olarak fark önemli bulunmamaktadır, ancak Zn dozları arasında 30 mg Zn kg^{-1} uygulaması yeşil aksam Zn içeriğinde artış sağlamıştır (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17. Çinko ve Cd uygulamalarının karabuğday çeşitlerinin yeşil aksam Zn içeriği üzerine etkisi

ÇEŞİT	Zn Dozları (mg kg^{-1})	Yeşil aksam Zn İçeriği (mg kg^{-1})					Ortalama
		Cd dozları (mg kg^{-1})					
		0	12.5	25	50	100	
Güneş	0	13.05±2.94	12.55±6.07	11.60±3.38	14.84±3.82	10.63±3.14	12.54±3.71^{C,B}
	10	15.04±2.99	16.34±3.38	16.83±3.93	17.28±0.61	19.33±2.67	16.97±2.88^{BC,B}
	30	28.14±1.01	32.15±4.86	22.13±3.87	25.06±7.02	26.29±7.94	26.75±5.79 ^{A,A}
	Ortalama	18.74±7.42	20.35±9.95	16.85±5.59	19.06±6.12	18.75±8.13	18.75±7.34
Aktaş	0	13.99±4.07	15.85±3.11	11.53±5.07	11.66±2.13	9.87±1.41	12.58±3.61^{C,B}
	10	16.77±3.83	21.03±7.00	17.02±5.45	14.41±4.44	16.65±1.84	17.18±4.64^{BC,AB}
	30	26.45±4.20	21.66±8.22	16.57±0.96	27.00±5.72	14.86±4.08	21.31±6.76^{B,A}
	Ortalama	19.07±6.66	19.51±6.26	15.04±4.59	17.69±8.03	13.79±3.84	17.02±6.21

Tukey testi; çeşit^{x}Zn: $p<0.05$.

- Aktaş çeşidi Zn dozları arasında: $p<0.01$
- Güneş çeşidi Zn dozları arasında: $p<0.01$

Harflendirmede ki siyah renkle gösterilenler çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu, kırmızı renkle gösterilenler ise çeşitlerin ayrı ayrı istatistiki analize tabi tutulduğunda elde edilen değerleri ifade etmektedir. Büyük harfle gösterilenlerde ise siyah renkli olanlar ortalama değerlerin çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu; kırmızı renkle gösterilenler ortalama değerlerin çeşitler arasında ayrı ayrı istatistiki analiz sonucunu göstermektedir.

Çizelge 4.18. Çinko ve Cd uygulamalarının karabuğday çeşitlerinin tane Zn içeriği üzerine etkisi

ÇEŞİT	Zn Dozları (mg kg^{-1})	Tane Zn İçeriği (mg kg^{-1})					Ortalama
		Cd dozları (mg kg^{-1})					
		0	12.5	25	50	100	
Güneş	0	26.36±0.54	26.29±1.91	29.05±5.24	24.37±1.21	30.52±6.37	27.32±3.95 C, B
	10	30.85±1.08	29.12±2.88	28.02±3.04	32.48±6.22	31.97±9.45	30.49±4.90 BC, B
	30	33.38±0.67	44.52±8.40	34.73±3.31	36.33±1.45	44.31±8.76	38.65±6.90 A, A
	Ortalama	30.19±3.16	33.31±9.64	30.60±4.66	31.06±6.21	35.60±9.73	32.15±7.15
Aktaş	0	29.88±8.35	29.70±2.57	25.16±0.09	30.74±6.30	25.99±4.93	28.29±5.05 C, B
	10	26.25±3.06	26.02±3.18	25.39±1.27	24.55±1.87	24.53±3.86	25.35±2.49 C, B
	30	32.70±3.60	32.44±4.71	30.90±3.60	30.08±1.59	42.76±9.47	33.77±6.53 AB, A
	Ortalama	29.61±5.56	29.39±4.18	27.15±3.40	28.46±4.48	31.09±10.45	29.14±6.01

Tukey testi; çeşit^{x}Zn: $p<0.05$.

- Aktaş çeşidi Zn dozları arasında: $p<0.01$
- Güneş çeşidi Zn dozları arasında: $p<0.01$

Harflendirmede ki siyah renkle gösterilenler çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu, kırmızı renkle gösterilenler ise çeşitlerin ayrı ayrı istatistiki analize tabi tutulduğunda elde edilen değerleri ifade etmektedir. Büyük harfle gösterilenlerde ise siyah renkli olanlar ortalama değerlerin çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu; kırmızı renkle gösterilenler ortalama değerlerin çeşitler arasında ayrı ayrı istatistiki analiz sonucunu göstermektedir.

Tane Zn içeriğinde artarak uygulanan Zn dozları çeşitlerin tane Zn içeriğinde artış sağlamıştır ancak bu artış istatistiki olarak önemli değildir (Çizelge 4.18). Çeşitler ayrı ayrı değerlendirildiğinde hem Güneş çeşidinde hem de Aktaş çeşidinde 30 mg Zn kg^{-1} uygulaması tane Zn içeriğinde artış sağlamıştır.

Yaprak Zn içeriğinde en yüksek değer Güneş çeşidinin 12.5 mg kg^{-1} Cd ve 30 mg kg^{-1} Zn interaksiyonunda görülmüştür (Çizelge 4.19). Çeşit^{x}Zn interaksiyonunda Güneş çeşidi 30 mg Zn kg^{-1} uygulaması yaprak Zn içeriğinde artış sağlamıştır (110.07 mg kg^{-1}) ($p<0.01$). Çeşit^{x}Cd interaksiyonunda Güneş çeşidi 12.5 mg Cd kg^{-1} uygulaması yaprak Zn içeriğinde artış sağlamıştır (82.64 mg kg^{-1}) ($p<0.01$). Güneş çeşidinin Cd^{x}Zn interaksiyonunda 12.5 mg Cd kg^{-1} ile 30 mg Zn kg^{-1} uygulaması ve Zn dozları arasında 30 mg Zn kg^{-1} uygulaması yaprak Zn içeriğinde artış sağlamıştır ($p<0.01$). Bu değerler tahıl bitkilerinde Zn için verilen yeterli sınır değer olan 70 mg kg^{-1} 'in üzerindedir (Kacar ve Katkat, 1998) ve serada deneme sırasında yapılan fenolojik gözlemlerde yapraklarda oluşan renk bozulmaları ve yeşil renkteki açılmaların Zn toksisitesinden olabileceği de düşünülmektedir (Resim 4.13).

Kadmiyum dozları arasında ki fark istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Aktaş çeşidinin ise Zn dozları arasında 30 mg Zn kg^{-1} ve Cd dozları arasında kontrol uygulaması yaprak Zn içeriğinde artış sağlamıştır ($p<0.01$). Aktaş çeşidinin Cd^{x}Zn interaksiyonu arasında ki fark istatistiki olarak önemli bulunmamıştır.



Şekil 4.7. Serada deneme sırasında bitkide görülen Zn toksisitesi

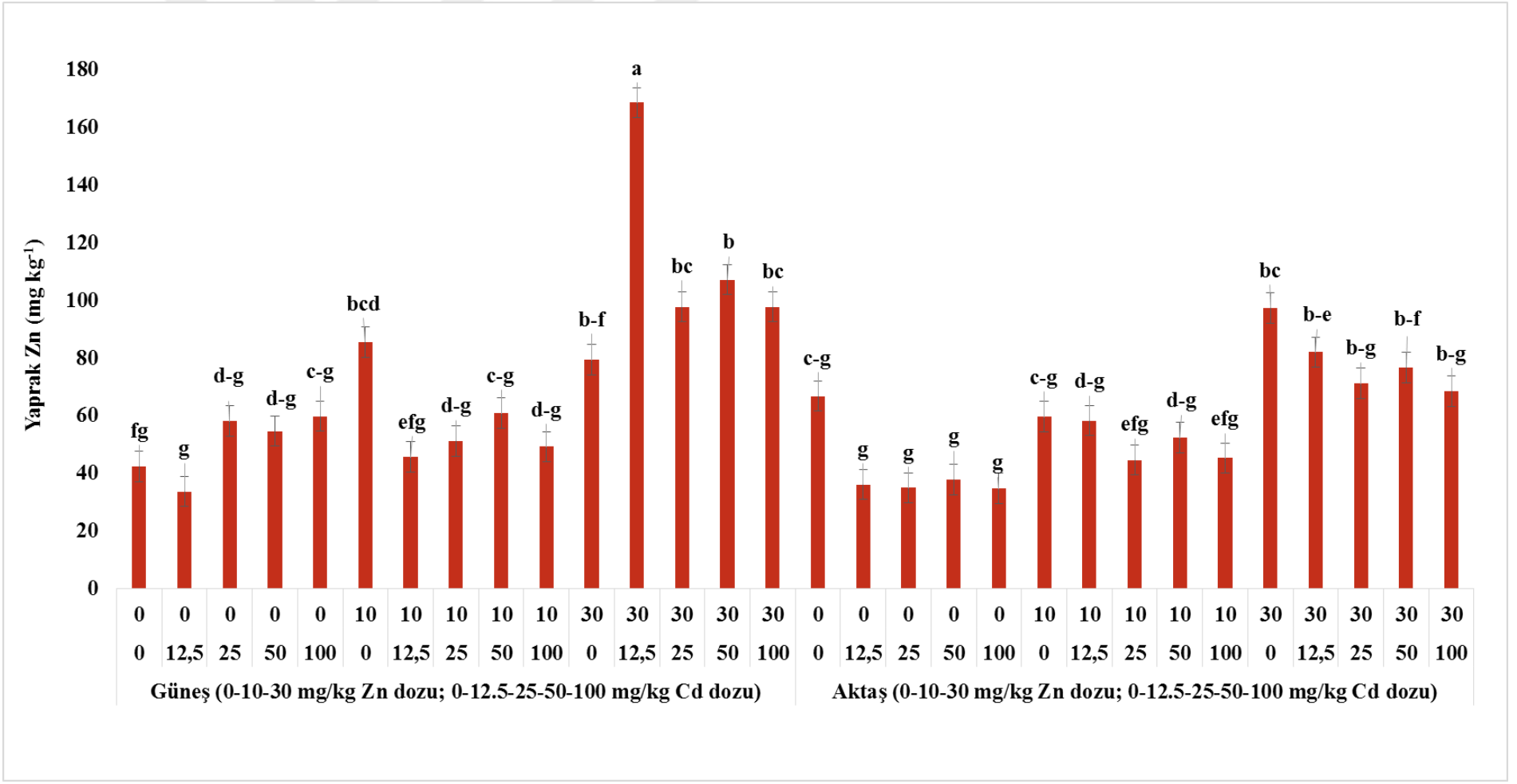
Çizelge 4.19. Çinko ve Cd uygulamalarının karabuğday çeşitlerinin yaprak Zn içeriği üzerine etkisi

ÇEŞİT	Zn Dozları (mg kg^{-1})	Yaprak Zn içeriği (mg kg^{-1})					
		Cd dozları (mg kg^{-1})					Ortalama
		0	12.5	25	50	100	
Güneş	0	42.46±10.44 fg, ef	33.76±12.63 g, f	58.15±12.07 d-g, c-f	54.68±2.85 d-g, def	59.79±2.32 c-g, c-f	49.77±13.01 CD, B
	10	85.47±6.96 bcd, bcd	45.70±3.39 efg, ef	51.25±12.30 d-g, def	60.86±12.86 c-g, c-f	49.29±1.81 d-g, def	58.51±16.61 C, B
	30	79.39±4.92 b-f, b-e	168.45±17.29 a, a	97.73±11.67 bc, bc	107.07±23.76 b, b	97.69±6.31 bc, bc	110.07±33.93 A, A
	Ortalama	69.11±21.25 ABC	82.64±65.47 A	69.04±24.09 ABC	74.20±28.28 AB	68.92±22.32 ABC	72.78±35.10
Aktaş	0	66.78±6.41 c-g	36.15±6.99 g	34.98±2.77 g	37.86±2.65 g	34.82±10.48 g	42.12±13.96 D, B
	10	59.68±16.79 c-g	58.31±12.46 d-g	44.63±12.79 efg	52.35±8.50 d-g	45.34±3.93 efg	52.06±11.86 CD, B
	30	97.31±10.36 bc	81.99±19.54 b-e	71.16±1.90 b-g	76.72±10.77 b-f	68.51±2.85 b-g	79.14±14.13 B, A
	Ortalama	74.59±20.18 AB, A	58.82±23.25 BCD, AB	50.26±17.52 CD, B	55.64±18.39 BCD, B	49.56±16.01 D, B	57.77±20.51

Tukey testi; çeşit^{x}Zn: p<0.01. çeşit^{x}Cd: p<0.01. çeşit^{x}Zn^{x}Cd : p<0.01

- Aktaş çeşidi Zn dozları arasında: p<0.01
- Aktaş çeşidi Cd dozları arasında: p<0.01
- Güneş çeşidi Zn dozları arasında: p<0.01
- Güneş çeşidi Zn^{x}Cd interaksiyonunda: p<0.01

Harflendirmede ki siyah renkle gösterilenler çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu, kırmızı renkle gösterilenler ise çeşitlerin ayrı ayrı istatistiki analize tabi tutulduğunda elde edilen değerleri ifade etmektedir. Büyük harfle gösterilenlerde ise siyah renkli olanlar ortalama değerlerin çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu; kırmızı renkle gösterilenler ortalama değerlerin çeşitler arasında ayrı ayrı istatistiki analiz sonucunu göstermektedir.



Şekil 4.8. Çinko ve Cd uygulamalarının karabuğday çeşitlerinin yaprak Zn içeriği üzerine etkisi

Çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunda; Güneş çeşidinin 12.5 mg Cd kg^{-1} ve 30 mg Zn kg^{-1} uygulamasının kontrol uygulamasına kıyasla yeşil aksam Zn içeriğini % 146 artırdığı görülmüştür. Her iki çeşitte de artan Zn dozları yeşil aksam Zn içeriğinde artışa neden olmuştur (Çizelge 4.17).

Çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunda Güneş çeşidinin 12.5 mg Cd kg^{-1} ve 30 mg Zn kg^{-1} uygulamasının kontrol uygulamasına kıyasla yaprak Zn içeriğinde % 297 artış görülmüştür (Çizelge 4.19). Sonuç olarak 12.5 mg Cd kg^{-1} ve 30 mg Zn kg^{-1} uygulaması hem yaprak hem de yeşil aksam Zn içeriğini artırmıştır.

4.11. Yeşil Aksam ile Kaldırılan Kadmiyum Miktarı

Güneş ve Aktaş çeşitlerinin yeşil aksamlarında biriktirdikleri Cd konsantrasyonuna ait varyans analiz sonuçları, Cd ortalama değerleri (µg bitki^{-1} ve mg da^{-1} olarak**)** Çizelge 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Kadmiyumun Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin yeşil aksam ile kaldırılmasına ait varyans analiz sonuçları

		Cd			
		Cd µg bitki^{-1}		Cd mg da^{-1}	
Varyans Kaynağı	S.D	KO	F	KO	F
Çeşit	1	249,82	5,68*	1204761	5,68*
Zn Dozu	2	238,02	5,41**	1147839	5,41**
Cd Dozu	4	3195,11	72,69**	15408495	72,69**
Çeşit^{x}Zn Dozu	2	550,45	12,52**	2654580	12,52**
Çeşit^{x}Cd Dozu	4	180,64	4,11**	871135	4,11**
Zn Dozu^{x}Cd Dozu	8	126,23	2,87**	608736	2,87**
Çeşit^{x}Zn^{x}Cd Dozu	8	139,44	3,17**	672465	3,17**
Hata	60	43,96		211989	

*: $p<0.05$ ve **: $p<0.01$

Kadmiyum uygulamaları, Zn uygulamaları, çeşit^{x}Zn interaksiyonu, çeşit^{x}Cd interaksiyonu, Zn^{x}Cd interaksiyonu ve çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunun yeşil aksamlarındaki Cd miktarı üzerine etkisi istatistiki olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli

bulunmuştur. Çeşitler arasında ise yeşil aksamları ile kaldırılan Cd üzerine etki istatistiki olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.20).

Çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonu değerlendirildiğinde Güneş çeşidinde 100 mg Cd kg^{-1} ve 10 mg Zn kg^{-1} uygulamasının (43.14 µg bitki^{-1}), Aktaş çeşidinde ise 50 mg Cd kg^{-1} ve 30 mg Zn kg^{-1} uygulaması (50.49 µg bitki^{-1} ve 3506 mg da^{-1}) ile 100 mg Cd kg^{-1} ve 30 mg Zn kg^{-1} (45.14 µg bitki^{-1}) uygulamasının yeşil aksamı ile kaldırılan Cd üzerine olumlu şekilde etki ettiği görülmüştür. Çeşitler ayrı ayrı değerlendirildiğinde de aynı etkiler görülmüştür**.** Genel olarak değerlendirildiğinde yeşil aksamı ile kaldırılan Cd miktarı 0.77-50.49 µg bitki^{-1} arasındadır (Çizelge 4.21 ve 4.22). Artan Cd dozları ile topraktan kaldırılan Cd miktarı artış gösterirken; Güneş çeşidinde artan dozlarda Zn uygulanması ve özellikle de 30 mg kg^{-1} uygulamasında kaldırılan Cd miktarını azaltmış ancak Aktaş çeşidinde kaldırılan Cd miktarında düşüş olmamıştır. Deneme esnasında yapılan gözlemlerde de Cd ve Zn uygulamalarının yüksek dozlarında Aktaş çeşidinin genel gelişme durumunda Güneş çeşidine kıyasla fazla değişme olmadığı gözlemlenmiştir.

Qiu ve ark. tarafından yapılan araştırmada (2011) Zn takviyesi köklerdeki Cd konsantrasyonunu önemli ölçüde azaltmıştır ve sürgünlerde Cd translokasyonunu daha da arttırmıştır.



Şekil 4.9. Güneş çeşidinin 10 mg kg^{-1} Zn uygulaması ve artan dozlarda uygulanan Cd'nin etkisi



Şekil 4.10. Güneş çeşidinin 10 mg kg^{-1} Zn uygulaması ve artan dozlarda uygulanan Cd'nin etkisi



Şekil 4.11. Aktaş çeşidinin 10 mg kg^{-1} Zn uygulaması ve artan dozlarda uygulanan Cd'nin etkisi



Şekil 4.12. Aktaş çeşidinin 30 mg kg^{-1} Zn uygulaması ve artan dozlarda uygulanan Cd'nin etkisi

Çizelge 4.21. Kadmiyum elementinin, Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin yeşil aksamları ile kaldırılmasına ait sonuçlar (µg bitki^{-1})

ÇEŞİT	Zn Dozları (mg kg^{-1})	Yeşil Aksam İle Kaldırılan Cd (µg bitki^{-1})					Ortalama
		Cd dozları (mg kg^{-1})					
		0	12.5	25	50	100	
Güneş	0	1.81±0.42 $^{e, c}$	7.65±1.36 $^{cde, c}$	12.46±1.43 $^{b-e, bc}$	12.63±2.53 $^{b-e, bc}$	30.42±4.63 $^{a-d, ab}$	12.99±10.13 $^{BC, B}$
	10	1.37±0.21 $^{e, c}$	13.43±2.19 $^{b-e, bc}$	17.89±3.04 $^{b-e, bc}$	31.58±5.14 $^{abc, ab}$	43.14±15.47 $^{a, a}$	21.48±16.30 $^{AB, A}$
	30	0.77±0.38 $^{e, c}$	8.16±2.02 $^{cde, c}$	10.95±1.87 $^{b-e, c}$	16.96±10.01 $^{b-e, bc}$	16.64±4.82 $^{b-e, bc}$	10.70±7.56 $^{C, B}$
	Ortalama	1.32±0.54 $^{E, D}$	9.75±3.22 $^{CDE, CD}$	13.77±3.70 $^{CD, BC}$	20.39±10.36 $^{BC, B}$	30.07±14.24 $^{AB, A}$	15.06±12.55
Aktaş	0	1.49±0.63 $^{e, c}$	8.55±1.90 $^{cde, bc}$	9.79±2.85 $^{cde, bc}$	17.77±1.76 $^{b-e, bc}$	35.14±12.29 $^{ab, ab}$	14.55±12.88 $^{BC, B}$
	10	1.19±0.19 $^{e, c}$	9.84±7.20 $^{cde, bc}$	12.01±4.70 $^{b-e, bc}$	28.20±13.28 $^{a-d, abc}$	35.14±4.41 $^{ab, ab}$	17.28±14.34 $^{ABC, AB}$
	30	1.76±0.70 $^{e, c}$	6.25±0.38 $^{de, c}$	13.08±3.00 $^{b-e, bc}$	50.49±19.84 $^{a, a}$	45.14±6.05 $^{a, a}$	23.35±22.53 $^{A, A}$
	Ortalama	1.48±0.54 $^{E, B}$	8.21±4.05 $^{DE, B}$	11.63±3.46 $^{CDE, B}$	32.15±18.78 $^{AB, A}$	38.47±8.77 $^{A, A}$	18.39±17.13

Tukey testi; çeşit^{x}Zn: p<0.01. çeşit^{x}Cd: p<0.01. çeşit^{x}Zn^{x}Cd: p<0.01

- Aktaş çeşidi Zn dozları arasında: p<0.05
- Aktaş çeşidi Cd dozları arasında: p<0.01
- Aktaş çeşidi Zn^{x}Cd interaksiyonunda: p<0.05
- Güneş çeşidi Zn dozları arasında: p<0.01
- Güneş çeşidi Cd dozları arasında: p<0.01
- Güneş çeşidi Zn^{x}Cd interaksiyonunda: p<0.01

Harflendirmede ki siyah renkle gösterilenler çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu, kırmızı renkle gösterilenler ise çeşitlerin ayrı ayrı istatistiki analize tabi tutulduğunda elde edilen değerleri ifade etmektedir. Büyük harfle gösterilenlerde ise siyah renkli olanlar ortalama değerlerin çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu; kırmızı renkle gösterilenler ortalama değerlerin çeşitler arasında ayrı ayrı istatistiki analiz sonucunu göstermektedir.

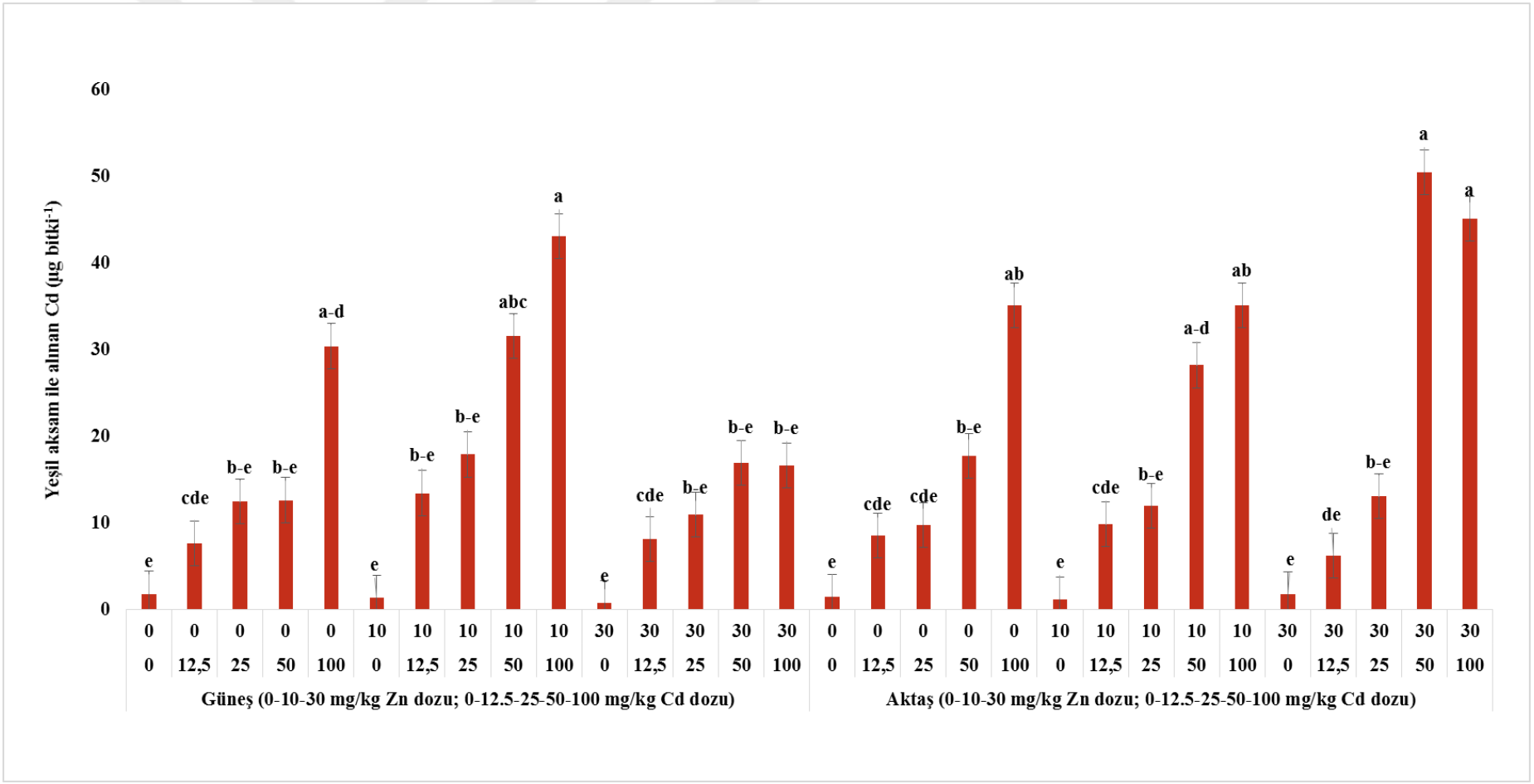
Çizelge 4.22. Kadmiyum elementinin, Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin yeşil aksamları ile kaldırılmasına ait sonuçlar (mg da^{-1})

ÇEŞİT	Zn Dozları (mg kg^{-1})	Yeşil Aksam İle Kaldırılan Cd (mg da^{-1})					Ortalama
		Cd dozları (mg kg^{-1})					
		0	12.5	25	50	100	
Güneş	0	125.69±28.94 $^{e, c}$	531.60±94.5 $^{cde, c}$	865.5±99.2 $^{b-e, bc}$	877±175.8 $^{b-e, bc}$	2112±321.2 $^{a-d, ab}$	902.37±703.4 $^{BC, B}$
	10	95.34±14.87 $^{e, c}$	932.60±152 $^{b-e, bc}$	1242.1±210.9 $^{b-e, bc}$	2193±356.7 $^{abc, ab}$	2996±1074.1 $^{a, a}$	1491.84±1131.9 $^{AB, A}$
	30	53.57±26.24 $^{e, c}$	567.0±140.3 $^{cde, c}$	760.3±129.5 $^{b-e, c}$	1177±695.4 $^{b-e, bc}$	1156±334.6 $^{b-e, bc}$	742.82±525.3 $^{C, B}$
	Ortalama	91.54±37.7 $^{E, D}$	677.0±223.4 $^{CDE, CD}$	955.97±256.7 $^{CD, BC}$	1415.9±719.3 $^{BC, B}$	2087.96±988.6 $^{AB, A}$	1045.7±871.2
Aktaş	0	103.45±43.47 $^{e, c}$	593.40±131.6 $^{cde, bc}$	679.6±198.2 $^{cde, bc}$	1234±122.3 $^{b-e, bc}$	2440±853.6 $^{ab, ab}$	1010.15±894.6 $^{BC, B}$
	10	82.96±12.95 $^{e, c}$	683.50±499.6 $^{cde, bc}$	834.1±326.5 $^{b-e, bc}$	1958±922 $^{a-d, abc}$	2440±306.1 $^{ab, ab}$	1199.82±995.9 $^{ABC, AB}$
	30	122.41±48.31 $^{e, c}$	433.90±26.4 $^{de, c}$	908.6±208.6 $^{b-e, bc}$	3506±1378.1 $^{a, a}$	3135±420.3 $^{a, a}$	1621.25±1564.6 $^{A, A}$
	Ortalama	102.94±37.30 $^{E, B}$	570.27±280.9 $^{DE, B}$	807.42±240.00 $^{CDE, B}$	2233.0±1304.4 $^{AB, A}$	2671.80±608.70 $^{A, A}$	1277.10±1189.90

Tukey testi; çeşit^{x}Zn: p<0.01, çeşit^{x}Cd: p<0.01, çeşit^{x}Zn^{x}Cd: p<0.01

- Aktaş çeşidi Zn dozları arasında: p<0.05
- Aktaş çeşidi Cd dozları arasında: p<0.01
- Aktaş çeşidi Zn^{x}Cd interaksiyonunda: p<0.05
- Güneş çeşidi Zn dozları arasında: p<0.01
- Güneş çeşidi Cd dozları arasında: p<0.01
- Güneş çeşidi Zn^{x}Cd interaksiyonunda: p<0.01

Harflendirmede ki siyah renkle gösterilenler çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu, kırmızı renkle gösterilenler ise çeşitlerin ayrı ayrı istatistiki analize tabi tutulduğunda elde edilen değerleri ifade etmektedir. Büyük harfle gösterilenlerde ise siyah renkli olanlar ortalama değerlerin çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu; kırmızı renkle gösterilenler ortalama değerlerin çeşitler arasında ayrı ayrı istatistiki analiz sonucunu göstermektedir.



Şekil 4.13. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin yeşil aksam ile kaldırılan Cd miktarı (µg bitki^{-1})

Çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunda Güneş çeşidinin 100 mg Cd kg^{-1} ve 10 mg Zn kg^{-1} uygulamasının kontrol uygulamasına kıyasla yeşil aksamları ile kaldırılan Cd miktarında % 2283 artış görülmüştür. Aktaş çeşidinin 50 mg Cd kg^{-1} ve 30 mg Zn kg^{-1} uygulamasının kontrol uygulamasına kıyasla yeşil aksamları ile kaldırılan Cd miktarında % 3289, 100 mg Cd kg^{-1} ve 30 mg Zn kg^{-1} uygulamasının kontrol uygulamasına kıyasla yeşil aksamları ile kaldırılan Cd miktarında % 2930 artış görülmüştür (Çizelge 4.21).

4.12. Yeşil Aksamlar ile Kaldırılan Zn Miktarı

Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin yeşil aksamlarında biriktirdikleri Zn miktarlarına ait varyans analiz sonuçları, Zn ortalama değerleri (µg bitki^{-1}) ve (mg da^{-1}) olarak Çizelge 4.23'de verilmiştir.

Çizelge 4.23. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin yeşil aksamları ile topraktan kaldırılan Zn miktarlarına ait varyans analiz sonuçları

		Zn			
		Zn (µg bitki^{-1})		Zn (mg da^{-1})	
Varyans Kaynağı	S.D	KO	F	KO	F
Çeşit	1	2.2	0.00	10808	0.00
Zn Dozu	2	15598.9	26.91**	75226275	26.91**
Cd Dozu	4	2557.2	4.41**	12332410	4.41**
Çeşit^{x}Zn Dozu	2	45.1	0.08	217642	0.08
Çeşit^{x}Cd Dozu	4	531.0	0.92	2560733	0.92
Zn Dozu^{x}Cd Dozu	8	759.2	1.31	3661279	1.31
Çeşit^{x}Zn^{x}Cd Dozu	8	1093.4	1.89	5273079	1.89
Hata	60	579.6		2795041	

*: $p<0.05$ ve **: $p<0.01$

Kadmiyum uygulamaları ve Zn uygulamaları, yeşil aksamlar ile kaldırılan Zn miktarı üzerine etkisi istatistiki olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Çeşitler ayrı ayrı değerlendirildiğinde ise Aktaş ve Güneş çeşitlerinin Zn dozları arasında istatistiki olarak $p<0.01$ düzeyinde fark önemli bulunmuştur.

Çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonu değerlendirildiğinde karabuğday çeşitlerinin yeşil aksamı ile kaldırılan Zn miktarında istatistiksel olarak fark yoktur. Ancak genel olarak yeşil aksamı ile kaldırılan en fazla Zn, Güneş çeşidinde Cd uygulaması olmaksızın 30 mg Zn kg^{-1} uygulamasında (132.97 µg bitki^{-1} ya da 9234 mg da^{-1}), Aktaş çeşidinde 50 mg Cd kg^{-1} ve 30 mg Zn kg^{-1} uygulamasında (140.15 µg bitki^{-1} ya da 9732 mg da^{-1}) görülmüştür (Çizelge 4.24, Çizelge 4.25).

Çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonu değerlendirildiğinde Aktaş çeşidinin 30 mg Zn kg^{-1} ve 50 mg Cd kg^{-1} uygulamasında yeşil aksamı ile kaldırılan Zn miktarında diğer uygulamalara göre artış gözlenmiştir ve % 130 daha fazladır. Ancak bu artış istatistiki olarak önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.24. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin yeşil aksamları ile topraktan kaldırılan Zn miktarlarına ait sonuçlar (µg bitki^{-1})

ÇEŞİT	Zn Dozları (mg kg^{-1})	Yeşil Aksam İle Kaldırılan Zn (µg bitki^{-1})					Ortalama
		Cd Dozları (mg kg^{-1})					
		0	12.5	25	50	100	
Güneş	0	74.04±25.32	63.16±41.99	53.42±18.83	50.82±10.94	42.77±15.50	56.84±23.88 B
	10	79.93±20.83	97.20±10.82	98.62±24.95	84.59±17.51	101.69±9.16	92.40±17.36 A
	30	132.97±12.39	129.92±32.31	74.89±11.57	93.74±39.28	64.43±33.42	99.19±37.54 A
	Ortalama	95.64±33.12	96.76±39.58	75.64±25.71	76.38±29.59	69.63±32.04	82.81±32.84
Aktaş	0	60.92±11.50	70.58±24.05	54.75±22.30	55.37±15.42	42.85±10.28	56.89±17.58 B
	10	115.26±31.36	95.73±15.66	79.28±35.22	85.02±33.67	72.07±9.74	89.47±27.76 A
	30	114.64±16.22	87.93±35.81	83.06±21.47	140.15±30.68	79.83±22.76	101.12±32.63 A
	Ortalama	96.94±32.78	84.75±25.51	72.37±26.96	93.51±44.34	64.92±21.56	82.50±32.26

Tukey testi;

- Aktaş çeşidi Zn dozları arasında : $p<0.01$
- Güneş çeşidi Zn dozları arasında : $p<0.01$

Harflendirmede ki siyah renkle gösterilenler çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu, kırmızı renkle gösterilenler ise çeşitlerin ayrı ayrı istatistiki analize tabi tutulduğunda elde edilen değerleri ifade etmektedir. Büyük harfle gösterilenlerde ise siyah renkli olanlar ortalama değerlerin çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu; kırmızı renkle gösterilenler ortalama değerlerin çeşitler arasında ayrı ayrı istatistiki analiz sonucunu göstermektedir.

Çizelge 4.25. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin yeşil aksamları ile topraktan kaldırılan Zn miktarlarına ait sonuçlar (mg da^{-1})

ÇEŞİT	Zn Dozları (mg kg^{-1})	Yeşil Aksam ile Kaldırılan Zn (mg da^{-1})					
		Cd Dozları (mg kg^{-1})					Ortalama
		0	12.5	25	50	100	
Güneş	**0**	5141±1758	4386±2916	3709±1307	3529±760	2970±1076	3947±1658 B
	10	5550±1446	6750±751	6849±1732	5874±1216	7062±636	6417±1206 A
	30	9234±861	9023±2244	5201±803	6510±2728	4474±2321	6888±2607 A
	Ortalama	6642±2300	6720±2749	5253±1786	5304±2055	4835±2225	5751±2281
Aktaş	**0**	4230±799	4901±1670	3802±1548	3845±1071	2976±714	3951±1221 B
	10	8004±2177	6648±1087	5505±2446	5904±2338	5005±676	6213±1928 A
	30	7961±1126	6106±2487	5768±1491	9732±2131	5544±1580	7022±2266 A
	Ortalama	6732±2277	5885±1772	5025±1872	6494±3079	4508±1497	5729±2240

Tukey testi;

- Aktaş çeşidi Zn dozları arasında: $p<0.01$
- Güneş çeşidi Zn dozları arasında: $p<0.01$

Harflendirmede ki siyah renkle gösterilenler $çeşit^{x}Zn^{x}Cd$ interaksiyonunu, kırmızı renkle gösterilenler ise çeşitlerin ayrı ayrı istatistiki analize tabi tutulduğunda elde edilen değerleri ifade etmektedir. Büyük harfle gösterilenlerde ise siyah renkli olanlar ortalama değerlerin $çeşit^{x}Zn^{x}Cd$ interaksiyonunu; kırmızı renkle gösterilenler ortalama değerlerin çeşitler arasında ayrı ayrı istatistiki analiz sonucunu göstermektedir.

4.13. Tane ile Kaldırılan Cd Miktarı

Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin tane ile kaldırılan Cd miktarlarına ait varyans analiz sonuçları, Cd ortalama değerleri (µg saksı$^{-1}$ ve mg da^{-1} olarak) Çizelge 4.26, 4.27 ve 4.28'de sunulmuştur.

Çizelge 4.26. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin tane ile kaldırılan Cd miktarına ait varyans analiz sonuçları

		Cd			
		Cd (µg bitki^{-1})		Cd (mg da^{-1})	
Varyans Kaynağı	S.D	KO	F	KO	F
Çeşit	1	0.0269	0.04	130	0.04
Zn Dozu	2	6.4632	10.62**	31172	10.62**
Cd Dozu	4	28.2728	46.45**	136358	46.45**
Çeşit^{x}Zn Dozu	2	1.4137	2.32	6821	2.32
Çeşit^{x}Cd Dozu	4	0.2605	0.43	1256	0.43
Zn Dozu^{x}Cd Dozu	8	1.0859	1.78	5236	1.78
Çeşit^{x}Zn^{x}Cd Dozu	8	0.3957	0.65	1908	0.65
Hata	60	0.6087		2935	

*: $p<0.05$ ve **: $p<0.01$

Kadmiyum ve Zn uygulamalarının tane ile kaldırılan Cd üzerine etkisi istatistiki olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Çeşitler ayrı ayrı değerlendirildiğinde; Aktaş çeşidinde Zn dozları ve Cd dozları arasında ve Güneş çeşidinde Cd dozları arasında istatistiki olarak $p<0.01$ düzeyinde farklılık bulunmuştur (Çizelge 4.26).

Çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonu değerlendirildiğinde karabuğday çeşitlerinin tane ile kaldırılan Cd miktarında istatistiksel olarak fark görülmemiştir. Ancak genel olarak tane ile kaldırılan en fazla Cd (4.79 µg bitki^{-1} veya 332.53 mg da^{-1}) Güneş çeşidinde 100 mg Cd kg^{-1} ve 10 mg Zn kg^{-1} uygulamasında görülmüştür. Tane ile kaldırılan Cd miktarı artan Cd dozları ile artmıştır ancak bu artışlar istatistiki yönden önemli bulunmamıştır. Değerler 3.31-332.53 mg da^{-1} arasında değişmektedir (Çizelge 4.27, 4.28). Önceki bölümde (Çizelge 4.22) yeşil aksam ile kaldırılan Cd miktarı 53.57-3506 mg da^{-1} arasında değiştiği dikkate alındığında taneye geçen ve tane tarafından alınan Cd miktarının azaldığı görülmüştür.

Bu durumda gıda olarak tüketiminde bir problem oluşturmayabileceği düşünülmekle birlikte; tanedeki Cd içeriğinin 0.01-1.56 mg kg^{-1} (Çizelge 4.14) arasında değişmesi ve bu değerin bazı Cd dozlarında Cd için verilen kritik sınır olan 0.3 mg kg^{-1}' i (WHO) aşmasından dolayı insan ve hayvan sağlığı açısından problem oluşabilecektir. Bu yüzden kirli alanlarda bu bitkinin yetiştirilmesi durumunda Cd'nin taneye geçtiği görüldüğü için tüketiminde dikkatli olunması ve gıda güvenliği açısından tanede ağır metal analizlerinin yapılması gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca karabuğdayın bal üretiminde kullanılan bir bitki olmasından dolayı bitkinin yoğun olduğu ve kirli alanlarda yetiştirildiğinde çiçekleri aracılığıyla üretilen ballarda da Cd bulunması ihtimali yüksektir. Bu konuda yapılan bir çalışmada çevre kirliliğinin bir biyoindikatörü olarak baldaki metal birikimini kullanımının; özellikle tehlikeli metaller, Cd ve Pb içeriği farklı olan alanlardan kaynaklanması konusunda doğrulama yapılmasının, gerektiği bildirilmiştir (Nowak ve ark., 2011).

Çizelge 4.27. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin tane ile kaldırılan Cd miktarına etkisi (µg bitki^{-1})

ÇEŞİT	Zn Dozları (mg kg^{-1})	Tane ile Kaldırılan Cd (µg bitki^{-1})					
		Cd Dozları (mg kg^{-1})					Ortalama
		0	12.5	25	50	100	
Güneş	0	0.24±0.11	0.65±0.41	1.20±0.20	1.72±0.65	2.30±0.37	1.22±0.83
	10	0.05±0.08	2.01±0.71	1.64±0.31	2.69±0.50	4.79±2.17	2.24±1.83
	30	0.07±0.07	0.23±0.04	0.80±0.31	2.34±0.87	2.61±2.17	1.21±1.42
	Ortalama	0.12±0.12^{C}	0.96±0.91^{BC}	1.21±0.43^{BC}	2.25±0.73^{AB}	3.23±1.94^{A}	1.56±1.47
Aktaş	0	0.10±0.06	0.77±0.33	0.80±0.17	1.12±0.57	2.78±1.22	1.11±1.07^{B}
	10	0.08±0.03	1.01±0.28	1.78±0.41	2.61±0.10	4.14±1.50	1.92±1.56^{A}
	30	0.11±0.10	0.68±0.25	1.81±0.20	2.33±1.12	3.73±0.73	1.73±7.41^{AB}
	Ortalama	0.10±0.06^{D}	0.82±0.29^{CD}	1.46±0.55^{BC}	2.02±0.93^{B}	3.55±1.19^{A}	1.59±1.38

Tukey testi;

- Aktaş çeşidi Zn dozları arasında: $p<0.01$
- Aktaş çeşidi Cd dozları arasında: $p<0.01$
- Güneş çeşidi Cd dozları arasında: $p<0.01$

Harflendirmede ki siyah renkle gösterilenler çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu, kırmızı renkle gösterilenler ise çeşitlerin ayrı ayrı istatistiki analize tabi tutulduğunda elde edilen değerleri ifade etmektedir. Büyük harfle gösterilenlerde ise siyah renkli olanlar ortalama değerlerin çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu; kırmızı renkle gösterilenler ortalama değerlerin çeşitler arasında ayrı ayrı istatistiki analiz sonucunu göstermektedir.

Çizelge 4.28. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin tane ile kaldırılan Cd miktarına etkisi (mg da^{-1})

ÇEŞİT	Zn Dozları (mg kg^{-1})	Tane İle Kaldırılan Cd (mg da^{-1})					Ortalama
		Cd Dozları (mg kg^{-1})					
		0	12.5	25	50	100	
Güneş	0	16.58±7.77	44.94±28.58	83.05±14.01	119.55±44.79	159.57±25.43	84.74±57.68
	10	3.31±5.73	139.81±48.97	113.65±21.62	186.71±34.60	332.53±150.89	155.20±127.10
	30	5.02±4.52	15.77±3.12	55.84±21.52	162.17±60.67	181.03±150.69	83.97±98.34
	Ortalama	8.30±8.22 C	66.84±62.93 BC	84.18±30.15 BC	156.14±50.86 AB	224.38±134.89 A	107.97±102.06
Aktaş	0	6.85±4.24	53.32±22.59	55.72±12.03	77.96±39.92	193.20±84.50	77.41±74.22 B
	10	5.57±1.96	70.24±19.54	123.51±28.61	180.95±6.92	287.35±104.08	133.52±108.02 A
	30	7.53±7.04	47.31±17.29	125.58±13.76	161.73±77.61	258.83±50.36	120.20±98.25 AB
	Ortalama	6.65±4.31 D	56.95±20.10 CD	101.60±38.38 BC	140.22±64.54 B	246.46±82.92 A	110.38±95.51

Tukey testi;

- Aktaş çeşidi Zn dozları arasında: $p<0.01$
- Aktaş çeşidi Cd dozları arasında: $p<0.01$
- Güneş çeşidi Cd dozları arasında: $p<0.01$

Harflendirmede ki siyah renkle gösterilenler çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu, kırmızı renkle gösterilenler ise çeşitlerin ayrı ayrı istatistiki analize tabi tutulduğunda elde edilen değerleri ifade etmektedir. Büyük harfle gösterilenlerde ise siyah renkli olanlar ortalama değerlerin çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu; kırmızı renkle gösterilenler ortalama değerlerin çeşitler arasında ayrı ayrı istatistiki analiz sonucunu göstermektedir.

Çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonu değerlendirildiğinde Güneş çeşidinin 100 mg Cd kg^{-1} ve 10 mg Zn kg^{-1} uygulamasında tane ile kaldırılan Cd miktarında diğer uygulamalara göre artış gözlenmiştir ve % 1906 daha fazladır. Ancak bu artış istatistiki olarak önemli bulunmamıştır.

4.14. Tane ile Kaldırılan Zn Miktarı

Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin tane ile kaldırılan Zn miktarlarına ait varyans analiz sonuçları, Zn ortalama değerleri (mg bitki^{-1} ve mg da^{-1} olarak) Çizelge 4.29, 4.30 ve 4.31' de sunulmuştur.

Çizelge 4.29. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin tane ile kaldırılan Zn miktarına etkisine ait varyans analiz sonuçları

		Zn			
		Zn (mg bitki^{-1})		Zn (mg da^{-1})	
Varyans Kaynağı	S.D	KO	F	KO	F
Çeşit	1	0.00283	4.41*	13642367	4.41*
Zn Dozu	2	0.01163	18.14**	56109101	18.14**
Cd Dozu	4	0.00086	1.34	4133270	1.34
Çeşit^{x}Zn Dozu	2	0.01126	17.56**	54308893	17.56**
Çeşit^{x}Cd Dozu	4	0.00152	2.37	7337718	2.37
Zn Dozu^{x}Cd Dozu	8	0.00179	2.80*	8657245	2.80*
Çeşit^{x}Zn^{x}Cd Dozu	8	0.00076	1.19	3668891	1.19
Hata	60	0.00064		3092497	

*: $p<0.05$ ve **: $p<0.01$

Çinko uygulamaları ve çeşit^{x}Zn interaksiyonunun tane ile kaldırılan Zn miktarı üzerine etkisi istatistiki olarak $p<0.01$ düzeyinde, çeşitler arasında ve Zn^{x}Cd interaksiyonunda ise $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.29).

Çeşitler ayrı ayrı değerlendirildiğinde; Aktaş ve Güneş çeşitlerinde Zn dozları arasında $p<0.01$ düzeyinde ve Güneş çeşidi Cd dozları arasında $p<0.05$ düzeyinde istatistiki olarak fark bulunmuştur. Çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonu değerlendirildiğinde karabuğday çeşitlerinin tane ile kaldırılan Zn miktarında istatistiksel olarak fark

görülmemiştir. Ancak genel olarak en fazla Zn (0.16 mg bitki^{-1} veya 10809 mg da^{-1}) Güneş çeşidinde 12.5 mg Cd kg^{-1} ve 10 mg Zn kg^{-1} uygulamasında görülmüştür. Aktaş çeşidinde ise tane ile kaldırılan en fazla Zn (0.16 mg bitki^{-1} veya 10862 mg da^{-1}) 25 mg Cd kg^{-1} ve 30 mg Zn kg^{-1} uygulamasında görülmüştür (Çizelge 4.30 ve 4.31).

Çizelge 4.30. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinde tane ile kaldırılan Zn miktarı (mg bitki^{-1})

ÇEŞİT	Zn Dozları (mg kg^{-1})	Tane İle Kaldırılan Zn (mg bitki^{-1})					
		Cd Dozları (mg kg^{-1})					Ortalama
		0	12.5	25	50	100	
Güneş	0	0.11±0.00	0.09±0.01	0.10±0.03	0.06±0.01	0.09±0.01	0.09±0.02^{BC,B}
	10	0.15±0.02	0.16±0.02	0.10±0.02	0.13±0.02	0.12±0.05	0.13±0.03^{A,A}
	30	0.11±0.06	0.04±0.01	0.07±0.02	0.07±0.00	0.07±0.02	0.07±0.03^{C,B}
	Ortalama	0.12±0.04 ^{A}	0.09±0.05 ^{AB}	0.09±0.02 ^{AB}	0.08±0.03 ^{B}	0.09±0.04 ^{AB}	0.10±0.04
Aktaş	0	0.06±0.01	0.09±0.01	0.08±0.02	0.07±0.04	0.11±0.04	0.08±0.03^{C,B}
	10	0.12±0.03	0.13±0.03	0.11±0.00	0.13±0.02	0.09±0.01	0.12±0.02^{AB,A}
	30	0.14±0.02	0.12±0.00	0.16±0.05	0.11±0.03	0.10±0.03	0.13±0.03^{A,A}
	Ortalama	0.10±0.04	0.11±0.02	0.12±0.04	0.11±0.04	0.10±0.03	0.11±0.03

Tukey testi; çeşit^{x}Zn: $p<0.01$.

- Aktaş çeşidi Zn dozları arasında: $p<0.01$
- Güneş çeşidi Cd dozları arasında: $p<0.05$
- Güneş çeşidi Zn dozları arasında: $p<0.01$

Harflendirmede ki siyah renkle gösterilenler çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu, kırmızı renkle gösterilenler ise çeşitlerin ayrı ayrı istatistiki analize tabi tutulduğunda elde edilen değerleri ifade etmektedir. Büyük harfle gösterilenlerde ise siyah renkli olanlar ortalama değerlerin çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu; kırmızı renkle gösterilenler ortalama değerlerin çeşitler arasında ayrı ayrı istatistiki analiz sonucunu göstermektedir.

Çizelge 4.31. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinde tane ile kaldırılan Zn miktarı (mg da^{-1})

ÇEŞİT	Zn Dozları (mg kg^{-1})	Tane İle Kaldırılan Zn (mg da^{-1})					Ortalama
		Cd Dozları (mg kg^{-1})					
		0	12.5	25	50	100	
Güneş	0	7465±141	5903±984	6705±1737	4238±1017	6101±699	6082±1421 BC, B
	10	10583±1141	10809±1383	6908±1317	8817±1242	8571±3407	9138±2188 A, A
	30	7393±3915	2922±621	4842±1261	4658±126	4792±1730	4921±2256 C, B
	Ortalama	8480±2579 A	6545±3566 AB	6152±1599 AB	5904±2335 B	6488±2556 AB	6714±2649
Aktaş	0	3886±615	6346±737	5759±1281	4812±2466	7578±2757	5676±2010 C, B
	10	7988±1837	8724±2297	7886±329	9245±1492	6261±380	8021±1638 AB, A
	30	9682±1283	8340±316	10862±3282	7857±2209	7159±2015	8780±2226 A, A
	Ortalama	7185±2830	7804±1644	8169±2839	7304±2674	6999±1814	7492±2346

Tukey testi; çeşit^{x}Zn: $p<0.01$.

- Aktaş çeşidi Zn dozları arasında : $p<0.01$
- Güneş çeşidi Cd dozları arasında : $p<0.05$
- Güneş çeşidi Zn dozları arasında : $p<0.01$

Harflendirmede ki siyah renkle gösterilenler çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu, kırmızı renkle gösterilenler ise çeşitlerin ayrı ayrı istatistiki analize tabi tutulduğunda elde edilen değerleri ifade etmektedir. Büyük harfle gösterilenlerde ise siyah renkli olanlar ortalama değerlerin çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu; kırmızı renkle gösterilenler ortalama değerlerin çeşitler arasında ayrı ayrı istatistiki analiz sonucunu göstermektedir.

4.15. Kadmiyum ve Zn Uygulamalarının Karabuğday Bitkisinin Fitoekstraksiyon Kapasitesine Etkisi

Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin Cd ve Zn fitoekstraksiyon kapasitesine ait varyans analiz tablosu, Cd fitoekstraksiyon kapasitesi (mg da^{-1}) ve Zn fitoekstraksiyon kapasitesi (g da^{-1}) sonuçları sırasıyla Çizelge 4.32, 4.33 ve 4.34'de sunulmuştur.

Çizelge 4.32. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin fitoekstraksiyon kapasitesine ait varyans analiz sonuçları

		Cd (mg da^{-1})		Zn (g da^{-1})	
Varyans Kaynağı	S.D	KO	F	KO	F
Çeşit	1	1229956	5.52*	12.885	2.16
Zn Dozu	2	1542241	6.92**	213.356	35.73**
Cd Dozu	4	18405831	82.55**	25.473	4.27**
Çeşit^{x}Zn Dozu	2	2929112	13.14**	60.485	10.13**
Çeşit^{x}Cd Dozu	4	862356	3.87**	9.803	1.64
Zn Dozu^{x}Cd Dozu	8	685632	3.08**	10.839	1.82
Çeşit^{x}Zn^{x}Cd Dozu	8	684703	3.07**	7.006	1.17
Hata	60	222966		5.972	

*: $p<0.05$ ve **: $p<0.01$

Çinko ve Cd dozlarının çeşit^{x}Zn interaksiyonunun, çeşit^{x}Cd interaksiyonunun, Zn^{x}Cd interaksiyonunun ve çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunun Cd fitoekstraksiyon kapasitesi üzerine etkisi istatistiki olarak $p<0.01$ düzeyinde, çeşitlerine etkisi ise $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.32).

Çizelge 4.33. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin Cd fitoekstraksiyon kapasitesine ait sonuçlar

ÇEŞİT	Zn Dozları (mg kg^{-1})	Cd Fitoekstraksiyon Kapasitesi (mg da^{-1})					
		Cd Dozları (mg kg^{-1})					Ortalama
		0	12.5	25	50	100	
Güneş	0	142.3±21.2 g, d	576.5±76.1 efg, d	948.6±99.9 c-g, cd	996.4±217.9 c-g, bcd	2271.8±332.5 a-e, abc	987.1±753.6 C, B
	10	98.6±18.4 g, d	1072.4±154.5 b-g, bcd	1355.8±209.3 b-g, bcd	2380.1±338.5 a-d, ab	3328.4±1058.1 a, a	1647.0±1228.7 AB, A
	30	58.6±27.7 g, d	582.7±139.7 efg, d	816.1±108.5 d-g, d	1339.6±754 b-g, bcd	1336.9±479.4 b-g, bcd	826.8±608.3 C, B
	Ortalama	99.8±41.3 E, D	743.9±270.2 CDE, CD	1040.1±275.2 CD, BC	1572±756.3 BC, B	2312.3±1053.3 AB, A	1153.6±952.7
Aktaş	0	110.3±46.5 g, e	646.7±118 efg, de	735.3±208.9 d-g, cde	1312.1±138.9 b-g, b-e	2633.4±769.7 abc, abc	1087.6±944.3 BC, B
	10	88.5±14.1 g, e	753.7±514.5 d-g, cde	957.6±354 c-g, b-e	2139.4±926.6 a-f, a-d	2727.4±409.8 ab, ab	1333.3±1091.9 ABC, AB
	30	129.9±49.8 g, e	481.2±43.6 fg, de	1034.1±195.4 b-g, b-e	3668±1425.9 a, a	3393.9±467.3 a, a	1741.4±1646.9 A, A
	Ortalama	109.6±39.2 E, B	627.2±290.3 DE, B	909±264.3 CDE, B	2373.2±1341.4 AB, A	2918.2±611.2 A, A	1387.4±1265.1

Tukey testi; çeşit^{x}Zn: p<0.01. çeşit^{x}Cd: p<0.01. çeşit^{x}Zn^{x}Cd: p<0.01

- Aktaş çeşidi Zn dozları arasında: p<0.01
- Aktaş çeşidi Cd dozları arasında: p<0.01
- Aktaş çeşidi Zn^{x}Cd dozları arasında: p<0.05
- Güneş çeşidi Zn dozları arasında: p<0.01
- Güneş çeşidi Cd dozları arasında: p<0.01
- Güneş çeşidi Zn^{x}Cd interaksiyonunda: p<0.01

Harflendirmede ki siyah renkle gösterilenler çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu, kırmızı renkle gösterilenler ise çeşitlerin ayrı ayrı istatistiki analize tabi tutulduğunda elde edilen değerleri ifade etmektedir. Büyük harfle gösterilenlerde ise siyah renkli olanlar ortalama değerlerin çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu; kırmızı renkle gösterilenler ortalama değerlerin çeşitler arasında ayrı ayrı istatistiki analiz sonucunu göstermektedir.

Çizelge 4.34. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin Zn fitoekstraksiyon kapasitesine ait sonuçlar

ÇEŞİT	Zn Dozları (mg kg^{-1})	Zn Fitoekstraksiyon Kapasitesi (g da^{-1})					Ortalama
		Cd Dozları (mg kg^{-1})					
		0	12.5	25	50	100	
Güneş	0	12.61±1.75	10.29±2.57	10.41±3.00	7.77±1.65	9.07±1.22	10.03±2.46 $^{C, B}$
	10	16.13±0.46	17.56±0.92	13.76±1.03	14.69±1.71	15.63±3.65	15.55±2.10 $^{A, A}$
	30	16.63±4.68	11.94±2.03	10.04±0.99	11.17±2.85	9.27±3.57	11.81±3.74 $^{BC, B}$
	Ortalama	15.12±3.15	13.26±3.71	11.40±2.43	11.21±3.53	11.32±4.16	12.46±3.63
Aktaş	0	8.12±1.41	11.25±0.96	9.56±2.70	8.66±2.26	10.55±3.37	9.63±2.29 $^{C, B}$
	10	15.99±3.86	15.37±2.10	13.39±2.62	15.15±3.25	11.27±0.68	14.23±2.91 $^{AB, A}$
	30	17.64±2.24	14.45±2.22	16.63±2.94	17.59±2.72	12.70±0.50	15.80±2.79 $^{A, A}$
	Ortalama	13.92±4.99	13.69±2.47	13.19±3.88	13.80±4.66	11.51±1.98	13.22±3.72

Tukey testi; çeşit^{x}Zn: $p<0.01$.

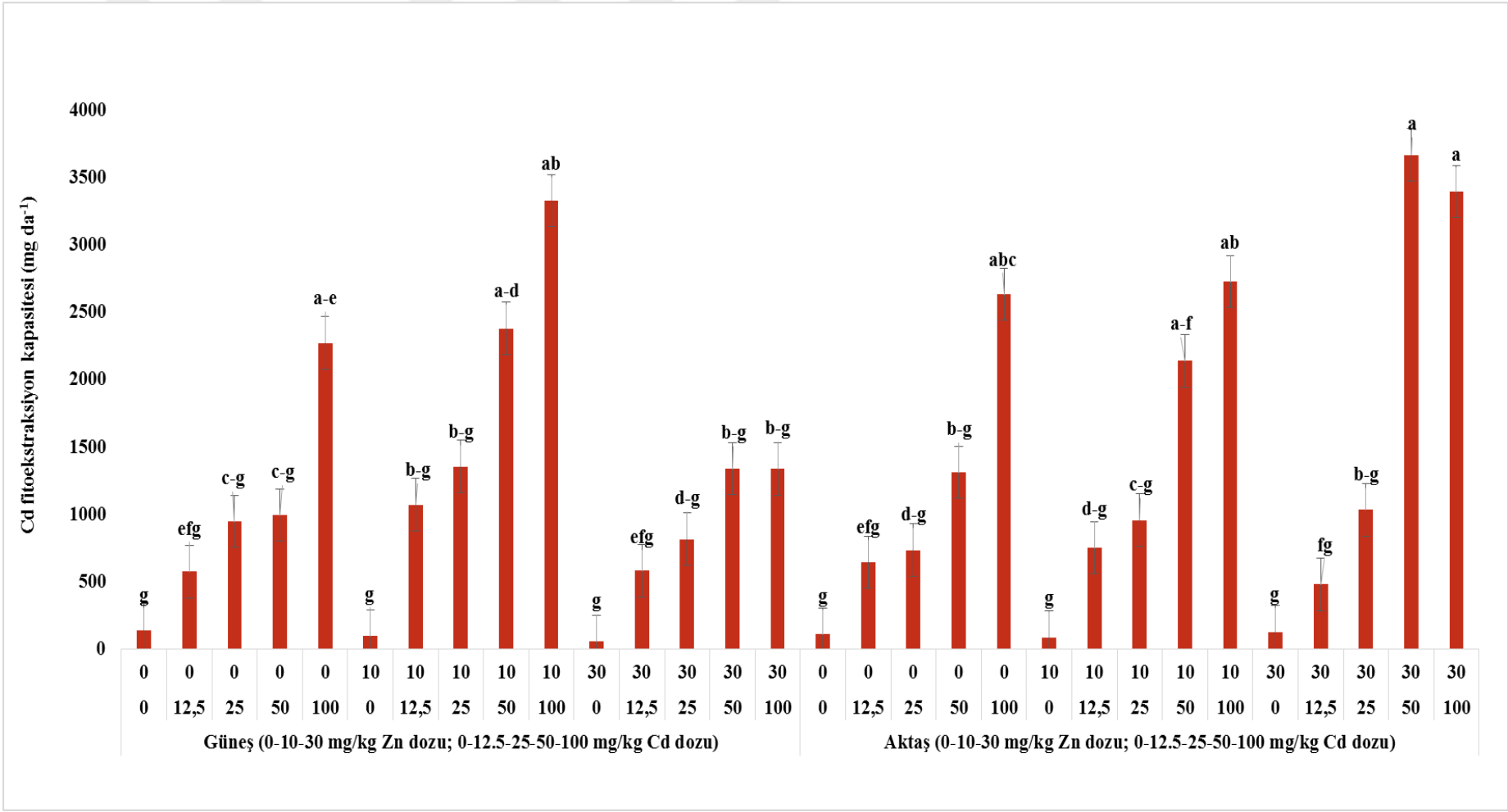
- Aktaş çeşidi Zn dozları arasında: $p<0.01$
- Güneş çeşidi Zn dozları arasında: $p<0.01$

Harflendirmede ki siyah renkle gösterilenler çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu, kırmızı renkle gösterilenler ise çeşitlerin ayrı ayrı istatistiki analize tabi tutulduğunda elde edilen değerleri ifade etmektedir. Büyük harfle gösterilenlerde ise siyah renkli olanlar ortalama değerlerin çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu; kırmızı renkle gösterilenler ortalama değerlerin çeşitler arasında ayrı ayrı istatistiki analiz sonucunu göstermektedir.

Çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonu değerlendirildiğinde karabuğday çeşitlerinin Cd fitoekstraksiyon kapasitesinin artan Cd dozları ile arttığı ve 58.6-3668 mg da^{-1} arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Aktaş çeşidinin 50 mg Cd kg^{-1} ve 30 mg Zn kg^{-1} uygulamasının (3668 mg da^{-1}) ve 100 mg Cd kg^{-1} ve 30 mg Zn kg^{-1} uygulamasının (3393.9 mg da^{-1}), Güneş çeşidinin 100 mg Cd kg^{-1} ve 10 mg Zn kg^{-1} (3328.4 mg da^{-1}) uygulamasının en yüksek Cd fitoekstraksiyon kapasitesinde olduğu görülmüştür. Kadmiyum uygulaması yapılmayan Zn dozlarında ise Cd fitoekstraksiyon kapasitesi olumsuz etkilenmiştir. Çeşitler ayrı ayrı değerlendirildiğinde de aynı sonuçlar elde edilmiştir (Çizelge 4.33).

Çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunda Zn fitoekstraksiyon kapasitesi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Ancak genel olarak bakıldığında Aktaş çeşidinde artan Zn dozları ile Zn fitoekstraksiyon kapasitesi artmıştır (Çizelge 4.34).

Boechat ve ark. (2016) metallerce kirlenmiş bir alanda büyüyen yedi bitki türü ile yaptıkları çalışmada bitkilerde ağır metal ve metaloid seviyeleri, kirlenmemiş topraklarda yetiştirilen normal karasal bitki çeşitlerinin üst sınırlarını büyük ölçüde aşmıştır. Bu da bitkilerin kirlenmiş topraklarda yetiştirildiğinde daha yüksek ağır metal seviyelerini biriktirdiğini göstermektedir. *Senecio brasiliensis* bitkisi Cu, Cd ve Ba'un translokasyonunda en etkili bitki olmuştur. Çinko ve Pb translokasyonu için ise *Baccharis trimera* bitkisi en etkilidir.



Şekil 4.14. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin Cd fitoekstraksiyon kapasitesi (mg da^{-1})

4.16. Taşıma Faktörü

Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin Cd ve Zn için hesaplanan taşıma faktörü değerlerine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.35, Cd taşıma faktörü Çizelge 4.36 ve Zn taşıma faktörü Çizelge 4.37'de verilmiştir.

Çizelge 4.35. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin taşıma faktörüne ait varyans analiz sonuçları

		Cd (mg kg^{-1})		Zn (mg kg^{-1})	
Varyans Kaynağı	S.D	KO	F	KO	F
Çeşit	1	0.6828	2.20	2024.4	27.93**
Zn Dozu	2	0.8650	2.78	15304.0	211.17**
Cd Dozu	4	35.6761	114.72**	531.9	7.34**
Çeşit^{x}Zn Dozu	2	0.5190	1.67	841.2	11.61**
Çeşit^{x}Cd Dozu	4	1.8381	5.91**	445.7	6.15**
Zn Dozu^{x}Cd Dozu	8	1.5928	5.12**	280.8	3.87**
Çeşit^{x}Zn^{x}Cd Dozu	8	2.9001	9.33**	221.7	3.06**
Hata	60	0.3110		72.5	

Kadmiyum uygulamaları arasında, çeşit^{x}Cd interaksiyonunda, Zn^{x}Cd interaksiyonunda ve çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunun Cd taşıma faktörü üzerine etkisi istatistiki olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çeşitler arasında, Zn uygulamaları arasında, Cd uygulamaları arasında, çeşit^{x}Zn interaksiyonunda, çeşit^{x}Cd interaksiyonunda, Zn^{x}Cd interaksiyonunda ve çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunun Zn taşıma faktörü üzerine etkisi istatistiki olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.36. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin Cd taşıma faktörüne ait sonuçlar

ÇEŞİT	Zn Dozları (mg kg^{-1})	Cd Taşıma Faktörü (mg kg^{-1})					Ortalama
		Cd Dozları (mg kg^{-1})					
		0	12.5	25	50	100	
Güneş	0	6.83±1.47 a, a	0.54±0.14 fg, d	0.41±0.05 fg, d	0.35±0.07 fg, d	0.40±0.07 fg, d	1.71±2.71
	10	3.62±0.76 bc, b	0.75±0.11 fg, d	0.70±0.11 fg, d	0.79±0.17 fg, d	1.13±0.29 efg, cd	1.40±1.20
	30	3.08±1.20 b-e, bc	0.75±0.09 fg, d	1.58±0.65 c-g, bcd	0.70±0.31 fg, d	1.06±0.35 efg, cd	1.43±1.06
	Ortalama	4.51±2.03 A, A	0.68±0.14 C, B	0.90±0.62 C, B	0.61±0.27 C, B	0.86±0.42 C, B	1.51±1.78
Aktaş	0	3.20±0.44 bcd, ab	1.66±0.11 c-g, bcd	0.94±0.11 fg, cd	0.30±0.14 g, d	0.83±0.02 fg, cd	1.39±1.06 AB
	10	2.34±0.20 c-f, bc	1.06±0.51 efg, cd	0.93±0.16 fg, cd	0.49±0.18 fg, cd	0.50±0.06 fg, cd	1.07±0.74 B
	30	4.54±1.79 b, a	1.14±0.42 efg, cd	0.42±0.13 fg, d	1.29±0.60 d-g, bcd	0.43±0.10 fg, d	1.56±1.74 A
	Ortalama	3.36±1.33 B, A	1.29±0.43 C, B	0.77±0.28 C, B	0.69±0.56 C, B	0.59±0.20 C, B	1.34±1.24

Tukey testi; çeşit^{x}Cd: $p<0.01$, çeşit^{x}Zn^{x}Cd: $p<0.01$

- Aktaş çeşidi Zn dozları arasında: $p<0.05$
- Aktaş çeşidi Cd dozları arasında: $p<0.01$
- Aktaş çeşidi Zn^{x}Cd dozları arasında: $p<0.01$
- Güneş çeşidi Cd dozları arasında: $p<0.01$
- Güneş çeşidi Zn^{x}Cd interaksiyonunda: $p<0.01$

Harflendirmede ki siyah renkle gösterilenler çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu, kırmızı renkle gösterilenler ise çeşitlerin ayrı ayrı istatistiki analize tabi tutulduğunda elde edilen değerleri ifade etmektedir. Büyük harfle gösterilenlerde ise siyah renkli olanlar ortalama değerlerin çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu; kırmızı renkle gösterilenler ortalama değerlerin çeşitler arasında ayrı ayrı istatistiki analiz sonucunu göstermektedir.

Çizelge 4.37. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin Zn taşıma faktörüne ait sonuçlar

ÇEŞİT	Zn Dozları (mg kg^{-1})	Zn Taşıma Faktörü (mg kg^{-1})					Ortalama
		Cd Dozları (mg kg^{-1})					
		0	12.5	25	50	100	
Güneş	0	54.66±5.37 ab, abc	57.72±9.61 ab, ab	51.19±16.49 ab, a-d	55.33±9.84 ab, ab	66.22±14.53 a, a	57.02±11.29 A, A
	10	58.39±7.38 ab, ab	17.65±5.32 cd, de	28.41±6.35 bcd, b-e	16.93±11.57 cd, de	55.30±22.49 ab, ab	35.34±21.41 B, B
	30	43.50±3.85 abc, a-e	12.97±2.50 cd, e	18.99±6.00 cd, cde	14.44±2.01 cd, e	9.18±2.43 d, e	19.81±13.05 C, C
	Ortalama	52.19±8.34 A, A	29.45±22.03 BC, B	32.86±17.11 BC, B	28.90±21.28 BC, B	43.57±29.47 AB, AB	37.39±21.88
Aktaş	0	63.48±13.43 a	63.07±7.27 a	55.21±6.73 ab	59.30±7.78 ab	52.79±10.11 ab	58.77±9.07 A, A
	10	16.60±4.23 cd	16.59±1.74 cd	16.82±10.67 cd	12.03±2.75 d	18.17±6.12 cd	16.04±5.51 C, B
	30	11.00±1.39 d	11.81±3.55 d	7.41±1.82 d	8.44±2.01 d	5.88±0.60 d	8.91±2.90 C, B
	Ortalama	30.36±25.94 BC	30.49±24.87 BC	26.48±22.84 C	26.59±24.94 C	25.61±21.88 C	27.91±23.11

Tukey testi; çeşit^{x}Zn: $p<0.01$ çeşit^{x}Cd: $p<0.01$. çeşit^{x}Zn^{x}Cd : $p<0.01$

- Aktaş çeşidi Zn dozları arasında: $p<0.01$
- Güneş çeşidi Zn dozları arasında: $p<0.01$
- Güneş çeşidi Cd dozları arasında: $p<0.01$
- Güneş çeşidi Zn^{x}Cd interaksiyonunda: $p<0.01$

Harflendirmede ki siyah renkle gösterilenler çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu, kırmızı renkle gösterilenler ise çeşitlerin ayrı ayrı istatistiki analize tabi tutulduğunda elde edilen değerleri ifade etmektedir. Büyük harfle gösterilenlerde ise siyah renkli olanlar ortalama değerlerin çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonunu; kırmızı renkle gösterilenler ortalama değerlerin çeşitler arasında ayrı ayrı istatistiki analiz sonucunu göstermektedir.

Çeşitler ayrı ayrı değerlendirildiğinde Cd taşıma faktörü; Güneş ve Aktaş çeşitlerinin Cd dozları arasında ve Zn^{x}Cd interaksiyonunda $p<0.01$ düzeyinde ve Aktaş çeşidinin Zn dozları arasında ise $p<0.05$ düzeyinde istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Güneş çeşidinin kontrol uygulamasında ve Aktaş çeşidinin Cd uygulaması olmaksızın 30 mg Zn kg^{-1} uygulamasında Cd taşıma faktörü olumlu şekilde etkilenmiştir (Çizelge 4.36). Çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonuna bakıldığında karabuğday çeşitlerinin Cd taşıma faktörünün artan Cd dozları ile azaldığı gözlemlenmiştir. Kadmiyum taşıma faktörü 0.30-6.83 mg kg^{-1} arasında değişmiş olup, en yüksek Cd taşıma faktörü Güneş çeşidinin kontrol uygulamasındadır (6.83 mg kg^{-1}).

Çizelge 4.37'de görüleceği gibi Zn taşıma faktörü; Güneş çeşidinde artan Cd dozları ile özellikle 30 mg Zn kg^{-1} uygulamasında azalmıştır; Aktaş çeşidinde bu azalmalar daha dikkat çekici olmuştur. Ortamda Zn'nin var olmasına rağmen Cd'nin yüksek dozlarda verilmesi bitki Zn taşıma kapasitesinin düşmesine neden olmuştur.

Taşıma faktörü sürgünlerdeki metal konsantrasyonunun köklere oranı olarak tanımlanır ve bu faktör bir bitkinin, köklerden filizlere translokasyon yapan bir bitkinin etkinliğini değerlendirmek için kullanılır (Sun ve ark., 2007). Yüksek TF değerleri, bitkinin topraktan Cd alabildiğini ve büyük verimle sürgünlerde saklayabileceğini düşündürmektedir (Zhou ve Song, 2004). *Bidens pilosa*'nın çiçeklenme ve olgunlaşma aşamalarındaki TF değerleri sırasıyla 1.3-7.4 ve 1.9-14.4'tür. Daha yüksek BF ve TF değerleri, gövde ve yapraklardaki güçlü Cd birikimi, *Bidens pilosa*'nın Cd ile kirlenmiş alanlarda Cd'nin giderilmesinde potansiyel olarak yararlı olduğunu göstermiştir. Elde edilen BF ve TF değerleri 1.0'dan büyüktür. Bu standartlara göre, *B. pilosa* bir Cd-hyperaccumulator olarak doğrulanabilmektedir (Sun ve ark., 2009).

Wei ve ark (2004) *Viola baoshanensis* bikisini kullanarak yaptıkları sera çalışmasında TF değerleri ortalama 1,67'dir (1,14–2,22) ve tüm Cd uygulamalarında 1.0' dan büyüktür (Wei ve ark., 2004). Diğer elementlere kıyasla bitki organlarındaki en yüksek konsantrasyonlara rağmen; alüminyum, BAF ve TF'nin en düşük değerlerini göstermiştir, böylece en az hareketli element olduğudüşünülmüştür; özellikle *T. domingensis*'in gövde / kök TF'si 3.23 dür (Bonanno, 2013). Wei ve Chen (2006) ise, TF değerlerine sahip bitki türlerinin aktif olarak topraktan metal aldıklarını ve bunları yer üstü kısımlarında biriktirdiğini ileri sürmüştür. Ve bu yüzden iyi bir fitoremediator bitkisi olabileceğini bildirmişlerdir. BAF >1 olduğunda metalle kirlenmiş toprakların fitostabilizasyonunda gerçekten yüksek bir etkinliğin olduğu bildirilmiştir (Usman ve

ark., 2012), TF değeri>1 olması durumunda ise toprak temizliği için fito-ekstraksiyon olasılığının olduğunu gösterir (Bonanno, 2013).

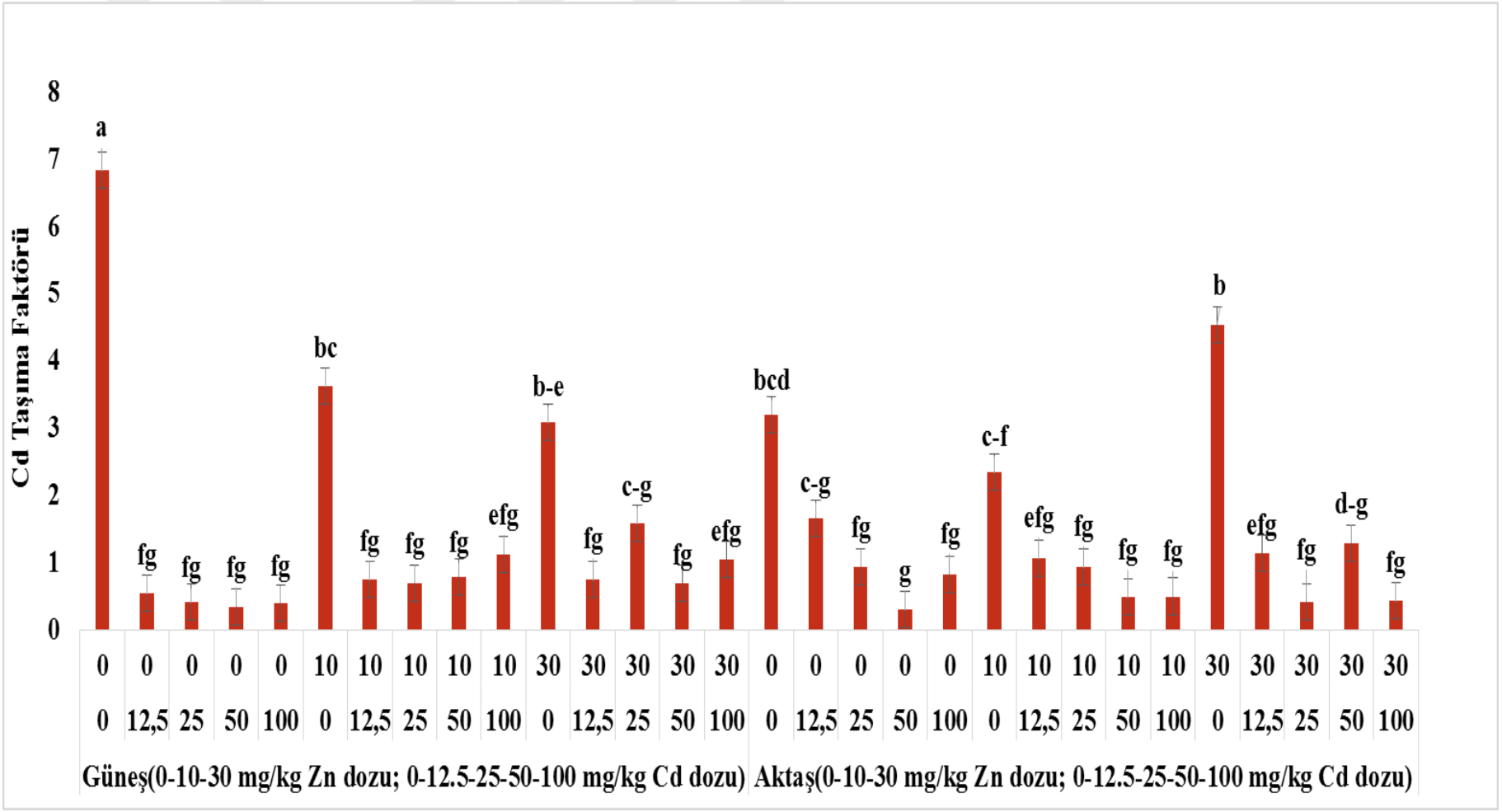
TF, BCF ve BF (BAC) değerleri> 1, fitoekstraksiyon ve fitostabilizasyon için bitki türlerinin potansiyelini değerlendirmede kullanılmaktadır (Yoon et al., 2006).

Sun ve ark. (2008) tarafından *Solanum nigrum* bitkisine Cd'nin etkisi ve bitkide birikimi üzerine bir saksı çalışması yapılmıştır. Denemede, Cd'nin saplar ve yapraklar içindeki konsantrasyonları, 25 mg kg^{-1} Cd konsantrasyonunda sırasıyla 208 ve 192 mg kg^{-1}'a kadar yükselmiştir. Cd BF değerinin 8,33 olduğu ve *Solanum nigrum* bitkisinin etkili bir şekilde Cd'yi biriktirebileceği bildirilmiştir.

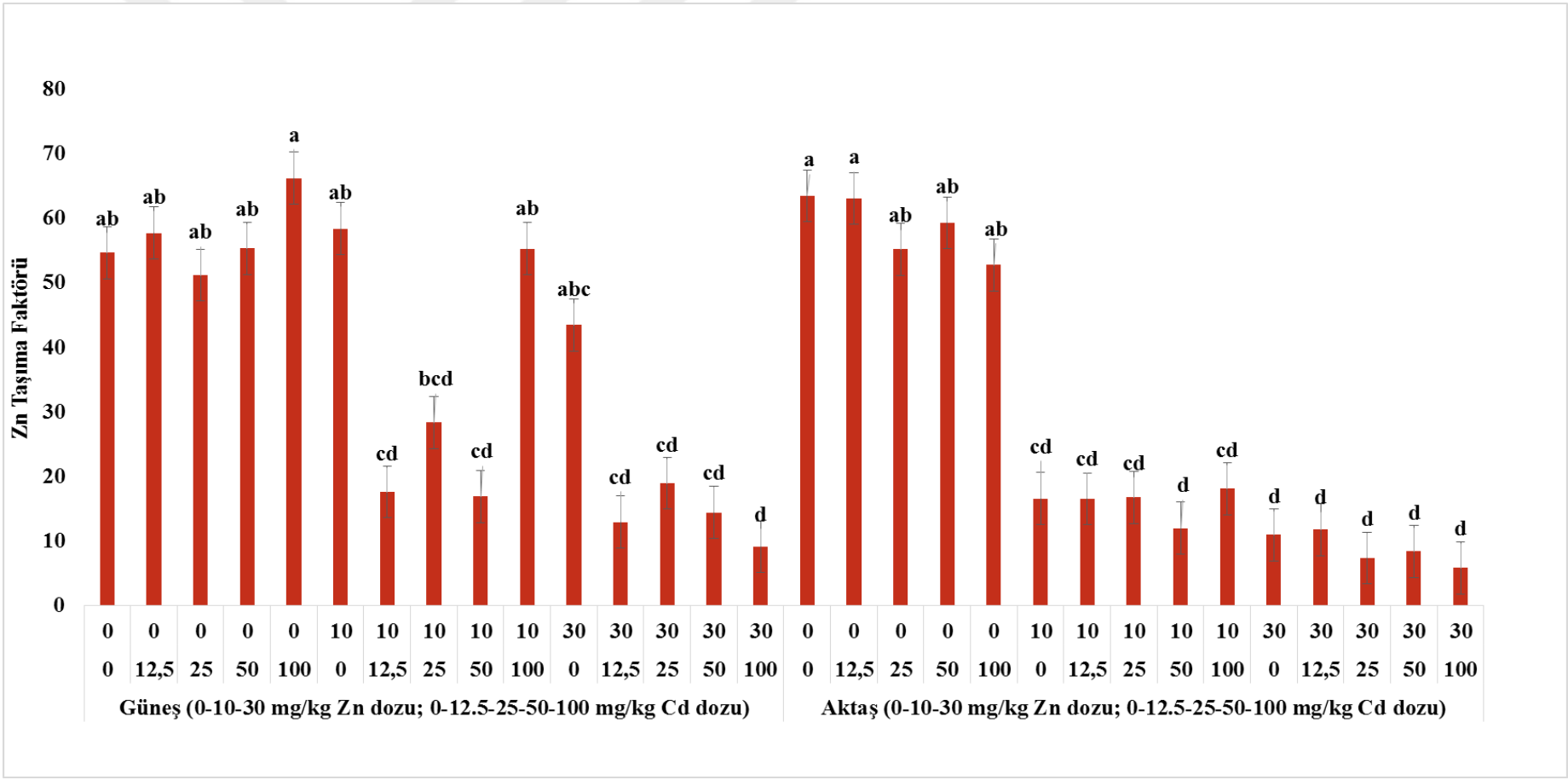
Kontrol uygulamasında karabuğday çeşitleri arasında; Güneş çeşidinin, Aktaş çeşidine göre Cd taşıma faktörü % 113 daha fazladır; Aktaş çeşidinin Güneş çeşidine göre Zn taşıma faktörü ise % 16 daha fazladır.

Başka bir çalışmada hem gübrelenmiş hem de gübrelenmemiş uygulamalar için Pb ile muamele edilmiş bitkilerin TF'leri önemli ölçüde azalmıştır. Pb'nin translokasyonu Pb 0'da daha etkili olmuştur (TF 0.12-0.32 aralığında), fakat Pb100, Pb200 ve Pb400 köklerde Pb'yi sıkı bir şekilde tutmuştur (0.006-0.016 aralığında TF) (Mun ve ark., 2008).

TF'lerde azalma metal alımının doygunluğundan ve / veya kökün yüksek iç metal konsantrasyonlarında sürgüne taşınmasındankaynaklanabilir (Zhao ve ark., 2003). Pb'nin kökten kenafın hava parçalarına translokasyonu, 1'in altındaki TF'ler ile sınırlıdır. Metal dışlayıcı türler genellikle 1'den düşük TF'ye sahipken, metal akümülatör türleri 1'in üzerinde TF'ye sahiptir (Baker, 1981).



Şekil 4.15. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin Cd taşıma faktörü



Şekil 4.16. Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitlerinin Zn taşıma faktörü

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çinko ve Cd uygulamalarının karabuğday bitkisinin gelişimi, verimi ve kalitesine etkisini belirlemek; bitkide oluşacak olan Cd toksisitesini azaltmak için uygulanan Zn'nin etkinliğini ve karabuğday tanesine Cd veya Zn geçişi oluyorsa bunun miktarının belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara bağlı öneriler aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

Denemede kullanılan toprak hafif alkalin pH'ya sahip olup, az tuzludur. Deneme toprağının organik madde miktarı az olmakla birlikte, kireçli toprak sınıfında yer almaktadır ve killi tın tekstüre sahiptir. Topraak örneğinin K ve Ca+Mg içeriği yüksek, P içeriği düşük seviyededir. Diğer yandan deneme toprağının, S, Fe, Zn konsantrasyonları yeterli seviyede; Cu, Mn, Pb miktarları yüksek seviyede; Mo, Ni, Cd miktarları ise normal seviyede olduğu belirlenirken B miktarı yönünden oldukça fakir olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen bulgulara göre artan Cd dozları ile bitki boyunda azalma görülmüştür. 10 mg kg^{-1} Zn uygulamasında bitki boyu artarken, 30 mg Zn kg^{-1} uygulamasında kontrole göre azalma belirlenmiştir. Tane verimi ortalama 77.4-359.5 kg da^{-1} arasında değişmiş; artan Cd dozları ile azalırken, artan Zn dozları ile kısmen artmıştır; ancak bu artış 10 mg Zn kg^{-1} uygulamasında daha yüksek olmuştur. Biyomas verimi ortalama 447-1517 kg da^{-1} arasında, bin tane ağırlığı ortalama 22.20-30.92 g arasında değişmiştir. Biyomas, bin tane ağırlığı, bitki başına tane verimi artan Cd dozları ile azalmıştır. Artan Zn dozları ile özellikle 10 mg Zn kg^{-1} uygulaması bitki başına tane veriminde olumlu etkide bulunmuştur. Kadmiyum ve Zn dozları yaprak oransal su içeriğinde istatistiki yönden bir farklılık göstermemiştir. Yine artan Cd dozları ile saksıdaki tane sayısı azalırken, 10 mg Zn kg^{-1} uygulaması olumlu etki yapmıştır.

Bitki aksamlarındaki element konsantrasyonlarına gelince; yeşil aksam Cd içeriği 0.17-9,67 mg kg^{-1} arasında değişmiş olup Zn dozları ve Cd dozları arttıkça artmıştır. Bu artışların Cd ve Zn arasındaki sinerjik etkiden kaynaklandığı düşünülmektedir. Tane Cd içeriği 0.01-1.56 mg kg^{-1} arasında değişmiş ve artan Zn dozları ile artmış ancak bu artış yeşil aksam Cd içeriğindeki artışlar kadar yüksek olmamıştır. Yaprak Cd içeriği 1.75-43.82 mg kg^{-1} arasında değişmiş ve artan Zn dozları ve Cd dozları yaprak Cd içeriğinde artış sağlamıştır. Yeşil aksam, tane ve yaprak Cd içeriğinde; artan Cd dozları arasında önemli farklılıklar ($p<0.01$) bulunmuştur.

Yeşil aksam Zn içeriği 9.87-28.14 mg kg^{-1} arasında, tane Zn içeriği 24.37-44.52 mg kg^{-1} arasında, yaprak Zn içeriği 33.76-107. 07 mg kg^{-1} arasında değişmiştir. Bu değerler bitkiler için verilen yeterli ve tolere edilebilir sınır değerler arasındadır (Kabata-Pendias ve Pendias, 2001). Tane ve yeşil aksam Zn içeriği üzerine, artan Cd uygulamalarının etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır; ancak artan Zn dozları bu değerleri artırmıştır. Yaprak Zn içeriği ise artan Zn dozları ile artmıştır, ancak artan Cd ile azalmıştır. Hem Aktaş hem de Güneş çeşidinde yeşil aksam, yaprak ve tane Zn içeriği artan Zn dozları ile önemli farkılık göstermiştir ($p<0.01$).

Yeşil aksam ve tane Ca, K, Na ve S konsantrasyonları arasında istatistiki olarak önemli farklılık bulunmamıştır, ancak yeşil aksam Mg ve P konsantrasyonları arasında önemli farklılıklar bulunmuştur ($p<0.01$).

Artan Cd dozları ile yeşil aksam ile kaldırılan Cd miktarı artmıştır. Kontrole kıyasla 10 mg kg^{-1} Zn uygulamasında artış sağlanırken daha sonra 30 mg kg^{-1} Zn uygulamasında kısmen bu değer azalmıştır. Bu durumda 10 mg kg^{-1} Zn dozuna kadar; Zn ve Cd arasında sinerjik bir etki görülmesine karşın, 30 mg kg^{-1} Zn dozunda ise antagonistik etkileşimin söz konusu olabildiği söylenebilir. Yani Zn için kritik sınırın 10 mg kg^{-1} Zn dozu olduğu düşünülmektedir. Yeşil aksam ile kaldırılan Zn ise; artan Cd dozları ile azalmış, artan Zn dozları ile artmıştır. Ancak bu değerler istatistiki olarak önemli bulunmamıştır.

Tane ile kaldırılan Cd miktarı artan Cd dozları ile önemli oranda artmıştır ($p<0.01$). Ortalamalar arasında artan Zn ile 10 mg kg^{-1} Zn dozuna kadar artmış, daha sonra 30 mg kg^{-1} Zn dozunda azalmıştır. Tane ile kaldırılan ortalama Zn miktarı, artan Cd dozları ile değişmemiştir; buna karşın artan Zn dozları arasında önemli fark görülmüştür ($p<0.01$).

Kadmiyum fitoekstraksiyon kapasitesi artan Cd dozları ile önemli artış göstermiştir ($p<0.01$). Artan Zn dozları arasında da önemli farklılıklar bulunmasına ($p<0.01$) rağmen Güneş çeşidinde 10 mg Zn kg^{-1} uygulamasında kontrole kıyasla artış görülürken, 30 mg Zn kg^{-1} uygulamasında azalma görülmüştür. Aktaş çeşidinde ise 50 ve 100 mg Cd kg^{-1} dozlarında artan Zn dozu ile artış göstermiştir. Deneme esnasında yapılan gözlemlerde de Aktaş çeşidinde belirtilen Cd dozlarında bitki gelişiminin iyi olduğu ve Güneş çeşidine kıyasla Cd'nin yüksek dozlarından etkilenmediği de görülmüştür. Ayrıca Güneş çeşidinde 30 mg kg^{-1} Zn dozunda Cd fitoeksraksiyon kapasitesi azalmıştır; yani Güneş çeşidinde Zn Cd alımının azalmasına neden olmuştur.

Güneş çeşidinde en yüksek Cd fitoekstraksiyon kapasitesi 3328.4 mg da^{-1} ($Zn_{10}Cd_{100}$), Aktaş çeşidinde 3668 mg da^{-1}'dır ($Zn_{30}Cd_{50}$).

Çinko fitoekstraksiyon kapasitesi ortalama değerler dikkate alındığında; Zn dozları arasında istatistiki fark bulunmuş ($p<0.01$), Güneş çeşidinin 10 mg Zn kg^{-1} uygulaması ile Aktaş çeşidinin 30 mg Zn kg^{-1} uygulamasında artış göstermiştir. Ancak çeşit^{x}Zn^{x}Cd interaksiyonu için Zn fitoekstraksiyon kapasitesinde istatistiki olarak önemli farklılık bulunmamıştır.

Kadmiyum TF değeri 0.35-6.83 mg kg^{-1} arasında bulunmuştur. Kadmiyum taşıma faktörü (mg kg^{-1}) Güneş çeşidinde Cd'nin artan dozları ile önemli oranda ($p<0.01$) azalmış, artan Zn dozu ile kısmen artmıştır. Aktaş çeşidinde ise Cd'nin artan dozları ile yine azalmıştır ($p<0.01$) ve özellikle 30 mg Zn kg^{-1} dozunda azalma daha fazla olmuştur.

Çinko TF değeri 5.88-66.22 mg kg^{-1} arasında belirlenmiştir. Çinko - TF her iki çeşitte de artan Zn dozları ile genel olarak azalmış($p<0.01$); 30 mg kg^{-1} Zn dozunda azalma daha fazla olmuştur. Aktaş çeşidinde ortalama Zn-TF değerindeki azalma Güneş çeşidine kıyasla daha fazladır. Güneş çeşidinde artan Cd dozları arasında önemli farklılıklar bulunmuştur.

Temel ürün bitkilerinde izin verilen maksimum Cd konsantrasyonunun; buğday tanesinde (*Triticum aestivum*) 0,2 mg kg^{-1}' den daha az olması gerektiği Dünya Sağlık Örgütü (FAO) Codex Alimentarius Komisyonunun 28. (2005) ve 29. (2006) oturumunda kabul edilmiştir. Ayrıca Avrupa Birliği de karabuğday için yine Cd sınır değerinin 0,2 mg kg^{-1}' den daha az olması gerektiğini bildirmiştir (Commission, 2001). Bizim çalışma sonuçlarımıza göre Güneş çeşidinde tane Cd içeriği 0.01-1.49 mg kg^{-1} arasında ve Aktaş çeşidinde ise 0.02-1.56 mg kg^{-1} arasındadır. 12.5 mg kg^{-1} Cd uygulama dozundan itibaren tane Cd içeriği FAO tarafından belirlenen sınır değerin üzerindedir. Bu durumda karabuğday yetiştirilen topraktaki Cd konsantrasyonunun 12.5 mg kg^{-1}'dan yüksek olması halinde hasat edilen tanelerde Cd içeriği yüksek olacağından dolayı; bu tanelerle beslenen insanlarda sağlık problemleri ortaya çıkabilecektir.

Sonuç olarak; kirli alanlarda bu bitkinin yetiştirilmesi durumunda Cd'nin taneye geçtiği görüldüğü için tüketiminde dikkatli olunması ve gıda güvenliği açısından tanede ağır metal analizlerinin yapılması gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca karabuğdayın bal üretiminde kullanılan bir bitki olmasından dolayı; bitkinin yoğun olduğu ve kirli alanlarda yetiştirildiğinde çiçekleri aracılığıyla üretilen ballarda da Cd bulunması

ihtimali yüksektir. Ayrıca yeşil aksamının yemlik olarak hayvanlara verilmesi halinde de bitkinin Cd alımı ve biriktirmesi nedeniyle de dikkatli olunmalıdır.

KAYNAKLAR

Abbas, T., Rizwan, M., Ali, S., Zia-ur-Rehman, M., Qayyum, M. F., Abbas, F., Hannan, F., Rinklebe, J. and Ok, Y. S., 2017, Effect of biochar on cadmium bioavailability and uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in a soil with aged contamination, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 140, 37-47.

Abe, T., Fukami, M., Ichizen, N. and Ogasawara, M., 2006, Susceptibility of weed species to cadmium evaluated in a sand culture, *Weed Biology and Management*, 6 (2), 107-114.

Abou Auda, M. and Ali, E. E., 2010, Cadmium and Zinc Toxicity Effects on Growth and Mineral Nutrients of Carrot (*Daucus Carota*), *Pakistan Journal of Botany*, 42 (1), 341-351.

Abumaizar, R. and Khan, L. I., 1996, Laboratory investigation of heavy metal removal by soil washing, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 46 (8), 765-768.

Ahmed, A., Khalid, N., Ahmad, A., Abbasi, N. A., Latif, M. S. Z. and Randhawa, M. A., 2014, Phytochemicals and biofunctional properties of buckwheat: a review, *Journal of Agricultural Science*, 152 (3), 349-369.

Akay, A., 2007, Interaction between cadmium and zinc in triticale (X Triticosecale wittmack) grown under field conditions, *Asian Journal of Chemistry*, 19 (4), 2945-2954.

Akay, A. and Koleli, N., 2007, Interaction between cadmium and zinc in barley (Hordeum vulgare L.) grown under field conditions, *Bangladesh Journal of Botany*, 36 (1), 13-19.

Akountianaki-Ioannidou, A., Papadimitriou, K., Barouchas, P. and Moustakas, N., 2015, The effects of Cd and Zn ınteractıons on the concentratıon of Cd and Zn ın sweet bush basıl (*Ocimum basilicum* L.) and peppermınt (*Mentha piperita* L.), *Fresenius Environmental Bulletin*, 24 (1), 77-83.

Alloway, B. J., 2004, Zinc in soils and crop nutrition, International Zinc Association Brussels.

Amelchanka, S. L., Kreuzer, M. and Leiber, F., 2010, Utility of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) as feed: Effects of forage and grain on in vitro ruminal fermentation and performance of dairy cows, *Animal Feed Science and Technology*, 155 (2-4), 111-121.

Athar, R. and Ahmad, M., 2002, Heavy metal toxicity: Effect on plant growth and metal uptake by wheat, and on free living azotobacter, *Water Air and Soil Pollution*, 138 (1-4), 165-180.

Baker, A. and Brooks, R., 1989, Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements. A review of their distribution, ecology and phytochemistry, *Biorecovery.*, 1 (2), 81-126.

Baker, A. J. M., 1981, Accumulators and Excluders - Strategies in the Response of Plants to Heavy-Metals, *Journal of Plant Nutrition*, 3 (1-4), 643-654.

Basta, N., Raun, W. and Gavi, F., 1998, Wheat grain cadmium under long-term fertilization and continuous winter wheat production, *Better Crops*, 82 (2), 14-15.

Bilgin, M. and Tulun, S., 2016, Removal of heavy metals (Cu, Cd and Zn) from contamınated soıls usıng EDTA and $FeCl_3$, *Global Nest Journal*, 18 (1), 98-107.

Blaylock, M. J. and Huang, J. W., 2000, Phytoextraction of metals, *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean Up the Environment, eds.*

Boechat, C. L., Pistoia, V. C., Gianelo, C. and Camargo, F. A. D., 2016, Accumulation and translocation of heavy metal by spontaneous plants growing on multi-metal-

contaminated site in the Southeast of Rio Grande do Sul state, Brazil, *Environmental Science and Pollution Research*, 23 (3), 2371-2380.

Bohn, H. and McNeal, B., 1985, o'connor GA 1985: Soil chemistry, *John Wiley &Sons, Inc, New York. DOI*, 10, 9780470431771.

Bonanno, G., 2013, Comparative performance of trace element bioaccumulation and biomonitoring in the plant species *Typha domingensis, Phragmites australis* and *Arundo donax*, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 97, 124-130.

Bouyoucos, G. J., 1951, A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils 1, *Agronomy journal*, 43 (9), 434-438.

Burns, R. G., Rogers, S. and McGhee, I., 1996, Remediation of inorganics and organics in industrial and urban contaminated soils, In: Contaminants and the soil environment in the Australasia-Pacific region, Eds: Springer, p. 411-449.

Cakmak, I. and Marschner, H., 1987, Mechanism of phosphorus-ınduced zinc-deficiency in cotton .3. Changes in physiological availability of zinc in plants, *Physiologia Plantarum*, 70 (1), 13-20.

Cakmak, I. and Marschner, H., 1988, Increase in membrane-permeability and exudation in roots of zinc-deficient plants, *Journal of Plant Physiology*, 132 (3), 356-361.

Campbell, C. G., 1997, Buckwheat, *Fagopyrum esculentum* Moench. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. , *19. Rome (I): International Plant Genetic Resources Institute.*

Cao, F. F., Kong, L. H., Yang, L. Y. and Zhang, W., 2015, Geochemical fractions and risk assessment of trace elements in soils around Jiaojia gold mine in Shandong Province, China, *Environmental Science and Pollution Research*, 22 (17), 13496-13505.

Chaoui, A., Ghorbal, M. H. and ElFerjani, E., 1997, Effects of cadmium-zinc interactions on hydroponically grown bean (*Phaseolus vulgaris* L), *Plant Science*, 126 (1), 21-28.

Chen, Y. C. and Huerta, A. J., 1997, Effects of sulfur nutrition on photosynthesis in cadmium-treated barley seedlings, *Journal of Plant Nutrition*, 20 (7-8), 845-856.

Choudhary, M., Bailey, L. D., Grant, C. A. and Leisle, D., 1995, Effect of Zn on the concentration of Cd and Zn in plant-tissue of 2 Durum-Wheat Lines, *Canadian Journal of Plant Science*, 75 (2), 445-448.

Codex, 2005, Report of the 28th session of the Codex Alimentarius Commission; ALINORM 05/28/41. Rome, Codex Alimentarius Commission.

Codex, 2006, Report of the 29th session of the Codex Alimentarius Commission; ALINORM 06/29/12. Geneva, Codex Alimentarius Commission.

Commission, E., 2001, Commission Regulation (EC) No 466/2001 of 8 March 2001 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs, *Brussels: European Commission*.

Cui, S., Zhou, Q. X. and Chao, L., 2007, Potential hyperaccumulation of Pb, Zn, Cu and Cd in endurant plants distributed in an old smeltery, northeast China, *Environmental Geology*, 51 (6), 1043-1048.

Daghan, H., Uygur, V., Koleli, N., Arslan, M. and Eren, A., 2013, The effect of heavy metal treatments on uptake of nitrogen, phosphorus and potassium in transgenic and non-transgenic Tobacco plants, *Tarim Bilimleri Dergisi-Journal of Agricultural Sciences*, 19 (2), 129-139.

Das, P., Samantaray, S. and Rout, G. R., 1997, Studies on cadmium toxicity in plants: A review, *Environmental Pollution*, 98 (1), 29-36.

Demiral, T. and Turkan, I., 2005, Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance, *Environmental and Experimental Botany*, 53 (3), 247-257.

Echeverria, J. C., Morera, M. T., Mazkiaran, C. and Garrido, J. J., 1998, Competitive sorption of heavy metal by soils. Isotherms and fractional factorial experiments, *Environmental Pollution*, 101 (2), 275-284.

El Kheir, S. B., Oubbih, J., Saidi, N. and Bouabdli, A., 2008, Uptake and fixation of Zn, Pb, and Cd by *Thlaspi caerulescens*: application in the cases of old mines of Mibladen and Zaida (West of Morocco), *Arabian Journal of Geosciences*, 1 (2), 87-95.

Eriksson, J. E., 1990, Effects of nitrogen-containing fertilizers on solubility and plant uptake of cadmium, *Water Air and Soil Pollution*, 49 (3-4), 355-368.

FAO, 1980, Micronutrients Assessment at the Country Level. p. 1-208. An International Study (M. Sillanpä, ed.). FAO Soil Bulletin 63. Roma, Italy.

FAOSTAT, 2018, (Statistics division of food and agriculture organization of the united nations).

Farmer, A. A. and Farmer, A. M., 2000, Concentrations of cadmium, lead and zinc in livestock feed and organs around a metal production centre in eastern Kazakhstan, *Science of the Total Environment*, 257 (1), 53-60.

Gaberscik, A., Voncina, M., Trost, T., Germ, M. and Bjorn, L. O., 2002, Growth and production of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) treated with reduced, ambient, and enhanced UV-B radiation, *Journal of Photochemistry and Photobiology B-Biology*, 66 (1), 30-36.

Gasser, U., Klier, B., Kuhn, A. and Steinhoff, B., 2009, Current findings on the heavy metal content in herbal drugs, *Pharmeuropa*, 1, 37-49.

Ghosh, M. and Singh, S., 2005, Comparative uptake and phytoextraction study of soil induced chromium by accumulator and high biomass weed species, *Applied Ecology and Environmental Research*, 3 (2), 67-79.

Graham, R. D. and Welch, R. M., 1996, *Breeding for staple food crops with high micronutrient density* (Vol 3). Intl Food Policy Res Inst.

Grant, C. A. and Bailey, L. D., 1997, Effects of phosphorus and zinc fertiliser management on cadmium accumulation in flaxseed, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 73 (3), 307-314.

Güneş, A., 2014, Tescil edilen çeşitle ilgili olarak çiftçilere ulaştırılması ve yaygınlaştırılması amacıyla yayım personeli için gerekli diğer teknik ayrıntılar.

Hart, J. J., Welch, R. M., Norvell, W. A. and Kochian, L. V., 2002, Transport interactions between cadmium and zinc in roots of bread and durum wheat seedlings, *Physiologia Plantarum*, 116 (1), 73-78.

Horbowicz, M., Debski, H., Wiczkowski, W., Szawara-Nowak, D., Koczkodaj, D., Mitrus, J. and Sytykiewicz, H., 2013, The ımpact of short-term exposure to Pb and Cd on flavonoid composition and seedling growth of common buckwheat cultivars, *Polish Journal of Environmental Studies*, 22 (6), 1723-1730.

Huang, L. L., Pu, X. M., Pan, J. F. and Wang, B., 2013, Heavy metal pollution status in surface sediments of Swan Lake lagoon and Rongcheng Bay in the northern Yellow Sea, *Chemosphere*, 93 (9), 1957-1964.

Huang, S. S., Liao, Q. L., Hua, M., Wu, X. M., Bi, K. S., Yan, C. Y., Chen, B. and Zhang, X. Y., 2007, Survey of heavy metal pollution and assessment of agricultural soil in Yangzhong district, Jiangsu Province, China, *Chemosphere*, 67 (11), 2148-2155.

Hughes, J. B., Shanks, J., Vanderford, M., Lauritzen, J. and Bhadra, R., 1997, Transformation of TNT by aquatic plants and plant tissue cultures, *Environmental Science & Technology*, 31 (1), 266-271.

Intawongse, M. and Dean, J. R., 2006, In-vitro testing for assessing oral bioaccessibility of trace metals in soil and food samples, *Trac-Trends in Analytical Chemistry*, 25 (9), 876-886.

Jarvis, S., Jones, L. and Hopper, M., 1976, Cadmium uptake from solution by plants and its transport from roots to shoots, *Plant and Soil*, 44 (1), 179-191.

Kabata-Pendia, A. and Pendias, H., 1992, Trace elements in soils and plants. CRC Press Boca Raton, London.

Kabata-Pendias, A. and Pendias, H., 2001, Trace elements in soils and plants, 3rd edn CRC Press, *Boca Raton, FL, USA*.

Kacar, B. and Katkat, A. V., 1998, Bitki besleme, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı.

Kamnev, A. A. and van der Lelie, D., 2000, Chemical and biological parameters as tools to evaluate and improve heavy metal phytoremediation, *Bioscience Reports*, 20 (4), 239-258.

Kawada, T. and Suzuki, S., 1998, A review on the cadmium content of rice, daily cadmium intake, and accumulation in the kidneys, *Journal of Occupational Health*, 40 (4), 264-269.

Kennedy, C. D. and Gonsalves, F. A. N., 1987, The Action of Divalent Zinc, Cadmium, Mercury, Copper and Lead on the Trans-Root Potential and H+ Efflux of Excised Roots, *Journal of Experimental Botany*, 38 (190), 800-817.

Khan, A. G., 2003, Vetiver grass as an ideal phytosymbiont for glomalian fungi for ecological restoration of heavy metal contaminated derelict land, *Proceedings of the 3rd International Conference on Vetiver and Exhibition*, 466-474.

Kirkham, M. B., 2006, Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyperaccumulation, and amendments, *Geoderma*, 137 (1-2), 19-32.

Köleli, N. and Kantar, C., 2005, Fosfat kayasi, fosforik asit ve fosforlu gübrelerdeki toksik agir metal (Cd, Pb, Ni, As) konsantrasyonu, *Ekoloji*, 14 (55), 1-5.

Lasat, M. M., 2002, Phytoextraction of toxic metals: A review of biological mechanisms, *Journal of Environmental Quality*, 31 (1), 109-120.

Lim, J. E., Ahmad, M., Usman, A. R. A., Lee, S. S., Jeon, W. T., Oh, S. E., Yang, J. E. and Ok, Y. S., 2013, Effects of natural and calcined poultry waste on Cd, Pb and As mobility in contaminated soil, *Environmental Earth Sciences*, 69 (1), 11-20.

Lindsay, W. L. and Norwell, W. A., 1978, Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper., *Soil Science Society of America Journal*, 33, 49-54.

Liu, J., Li, K. Q., Xu, J. K., Liang, J. S., Lu, X. L., Yang, J. C. and Zhu, Q. S., 2003, Interaction of Cd and five mineral nutrients for uptake and accumulation in different rice cultivars and genotypes, *Field Crops Research*, 83 (3), 271-281.

Liu, Y. M., Wang, K., Xu, P. X. and Wang, Z. L., 2012, Physiological Responses and Tolerance Threshold to Cadmium Contamination in Eremochloa Ophiuroides, *International Journal of Phytoremediation*, 14 (5), 467-480.

Lubben, S. and Sauerbeck, D., 1991, The uptake and distribution of heavy-metals by spring wheat, *Water Air and Soil Pollution*, 57-8, 239-247.

Maksymiec, W., Wojcik, M. and Krupa, Z., 2007, Variation in oxidative stress and photochemical activity in *Arabidopsis thaliana* leaves subjected to cadmium and excess copper in the presence or absence of jasmonate and ascorbate, *Chemosphere*, 66 (3), 421-427.

McGrath, S. P., Zhao, F. J. and Lombi, E., 2001, Plant and rhizosphere processes involved in phytoremediation of metal-contaminated soils, *Plant and Soil*, 232 (1-2), 207-214.

McLean, E., 1982, Soil pH and lime requirement, *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* (methodsofsoilan2), 199-224.

Mondal, N. K., Das, C., Roy, S., Datta, J. K. and Banerjee, A., 2013, Effect of varying cadmium stress on chickpea (*Cicer arietinum* l) seedlings: An ultrastructural study, *Annals of Environmental Science*, 7.

Morishita, T., Yamaguchi, H. and Degi, K., 2007, The contribution of polyphenols to antioxidative activity in common buckwheat and *Tartary buckwheat* grain, *Plant Production Science*, 10 (1), 99-104.

Mulligan, C. N., Yong, R. N. and Gibbs, B. F., 2001, Heavy metal removal from sediments by biosurfactants, *Journal of Hazardous Materials*, 85 (1-2), 111-125.

Mun, H. W., Hoe, A. L. and Koo, L. D., 2008, Assessment of Pb uptake, translocation and immobilization in kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) for phytoremediation of sand tailings, *Journal of Environmental Sciences*, 20 (11), 1341-1347.

Murzaeva, S. V., 2004, Effect of heavy metals on wheat seedlings: Activation of antioxidant enzymes, *Applied Biochemistry and Microbiology*, 40 (1), 98-103.

Nan, Z. R., Zhao, C. Y., Li, J. J., Chen, F. H. and Sun, W., 2002, Relations between soil properties and selected heavy metal concentrations in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in contaminated soils, *Water Air and Soil Pollution*, 133 (1-4), 205-213.

Nelson, D. and Sommers, L. E., 1982, Total carbon, organic carbon, and organic matter 1, *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* (methods of soil), 539-579.

Nelson, R., 1982, Carbonate and gypsum, *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* (methods of soil), 181-197.

Nowak, L., Dziezyc, H. and Piotrowski, M., 2011, Content of Bioelements and Toxic Metals in Honey of Various Botanical Orgin from Lower Silesia, *Journal of Elementology*, 16 (3), 437-444.

Oliver, D. P., Gartrell, J. W., Tiller, K. G., Correll, R., Cozens, G. D. and Youngberg, B. L., 1995, Differential responses of Australian wheat cultivars to cadmium concentration in wheat-grain, *Australian Journal of Agricultural Research*, 46 (5), 873-886.

Olsen, S. R., 1954, Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate, United States Department Of Agriculture; Washington, p.

Oncel, I., Keles, Y. and Ustun, A. S., 2000, Interactive effects of temperature and heavy metal stress on the growth and some biochemical compounds in wheat seedlings, *Environmental Pollution*, 107 (3), 315-320.

Onder, S., Dursun, S., Gezgin, S. and Demirbas, A., 2007, Determination of heavy metal pollution in grass and soil of city centre green areas (Konya, Turkey), *Polish Journal of Environmental Studies*, 16 (1), 145-154.

Organization, W. H., 1999, WHO monographs on selected medicinal plants, World Health Organization, p.

Organization, W. H., 2007, Dept. of Technical Cooperation for Essential Drugs and Traditional Medicine, *WHO guidelines for assessing quality of herbal medicines with reference to contaminants and residues. Geneva, Switzerland: World Health Organization*.

Ouzounidou, G., Moustakas, M. and Eleftheriou, E. P., 1997, Physiological and ultrastructural effects of cadmium on wheat (*Triticum aestivum* L) leaves, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 32 (2), 154-160.

Panda, S. K., Chaudhury, I. and Khan, M. H., 2003, Heavy metals induce lipid peroxidation and affect antioxidants in wheat leaves, *Biologia Plantarum*, 46 (2), 289-294.

Peereboom-Stegeman, JHJ Copius, Peereboom and Copius., J., 1989, The intake of cadmium in the Kempen, an area in the south of The Netherlands, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 18 (1), 93-108.

Plumlee, G., Ziegler, T., Lamothe, P., Meeker, G. and Sutley, S., 2003, The toxicological geochemistry of dusts, soils, and other earth materials: Insights from in vitro physiologically-based geochemical leach tests, *AGU Fall Meeting Abstracts*.

Popova, L. P., Maslenkova, L. T., Yordanova, R. Y., Ivanova, A. P., Krantev, A. P., Szalai, G. and Janda, T., 2009, Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedlings, *Plant Physiology and Biochemistry*, 47 (3), 224-231.

Qiu, R. L., Thangavel, P., Hu, P. J., Senthilkumar, P., Ying, R. R. and Tang, Y. T., 2011, Interaction of cadmium and zinc on accumulation and sub-cellular distribution in leaves of hyperaccumulator *Potentilla griffithii*, *Journal of Hazardous Materials*, 186 (2-3), 1425-1430.

Reddy, M. V. and Pattnaik, S., 2009, Vermicomposting of municipal (organic) solid waste and its implications chapter 10), *Singh, S.M. (ed.) 'Earthworm Ecology and Environment, International Book Distributing Co., Lucknow, India*, 119-133.

Rhoades, J., 1982a, Soluble salts, *Methods of soil analysis. Part*, 2 (2), 167-178.

Rhoades, J. D., 1982b, Exchangeable Cations. Pp, 159-164. Methods of soil analysis.

Ryan, J. A., Pahren, H. R. and Lucas, J. B., 1982, Controlling cadmium in the human food-chain - a review and rationale based on health-effects, *Environmental Research*, 28 (2), 251-302.

Saifullah, Meers, E., Qadir, M., de Caritat, P., Tack, F. M. G., Du Laing, G. and Zia, M. H., 2009, EDTA-assisted Pb phytoextraction, *Chemosphere*, 74 (10), 1279-1291.

Saifullah, Sarwar, N., Bibi, S., Ahmad, M. and Ok, Y. S., 2014, Effectiveness of zinc application to minimize cadmium toxicity and accumulation in wheat (*Triticum aestivum* L.), *Environmental Earth Sciences*, 71 (4), 1663-1672.

Sanchez, F. J., de Andres, E. F., Tenorio, J. L. and Ayerbe, L., 2004, Growth of epicotyls, turgor maintenance and osmotic adjustment in pea plants (*Pisum sativum* L.) subjected to water stress, *Field Crops Research*, 86 (1), 81-90.

Sanita di Toppi, L. and Gabbrielli, R., 1999, Response to cadmium in higher plants, *Environmental and Experimental Botany*, 41 (2), 105-130.

Sarwar, N., Saifullah, Malhi, S. S., Zia, M. H., Naeem, A., Bibi, S. and Farid, G., 2010, Role of mineral nutrition in minimizing cadmium accumulation by plants, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90 (6), 925-937.

Sarwar, N., Ishaq, W., Farid, G., Shaheen, M. R., Imran, M., Geng, M. J. and Hussain, S., 2015, Zinc-cadmium interactions: Impact on wheat physiology and mineral acquisition, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 122, 528-536.

Satpathy, D. and Reddy, M. V., 2013, Phytoextraction of Cd, Pb, Zn, Cu and Mn by Indian Mustard (*Brassica Juncea* L.) grown on loamy soil amended with heavy metal contaminated municipal solid waste compost, *Applied Ecology and Environmental Research*, 11 (4), 661-679.

Shao, Y. H., Zhang, W. X., Shen, J. C., Zhou, L. X., Xia, H. P., Shu, W. S., Ferris, H. and Fu, S. L., 2008, Nematodes as indicators of soil recovery in tailings of a lead/zinc mine, *Soil Biology & Biochemistry*, 40 (8), 2040-2046.

Sharma, R. K., Agrawal, M. and Marshall, F., 2007, Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66 (2), 258-266.

Sharma, R. K., Agrawal, M. and Agrawal, S. B., 2008, Interactive effects of cadmium and zinc on carrots: Growth and biomass accumulation, *Journal of Plant Nutrition*, 31 (1), 19-34.

Shute, T. and Macfie, S. M., 2006, Cadmium and zinc accumulation in soybean: A threat to food safety?, *Science of the Total Environment*, 371 (1-3), 63-73.

Singh, B. R., 1990, Cadmium and fluoride uptake by oats and rape from phosphate fertilizers in two different soils, *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*, 4 (3), 239-249.

Sun, B., Zhao, F. J., Lombi, E. and McGrath, S. P., 2001, Leaching of heavy metals from contaminated soils using EDTA, *Environmental Pollution*, 113 (2), 111-120.

Sun, Q., Wang, X. R., Ding, S. M. and Yuan, X. F., 2005, Effects of interactions between cadmium and zinc on phytochelatin and glutathione production in wheat (*Triticum aestivium* L.), *Environmental Toxicology*, 20 (2), 195-201.

Sun, Y., Zhou, Q. and Ren, L., 2007, Growth responses of Rorippa globosa and its accumulation characteristics of Cd and As under the Cd-As combined pollution, *Huan jing ke xue= Huanjing kexue*, 28 (6), 1355-1360.

Sun, Y. B., Zhou, Q. X. and Diao, C. Y., 2008, Effects of cadmium and arsenic on growth and metal accumulation of Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum* L., *Bioresource Technology*, 99 (5), 1103-1110.

Sun, Y. B., Zhou, Q. X., Wang, L. and Liu, W. T., 2009, Cadmium tolerance and accumulation characteristics of Bidens pilosa L. as a potential Cd-hyperaccumulator, *Journal of Hazardous Materials*, 161 (2-3), 808-814.

Tamura, H., Honda, M., Sato, T. and Kamachi, H., 2005, Pb hyperaccumulation and tolerance in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench), *Journal of Plant Research*, 118 (5), 355-359.

Tani, F. H. and Barrington, S., 2005, Zinc and copper uptake by plants under two transpiration rates. Part II. Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* L.), *Environmental Pollution*, 138 (3), 548-558.

Usman, A. R. A., Lee, S. S., Awad, Y. M., Lim, K. J., Yang, J. E. and Ok, Y. S., 2012, Soil pollution assessment and identification of hyperaccumulating plants in chromated copper arsenate (CCA) contaminated sites, Korea, *Chemosphere*, 87 (8), 872-878.

Wagner, G. J., 1993, Accumulation of cadmium in crop plants and its consequences to human health, *Advances in Agronomy*, (51), 173-212.

Wang, M., Zou, J. H., Duan, X. C., Jiang, W. S. and Liu, D. H., 2007, Cadmium accumulation and its effects on metal uptake in maize (*Zea mays* L.), *Bioresource Technology*, 98 (1), 82-88.

Wei, B. G. and Yang, L. S., 2010, A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China, *Microchemical Journal*, 94 (2), 99-107.

Wei, C. Y. and Chen, T. B., 2006, Arsenic accumulation by two brake ferns growing on an arsenic mine and their potential in phytoremediation, *Chemosphere*, 63 (6), 1048-1053.

Wei, L., Shu, W. S. and Lan, C. Y., 2004, Viola baoshanensis, a plant that hyperaccumulates cadmium, *Chinese Science Bulletin*, 49 (1), 29-32.

Williams, C. and David, D., 1973, The effect of superphosphate on the cadmium content of soils and plants, *Soil Research*, 11 (1), 43-56.

Wu, F. B., Dong, J., Chen, F. and Zhang, G. P., 2005, Response of cadmium uptake in different barley genotypes to cadmium level, *Journal of Plant Nutrition*, 28 (12), 2201-2209.

Zhang, L. and Song, F. B., 2006, Effects of forms and rates of zinc fertilizers on cadmium concentrations in two cultivars of maize, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37 (13-14), 1905-1916.

Zhang, X. F., Xia, H. P., Li, Z. A., Zhuang, P. and Gao, B., 2010, Potential of four forage grasses in remediation of Cd and Zn contaminated soils, *Bioresource Technology*, 101 (6), 2063-2066.

Zhao, F. J., Lombi, E. and McGrath, S. P., 2003, Assessing the potential for zinc and cadmium phytoremediation with the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*, *Plant and Soil*, 249 (1), 37-43.

Zhao, Z. Q., Zhu, Y. G., Smith, S. E. and Smith, F. A., 2005, Cadmium uptake by winter wheat seedlings in response to interactions between phosphorus and zinc supply in soils, *Journal of Plant Nutrition*, 28 (9), 1569-1580.

Zhou, Q. and Song, Y., 2004, Principles and methods of contaminated soil remediation, *Science, Beijing (in Chinese)*.

Zhu, F., 2016, Buckwheat starch: Structures, properties, and applications, *Trends in Food Science & Technology*, 49, 121-135.

Zhu, Y. G., He, Y. Q., Smith, S. E. and Smith, F. A., 2002, Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) has high capacity to take up phosphorus (P) from a calcium (Ca)-bound source, *Plant and Soil*, 239 (1), 1-8.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Nurdan OLGUNÇELİK KAPLAN
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Karatay/ 17.11.1991
Telefon : 0543 363 50 53
Faks :
e-mail : nurdan.olguncelik@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	Karatay Konya Anadolu İmam Hatip Lisesi	2009
Üniversite	:	Selçuk Üniversitesi KONYA	2014
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi KONYA	2018
Doktora	:		

UZMANLIK ALANI

Bitki Besleme

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

1) OLGUNCELİK KAPLAN, N., AKAY, A., 2018, The Determination of Cd and Zn Phytoremediation Potential of Buckwheat (*Fagopyrum esculentum*), *Desalination and Water Treatment,* 133 (2018), 146–152 November.

Uluslararası Tarım, Orman, Gıda Bilimleri ve Teknolojileri Konferansında Sunulan Sözlü Sunum

1) OLGUNCELİK KAPLAN, N., AKAY, A., 2017, The Effect of Interaction between Cadmium and Zinc on Development of Buckwheat *(Fagopyrum esculentum),* International Conference On Agriculture Forest Food Sciences And Technologies, Abstract book, Page 972 Cappadocia/Turkey.