



T. C.

ORDU ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TUZLU KOŞULLARDA BENTONİT UYGULAMASININ
MAKARNALIK VE EKMEKLİK BUĞDAYLARIN
KADMIYUM ALIMINA ETKİSİ**

FATMA DİLAY AHA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

ORDU 2023

TEZ BİLDİRİMİ

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan ve kullanılan intihal tespit programının sonuçlarına göre; bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Fatma Dilay AHA

Bu çalışma Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün 2118 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

TUZLU KOŞULLARDA BENTONİT UYGULAMASININ MAKARNALIK VE EKMEKLİK BUĞDAYLARIN KADMIYUM ALIMINA ETKİSİ

FATMA DİLAY AHA

ORDU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ, 50 SAYFA

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. FARUK ÖZKUTLU)

Kadmiyum toprakta düşük miktarda bile olsa buğdaya taşınabilme ve kolaylıkla birikebilmesi sonucunda besin zincirine dahil olmaktadır. Sera koşullarında saksı denemesi olarak tuzlu koşullarda (4000 ppm NaCl), Cd (0, 2 mg kg⁻¹ toprak) dozlarına bentonit (%0, %5, %10 ve %20 toprak) dozları uygulanarak ekmeklik (Vittorio) ile makarnalık (Cesare) buğday çeşitleri yetiştirilmiştir. Bu çalışmada, tuzlu koşullarda bentonit uygulamasının ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitlerinde kuru madde verimi, kadmiyum (Cd) alımı ve mineral besin elementleri üzerine olan etkisi araştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, tuzlu koşullarda ve Cd dozlarında artan dozlarda bentonit uygulamaları sonucunda ekmeklik ve makarnalık buğdayların kuru madde ağırlığının arttığı belirlenmiştir. Ekmeklik buğdayların makarnalık buğdaylara göre daha fazla kuru madde ürettiği saptanmıştır. Hem ekmeklik hem de makarnalık buğdayda kontrole göre en fazla kuru madde artışı %20 bentonit uygulamasından elde edilmiştir. Kontrol uygulamasına göre en fazla Cd konsantrasyonu %5 bentonit uygulamasından elde edilmiştir. Ayrıca makarnalık buğdayın ekmeklik buğdaya göre daha fazla Cd biriktirdiği saptanmıştır.

Tuzlu koşullarda artan bentonit uygulamalarıyla beraber hem ekmeklik hem de makarnalık buğday çeşitlerinde kontrole göre yeşil aksam fosfor ve demir konsantrasyonlarında artışlar meydana gelirken kalsiyum, sodyum ve mangan konsantrasyonlarında ise azalmalar meydana gelmiştir.

Cd ile kirlenmiş alanlarda bentonit uygulamalarının buğday çeşitlerinde bitki gelişimini arttırmanın yanısıra bitkinin Cd alımını azaltmadaki etkinliği nedeniyle uygulanması önerilebilir.

Anahtar Kelimeler: Bentonit, Buğday, Kadmiyum, NaCl

ABSTRACT

THE EFFECT OF BENTONITE APPLICATION IN SALT CONDITIONS ON CADMIUM UPTAKE OF DURUM AND BREAD WHEATS

FATMA DİLAY AHA

ORDU UNIVERSITY INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED
SCIENCES

SOIL SCIENCE AND PLANT NUTRITION

MASTER THESIS, 50 PAGES

(SUPERVISOR: PROF. DR. FARUK ÖZKUTLU)

Cadmium is included in the food chain as a result of its ability to be transported to wheat and easily accumulated in the soil, even in small amounts. As a pot experiment in greenhouse conditions, bentonite (0, 5%, 10% and 20% soil) doses were applied in saline conditions (4000 ppm NaCl), Cd (0.2 mg kg⁻¹ soil) doses, and bread (Vittorio) and durum (Cesare) wheat cultivars were grown. In this study, the effect of bentonite application in salty conditions on dry matter yield, cadmium (Cd) uptake and mineral nutrients in bread and durum wheat varieties was investigated.

According to the results, it was determined that the dry matter weight of bread and durum wheats increased as a result of increasing doses of bentonite in salty conditions and Cd doses. It was determined that bread wheat produced more dry matter than durum wheat. In both bread and durum wheat, the highest dry matter increase was obtained from 20% bentonite application compared to the control. Compared to the control application, the highest Cd concentration was obtained from the 5% bentonite application. In addition, it was determined that durum wheat accumulates more Cd than bread wheat.

With increasing bentonite applications in salty conditions, green parts phosphorus and iron concentrations increased, while calcium, sodium and manganese concentrations decreased in both bread and durum wheat varieties compared to the control.

Bentonite applications in Cd-contaminated areas can be recommended due to its effectiveness in reducing plant Cd uptake as well as increasing plant growth in wheat cultivars.

Keywords: Bentonite, Wheat, Cadmium, NaCl

TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesi, çalışmanın yürütülmesi, yazımı esnasında; bilgi birikimi, sabrı ve anlayışıyla bana toprak ve bitki bilimi konusunda yeni bir bakış açısı kazandıran başta danışman hocam Sayın Prof. Dr. Faruk ÖZKUTLU'ya teşekkür ederim. Denemenin kurulması, analiz süreçlerinin tamamlanması, tez yazımı gibi süreçlerde sabırla yol göstererek manevi desteklerini esirgemeyen çalışmamdaki başarıma büyük katkısı olan Sayın Arş. Gör. Özlem Ete Aydemir'e ve Arş. Gör. Dr. Mehmet Akgün'e teşekkür ederim.

Aynı zamanda, maddi ve manevi desteklerini üzerimde hissettiğim canım babam Ali TASMACIOĞLU'na, canım annem Gülbahar TASMACIOĞLU'na ve aldığım kararlarda daima yanımda olan ve desteğini esirgemeyen canım eşim İzzet AHA'ya da teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEZ BİLDİRİMİ	I
ÖZET	II
ABSTRACT	III
TEŞEKKÜR	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİL LİSTESİ	VI
ÇİZELGE LİSTESİ	VII
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	VIII
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1 Bentonit.....	4
2.2 Kadmiyum.....	5
2.3 Tuz	9
2.4 Kadmiyum, Tuz ve Bentonit ile İlgili Çalışmalar	10
3. MATERYAL ve YÖNTEM	15
3.1 Materyal	15
3.1.1 Toprak Materyali.....	15
3.1.2 Bitki Materyali	15
3.1.3 Bentonit Materyali	15
3.2 Yöntem.....	16
3.2.1 Toprak Örneklerine Yapılan Analizler.....	16
3.2.2 Saksı Denemesinin Yürütülmesi	17
3.2.3 Bitki Örneklerinde Yapılan Analizler	18
3.2.4 Verilerin Değerlendirmesi.....	18
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	19
4.1 Yeşil Aksam Kuru Madde Verimi	19
4.2 Yeşil Aksam Kadmiyum (Cd) Konsantrasyonu.....	23
4.3 Yeşil Aksam Fosfor (P) Konsantrasyonu.....	26
4.4 Yeşil Aksam Potasyum (K) Konsantrasyonu.....	27
4.5 Yeşil Aksam Kalsiyum (Ca) Konsantrasyonu	28
4.6 Yeşil Aksam Magnezyum (Mg) Konsantrasyonu.....	29
4.7 Yeşil Aksam Kükürt (S) Konsantrasyonu.....	30
4.8 Yeşil Aksam Sodyum (Na) Konsantrasyonu	31
4.9 Yeşil Aksam Demir (Fe) Konsantrasyonu	32
4.10 Yeşil Aksam Bakır (Cu) Konsantrasyonu.....	33
4.11 Yeşil Aksam Çinko (Zn) Konsantrasyonu	34
4.12 Yeşil Aksam Mangan (Mn) Konsantrasyonu.....	36
4.13 Yeşil Aksam Bor (B) Konsantrasyonu.....	37
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	39
6. KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	50

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

- Şekil 4.1** Tuzlu Koşullarda Ekmeklik Buğdayın Bentonit ve Cd Uygulamalarında Ortalama Kuru Madde Miktarı Üzerine Etkisi (mg bitki^{-1})..... 20
- Şekil 4.2** Tuzlu Koşullarda Cd0 ve Bentonitin %0, %5, %10, %20 Uygulamaları Altında Yetiştirilen Ekmeklik Buğdayın Kuru Madde Miktarı 20
- Şekil 4.3** Tuzlu Koşullarda Cd2 ve Bentonitin %0, %5, %10, %20 Uygulamaları Altında Yetiştirilen Ekmeklik Buğdayın Kuru Madde Miktarı 21
- Şekil 4.4** Tuzlu Koşullarda Makarnalık Buğdayın Bentonit ve Cd Uygulamalarında Ortalama Kuru Madde Miktarı Üzerine Etkisi (mg bitki^{-1})..... 22
- Şekil 4.5** Tuzlu Koşullarda Cd0 ve Bentonitin %0, %5, %10, %20 Uygulamaları Altında Yetiştirilen Makarnalık Buğdayın Kuru Madde Miktarı..... 22
- Şekil 4.6** Tuzlu Koşullarda Cd2 ve Bentonitin %0, %5, %10, %20 Uygulamaları Altında Yetiştirilen Makarnalık Buğdayın Kuru Madde Miktarı..... 22
- Şekil 4.7** Tuzlu Koşullarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik Buğdayda Yeşil Aksam Cd Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (mg kg^{-1})..... 25
- Şekil 4.8** Tuzlu Koşullarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Cd Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (mg bitki^{-1}) 25

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Denemede Kullanılan Toprağın Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	15
Çizelge 3.2 Denemede Kullanılan Bentonitin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	16
Çizelge 4.1 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Kuru Madde Ağırlığı Üzerine Etkisi	19
Çizelge 4.2 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Kadmiyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi	24
Çizelge 4.3 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Fosfor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi	26
Çizelge 4.4 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Potasyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi	27
Çizelge 4.5 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Kalsiyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi	28
Çizelge 4.6 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Magnezyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi	29
Çizelge 4.7 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Kükürt Konsantrasyonu Üzerine Etkisi	30
Çizelge 4.8 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Sodyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi	31
Çizelge 4.9 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Demir Konsantrasyonu Üzerine Etkisi	32
Çizelge 4.10 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Bakır konsantrasyonu Üzerine Etkisi	33
Çizelge 4.11 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Zn konsantrasyonu Üzerine Etkisi	34
Çizelge 4.12 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Mn konsantrasyonu Üzerine Etkisi	36
Çizelge 4.13 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam B konsantrasyonu Üzerine Etkisi	37

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

AAS	: Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi
Al₂O₃	: Alüminyum Oksit
Al	: Alüminyum
Ca	: Kalsiyum
CaCO₃	: Kalsiyum Karbonat
CaO	: Kalsiyum Oksit
Ca(NO₃)₂x4H₂O	: Kalsiyum Nitrat Dekahidrat
CO₂	: Karbondioksit
Cu	: Bakır
Cr	: Krom
DAP	: Diamonyum Fosfat
DTPA	: Dietilen Triamin Pentaasetik Asit
EC	: Elektriksel İletkenlik
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
Fe	: Demir
Fe₂O₃	: Demir Oksit
H	: Hidrojen
HNO₃	: Nitrik Asit
H₂O₂	: Hidrojen Peroksit
K	: Potasyum
KDK	: Katyon Değişim Kapasitesi
KH₂PO₄	: Potasyum Di Hidrojen Fosfat
K₂O	: Potasyum Oksit
Mn	: Mangan
Mg	: Magnezyum
MgO	: Magnezyum Oksit
N	: Azot
Na₂O	: Sodyum Oksit
Ni	: Nikel
P	: Fosfor
Pb	: Kurşun
pH	: Ortamda Bulunan H ⁺ Konsantrasyonunun Logaritması
ppm	: Part Per Million (Milyonda Bir Kısım)
Si	: Silisyum
SiO₂	: Silisyum dioksit
TEBGE	: Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TiO₂	: Titanyum Oksit
USDA	: ABD Tarım Bakanlığı
Zn	: Çinko
WHO	: World Health Organization

1. GİRİŞ

Buğday, güçlü adaptasyon kabiliyeti, uygun üretimi ve ekmeğin hammaddesi olması nedeniyle hem dünyada hem de ülkemizde stratejik bir ürün olarak kabul edilmektedir. Bundan dolayı çoğu ülkede olduğu gibi ülkemizde de yüksek verimli ve kaliteli çeşitlerin geliştirilmesi amacıyla ıslah programları yürütülmektedir. Dünyada her yıl yaklaşık 650 milyon buğday üretimi yapılmaktadır (FAO, 2021).

Topraktaki ağır metal kirliliği günümüzün en önemli çevre sorunlarından birisidir (Doumet ve ark., 2008; Nouri ve ark., 2009; Li ve ark., 2014). Ağır metaller içerisinde yer alan elementlerden birisi de kadmiyum (Cd) dir. Kadmiyum canlı organizmalar üzerinde toksik etkilere sahiptir ve ekosistemdeki en tehlikeli ağır metallerden birisidir. Kadmiyum, birincil madde olarak veya endüstriyel faaliyetler ve fosfatlı gübre uygulaması gibi insan faaliyetleri ile beraber toprağa ulaşmaktadır. İnsan faaliyetleri sonucu toprağa ulaşan Cd'nin %54 ile 58'i fosfatlı gübrelerden, %39 ile 41'i atmosferik depolamadan ve %2 - 5'i ise çiftlik gübresi ve atık çamuru uygulamalarından gelmektedir (Wang ve ark., 2015). Yer kabuğunda ortalama olarak 0.1 mg kg^{-1} , toprakta 0.53 mg kg^{-1} Cd bulunur. Toprakta 3 mg kg^{-1} 'den fazla Cd toksik etki yapabilmektedir. Dünyada Cd düzeylerinin son 20-30 yılda arttığı bildirilmektedir (Özkutlu ve Erdem, 2018). Kadmiyum biyolojik fonksiyon için gerekli bir element değildir ve insanlar, hayvanlar ve bitkiler için toksiktir. Diğer ağır metallerden 2-20 kat daha zehirlidir (Friberg, 2018). Kadmiyum toprakta oldukça hareketli bir element olmasının yanında ağır metaller arasında suda en fazla çözünür olandır. Suda çözünen Cd besin zincirine katılır ve tüm organizmaların birikmesine neden olmaktadır (Kayhan, 2006; Dalcorsio ve ark., 2008). Kadmiyumun besin elementi alımı, azot ve karbonhidrat metabolizması, fotosentez ve klorofil sentezi ve bitkilerde protein sentezi gibi birçok metabolik aktiviteyi bozmaktadır (Mengel ve Kirkby, 2001). Kadmiyum maruz kalma yoluna, dozuna ve süresine bağlı olarak akciğerlere, karaciğere, böbreklere, kemiklere, testislere ve plasentaya zarar verebilir (Paustenbach ve ark., 2003; Prozialeck ve ark., 2006; Meravi ve Prajapati, 2013). Yapılan çalışmalar günlük 40– 50 μg Cd alınımının canlılara zarar vermediğini ortaya koymuştur (Elson ve Hass 2001).

Bentonit, montmorillonit ailesinin bir parçası olup %300 oranlarında su tutma kapasitesine sahip bir kil mineralidir. Bentonitler çeşitli endüstrilerde kullanılmaktadır. Örneğin, kağıt, deterjan, seramik, sondaj, döküm, lastik, ilaç ve kozmetik gibi alanlarda sıklıkla bulunur. Bentonit, geniş yüzey alanı, yüksek adsorpsiyon kapasitesi, ara yüzey oluşturması, kolloidal özelliği ve yüksek katyon değişim kapasitesi nedeniyle topraklarda besin elementlerinin yayılgılığını arttırmaktadır. Bitkilerin büyümesi için gerekli olan nem durumunu sağlaması ve bu nemi uzun süre koruması, bitkiye besin elementlerinin taşınması gibi önemli katkılar sağlamaktadır. Bu pozitif özellikleri nedeniyle tarımda da kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Ayrıca bentonitin kullanımları arasında, sıvı veya süspansiyon halindeki gübrelerin yapımında stabilizatör olarak da kullanıldığı bildirilmektedir (Akbulut, 1996; Gücer, 1992). Bentonitin tarımsal alanlarda bitkisel üretimin gelişimini arttırmadaki pozitif etkilerinden başka ağır metalleri adsorblaması nedeniyle çevre kirliliğinin azaltmasında önemli bir yer almaktadır (Stockmeyer ve Kruse, 1991). Bentonit simektit grubunun montmorolinit ailesine bağlı, iki tetrahedral tabakının arasında bir Al-oktohedral tabakısına sahip mineraldir. Bu özelliğinden dolayı yüksek katyon değiştirme kapasitesi sayesinde ağır metalleri adsorblar. Tabakalar arasındaki değişebilir iyonların yer değiştirmesi sebebiyle bitkiye ağır metal taşınımını azaltmaktadır.

Dünya genelinde arazilerin yaklaşık %20'si tuzluluktan etkilenmektedir (Munns ve Tester 2008). Tuz stresi altında bitkilerin büyümesinde, gelişmesinde ve besin elementi alımlarında azalmalar meydana gelmekte (Özkutlu ve Kara 2019) ve bitkilerin ciddi verim kayıplarına maruz kaldığı bilinmektedir. Tuzlu topraklar düşük verimliliğe sahip olduğu gibi ağır metallerin yüksek biyoyararlılığına sahiptir (Rady ve ark., 2016). Bitkiler tuz stresine maruz kaldığında bitkilerde klorofilin, su içeriğinin, ve büyümesinin azalmasına neden olur. Yapılan araştırmalarda toprak tuzluluğu ile bitki Cd alımı arasında bir pozitif ilişkinin olduğu ortaya konmuştur. Topraktaki tuzluluğun (özellikle klorürün) Cd ile oluşturduğu kompleksler sonucunda Cd'nin katyon yüzeylere tutunması azalmakta ve bunun sonucunda tuzun bitkiler tarafından alınma ihtimalinin daha fazla olduğu düşünülmektedir. Kadmiyumun klorür komplekslerinin toprakta daha mobil olduğu açıklanmaktadır (McLaughlin, 1996). Weggler-Beaton ve ark., (2000) bir hektar alana 50 ton bitkisel atık uygulaması

yaptıktan sonra buğday bitkisinde NaCl tuzunun Cd alımına olan etkisini araştırmışlardır. 27.4 mM NaCl sulama suyu ile beraber ortama ilave etmişlerdir. Çalışma sonucunda, buğdayın yeşil aksam Cd konsantrasyonunda artışların meydana geldiğini ve bu artışların sadece toprak çözeltisinde bulunan Cd⁺² iyonundan dolayı değil aynı zamanda Cd'nin Cl ile oluşturduğu komplekslerinin de etkili olduğunu bildirilmişlerdir.

Bu çalışmada tuzlu koşullar altında Cd ve bentonite uygulamalarının Makarnalık ve ekmeçlik buğday bitkisinde yeşil aksam kuru madde verimi, Cd ve besin elementi alımı üzerine olan etkisi araştırılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Bentonit

Bentonit, esas minerali montmorillonit olan bir kil türüdür. Bentonitin su geçirgenliği azdır, bünyesinde suyu tutarak zamanla su ile doymun hale gelir (Özyılmaz, 2017). Bentonitin içeriğindeki montmorillonit özelliğiyle ilgili olarak suyla etkileşime girdiği zaman az-çok miktarlarda şişebilmektedir. Saf bentonitlerin 10-20 kata kadar şişme özelliği gösterdiği bulunurken; çok ender rastlanan çeşitleri 25-30 kata kadar şişebilir. Suyla etkileşime girdiğinde şişme özelliğinin 600 °C'den sonra kaybolduğu görülür. Bentonitlerin kuru durumda yoğunlukları 2.7-2.8 g/cm³ olduğu görülürken toz haline getirilirse; yoğunlukları 1.6-1.8 g/cm³'e kadar azalır. Su karşısında duyarlı olmaları, hacim olarak genleşmeleri, devamlı bazik konsantrasyon oluşturmaları gibi temel özellikleri bentonitlerin ayırt edici özelliklerindedir. Bentonit, yaygın olarak inşaat mühendisliğinde kullanılmaktadır. Yüksek plastisiteli kil grubunu temsil ettiği için deneysel araştırmalarda da tercih edilmektedir.

Bentonitlerin Temel Özellikleri

Şişme özeliği: Bentonitlerin diğer kil minerallerinden ayrılmasını sağlayan en önemli özelliği şişme özelliğidir. Bentonite şişme olayı; bentonitin bünyesine suyu fiziksel olarak alıp; kristal yapısının genişlemesi olayını ifade etmektedir. Bentonit kendi kütlelerinden yaklaşık beş katı kadar fazla suyu adsorbe edebilmektedir. Bu suyu 100-150 °C gibi sıcaklıklarda kaybetmektedir. Bentonitler, kurutulduğunda ilk hacmine geri dönmektedir. Bentonitin bünyesinde bulunan fiziksel su, kilin kimyasal ve fiziksel özeliğini kontrol ettiği görülmektedir.

Katyon değişim kapasitesi (KDK): Kil minerallerinin katmanlarının arasında “Na⁺, Ca⁺², K⁺, Mg⁺²” gibi organik ve inorganik katyonlar ile yer değiştirme özeliğine sahip katyonlar bulunmaktadır. İnorganik katyonlar “değişebilen katyonlar” olarak da ifade edilmektedir. Montmorillonit minerali ve diğer kil minerallerinin 100 gramında meydana gelen değişebilen inorganik katyonların mili eşdeğer molar kütle sayısına ise “Katyon Değişim Kapasitesi ” denilmektedir.

Plastiklik özeliği: Bu özellik, kildeki su içeriğinde gözlemlenen değişimle kazanılmaktadır. Kilde bulunan su miktarının azalması sonucu kilin katılaştmasını,

kildeki su miktarlarının artmasıysa kile akıcılık özeliği kazandırmasını sağlamaktadır. **Reolojik özelliği:** Bentonitlerin akma noktası, akış türü ve viskozite gibi reolojik özeliğe sahip olmasını gerektirmektedir. Bu özelliğin kilin su içeriğiyle değişebildiği görülmektedir. Bentonit kullanımının temelinde, katkı maddelerinin eklenmesiyle tiksotropi ve viskozite özelliklerindeki değişim gelmektedir.

Adsorplama özelliği: diğer kil minerallerine nazaran montmorillonit kil minerali daha fazla yüzey alanına ($\approx 800 \text{ m}^2/\text{g}$) sahiptir. Yüzey alanlarının büyük bölümünü mezo ve mikro gözenek duvarları oluşturur. Bu özeliği sebebiyle adsorplama kapasitesinin oldukça yüksek olduğu görülür.

2.2 Kadmiyum

Kadmiyum, fosil yakıtlarda, çimento üretimi ve demir işleme gibi fosil yakıtların kullanımı sırasında havaya ve dolayısıyla çevreye salınan bir eser elementtir (Dobson, 1992). Kadmiyum, endüstriyel atıklar ve kalıntılar yoluyla toprağa ve suya girerek suyu ve toprağı kirletir. Toprakta ve suda biriken kadmiyum mikroorganizmalara ve oradan da hayvanlara ve insanlara taşınabilmektedir (Kanat ve ark., 1991). Kadmiyumun insanlar, hayvanlar, su yaşamı, kuşlar ve bitkiler üzerinde olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir (Pierzynski ve ark., 1994). Bazı ağır metaller için insan ve hayvan gereksinimleri çok küçük olmasına rağmen, toprakta Cd, kurşun (Pb) ve cıva (Hg) gibi metallerin varlığı çevre ve sağlık için risk oluşturmaktadır (Mermut ve ark., 1996).

Toprakta Kadmiyum

Toprakta bulunan Cd konsantrasyonunun temel kaynağı toprak ana maddesidir. Tarım topraklarında izin verilebilen Cd konsantrasyonu 3 mg kg^{-1} , topraklarda ise Cd seviyeleri genellikle 0.1 mg kg^{-1} civarındadır (Alloway, 1995). Cd ağır killi topraklarda 1.1 mg kg^{-1} , kumlu-tınlı 0.8 mg kg^{-1} , kumlu toprakta 0.4 mg kg^{-1} 'dir (Ece ve ark., 2001; Verbruggen ve ark., 2009). Kabata-Pendias ve Mukherjee (2001) tarım arazilerinin dünya çapındaki ortalama Cd konsantrasyonunun yaklaşık $0,53 \text{ mg kg}^{-1}$ olduğunu bildirmişlerdir. Sanayi faaliyetleri, endüstriyel ve evsel atıklar, yoğun araç trafiği, tarımsal uygulamalar, organik ve inorganik atıkların üretimi ile topraktaki Cd'nin arttığı bilinmektedir (Mermut ve ark., 1996; Ozaki ve ark., 2004; Suzuki ve ark., 2009; Petrova, 2011). Kırsal kesimde tarım arazilerinde toprağı giren bir miktar Cd $0.1-4 \text{ ng m}^{-3}$ arasında iken, kentsel/endüstriyel alanlarda arazide $2-150 \text{ ng m}^{-3}$ 'tür

(OECD, 1994; Gallego ve ark., 2012). Trafik yoğunluğunun yüksek olduğu karayollarının kenarında bulunan toprak, bitki ve konutlar ağır metal kirliliğine karşı hassastır (Ece, 2001; Özkutlu, 2004). Özkutlu (2004) göre Cd kirliliğinde en önemli rolü oynayan üç faktör şunlardır: fosfor içeren gübreler, kadmiyumun atmosferik birikimi ve kanalizasyon çamurudur. McBride (2003) Cd'nin büyük bir bölümünün kanalizasyon atıkları ve gübrelerle toprağa girdiğini ve bu alanlarda yetiştirilen sebzelerde (özellikle yapraklarının yendiği) yüksek oranda Cd'nin biriktiğini açıklamıştır. Fosfor ve Cd ilişkisini araştıran tüm araştırmacılar, fosfatlı gübre üretiminde kullanılan fosfat kayasının kaynağı kadar, kullanılan fosfatlı gübre miktarının da etkili olduğunu göstermiştir. Fosfor gübrelerin Cd içeriği 300 mg Cd kg⁻¹'den yüksek iken, N ve K gübrelerinin içeriği genellikle 9 mg Cd kg⁻¹'den düşüktür (Fergusson ve Prucha, 1990; Saltalı ve ark., 2004). Genel olarak, N ve K gübre hammadde kaynaklarının Cd içeriğinin 1 mg kg⁻¹'den az olduğu yorumlanmıştır (Saltalı ve ark., 2004). Bolan ve Durisamy'ye (2003) göre; 1000 mg kg⁻¹ KH₂PO₄ verilerek toprağa yaklaşık 10 mg kg⁻¹ Cd eklenmiş olur. Gray ve ark., (2001)'nin yaptığı bir çalışmada makarnalık buğdaya uygulanan kalsiyum amonyum nitrat (CAN) gübrelerinin bitkilerde kadmiyum konsantrasyonlarını artırdığını gözlemlemişlerdir. Chaudri ve ark., (2001), kanalizasyon atıklarının toprağa uygulanmasından dolayı önemli miktarda N, P ve organik madde girdilerinin yanı sıra toksik elementlerin ilave edildiğini bildirmiştir. Ayrıca zeminde biriken arıtma çamurundan da kadmiyum birikimi olur. Elde edilen raporlara göre, arıtma çamuru doğrudan ve dolaylı olarak toprağı etkileyebilmektedir. Doğrudan etki olarak; pH, EC, azot ve çamurun iyonik kapasitesi gibi organik ve inorganik bileşimleri etkileyebilmektedir (Weggler Beaton ve ark., 2000).

Kadmiyumun Toprakta Giderim Yolları

Endüstriyel, madencilik ve tarımsal faaliyetlerde artış, topraklarda metal kirliliğinin yaygın bir problem olmasına sebebiyet vermiştir. Bu kirliliğin giderilmesi oldukça karmaşık ve zordur. Toprağın yapısal özelliklerinde yaşanan değişkenlikle Cd'nin ortamına göre farklı davranışları gibi nedenler, entegre arıtım teknolojileri gerektirir. Kirlenmiş topraklarda dört muhtemel yönetim seçeneğinden bahsedilmektedir (Başçı, 2009); Kirleticiyi olduğu haliyle bırakarak, o bölgenin kullanımının yasaklanması veya kirlenen toprağın özel bertaraf alanında depolanması; Kirleticiyi bölgede

immobilize etme ve bölgeyi devamlı izleyip; diğer bölgelere geçişin kontrol altında tutulması (yerinde izolasyon), toprağın bulunduğu bölge içerisinde temizlenmesi ve toprağın bölge dışında temizlenmesi. Toprağın temizlenmesi kısaca kirleticilerin uzaklaştırılması bölgenin yeniden kullanılması için önemlidir. Uygun olan metodun seçilmesi, giderilecek kirleticilerin türü ve derişimleri, bölgenin iklimi, karakteristikleri, kirlenmiş arazinin sonradan tekrar kullanılması gibi birçok faktöre bağlı olarak değişebilmektedir. Toprağın temizlenmesi genelde kirlenmiş olan bölgenin kazılması, temizlenen veya izole edilen toprağın tekrar yerine doldurulması ile gerçekleştirilir. Ancak son dönemlerde toprağı kazmadan doğrudan bölgede uygulanabilen teknoloji ve yöntemlerle ilişkili yapılan araştırmaların hız kazandığı görülmektedir (Kocaer ve ark., 2003).

Kadmiyumun Bitkilerdeki Etkileri

Bitkilerdeki Cd düzeyleri 0.1-1 mg kg⁻¹ arasında değişmektedir (Alloway, 1995; Kabata- Pendias ve Mukherjee, 2007; Verbruggen ve ark., 2009). Kadmiyum bitki kökleri tarafından kolayca emilip, yeşil kısımlara hızlıca taşınabilmektedir. Kadmiyum topraktaki ağır metaller arasında en hareketli olanıdır. Toprak çözeltisinde bulunan Cd bitkiye hızlı bir şekilde taşınabilmektedir (Robinson ve ark., 2000; Carfagna ve ark., 2013). Cd içeriğı ilk olarak köklerde, daha sonra gövdede, yapraklarda, meyvede ve tohumlarda tespit edilmiştir (Benavides ve ark., 2005). Cd, bitkilerin kök, gövde ve yaprak gibi yenilen kısımlarında biriktiğı için canlılar için çok tehlikelidir. (Köleli ve Kantar, 2006). Kadmiyuma maruz kalan bitkilerin köklerinin normal bitkilere göre daha kısa olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yan köklerde artış veya azalma ve kılcal kök sayısında azalma gözlemlenebilir. Ağır metal maruziyeti altında bitki büyümesi yavaşladığında, kök ve gövdelerin taze ve kuru ağırlıkları azalmaktadır (Köleli ve ark., 2004; Sharma ve ark., 2004; Chaoui ve Ferjani, 2005; Lombardi, 2005). Toksik Cd seviyelerine maruz kalan bitkilerde, yaprak alanında azalma, sararma (kloroz), nekrotik lekeler oluşumu, yaprak büyümesinin inhibisyonu ve yaprak yuvarlanması görülmüştür. Cd, bitkilerin fotosentez oranını ve iyon alımını engelleyerek bitkilerin verimini ve kalitesini düşürmektedir (Hassan ve ark., 2005; Siatka ve ark., 2012). Cd klorofil biyosentezinde işleve sahip protoklorofil reduktazla aminolevulinik asit sentezinin engellenerek klorofil sentezinin azalmasına sebebiyet vermektedir (Zengin ve Munzuroğlu, 2005). Kadmiyum stresi şartlarında azot

metabolizmasının enzimleri olduğu görülen nitrat redüktaz ile nitrit redüktazın aktiviteleri azalır. Bu durumun bitkilerin nitrat asimilasyonunu azalttığı belirtilmiştir (Gouia ve ark., 2000).

Bitkilerin Cd ile kirlenmiş topraklarda büyüebilmeleri için üç temel strateji geliştirmektedirler (Baker ve Walker, 1990): Metal dışlayıcılar; Toprakta bulunan metal konsantrasyonunun üzerindeki konsantrasyonların hava yoluyla girişinin engellendiği ve köklerinde metallerin çoğunu kontrol eden bitkiler. Metal indikatörler; Kendi dokularında metaller biriktiren ve toprakta bulunan metal düzeyini genelde dokularında bulunan metal düzeylerini gösteren bitkiler. Toplayıcılar; Toprakta hazır durumda bulunan metallerin kendi dokularında yoğun olarak bulunduran bitkiler (Okçu ve ark., 2005). Bitkilerin türüne göre Cd'nin alınma miktarları da değişebilmektedir. Bitkilerdeki kadmiyumun yüzde 90'ı topraktan; yüzde 10'u da atmosferden alındığı görülmektedir. Endüstri bölgeleri ve yoğun trafiğin olduğu yolların yakınında bulunan bitkilerdeki Cd'un yüzde 40'ından çoğu havadan alınmaktadır.

Kadmiyumun İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

Kadmiyum toprak-bitki sisteminin yüksek mobilite sebebiyle kolayca besin zincirine dahil olabilmektedir. Böylelikle bitki, insan ve hayvan sağlığı bakımından tehlikeli olabildiği görülmektedir. Kadmiyum, Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) halk sağlığının tehdit edildiği önemli kimyasal maddelerden biri olarak görüldüğü belirtilmektedir (Satarug ve Moore 2012). Endüstriyel faaliyetler, ilaç kullanımı ve gübreleme ile sanayi artıklarıyla toprak, hava ve su ortamlarına yayılabilen kadmiyum; solunum yolu ve besin zinciriyle hayvan ve insanların bünyelerine ulaşabilmektedir. Kadmiyum kirliliğinin görüldüğü topraklarda yetişmiş olan bitkiler, söz konusu bitkiler ile beslenen hayvanlardan üretilmiş hayvansal gıdalarla içme sularına karışabilen sanayi artıkları vasıtasıyla insan bünyesine ulaşmaktadır. İnsan hayatını önemli bir şekilde etkileyen "Cd" kaynakları arasında; sigara dumanı (1 adet sigara 1-2 µg Cd içermekte), rafine edilen yiyecekler, çay, kahve, kabuklu deniz ürünleri, kömür yakılması, gübre kullanılması ve endüstriyel üretim aşamalarında oluşmuş baca gazları olarak sıralanmaktadır. Farklı gıdalar ile Cd'nin insanlarda fazla miktarda biriktiğinde karaciğer, akciğer, hipertansiyon ve böbrek rahatsızlığı gibi çok ciddi

sağlık sorunlarına neden olduğu ifade edilmektedir (Gallego ve ark., 2012; Korkmaz ve ark., 2010)

Kadmiyumun özellikle böbreklerde ve diğer organlarda toksik etkileri olduğu, Japonya'da insanları olumsuz yönde etkileyebilen ve hatta öldürebilen "İtai-itai" hastalığına neden olduğu bilinmektedir (Büyükkılıç, 2009). Yüksek konsantrasyonlarda kadmiyum solunması akciğer hasarına ve ölüme neden olabilmektedir. Gıdalarda çok yüksek düzeyde kadmiyum tüketmek kusma ve ishale neden olmaktadır. Düşük seviyelerde kadmiyuma hava, su veya yiyecek yoluyla kronik olarak maruz kalınması nedeniyle, bu element böbreklerde birikebilmekte ve hastalığa neden olabilmektedir. Akciğerlerde hasar ve kemiklerin kırılabilirliğinin artması kadmiyumun diğer etkileridir. Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (US-EPA) içme sularında 5 ppb (milyarda 5) Cd'nin aşılmaması gerektiğini vurgulamıştır. ABD Tarım Bakanlığı'na (FDA) göre yiyecekler için bu düzey 15 ppb'dir.

2.3 Tuz

Toprakta Tuz

Toprak tuzluluğu; çözünebilir tuzlar, özellikle kurak ve yarı kurak iklimlerde yıkanarak yer altı suyuna girer ve yer altı suyuna karışır, yüksek yeraltı sularının kılcal hareketi ile toprak yüzeyine ulaşır, buharlaşma sonucunda su topraktan ayrılarak toprak üzerinde ve yakınında birikir. (Ekmekçi ve ark., 2005). US Salinity Laboratuvarı bulgularına 4 mmhos cm^{-1} 'den daha fazla tuz içeren topraklar tuzlu toprak olarak tanımlanmıştır. Çoğu bitkinin büyümesini engellemek için yeterli çözünen tuz içeren topraklar tuzlu olarak kabul edilmektedir. Tuzluluk sorunu ülkemizin ve hatta tüm dünyanın karşı karşıya olduğu en büyük sorunlardan biridir. Kanber ve Ünlü (2010) ülkedeki genel olarak sıcak ve kuru iklim koşulları, düşük yağış ve yanlış sulama uygulamaları nedeniyle özellikle tarım ve peyzaj uygulamalarında bu alanlarda tuzluluk sorunları ile karşılaşıldığını topraktaki tuz konsantrasyonu arttıkça bitkilerin topraktan su almalarının zorlaştığına, toprak yapısının bozulduğunu ve bitki büyümesinin yavaşladığını bildirmektedir. Yüksek tuz konsantrasyonları bitkilerin verim ve kalitesinin düşmesine neden olurken, özellikle Na iyonlarının baskın olduğu durumlarda toprağın fiziksel yapısında önemli hasarlara neden olabilmektedir (Sönmez ve ark., 2007).

Bitkide Tuz

Bazı bitki türleri ve çeşitleri düşük tuzluluk seviyelerinden etkilenirken, bir kısmı da ciddi şekilde etkilenir ve zarar görmektedir. Bu farklı uyum kapasiteleri genetiğe dayanmaktadır. Ayrıca herhangi bir bitkinin farklı gelişim evreleri, tuzun türü, konsantrasyonu, uygulama zamanı vb. faktörlerin de bitki gelişiminin savunma mekanizmalarında etkili olduğu iyi bilinmektedir. Levitt'e (1980) göre, bitkilerin tuzluluğa tepkisi iki kısma ayrılır: yüksek tuz konsantrasyonlarında büyüyen "halofitler" ve tuzluluk ortamına duyarlı "glikofitler". Halofitler tuzluluk koşullarında çevreye uyum sağlar ve gerekli iyonları alıp, yaprakların osmotik potansiyelini dengeler ve metabolik olayları tamamlayarak gelişimini sürdürürler. Glikofit bitkiler ise tuzlu koşullara daha hassas olup kolayca zarar görebilmektedirler. Da Silva ve ark., (2008) ise; tuz etkisini ozmotik ve iyonik tuz geriliminin ana bileşeni olarak tanımlamıştır. Tuzluluk, ozmotik basınç ve iyonik gerilimin yanı sıra hormonal dengesizliğe neden olarak bitki büyüme ve gelişimini olumsuz etkilemektedir (Ashraf ve Foolad, 2007). Sairam ve Tyagi (2004) tarafından yüksek NaCl konsantrasyonlarında büyümedeki azalmanın, azalan K alımından kaynaklandığını bildirmiştir. Bitkilerin Na ve K içeriği ile ölçülen tuz toleransı, farklı genotiplerde Na ve K birikim düzeyi ile karakterize edilmiştir (Misra ve Dwivedi, 2004). Birçok çalışmada, duyarlı genotiplerin tuz stresine bağlı olarak Na^+/K^+ oranlarında tuza toleranslı genotiplere göre daha yüksek artışlar gösterdiği bildirilmiştir (Sairam ve ark., 2002; Khan ve ark., 2002; Kholová ve ark., 2010). Bitkilerin aşırı tuz alımı hücre zarlarına ve organel zarlarına zarar vererek hücre fonksiyonunu, fotosentez ve solunumu bozar. Fonksiyonel bozulma tuzluluğun sonuçlarından biridir (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005; Rady ve ark., 2016). Aynı şekilde Kanber ve Ünlü (2010), topraktaki tuz konsantrasyonu arttıkça bitkilerin topraktan su almalarının zorlaştığını, toprak yapısının bozulduğunu ve bitki büyümesinin yavaşladığını belirtmişlerdir.

2.4 Kadmiyum, Tuz ve Bentonit ile İlgili Çalışmalar

Bitkilerin Cd konsantrasyonu ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır (Amar ve ark., 2007; Wang ve ark., 2007). Beslenmede önemli rol oynayan buğday, mısır, marul, fasulye, pancar, şalgam ve patates Cd'yi kolayca emebilmektedir. Sillanpaa ve Jansson (1992) Kadmiyumun çoğunun bitki kökleri tarafından tutulduğunu öne sürmüşlerdir.

Hart ve ark., (2002) Cd, Mn, B, Mo, ve Se gibi ağır metallerin bitki kökleri tarafından emildikten sonra yeşil kısımlara kolaylıkla taşınabileceğini öne sürmüşlerdir.

Tahıllardan özellikle buğday ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Oliver ve ark., (1994) tarafından Avustralya'da yetişen buğday çeşitleri üzerinde bir çalışma yapılmıştır. Çalışma sonucunda tanenin Cd konsantrasyonlarının arasında önemli farklılıklar bulunmuş ve çeşitlere göre akümülyasyon eğilimlerini teşhis edimiştir. Cieslinski ve ark., (1996) da Kanada'da yaptıkları bir çalışmada buğday tanelerinde Cd birikiminin çeşide bağlı bir şekilde değiştiğini belirlemişler. Penner ve ark., (1995) da Batı Kanada'da makarnalık buğday çeşitlerinde düşük düzeyde Cd depolayan genler tanımlamışlardır. Grant (2001) kadmiyum içeriği ve protein seviyesi makarnalık buğdayının iki temel kalite göstergesi olduğunu belirtmiştir. Yetiştirme teknikleri makarnalık buğdayda kadmiyum seviyelerini önemli bir şekilde düşürürken, daha düşük kadmiyum seviyelerine sahip çeşitler, toprak özelliklerine ve çevre koşullarına (sıcaklık, nem vb.) bağlı olarak daha yüksek kadmiyum seviyelerine çıkabilmektedir. Öztürk ve ark., (2003)'nin yaptığı bir araştırmada, iki farklı makarnalık buğday çeşidinin besin çözeltilerini kullanarak, özellikle köklerde kadmiyum uygulandığında bitki kadmiyum konsantrasyonlarının önemli ölçüde arttığını ortaya çıkarmışlardır. Veselov ve ark., (2003) tarafından yapılan bir çalışmada buğday fidelerinin yetiştirildiği ortama 0.04 mM Cd uygulamasının bitkilerin kontrole göre nitrat alımını yüzde 60, potasyum alımını yüzde 56 azalttığı saptanmıştır. Kadmiyum bitki kök gelişmesi ve büyümesinin engellenmesi sebebiyle bitkilerin iyon ve su alımını azaltmaktadır (Hernández ve ark., 1998).

Birçok çalışma, makarnalık buğdayın tahıllarda ekmeklik buğdaydan daha fazla Cd biriktirdiğini göstermiştir (Mermut ve ark., 1996; Hart ve ark., 2002). Harris ve Taylor (2001) makarnalık buğdayda Cd ile yaptıkları çalışmada, elementin önce gövdede toplandığını ancak daha sonra tohuma aktarıldığını ve gövdede azaldığını belirlemişlerdir. Makarnalık buğday çeşitlerinde kadmiyum alımını ve dağılımını araştıran bir çalışmada, kadmiyum alımının ekim sırasında doğrudan köklerden kadmiyum hareketini kontrol ederek tohuma taşınabileceği öne sürülmüştür (Büyükkılıç, 2009).

Topraklarda tuz miktarının artmasıyla (özellikle de Cl konsantrasyonu) bitki dokularında da Cd miktarının arttığı saptanmıştır (Norvell ve ark., 2000). Önemli abiyotik streslerden birisi olan toprak tuzluluğu bitkisel üretim ciddi verim kayıp kayıplarına neden olduğu bildirilmektedir (Uyanık ve ark., 2014; Ekbic ve ark., 2017). Toprak tuzluluğu Cd'nin hareketliliğini arttırması ve bunun sonucunda kompleks oluşturması ile Cd'nin bitkiler tarafından kolayca alınmasına neden olduğu bildirilmiştir (Özkutlu, 2020). Beslenmemizde büyük rol oynayan buğday bitkisi Cd'yi kolayca absorbe edebilmektedir. Makarnalık buğday çeşitlerinin ekmeklik buğday çeşitlerine göre tanelerinde daha fazla kadmiyum biriktirdiği çeşitli araştırmalar ile ortaya konmuştur (Hart ve ark., 2002; Greger ve Löfsted, 2004; Shentu ve ark., 2008; Özkutlu, ve Kara, 2019). Khoshgoftarmanesh ve ark., (2006) farklı buğday genotiplerinde tuzlu koşullarda Cd ve Zn arasındaki ilişkiyi belirlemek için bir çalışma yapmışlardır. Bu amaçla 4 farklı ekmeklik ve 1 makarnalık buğday genotipi kullanılmıştır. Çalışma dört farklı tuz (0, 60, 120 ve 180 mM NaCl) seviyesindeki sulama sularıyla, üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Büyümeyi takiben hasat edilen bitkilerde yeşil aksam Zn ve Cd konsantrasyonlarında artışların olduğu saptanmıştır. Norwell ve ark., (2000) Kuzey Dakota'da bir çalışma yapmışlardır. Bu amaçla 124 adet makarnalık buğday örneği ve bu buğdayların yetiştiği tarladan alınan toprak örneklerinde tane Cd konsantrasyonu ile toprak tuzluluğu arasındaki ilişki belirlenmiştir. Araştırma sonucunda tanede Cd konsantrasyonunun 0.025-0.359 mg kg⁻¹ arasında değiştiği tespit edilmiştir. Tanede Cd konsantrasyonu ile toprak tuzluluğu arasında pozitif bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir

Kumararaja ve Shabeer (2016) tarafından yapılan çalışmada sera koşullarında süs (Amaranth) bitkisiyle saksı denemesiyle bentonit uygulamasının ağır metal alımı araştırılmıştır. Elde edilen bulgularda, saksılara %2,5 bentonit, 250 ppm Zn, 100 ppm Cu ve 100 ppm Ni uygulamalarıyla bitkiler yerleştirilmiş ve iki ayrı hasat yapılmıştır. Yapılan değerlendirmede, bitkide metallerin konsantrasyonunu I. ve II. hasat olmak üzere sırasıyla Zn %74-%28, Cu %38-%36 ve Ni için %44-%34 oranında azalttığını saptamıştır. Söz konusu araştırmada, bentonitin kuru madde miktarında da birinci hasatta %76.5 ve ikinci hasatta %41.7 oranında arttığını belirlemiştir.

Tito ve ark., (2017) toprağa uygulanan bentonit ile düşük kaliteli sulardan kadmiyumun turp, mısır ve şeker pancarı bitkileriyle birlikte uzaklaştırılmasını

araştırılmışlardır. Denemeler, tamamen tesadüfi deneme desenine göre dört tekerrürlü olarak kurulmuş ve serada gerçekleştirilmiştir. Bentonit farklı dozlarda (30; 60 ve 90 t ha⁻¹) uygulanarak 0,2 mg L⁻¹ Cd konsantrasyonlu kalitesiz su ile sulanmıştır. Turp, mısır ve pancar bitkileri sırasıyla 30, 60 ve 90. günlerde hasat edilmiş, düşük kaliteli su ile sulanan toprakta bentonit uygulamasının turp, mısır ve pancar bitkilerinin gelişimi üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahip olduğunu, yani turp, mısır ve pancar köklerinin kuru biyokütlesini %1 olasılıkla etkilediğini göstermiştir. Bentonit, kadmiyumun biyobirikim ve translokasyon faktörlerinin azaltılmasını desteklediği sonucuna varılmıştır.

Ciecko ve ark., (2004) tarafından yapılan çalışmada, bentonitin en büyük etkisi yulaf tanesi, acı bakla, mısır ve arı otunun yeşil aksamaları üzerine olduğunu tespit etmişlerdir.

Sun ve ark., (2016) tarafından serada saksı denemesinde Cd 5 mg kg⁻¹ uygulanmış toprağa , bentonit ve fosfat uygulamaları yapıldıktan sonra 5 hafta inkübasyona bırakmış ve daha sonra çeltik yetiştirmişler. Araştırmada, Cd immobilizasyonu, fizyolojik parametreler, bitki büyümesi, toprak enzimleri aktivitesi ve Cd alımı üzerine olan etkisi araştırmışlardır. Bu amaçla kontrol, sepiolite (8 g kg⁻¹); bentonit (24 g kg⁻¹); 5 fosfor(g kg⁻¹) uygulanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, yapraklardaki süperoksit dismütaz, peroksidaz aktivitesi ve toprakta katalaz aktivitesinin arttığı saptamıştır. Topraklarda değişebilir Cd fraksiyonlarının açığa çıktığını ve çoğunlukla karbonat bileşikleri formları oluşturarak bağlandığını tespit etmiştir. Bentonit uygulamalarının tanede Cd konsantrasyonunu azalttığını belirlemişlerdir. Bu araştırmanın sonucunda Cd ile kirlenmiş topraklarda sepiolit, bentonit ve karışımlarının uygulanmasıyla bitkilerin daha düşük miktarda Cd alacağını açıklamışlardır.

El-Nagar ve Halim (2021) sera koşullarında toprağa bentonit nano-kompoziti 50 kg ha⁻¹ ve 100 kg ha⁻¹ dozlarında uygulanarak yer fıstığı yetiştirmişler. Toprakdaki Cu, Ni ve Pb adsorpsiyonlarının değişimlerini incelemişler. Araştırma sonucunda, kontrol grubu ile karşılaştırıldığında 100 kg ha⁻¹ bentonit nano-kompozitin uygulamasının Ni'i 0.71'den 0.53'e ve Cu'yu 0.097'dan 0.048'e düşürdüğünü saptamışlardır. Benzer azalmanın Pb'de elde edilemediği de belirlenmiştir. Sonuç

olarak, bentonit-nano formlarının kirlenmiş toprakta ağır metalleri hareketsizleştirebileceği, toprak özelliklerini iyileştirebileceği, bitkiler tarafından ağır metal alımını azaltabileceği ve topraktaki ağır metal için iyi bir immobilizer olarak kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

Kocaoba ve ark., (2021) farklı ağır metallerin adsorpsiyonu incelemek amacıyla laboratuvar şartlarında bir çalışma yapmışlardır. Uygulama dozları olarak 0.2 g bentonit ile 10 ppm metal konsantrasyonunu karıştırmışlardır. Sonuç olarak bentonitin, Cu'nun %70.64 ve Cd'nin ise %73.81 oranında adsorbe ettiğini tespit etmişlerdir.

Cheng ve ark., (2021) arıtma çamurunun tarımsal alanda yeniden kullanımı için modifiye bentonit ile ağır metallerin stabilizasyonu üzerine yaptıkları laboratuvar çalışmasında modifiye bentonittten 4 ve 5 g, arıtma çamurunda 50 g olacak şekilde iki farklı karışım hazırlamışlardır. 5 g modifiye bentonit ile 50 g arıtma çamuru karışımından Cd %73.2 oranında en yüksek Cd stabilizasyon elde edilmiştir. Bu gözlemler, modifiye edilmiş bentonitin kanalizasyon çamurundan ağır metallerin stabilizasyonunda etkili olduğunu göstermiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

Deneme 2020 yılında kurulmuş olup sera koşullarında kontrollü şartlar altında yürütülmüştür.

3.1.1 Toprak Materyali

Denemede ortam olarak kullanılan toprak, Giresun ili Aydınlar Köyü sınırları içinde fındık tarımı yapılan arazilerden 0-30 cm'den çiftçi bahçesinden alınmıştır. Denemede kullanılan toprağın fiziksel ve kimyasal analizleri yapılmıştır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 Denemede Kullanılan Toprağın Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Toprak Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	Değerler
Tekstür	Kumlu-Tın
pH	5.96
EC, $\mu\text{s cm}^{-1}$	171
Kireç, %	0.6
O.M. %	2.28
N, %	0.21
P, mg kg^{-1}	2.18
K, mg kg^{-1}	921
Ca, mg kg^{-1}	5201
Mg, mg kg^{-1}	323
Fe, mg kg^{-1}	30.7
Cu, mg kg^{-1}	1.12
Zn, mg kg^{-1}	5.52
Mn, mg kg^{-1}	30.8
Cd, mg kg^{-1}	0.62

3.1.2 Bitki Materyali

Denemede, Ekmeklik (Vittorio) ve Makarnalık (Cesare) buğday çeşitleri kullanılmıştır.

3.1.3 Bentonit Materyali

Denemede kullanılan bentonit Bentaş Bentonit Madencilik'ten tedarik edilmiştir. Kurutulmuş ve 2 mm elekten geçirilmiştir. Denemede bentonitin aktivesiz türü kullanılmıştır.

Aktivesiz bentonit: Hiç bir katkı maddesi kullanılmamış doğada çıktığı şekliyle kurutulup (max: %10 nemde) 2 mm elekten geçecek şekilde hazırlanmıştır. Aktivesiz bentonitin fiziksel özellikleri Çizelge 3.2 de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Denemede Kullanılan Bentonitin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

SiO ₂ (%)	65.61
Al ₂ O ₃ , %	14.17
Fe ₂ O ₃ , %	1.22
TiO ₂ , %	0.12
CaO, %	3.11
MgO, %	2.07
Na ₂ O, %	0.99
K ₂ O, %	1.5
Kızdırma Kaybı	4.7
Katyon Değişirme Kapasitesi (Me 100 g ⁻¹)	85
Şişme (2 gr/ml)	9
pH	7-9
EC, µs/cm	180
Kireç, %	0.8

3.2 Yöntem

3.2.1 Toprak Örneklerine Yapılan Analizler

a) Toprak tekstürü: Toprak örneklerinin % kum, silt ve kil oranları hidrometre yöntemi ile belirlenmiş ve tekstür üçgeni kullanılarak toprakların tekstür sınıfları saptanmıştır (Bouyoucos, 1951).

b) Toprak reaksiyonu: Toprak örneklerinin pH değerleri, 1:2.5 oranında toprak:su karışımında Grewelling ve Peech, (1960) tarafından bildirildiği gibi cam elektrodlu pH-metre ile belirlenmiştir.

c) **EC analizi:** Richards (1958) tarafından belirtildiği şekilde toplam tuz 1:2.5 toprak/su karışımında EC metre ile ölçülmüştür.

d) **Kireç konsantrasyonu:** Çağlar (1949) tarafından bildirildiği gibi Scheibler kalsimetresi ile belirlenmiştir.

e) **Organik madde:** Jackson (1962) tarafından bildirildiği şekilde Walkley-Black yaş yakma yöntemine göre belirlenmiştir.

f) **Toplam N:** Kjeldal yaş yakma yöntemi ile belirlenmiştir (Bremner, 1965).

g) **Bitkiye yararlı P:** Toprakta P analizleri Bray ve Kurtz (1945) tarafından geliştirilen yöntemine göre yapılmıştır.

h) **Değişebilir K, Ca ve Mg:** Pratt (1965) tarafından belirtildiği şekilde toprak örneklerinin nötr 1N amonyum asetat ile ekstrakte edilerek AAS'de okunmasıyla belirlenmiştir.

i) **Ektrakte edilebilir Fe, Cu, Zn, Mn:** Kacar, (2009) tarafından bildirildiği şekilde DTPA ile ekstrakte edilen toprak örneklerinde Fe, Cu, Zn ve mangan AAS ile belirlenmiştir.

i) **Ektrakte edilebilir Cd:** DTPA'nın (Dietilentriaminpentaasetik asidin) toprakta bulunan Cd^{+2} ile oluşturduğu çözünebilir kompleksteki kadmiyumun Atomik Absorbsiyon Spektrofotometrede (AAS) okunması ile belirlenmiştir (Lindsay ve Norvell, 1978).

3.2.2 Saksı Denemesinin Yürütülmesi

Denemede her saksıya hava kurusu 4 mm'lik elekten geçmiş 1.75 kg toprak tartılarak saksılara doldurulmuştur. Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Buğday tohumları ekilmeden önce, temel gübreleme olarak her saksıya 200 mg N kg^{-1} Kalsiyum Nitrat ($Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$), 100 mg P kg^{-1} ve 125 mg K kg^{-1} Potasyum di hidrojen fosfat (KH_2PO_4) formlarından uygulanmıştır. Temel gübrelemeye ilaveten Cd'nin (0 ve 2 mg Cd kg^{-1} toprak) dozları ile bentonitin (%0, %5, %10 ve %20) dozları topraklara karıştırılmıştır. Bütün saksılara 4000 ppm NaCl uygulanmıştır. Bu işlemden sonra her saksıya 16 tohum ekilmiş ve bir hafta sonra 10 bitki kalacak şekilde seyreltilmiştir. Cd ve Bentonit uygulamalarına bağlı olarak bitkilerin büyüme farklılıkları olduğu dönemde yaklaşık

8 (56 gün) hafta sonra tüm bitkiler toprak yüzeyinin 1 cm üzerinden, eşit seviyede kesilerek hasat edilmiştir. Hasat işlemi yapıldıktan sonra saf su ile bitki örnekleri yıkayıp, 65°C' de 48 saat etüvde kurutma işlemi yapıldıktan sonra, bitkilerin kuru ağırlıkları alınıp, öğütme değirmeninde bitki öğütülüp analizlere hazır hale getirilmiştir.

3.2.3 Bitki Örneklerinde Yapılan Analizler

Toplam mineral besin elementlerini (P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, B ve Cd) belirlemek amacıyla yeşil aksam bitki örneklerinden 0.2 g tartılmış ve mikrodalga tüplerine konulmuştur. Yaş yakma yöntemine göre, üzerine 2 ml saf su, 2 ml H₂O₂ (% 30'luk) ve 4 ml HNO₃ (%65'lik) içeren karışımla yakılmıştır (CEM MARS, microwave Acceleration Reaction System). Yakılan örnekler oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Daha sonra saf su ilave edilerek son hacmi 20 ml'ye tamamlanıp mavi bant filtre kağıdından süzümüştür. Ölçümler, ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emmission Spectrometer; Varian ICP-OES Vista Pro) ile belirlenmiştir. Okuma değerlerinin doğruluğunu teyit etmek için referans materyal kullanılmıştır. Kullanılan referans; (Peach leaves, 1547) olup standart değerlerin karşılaştırılması sonucunda okuma hata oranlarının %2'e yakın ve altında olduğu saptanmıştır.

3.2.4 Verilerin Değerlendirmesi

Deneme 4 tekerrürlü olarak kurulmuş ve sonuçlandırılmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde $ort \pm std$ hesaplaması excel paket programıyla yapılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

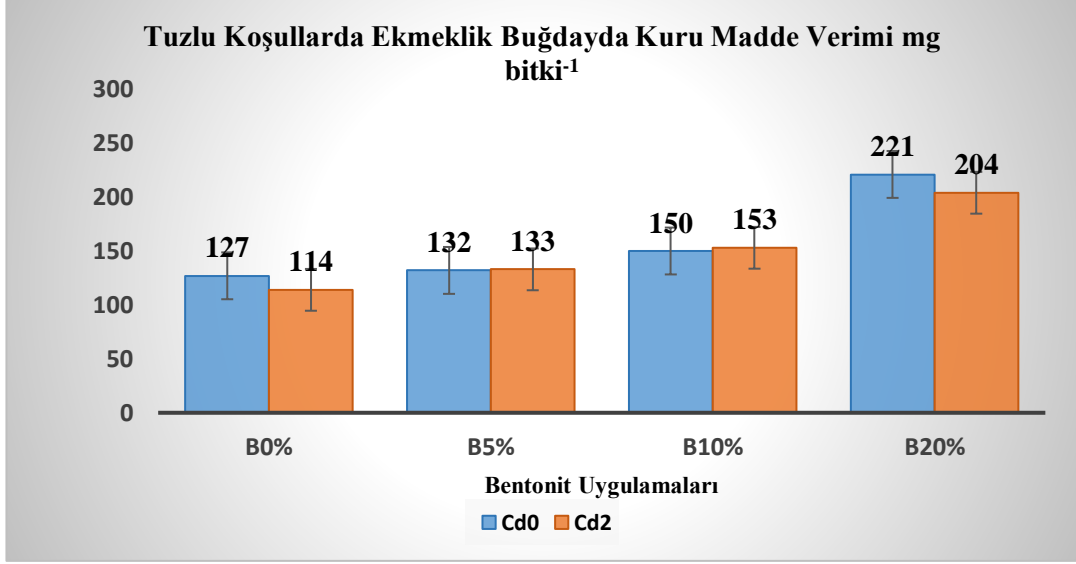
4.1 Yeşil Aksam Kuru Madde Verimi

Araştırmada yetiştirilen, tuzlu koşullarda ekmeçlik (Vittorio) ve makarnalık (Cesare) buğday bitkisine 2 farklı Cd (0, 2 mg kg⁻¹) ve 4 farklı bentonit (%0, %5, %10, %20) uygulamaları sonucunda ekmeçlik ve makarnalık buğdayda yeşil aksam kuru madde ağırlıkları Çizelge 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeçlik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Kuru Madde Ağırlığı Üzerine Etkisi

Yeşil Aksam Kuru Madde Ağırlığı (mg bitki ⁻¹)				
Çeşit	Ekmeçlik Buğday		Makarnalık Buğday	
Uygulamalar	4000 ppm NaCl			
Bentonit	Cd0	Cd 2	Cd0	Cd 2
0%	127 ± 11	114 ± 10	70 ± 6	121 ± 7
5%	132 ± 4	133 ± 9	126 ± 3	102 ± 6
10%	150 ± 12	153 ± 6	95 ± 3	117 ± 5
20%	221 ± 26	204 ± 13	140 ± 8	130 ± 5

Tuzlu koşullarda artan bentonit ve Cd uygulamaları sonucu ekmeçlik buğdayda yeşil aksam kuru madde miktarında kontrole göre artışlar meydana gelmiştir. Cd0 kontrol uygulamasında yeşil aksam kuru madde miktarı 127 mg bitki⁻¹ olarak belirlenirken Bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası ile 132, 150 ve 221 mg bitki⁻¹ olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.1, Şekil 4.1 ve Şekil 4.2).



Şekil 4.1 Tuzlu Koşullarda Ekmeklik Buğdayın Bentonit ve Cd Uygulamalarında Ortalama Kuru Madde Miktarı Üzerine Etkisi (mg bitki⁻¹)



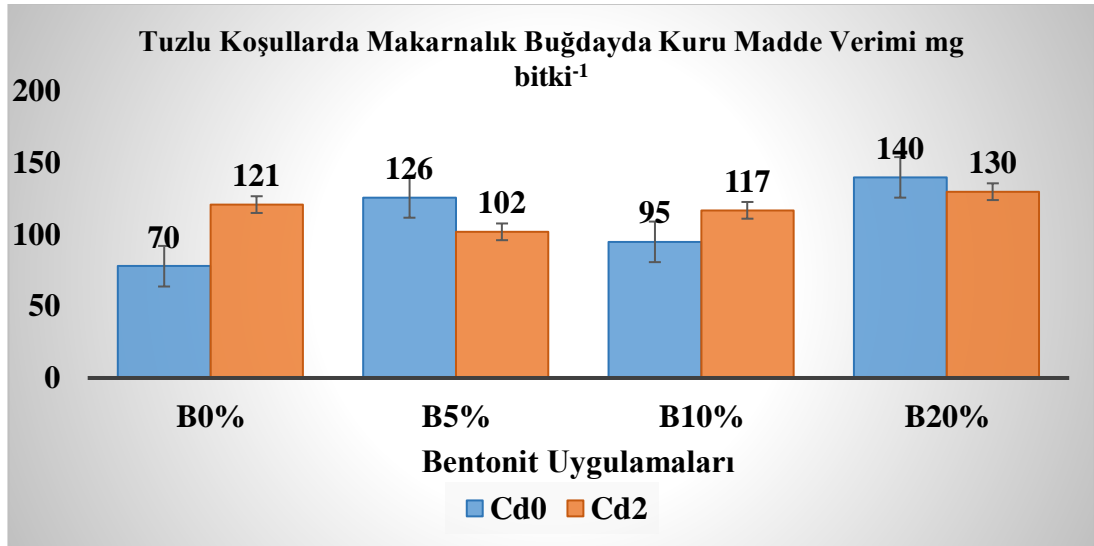
Şekil 4.2 Tuzlu Koşullarda Cd0 ve Bentonitin %0, %5, %10, %20 Uygulamaları Altında Yetiştirilen Ekmeklik Buğdayın Kuru Madde Miktarı

Cd 2 mg kg⁻¹ uygulamasında kontrol uygulamasında yeşil aksam kuru madde miktarı 114 mg bitki⁻¹ olarak belirlenirken bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası ile 133, 153 ve 204 mg bitki⁻¹ olarak elde edilmiştir (Şekil 4.1 ve Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Tuzlu Koşullarda Cd²⁺ ve Bentonitin %0, %5, %10, %20 Uygulamaları Altında Yetiştirilen Ekmeklik Buğdayın Kuru Madde Miktarı

Çalışma sonunda makarnalık buğdayda yeşil aksam kuru madde miktarında kontrole göre artışlar meydana gelmiştir. Makarnalık buğdayda Cd⁰ kontrol uygulamasında yeşil aksam kuru madde miktarı 78 mg bitki⁻¹ olarak belirlenirken bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası ile 126, 95 ve 140 mg bitki⁻¹ olarak elde edilmiştir. Cd²⁺ uygulamasında kontrol uygulamasında yeşil aksam kuru madde miktarı 121 mg bitki⁻¹ olarak belirlenirken bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası ile 102, 117 ve 130 mg bitki⁻¹ olarak elde edilmiştir (Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6).



Şekil 4.4 Tuzlu Koşullarda Makarnalık Buğdayın Bentonit ve Cd Uygulamalarında Ortalama Kuru Madde Miktarı Üzerine Etkisi (mg bitki^{-1})



Şekil 4.5 Tuzlu Koşullarda Cd0 ve Bentonitin %0, %5, %10, %20 Uygulamaları Altında Yetiştirilen Makarnalık Buğdayın Kuru Madde Miktarı



Şekil 4.6 Tuzlu Koşullarda Cd2 ve Bentonitin %0, %5, %10, %20 Uygulamaları Altında Yetiştirilen Makarnalık Buğdayın Kuru Madde Miktarı

Hem ekmeklik hem de makarnalık buğdayda Cd0 ve Cd2 uygulamalarında kontrole göre en fazla kuru madde artışı %20 bentonit uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 4.1). Buna göre ekmeklik buğdayda yeşil aksam kuru madde miktarında Cd0 ve Cd2 de kontrole göre sırasıyla %74 ve %79 oranında artış olurken makarnalık buğdayda Cd0 ve Cd2 de kontrole göre sırasıyla %200 ve %7 oranında artış olmuştur. Tuzlu koşullarda Cd ve Bentonit uygulamaları sonucunda ekmeklik buğdayın makarnalık buğdaydan daha fazla kuru madde miktarına sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.1, Şekil 4.1).

Kalınbacak ve ark., (2012) sera koşullarında ekmeklik buğdaya farklı dozlarda (0, 5, 15, 30 ve 45 mg kg⁻¹ Cd) Cd uygulayarak kuru madde verimini araştırmışlardır. Toprağa uygulanan Cd dozlarının artması ile buğday bitkisinde hem toksik etki hemde yeşil aksam kuru madde miktarında azalmaların meydana geldiğini belirlemişlerdir. Shafi ve ark., (2011) buğday bitkisine NaCl (75–150 mM) ve Cd (2–4 µM) uygulaması sonucunda bitkinin yeşil aksam kuru madde veriminde azalmaların meydana geldiğini saptamışlardır. Özkutlu (2020) sera koşullarında yapmış olduğu bir çalışmada farklı Cd dozları (0, 0.2 ve 1.0 mg kg⁻¹) ve farklı tuz formları altında (NaCl, Na₂SO₄ ve CaCl₂) yetiştirilen Makarnalık (*Triticum durum* L.) buğday bitkisinde yeşil aksam kuru madde üretiminde önemli farklılıkların olduğunu tespit etmiştir. Artan Cd, CaCl₂ uygulamaları dışındaki tüm tuz uygulamalarında bitkilerin kuru madde verimini azaltma eğilimi göstermiştir. Toprağa uygulanan bütün tuz uygulamalarının kontrole göre kuru madde veriminde azalmaları meydana getirdiğini belirlemiştir. Kumararaja (2016) sera koşullarında yaptığı bir saksı çalışmasında, Bentonitin %2 uygulaması sonucunda, Amaranth bitkisinin kuru madde verimini birinci hasatta %76.5 ve ikinci hasatta %41.7 oranında arttığını tespit etmiştir.

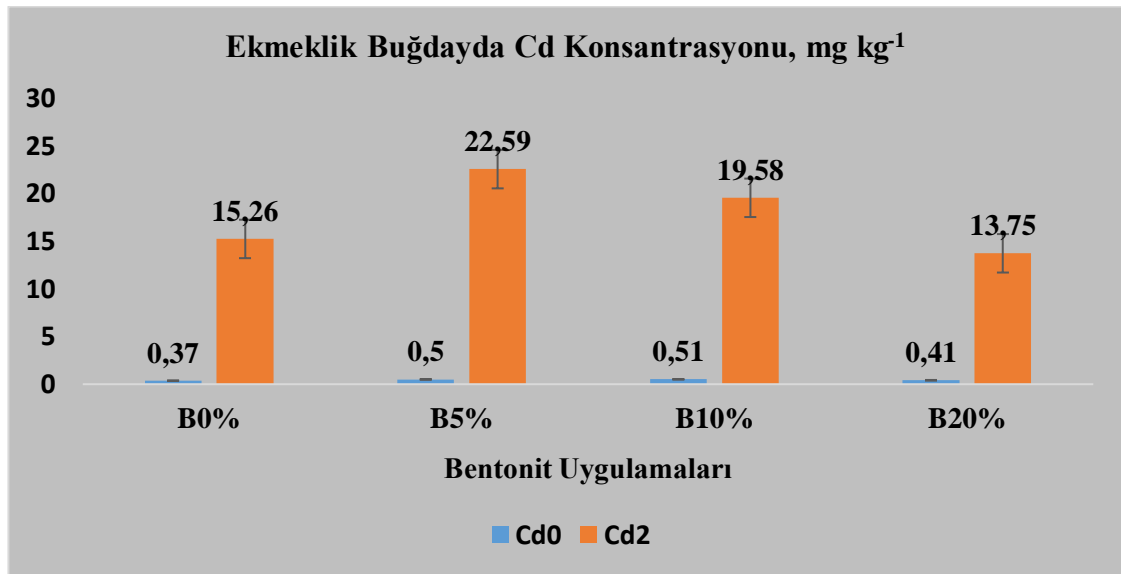
4.2 Yeşil Aksam Kadmiyum (Cd) Konsantrasyonu

Araştırmada yetiştirilen, tuzlu koşullarda ekmeklik (Vittorio) ve makarnalık (Cesare) buğday bitkisine 2 farklı Cd (0, 2 mg kg⁻¹) ve 4 farklı bentonit (%0, %5, %10, %20) uygulamaları sonucunda ekmeklik ve makarnalık buğdayda yeşil aksam kadmiyum konsantrasyonları Çizelge 4.2 de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Kadmiyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi

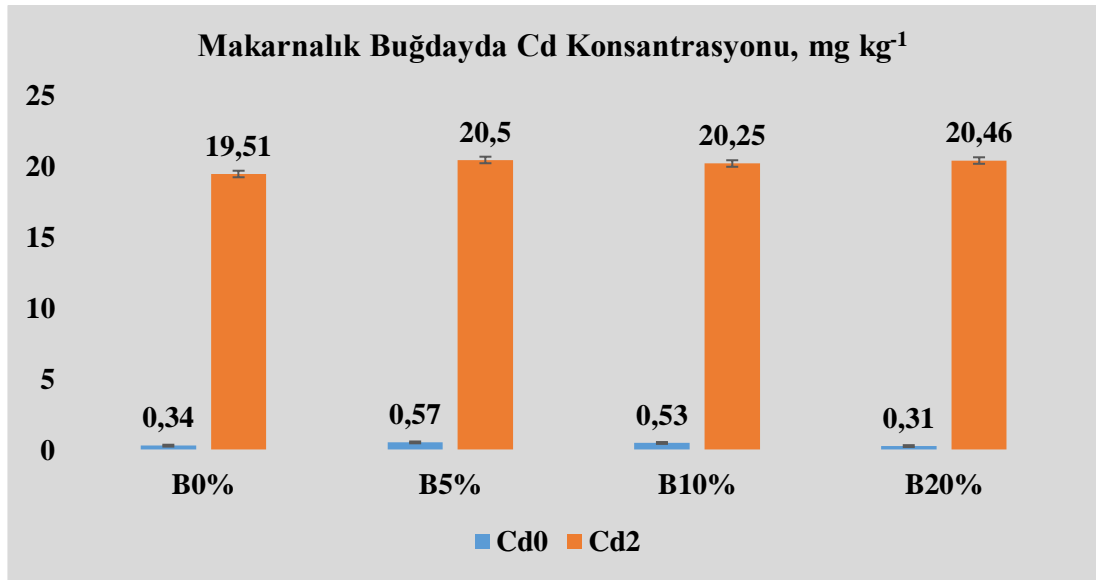
Yeşil Aksam Kadmiyum Konsantrasyonu, mg kg ⁻¹				
Çeşit	Ekmeklik Buğday		Makarnalık Buğday	
Uygulamalar	4000 ppm NaCl			
	Cd0	Cd 2	Cd0	Cd 2
Bentonit	ppm	ppm	ppm	ppm
0%	0.37 ± 0.05	15.26 ± 2.96	0.34 ± 0.07	19.51 ± 0.41
5%	0.50 ± 0.02	22.59 ± 1.77	0.57 ± 0.10	20.50 ± 1.04
10%	0.51 ± 0.04	19.58 ± 2.56	0.53 ± 0.04	20.25 ± 1.14
20%	0.41 ± 0.05	13.75 ± 0.45	0.31 ± 0.02	20.46 ± 1.23

Yapılan uygulamalar sonucunda ekmeklik buğdayda kontrol uygulamasına göre en fazla Cd artışı %10 bentonit uygulamasında 0.51 mg kg⁻¹ olarak elde edilirken %20 bentonit uygulaması ile daha az bir artış meydana gelerek 0.41 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Cd2 uygulamasında yeşil aksam Cd konsantrasyonlarında kontrole göre farklılıklar meydana gelmiştir. %0 Bentonit uygulamasında Cd konsantrasyonu 15.26 olarak belirlenmiştir. %5 ve %10 bentonit uygulamasında kontrole göre artışlar meydana gelirken, %20 bentonit uygulamasında azalmalar meydana gelmiştir. Bentonitin %5, %10 ve %20 uygulamalarında yeşil aksam Cd konsantrasyonları sırasıyla 22.59, 19.58 ve 13.75 mg kg⁻¹ olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.2, Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Tuzlu Koşullarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik Buğdayda Yeşil Aksam Cd Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (mg kg^{-1})

Makarnalık buğdayda yeşil aksam kadmiyum konsantrasyonunda kontrole göre artışlar meydana gelmiştir. Makarnalık buğdayda Cd0 kontrol uygulamasında yeşil aksam kadmiyum miktarı 0.34 mg kg^{-1} olarak belirlenirken bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası ile 0.57 , 0.53 ve 0.31 mg kg^{-1} olarak elde edilmiştir. Cd2 uygulamasında kontrol uygulamasında yeşil aksam kadmiyum konsantrasyonu 19.51 mg kg^{-1} olarak belirlenirken bentonitin %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası ile 20.50 , 20.25 ve 20.46 mg kg^{-1} olarak saptanmıştır (Çizelge 4.2 ve Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Tuzlu Koşullarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Cd Konsantrasyonu Üzerine Etkisi (mg bitki^{-1})

Shafi ve ark., (2011) tarafından artan Cd uygulanmasının buğday bitkisinde Cd'nin bitkiye kolay bir şekilde taşındığını ve Cd stresi altında NaCl tuzunun bitkiye daha fazla Cd taşınmasına neden olduğu bildirmişlerdir. Pei ve ark., (2021) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise bentonitin toprakta Cd'nin değişebilirliğini önemli ölçüde engelleyebileceğini göstermişlerdir.

Tahıl tanelerinde kadmiyum birikimine yol açan önemli faktörlerden birisi de toprak tuzluluğudur. Tahıllar arasında makarnalık buğday Cd toksitesine en hassas olan bitki olarak bilinmektedir (Özkutlu, 2019). Özkutlu (2019) makarnalık buğday bitkisine farklı dozlarda Cd (0 ve 1.0 mg kg^{-1}) ve NaCl (0 , 200 ve 1000 mg kg^{-1}) uygulaması ile tane Cd konsantrasyonunu araştırmıştır. Kontrol bitkilerinde tane Cd

konsantrasyonu 21 $\mu\text{g kg}^{-1}$ iken NaCl'nin 200 ve 1000 mg kg^{-1} dozlarında ise, sırasıyla %300 ve %400 artış meydana gelerek 60 ve 75 $\mu\text{g kg}^{-1}$ olduğunu belirlemiştir. Kadmiyum uygulanmış toprakta tanenin Cd içeriği kontrol bitkilerinde 1325 $\mu\text{g kg}^{-1}$ olarak belirlenirken, 200 ve 1000 mg kg^{-1} NaCl ile muamele edilen bitkilerde 1778 ve 2411 $\mu\text{g kg}^{-1}$ olduğu saptanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, topraktaki Cd seviyesi çok düşük olsa bile, toprak tuzluluğunun tanede Cd birikimini artırdığını ortaya koymuştur. Özkutlu ve Erdem (2018) yaptıkları çalışmada ekmeklik buğday çeşidine kıyasla makarnalık buğday çeşidinin topraktan daha fazla Cd kaldırdığını belirlemişlerdir.

4.3 Yeşil Aksam Fosfor (P) Konsantrasyonu

Araştırmada yetiştirilen, tuzlu koşullarda ekmeklik (Vittorio) ve makarnalık (Cesare) buğday bitkisine 2 farklı Cd (0, 2 mg kg^{-1}) ve 4 farklı bentonit (%0, %5, %10, %20) uygulamaları sonucunda ekmeklik ve makarnalık buğdayda yeşil aksam fosfor (P) konsantrasyonları Çizelge 4.3 de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Fosfor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi

Yeşil Aksam Fosfor Konsantrasyonu, %				
Çeşit	Ekmeklik Buğday		Makarnalık Buğday	
	4000 ppm NaCl			
Uygulamalar	Cd0	Cd 2	Cd0	Cd 2
Bentonit	ppm	ppm	ppm	ppm
0%	0.34 ± 0.08	0.41 ± 0.05	0.37 ± 0.05	0.43 ± 0.06
5%	0.44 ± 0.04	0.41 ± 0.04	0.47 ± 0.05	0.43 ± 0.06
10%	0.42 ± 0.05	0.38 ± 0.04	0.40 ± 0.03	0.46 ± 0.07
20%	0.46 ± 0.09	0.46 ± 0.09	0.63 ± 0.03	0.48 ± 0.11

Yapılan çalışma sonucunda ekmeklik buğdayda Cd0 uygulamasında artan bentonit uygulamaları ile kontrole göre artışlar meydana gelmiştir. kontrol uygulamasında yeşil aksam P konsantrasyonu %0.34 iken %5, %10 ve %20 bentonit uygulamalarında sırası ile %0.44, %0.42 ve %0.46 olarak belirlenmiştir. Cd2 uygulamasında P konsantrasyonu kontrolde %0.41 iken bentonitin %5, %10 ve %20 uygulamasında sırası ile %0.41, %0.38 ve %0.46 olarak belirlenmiştir. Hem Cd0

hemde Cd₂ de kontrol uygulamasına göre en fazla P artışı %20 bentonit uygulamasında ve her iki uygulamada da %0.46 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.3).

Makarnalık buğdayda Cd₀ kontrol uygulamasında yeşil aksam fosfor konsantrasyonu %0.37 olarak belirlenirken bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası ile %0.47, %0.40 ve %0.63 olarak belirlenmiştir. Cd₂ uygulamasında kontrol uygulamasında yeşil aksam fosfor konsantrasyonu %0.43 olarak belirlenirken bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası ile %0.43, %0.46 ve %0.48 olarak elde edilmiştir. Hem Cd₀ hem de Cd₂ uygulamasında yeşil aksam P konsantrasyonunda kontrole göre en fazla artış %20 bentonit uygulamasında sırası ile %70 ve %12 olarak belirlenmiştir. Hem ekmeklik hem de makarnalık buğday çeşitlerinde yeşil aksam P konsantrasyonunda kontrole göre en fazla artış %20 bentonit uygulamasında olduğu belirlenmiştir.

Özkutlu (2020) yapmış olduğu çalışmada brokoli bitkisine 3 farklı Cd (0.1, 0.5 ve 2.5 mg Cd kg⁻¹) ve 4 farklı tuz (0, 200, 600, ve 1800 mg NaCl kg⁻¹) uygulamıştır. Artan tuz ve Cd uygulamaları altında yetiştirilen brokoli bitkisinin yeşil aksam P konsantrasyonlarında önemli bir değişikliğin meydana gelmediğini belirlemiştir.

4.4 Yeşil Aksam Potasyum (K) Konsantrasyonu

Araştırmada yetiştirilen, tuzlu koşullarda ekmeklik (Vittorio) ve makarnalık (Cesare) buğday bitkisine 2 farklı Cd (0, 2 mg kg⁻¹) ve 4 farklı bentonit (%0, %5, %10, %20) uygulamaları sonucunda ekmeklik ve makarnalık buğdayda yeşil aksam potasyum konsantrasyonları Çizelge 4.4 de verilmiştir.

Çizelge 4.4 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Potasyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi

Çeşit Uygulamalar	Yeşil Aksam Potasyum Konsantrasyonu, %			
	Ekmeklik Buğday		Makarnalık Buğday	
	4000 ppm NaCl			
Bentonit	Cd ₀ ppm	Cd ₂ ppm	Cd ₀ ppm	Cd ₂ ppm
0%	4.59 ± 0.13	4.54 ± 0.44	2.91 ± 0.07	3.24 ± 0.06
5%	4.58 ± 0.11	4.79 ± 0.08	3.08 ± 0.04	3.18 ± 0.11
10%	4.53 ± 0.27	4.71 ± 0.25	2.92 ± 0.10	3.08 ± 0.12
20%	5.04 ± 0.53	5.14 ± 0.29	2.98 ± 0.12	2.91 ± 0.42

Yapılan çalışma sonucunda ekmeklik buğdayda Cd₀ uygulamasında artan bentonit uygulamaları ile kontrole göre farklılıklar meydana gelmiştir. Hem Cd₀

hemde Cd2 uygulamasında kontrole göre en fazla artış %20 bentonit uygulamasında sırası ile %5.04 ve %5.14 olarak belirlenmiştir. Makarnalık buğday çeşidinde yeşil aksam K konsantrasyonunda Cd0 uygulamalarında kontrole göre artışlar meydana gelirken, Cd2 uygulamalarında ise kontrole göre azalmalar meydana gelmiştir. Cd2 de kontrol uygulamasında K konsantrasyonu %3.24 iken en fazla düşüş %20 bentonit uygulamasında olup %2.91 olarak saptanmıştır.

Jalil ve ark., (1994) yapmış olduğu bir çalışmada kadmiyum stresine maruz bırakılmış buğdayın besin elementleri konsantrasyonlarında farklılıkların meydana geldiği ve Cd'nin yeşil aksam K konsantrasyonunu azalttığı belirlenmiştir.

4.5 Yeşil Aksam Kalsiyum (Ca) Konsantrasyonu

Araştırmada yetiştirilen, tuzlu koşullarda ekmeklik (Vittorio) ve makarnalık (Cesare) buğday bitkisine 2 farklı Cd (0, 2 mg kg⁻¹) ve 4 farklı bentonit (%0, %5, %10, %20) uygulamaları sonucunda ekmeklik ve makarnalık buğdayda yeşil aksam kalsiyum konsantrasyonları Çizelge 4.5 de verilmiştir.

Çizelge 4.5 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Kalsiyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi

Yeşil Aksam Kalsiyum Konsantrasyonu, %				
Çeşit	Ekmeklik Buğday		Makarnalık Buğday	
	4000 ppm NaCl			
Uygulamalar	Cd0	Cd 2	Cd0	Cd 2
Bentonit	ppm	ppm	ppm	ppm
0%	0.63 ± 0.04	0.78 ± 0.05	0.82 ± 0.04	0.91 ± 0.07
5%	0.60 ± 0.01	0.75 ± 0.03	0.73 ± 0.02	0.84 ± 0.05
10%	0.59 ± 0.02	0.69 ± 0.03	0.73 ± 0.02	0.80 ± 0.05
20%	0.53 ± 0.03	0.67 ± 0.01	0.67 ± 0.08	0.70 ± 0.06

Yapılan çalışma sonucunda ekmeklik buğdayda Cd0 uygulamasında artan bentonit uygulamaları ile kontrole göre azalmalar meydana gelmiştir. Kontrol uygulamasında yeşil aksam Ca konsantrasyonu %0.63 iken %5, %10 ve %20 bentonit uygulamalarında sırası ile %0.60 %0.59 ve %0.53 olarak belirlenmiştir. Cd2 uygulamasında artan bentonit dozları ile birlikte yeşil aksam Ca konsantrasyonlarında da azalmalar meydana gelmiştir. Kontrol uygulamasında yeşil aksam Ca

konsantrasyonu %0.78 iken bentonitin %5, %10 ve %20 uygulamasında sırası ile %0.75, %0.69 ve %0.67 olarak belirlenmiştir. Cd'nin her iki uygulamasında da kontrole göre en fazla azalma %20 bentonit uygulamalarında meydana gelmiştir (Çizelge 4.5).

Yapılan uygulamalar sonucunda makarnalık buğdayda yeşil aksam kalsiyum konsantrasyonunda kontrole göre azalmalar meydana gelmiştir. Cd0 kontrol uygulamasında yeşil aksam kalsiyum miktarı %0.82 olarak belirlenirken Bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası ile %0.73, %0.73, %0.67 olarak elde edilmiştir. Cd2 uygulamasında kontrol uygulamasında yeşil aksam kalsiyum konsantrasyonu %0.91 olarak belirlenirken bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası ile %0.84, %0.80, %0.70 olarak elde edilmiştir.

Bitkiler Cd'yi Cd^{2+} şeklinde alır ve bu durum Ca^{2+} benzediğinden dolayı bu elementler arasında rekabet olduğu yapılan bazı çalışmalarda belirlenmiştir (Fox, 1988; Jacobs ve ark., 1978; McKenna ve ark., 1992; Reeves, 2001; Reeves ve Chaney, 2001).

4.6 Yeşil Aksam Magnezyum (Mg) Konsantrasyonu

Araştırmada yetiştirilen, tuzlu koşullarda ekmeklik (Vittorio) ve makarnalık (Cesare) buğday bitkisine 2 farklı Cd (0, 2 mg kg⁻¹) ve 4 farklı bentonit (%0, %5, %10, %20) uygulamaları sonucunda ekmeklik ve makarnalık buğdayda yeşil aksam magnezyum konsantrasyonları Çizelge 4.6 da verilmiştir.

Çizelge 4.6 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Magnezyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi

Yeşil Aksam Magnezyum Konsantrasyonu, %				
Çeşit	Ekmeklik Buğday		Makarnalık Buğday	
	4000 ppm NaCl			
Uygulamalar	Cd0	Cd 2	Cd0	Cd 2
Bentonit	ppm	ppm	ppm	ppm
0%	0.18 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.13 ± 0.00	0.12 ± 0.01
5%	0.16 ± 0.01	0.17 ± 0.00	0.12 ± 0.00	0.11 ± 0.01
10%	0.14 ± 0.00	0.15 ± 0.02	0.11 ± 0.00	0.11 ± 0.01
20%	0.15 ± 0.02	0.15 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.10 ± 0.01

Yapılan çalışmada ekmeklik ve makarnalık buğdayda Cd0 ve Cd2 uygulamalarına artan bentonit uygulamalarıyla yeşil aksam Mg konsantrasyonlarında önemli farklılıklar meydana gelmemiştir. Bütün uygulamalarda yakın sonuçlar elde edilmiştir (Çizelge 4.6).

Topraklarda Cd'nin yüksek konsantrasyonlarda bulunması bitki kök sistemine zarar vermekte ve Cd'nin kontrolsüz bir şekilde bitki tarafından alınımının arttığı yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur (Marschner, 1998; Dheri ve ark., 2007). Buna bağlı olarak makro besin elementlerinin bitkiye taşınımı azalmakta ve bitki veriminin azaldığı görülmektedir. Siedlecka (1995) Toprakta Cd'nin yüksek miktarlarda bulunması sonucunda bitkilerde bazı makro besin element noksanlıklarının meydana geldiği saptanmıştır.

4.7 Yeşil Aksam Kükürt (S) Konsantrasyonu

Araştırmada yetiştirilen, tuzlu koşullarda ekmeklik (Vittorio) ve makarnalık (Cesare) buğday bitkisine 2 farklı Cd (0, 2 mg kg⁻¹) ve 4 farklı bentonit (%0, %5, %10, %20) uygulamaları sonucunda ekmeklik ve makarnalık buğdayda yeşil aksam kükürt konsantrasyonları Çizelge 4.7 de verilmiştir.

Çizelge 4.7 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Kükürt Konsantrasyonu Üzerine Etkisi

Yeşil Aksam Kükürt Konsantrasyonu, %				
Çeşit	Ekmeklik Buğday		Makarnalık Buğday	
	4000 ppm NaCl			
Uygulamalar	Cd0	Cd 2	Cd0	Cd 2
Bentonit				
0%	0.25 ± 0.02	0.29 ± 0.02	0.29 ± 0.01	0.29 ± 0.06
5%	0.27 ± 0.02	0.29 ± 0.01	0.28 ± 0.02	0.29 ± 0.02
10%	0.25 ± 0.02	0.28 ± 0.02	0.30 ± 0.02	0.30 ± 0.02
20%	0.28 ± 0.06	0.33 ± 0.03	0.35 ± 0.03	0.28 ± 0.01

Yapılan çalışmada hem ekmeklik hemde makarnalık buğdayda yeşil aksam S konsantrasyonunda Cd0 ve Cd2 de kontrole göre farklılıklar meydana gelmiştir. Ekmeklik buğdayda Cd0 da kontrol uygulamasında yeşil aksam S konsantrasyonu % 0.25 iken %5,%10 ve %20 bentonit uygulamalarında %0.27,%0.25 ve %0.28 olarak belirlenmiştir. Cd2 de kontrol uygulamasında yeşil aksam S konsantrasyonu %0.29

iken bentonitin %5, %10 ve %20 uygulamasında sırası ile %0.29, %0.28 ve %0.33 olarak belirlenmiştir. Makarnalık buğdayda Cd0 kontrol uygulamasında yeşil aksam kükürt miktarı %0.29 olarak belirlenirken bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası ile %0.28,%0.30 ve %0.35 olarak belirlenmiştir. Cd2 uygulamasında kontrol uygulamasında yeşil aksam kükürt konsantrasyonu %0.29 olarak belirlenirken bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası ile %0.29, %0.3 ve %0.28 olarak elde edilmiştir.

4.8 Yeşil Aksam Sodyum (Na) Konsantrasyonu

Araştırmada yetiştirilen, tuzlu koşullarda ekmeklik (Vittorio) ve makarnalık (Cesare) buğday bitkisine 2 farklı Cd (0, 2 mg kg⁻¹) ve 4 farklı bentonit (%0, %5, %10, %20) uygulamaları sonucunda ekmeklik ve makarnalık buğdayda yeşil aksam sodyum konsantrasyonları Çizelge 4.8 de verilmiştir.

Çizelge 4.8 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Sodyum Konsantrasyonu Üzerine Etkisi

Yeşil Aksam Sodyum Konsantrasyonu, %				
Çeşit	Ekmeklik Buğday		Makarnalık Buğday	
	4000 ppm NaCl			
Uygulamalar	Cd0	Cd 2	Cd0	Cd 2
Bentonit	ppm	ppm	ppm	ppm
0%	0.87 ± 0.06	1.05 ± 0.65	4.62 ± 0.43	3.07 ± 0.20
5%	0.67 ± 0.10	0.63 ± 0.07	3.79 ± 0.06	3.06 ± 0.11
10%	0.62 ± 0.18	0.72 ± 0.12	3.72 ± 0.06	3.23 ± 0.25
20%	0.50 ± 0.09	0.51 ± 0.16	3.79 ± 0.18	2.96 ± 0.12

Yapılan çalışmada ekmeklik buğdayda Cd0 ve Cd2 de kontrole göre azalmalar meydana gelmiştir. Cd0 da kontrol uygulamasında yeşil aksam Na konsantrasyonu %0.87 iken bentonitin %5,%10 ve %20 uygulamalarında sırası ile %0.67,%0.62 ve% 0.50 olarak elde edilmiştir. Cd2 de kontrol uygulamasında yeşil aksam Na konsantrasyonu %1.05 iken bentonitin %5, %10 ve %20 uygulamasında sırası ile %0.63, %0.72 ve %0.51 olarak belirlenmiştir. Cd2 uygulamasında kontrol uygulamasında yeşil aksam Na konsantrasyonu %1.05 olarak belirlenirken bentonit

%5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası ile % 0.63, %0.72 ve % 0.51 olarak elde edilmiştir.

Makarnalık buğdayda yeşil aksam sodyum konsantrasyonunda kontrole göre azalmalar meydana gelmiştir. Makarnalık buğdayda Cd0 kontrol uygulamasında yeşil aksam Na miktarı %4.62 olarak belirlenirken bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası ile %3.79, %3.72, %3.79 olarak elde edilmiştir. Cd2 uygulamasında kontrol uygulamasında yeşil aksam Na konsantrasyonu %3.07 olarak belirlenirken bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası ile %3.06, %3.23, %2.96 olarak elde edilmiştir.

4.9 Yeşil Aksam Demir (Fe) Konsantrasyonu

Araştırmada yetiştirilen, tuzlu koşullarda ekmeklik (Vittorio) ve makarnalık (Cesare) buğday bitkisine 2 farklı Cd (0, 2 mg kg⁻¹) ve 4 farklı bentonit (%0, %5, %10, %20) uygulamaları sonucunda ekmeklik ve makarnalık buğdayda yeşil aksam demir konsantrasyonları Çizelge 4.9 da verilmiştir.

Çizelge 4.9 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Demir Konsantrasyonu Üzerine Etkisi

Yeşil Aksam Demir Konsantrasyonu, mg kg ⁻¹				
Çeşit Uygulamalar	Ekmeklik Buğday		Makarnalık Buğday	
	4000 ppm NaCl			
	Cd0	Cd 2	Cd0	Cd 2
Bentonit	ppm	ppm	ppm	ppm
0%	66 ± 4	85 ± 4	58 ± 2	69 ± 3
5%	71 ± 2	106 ± 29	61 ± 3	76 ± 6
10%	73 ± 9	140 ± 59	61 ± 9	74 ± 10
20%	70 ± 6	78 ± 6	59 ± 2	69 ± 10

Yapılan uygulamalar sonucunda ekmeklik buğdayda yeşil aksam demir konsantrasyonunda kontrole göre artışlar meydana gelmiştir. Ekmeklik buğdayda Cd0 kontrol uygulamasında yeşil aksam demir miktarı 66 mg kg⁻¹ olarak belirlenirken bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası ile 71 mg kg⁻¹, 73 mg kg⁻¹ ve 70 mg kg⁻¹ olarak elde edilmiştir. Cd2 uygulamasında kontrol uygulamasında yeşil aksam demir konsantrasyonu %85 olarak belirlenirken bentonit %5, %10 ve %20

uygulamalarında sırası ile 106, 140 ve 78 mg kg⁻¹ olarak elde edilmiştir. Makarnalık buğdayda yeşil aksam demir konsantrasyonunda kontrole göre artışlar meydana gelmiştir. Makarnalık buğdayda Cd0 kontrol uygulamasında yeşil aksam demir miktarı %58 olarak belirlenirken Bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası ile %61, %61 ve %59 olarak elde edilmiştir. Cd2 uygulamasında kontrol uygulamasında yeşil aksam demir konsantrasyonu 69 mg kg⁻¹ olarak belirlenirken bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası ile 76, 74 ve 69 mg kg⁻¹ olarak elde edilmiştir.

Gallejo ve ark., (2012) tarafından yapılan bir çalışmada toprakta Cd' ye maruz kalan bitkiler, yaprak nispi su içeriğini, stoma iletkenliğini ve terlemeyi en aza indirerek bitkide osmotik stresi indükler ve böylece bitkide fizyolojik hasara neden olduğunu belirlemişlerdir. Bunun sonucunda kadmiyumun Fe ve Zn alımını azaltarak yaprak klorozuna neden olduğunu saptamışlardır. Bao ve ark., 2012 ekmeçlik buğdaya Fe'li ve Fe'siz ortamlarda artan dozlarda Cd (0 mg L⁻¹ 0.01 mg L⁻¹, 0.1 mg L⁻¹, 1 mg L⁻¹) uygulamışlardır. Çalışma sonunda her iki ortamda da buğdayın hem kuru madde miktarında ve hem de yeşil aksam Fe konsantrasyonlarında azalmaların meydana geldiğini belirlemişlerdir.

4.10 Yeşil Aksam Bakır (Cu) Konsantrasyonu

Araştırmada yetiştirilen, tuzlu koşullarda ekmeçlik (Vittorio) ve makarnalık (Cesare) buğday bitkisine 2 farklı Cd (0, 2 mg kg⁻¹) ve 4 farklı bentonit (%0, %5, %10, %20) uygulamaları sonucunda ekmeçlik ve makarnalık buğdayda yeşil aksam bakır konsantrasyonları Çizelge 4.10 da verilmiştir.

Çizelge 4.10 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeçlik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Bakır konsantrasyonu Üzerine Etkisi

Yeşil Aksam Bakır Konsantrasyonu, mg kg ⁻¹				
Çeşit	Ekmeçlik Buğday		Makarnalık Buğday	
	4000 ppm NaCl			
Uygulamalar				
Bentonit	Cd0	Cd 2	Cd0	Cd 2
0%	6.63 ± 0.23	6.66 ± 0.51	6.85 ± 0.42	6.18 ± 0.35
5%	7.58 ± 0.35	5.58 ± 0.67	6.69 ± 0.20	5.20 ± 0.43
10%	7.87 ± 0.65	5.09 ± 0.42	6.57 ± 0.34	5.07 ± 0.55
20%	7.74 ± 0.79	5.14 ± 0.63	7.03 ± 0.40	5.11 ± 0.35

Yapılan uygulamalar sonucunda ekmeklik buğdayda artan dozlarda bentonit uygulamalarıyla Cd0 da kontrole göre artışlar meydana gelirken Cd2 de kontrole göre azalmalar meydana gelmiştir (Çizelge 4.10). Makarnalık buğdayda Cd0 da kontrole göre bentonitin %5 ve %10 uygulamalarında yeşil aksam Cu konsantrasyonunda azalmalar meydana gelirken, %20 uygulamasında ise artış meydana gelmiştir. Cd2 de artan bentonit uygulamaları ile beraber yeşil aksam Cu konsantrasyonlarında da kontrole göre azalmalar meydana gelmiştir. Erdem ve ark., (2012) tütün bitkisine artan dozlarda Cd uygulaması ile yeşil aksam Cu konsantrasyonlarında artışların meydana geldiğini belirlemiştir.

4.11 Yeşil Aksam Çinko (Zn) Konsantrasyonu

Araştırmada yetiştirilen, tuzlu koşullarda ekmeklik (Vittorio) ve makarnalık (Cesare) buğday bitkisine 2 farklı Cd (0, 2 mg kg⁻¹) ve 4 farklı bentonit (%0, %5, %10, %20) uygulamaları sonucunda ekmeklik ve makarnalık buğdayda yeşil aksam çinko konsantrasyonları Çizelge 4.11 de verilmiştir.

Çizelge 4.11 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Zn konsantrasyonu Üzerine Etkisi

Yeşil Aksam Çinko Konsantrasyonu, mg kg ⁻¹				
Çeşit	Ekmeklik Buğday		Makarnalık Buğday	
	4000 ppm NaCl			
Uygulamalar	Cd0	Cd 2	Cd0	Cd 2
Bentonit	ppm	ppm	ppm	ppm
0%	33 ± 2	41 ± 7	43 ± 4	51 ± 3
5%	38 ± 2	45 ± 4	39 ± 3	45 ± 4
10%	36 ± 2	38 ± 6	32 ± 2	41 ± 6
20%	34 ± 3	40 ± 3	37 ± 3	35 ± 9

Yapılan uygulamalar sonucunda ekmeklik buğdayda yeşil aksam Zn konsantrasyonunda kontrole göre azalmalar meydana gelmiştir. Ekmeklik buğdayda Cd0 kontrol uygulamasında yeşil aksam Zn miktarı % 33 olarak belirlenirken Bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası% 38, %36,% 34 olarak elde edilmiştir. Cd2 uygulamasında kontrol uygulamasında yeşil aksam Zn konsantrasyonu %41olarak belirlenirken bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası ile %45,% 38,%40

olarak elde edilmiştir. Makarnalık buğdayda yeşil aksam Zn konsantrasyonunda kontrole göre azalmalar meydana gelmiştir. Cd0 kontrol uygulamasında yeşil aksam Zn miktarı % 43 olarak belirlenirken bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası 39, 32 ve 37 mg kg⁻¹ olarak elde edilmiştir. Cd2 uygulamasında kontrol uygulamasında yeşil aksam Zn konsantrasyonu 51 mg kg⁻¹ olarak belirlenirken bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası ile 45, 41 ve 35 mg kg⁻¹ olarak elde edilmiştir.

Kadmiyum uygulamalarıyla beraber bitki Zn konsantrasyonlarında meydana gelen azalmaların Cd*Zn arasında meydana gelen antagonistik ilişkinin bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Çinko eksikliğinde yetişen bitkilerin daha fazla Cd alması, benzer kimyasal özelliklere sahip olan Zn ve Cd'nin membranlar üzerindeki absorpsiyon noktaları için rekabet etmesine (Çakmak, 2000) ve Zn noksanlığında membran geçirgenliğinin artmasına (Cakmak ve Marschner, 1988) bağlanmaktadır. Yapılan birçok çalışmada (Grant ve Bailey., 1997; Grant ve ark., 2002; Erdem ve ark., 2012; Eker ve ark., 2013) Cd'nin bitkide Zn alımını azalttığı ortaya konmuştur.

Kadmiyum ile Zn'nin bazı kimyasal özellikler yönünden benzerlik göstermesi nedeniyle Cd ve Zn arasından antagonistik ve sinergistik ilişki olabilmektedir. Birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalarda değişik bitkilerdeki Zn'nin Cd alımını üzerine antagonistik etkisinin olduğu açıklanmıştır (Özkutlu ve Kara, 2018). Ancak, bitkilerde Zn'nin Cd alımı üzerine sinergistik etkisinin de olduğunu gösteren araştırma sonuçları da bulunmaktadır. Nan ve ark., (2002) tarafından survey amaçlı olarak yapılan bir çalışmada alınan buğday ve toprak örneklerinin analizi sonucunda, tarla koşullarında Cd ve Zn elementlerinin yüksek miktarlarda birlikte bulunduğu yerlerde bitkilerde bu elementlerin biriktiği ve Cd-Zn etkileşiminin sinergistik bir süreç içinde olduğu bildirilmişlerdir. Özkutlu ve Erdem (2018) Cd konsantrasyonu yüksek olan bir toprağa çinko uygulaması ile makarnalık ve ekmeklik buğdayın Cd alımına olan etkisini araştırmışlardır. Hem topraktan hemde yapraktan yapılan uygulamalar sonucunda hem topraktan hem de toprak+yapraktan Zn uygulamaları sonucunda her iki buğday çeşidinin tane Zn konsantrasyonlarında artışlar meydana gelirken tane Cd konsantrasyonlarında ise azalmaların meydana geldiğini belirlenmişlerdir.

4.12 Yeşil Aksam Mangan (Mn) Konsantrasyonu

Araştırmada yetiştirilen, tuzlu koşullarda ekmeklik (Vittorio) ve makarnalık (Cesare) buğday bitkisine 2 farklı Cd (0, 2 mg kg⁻¹) ve 4 farklı bentonit (%0, %5, %10, %20) uygulamaları sonucunda ekmeklik ve makarnalık buğdayda yeşil aksam mangan konsantrasyonları Çizelge 4.12 de verilmiştir.

Çizelge 4.12 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam Mn konsantrasyonu Üzerine Etkisi

Yeşil Aksam Mangan Konsantrasyonu, mg kg ⁻¹				
Çeşit	Ekmeklik Buğday		Makarnalık Buğday	
	4000 ppm NaCl			
Uygulamalar	Cd0	Cd 2	Cd0	Cd 2
Bentonit	ppm	ppm	ppm	ppm
0%	155 ± 33	112 ± 26	115 ± 12	112 ± 5
5%	72 ± 11	65 ± 3	61 ± 6	43 ± 8
10%	63 ± 10	51 ± 13	43 ± 5	48 ± 12
20%	87 ± 26	67 ± 24	72 ± 11	33 ± 9

Yapılan uygulamalar sonucunda ekmeklik ve makarnalık buğdayda artan bentonit doz uygulamaları ile beraber yeşil aksam Mn konsantrasyonunda kontrole göre azalmalar meydana gelmiştir. Ekmeklik buğdayda Cd0 kontrol uygulamasında yeşil aksam Mn miktarı 155 mg kg⁻¹ olarak belirlenirken Bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası 72, 63, 87 mg kg⁻¹ olarak elde edilmiştir. Cd2 uygulamasında kontrol uygulamasında yeşil aksam Mn konsantrasyonu 112 mg kg⁻¹ olarak belirlenirken bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası ile 65, 51 ve 67 mg kg⁻¹ olarak elde edilmiştir. Makarnalık buğdayda yeşil aksam Mn konsantrasyonunda kontrole göre azalmalar meydana gelmiştir. Makarnalık buğdayda Cd0 kontrol uygulamasında yeşil aksam Mn miktarı 115 mg kg⁻¹ olarak belirlenirken Bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası 61, 43 ve 72 mg kg⁻¹ olarak elde edilmiştir. Cd2 uygulamasında kontrol uygulamasında yeşil aksam Mn konsantrasyonu 112 mg bitki⁻¹ olarak belirlenirken bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası ile 43, 48 ve 33 mg kg⁻¹ olarak elde edilmiştir. Ramos ve ark., (2002) marul bitkisine su kültürü koşullarında artan dozlarda Cd uygulaması ile yeşil aksam Fe, Zn ve Cu konsantrasyonlarında azalma, Mn konsantrasyonlarında ise artışların meydana

geldiğini bildirmişlerdir. Yapılan bir başka çalışmada artan dozlarda Cd'nin toprağa uygulanması ile tütün bitkisinin Zn, Fe ve Mn konsantrasyonlarında genel anlamda bir azalmanın meydana geldiğini, bu azalmanın da Cd stresi altında yetişen bitkilerin iyon alımında meydana gelen azalmasının en önemli nedeninin bitki köklerinin Cd toksitesine bağlı olarak zarar görmesi ile beraber kök büyüme ve gelişmesinin engellenmesi şeklinde açıklanmaktadır (Salt ve Rauser, 1995).

4.13 Yeşil Aksam Bor (B) Konsantrasyonu

Araştırmada yetiştirilen, tuzlu koşullarda ekmeklik (Vittorio) ve makarnalık (Cesare) buğday bitkisine 2 farklı Cd (0, 2 mg kg⁻¹) ve 4 farklı bentonit (%0, %5, %10, %20) uygulamaları sonucunda ekmeklik ve makarnalık buğdayda yeşil aksam bor konsantrasyonları Çizelge 4.13 de verilmiştir.

Çizelge 4.13 Tuzlu Koşullarda Artan Dozlarda Bentonit ve Cd Uygulamalarının Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayda Yeşil Aksam B konsantrasyonu Üzerine Etkisi

Yeşil Aksam Bor Konsantrasyonu, mg kg ⁻¹				
Çeşit	Ekmeklik Buğday		Makarnalık Buğday	
Uygulamalar	4000 ppm NaCl			
Bentonit	Cd0	Cd 2	Cd0	Cd 2
0%	2.66 ± 0.16	2.71 ± 0.33	2.60 ± 0.63	2.31 ± 0.14
5%	2.58 ± 0.03	2.39 ± 0.15	2.64 ± 0.31	1.96 ± 0.31
10%	2.74 ± 0.23	2.45 ± 0.09	2.44 ± 0.45	2.25 ± 0.27
20%	2.67 ± 0.36	2.56 ± 0.32	2.50 ± 0.18	2.38 ± 0.23

Yapılan çalışma sonucunda ekmeklik buğdayda Cd0 uygulamasında artan bentonit uygulamaları ile kontrole göre farklılıklar meydana gelmiştir. Kontrol uygulamasında yeşil aksam B konsantrasyonu 2.66 mg kg⁻¹ iken %5, %10 ve %20 bentonit uygulamalarında sırası ile 2.58, 2.74 ve 2.67 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Cd2 uygulamasında artan bentonit dozları ile birlikte yeşil aksam B konsantrasyonunda da azalmalar meydana gelmiştir. Kontrol uygulamasında yeşil aksam K konsantrasyonu %2.71 iken bentonitin %5, %10 ve %20 uygulamasında sırası ile %2.39 %2.45ve %2.56 mg bitki⁻¹ olarak belirlenmiştir. Makarnalık buğdayda Cd0 kontrol uygulamasında yeşil aksam bor konsantrasyonu 2.60 mg kg⁻¹ olarak belirlenirken bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası 2.64, 2.44 ve 2.50 mg

kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Cd2 uygulamasında kontrol uygulamasında yeşil aksam bor konsantrasyonu 2.31 mg kg⁻¹ olarak belirlenirken bentonit %5, %10 ve %20 uygulamalarında sırası ile 1.96, 2.25 ve 2.38 mg kg⁻¹ olarak elde edilmiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Topraktaki ağır metal kirliliği günümüzün en önemli çevre sorunlarından birisidir. Ağır metaller arasında yer alan Cd canlı organizmalar üzerinde toksik etkilere sahiptir ve ekosistemlerdeki en tehlikeli ağır metal kirleticilerinden biridir. Kadmiyum, birincil madde olarak veya endüstriyel faaliyetler ve fosfatlı gübre uygulaması gibi insan faaliyetleri sonucunda toprağa ulaşmaktadır. Tarım topraklarına Cd kontaminasyonu sonunda gıda zincirine dahil olarak insanlığı tehdit etmektedir. Kadmiyum bitki kökleri tarafından kolayca emilebilir ve yeşil kısımlara taşınabilmektedir. Kadmiyum topraktaki ağır metaller arasında diğerlerine göre daha hareketli bir elementtir. Bu nedenle, buğday tarafından topraktan Cd alımını düşürmek için son yıllarda bilimsel çalışmalar hızla artmaktadır. Buğday tarafından Cd alımını azaltmak için biochar, organik iyileştiriciler, mineral gübreler, çeşitli besin elementleri, hayvan gübresi, kompost ve bentonit gibi uygulamalar yapılmaktadır. Bentonit ağır metalleri adsorpsiyonu diğer materyallerle karşılaştırıldığında çok daha etkili olduğu ileri sürülmektedir. Bentonitlerin yüksek KDK'si sayesinde bitkinin ihtiyacı olan besin elementlerinin alımını kolaylaştırarak tarımsal verimliliği arttırmaktadır. Toprak tuzluluğu; çözünebilir tuzlar, özellikle kurak ve yarı kurak iklimlerde yıkanarak yer altı suyuna girer ve yer altı suyuna karışır, yüksek yeraltı sularının kılcal hareketi ile toprak yüzeyine ulaşır, buharlaşma sonucunda su topraktan ayrılarak toprak üzerinde ve yakınında birikir. Çoğu bitkinin büyümesini engellemek için yeterli çözünür tuz içeren topraklar tuzlu olarak kabul edilmektedir. Tuzluluk sorunu ülkemizin ve hatta tüm dünyanın karşı karşıya olduğu en büyük sorunlardan biridir. Toprakta tuzluluğu önlemek için çözünebilir tuzların topraktan uzaklaştırılması gerekli olmakla birlikte, toprak sodyum tuzları ise bazı uygulamalar ile toprağın fiziksel olarak bozulmasına neden olabilmektedir. Buğday, güçlü adaptasyon kabiliyeti, uygun üretimi ve ekmeğin hammaddesi olması nedeniyle hem dünyada hem de ülkemizde stratejik bir ürün olarak kabul edilmektedir.

Araştırmada yetiştirilen, ekmeçlik ve makarnalık buğday bitkisine 2 farklı dozda Cd (0, 2 mg kg⁻¹) ve 4 farklı (%0, %5, %10, %20) artan dozlarda bentonit uygulanmıştır. Bu araştırmanın sonuçlarına göre, tuzlu koşullarda bentonit ilavesiyle topraktaki Cd'nin adsorbe edildiği ve buna bağlı olarak daha düşük miktarda Cd taşınmasını gerçekleştirdiği düşünülmektedir. Yapılan çalışmalarda bentonite

uygulamalarının özellikle kumlu topraklarda daha etkin olduğu ortaya konulmuştur. Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçların, kumlu topraklara uygulanmasıyla bitki gelişimini arttırıcı ve Cd alımını da azaltıcı etkinin daha fazla olacağını düşünmekteyiz.

Tuzlu koşullarda Cd'siz ve Cd'li ortamlara artan oranlarda bentonit uygulaması sonucunda önemli bulgular elde edilmiştir. Buna göre;

- ✓ Artan dozlarda bentonit uygulamaları ile bitki kuru madde veriminde artışların meydana geldiği belirlenmiştir. Hem ekmeklik hemde makarnalık buğdayda kontrole göre en fazla kuru madde artışı %20 bentonit uygulamasından elde edilmiştir. Cd0 ve Cd2 de ekmeklik buğdayda yeşil aksam kuru madde verimi sırasıyla 221 ve 224 mg bitki⁻¹ olarak belirlenirken makarnalık buğdayda ise 140 ve 130 mg bitki⁻¹ olarak belirlenmiştir.
- ✓ Ekmeklik buğdayda makarnalık buğdaya göre daha fazla kuru madde verimi elde edilmiştir.
- ✓ Ekmeklik ve makarnalık buğdayın Cd alımı karşılaştırıldığında, makarnalık buğdayın ekmeklik buğdaya göre daha fazla Cd biriktirdiği belirlenmiştir. Her iki çeşitte de Cd2 uygulamasında en fazla Cd birkimi %5 bentonit uygulamasından elde edilmiştir.
- ✓ Uygulamalar sonucunda hem ekmeklik hem de makarnalık buğdayda yeşil aksam kontrole göre Ca, Mg, Na ve Mn konsantrasyonlarında azalmalar meydana gelirken, P ve Fe konsantrasyonlarında da artışlar meydana gelmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Akbulut, A. (1996). "Bentonit", MTA eğitim serisi no:32, Ankara.
- Alloway, BJ. (1995). Soil processes and the behaviour of metals. *Heavy metals in soils*, 13, 3488.
- Amar, C., M., Steve, G., Paul, C., Brian, CS., Colin, G., Andrew, B., Jeffrey, C., Colin, A. & Mark. (2007). Cadmium availability to wheat grain in soils treated with sewage sludge or metal salts. *Chemosphere*, 66, 141-142.
- Ashraf, M. & Foolad, MR. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59, 206-216
- Baker, AJ. & Walker, PL. (1990). Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants. *Heavy Metal Tolerance In Plants: Evolutionary Aspects.*, 155-177.
- Bao, T., Sun, TH. & Sun LN. (2012). Effect of cadmium on physiological responses of wheat and corn to iron deficiency. *Journal of Plant Nutrition* , 35, 1937–1948.
- Benavides, MP., Gallego, SM. & Tomaro, ML. (2005) Cadmium toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17 (1), 21- 34.
- Bolan, N. S., & Duraisamy, V. P. (2003). Role of inorganic and organic soil amendments on immobilisation and phytoavailability of heavy metals: a review involving specific case studies. *Soil Research*, 41(3), 533-555.
- Bouyoucos, GJ. (1951). A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils 1. *Agronomy Journal*, 43(9), 434-438.
- Bray, RH. & Kurtz, LT. (1945). Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59(1), 39-46.
- Bremner, JM. & Mulvaney, CS. (1965). Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties. *Agronomy*, 9, 1179-1237.
- Büyükkılıç, A. (2009). Cadmium contents of soils and durum wheats in Harran plain.
- Carfagna, S., Lanza, N., Salbitani, G., Basile, A., Sorbo, S., Vona, V. (2013). Physiological and morphological responses of lead or cadmium exposed *Chlorella sorokiniana* 211-8K (Chlorophyceae). Springer Plus, 2, 147.
- Chaoui, A. & Ferjani, E. (2005) Effects of cadmium and copper on antioxidant capacities, lignification and auxin degradation in leaves of pea (*Pisum sativum* L.) seedlings. *Comptes Rendus Biologies*, 328, 23-31.
- Chaudri, AM., Allain, CM., Badawy, SH., Adams, ML., McGrath, SP. & Chambers, BJ. (2001). Cadmium content of wheat grain from a long-term field experiment with sewage sludge. *Journal of Environmental Quality*, 30(5), 1575-1580.
- Cheng, Y., Chon, K., Ren, X., Li, M., Kou, Y., Hwang, MH. & Chae, KJ. (2021). Modified bentonite as a conditioning agent for stabilising heavy metals and retaining nutrients in sewage sludge for agricultural uses. *Water Science and Technology*, 84(9), 2252-2264.

- Cieslinski, G., Van Rees, KCJ., Huang, PM., Kozak, L., Rostad, M., Knott, HPW. DR. (1996). Cadmium uptake and bioaccumulation in selected cultivars of durum wheat and flax as affected by soil type. *Plant and Soil*, 182, 115-124.
- Çakmak I. (2000). Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *New Phytologist*. 146, 185-205.
- Da Silva, EC, Nogueira, RJMC., de Araújo, FP., de Melo, NF. & de Azevedo Neto, A. D. (2008). Physiological responses to salt stress in young umbu plants. *Environmental and Experimental Botany*, 63(1-3), 147-157.
- Dalcorso, G., Farinati, S., Maistri, S., Furini, A. (2008) How plants cope with cadmium: Staking all on metabolism and gene expression. *Journal of Integrative Plant Biology*, 50, 1268- 1280.
- Dheri, GS., Singh Brar, M. & Malhi, SS. (2007). Influence of phosphorus application on growth and cadmium uptake of spinach in two cadmium-contaminated soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170(4), 495-499.
- Dobson S (1992) Cadmium: environmental aspects. Environmental health criteria 135. World Health Organization (WHO), Geneva.
- Doumett, S., Lamperi, L., Checchini, L., Azzarello, E., Mugnai, S., Mancuso, S., Petruzzelli, G. & Del Bubba, M. (2008). Heavy metal distribution between contaminated soil ve *Paulownia tomentosa*, in a pilot-scale assisted phytoremediation study: Influence of different complexing agents. *Chemosphere*, 72, 1481-1490.
- Ece, A., Çağlarırnak, N., Camcı Çetin, S., 2001. Çevre kirliliğinin sebep oldu ağır metal kontaminasyonunun sebzelerde (Cd ve Pb) belirlenmesi. Ulusal Çevre ve Ekoloji Sempozyumu, 429-434, Bodrum.
- Ekbic, E., Cagıran, C., Korkmaz, K., Kose, MA., & Aras, V. (2017). Assessment of watermelon accessions for salt tolerance using stress tolerance indices. *Ciência e Agrotecnologia*, 41(6), 616-625.
- Eker, S., Erdem, H., Yazici, MA., Barut, H. & Heybet, EH. (2013). Effects of cadmium on growth and nutrient composition of bread and durum wheat genotypes. *Fresenius Environmental Bulletin*, 22, 1779-1786.
- Ekmekçi, E., Mehmet, Apan. & Tekin, Kara. (2005). Tuzluluğun bitki gelişimine etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 20(3), 118-125.
- El-Nagar, DA. & Abdel-Halim, KY. (2021). Remediation of heavy metals in contaminated soil by using nano-bentonite, nano-hydroxyapatite, and nano-composite. *Land Degradation & Development*, 32(16), 4562-4573.
- Elson, M., Hass, M.D. (2001) Toxic minerals and heavy metals. The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Technical Report Series, 776 Geneva17.
- Erdem, H., Tosun, YK. & Ozturk, M. (2012). Effect of cadmium-zinc interactions on growth and Cd-Zn concentration in durum and bread wheats. *Fresenius Environmental Bulletin* 21,1046–1051.
- Fao, (2021). The State of Food and Agriculture. <http://www.fao.org/faostat/> Erişim, Aralık, 2021.

- Fergusson, JE. & Prucha, FP. (1990). The heavy elements: chemistry, environmental impact and health effects. Oxford: Pergamon press.
- Fox, MRS (1988). Nutritional factors that may influence bioavailability of cadmium. *Journal of Environmental Quality*, 17(2), 175–180.
- Friberg, L. (2018). Molecular analysis of wheat genome using ISSR and RAPD markers. *Cadmium in the Environment*. CRC press.
- Gallego, SM., Pena, LB., Barcia, RA., Azpilicueta, CE., Iannone, MF., Rosales, EP. & Benavides, MP. (2012). Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: insight into regulatory mechanisms. *Environmental and Experimental Botany* 83, 33–46.
- Gouia, H., Gorbil, MH. & Meyer, C. (2000) Effects of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of the nitrate assimilation pathway in bean. *Plant Physiology Biochemistry*, 38, 629-638.
- Grant, CA. & Bailey, LD. (1997). Effects of phosphorus and zinc fertiliser management on cadmium accumulation in flaxseed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 73: 307–314.
- Grant, CA., Bailey, LD., Harapiak, JT. & Flore, NA. (2002). Effect of phosphate source, rate and cadmium content and use of *Penicillium bilaii* on phosphorus, zinc and cadmium concentration in durum wheat grain. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 82(3), 301-308.
- Gray, C.W., McLaren, R.G. and Roberts, A.H.C. 2001. Cadmium concentrations in some New Zealand wheat grain. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 29 (2): 125-136.
- Greger, M. & Löfstedt, M. (2004). Comparison of uptake and distribution of cadmium in different cultivars of bread and durum wheat. *Crop Science*, 44 (2), 501-507.
- Grewelling, T. & Peech, M. (1960). *Chemical Soil Tests*, Cornell University, Agr. Expt. Station Bull., Ithaca, NY.
- Gücer, D. (1992). Türkiye ticari bentonit killerinin özellikleri ve kullanım alanlarının tespiti”, TÜBİTAK-MAM.
- Harris, M., & Taylor, R. (2001). *The Geometry and Cohomology of Some Simple Shimura Varieties*.(AM-151), Volume, 151. Princeton university press.
- Hart, J., Welch, RM., Norvell, WA. & Kochian, LV. (2002). Transport interactions between cadmium and zinc in roots of bread and durum wheat seedlings. *Physiologia Plantarum* 116, 73-78.
- Hassan, M.J., Shao, G., Zhang, G. (2005) Influence of cadmium toxicity on growth and antioxidant enzyme activity in rice cultivars with different grain cadmium accumulation. *Journal of Plant Nutrition*, 28 (7), 1259-1270.
- Jackson, ML. (1962). Interlayering of expansible layer silicates in soils by chemical weathering. *Clays and Clay Minerals*, 11(1), 29-46.
- Jacobs, RM., Jones, AOL, Fox., MRS. & Fry, BE. (1978). Retention of dietary cadmium and meliorative effect of zinc, copper, and manganese in Japanese quail. *Nutrition Journal*, 108, 22–32.

- Jalil, A., Selles, F. & Clarke, JM. (1994). Growth and cadmium accumulation in two durum wheat cultivars. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 25, 2597–2611.
- Kabata-Pendias, A. & Mukherjee, AB. (2007) Trace Elements From Soil To Human. Springer Berlin Heidelberg, New York, 1-519.
- Kacar, B. (2009). Toprak analizleri. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım (p. 467s).
- Kalefetoğlu, T., Ekmekçi, Y. 2005. The effects of drought on plants and tolerance mechanisms. *Gazi University Journal of Science*, 18(4), 723-740.
- Kalimbacak, 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.
- Kanat, R., Şılbır, Y., Pakyürek ,Y., Şengül, T. & Bozkurt, R., (1991). Çevre kirleticilerinin uzandığı yeni bir boyut hayvansal ve bitkisel ürünlerde kalıntı teşkili, Çevre Kirliliği ve Kontrolü, 1. Uluslararası Çevre Koruma Sempozyumu, 2. Cilt Ed. Zafer Ayvaz, Ege Üniv., İzmir, Türkiye.
- Kanber, R. & Ünlü, M. (2010). Water and soil salinity in agriculture. *CU, Faculty of Agriculture, Publication*, (281).
- Kayhan, F.E. (2006) Su ürünlerinde Cd'un biyobirikimi ve toksisitesi. *E.U. Su Ürünleri Dergisi*, 23, 215-220.
- Khan, MH., Singha, KL. & Panda, SK. (2002). Changes in antioxidant levels in *Oryza sativa* L. roots subjected to NaCl-salinity stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 24(2), 145-148.
- Khoshgoftarmanesh AH, Shariatmadari H, Karimian N, Kalbasi M, van der Zee, Seatm (2006). Cadmium and zinc in saline soil solutions and their concentrations in wheat. *Soil Science Society of America Journal*, 70, 582–589.
- Kocaer, FO., Alkan, U. & Baskaya, HS. (2003). Use of lignite fly ash as an additive in alkaline stabilisation and pasteurisation of wastewater sludge. *Waste Management & Research*, 21(5), 448-458.
- Kocaoba, S., Parlak, MD. & Arisoy, M. (2021). The use of Phanerochaete chrysosporium for modification of bentonite for preconcentration and determination of heavy metals. *Journal of Analytical Science and Technology*, 12(1), 1-11.
- Korkmaz, K., Kara, SM., Ozkutlu, F. & Gul, V. (2010). Monitoring of heavy metals and selected micronutrients in hempseeds from North-western Turkey. *African Journal of Agricultural Research*, 5(6), 463-467.
- Kumararaja, P., Shabeer, TP. & Manjaiah, KM. (2016). Effect of bentonite on heavy metal uptake by amaranth (*Amaranthus blitum* cv. Pusa Kirti) grown on metal contaminated soil. *Indian Journal of Horticulture*, 73(2), 224-228.

- Köleli, N., Eker, S., Cakmak, I. (2004) Effect of zinc fertilization on cadmium toxicity in durum and bread wheat grown in zinc-deficient soil. *Environmental Pollution*, 131 (3), 453-459.
- Köleli, N., Kantar, Ç. (2006) Fosforlu gübrede ağır metal tehlikesi. *Ekoloji Magazin Dergisi*, 9.
- Levitt, J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses: Chilling, freezing, and high temperature stresses. Second Ed., Vols. I II. New York and London Academic Press, ISBN 10: 0124455018, 497p.
- Li, Y., Wang, L., Yang, L. & Li, H. (2014). Dynamics of rhizosphere properties and antioxidative responses in wheat (*Triticum aestivum* L.) under cadmium stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 102, 55–61.
- Lindsay, WL. & Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3), 421-428.
- Lombardi, L. (2005). Copper toxicity in prunus cerasifera: Growth and antioxidant enzymes responses of in vitro grown plants. *Plant Science*, 168, 797– 802.
- Marschner, H. (1998). Mineral nutrition of higher plants. 2nd edn. academic press. San Diego, pp. 379-396.
- McBride, MB. (2003). Cadmium concentration limits in agricultural soils: Weaknesses in USEPA's risk assessment and the 503 rule. *Human and Ecological Risk Assessment*, 9(3), 661-674.
- McKenna, IM., Chaney, RL., Tao, SH., Leach, RM. & Williams, FM (1992). Interactions of plant zinc and plant species on the bioavailability of plant cadmium to Japanese quail fed lettuce and spinach. *Environmental Research*, 57(1), 73–87.
- Mclaughlin, MJ., Andrew, SJ., Smart, MK. & Smolders, E. (1998). Cadmium uptake by swiss chard: I. Effects on complexation and calcium competition in nutrient solutions. *Plant and Soil*, 202, 211-216.
- Mengel, K., Kirkby, EA., Kosegarten, H. & Appel, T. (2001). Potassium. *In Principles of Plant Nutrition* (pp. 481-511). Springer, Dordrecht.
- Meravi, N., Prajapati S.K. (2013) Effects of heavy metals/metalloids contamination of soils on micronucleus induction in *Tradescantia pallida*. *Environmental Skeptics and Critics*, 2(2), 58-62.
- Mermut, AR., Jain, JC., Song, L., Kerrich, R., Kozak, L. & Jana, S. (1996). Trace Element Concentrations of Selected Soils and Fertilizers In Saskatchewan, Canada. *Journal of Environmental Quality*. 25, 845- 853.
- Munns, R. & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59, 651-681.
- Misra, N., & Dwivedi, UN. (2004). Genotypic difference in salinity tolerance of green gram cultivars. *Plant Science*, 166(5), 1135-1142.
- Neilson, JW., Artiola, JF. & Maier, RM. (2003). Characterization of lead removal from contaminated soils by non toxic washing agents. *Journal of Environmental Quality* 32: 899-908.

- Norvell, WA., Wu, J., Hopkins, DG., Welch, RM. (2000). Association of cadmium in durum wheat grain with soil chloride and chelate. *Soil Science Society of America Journal*, 64(6), 2162–2168.
- Nouri, J., Khorasani, N., Lorestani, B., Karami, M., Hassani, AH. & Yousefi, N. (2009). Accumulation of heavy metals in soil ve uptake by plant species with phytoremediation otenial. *Environmental Earth Science*, 59(2), 315-323.
- Oecd, (1994). Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü. <http://www.oecd.org/faostat/> Erişim, Aralık, 2021.
<https://www.oecd.org/>
- Okçu, G., Kaya, MD. & Atak, M. (2005) Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.) *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29, 237-242.
- Oliver DP, Hannam R, Tiller KG, Wilhelm NS, Merry RH, Cozens GD. (1994). The effects of zinc fertilization on cadmium concentration in wheat grain. *Journal of Environmental Quality*, 23(4): 705-711.
- Ozaki, I., Watanabe, I. & Kuno, K. (2004) As, Sb and Hg distribution and pollution sources in the roadside soil and dust around Kamikochi, Chubu Sangaku National Park, Japan. *Geochemical Journal*, 38, 473-484.
- Özkutlu, F. (2004). Makarnalık buğdayda kadmiyum alımı ve birikimi üzerine tuzluluğun ve çinko beslenmesinin etkisi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Adana.
- Özkutlu, F. & Kara, ŞM. (2019). Cd concentration of durum wheat grain as influenced by soil salinity." *Akademik Ziraat Dergisi* 8-1,97-100.
- Özkutlu, F. (2020). Makarnalık (*Triticum turgidum* L. Durum) buğday Cd konsantrasyonu üzerine değişik (NaCl, KCl ve CaCl₂) tuz uygulamalarının etkisi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 9(1), 145-150.
- Özkutlu, F. & Erdem, H. (2018). The effect of zinc application doses to bread and durum wheat on cadmium uptake. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 6(12), 1713-1717.
- Öztürk, L., Karanlık, S., Özkutlu, F., Cakmak, İ. ve Kochian, LV. (2003). Shoot biomass and zinc/cadmium uptake for hyperaccumulator and non-accumulator *Thlaspi* species in response to growth on a zinc-deficient calcareous soil. *Plant Science*, 164(6), 1095-1101.
- Özyılmaz, G. (2017). Immobilization of Catalase onto Polylysine Modified Chitosan Polymer. *Natural and Engineering Sciences*, 6(3), 208-217.
- Paustenbach, DJ., Finley, BL., Mowat, FS. (2003). Human health risk and exposure assessment of chromium (VI) in tap water. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A*, 66, 1295-1339.
- Pei, P., Xu, Y., Zheng, S., Liang, X., Sun, Y., Lin, D. & Wang, L. (2021). The use of bentonite and organic amendments for remediation of Cd contaminated fields:

- An environmental perspective. *Land Degradation & Development*, 32(13), 3639-3652.
- Penner, GA, Clarke, J., Bezte, LJ. & Leisle, D. (1995). Identification of RAPD markers linked to a gene governing cadmium uptake in durum wheat. *Genome*, 38, 543–547.
- Petrova, S. (2011) Biomonitoring study of air pollution with *Betula pendula* Roth. Plovdiv, Bulgaria. *Ecologia Balkanica*, 3 (1), 1-10.
- Pierzynski G, Sims JT, Vance GF (1994). Soils and Environmental Quality. Lewis Publishers, USA, 192-193.
- Pratt, PF. (1965). Potassium. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 9, 1022-1030.
- Prozialeck, W.C., Edwards, J.R., Woods, J.M. (2006) The vascular endothelium as a target of cadmium toxicity. *Life Sciences*, 79(16), 1493-1506.
- Rady, MM., Mounzer, O., Alarcón, J., Abdelhamid, M. & Howladar, S. (2016). Growth, heavy metal status and yield of salt-stressed wheat (*Triticum aestivum* L.) plants as affected by the integrated application of bio-, organic and inorganic nitrogen fertilizers. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 89.
- Ramos, I., Esteban, E., Lucena, JJ. & Gárate, A. (2002). Cadmium uptake ve subcellular distribution in plants of *Lactuca* sp. Cd–Mn interaction. *Plant Science*, 162, 761–767.
- Reeves, PG. & Chaney, RL. (2001). Mineral nutrients status of female rats affects the absorption and organ distribution of cadmium from sunflower kernels (*Helianthus annuus* L.). *Environmental Research*, 85, 215–225.
- Richards, LA. & Ogata, G. (1958). Thermocouple for vapor pressure measurement in biological and soil systems at high humidity. *Science*, 128 (3331), 1089-1090.
- Robinson, BH., Mills, TM., Petit, D., Fung, LE., Green, SR & Clothier, BE. (2000) Natural and induced cadmium-accumulation in poplar and willow: implications for phytoremediation. *Plant and Soil*, 227, 301–306.
- Sairam, RK., Rao, KV. & Srivastava, GC. (2002). Differential response of wheat genotypes to term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Sci*, 163, 1037– 46.
- Sairam, RK. & Tyagi, A. (2004). Physiological and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Current Science*, 86, 407-421.
- Salt, DE. & Rauser, WE. (1995). MgATP-dependent transport of phytochelatins across the tonoplast of oat roots. *Plant Physiology*. 107, 1293-1301.
- Saltalı, K., Sari, H., Mendil, D., & Altin, S. (2004). Cadmium and phosphorus accumulates in soil under intensive cultivation in Turkey. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 54(4), 267-272
- Satarug, S. & Moore, MR. (2012). Emerging roles of cadmium and heme oxygenase in type-2 diabetes and cancer susceptibility. *The Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 228(4), 267-288.

- Shafi, M., Bakht, J., Razuddin, Hayat, Y., & Zhang, GP. (2011). Genotypic difference in the inhibition of photosynthesis and chlorophyll fluorescence by salinity and cadmium stresses in wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 34(3), 315-323.
- Sharma, SS., Kaul, S., Metwally, A., Goyal, KC., Finkkemeier, I. & Dietz, KJ. (2004) Cadmium toxicity to barley (*Hordeum vulgare*) as affected by varying Fe nutritional status. *Plant Science*, 166, 1287-1295.
- Shentu, J., He, Z., Yang, X.E. and Li, T. (2008). Accumulation properties of cadmium in a selected vegetable-rotation system of southeastern China. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(15), 6382-6388.
- Siatka, T., Kašparová, M., Spilková, J. (2012) Effects of zinc and cadmium ions on cell growth and production of coumarins in cell suspension cultures of *Angelica archangelica* L. *Ceska a Slovenska Farmacie* 61, 261-266.
- Siedlecka, A. (1995). Some aspects of interactions between heavy metals and plant mineral nutrients. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 64(3), 265-272.
- Sillanpaa, M. & Jansson, H. (1992). Status of cadmium, lead, cobalt and selenium in soils and plants of thirty countries (No. 65). *Food & Agriculture Org.*
- Sönmez, İ., M. Kaplan, and S. Sönmez, 2007. An investigation of seasonal changes in nitrate contents of soils and irrigation waters in greenhouses located in antalya-demre region. *Asian Journal of Chemistry*, 19 (7), 5639- 5646.
- Sun, Y., Sun, G., Xu, Y., Liu, W., Liang, X. & Wang, L. (2016). Evaluation of the effectiveness of sepiolite, bentonite, and phosphate amendments on the stabilization remediation of cadmium-contaminated soils. *Journal of Environmental Management*, 166, 204-210.
- Suzuki K., Yabuki, T., Ono, Y. (2009) Roadside leaves as bioindicators of heavy metal pollution in traffic areas of Okayama, Japan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 149, 133-141.
- Stockmeyer, M. & Kruse, K. (1991). Adsorption of Zn and Ni ions and phenol and diethylketones by bentonites of different organophilicities. *Clay Minerals*, 26(3), 431-434.
- Tito, GA., Chaves, LHG., Fernandes, JD. & de Assis Santos e Silva, F. (2017). Removal of cadmium (Cd) from low quality water by bentonite applied in the soil. *Australian Journal of Crop Science*, 11(5), 596-604.
- Uyanık, M., Kara, SM. ve Korkmaz, K. 2014. Bazı kışlık kolza (*Brassica napus* L.) çeşitlerinin çimlenme döneminde tuz stresine tepkilerinin belirlenmesi. *Journal of Agricultural Sciences*, 20(4), 368-375.
- Verbruggen, N., Hermans, C. & Schat, H. (2009). Molecular mechanisms of metal hyperaccumulation in plants. *New Phytologist Foundation*, 181: 759– 776.
- Veselov, D., Kudoyarova, G., Symonyan, M. & Veselov, St. (2003). Effect of cadmium on ion uptake, transpiration and cytokinin content in wheat seedlings. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 353-359.

- Wang, Z., Zhao, X., Wu, P., He, J., Chen, X., Gao, Y. & Cao, X. (2015). Radiation interception and utilization by wheat/maize strip intercropping systems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 204, 58–66.
- Weggler-Beaton, K., McLaughlin, MJ. & Graham, RD. (2000). Salinity increases cadmium uptake by wheat and Swiss chard from soil amended with biosolids. *Soil Research*, 38(1), 37-46.
- Zengin, FK. & Munzuroğlu, O. (2005) Effects of some heavy metals on content of chlorophyll, proline and some antioxidant chemicals in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. *Acta Biologica Cracoviensia*, 47(2), 157-164.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Fatma DİLAY AHA
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	