



**T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TARLA BİTKİLERİ ANABİLİM DALI**

**KARABUĞDAYIN (*Fagopyrum esculentum*
Moench) GELİŞİMİNE KADMİYUM
TOKSİTESİNİN ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zübeyir IŞIK

Danışman: Doç. Dr. Ahmet KINAY

TOKAT – 2024

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Ahmet KINAY danışmanlığında hazırlamış olduğum “Karabuğdayın (*Fagopyrum Esculentum* Moench) Gelişimine Kadmiyum Toksikitesinin Etkileri” adlı Yüksek Lisans tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

07/06/2024

Zübeyir IŞIK



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KARABUĞDAYIN (*Fagopyrum esculentum* Moench)

GELİŞİMİNE KADMIYUM TOKSİTESİNİN ETKİLERİ

Işık, Zübeyir

Yüksek Lisans, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet Kınay

Nisan 2024, xii + 28 sayfa

Karabuğday çeşitlerinde farklı kadmiyum dozlarının bitkinin gelişimi, verimi ve bazı element içerikleri üzerine etkileri ile kadmiyumun bitkinin farklı kısımlarında ne kadar biriktiğini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışma Tokat şartlarında tül sera içerisinde, saksı ortamında, Güneş ve Aktaş karabuğday çeşitleri ve beş (0, 5, 10, 20 ve 40 ppm) farklı kadmiyum dozuyla yürütülmüştür. Bitki boyu, yan dal sayısı, kök kuru ağırlığı, gövde kuru ağırlığı, yaprak kuru ağırlığı, tohum ağırlığı, bin tane ağırlığı, kadmiyum, çinko, demir, mangan ve bakır içerikleri incelenmiştir. Çalışmada yan dal sayısı hariç diğer parametrelerin çeşit, doz ve bitki kısımları bakımından istatistiki olarak önemli ($p<0.05$) veya çok önemli ($p<0.01$) olduğu belirlenmiştir. Bitki boyu 92.66-112.41 cm, yaprak kuru ağırlığı 3.82-4.85 g/saksı, kök kuru ağırlığı 2.54-4.39 g/saksı, gövde kuru ağırlığı 8.79-11.62 g/saksı ve tohum ağırlığı ise 0.74-8.96 g/saksı arasında değişmiştir. Bitki boyu kadmiyum 20 ppm dozuna kadar artmış ve sonrasında azalmıştır. Yaprak kuru ağırlığı genel olarak azalırken tohum ağırlığı 5 ppm kadmiyum dozuna kadar artmış ve sonrasında azalmıştır. Kadmiyum dozlarına bağlı olarak bitkideki kadmiyum konsantrasyonu artmıştır. En fazla kök kısmında bulunan kadmiyum tohumlarda tespit edilememiştir. Karabuğdayın gelişimini çok olumsuz etkilemeyen kadmiyuma karşı Aktaş çeşidinin dayanımının Güneş çeşidine göre daha iyi olduğu görülmüştür. Kadmiyum (40 ppm'e kadar) bulaşıklı alanlarda karabuğday yetiştiriciliğin yapılabilceği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Ağır Metal, Kadmiyum, Cd Alımı, Verim, Bitki Kısımları.

ABSTRACT

MASTER THESIS

EFFECTS OF CADMIUM TOXICITY ON GROWTH OF BUCKWHEAT (*Fagopyrum esculentum* Moench)

Isık, Zübeyir

Tokat Gaziosmanpasa University Graduate Education Institute

Department of Field Crops

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet Kinay

April 2024, xii +28 pages

It was conducted to determine the effects of different cadmium doses on the growing, yield and some element contents of the plant in buckwheat varieties and to determine how much cadmium accumulates in which parts of the plant. The study was carried out in Tokat conditions in a net greenhouse, in a pot environment, with Günes and Aktas buckwheat varieties and five (0, 5, 10, 20 and 40 ppm) different cadmium doses. Plant height, number of side branches, root weight, stem weight, leaf weight, seed weight, thousand grain weight, cadmium, zinc, iron, manganese and copper contents were examined. In the study, statistically significant ($p<0.05$) and very significant ($p<0.01$) differences were detected in other parameters, except the number of side branches, in terms of variety, dose and plant parts. Plant height 92.66-112.41 cm, leaf weight 3.82-4.85 g/pot, root weight 2.54-4.39 g/pot, stem weight 8.79-11.62 g /pot and seed weight varied between 0.74-8.96 g/pot. Plant height increased until the cadmium dose of 20 ppm and then decreased. While leaf weight generally decreased, seed weight increased up to 5 ppm cadmium and then decreased. Cadmium concentration in the plant increased depending on cadmium doses. Cadmium, which is mostly found in the root part, could not be detected in the seeds. It has been observed that the resistance of the Aktas variety to cadmium, which does not negatively affect the development of buckwheat, is better than the Günes variety. It can be said that buckwheat can be grown in areas contaminated with cadmium (up to 40 ppm).

Keywords: Heavy Metal, Cadmium, Cd Uptake, Yield, Plant Part.

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezimin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen bilgi ve tecrübeleri ile daima yol gösterici olan saygı değer hocam Doç. Dr. Ahmet KINAY’a teşekkür ederim.

Deneme kurulması ve materyal sağlanmasındaki yardımlarından dolayı Doç. Dr. Halil ERDEM’e teşekkür ederim. Aynı zamanda laboratuvar ve arazi çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Erdem KARAKOÇ ve Yüksek Ziraat Mühendisi Hacı Duran CİNGÖZ’e teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında desteğini bir an olsun esirgemeyen her zaman yanımda olan eşim ve değerli aileme teşekkürlerimi borç bilirim.

Zübeyir IŞIK

7 Haziran 2024

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<u>ÖZET</u>	i
<u>ABSTRACT</u>	ii
<u>ÖNSÖZ</u>	iii
<u>SİMGELER VE KISALTMALAR</u>	v
<u>ÇİZELGE LİSTESİ</u>	vi
<u>ŞEKİLLER LİSTESİ</u>	viii
<u>1. GİRİŞ</u>	1
<u>2. LİTERATÜR ÖZETLERİ</u>	2
<u>3. MATERYAL VE YÖNTEM</u>	9
<u>4. BULGULAR VE TARTIŞMA</u>	12
<u>5. SONUÇ</u>	29
<u>6. KAYNAKLAR</u>	30
<u>7. ŞEKİLLER</u>	37

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
%	Yüzde
g	Gram
kg	Kilogram
da	Dekar
ha	Hektar
m	Metre
Cd	Kadmiyum
Zn	Çinko
Cu	Bakır
Fe	Demir
Mn	Mangan

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
3.1. Sera denemesinde kullanılan toprağın Bazı fiziksel ve kimyasal Özellikleri	10
3.2. Karabuğday vejetasyon dönemi ce uzun yıllar iklim verileri	10
4.1. Karabuğday çeşitler ile Cd dozlarına ait bitki boyu varyans analiz tablosu	13
4.2. Karabuğday çeşitleri ile Cd dozlarına ait bitki boyu (cm) değerleri	14
4.3. Karabuğday çeşitler ile Cd dozlarına ait yan dal sayısı varyans analiz tablosu	14
4.4. Karabuğday çeşitleri ile Cd dozlarına ait yan dal sayısı değerleri	15
4.5. Karabuğday çeşitler ile Cd dozlarına ait yaprak kuru ağırlığı varyans analiz tablosu	15
4.6. Karabuğday çeşitleri ile Cd dozlarına ait kuru yaprak ağırlığı değerleri (g/saksı)	16
4.7. Karabuğday çeşitler ile Cd dozlarına ait kök kuru ağırlığı varyans analiz tablosu	16
4.8. Karabuğday çeşitleri ile Cd dozlarına ait kök kuru ağırlığı değerleri (g/saksı)	17
4.9. Karabuğday çeşitler ile Cd dozlarına ait gövde kuru ağırlığı varyans analiz	17
4.10. Karabuğday çeşitleri ile Cd dozlarına ait gövde kuru ağırlığı değerleri (g/saksı) ..	18
4.11. Karabuğday çeşitler ile Cd dozlarına ait tohum ağırlığı varyans analiz tablosu	18
4.12. Karabuğday çeşitleri ile Cd dozlarına ait tohum ağırlığı değerleri (g/saksı)	19
4.13. Karabuğday çeşitler ile Cd dozlarına ait bin tane ağırlığı varyans analiz tablosu	20
4.14. Karabuğday çeşitleri ile Cd dozlarına ait bin tane ağırlığı değerleri (g)	20
4.15. Farklı Cd dozlarının karabuğday çeşitlerinde Cd konsantrasyonları varyans analiz tablosu	21
4.16. Farklı Cd dozlarının karabuğday çeşitlerinde Cd konsantrasyonları (ppm)	21
4.17. Farklı Cd dozları ile karabuğday çeşitlerinin interaksiyonun Cd konsantrasyonları**(ppm))	21
4.18. Karabuğday bitki kısımlarına göre Cd konsantrasyonları**	22

4.19.	Farklı Cd dozları ile karabuğday bitki kısımlarının interaksyonun Cd konsantrasyonları** (ppm).....	22
4.20.	Farklı Cd dozlarının karabuğday çeşitlerinde Zn konsantrasyonları varyans analiz tablosu	22
4.21.	Farklı Cd dozlarının karabuğday çeşitlerinde Zn konsantrasyonları (ppm)	23
4.22.	Farklı Cd dozları ile karabuğday çeşitlerinin interaksyonun Zn konsantrasyonları**(ppm)	23
4.23.	Karabuğday bitki kısımlarına göre Zn konsantrasyonları** (ppm).....	24
4.24.	Farklı Cd dozları ile karabuğday bitki kısımlarının interaksyonun Zn konsantrasyonları**(ppm).....	24
4.25.	Farklı Cd dozlarının karabuğday çeşitlerinde Fe konsantrasyonları varyans analiz tablosu.....	24
4.26.	Farklı Cd dozlarının karabuğday çeşitlerinde Fe konsantrasyonları (ppm) **	25
4.27.	Farklı Cd dozları ile karabuğday çeşitlerinin interaksyonun Fe konsantrasyonları** (ppm)	25
4.28.	Karabuğday bitki kısımlarına göre Fe konsantrasyonları**(ppm).....	26
4.29.	Farklı Cd dozları ile karabuğday bitki kısımlarının interaksyonun Fe konsantrasyonları**(ppm).....	26
4.30.	Farklı Cd dozlarının karabuğday çeşitlerinde Mn konsantrasyonları varyans analiz tablosu	27
4.31.	Farklı Cd dozlarının karabuğday çeşitlerinde Mn konsantrasyonları (ppm)	27
4.32.	Farklı Cd dozları ile karabuğday çeşitlerinin interaksyonun Mn konsantrasyonları** (ppm).....	28
4.33.	Karabuğday bitki kısımlarına göre Mn konsantrasyonları**(ppm)	28
4.34.	Farklı Cd dozları ile karabuğday bitki kısımlarının interaksyonun Mn konsantrasyonları**(ppm)	29

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1. Cd çözeltisinin hazırlanması.....	36
Şekil 2. Cd çözeltisinin toprağa uygulanması	36
Şekil 3. Cd çözeltisinin toprakla karıştırılması	36
Şekil 4. Karabuğdayda ilk çıkış gözlemi	36
Şekil 5. Karabuğday çiçeklenme dönemi.....	37
Şekil 6. Karabuğday çiçeklenme dönemi.....	37
Şekil 7. Karabuğdayda gözlem alınması.....	37
Şekil 8. Karabuğday kısımlarının ayrıştırılması.....	37
Şekil 9. Karabuğday olgunlaşma dönemi.....	38
Şekil 10. Karabuğday tohum hasat.....	38
Şekil 11. Karabuğday hasat ve ölçümler.....	38
Şekil 12. Karabuğday kısım ölçümler.....	38
Şekil 13. Nemden arındırma (kurutma)	39
Şekil 14. Karabuğday kısımlarının agar değirmeninde öğütülmesi.	39



(*)Bu çalışma Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir. (Proje No: 2023/09).

1. GİRİŞ

Doğada inorganik olarak bulunan ağır metaller insan aracılığı ile organiğe dönüştürölmektedir. Atmosfere, toprağa, suya karışan ağır metaller, insan, hayvan ve bitki sağığı açısından toksik etkilere neden olmaktadır. Bu toksik etki bitkilerde oksidatif stresi artırarak bitkilerin fotosentez yapmasını yavaşlatmaktadır. Buna bağılı olarak bitkilerin büyümesi ve gelişiminde olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır (Asri ve Sönmez, 2006). Ayrıca bitkiler topraktan aldıkları ağır metalleri çeşitli organlarında biriktirmekte bu da insan ve hayvan sağığı açısından tehlike oluşturmaktadır.

Karabuğday tahıllarla akraba olmayan (Acar ve ark. 2011). ve içeriğinde glüten bulundurmayan (Bilgiçli, 2009). bir bitkidir. Glüten olmamasından dolayı da çölyak hastaları için kullanılan tıbbi bir bitki olarak değeriendirilmektedir. Çölyak hastalarının bağırsak metabolizmaları glütene hassas olup tepki vermekte bunun sonucunda ise kilo kayıplarına neden olmaktadır (Türksoy ve Özkaya, 2006). Bundan dolayı çölyak hastaları glütensiz besin maddelerine ihtiyaç duymaktadır. Karabuğday bitkisi glüten içermemesinden dolayı alternatif kaynak olarak öne çıkmaktadır. Karabuğday tohumlarının doğrudan kullanılabildiğı gibi işlenerek elde edilen gıdalarda da kullanılabilmesi bu hastaların beslenmeleri açısından son derece önemlidir.

Karabuğday üretiminde ve ihracatında Türkiye istenilen seviyede değildir. Ancak karabuğdayın, çölyak hastalarının glütensiz beslenmeleri yönündeki olumlu etkisini düşündüğümüzde ne kadar önemli bir yerinin olduğı daha önce yapılan araştırmalarda açıkça gösterilmiştir. Karabuğdayın sağık açısından bu faydası yanında adaptasyon yeteneğinin yüksek olması da bu bitkinin başka bir avantajıdır. Çok fazla toprak seçiciliğı olmayan karabuğday ağır metal içeren topraklarda bile yetişebilmektedir. Hatta karabuğday ekimi ile ağır metal bulaşıklı arazilerinin temizlenebileceğı söylenebilir. Bazı çalışmalarda fitoremediasyon yönteminde tıbbi aromatik bitkilerden karabuğday da kullanılmıştır (Doğru ve Ark., 2021). Çeşitli organlarında ağır metal biriktirmesine rağmen hastalar için öneme sahip tohumlarda birikimle ilgili yeterli bilgi olmadığı görölmüştür.

Bu çalışmanın amacını kadmiyumun karabuğday bitkisinin kısımlarında nerelerde biriktiğı, bitki gelişimine etkileri ve topraktan kadmiyum kaldırma potansiyelinin belirlenmesi oluşturmaktadır. Bu çalışma ile kadmiyumun karabuğdayın kök, gövde,

yaprak ve tohumlarında birikme miktarları belirlenmiştir. Aynı zamanda bitki gelişimi üzerine etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmayla çölyak hastaları için hayati öneme sahip karabuğdayın tohumlarında kadmiyumun birikmediği belirlenmiştir. Ayrıca çalışmayla literatüre bir katkı ve toprak temizliğinde (Fitoremediasyon) bu bitkinin kullanılabilme potansiyeli tespit edilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Karabuğday *Polygoneaceae* familyasına ait tek yıllık bir bitkidir (Acar ve ark., 2011). Karabuğday, buğday, pirinç ve arpa gibi yaygın olarak yetiştirilen tahıllardan farklı ve pseudo-tahıl olarak adlandırılan bir gruba aittir. Karabuğday, tahıllarla isim olarak benzerlik göstermesine rağmen, onlardan yapısal olarak farklıdır. Temel yapısal farklılık, karabuğdayın tek çenekli değil, çift çenekli olmasıdır. Bu özellik, karabuğdayın botanik olarak tahıllardan ayrılmasını sağlamaktadır (Dizlek ve ark., 2009). Karabuğday, adaptasyon ve kısa vejetasyon süresi bakımından yüksek rakımlarda da yetiştirilebilen bir bitkidir (Kan, 2011). Kek, ekmek, makarna, şehriye, muffin, kraker, kurabiye, krep, tortilla gibi çeşitli temel gıda maddelerinin üretiminde yaygın olarak kullanılan karabuğday unu, aynı zamanda çorbalarda, pudinglerde, tatlılarda ve kümes hayvanlarının içi doldurularak pişirilmesinde de sıkça kullanılır (Hayit ve ark., 2015). Ayrıca konserve et ve sebze ürünleriyle birlikte, dondurma külâhı yapımında ve pilav gibi çeşitli yemeklerin hazırlanmasında da kullanımı bulunur. Karabuğday unu, geniş bir yelpazede kullanılan çok yönlü bir gıda tüketim malzemesi olarak tüketilmektedir (Dizlek ve ark., 2009). Karabuğdayın yeşil ot ve kuru ot kısımları da hayvan beslenmesinde kaba yem olarak kullanılabilir (Kara ve Yüksel, 2014). Ayrıca arıcılık faaliyetlerinde iyi bir balözü hammaddesidir (Cınbıroğlu ve ark., 2016). Karabuğday bitkisi sadece sağlık açısından değil tarım, hayvancılık gıda endüstrisi açısından da çok büyük katma değere sahip bir bitkidir.

Karabuğday dünya üretimi 2.4 milyon ton olan önemli bir gıda ürünüdür. Asya, karabuğdayın en büyük ekiminin yapıldığı yer olmasına rağmen gün geçtikçe Avrupa'da da karabuğday üretimi artmaktadır (Yavuz ve ark., 2016; FAOSTAT, 2018). Karabuğday üreticisi ülkeler sırasıyla Çin, Rusya, Ukrayna, Fransa ve Polonya'dır. Özellikle Çin ve Rusya toplam üretimin yaklaşık %75'ini oluşturmaktadır (Anonim, 2019). Dünya karabuğday ihracatçısı ülkeler sırasıyla Polonya, Kanada, Fransa, Rusya ve Peru olduğu özellikle Polonya ve Kanada'nın öne çıktığı görülmektedir (Bayazıt ve Gürbüz, 2023). Türkiye'de üretim değerleri, ithalat ve ihracat bilgileri ile ilgili

herhangi bir istatistiki veri henüz resmi olarak bulunamamıştır. Türkiye’de ekimi, genellikle araştırma geliştirme aşamasında olup çeşitli kuruluşlar tarafından yapılmaktadır. Kültür olarak üretimi yeterince yaygınlaşmamıştır. Türkiye’de çölyak hastalığı görülme sıklığı yüzde 1 ile binde 3 arasında değişmekte olup Türkiye’de 250 bin ile 750 bin arasında çölyak hastası tahmin edilmekte iken ancak yüzde 10’nuna tanı konulduğu dikkate alındığında 25 bin ile 75 bin arasında tanı almış hasta beklenmektedir (Anonim, 2017). Türkiye karabuğday ihtiyacının tamamına yakını ithalat yoluyla karşılanmaktadır.

Karabuğday hem besleyicilik değerinden dolayı hemde sağlık açısından olumlu etkileri olmasından dolayı diyet ürünü olarak tüketilmeye başlanmıştır. Karabuğdayın etkilerinin incelendiği deney hayvanları ile yapılan araştırmalarda; yüksek kolesterol, hipertansiyon ve diyabeti engellediğini göstermiştir (Crista ve Smietana, 2008). Besleyici etkisinin yanında sağlığı koruyan, geliştiren ve hastalık oluşmasını engelleyen gıdalar, fonksiyonel gıdalar olarak tanımlandığı (Erbaş ve ark., 2008) için tüketicilerin fonksiyonel gıdalara ilgilerinin artması da piyasada bu tür ürünlere rağbeti artırmıştır. (Sedej ve ark., 2011). Karabuğday dünyada üretilen ve tüketilen fonksiyonel gıdalar arasında bulunmaktadır. (Li ve Zhang, 2001), bundan dolayı karabuğday ürünleri hem gıda hemde ilaç olarak çift fonksiyonlu ürünlerdir. Kronik hastalıklarda insan vücuduna farklı etkileri vardır (Peng ve ark., 2012). Karabuğday tanesinin %73.5’ini nişastadan bu nişastanın da %33.5’i dirençli nişastadan oluşur (Skrabanja ve ark., 1998). Dirençli nişasta içeren gıdaların glisemik indeksleri genellikle düşüktür (Skrabanja ve ark., 2001). Düşük glisemik indeksli diyetlerin kan şekerini düzenlediği, obeziteyi önlemeye yardım ederek kalp hastalık riskini azalttığı (Çiftçi ve ark., 2008) göz önüne alınınca karabuğday; bazı kronik hastalıkların tedavisinde de kullanılabilir (Li ve Zhang, 2001; Hayıt ve Gül, 2015).

Karabuğday sürekli büyümesi ve bu büyüme sürecinde sürekli çiçek açması ve çiçekleri hayvan ile böcekleri cezbetmesi bakımından doğal yaşam için oldukça önemli yere sahip olmasıyla birlikte su kenarlarında peyzaj bitkisi olarak ekimi yapılabilir (Koç, 2013).

Karabuğday aynı zamanda allolapatik etkiye sahip bir birkidir. Bunula ilgili yapılan çalışmada karabuğday özütleri alınarak çeşitli kültür bitkilerine uygulanmış karabuğday özsuyu doz oranı artıkça çimlenme hızı ve gücünde azalmalar belirlenmiştir. Ayrıca

%30 ve %40'luk karabuğday özsuyu dozlarında tüm bitkilerde fide boyu ve kök uzunluklarında kısaltmalar gözlemlenmiştir (Karaoğlu, 2022). Karabuğday tüm vejetasyon sürecini ortalama üç ay gibi kısa bir sürede tamamladığından dolayı bölgelere göre değişiklik göstermekle birlikte; Türkiye'nin birçok bölgesinde adapte olarak 2. ürün olarak yetiştirilebilmesi bakımından oldukça önemli bir münavebe bitkisi olabilir (Biçer ve Özyazıcı, 2020; Güzelsarı ve Kan, 2016). Kısa vejetasyon süreci ve diğer bitkilerle çabuk rekabete girmesinden dolayı allolapatik etkiye sahiptir. (Alkay ve Ökten, 2020a).

Yoğunluğu 5 g/cm³'ten fazla olan elementlere ağır metal denilmektedir. Ağır metallere örnek olarak arsenik (As), kadmiyum (Cd), krom (Cr), kobalt (Co), bakır (Cu), demir (Fe), kurşun (Pb), manganez (Mn), cıva (Hg), molibdenyum (Mo), nikel (Ni), selenyum (Se), talyum (Tl), tungsten (W), vanadyum (V) ve çinko (Zn) verilebilir (Vigneri ve ark., 2017). Doğada inorganik olarak bulunan ağır metaller insan aracılığı ile organik dönüşmektedir. Atmosfere, toprağa, suya karışan ağır metaller, insan, hayvan ve bitki sağlığı açısından toksik etkilere neden olmaktadır. Sanayileşmeyle birlikte doğada inorganik halde bulunan ağır metaller işlenerek çeşitli endüstri sektörlerinde kullanılmakta ve bu şekilde organik hale dönüşmektedir. Görünüşte insanların hayatlarını kolaylaştırmak amacıyla üretilen ürünler aslında dolaylı yollardan veya doğrudan insan sağlığını bozmaktadır. Yine aynı şekilde hızlı nüfus artışıyla besin gereksinimi artması sonucunda daha fazla ürün elde etme çabasıyla kullanılan herbisit, fungusit, insektisit gibi zirai ilaçlar ve kimyasal gübreler yoluyla da ağır metal kirliliği oluşmaktadır. Bunlarda tüm canlıların yaşamsal faaliyetleri açısından son derece tehlikeli boyutlara ulaşabilmektedir. (Seven ve ark., 2018).

İnsan, hayvan ve bitkiler belirli dozlara kadar ağır metalleri tolere edebilmedirler. Ancak dünya sağlık örgütünün insan ve hayvanlar için belirlediği kritik sınır değer 0.3 ppm'dir (DSÖ, 2024) Dünya sağlık örgütü normlarına göre haftalık 0.4-0.5 mg (60 kg'lık insan için) ağırmetal tolere edilebilir doz olarak kabul edilmektedir (JECFA, 2004). Vücuttaki kadmiyumun %3-8'i özellikle ciğer ve böbreklerde birikmektedir. Bu değer tüm vücuttaki Cd nin yarısı etmektedir. Kadmiyumun biyolojik yarılanma ömrü 19-38 yıl kadar uzun olduğundan dolayı insanlarda ciğer ve böbreklerdeki kadmiyum birikim miktarı yaşa bağlı olarak artmaktadır. Bundan dolayı yüksek Cd konsantrasyonlarından kaynaklı böbrek rahatsızlıkları genellikle 50 yaş ve sonrasında insanlarda sağlık açısından rahatsızlık vermeye başlamaktadır (Özbek ve ark., 1995).

İnsan vücudunda Cd birikiminin verdiği en önemli zararları akciğer ve prostat kanseridir. Absorpsiyonun ardından, Cd karaciğerde, böbrekte taşınır ve depolanır, insanlarda yarı ömrü 25 yıldır (Jaiswal ve ark., 2022). Kemik erimesi, kansızlık, diş dökülmesi ve koku duyusunun yitilmesi önemli etkilerindendir (Yağmur ve ark., 2003). İnsan metabolizmasında kadmiyumun vücuttan atılmasını sağlayan bir fonksiyon olmadığından dolayı kadmiyum dokularda birikir (Jomova ve Valko, 2011). Uzun süreli kadmiyum maruz kalma sonucunda, vücutta merkezi sinir sistemini de içeren birçok dokuda birikime yol açarak zehirlenmelere neden olur (Wang ve Du, 2013). Deney farelerinde yapılan bir çalışmada, kadmiyum uygulamasının önemli ölçüde hafıza kayıplarına neden olduğu, kadmiyum uygulaması yapılan sıçanların frontal korteksinde ve hipokampusünde azalmış asetilkolin seviyeleri ve yüksek asetil kolinesteraz aktivitesi gözlemlendiği ve kadmiyum uygulamasının ardından malondialdehit seviyelerinde önemli artış gerçekleştiği bildirilmiştir (Batoool ve ark., 2017). İnsanlarda ağırmetal birikiminin, özellikle Cd' nin kalp sistemine, hipertansiyona (Yücel, 2022), solunum sistemine (Aydın, 2022), kas iskelet sistemine (Işık, 2001) ve üriner sisteme (Jaiswal ve ark., 2022) olumsuz zararlar verdiği araştırmacılar tarafından belirlenmiştir.

Neredeyse tüm canlı türleri için toksik olan Cd'nin doğal kaynakları volkanik hareketler ve kayaların aşınmasıdır. İnsan kökenli önemli bir kaynak ise demir dışı metal madenciliği, özellikle Pb-Zn cevherlerinin işlenmesidir (Hutton, 1982). Kimyasal gübrelerin aşırı uygulanması tarım topraklarındaki Cd kirliliğinin en önemli nedenlerindendir. Yine küresel anlamda, kömür ve kanalizasyon çamurunun yakılması da tarım topraklarındaki Cd kaynaklarındandır (Wang ve ark., 2016; Özyigit ve Genc, 2020). Kadmiyum ana metaryal olarak, endüstri ve fosfat içerikli gübreler sayesinde insan eliyle toprağa ve suya karışarak besin zincirine ulaşmaktadır. Cd'un %54-58'i fosfor içerikli gübrelerden, %39-41'i atmosferik depolanmadan, %2-5'i ise atık çamur ve çiftlik gübresi uygulamalarından kaynaklanmaktadır (Yost ve Miles, 1979). Fosforlu gübre içeriğindeki Cd sınır değerleri ülkelere göre değişiklik göstermektedir. Bu değer İsviçre, Norveç, Finlandiya'da 50 ppm; İsveç'te 100 pmm, Danimarka'da 110 ppm, Almanya ve Belçika'da 200 ppm, Avustralya'da 345 pmm, Hollanda'da 35 ppm olarak kabul edilmiştir. Avrupa Birliği ise gübrelerdeki Cd değerinin 2010'kadar 40 ppm, 2015'e kadar ise 20 ppm değerine indirileceğini kabul etmiştir (Köleli ve Kantar, 2005). Türkiye'deki fabrikalarda üretimi yapılan fosforlu gübrelerin içeriğindeki fosforik asit ve fosfat kayasının ağır metal içeriklerinin belirlenmesi için yapılmış bir çalışmada

fosfat kayasının (358 ppm) en yüksek Cd içeriğine sahip olduğu; fosforik asidin 95-128 mg/l Cd içerdiği; DAP, TSP ve kompoze gübrelerin %87'sinde 8 ppm gübre sınır değerine yakın (7.5 mg/kg) ya da 2-5 kat daha fazla olduğu saptanmıştır (Köleli ve Kantar, 2005). Fosforlu gübrelerdeki kadmiyum miktarları kuru ağırlık bazında eser miktardan 300 ppm'e kadar değişen konsantrasyonlarda olabilmektedir (Grant ve Sheppard, 2008). Cd'nin diğer kaynaklarına bakıldığında; endüstride Ni-Cd pillerin üretimi ve korozyonu önleme amaçlı yapılan galvanik kaplama uygulamalarına ek olarak Cd'nin plastik üretiminde, cam endüstrisinde, seramik yapımında ve bir stabilizatör olarak boya üretiminde kullanılmasıdır (Akguc ve ark., 2008; Osma ve ark., 2012; Özyigit ve Genc, 2020; Yilmaz ve ark., 2021). Yukarıda verilen bu endüstriyel alanların dışında Cd ayrıca otomobil ve kamyon lastikleri, tarım aletleri, uçak parçaları, cıvata, vida, somun ve çivi gibi bazı endüstriyel ve evsel gereçlerin üretiminde ve fotoğrafçılıkta yaygın olarak kullanılmaktadır (Awual ve ark., 2018; Ishchenko, 2018; Özyigit ve Genc, 2020).

Bitkiler hayvanlara kıyasla düşük miktarlardaki Cd'den daha az etkilenecek metabolizmalarını düzenleyebilmelerine rağmen, Cd'nin aşırı miktarı bitkiler üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir (Özyigit ve ark., 2021).

Cd'un toprakta çok hareketli bir element olmasından dolayı bitkilerin Cd alımları kolaylaşmıştır (Köleli ve Kantar, 2005). Bitkilerin ağır metal stresinden etkilenme düzeyleri, farklı çevre faktörleri ve bitkinin gelişme dönemine göre farklılık gösterir. Farklı bitki türleri ve tür içerisindeki genotipler farklı tepkiler gösterebilmektedirler. Örneğin yumru köklü ve torak üstü yeşil aksamı yenen sebzelerin diğer sebzelere (Stolt ve ark., 2003), makarnalık buğdayların ekmeklik buğdaylara göre (Erdem ve ark., 2012a) bünyesinde daha fazla Cd biriktirdiği belirlenmiştir. Patates, mısır, fasulye ve bezelyenin çok az miktarda Cd tolere ettiği buna karşılık salatalık, ıspanak, kereviz, lahana ve tütün'ün fazla miktarda Cd'yi tolere edebildiği saptanmıştır. (Davis ve Calton-Smith, 1980; Bergman, 1992; Erdem ve ark., 2012b).

Yüksek düzeyde Cd'ye maruz kalan bitkiler, büyüme inhibisyonu, kloroz ve köklerin esmerleşmesi gibi gözle görülür toksisite semptomlarına ilaveten anatomik olarak da hücre ve dokularda küçülmeler, stoma ve epidermal tüy sayılarında azalma gibi olumsuz değişiklikler gösterebilmekte ve bu değişiklikler uzun vadede bitkinin ölümüne yol açabilmektedir (Yli-Pirilä ve ark., 2007; Özyigit ve Genc, 2020; Almuwayhi, 2021; Özyigit ve ark., 2021). Cd, sürgünlerde kök Fe (III) redüktaz ve gövde nitrat redüktaz

aktivitesi ile CO₂ fiksasyonunda yer alan enzimlerin aktivitelerini inhibe eder (Ackova, 2018). Ayrıca Cd elementi, bitkilerde Ca, K, Mg, P ve su alımını olumsuz etkileyerek nitrat translokasyonunu ve emilimini azaltır. Cd'nin bitkilerde su dengesi bozukluğuna da sebep olduğu bilinmektedir (Nagajyoti ve ark., 2010). Yüksek Cd seviyeleri nukleusa zarar verir ve bu da kromozomal parçalanma ve aberasyona yol açar. Cd etkisi ile mitokondrilerin yapılarının bozulması da bitkilerde solunumu büyük ölçüde engeller. Cd, çeşitli yapısal proteinlerin kükürt içeren sülfhidril gruplarına bağlanıp bunların yanlış katlanmasına, yani tersiyer ve kuaterner protein yapısında bozuklulara ve dolayısıyla enzimatik aktivitenin azalması ya da durmasına yol açabilir. Bu durum da özellikle elektron taşıma zincirinde redoks reaksiyonlarının işleyişini etkiler (Ghori ve ark., 2019).

Çilek bitkisi üzerinde yapılan bir araştırmada (0.25 mM kadmiyum, 3- 0.50 mM kadmiyum 4- 0.01 mM MeJa 5- 0.1 mM MeJa) (metil jasmonat) ppm dozlarında Cd ve MeJa uygulanmıştır. Araştırma sonucunda artan dozlarda Cd uygulanan çilek bitkisinde kök sayısı, kök ağırlığı, gövde ağırlığı ve yaprak alanı parametrelerinde düşüşler olduğunu belirlenmiştir. Ancak MeJa doz miktarı arttıkça çilekte Cd toksitesini azalttığı bitki büyüme ve gelişmesine olumlu yönde etki ettiğini belirlemiştir. Ayrıca bitkinin kök sayısı, kök ağırlığı, gövde ağırlığı ve yaprak alanı sayısal parametrelerini artırdığını bilirlenmiştir (Muradoğlu ve ark., 2020).

Domanska (2021), asidik ve nötr özellikli iki farklı toprağa Pb ve Cd (10 ppm Cd + 100 ppm) uygulaması yapmış ve sonrasında bu ortamlarda karabuğday bitkisi yetiştirmiştir. Çalışma sonucunda karabuğdayın topraktan Pb yi Cd ye göre daha çok kaldırdığı ve Fitoremediasyon bakımından karabuğday bitkisinin kullanabileceğini belirtmiştir.

Karabuğdayda Cd ve Ni ile yapılan bir çalışmada farklı dozlarda (0, 50, 75, 100 ve 150 ppm Cd ve Ni) bu elementler uygulanmıştır (Leblebici, 2019). Uygulamaların tohum çimlenme oranı, kök uzunluğu, kök ve gövde yaş-kuru ağırlığı, kök ve gövde biyokütlesi üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışmada ağır metal uygulamaları çimlenme oranlarını azaltmış ancak oranlardaki fark çok önemli bulunmamıştır. Artan Cd ve Ni (0, 50, 75, 100 ve 150 ppm) konsantrasyonlarında bitkinin kök uzunluğu, kök ve gövde taze-kuru ağırlığı ve biyokütle miktarında azalma olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca artan dozlarda Cd, Ni tolerans indeksine göre bitkinin Cd'ye daha az toleranslı olduğu

görülmüştür. Karabuğday bitkisinde incelenen ekofizyolojik parametrelerde Cd'un nikelere göre daha etkili olduğu belirlenmiştir (Leblebici, 2019).

Kaplan (2018), karabuğdayda 0, 12.5, 25, 50 ve 100 ppm Cd dozları ve 0,10, 20 ve 30 ppm Zn dozları ile bir çalışma yürütmüştür. Karabuğday bitkisinin gelişimine verimine ve kalitesine etkisini belirlemek amacıyla yapılan araştırmada; Cd ve Zn'nun artan dozlarının bitkinin vejetatif olarak büyümesi, gelişmesi, tane verimi, yaş ve kuru ağırlığı gibi özelliklerini olumsuz etkileyerek fitotoksiteye neden olduğunu görmüştür.

Karabuğdayın Ca ve Cd ye olan savunmasının incelendiği bir çalışmada 0-200 ppm Cd ve 0-300 ppm Ca bitkiye uygulanmıştır. Bu çalışma sonucunda Ca'nın bitkideki Cd stresini azalttığı belirlenmiştir. Ca uygulaması kök ve sürgünlerde biyomas miktarını artırmış ve bitkinin Cd alımını azaltarak Cd'nin toksik etkilerini tersine çevirerek, daha fazla Cd'nin köklerde tutulduğunu belirlenmiştir. (Hakeem ve ark., 2022)

Ağaç (Çalı) minesi (*Lantana camara* L.) ile yapılan bir çalışmada; bitkinin Cd hiperakümülatörü olup olmadığını araştırılmıştır. Denemede 0, 25, 50, 75, 100 ve 200 ppm dozlarda Cd uygulanmıştır. Araştırma sonucunda ağaç minesi bitkisinin toprak üstü kuru aksamalarında azalma olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bitkinin kök ve sürgünlerinde Cd biriktirdiği belirtilmiştir. Bu bitkinin Cd stresine karşı antioksidan koruma ve fotosentetik düzenleme yoluyla güçlü bir Cd toleransı olduğu tespit edilmiştir. Ağaç minesi bitkisinin Cd biriktirmesi nedeniyle hiperakümülatör özelliklerine sahip olduğu ve ağır metallerce kirlenmiş toprakların iyileştirilebilmesinde potansiyel Cd hiperbirikimli bitki olabileceği belirlenmiştir (Liu ve ark. (2019).

Çemen (*Trigonella foenum-graecum* L.) bitkisinde beş farklı kadmiyum dozu (0, 25, 50, 75 ppm) ile bir çalışma yürütülmüştür. Araştırmada, bitki boyu (cm), kök uzunluğu (cm), kök ve gövde yaş ağırlığı (g), yaprak ağırlığı (g) ve yaprak sayısı gibi çeşitli ölçümler yapılarak bitki fidelerinin büyüme özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda belirlenen değerlere göre Cd dozu arttıkça bitkilerin morfolojik özelliklerinde gerilemeler olduğu tespit edilmiştir (Tunctürk ve ark., 2020).

Bir çalışmada 0, 75, 150, 225, 300, 375 ppm Cd dozları uygulanan beş farklı çeşit kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) bitkisindeki çimlenme ve fide gelişim parametreleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda tüm genotiplerde 150 ppm Cd dozuna kadar bitkinin Cd stresine karşı toleranslı olduğu belirlenmiştir. (Aygün ve ark., 2022)

Diğer bir çalışmada üç farklı (Akdarı, Beydarı ve Öğretmenoğlu) tane sorguma 0, 25, 50, 75, 100, 125 ppm dozlarında Cd uygulanmasıyla bitkideki morfolojik özellikler (bitki boyu, bitki gövde çapı, bin tane ağırlığı, salkım uzunluğu, gövde oranı, yaprak oranı ve salkım oranı) incelenmiştir. Değerlendirme sonucunda Cd dozlarının artmasıyla birlikte, gövde oranı hariç tüm parametrelerde azalma gözlemlenirken, Cd dozları arttıkça gövde oranının da arttığı belirlenmiştir. Özellikle 25 ppm ve üzerindeki dozlarda toksik etki olduğu tespit edilmiştir (Yılmaz ve Kökten, 2019).

3. MATERYAL VE METOT

Araştırma, 2022 yılında Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi (TOGÜ), Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezi, Tarla Bitkileri Bölümü seralarında yürütülmüştür. Çalışmada, Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğünden (BDUTAE) temin edilen iki tescilli karabuğday çeşidi Güneş ve Aktaş materyal olarak kullanılmıştır.

Aktaş çeşidi: BDUTAE tarafından 2014 yılında tescil ettirilen karabuğday çeşididir. Çiçek rengi beyazdır. Bitki boyu ortalama 88 cm olup, tane verim potansiyeli ortalama 120 kg/da civarındadır. Bin tane ağırlığı ortalama 25 g, hektolitre ağırlığı 62 kg'dır. Protein oranı %11-14 aralığında değişebilmektedir. Un, bulgur ve herhangi bir işlem yapılmadan tüketilebilmektedir. Türkiye'nin her bölgesine adaptasyon sağlamıştır. Ekim zamanı ilkbahar (Nisan sonu) soğuklarından sonra ekimi başlayıp 2. ürün olarak Temmuz ayı sonuna kadar ekimi yapılabilmektedir (Acar, 2019).

Güneş çeşidi: BDUTAE tarafından 2014 yılında tescil ettirilen karabuğday çeşididir. Çiçek rengi beyazdır. Bitki boyu ortalama 92 cm, tane verimi 140 kg/da civarında değişmektedir. Bin tane ağırlığı ortalama 26 g, hektolitre ağırlığı ortalama 64 kg'dır. Protein oranı %11-14 aralığında değişmektedir. Un, bulgur ve herhangi bir işlem yapılmadan tüketilebilmektedir. Türkiye'nin her bölgesine adaptasyon sağlamıştır. Ekim zamanı ilkbahar (Nisan sonu) soğuklarından sonra ekimi başlayıp 2. ürün olarak Temmuz ayı sonuna kadar yapılabilmektedir (Acar, 2019)

Çalışmada kullanılan toprak; TOGÜ, Tarımsal Araştırma Uygulama Merkezi arazisinden alınmış ve 4 mm'lik elekten elenerek kurutulmuştur. Deneme toprağının tekstürü siltli-tın, organik maddesi orta, kireç içeriği yüksek ve tuzsuz olup, DTPA'da

ekstrakte edilebilir Cd konsantrasyonu ise çok düşüktür (Kacar, 2012). Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Sera denemesinde kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Organik madde	Miktar (özellik)	Mineral madde	Miktar (Özellik)
pH (1/2.5 H ₂ O)	7.86	P (mg kg ⁻¹)	12.9
Tuz (%)	0.02	K (mg kg ⁻¹)	121
Organik M. (%)	2.05	Zn (mg kg ⁻¹)	1.33
Kireç %	14	Fe (mg kg ⁻¹)	8.9
Tekstür	Siltli Tın	Cd (mg kg ⁻¹)	0.004
Mn (mg kg ⁻¹)	9.8	Mg (mg kg ⁻¹)	710
Cu (mg kg ⁻¹)	1.77		

Araştırmanın yürütüldüğü Tokat yöresinde uzun yıllar (UYO) (1929-2023) ve 2022 yılı karabuğday vejetasyon dönemi iklim değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde uzun yıllar sıcaklık ortalamaları çalışmanın yapıldığı yıllara paralellik göstermesine rağmen Ağustos-Eylül ayları daha sıcak olmuştur. Aynı zamanda uzun yıllar toplam yağış miktarına göre 2022 yılı çok daha az yağışlı geçmiştir. Ancak 2022 yılı ve uzun yıllar ortalamalarında nemlilik açısından fazla bir fark görülmemiştir.

Çizelge 3.2. Karabuğday vejetasyon dönemi ve uzun yıllar iklim verileri

Yıl/Ay	Aylık Ortalama Nispi Nem (%)		Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)		Aylık Toplam Yağış (mm)	
	2022	UYO	2022	UYO	2022	UYO
Mayıs	59.8	60.5	15.3	16.4	34.7	58.6
Haziran	64.1	56.4	20.9	19.7	84.1	41.5
Temmuz	59.8	55.8	21.0	22.1	0.1	12.0
Ağustos	57.2	53.9	25.6	22.4	1.1	8.6
Eylül	55.6	54.4	20.5	18.9	28.6	19.4
Ekim	68.0	60.3	14.2	13.8	30.6	35.6

Tokat Meteoroloji Bölge Müdürlüğü

Araştırmada 0 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm ve 40 ppm kadmiyum dozları kullanılarak deneme tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Tüm bitki hasadı ve tohum hasadı yapılacak bitkiler için ayrı ayrı dört

tekerrürlü ekimler yapılmıştır. Saksılar üç lt hacminde olup her saksıya 2100 g toprak doldurulmuştur. Saksılardaki topraklara ekimle birlikte temel besin elementleri olarak 6 kg/da saf azot 6 kg/da saf potasyum ve 6 kg/da saf fosfor uygulaması yapıldıktan sonra kadmiyum dozları (0 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 40 ppm Cd) (CdSO_4) $\cdot$ 3.8H $_2$ O formunda uygulanmıştır. Kadmiyum uygulamaları ve temel gübreler homojen olarak toprakla karıştırılarak saksılar ekime hazır hale getirilmiştir. Dekara 10 kg tohum gelecek şekilde Haziran ayının ilk haftası ekim yapılmıştır. (Yavuz ve ark. 2016). Her bir saksıya 8-9 adet tohum gelecek şekilde ekim yapılmış ve çıkıştan sonra her bir saksıda üç bitki kalacak şekilde seyreltme yapılmıştır. Bitkiler çiçeklenme dönemine kadar kültürel olarak yabancı ot mücadelesi yapılmıştır. Tohum bağlama süresine kadar ise haftada 2 veya 3 defa saksılara alttan sulama yapılarak bitkilerin strese girmesi önlenmiştir.

Tüm bitki olarak hasat edilecek bitkiler 30. Gün %50 çiçeklenme dönemini tamamladıktan sonra hasat edilmiş kök, gövde ve yaprak olarak ayrılmıştır. Bu bitki aksamalarının sterilizasyon işlemleri alkollü saf su ile yıkanarak yapılmıştır. Yeşil herbalar TOĞÜ Ziraat Fakültesi, Tarla bitkileri laboratuvarında etüvde 48 saat boyunca 65 °C’de bekletilmiş, hassas terazi ile kuru madde verimleri belirlenmiştir. Daha sonra gelişimini tamamlayıp tohum bağlayan diğer bitkilerde hasat edilerek tohum analizleri için tohumları ayrılmış tartımları hassas terazide yapılmıştır. Bitkinin kuru kök, gövde, yaprak ve tohum kısımları agat değirmeninde öğütülmüştür. Öğütülen örneklerden 0.2 g. tartılarak mikrodalga cihazında (Mars Xpress) yaş yakma metoduna göre H $_2$ O $_2$ -HNO $_3$ asit karışımında yakılmıştır. Daha sonra bu örneklerde ICP cihazında Cd, Fe, Zn, Cu ve Mn okuması yapılmıştır (Kacar ve İnal, 2008).

İncelenen özellikler:

Çıkışa kadar geçen gün sayısı (gün): Ekimden sonra bitki çıkışları gözlemlenerek her saksıda %50 bitki çıkışının sağlandığı tarih çıkış tarihi olarak belirlenmiştir (Acar, 2019).

Çiçeklenme gün sayısı (gün): Çıkış tarihi ile bitkilerin en az %50’ sinde çiçeklenmenin görüldüğü tarih arasındaki gün sayısı belirlenmiştir (Acar, 2019).

Olgunlaşma gün sayısı (gün): Çıkış tarihinden, hasada kadar geçen gün sayısı olarak belirlenmiştir (Acar, 2019).

Bitki boyu (cm): Her saksıdaki bitkilerin toprak seviyesi ile bitkinin en uç noktası arasındaki uzaklık cm olarak ölçülerek ortalamaları alınmıştır (Acar, 2019).

Yan dal sayısı (adet/bitki): Her saksıdan fiziksel olgunluktaki bitkilerin ana sapa bağlı birincil yan dallarının ortalaması alınmıştır (Acar, 2019).

Saksı tane verimi (g/bitki): Her saksıdaki tüm bitkiler hasat edilmiş, taneleri temizlenmiş ve daha sonra tartım işlemi yapılarak ortalaması alınmıştır (Acar, 2019).

Kök, gövde ve yaprak ağırlığı (g/bitki): Her saksıdaki tüm bitkiler hasat edilerek, kökleri, gövdeleri ve yaprakları ayrılarak 65 C⁰'de etüvde kurutulmuş ve daha sonra tartım işlemi yapılarak ortalaması alınmıştır (Acar, 2019).

Bin tane ağırlığı (g): Saksılardan elde edilen tanelerden 4 tekrarlı 100 tane sayılmış ortalaması alınıp 10 ile çarpılarak hesaplanmıştır (Acar, 2019).

Kök, gövde, yaprak ve tane örneklerinde Cd analizi: Hasat edilen kök, gövde, yaprak ve tane örnekleri agat değirmeninde öğütülmüştür. Öğütülen örneklerde 0.2 g. tartılarak mikrodalga cihazında (Mars Xpress) yaş yakma metoduna göre H₂O₂-HNO₃ asit karışımında yakılmıştır. Daha sonra bu örneklerde ICP cihazında ağır metal okumaları yapılmıştır (Kacar ve İnal, 2008).

İstatistik analizi: Elde edilen veriler denemenin kuruluş yöntemine göre JMP istatistik programı kullanılarak analiz edilmiş ve sonuçlar LSD ve TukeyHSD çoklu karşılaştırma testine göre karşılaştırılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı kadmiyum dozlarının karabuğday çeşitlerindeki gelişimine etkisi ile ilgili yapılan bu çalışmada ilk çıkış, %50 çiçeklenme ve olgunlaşma gün sayıları gibi fenolojik gözlemler alınmıştır. Ekimden dört gün sonra ilk bitki çıkışları tüm saksılarda gerçekleşmiştir. Gözlemler sonucunda çeşitler ve Cd dozlarına göre bitki çıkış sürelerinde herhangi bir farklılık gözlemlenmemiştir. Karabuğdayda farklı ekim zamanlarına göre yapılan ekimlerde bitki çıkışları arasında önemli farklılıklar görülmemiştir (Güzelsarı, 2016). Kadmiyum kirliliği bitkilerde genellikle plazma membranının bileşimini ve bütünlüğünü bozması, su taşınımını engellemesi,

fotosentetik solunumunu azaltması, karbonhidrat ve azot metabolizması dengesini bozması, bitkinin hormon salınımının engellenmesine neden olmaktadır (Du, 2023). Kadmiyum kirliliği bu nedenlerle tohum çimlenmesine, bitki büyümesi ve gelişiminin yavaşlamasına neden olmasına rağmen yapılan çalışmada bahsedilen olumsuzluklar görülmemiştir. Uygulanan kadmiyum dozları karabuğday bitkisinin çıkış, çiçeklenme ve olgunlaşma gün sayıları üzerinde değişime neden olmamıştır.

Ekimden 18 gün sonra bitkilerde ilk çiçek tomurcukları 21 gün sonra tüm bitkilerde çiçeklenmenin başladığı ve 30. gün sonunda bitkilerin %50'sinin çiçeklendiği görülmüştür. Çiçeklenme toplamda 38 günde tamamlanmıştır. Bu gözlemler sonucunda ise çeşit ve Cd dozlarının farklılığından kaynaklı bir değişiklik görülmemiştir.

Tohumların ekiminden 42 gün sonra tohum bağlama başlamış, 57. günün sonunda %50 tohum bağlama gerçekleşmiş ve 74. günün sonunda tohum bağlama tamamlandığı tespit edilmiştir. Ekimden 90 gün sonra hiçbir bitkide herhangi bir çiçek kalmadığı ve tohumların %100'ünün olgunlaştığı belirlenmiştir. Cd dozları ve karabuğday çeşitlerinin tohum bağlama başlangıcı ile tohumların olgunlaşmaları süreci bakımından herhangi bir farklılığa neden olmadığı tespit edilmiştir. Karabuğday bitkisi vejetasyon süresi kısa olan (80-90 gün) ve hızlı büyüyen bir bitkidir (Kan, 2011).

Bitki Boyu

Tokat ekolojik şartlarında tül serada yürütülen bu çalışmada, karabuğday çeşitleri ile Cd dozlarına ait bitki boyu varyans analiz tablosu Çizelge 4.1'de verilmiştir. Buna göre çalışmadaki karabuğday çeşitlerinin bitki boyları arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemli ($P < 0.05$) bulunmuştur. Cd dozlarının bitki boyuna etkileri arasındaki farklılık istatistiki olarak çok önemli ($P < 0.01$) bulunurken çeşit* Cd doz etkileşimi önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Karabuğday çeşitleri ile Cd dozlarına ait bitki boyu varyans analiz tablosu

VK	Sd	KT	KO	F Hesap	F Cetvel
Çeşit	1	342.615	342.615	7.483	0.010
Cd Doz	4	1540.567	385.141	8.412	0.000
Çeşit*Cd Doz	4	189.004	47.251	1.032	0.406
Hata	30	1373.408	45.780		
Genel	39	3445.596			

CV %:6

Farklı kadmiyum dozlarının karabuğday çeşitlerindeki gelişimine etkisinin incelendiği çalışmada bitki boyu açısından her iki çeşitte de 20 ppm Cd dozuna kadar önemli bir farklılık görülmemiştir. Ancak 20 ppm Cd dozunda bitki boyunda artış görülmüş ise de

istatistiki olarak ilk üç dozla aynı grupta yer almıştır. En yüksek Cd dozunda ise bitki boyunda kısalmanın olduğu ve istatistiki olarak önemli olduğu görülmüştür. Karabuğdayın 20 ppm Cd dozuna kadar bitki boyu bakımından toleranslı olduğu fakat 20 ppm den sonra olumsuz etkilendiği görülmüştür. Araştırmada kullanılan aynı çeşitlerde Cd ve Zn uygulamaları ile yapılan bir çalışmada, Güneş çeşidinde artan Cd dozları ile bitki boyunda azalmalar gözlemlenmiş ancak bu durum Aktaş çeşidinde tespit edilememiştir (Alkay ve Ökten, 2020b). Çeşitler arasında ise Aktaş çeşidinin Güneş çeşidine göre bitki boyunun daha uzun olduğu belirlenmiş ve istatistiki olarak önemli olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada bitki boyu en uzun değer 20 ppm Cd dozunda Aktaş çeşidinde (112.41) cm ve en kısa değer ise (92.66 cm) yine aynı çeşitte 40 ppm Cd dozunda belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Alkay ve Ökten (2020b), Aktaş ve Güneş karabuğday çeşitleri ile yaptığı çalışmada en iyi bitki boyu gelişimini Güneş çeşidinde 10 mg/kg Zn uygulamasından elde etmiştir. Bunun aksine 30 mg/kg Zn ile 50 mg/kg Cd dozları uygulandığında ise Güneş çeşidinde kontrole göre % 42 oranında bitki boyunda azalma ve 10 mg/kg Zn ile 25 mg/kg Cd uygulamasında Aktaş çeşidinde kontrole göre % 4 azalma gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.2. Karabuğday çeşitleri ile Cd dozlarına ait bitki boyu (cm) değerleri

Çeşit	Cd dozları (ppm)					Çeşit ort.
	0	5	10	20	40	
Güneş	98.90	102.16	100.16	111.00	92.91	101.03B
Aktaş	108.83	111.08	109.41	112.41	92.66	106.88A
Cd Doz ort	103.86A	106.62A	104.79A	111.70A	92.79B	

Çeşit LSD=4.34* DozTUKEY=9.80** Çeşit*dozTUKEY= 16.29^{öd}

Yan Dal Sayısı

Araştırmada, karabuğday çeşitleri ile Cd dozlarına ait yan dal sayısı varyans analiz tablosu Çizelge 4.3’de verilmiştir. Buna göre çalışmadaki karabuğday çeşitleri ve Cd dozları yan dal sayısı arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.3. Karabuğday çeşitleri ile Cd dozlarına ait yan dal sayısı varyans analiz tablosu

VK	Sd	KT	KO	F Hesap	F Cetvel
Çeşit	1	0.069	0.069	0.824	0.371
Cd Doz	4	0.638	0.159	1.895	0.137
Çeşit*Cd Doz	4	0.805	0.201	2.390	0.072
Hata	30	2.527	0.084		
Genel	39	4.041			

CV%: 10

Yan dal sayısı bakımından en fazla Güneş çeşidinde 0 ppm Cd dozunda 2.91 adet, en az ise 5 ppm Cd dozunda (2.33 adet) olduğu belirlenmiştir. Karabuğday çeşitlerinde kadmiyum dozlarının bitki gelişimine etkisinin incelendiği çalışmada yan dal sayısı ile ilgili herhangi bir istatistiksel fark görülmemiştir. Ancak Aktaş çeşidinin yan dal sayısının (2.75) Güneş çeşidine (2.66) göre daha fazla olduğu görülmüştür (Çizelge 4.4). Yapılan bazı araştırmalarda karabuğday bitkisinin büyümesine Cd'un önemli ölçüde etki ettiği (Domanska, 2021) ancak bu çalışmada bir farklılık olmadığı görülmüştür.

Çizelge 4.4. Karabuğday çeşitleri ile Cd dozlarına ait yan dal sayısı değerleri

Çeşit	Cd dozları (ppm)					Çeşit ort.
	0	5	10	20	40	
Güneş	2.91	2.33	2.83	2.83	2.41	2.66
Aktaş	2.66	2.91	2.83	2.75	2.58	2.75
Cd Doz ort.	2.79	2.62	2.83	2.79	2.50	
Çeşit LSD=0.18 ^ö DozTUKEY=0.42** Çeşit*Cd dozTUKEY= 0.69 ^ö						

Yaprak Kuru Ağırlığı (g/saksı)
Karabuğday çeşitler ile Cd dozlarına ait yaprak kuru ağırlığı varyans analiz tablosu Çizelge 4.5'de verilmiştir. Buna göre çalışmadaki karabuğday çeşitleri ($p<0.05$) ile Cd dozlarının ($p<0.01$) yaprak kuru ağırlığına etkileri arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemli ve çok önemli bulunmuştur. Çeşit*Cd doz interaksiyonunun ise önemsiz olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.5. Karabuğday çeşitler ile Cd dozlarına ait yaprak kuru ağırlığı varyans analiz tablosu

VK	Sd	KT	KO	F Hesap	F Cetvel
Çeşit	1	0.650	0.650	4.289	0.047
Cd Doz	4	2.767	0.691	4.564	0.005
Çeşit* Cd Doz	4	0.366	0.091	0.603	0.662
Hata	30	4.547	0.151		
Genel	39	8.331			
CV%:8					

Yaprak kuru ağırlığı en yüksek değerler Aktaş çeşidinde 0 ppm Cd dozunda 4.85 g, en düşük yaprak kuru ağırlığı ise Güneş çeşidinde 10 ppm Cd dozunda 3.82 gr olduğu belirlenmiştir. Araştırmada yaprak kuru ağırlığının her iki çeşitte de doz arttıkça azalma olduğu belirlenmiştir. Cd dozundaki artışa bağlı olarak azalan yaprak kuru ağırlığı istatistiki olarak çok önemli bulunmuştur. Güneş çeşidindeki kuru yaprak ağırlığı azalışı Aktaş'a göre daha fazla olmuş ve istatistiki olarak yine önemli olmuştur (Çizelge 4.6).

Bu istatistiki sonuca göre Aktaş çeşidinin Cd'a karşı dayanıklılığının daha iyi olduğu söylenebilir. Çalışmada, Cd dozlarındaki artışa bağlı olarak bitki gelişiminde yavaşlama olduğu özellikle 20 ppm dozundan sonra bu durumun daha belirgin hale geldiği tespit edilmiştir (Du, 2023). Ayrıca, Kalınbacak ve ark. (2012), yaptıkları çalışmada sera ortamında toprağa 0, 5, 15, 30 ve 45 ppm Cd uygulanmış ve artan Cd dozlarında buğday bitkisinin kuru madde miktarının azaldığını belirtmişlerdir.

Çizelge 4.6. Karabuğday çeşitleri ile Cd dozlarına ait kuru yaprak ağırlığı değerleri (g/saksı)

Çeşit	Cd dozları (ppm)					Çeşit ort.
	0	5	10	20	40	
Güneş	4.53	4.34	3.82	4.22	3.94	4.17B
Aktaş	4.85	4.67	4.36	4.24	4.01	4.43A
Cd Doz ort.	4.69A	4.51AB	4.09AB	4.23AB	3.98B	
Çeşit LSD=0.25* DozTUKEY=0.55** Çeşit*dozTUKEY= 0.92 ^ö d						

Kök Kuru Ağırlığı (g/saksı)

Karabuğday çeşitleri ile Cd dozlarına ait kök kuru ağırlığı varyans analiz tablosu Çizelge 4.7'de verilmiştir. Buna göre çalışmadaki karabuğday çeşitleri, Cd dozları ve aralarındaki interaksiyon kök kuru ağırlığı bakımından istatistiki olarak çok önemli ($p<0.01$) bulunmuştur.

Çizelge 4.7. Karabuğday çeşitleri ile Cd dozlarına ait kök kuru ağırlığı varyans analiz tablosu

VK	Sd	KT	KO	F Hesap	F Cetvel
Çeşit	1	2.218	2.218	20.064	0.0001
Cd Doz	4	6.060	1.515	13.703	<.0001
Çeşit*Cd Doz	4	3.354	0.838	7.584	0.0002
Hata	30	3.317	0.110		
Genel	39	14.950			

CV%: 10

Farklı kadmiyum dozlarının karabuğday çeşitlerinin büyümesine etkisinin incelendiği çalışmada, kök kuru ağırlığı her iki çeşitte de 10 ppm Cd dozuna kadar azalmış ve sonrasında artış ve azalış şeklinde devam etmiştir. Bu değişimler istatistiki olarak da önemli ($p<0.01$) bulunmuştur. Kök kuru ağırlığı en yüksek değer Aktaş çeşidinde, 0 ppm Cd dozunda 4.3 g en düşük değer ise Güneş çeşidinde 40 ppm Cd dozunda 2.54 g olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.8). Aktaş çeşidindeki kök kuru ağırlığının Güneş çeşidine göre fazla olduğu tespit edilmiştir. Çeşitlerin kök kuru ağırlığında 10 ppm Cd konsantrasyonlarına toleransının olmadığı söylenebilir.

Çizelge 4.8. Karabuğday çeşitleri ile Cd dozlarına ait kök kuru ağırlığı değerleri (g/saksı)

Çeşit	Cd dozları (ppm)					Çeşit ort.
	0	5	10	20	40	
Güneş	3.13 ^{bcd}	3.62 ^{ab}	2.57 ^d	3.41 ^{bc}	2.54 ^d	3.05B
Aktaş	4.39 ^a	3.57 ^b	2.75 ^{cd}	3.30 ^{bcd}	3.62 ^{ab}	3.52A
Cd Doz ort.	3.76A	3.59A	2.66C	3.36AB	3.08BC	
Çeşit LSD= 0.20** DozTUKEY= 0.46** Çeşit*dozTUKEY= 0.78**						

Ye ve ark. (2022), karabuğdayda farklı Cd dozları (10, 30 ve 50 ppm) ile yaptıkları çalışmada karabuğday köklerinde yüksek miktarda Cd birikimi tespit etmişlerdir. Ancak yeşil aksamda kloroz ve nekroz görülmemiştir. Aynı zamanda bitkinin yeşil aksamının ve kökünün 50 ppm Cd dozuna kadar bitkinin kendi biyolojik savunma sistemi sayesinde Cd'ye toleranslı olduğunu bildirmişlerdir.

Gövde Kuru Ağırlığı (g/saksı)

İlgili çalışmada, karabuğday çeşitleri ile Cd dozlarına ait gövde kuru ağırlığı varyans analiz tablosu Çizelge 4.9'da verilmiştir. Buna göre çalışmadaki karabuğday çeşitleri ile Cd dozlarının gövde kuru ağırlığı üzerine etkisi istatistiki olarak çok önemli ($p<0.01$) bulunmuştur. Farklı Cd dozları ile çeşitlerin interaksiyonu gövde kuru ağırlığı bakımından önemli ($p<0.05$) bulunmuştur.

Çizelge 4.9. Karabuğday çeşitleri ile Cd dozlarına ait gövde kuru ağırlığı varyans analiz tablosu

VK	Sd	KT	KO	F Hesap	F Cetvel
Çeşit	1	10.537	10.537	19.486	0.0001
Cd Doz	4	25.542	6.385	11.809	<.0001
Çeşit*Cd Doz	4	7.439	1.859	3.439	0.019
Hata	30	16.222	0.540		
Genel	39	59.741			

CV%: 7

Farklı kadmiyum dozlarının karabuğday çeşitlerindeki gelişimine etkisi incelendiğinde gövde kuru ağırlığı 0 ppm Cd dozuna göre 5 ppm Cd dozunda artış, 10 ppm Cd dozunda azalma, 20 ppm Cd dozunda artış ve 40 ppm Cd dozunda tekrar azalma görülmüştür (Çizelge 4.10). Bu değişimlere rağmen genel olarak kadmiyum dozlarının artışına bağlı olarak gövde kuru ağırlığında azalış olduğu görülmüştür. Her iki çeşitte de doz arttıkça gövde kuru ağırlığında azalma olmuş fakat Güneş çeşidinde gövde kuru ağırlığı Aktaş çeşidine göre daha fazla azalmıştır. Buradan hareketle Aktaş çeşidinin Güneş çeşidine

göre daha fazla kuru madde ürettiği söylenebilir. Gövde kuru ağırlığında en yüksek değer Aktaş çeşidinde 0 ppm Cd dozunda 11.62 g, en düşük değer ise Güneş çeşidinde 40 ppm Cd dozunda 8.78 g olduğu görülmüştür. Cd uygulamasının bitkilerde biyokütle miktarına olumsuz etkileri görülmektedir (Domanska, 2021).

Çizelge 4.10. Karabuğday çeşitleri ile Cd dozlarına ait gövde kuru ağırlığı değerleri (g/saksı)

Çeşit	Cd dozları (ppm)					Çeşit ort.
	0	5	10	20	40	
Güneş	9.44 ^{bc}	10.85 ^{ab}	8.79 ^c	10.44 ^{abc}	8.78 ^c	9.66 B
Aktaş	11.62 ^a	11.39 ^a	10.75 ^{ab}	10.81 ^{ab}	8.88 ^c	10.69A
Cd Doz ort.	10.53AB	11.12A	9.77BC	10.62AB	8.83C	
Çeşit LSD= 0.46** DozTUKEY=1.04** Çeşit*dozTUKEY= 1.73*						

Tohum Ağırlığı (g/saksı)

Çalışmada, karabuğday çeşitleri ile farklı Cd dozlarına ait tohum ağırlığı varyans analiz tablosu Çizelge 4.11’de verilmiştir. Buna göre çalışmadaki karabuğday çeşit, Cd dozu ile çeşit*Doz doz etkileşimini tohum ağırlığı bakımından istatistiki olarak çok önemli ($p<0.01$) bulunmuştur.

Çizelge 4.11. Karabuğday çeşitler ile Cd dozlarına ait tohum ağırlığı varyans analiz tablosu

VK	Sd	KT	KO	F Hesap	F Cetvel
Ceşit	1	54.265	54.265	324.754	<.0001
Cd Doz	4	189.642	47.410	283.729	<.0001
Ceşit*Cd Doz	4	42.878	10.719	64.152	<.0001
Hata	30	5.012	0.167		
Genel	39	291.799			

CV%: 8

Saksı başına karabuğday tohum ağırlığı kontrol grubuna göre tüm dozlarda daha yüksek verim elde edilmiştir. Özellikle 5 ppm Cd dozunda her iki çeşitte de tohum ağırlıklarında kontrole göre önemli miktarda artış belirlenmiştir. Tohum ağırlığında en yüksek değer 5 ppm Cd dozunda (8.96 g) en düşük değer ise 0 ppm Cd dozunda (0.74) Aktaş çeşidinde olduğu görülmüştür (Çizelge 4.12). Karabuğdayın 20 ppm Cd dozuna kadar tohum ağırlığı bakımından toleranslı olduğu belirlenmiştir. Çeşitlerin saksı başına tohum ağırlığı değerleri karşılaştırıldığında Aktaş çeşidinin değerinin yüksek ve istatistiki olarak önemli ($p<0.01$) olduğu tespit edilmiştir. Başka bir çalışmada da

uygulanan farklı Cd dozlarında tane ortalama ağırlıklarını önemli ölçüde olumsuz etkilendiği görülmüştür (Kaplan, 2018)

Çizelge 4.12. Karabuğday çeşitleri ile Cd dozlarına ait tohum ağırlığı değerleri (g/saksı)

Çeşit	Cd dozları (ppm)					Çeşit ort.
	0	5	10	20	40	
Güneş	0.99 ^e	4.32 ^c	3.95 ^c	6.87 ^b	2.95 ^d	3.82B
Aktaş	0.74 ^e	8.96 ^a	7.51 ^b	6.79 ^b	6.74 ^b	6.15A
Cd Doz ort.	0.86D	6.64A	5.73B	6.83A	4.85C	
Çeşit LSD= 0.24** DozTUKEY= 0.58** Çeşit*dozTUKEY= 0.95**						

Bin Tane Ağırlığı (g)

Karabuğday çeşitleri ile farklı Cd dozlarına ait bin tane ağırlığı varyans analiz tablosu Çizelge 4.13’de verilmiştir. Buna göre çalışmadaki karabuğday çeşitlerinin bin tane ağırlığı bakımından arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Cd dozlarının bin tane ağırlığına etkileri çok önemli ($p<0.01$) çeşit*Cd doz interaksyonu ise önemli ($p<0.05$) bulunmuştur.

Çizelge 4.13. Karabuğday çeşitler ile Cd dozlarına ait bin tane ağırlığı varyans analiz tablosu

VK	Sd	KT	KO	F Hesap	F Cetvel
Çeşit	1	1.303	1.303	1.574	0.219
CD Doz	4	34.103	8.525	10.303	<.0001
Çeşit*Cd Doz	4	12.371	3.092	3.737	0.013
Hata	30	24.824	0.827		
Genel	39	72.601			
CV%: 3					

Çalışmada bin tane ağırlığı bakımından en yüksek değerler Aktaş çeşidinde 0 ppm Cd dozunda 27.5 g olduğu görülmüştür. En düşük değer ise yine Aktaş çeşidinde 10 ppm Cd dozunda 23.97 g olduğu belirlenmiştir. Cd dozları artışına bağlı olarak 20 ppm’e kadar bin tane ağırlıkları azalmış ve sonrasında tekrar artış göstermiştir. Bu değişimler istatistiki olarak da çok önemli ($p<0.01$) bulunmuştur (Çizelge 4.14). Çeşitler arasında bin tane ağırlığı bakımından istatistiki açıdan önemli farklılıklar oluşmamış ancak Cd dozu ve çeşitler arasındaki interaksiyon önemli bulunmuştur. Artan Zn ve Cd dozlarına bağlı olarak bin tane ağırlığı azalma tesbit edilen çeşitlerden Aktaş çeşidinin Güneş çeşidine göre Cd dozlarına daha toleranslı olduğu (Kaplan, 2018) tarafından belirlenmiştir.

Çizelge 4.14. Karabuğday çeşitleri ile Cd dozlarına ait bin tane ağırlığı değerleri (g)

Çeşit	Cd dozları (ppm)					Çeşit ort.
	0	5	10	20	40	
Güneş	25.13 ^b	25.69 ^{ab}	23.97 ^b	24.07 ^b	24.83 ^b	24.74
Aktaş	27.59 ^a	25.03 ^b	24.04 ^b	23.63 ^b	25.21 ^b	25.10
Cd Doz ort.	26.36A	25.36AB	24.01C	23.85C	25.02BC	
Çeşit LSD= 0.57 ^{öd} DozTUKEY= 1.30** Çeşit*dozTUKEY= 2.18*						

Karabuğday çeşitlerinde kadmiyum dozlarının bitki gelişimi ve bazı elementler üzerine etkilerinin incelendiği çalışmada bakır (Cu) konsantrasyonları değerlerinin çok düşük olmasından dolayı ICP cihazı tarafından belirlenememiştir.

Araştırmada karabuğday çeşitlerinde farklı Cd dozlarının bitkideki kadmiyum konsantrasyonu varyans analiz tablosu çizelge 4.15 de verilmiştir. Çeşitler arasındaki farklılıklar hariç diğer incelenen parametreler ve aralarındaki ikili ve üçlü interaksiyonlar çok önemli ($p<0.01$) bulunmuştur.

Çizelge 4.15. Farklı Cd dozlarının karabuğday çeşitlerinde Cd konsantrasyonları varyans analiz tablosu

VK	Sd	KT	KO	F Hesap	F Cetvel
Çeşit	1	2.375	2.375	2.4191	0.122
Cd Doz	4	11110.333	2777.583	2828.744	<.0001
Çeşit* Cd Doz	4	792.308	198.077	201.725	<.0001
Kısım	3	28157.728	9385.909	9558.789	<.0001
Çeşit*Kısım	3	31.396	10.465	10.6579	<.0001
Cd Doz*Kısım	12	15630.495	1302.541	1326.533	<.0001
Çeşit*Cd Doz*Kısım	12	1439.493	119.958	122.167	<.0001
Hata	120	117.830	0.98		
Genel	159	57281.957			

Farklı Cd dozlarının karabuğday bitkisinde kadmiyum birikimine bakıldığında en yüksek Cd konsantrasyonu köklerde, 40 ppm Cd dozunda ve Güneş çeşidinde (86.29 ppm) olduğu belirlenmiştir. En düşük değerler ise her iki çeşidinde tohumlarında da birikim olmadığı görülmüştür (Çizelge 4.16). Cd dozları karşılaştırıldığında Cd konsantrasyonu en yüksek 40 ppm dozunda (24.57 ppm) en düşük değerler kontrol grubunda (0 ppm) belirlenmiştir. Bitki kısımları ile çeşitler arasındaki interaksiyon karşılaştırıldığında ise en yüksek birikimin Aktaş çeşidi köklerinde ve sonrasında Güneş çeşidi köklerinde olduğu belirlenmiştir. Çeşitlerin ortalama Cd birikimleri karşılaştırıldığında ise istatistiki olarak bir farklılık görülmemiştir.

Çizelge 4.16. Farklı Cd dozlarının karabuğday çeşitlerinde Cd konsantrasyonları (ppm)

Çeşit	Bitki kısmı	Cd dozları (ppm)					Kısım Ort.**	Çeşit Ort.ö ^d
		0	5	10	20	40		
Güneş	Kök	0 p	13.12 ı	24.15 f	37.52 e	86.29 a	32.21 b	10.77
	Gövde	0 p	0 p	0.88 p	1.90 nop	4.60 lmn	1.48 d	
	Yaprak	0 p	2.52 m-p	6.53 kl	9.22 jk	23.88 f	8.44 c	
	Tohum	0 p	0 p	0 p	0 p	0 p	0 e	
	Kök	0 p	20.31 g	40.50 d	47.80 c	80.64 b	33.85 a	
Aktaş	Gövde	0 p	0 p	1.68 op	2.50 m-p	4.03 l-o	1.64 d	10.53
	Yaprak	0 p	4.76 lm	6.68 jkl	7.41 j	17.23 h	7.61 c	
	Tohum	0 p	0 p	0 p	0 p	0 p	0 e	
Doz Ort**		0 E	5.10 D	10.51 C	13.54 B	24.57 A		

**p<0.01. öd: önemli değil

Karabuğday çeşitleri ile Cd dozları interaksyonunun Cd konsantrasyonları üzerine etkileri istatistiki olarak çok önemli ($p<0.01$) bulunmuştur. En yüksek değer 40 ppm Cd dozunda Güneş çeşidinde (28.69 ppm) ve en düşük Cd konsantrasyon değeri ise 0 ppm Cd dozunda her iki çeşitte de 0 ppm olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.17). Ye ve ark. (2022), yaptıkları çalışmada 10, 30 ve 50 ppm Cd uygulanan karabuğdayda en fazla birikim köklerde 50 ppm Cd dozunda (2991.17 mg/kg), en az birikim ise yapraklarda 10 ppm Cd dozunda (179.43 mg/kg) olduğunu görmüşler bu çalışmada ise tohumlardan sonra en az birikimin gövde de olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.17. Farklı Cd dozları ile karabuğday çeşitlerinin interaksyonun Cd konsantrasyonları**(ppm)

Çeşit	Cd dozları (ppm)				
	0	5	10	20	40
Güneş	0 h	3.92 g	7.89 e	12.16 d	28.69 a
Aktaş	0 h	6.27 f	12.21 d	14.92 c	20.48 b

**p<0.01

Yapılan çalışmadan alınan verilere göre karabuğday bitki kısımlarındaki Cd konsantrasyonları arasındaki farklılık istatistiksel olarak çok önemli ($p < 0.01$) bulunmuştur. Bitki kısımlarında Cd bakımından en fazla birikim (33.03 ppm) olarak köklerde olmuştur. Cd konsantrasyonu bakımından tohumlarda hiçbir Cd birikiminin olmadığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.18). Singh ve ark. (2012), farklı sebze türlerinde yaptıkları çalışmada en yüksek Cd birikiminin sırasıyla köklerde, yapraklarda gövde de ve enson olarak ta meyvelerde olduğunu belirtmişlerdir. Kaplan ve ark. (2018), yaptığı çalışmada 0, 10, 20 ve 30 ppm dozlarında Zn ve 0, 12.5, 25, 50 ve 100 ppm Cd uyguladığı karabuğdayda en fazla Cd birikiminin yeşil aksamda biriktiğini belirtmişlerdir.

Çizelge 4.18. Karabuğday bitki kısımlarına göre Cd konsantrasyonları**

Bitki kısmı	Cd içeriği (ppm)
Kök	33.03 A
Gövde	1.56 C
Yaprak	8.02 B
Tohum	0 D

**p<0.01

Karabuğday bitkisinde bitki kısımları ile Cd dozları arasındaki interaksyonun çok önemli ($p<0.01$) olduğu görülmüştür. Çalışmada Cd konsantrasyonu en yüksek 40 ppm Cd dozunda ve kök kısmında (73.47 ppm) olduğu; en düşük ise 0 ppm kontrol grubunda ve bütün kısımlarda aynı olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.19).

Çizelge 4.19. Farklı Cd dozları ile karabuğday bitki kısımlarının interaksyonun Cd konsantrasyonları** (ppm)

Bitki kısmı	Cd dozları (ppm)				
	0	5	10	20	40
Kök	0 k	16.72 e	32.32 c	42.66 b	73.47 a
Gövde	0 k	0 k	1.28 jk	2.20 ij	4.32 h
Yaprak	0 k	3.67 hi	6.60 g	9.31 f	20.55 d
Tohum	0 k	0 k	0 k	0 k	0 k

**p<0.01

Araştırmada Cd dozlarının karabuğday çeşitlerinde Zn konsantrasyonu varyans analiz tablosu çizelge 4.20’de verilmiştir. Çalışmada çeşit, doz, bitki kısmı ile bunların ikili ve üçlü interaksyonları Zn içeriği bakımından istatistiki olarak çok önemli ($p<0.001$) bulunmuştur.

Çizelge 4.20. Farklı Cd dozlarının karabuğday çeşitlerinde Zn konsantrasyonları varyans analiz tablosu

VK	Sd	KT	KO	F Hesap	F Cetvel
Çeşit	1	469.056	469.06	23.961	<.0001
Cd Doz	4	857.532	214.38	10.951	<.0001
Çeşit*Cd Doz	4	1673.218	418.30	21.3691	<.0001
Kısım	3	41449.006	13816.34	705.808	<.0001
Çeşit*Kısım	3	1139.913	379.97	19.410	<.0001
Cd Doz*Kısım	12	3796.236	316.35	16.160	<.0001
Çeşit*Cd Doz*Kısım	12	4418.407	368.20	18.809	<.0001
Hata	120	2349.024	19.58		
Genel	159	56152.392			

En yüksek Zn konsantrasyonu Güneş çeşidinin kök kısmında ve 0 Cd dozunda (75.43 ppm) belirlenmiştir. En düşük Zn içeriğinin ise Aktaş çeşidinin gövde kısmında. 20 ile

40 ppm Cd dozlarında (4.21 ppm) görülmüştür. Çeşitler karşılaştırıldığında Güneş çeşidinin Zn içeriği Aktaş çeşidinden daha fazla ve istatistiki olarak önemli olduğu görülmüştür. Cd dozları uygulamalarında Zn konsantrasyonu en yüksek (31.16 ppm) 5 ppm dozunda en düşük değer ise 20 ppm dozunda (24.35 ppm) olduğu belirlenmiştir. Bitki kısımları ile çeşitler arasındaki interaksiyon sonucuna göre Zn içeriğinin en çok Güneş çeşidi köklerinde ve sonrasında Aktaş çeşidi köklerinde görülmüştür (Çizelge 4.21). Saksılarda yetiştirilen buğdayda Salah ve Barrington, (2006) artan Cd ve Zn düzeylerinin bitkide Cd içerisine etkisini incelemişlerdir. Bitkilerde Zn konsantrasyonu arttıkça bitkide Cd alımının da arttığını belirlemişlerdir.

Çizelge 4.21. Farklı Cd dozlarının karabuğday çeşitlerinde Zn konsantrasyonları (ppm)

Çeşit	Bitki kısmı	Cd dozları (ppm)					Kısım Ort.**	Çeşit Ort.**
		0	5	10	20	40		
Güneş	Kök	75.43 a	61.59 b	61.98 b	57.89 bc	38.19 d-g	59.02 a	29.75 A
	Gövde	9.92 pqr	4.98 r	6.05 r	21.47 ı-p	21.26 ı-p	12.74 f	
	Yaprak	16.34 k-r	36.67 d-h	42.89 de	32.12 e-ı	29.61 f-j	31.53 c	
	Tohum	8.99 pqr	13.64 n-r	13.81 n-r	13.51 n-r	28.55 g-l	15.70 ef	
Aktaş	Kök	56.15 bc	59.53 bc	43.29 de	41.19 def	47.68 cd	49.57 b	26.32 B
	Gövde	12.81 o-r	14.16 m-r	28.22 g-l	4.16 r	4.16 r	12.70 f	
	Yaprak	25.29 h-o	32.39 e-ı	19.57 j-q	16.23 l-r	25.62 h-n	23.82 d	
	Tohum	28.72 f-k	26.35 g-m	13.66 n-r	8.22 qr	19.02 j-q	19.19 e	
Doz Ort**		29.21 AB	31.16 A	28.68AB	24.35 C	26.76 BC		

**p<0.01

Karabuğday çeşitleri ile Cd dozlarının interaksiyonun Zn konsantrasyonları üzerine etkisinin istatistiki olarak çok önemli ($p<0.01$) olduğu bulunmuştur. En yüksek değer 5 ppm Cd dozunda Aktaş çeşidinde (33.11 ppm) ve en düşük Zn konsantrasyon değeri ise 20 ppm Cd dozunda (17.45 ppm) belirlenmiştir (Çizelge 4.22). Topraklarda Zn konsantrasyonu ve bitkinin Cd alımı arasında ters orantı vardır (Rascio ve Navari-Izzo, 2011). Aktaş çeşidinin Zn konsantrasyonunun yüksek olması Güneş çeşidine göre bitkinin stres şartlarına karşı daha iyi karşı koyabildiğini göstermektedir (Kaplan, 2018).

Çizelge 4.22. Farklı Cd dozları ile karabuğday çeşitlerinin interaksiyonun Zn konsantrasyonları**(ppm)

Çeşit	Cd dozları (ppm)				
	0	5	10	20	40
Güneş	27.67 bcd	29.21 abc	31.18 abc	31.25 ab	29.43 b
Aktaş	30.74 abc	33.11 a	26.18 cd	17.45 e	24.11 d

**p<0.01

Karabuğday bitki kısımlarındaki Zn konsantrasyonları arasındaki farklılık istatistiksel olarak çok önemli ($p<0.01$) bulunmuştur. Yapılan çalışmada bitki kısımlarında en

yüksek Zn birikimi köklerde (54.29 ppm) en az Zn birikimi ise (12.72 ppm) ile gövdede biriktiği belirlenmiştir (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.23. Karabuğday bitki kısımlarına göre Zn konsantrasyonları** (ppm)

Bitki kısmı	Zn içeriği (ppm)
Kök	54.29 A
Gövde	12.72 D
Yaprak	27.67 B
Tohum	17.45 C

**p<0.01

Farklı Cd dozlarıyla karabuğday bitki kısımlarındaki interaksyonun, Zn konsantrasyonları üzerine etkileri çokönemli (p<0.01) bulunmuştur. Zn konsantrasyonunda en yüksek değer (65.79 ppm) 0 ppm Cd dozunda köklerde, en düşük değerler ise 5 ppm Cd dozunda gövde de (9.60 ppm) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.24. Farklı Cd dozları ile karabuğday bitki kısımlarının interaksyonun Zn konsantrasyonları** (ppm)

Bitki kısmı	Cd dozları (ppm)				
	0	5	10	20	40
Kök	65.79 a	60.56 ab	52.64 bc	49.54 cd	42.93 d
Gövde	11.36 kl	9.57 l	17.13 h-l	12.82 ı-l	12.71 jkl
Yaprak	20.82 ghı	34.53 e	31.23 ef	24.17 fgh	27.61 efg
Tohum	18.85 h-k	19.99 g-j	13.73 ı-l	10.86 kl	23.78 fgh

**p<0.01

Araştırmada farklı Cd dozlarının karabuğday çeşitlerinde Fe konsantrasyonları varyans analiz tablosu çizelge 4.25’de verilmiştir. Çalışmada çeşit, Cd doz, bitki kısmı ile bunların ikili ve üçlü interaksyonları istatistiki olarak çok önemli (p<0.01) bulunmuştur.

Çizelge 4.25. Farklı Cd dozlarının karabuğday çeşitlerinde Fe konsantrasyonları varyans analiz tablosu

VK	Sd	KT	KO	F Hesap	F Cetvel
Çeşit	1	8253740	8253740	361.254	<.0001
Cd Doz	4	10870133	2717533	118.942	<.0001
Çeşit* Cd Doz	4	3235080	808770	35.3987	<.0001
Kısım	3	192877371	64292457	2813.989	<.0001
Çeşit*Kısım	3	24761221	8253740	361.2545	<.0001
Cd Doz*Kısım	12	32610398	2717533	118.942	<.0001
Çeşit*Cd Doz*Kısım	12	9705239	808770	35.398	<.0001
Hata	120	2741693	22847		
Genel	159	285054875			

En yüksek Fe konsantrasyonu Güneş çeşidi, kök kısmında ve sıfır Cd dozunda 5711.6 ppm olarak belirlenmiştir. Fe bakımından en düşük içeriğin ise hem Güneş çeşidinde hem de Aktaş çeşidinde, gövde, yaprak ve tohumlarda bütün dozlarda Fe açısından birikim olmadığı tespit edilmiştir. Cd dozları uygulamalarında Fe konsantrasyonu en yüksek 1043.02 ppm ile 0 ppm dozunda en düşük değer ise 40 ppm dozunda (341.42 ppm) olduğu belirlenmiştir. Bitki kısımları ile iki çeşit arasındaki interaksiyon sonucuna göre Fe içeriğinin en fazla Güneş çeşidi köklerinde olduğu en düşük değerler ise Aktaş çeşidi köklerinde olduğu görülmüştür. Çeşitler karşılaştırıldığında Güneş çeşidinin Fe içeriği Aktaş çeşidinden daha fazla ve istatistiki olarak çok önemli bulunmuştur (Çizelge 4.26).

Çizelge 4.26 Farklı Cd dozlarının karabuğday çeşitlerinde Fe konsantrasyonları (ppm)
**

Çeşit	Bitki kısmı	Cd dozları (ppm)					Kısım Ort.**	Çeşit Ort.**
		0	5	10	20	40		
Güneş	Kök	5711.6 a	4781.6 b	2224.9 d	3077.7 c	1424.7 ef	3444.09 a	861.02
	Gövde	0 g	0 g	0 g	0 g	0 g	0 g	A
	Yaprak	0 g	0 g	0 g	0 g	0 g	0 g	
	Tohum	0 g	0 g	0 g	0 g	0 g	0 g	
Aktaş	Kök	2632.6 d	1741.3 e	1105.2 f	1349.7 ef	1306.7 f	1627.09 b	
	Gövde	0 g	0 g	0 g	0 g	0 g	0 g	406.77
	Yaprak	0 g	0 g	0 g	0 g	0 g	0 g	B
	Tohum	0 g	0 g	0 g	0 g	0 g	0 g	
Doz Ort.**		1043.02	815.35	553.42		341.42		
		A	B	C	416.26 D	D		

**p<0.01

Çalışmadaki Fe konsantrasyonları karşılaştırıldığında iki çeşit ile Cd dozları arasındaki interaksiyon çok önemli (p<0.01) bulunmuştur. En yüksek Fe konsantrasyon değeri sıfır ppm Cd dozunda Güneş çeşidinde (1427.9 ppm) ve en düşük Fe konsantrasyon değeri ise 20 ppm Cd dozunda (276.3 ppm) olarak belirlenmiştir. (Çizelge 4.27).

Çizelge 4.27. Farklı Cd dozları ile karabuğday çeşitlerinin interaksiyonun Fe konsantrasyonları** (ppm)

Çeşit	Cd dozları (ppm)				
	0	5	10	20	40
Güneş	1427.9 a	1195.4 b	556.2 de	769.4 c	356.2 f
Aktaş	658.1 cd	435.3 ef	276.3 f	337.4 f	326.7 f

**p<0.01

Karabuğday bitki kısımlarındaki Fe konsantrasyonları arasındaki farklılık istatistiksel olarak çok önemli (p <0.01) bulunmuştur. Yapılan çalışmada bitki kısımlarında en

yüksek Fe birikimi köklerde (2535.6 ppm); gövde, yaprak ve tohumlarda ise herhangi bir Fe birikimi olmadığı görülmüştür (Çizelge 4.28). Yapılan bir çalışmada Çelim (2018), fasülye bitkisine 0 ve 15 ppm dozlarında Fe ve 0, 40 ve 80 ppm dozlarında Cd uygulanmıştır. Cd dozu arttıkça bitkinin kök ve yeşil aksamında birikim olduğunu ancak kök kısmında hem Fe hem de Cd bakımından birikimin daha fazla olduğunu tespit etmiştir. Cd ve Fe konsantrasyonu bakımından ise Cd dozu arttıkça bitkideki Fe içeriğinde azalma olduğunu belirtmiştir. Ayrıca Fe dozu arttıkça bitkinin toprak üstü aksamında Cd içeriği bakımından azalma olduğunu belirlemiştir.

Çizelge 4.28. Karabuğday bitki kısımlarına göre Fe konsantrasyonları**(ppm)

Bitki kısmı	Fe konsantrasyonu (ppm)
Kök	2535.6 A
Gövde	0 B
Yaprak	0 B
Tohum	0 B

**p<0.01

Karabuğday bitkisinde bitki kısımları ile Cd dozları arasındaki interaksyonun Fe konsantrasyonları bakımından çok önemli ($p<0.01$) olduğu belirlenmiştir. En yüksek Fe değeri 0 ppm Cd dozunda ve kök kısmında (4172.09 ppm) olduğu belirlenmiştir. Ancak farklı Cd konsantrasyonlarında bitki kısımlarının gövde, yaprak ve tohum kısımlarında Fe birikimine rastlanmamıştır. (Çizelge 4.29). Cataldo ve ark. (1983), Cd'un kök hücrelerinden sürgünlere doğru taşınırken, besin elementleri ile Cd arasında rekabet olduğunu, bunun için Fe ve diğer mikro besin elementlerinin alınımının Cd taşınımına engel olduğunu bildirmiştir.

Çizelge 4.29. Farklı Cd dozları ile karabuğday bitki kısımlarının interaksyonun Fe konsantrasyonları**(ppm)

Bitki kısmı	Cd dozları (ppm)				
	0	5	10	20	40
Kök	4172.09 a	3261.42 b	1665.06 d	2213.70 c	1365.69 e
Gövde	0 f	0 f	0 f	0 f	0 f
Yaprak	0 f	0 f	0 f	0 f	0 f
Tohum	0 f	0 f	0 f	0 f	0 f

**p<0.01

Araştırmada Cd dozlarının karabuğday çeşitlerindeki Mn konsantrasyonu varyans analiz tablosu çizelge 4.30'da verilmiştir. Çalışmada çeşit, doz, kısım ve bunların interaksiyonlarının hepsinin çok önemli ($p<0.01$) olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.30. Farklı Cd dozlarının karabuğday çeşitlerinde Mn konsantrasyonları varyans analiz tablosu

VK	Sd	KT	KO	F Hesap	F Cetvel
Çeşit	1	1316.025	1316.025	483.022	<.0001
Cd Doz	4	1579.156	394.789	144.899	<.0001
Çeşit*Cd Doz	4	584.167	146.042	53.6018	<.0001
Kısım	3	19512.366	6504.122	2387.215	<.0001
Çeşit*Kısım	3	3948.075	1316.025	483.022	<.0001
Cd Doz*Kısım	12	4737.467	394.789	144.899	<.0001
Çeşit*Cd Doz*Kısım	12	1752.500	146.042	53.6018	<.0001
Hata	120	326.948	2.725		
Genel	159	33756.702			

En yüksek Mn konsantrasyonu Güneş çeşidi, kök kısmında ve 0 Cd dozunda (66.81 ppm) belirlenmiştir. Mn içeriğinin her iki çeşitte de gövde, yaprak ve tohumlarda hiç birikiminin olmadığı görülmüştür. Çeşitler karşılaştırıldığında ise Güneş çeşidinin Mn içeriği Aktaş çeşidinden daha fazla ve istatistiki olarak çok önemli bulunmuştur. Cd dozları uygulamalarında Mn konsantrasyonu en yüksek 11.40 ppm ile 0 ppm Cd dozunda en düşük değer ise 40 ppm dozunda 2.96 ppm olarak belirlenmiştir. Bitki kısımları ile çeşitler arasındaki interaksiyon sonucuna göre Mn birikimi en fazla güneş çeşidi köklerinde; En az birikim ise Aktaş çeşidinin köklerinde olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.31).

Çizelge 4.31. Farklı Cd dozlarının karabuğday çeşitlerinde Mn konsantrasyonları (ppm)

Çeşit	Bitki kısmı	Cd dozları					Kısım Ort.**	Çeşit Ort.**
		0	5	10	20	40		
Güneş	Kök	66.81 a	51.96 b	21.65 d	32.52 c	11.90 ef	36.97 a	9.24 A
	Gövde	0 g	0 g	0 g	0 g	0 g	0 c	
	Yaprak	0 g	0 g	0 g	0 g	0 g	0 c	
	Tohum	0 g	0 g	0 g	0 g	0 g	0 c	
Aktaş	Kök	24.38 d	15.68 e	8.08 f	10.18 f	11.83 ef	14.03 b	3.50 B
	Gövde	0 g	0 g	0 g	0 g	0 g	0 c	
	Yaprak	0 g	0 g	0 g	0 g	0 g	0 c	
	Tohum	0 g	0 g	0 g	0 g	0 g	0 c	
Doz Ort**		11.40 A	8.45 B	3.71 D	5.33 C	2.96 D		

** $p<0.01$

Çalışmada Cd dozları ile çeşitler arasındaki interaksyonda Mn konsantrasyonu istatistiksel olarak çok önemli ($p<0.01$) bulunmuştur. En yüksek değer 0 ppm Cd dozunda Aktaş çeşidinde (16.70 ppm) ve en düşük Mn konsantrasyon değeri ise 10 ppm Cd dozunda 2.01 ppm olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.32).

Çizelge 4.32. Farklı Cd dozları ile karabuğday çeşitlerinin interaksyonun Mn konsantrasyonları** (ppm)

Çeşit	Cd dozları (ppm)				
	0	5	10	20	40
Güneş	16.70 a	12.99 b	5.41 de	8.13 c	2.97 fg
Aktaş	6.09 d	3.92 ef	2.01 g	2.24 fg	2.95 fg

** $p<0.01$

Karabuğday bitki kısımlarındaki Mn konsantrasyonları arasındaki farklılık istatistiksel olarak çok önemli ($p < 0.01$) bulunmuştur. Yapılan çalışmada bitki kısımlarında en yüksek Mn birikimi köklerde (25.50 ppm) görülmüştür. Fakat karabuğday bitkisinin gövde, yaprak ve tohumlarında Mn konsantrasyonu bakımından hiçbir birikim olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.33). Fasülye bitkisine 0 ve 15 ppm dozlarında Fe ile 0, 40 ve 80 ppm dozlarında Cd uygulanmıştır. Fe dozu 0 ppm olduğunda artan Cd dozları Mn içeriği bakımından azalmalara neden olmuştur (Çelim, 2018). Özkutlu ve Burkan (2023), maltlık arpa çeşitlerine 5 ve 10 ppm Cd dozları ile 0 ve 3000 ppm NaCl dozları uygulamıştır. Çalışma sonucunda 0 ppm NaCl dozunda, 5 ve 10 ppm Cd dozları maltlık arpa çeşitlerinin Mn konsantrasyonunu azalttığını tespit etmişlerdir.

Çizelge 4.33. Karabuğday bitki kısımlarına göre Mn konsantrasyonları**(ppm)

Bitki kısmı	Mn içeriği
Kök	25.50 A
Gövde	0 B
Yaprak	0 B
Tohum	0 B

** $p<0.01$

Karabuğday bitki kısımlarındaki ile Cd dozları arasındaki interaksyonun ise çok önemli ($p<0.01$) olduğu belirlenmiştir. En yüksek Mn değeri 0 ppm Cd dozunda köklerde (45.60 ppm) belirlenirken bitkinin gövde, yaprak ve tohumlarında bütün dozlarda Mn'a rastlanmamıştır (Çizelge 4.34).

Çizelge 4.34. Farklı Cd dozları ile karabuğday bitki kısımlarının interaksyonun Mn konsantrasyonları**(ppm)

Bitki kısmı	Cd dozları (ppm)				
	0	5	10	20	40
Kök	45.60 a	33.82 b	14.85 d	21.35 c	11.86 d
Gövde	0 e	0 e	0 e	0 e	0 e
Yaprak	0 e	0 e	0 e	0 e	0 e
Tohum	0 e	0 e	0 e	0 e	0 e

** $p<0.01$

5. SONUÇ

Araştırma karabuğday çeşitlerinde farklı kadmiyum dozlarının bitkinin gelişimi, bitkisel özellikleri, verim ve bazı elementel içerikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi için yürütülmüştür. Artan Cd dozlarına bağlı olarak bitkilerin gelişimlerinde çok büyük olumsuzluklar görülmemiştir. Ancak 20 ppm Cd dozundan sonraki uygulamada bitki gelişimlerinin olumsuz etkilendiği görülmüştür. Bitkinin kullanılan kısmında yani tohumlarında Cd birikimine rastlanmamıştır. Özellikle tanelerinde birikimin olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan araştırma hedefine ulaşmıştır. Çalışma sonucunda Cd bulaşıklı arazilerde karabuğday bitkisinin yetiştirilebileceği özellikle 20 ppm ve biraz üstü değerlerde kirli topraklarda toksite olmayacağı görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

- Acar, Ö., 2019. Karabuğday çeşitlerinde farklı ekim zamanlarının verim ve verim öğeleri üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Ankara.
- Acar, R., Güneş, A., Gummadov, N., Topal, İ., 2011. Farklı bitki sıklıklarının karabuğdayda (*Fagopyrum esculentum Meonch.*) verim ve bazı verim unsurlarına etkisi. Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 25(3): 47-51.
- Ackova, D.G., 2018. Heavy metals and their general toxicity on plants. Plant Science Today, 5: 15-19.
- Akgüç, N., Özyiğit, İ.İ., Yarcı, C., 2008. *Pyracantha coccinea* Roem. (*Rosaceae*) as a biomonitor for Cd, Pb and Zn in Mugla province (Turkey). Pakistan J. of Botany, 40(3):1767-1776.
- Alkay, R., Ökten, K., 2020a. Karabuğday'ın (*Fagopyrum esculentum Moench*) önemi ve kullanım alanları. Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Bingöl/Türkiye.
- Alkay, R., Ökten, K., 2020b. Bingöl koşullarında karabuğday çeşitlerinde ekim zamanının ot verimi ve kalitesi üzerine etkileri. (Yüksek Lisans Tazi) Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Bingöl/Türkiye
- Almuwayhi, M. A., 2022. Effect of cadmium on the molecular and morpho-physiological traits of *Pisum sativum* L. Biotechnology & Biotechnological Equipment, 35(1), 1374-1384.
- Anonim, 2017. Çölyak ve görülme sıklığı, (<https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/metabolizma-ve-colyak/>)
- Anonim, 2019. FAO. Statistical databases. www.fao.org
- Asri, F.Ö., Sönmez. S., 2006 Ağır metal toksisitesinin bitki metabolizması üzerine etkileri. Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, Antalya.
- Awual, M.R., Khraisheh, M., Alharthi, N.H., Luqman, M., Islam, A., Karim, M. R., Khaleque, M.A., 2018. Efficient detection and adsorption of cadmium (II) ions using innovative nano-composite materials. Chemical Engineering Journal, 343, 118-127.
- Aydın. S. 2022. Çemişgezek Meslek Yüksekokulu, Munzur Üniversitesi, Tunceli, TÜRKİYE, ORCID ID: 0000-0001-8597-8064
- Aygün, Y. Z., Atış, İ., & Ertekin, İ. (2022). Kadmiyum (CdCl₂) stresi altında farklı kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotiplerinin çimlenme ve ilk fide gelişimi. Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 27(1), 1-8. <https://doi.org/10.37908/mkutbd.1006493>
- Batool, Z., Agha, F., Ahmad, S., Liaquat, L., Tabassum, S., Khaliq, S., ... & Haider, S. (2017). De 30(1), 273-279.
- Bayazıt, A., Gürbüz, G. B. Karadeniz Tahıl Koridoru Anlaşmasının Uluslararası Ticaret Açısından Değerlendirilmesi (2023). Akademik Tarih ve Düşünce Dergisi, 10 (6) 2215-2235.
- Bergman, W., 1992. Nutritional Disorders of Plants-Development, Visual ve Analytical Diagnosis. Fischer Verlag. Jena.
- Biçer, A., Özyazıcı, G., 2020 İkinci ürün olarak yetiştirilen Karabuğday (*Fagopyrum esculentum moench.*)'da verim kompost dozlarının verim ve bazı kalite özelliklerine etkisi. Siirt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü/Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Siirt/Türkiye.
- Bilgiçli, N. 2008. Utilization of buckwheat flour in gluten-free egg noodle production. Journal of FoodAgriculture and Environment, Vol. 6: 113-115.

- Cataldo, D. A., Garland, T. R., Wildung, R. E., 1983. Cadmium uptake kinetics in intact soybean plants. *Plant Physiol*, 73: 844–848.
- Cınırtoğlu Ş., Kuvancı A., Konak F., Demirkol G. 2016 Karabuğday (*Fagopyrum esculentum* M.) ve Fazelya (*Phacelia tanacetifolia* b.) bitkileri arasında bal arısı tercihinin araştırılması. Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi/Tarla Bitkileri Bölümü, Ordu.
- Çelim, 2018. Farklı Demir Formlarının Kadmiyum Bulaştırılmış Yetiştirme Ortamında Fasulye (*Phaseolus Vulgaris* L. Var. Nana) Bitkisinin Gelişimine, Besin Elementi Ve Kadmiyum Alımına Etkileri. (Yüksek Lisans Tazi). TC. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi Ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı. Van.
- Christa, K. ve M. Smietana. 2008. Buckwheat grains and buckwheat products – nutritional and prophylactic value of their components– a review. *Czech Journal Food Science*, Vol. 26: 153162.
- Çiftçi, H., G. Akbulut, E. Yıldız ve S. Mercanlğıl. 2008. Kan Şekerini Etkileyen Besinler. Hacettepe Üniversitesi- Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü Sağlık Bakanlığı Yayınları:727,12, Ankara.
- Davis, R.D., ve Calton-Smith, C., 1980. Crops as Indicators of the Significance of Contamination of Soil by Heavy Metals, WRC, Stevenage TR140.
- Dizlek, H., M. Özer, E. İnanç, H. Gül., 2009. Karabuğday'ın bileşimi ve gıda sanayiinde kullanım olanakları. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Adana - Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği. Bölümü, Isparta.
- Doğru, A., Altundağ, H., Dünder, M.Ş., 2021. Bitkilerde ağır metal hiperakümüasyonu ve fitoremediasyon. Sakarya Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi. Biyoloji Bölümü, Esentepe Kampüsü, Sakarya. Sakarya Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Esentepe Kampüsü, Sakarya.
- Domanska, J., Leszczynska, D., Badora, A., 2021. The Possibilities of using common buckwheat in phytoremediation of mineral and organic soils contaminated with Cd or Pb. *Agriculture*, 11, 562.
- Du, D., Xiong, H., Xu, C., Zeng, W., Li, J., Dong, G., 2023. Nutrient metabolism pathways analysis and key candidate genes identification corresponding to cadmium stress in buckwheat through multiomics analysis. *Genes*, 14, 1462.
- Erbaş M., S. Gül ve H. Şekerci. 2008. Fonksiyonel gıda bileşeni olarak diyetel antioksidanlar. Türkiye 10. Gıda Kongresi. Bildiriler: 1053- 1056. 21-23 Mayıs 2008, Erzurum.
- Erdem, H., Tosun, Y.K. ve Öztürk, M., 2012a. Effect of cadmium zinc interactions on growth ve Cd-Zn concentration in durum ve bread wheats. *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol. 21(5): 1046-1051.
- Erdem, H., Kınay, A., Ozturk, M., ve Tutus, Y. 2012b. Effect of cadmium stress on growth ve mineral composition of two tobacco cultivars. *Journal of Food, Agriculture ve Environment*, 10(1), 965-969.
- FAOSTAT, 2018, (Statistics division of food and agriculture organization of the united nations).
- Franzaring, J., Damsohn, W., Fangmeier, A., Schlosser, S., Kurz, H., Büttner, P., 2018. Phytotoxicity of tin mine waste and accumulation of involved heavy metals in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench)", *International Journal of Phytoremediation*, 20(5): 462–470.

- Ghori, N.H., Ghori, T., Hayat, M.Q., Imadi, S.R., Gul, A., Altay, V., Ozturk, M., 2019. Heavy metal stress and responses in plants. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(3):1807-1828.
- Grant A C, Sheppard C S,. 2018 Fertilizer impacts on cadmium availability in agricultural soils and crops agriculture and agri-food Canada. Brandon Research Centre, Brandon, Canada ECOMatters, Pinawa, Canada.
- Güzelsarı, U., Kan, Y., 2016. Karaman ekolojik şartlarında ikinci ürün olarak yetiştirilen karabuğdayın (*Fagopyrum esculentum Moench*) agronomik ve kalite özelliklerinin araştırılması. Sarayönü Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü/ Konya Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Konya.
- Haider, F.U., Liqun, C., Coulter, J.A., Cheema, S.A., Wu, J., Zhang, R., Wenjun, M., Farooq, M., 2021. Cadmium toxicity in plants: Impacts and remediation strategies. *Ecotoxicology & Environmental Safety*, 211, 111887.
- Hakeem, Khalid Rehman, Hesham F. Alharby, and Tanveer Bilal Pirzadah. "Exogenously applied calcium regulates antioxidative system and reduces cadmium-uptake in *Fagopyrum esculentum*." *Plant Physiology and Biochemistry* 180 (2022): 17-26.
- Hayıt, F., Gül, H., 2015. Karabuğdayın Sağlık Açısından Önemi ve Unlu Mamüllerde Kullanımı. Bozok Üniversitesi, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 29(1):123-131.
- Horbowicz, M., Dębski, H., Wiczowski, M., Szawara-Nowak, D., Koczkodaj, D., Mitrus, J., Sytykiewicz, H., 2013. The impact of short-term exposure to pb and cd on flavonoid composition and seedling growth of common buckwheat cultivars. *Pol. J. Environ. Stud.*, 22(6):1723-1730.
- Hutton, L.J., Sweet, I.P., 1982. Geological evolution, tectonic style and economic potential of the Lawn Hill Platform cover. Northwest Queensland: BMR Journal of Australian Geology and Geophysics, 7:125-134.
- Ishchenko, V.A., 2018. Environment contamination with heavy metals contained in waste. *Environmental Problems*. 3(1):21-24.
- Işık, Y. C., Erdoğan, S. (2001). İşyerinde kimyasallar. *Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi*, 2(8): 33-39.
- Jaiswal, S., Dey, R., & Bag, A.(2022). Effect of Heavy Metal Cadmium on Cell Proliferation and Chromosomal Integrity in *Allium cepa*. *National Academy science letters*, 45, 35–37.
- JECFA. 2004. Food ve Agriculture Organization ve World Health Organization (FAO/WHO). Safety evaluation of certain food additives ve contaminants. 61st meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, WHO Food Additives Series 52. International Programme on Chemical Safety, World Health Organization, Geneva, Switzerland
- Jomova, K., & Valko, M. (2011). Advances in metal-induced oxidative stress and human disease. *Toxicology*, 283(2-3), 65-87.
- Kacar B, İnal, A., 2008. Bitki Analizleri. Nobel Yayınları, Ankara.
- Kalınbacak, K., Yurdakul, İ. & Gedikoğlu, İ. (2012). Determination of toxicity limits of cadmium for wheat and comparison of some extraction methods. *Toprak Su Dergisi*, 1(1), 28-37.
- Kan, A. 2011. Konya ekolojik koşullarında yetiştirilen karabuğdayın bazı kalite özelliklerinin araştırılması. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 25:67-71.
- Kan, A., Celik, S.A., Ayrar, I., Coksari, G. (2018). Investigation of routine contents of buckwheat (*Fagopyrum esculentum Moench*) cultivated in Turkey. *Int. J. Agric. Environ. Food Sc.*, 2 (Special Issue 1), 196-198. DOI: 10.31015/jaefs.18035

- Kaplan, N., 2018. Kadmiyum çinko interaksiyonunun karabuğdayın (*Fagopyrum esculentum*) gelişimi ve metabolizmasına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Konya.
- Kara, N., Yüksel O., 2014. Karabuğdayı hayvan yemi olarak kullanabilir miyiz? Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 1: 295-300.
- Karaoğlu T., 2022. Karabuğdayın; buğday, aspir ve nohut üzerine allelopatik etkisinin araştırılması. Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Tarla Bitkileri Anabilim Dalı. Ankara.
- Kavulych, Y.; Kobyletska, M.; Terek, O. Investigation of salicylic acid-induced change on flavonoids production under cadmium toxicity in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) plants. EUREKA: Life Sciences 2019, 5, 13-18, <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2019.00986>.
- Koç, H., 2013. Peyzaj alanlarında ayçiçeği, aspir ve karabuğday bitkilerinin kullanılabilirliği. V. Süs bitkileri kongresi. 6 Mayıs, 2013.
- Köleli, N ve Kantar, Ç., 2005. Fosfat Kayası, Fosforik Asit ve Fosforlu Gübrelerdeki Toksik Ağır Metal (Cd, Pb, Ni, As) Konsantrasyonu. Ekoloji Dergisi, 14(55).
- Leblebici, S., 2019. Karabuğday bitkisinin (*Fagopyrum esculentum* Moench.) bazı ekofizyolojik özellikleri üzerine kadmiyum ve nikel'in etkisi. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(3):1356-1369.
- Li, Z. ve Q. H. Zhang. 2001. Advances in the development of functional foods from buckwheat. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, Vol. 41: 451-464.
- Liu S., Alı S., Yang R., Tao O R. and Ren B., 2019. A newly discovered Cd-hyperaccumulator *Lantana camara* L., Journal of Hazardous Materials 371(2019) 233–242. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.03.016>.
- Mitrus J., Horbowicz M. 2020. Impact of short-term exposure to lead and cadmium of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) seedlings grown in hydroponic culture. J. Elem., 25(2): 633-644. DOI: 10.5601/jelem.2019.24.4.1908
- Muradoğlu F, Baytın R, Başak İ, Akkuş G. Kadmiyum Stresi Altındaki Çilek (*Fragaria x ananassa* “Camarosa”) Bitkisinde Metil Jasmonat Uygulamalarının Bazı Büyüme Parametreleri Üzerine Etkileri. Iğdır Üniv. Fen Bil Enst. Der. Haziran 2020;10(2):714-722. doi:10.21597/jist.651203
- Nagajyoti, P.C., Lee, K.D., Sreekanth, T.V.M., 2010. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants a review. Environmental Chemistry Letters, 8(3):199-216.
- Osma, E., Aksoy, A., Leblebici, Z., 2012. Spreading pellitory (*Parietaria Judaica* L.): a possible biomonitor of heavy metal pollution. Pak. J. Bot., 44: 123-127.
- Özkutlu, F. & Burkan, O. (2023). Kadmiyum ile Tuz Stresinin Bazı Maltlık Arpa Çeşitlerinde Kadmiyum Birikimi ve Mineral Besin Maddeleri Üzerine Etkisi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 12(2), 251-258.
- Özyigit, A., Genc, B.N., 2020. Cadmium in plants, humans and the environment. Frontiers in Life Sciences and Related Technologies, 1(1):12-21.
- Özyigit, I. I., Dogan, I., Karadeniz, S., Severoglu, Z., Demir, G., Yalcin, I. E., & Yarci, C., 2021. Mineral nutrient compositions of field-grown weed and maize (*Zea mays* L.) plants in terms of competition. Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 58(1): 115-123.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M ve Kaptan, H., 1995. Toprak Bilimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fak. Genel Yayın No: 73 Ders Kitapları Yayın No:16, Adana.

- Peng, L., S. Wang, L.Zou, J. Zhao ve G. Zhao. 2012. HPLC fingerprint of buckwheat from different habitats and varieties. *Phcog Journal*, Vol. 31: 5-10.
- Rascio, N., Navari-Izzo, F., 2011. Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting?. *Plant Science*, 180:169-181.
- Salah, S.A., Barrington, S.F., 2006. Effect of soil fertility and transpiration rate on young wheat plants (*Triticum aestivum*). *Science Direct Agricultural Water Management* 82: 177-192.
- Sedej, Q., M. Sakac, A. Mandic, A. Misan, M. Pestoric, O. Simurina ve C. Brunet. 2011. Quality assessment of gluten-free crackers based on buckwheat flour. *LWT – Food Science and Technology*, Vol. 44: 694-699.
- Seven, T., Can, B., Darende, B. N., Ocak, S., 2018. Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, Derleme Makale, Sayı 1, 2:91-103,.
- Sevgi, K., Leblebici, S., 2022. Bitkilerde ağır metal stresine verilen fizyolojik ve moleküler yanıtlar. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, 7(4):528-536.
- Shaari, N.E.M., Tajudin, M.T.F.M., Khandaker, M.M., Majrashi, A., Alenazi, M.M., Abdullahi, U.A., Mohd, K.S., 2022. Cadmium toxicity symptoms and uptake mechanism in plants: a review. *Brazilian Journal of Biology*, 84, 1-17.
- Singh, S., Zacharias, M., Kalpana, S., Mishra, S., 2012. Heavy metals accumulation and distribution pattern in different vegetable crops. Division of Environmental Sciences, Insian Agricultural Research Institute, New Delhi 110012, India. *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 4 (4): 75-81.
- Skrabanja, V., H. Laerke ve I. Kreft. 1998. Effects of hydrothermal processing of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) groats on starch enzymatic availability in vitro and in vivo in rats. *Journal of Cereal Science* Vol. 28: 209–214.
- Skrabanja V., H. Elmstahl, I. Kreft ve I.Bjorck. 2001. Nutritional properties of starch in buckwheat products studies in vitro and in vivo. *J Agr Food Chem*, Vol. 49: 490-496.
- Steadman, K., Burgoon, M., Lewis, B., Edwardson, S. 2001. Minerals, phytic acid, tannin and rutin in buckwheat seed milling fractions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81:1094-1100.
- Stolt J.P., Sneller F.E.C., Bryngelsson T., Lundborg T., Schat H., 2003. Phytochelatin ve Cadmium Accumulation in Wheat. *Environmental ve Experimental Botany*, 49:21-28.
- 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.
- Tunçtürk, R., Tunçtürk, M., & Nohutçu, L. (2020). Ağır Metal Stresi (Cd) Altında Yetiştirilen *Trigonella foenum-graecum* L. Bitkisinin Bazı Büyüme ve Fizyolojik Parametrelerinin İncelenmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8(2), 455-464. <https://doi.org/10.33202/comuagri.741782>
- Türksoy, S. ve Özkaya, B., 2006. Gluten ve Çölyak Hastalığı, Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Gıda Müh. Bölümü, Ankara.

- Vigneri, R., Malandrino, P., Giani, F., Russo, M., Vigneri, P. 2017. Heavy metals in the volcanic environment and thyroid cancer. *Molecular and Cellular Endocrinology*. 4(57):73-80.
- Wang, H., He, L., Song, J., Cui, W., Zhang, Y., Jia, C., Hui, X., 2016. Cadmium-induced genomic instability in Arabidopsis: molecular toxicological biomarkers for early diagnosis of cadmium stress. *Chemosphere*, 150, 258-265.
- Wang, B., & Du, Y., 2013. Cadmium and its neurotoxic effects. *Oxidativemedicine and cellular longevity*, 2013.
- Watanabe, M., Ohshita, Y., & Tsushida, T. 1997. Antioxidant compounds from buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Möench) hulls. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45: 1039-1044.
- Yağmur, B., Hakerlerler, H ve Kılınç, R., 2003. Gübreler ve İnsan Sağlığı. *Çiftçi Dergisi* sayı:2
- Yavuz, H., Yiğit, A., Ereku, O., 2016. Farklı ekim sıklıklarının karabuğday'da (*Fagopyrum Esculentum Moench.*) verim ve bazı tane kalitesi özelliklerine etkisi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(2):17 – 22.
- Yazıcı, D., Korkmaz, K., 2020. Karabuğday bitkisinde bor alınımlı ve toksitesi üzerine potasyum uygulamalarının etkisi. *Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ordu. Akademik Ziraat Dergisi* 9(1): 151-162 (2020) ISSN: 2147-6403 e-ISSN: 2618-5881 DOI: <http://dx.doi.org/10.29278/azd.723988>
- Ye X, Li Q, Liu C, Wu Q, Wan Y, Wu X, Zhao G, Zou L and Xiang D (2022) Transcriptomic, cytological, and physiological analyses reveal the potential regulatory mechanism in Tartary buckwheat under cadmium stress. *Front. Plant Sci.*13:1004802. doi: 10.3389/fpls.2022.1004802
- Yılmaz, N., Özyigit, I. I., Demir, H., Yalcin, I.E., 2021. Assessment on phytoplankton composition and heavy metal pollution in a drinking water resource: Lake Terkos (Istanbul, Turkey). *Desalination and Water Treatment*, 225: 265-274.
- Yılmaz, H. Ş., & Kökten, K. (2019). Kadmiyum (Cd) Uygulamasının Tane Sorgumda (*Sorghum bicolor* L.) Bazı Morfolojik Özellikler Üzerine Etkisinin Belirlenmesi. *Türk Tarım Ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(3), 447-456. <https://doi.org/10.30910/turkjans.595347>
- Yli-Pirilä, T., Huttunen, K., Nevalainen, A., Seuri, M., Hirvonen, M.R., 2007. Effects of co-culture of amoebae with indoor microbes on their cytotoxic and proinflammatory potential. *Environmental Toxicology: An International Journal*, 22(4):357-367.
- Yost, K.J. and Miles, L.J. 1979. *Journal of Environmental Science and Health A*. 14: 285-311.
- Yücel U.M. 2022. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Farmakoloji ve Toksikoloji Anabilim Dalı, Van, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8256-7868



Şekil 1. Cd Çözeltisinin Hazırlanması



Şekil 2. Cd Çözeltinin toprağa uygulanması



Şekil 3. Cd çözeltisinin toprakla karıştırılması



Şekil 4. Karabuğdayda ilk çıkış gözlemi



Şekil 5. Karabuğday çiçeklenme dönemi



Şekil 6. Karabuğday çiçeklenme dönemi



Şekil 7. Karabuğday gözlemler alınması



Şekil 8. Karabuğday kısımlarının ayrıştırılması



Şekil 9. Karabuğday olgunlaşma dönemi



Şekil 10. Karabuğday tohum hasat Dönemi



Şekil 11. Karabuğday hasat ve ölçümler



Şekil 12. Karabuğday kısım ölçümleri



Şekil 13. Nemden arındırma (kurutma)



Şekil 14. Karabuğday kısımlarının agar değirmeninde öğütülmesi.