

T.C.  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANA BİLİM DALI

**FARKLI DEMİR FORMLARININ KADMİYUM BULAŞTIRILMIŞ  
YETİŞTİRME ORTAMINDA FASULYE (*Phaseolus vulgaris* L. var. *nana*)  
BİTKİSİNİN GELİŞİMİNE, BESİN ELEMENTİ VE KADMİYUM ALIMINA  
ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Sinan ÇELİM  
DANIŞMAN: Prof. Dr. Füsun GÜLSER

VAN-2018



T.C.  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**FARKLI DEMİR FORMLARININ KADMİYUM BULAŞTIRILMIŞ  
YETİŞTİRME ORTAMINDA FASULYE (*Phaseolus vulgaris* L. var. *nana*)  
BİTKİSİNİN GELİŞİMİNE, BESİN ELEMENTİ VE KADMİYUM ALIMINA  
ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Sinan ÇELİM

Bu çalışma Van YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından  
FYL 2018-7094 No'lu proje olarak desteklenmiştir

VAN-2018



## KABUL VE ONAY SAYFASI

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. Füsun GÜLSER danışmanlığında, Sinan Çelim tarafından sunulan “Farklı Demir Formlarının Kadmiyum Bulaştırılmış Yetiştirme Ortamında Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L. var. nana) Bitkisinin Gelişimine, Besin Elementi ve Kadmiyum Alımına Etkileri” isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 12/07/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile başarılı bulunmuş ve yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Füsun GÜLSER

İmza:

Üye: Prof. Dr. Mehmet Ali BOZKURT

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ferit SÖNMEZ

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..../..../..... tarih ve ..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

.....

Enstitü Müdürü



## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Sinan ÇELİM





## ÖZET

### FARKLI DEMİR FORMLARININ KADMİYUM BULAŞTIRILMIŞ YETİŞTİRME ORTAMINDA FASULYE (*Phaseolus vulgaris* L. var. nana) BİTKİSİNİN GELİŞİMİNE, BESİN ELEMENTİ ve KADMİYUM ALIMINA ETKİLERİ

ÇELİM, Sinan

Yüksek Lisans Tezi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Füsün GÜLSER

Temmuz 2018, 59 Sayfa

Bu çalışmada, farklı demir formlarının kadmiyum bulaştırılmış ortamda fasulye bitkisinin gelişimine, besin elementi ve kadmiyum alımına etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Deneme, faktöriyel deneme desenine göre üç tekrarlamalı olarak Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümüne ait iklim odasında, kontrollü koşullarda yürütülmüştür. *Phaseolus vulgaris* L. var. nana deneme bitkisi olarak kullanılmıştır. Farklı demir formları olarak kullanılan inorganik ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), organik (Fe-EDDHA), ve nano demir  $0 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $15 \text{ mg kg}^{-1}$  olarak 2 dozda uygulanmışlardır. Kadmiyum  $0$ - $40$ - $80 \text{ mg kg}^{-1}$  olarak 3 dozda uygulanmıştır. Deneme tohum ekimini izleyen sekiz hafta sonra sonlandırılmıştır. Hasat edilen bitkilerde bitki gelişim kriterleri, bitki besin elementleri ve kadmiyum alımı belirlenmiştir. Farklı demir formlarının bitki boyu ( $P < 0.05$ ), kök boyu ve kök kuru ağırlığı ( $P < 0.01$ ) üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Demir dozlarının bitki boyu, bitki kuru ağırlığı ( $P < 0.05$ ) ve kök boyu ( $P < 0.01$ ) üzerine etkilerinin önemli olduğu belirlenmiştir. En yüksek bitki boyu ( $37.72 \text{ cm}$ ), bitki kuru ağırlığı ( $3.88 \text{ g saksı}^{-1}$ ) ve kök yaş ağırlığı ( $11.04 \text{ g saksı}^{-1}$ ) ortalamaları Cd bulaştırılmamış ortamlarda elde edilmişlerdir. Genel olarak, artan Cd dozları bitki gelişim kriterlerini olumsuz etkilemiştir. İnorganik demir uygulamaları ile bitki gelişim kriterlerinde iyileşmeler sağlanmıştır. Bitki besin elementi alımına ilişkin en yüksek ortalamalar Cd bulaştırılmamış ortamlarda, organik demir uygulamalarının birinci dozunda ve nano demirin ikinci dozlarında elde edilmiştir. Bitkide en yüksek Cd alımı ortalamaları ise Cd2 dozunda  $7.44 \text{ mg saksı}^{-1}$  olarak belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Bitki gelişimi, Fasulye, İnorganik demir, Kadmiyum, Nano demir, Organik demir.



## ABSTRACT

### EFFECTS OF DIFFERENT IRON FORMS ON PLANT GROWTH AND NUTRIENT AND CADMIUM UPTAKE OF BEAN (*Phaseolus vulgaris* L. var. nana) IN CADMIUM CONTAMINATED GROWTH MEDIA

ÇELİM, Sinan

M. Sc. Thesis, Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Prof. Dr. Füsün GÜLSER

July 2018, 59 pages

In this study, it was aimed that determination of effects of different iron forms on plant growth and nutrient and cadmium uptake of bean in cadmium contaminated growth media. The experiment was conducted out according to factorial experimental design as three replication in chamber room belong Soil Science and Plant Nutrition Department under controlled conditions. *Phaseolus Vulgaris* L. var. nana was used as experimental plant. Inorganic iron (FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O), organic iron (Fe-EDDHA), and nano iron used different iron forms were applied at two levels as 0-15 mg kg<sup>-1</sup>. Cadmium was used at three different levels as 0-40-80 mg kg<sup>-1</sup>. The experiment was ended after eight weeks following seed sowing. The growth criteria, nutrient and cadmium uptake were determined in harvested plants. Effects of different iron forms on plant length (P<0.05), root length and root dry weight (P<0.01), were found significant statistically. Effects of iron doses on plant length, plant dry weight (P<0.05) and root length (P<0.05) were determined at significant levels. The highest plant length (37.72 cm), plant dry weight (3.88 g pot<sup>-1</sup>) and root fresh weight (11.04 g pot<sup>-1</sup>) means were determined in non Cd contaminated growth media. Generally increasing Cd doses negatively affected plant growth criteria. The alleviations were supplied in plant growth criteria by inorganic iron applications. The highest nutrient uptake means were obtained in non Cd contaminated growth media with first doses of organic iron applications and second doses of nano iron applications. The highest Cd uptake means in plants was determined as 7.44 mg pot<sup>-1</sup> in Cd<sub>2</sub> dose respectively.

**Keywords:** Plant growth, Bean, Inorganic iron, Cadmium, Nano iron, Organic iron.



## ÖNSÖZ

Fabaceae familyasından olan taze fasulye, insan beslenmesi ve sağlığında önemli yer tutan ve sevilerek tüketilen bir sebzedir. Hayvansal kaynaklı gıdaların pahalı olmaları ve bazen de sağlık sorunları ile tüketilmelerinin sınırlanması nedeniyle ortaya çıkan protein açığına kapatmak için yemeklik tane baklagiller en önemli kaynaktır. Günümüzde, ekosistemlerin toprak, su ve hava gibi ortamlarında yaygın bir şekilde birikmeye başlayan ağır metaller, dünya yüzeyindeki tüm organizmaların yaşamını tehdit eden önemli bir çevre sorunu haline almıştır. Ağır metallere biri olan kadmiyum, günümüzde çeşitli kullanım alanları ile ve çevre kirliliğindeki önemli rolü ile gündeme gelmiş oldukça toksik bir metaldir. Günümüzde ağır metallere kirlenmiş toprakların iyileştirilmesi için, kirlenmiş toprakların uzaklaştırılması arazi doldurma ve fitoremediasyon gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, kadmiyum bulaştırılmış ortamda farklı demir formlarının ve dozlarının fasulye (*Phaseolus vulgaris L. var nana*) bitkisinde bitki gelişimi, verim parametreleri ve besin elementi alımlarına etkileri ile kadmiyum toksisitesine etkileri araştırılmıştır. Ayrıca nano teknoloji kullanılarak üretilen nano demirin bitki gelişimine olumlu etkileri ve ağır metal toksisitesini önlemesi üzerine diğer materyallere alternatif olarak etkinliği araştırılmış olacaktır.

Yapmış olduğum bu çalışmada bana tez konusunun belirlenmesi, planlanması ve yürütülmesi esnasında her türlü katkı, destek ve gösterdiği yakın ilgilerinden dolayı danışman hocam Sayın Prof. Dr. Füsün GÜLSER'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Deneme bitkisinin temin edilmesinde yardımcı olan Prof. Dr. Önder Türkmen hocama ayrıca teşekkür ederim. Eğitim hayatım boyunca manevi ve maddi desteklerini benden esirgemeyen babam Resul ÇELİM'e, annem Filiz ÇELİM'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Laboratuvar çalışmalarında benden desteklerini esirgemeyen değerli hocam Arş. Gör. Tuğba Hasibe GÖKKAYA ve çalışmam süresince ilgi, sabır ve manevi desteklerini esirgemeyen tezimin her aşamasında bana yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarıma teşekkür ederim.

VAN, 2018

Sinan ÇELİM



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ .....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ .....	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	17
3.1. Materyal .....	17
3.2. Yöntem.....	17
3.2.1. Deneme planı.....	17
3.2.2. Toprak örneklerindeki fiziksel ve kimyasal analizler .....	24
3.2.2.1. Toprak tekstürü.....	24
3.2.2.2. Toprak reaksiyonu .....	24
3.2.2.3. Tuz içeriği.....	24
3.2.2.4. Organik madde içeriği .....	24
3.2.2.5. Kireç içeriği .....	24
3.2.2.6. DTPA'da ekstrakte edilebilir mikro besin elementleri.....	24
3.2.2.7. Yarayırlı fosfor .....	25
3.2.2.8. Değişebilir katyonlar .....	25
3.2.3. Bitki örneklerindeki fiziksel ölçümler.....	25
3.2.3.1. Bitki boyu (cm/bitki) .....	25
3.2.3.2. Bitki yaş ve kuru ağırlıkları (g/bitki).....	25
3.2.3.3. Gövde çapı (mm/bitki).....	25
3.2.3.4. Yaprak sayısı (adet/bitki) .....	26
3.2.3.5. Kök yaş ve kuru ağırlıkları (g/bitki) .....	26
3.2.3.6. Kök uzunluğu ve çapı (cm/bitki- mm/bitki) .....	26
3.2.4. Bitki örneklerindeki kimyasal analizler .....	26

	<b>Sayfa</b>
3.2.4.1. Makro ve mikro besin element alımlarının belirlenmesi.....	26
3.2.4.2. Kadmiyum alımının belirlenmesi .....	26
3.3. İstatistiksel Analizler .....	27
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	29
5. SONUÇ.....	45
KAYNAKLAR.....	49
ÖZ GEÇMİŞ.....	59





## ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Denemede kullanılan uygulamalar ve dozları .....	18
Çizelge 4.1. Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	29
Çizelge 4.2. Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarının bitki boyu, bitki yaş ağırlığı, bitki kuru ağırlığı, yaprak sayısı ve gövde çapına etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları .....	29
Çizelge 4.3. Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarının kök boyu, kök yaş ağırlığı, kök kuru ağırlığı ve kök çapına etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları .....	30
Çizelge 4.4. Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarında elde edilen bitki boyu, bitki yaş ağırlığı, bitki kuru ağırlığı, yaprak sayısı ve gövde çapına ilişkin ortalamalar ve duncan harflendirmeleri .....	31
Çizelge 4.5. Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarında elde edilen kök boyu, kök yaş ağırlığı, kök kuru ağırlığı ve kök çapına ilişkin ortalamalar ve duncan harflendirmeleri.....	32
Çizelge 4.6. Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarının bitkilerin makro besin elementi alımına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları.....	34
Çizelge 4.7. Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarının bitkilerin mikro besin elementi alımına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları.....	35
Çizelge 4.8. Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarının bitkilerin makro besin elementi alımına etkisine ilişkin ortalamalar ve Duncan harflendirmeleri .....	36
Çizelge 4.9. Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarının bitkilerin mikro besin elementi alımına etkisine ilişkin ortalamalar ve Duncan harflendirmeleri .....	38
Çizelge 4.10. Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarının toprak üstü organlarda ve kökte Cd alımına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları.....	39
Çizelge 4.11. Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarının toprak üstü organlarda ve kökte Cd alımına etkisine ilişkin ortalamalar ve Duncan harflendirmeleri.....	40



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Deneme desenin genel görünümü. ....	18
Şekil 3.2. Organik Fe0 Cd0, Cd1, Cd2 uygulamalarında bitkilerin genel görünümü. ...	19
Şekil 3.3. Organik Fe1 Cd0, Cd1, Cd2 uygulamalarında bitkilerin genel görünümü. ...	19
Şekil 3.4. İnorganik Fe0 Cd0, Cd1, Cd2 uygulamalarında bitkilerin genel görünümü..	20
Şekil 3.5. İnorganik Fe1 Cd0, Cd1, Cd2 uygulamalarında bitkilerin genel görünümü..	20
Şekil 3.6. Nano Fe0 Cd0, Cd1, Cd2 uygulamalarında bitkilerin genel görünümü.....	21
Şekil 3.7. Nano Fe1 Cd0, Cd1, Cd2 uygulamalarında bitkilerin genel görünümü.....	21
Şekil 3.8. Cd0 dozunda 3 farklı Fe formunun karşılaştırıldığı uygulamalarda bitkilerin genel görünümü.....	22
Şekil 3.9. Cd1 dozunda 3 farklı Fe formunun karşılaştırıldığı uygulamalarda bitkilerin genel görünümü.....	22
Şekil 3.10. Cd2 dozunda 3 farklı Fe formunun karşılaştırıldığı uygulamalarda bitkilerin genel görünümü. ....	23
Şekil 3.11. Cd0, Cd1 ve Cd2 dozlarında 3 farklı Fe formunun karşılaştırıldığı uygulamalarda bitkilerin genel görünümü. ....	23



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simge</b>	<b>Açıklama</b>
%	Yüzde
°C	Santigrad Derece
cm	Santimetre
Ppm	Milyonda bir kısım
Ppb	Milyarda bir kısım
g	Gram
L	Litre
ha	Hektar
hm <sup>2</sup>	Hektometrekare
kg	Kilogram
mg	Miligram
µM	Mikromolar
µg	Mikrogram
µg g <sup>-1</sup>	Milyonda bir kısım
mg kg <sup>-1</sup>	Milyonda bir kısım
g L <sup>-1</sup>	Binde bir kısım
mm	Milimetre
nm	Nanometre

<b>N</b>	Azot
<b>P</b>	Fosfor
<b>K</b>	Potasyum
<b>Ca</b>	Kalsiyum
<b>Mg</b>	Magnezyum
<b>Fe</b>	Demir
<b>Zn</b>	Çinko
<b>Mn</b>	Mangan
<b>Cu</b>	Bakır
<b>Cd</b>	Kadmiyum
<b>İnorg Fe</b>	İnorganik demir
<b>Org Fe</b>	Organik demir
<b>Nano Fe</b>	Nano demir

## 1. GİRİŞ

Protein ihtiyacının karşılanmasında hayvansal kaynaklı gıdalar önemli bir yere sahiptir. Ancak bu grup gıdaların pahalı olmaları ve bazen de sağlık sorunları nedeniyle tüketilmelerinin sınırlanması nedeniyle protein açığı ortaya çıkabilmektedir. İşte bu gibi durumlarda yemeklik tane baklagiller protein ihtiyacını karşılamada en önemli kaynaktır. Baklagiller son derece sağlıklı besin grubu olup, protein kalitesi bakımından da hayvansal proteinlere yakındır (Njintang ve ark., 2001; Shimelis ve Rakshit, 2005; Anonim, 2012). Baklagiller genel olarak protein, çeşitli vitamin ve mineraller ile diyet lifi bakımından çok önemli bir kaynaktır. Diğer taraftan yağ içerikleri de son derece düşüktür. Aynı zamanda % 60 civarındaki karbonhidrat içerikleri ile iyi bir enerji kaynağıdır. İnsan besini olarak kullanılan kuru baklagiller grubuna nohut, fasulye, mercimek, bakla, bezelye, börülce ve soya fasulyesi dahildir (Reddy ve ark., 1984; Visitpanic ve ark., 1985; Baysal, 2004; Pekşen ve Artık, 2005; Russo, 2006; Shimelis ve ark., 2006; Anonim, 2012). A, B ve D vitaminlerince de zengin bir yemeklik baklagil bitkisidir (Şehirli, 1988). Bu nedenle özellikle geri kalmış ve gelişmekte olan ülkelerde insanların protein ihtiyaçlarını karşılamada fasulye önemli bir kaynaktır. Ayrıca yüksek oranda protein içeriğine sahip fasulye samanı da önemli bir kaba yem kaynağıdır (Ergül, 1988). Dünyada ekiliş alanı bakımından yemeklik baklagil bitkileri arasında fasulye ilk sırayı almaktadır. Orta Amerika kökenli olan bu kültür bitkisi 250 yıl önce Anadolu'ya gelmiş ve çok geniş bir yayılım alanı bulmuştur. Fasulye Türkiye'de nohut ve mercimekle birlikte en fazla üretimi yapılan baklagil bitkisi olup ağırlıklı olarak bodur fasulye olmak üzere yıllık yaklaşık 162 000 ha alanda 250 000 ton üretilmekte ve dekara ortalama 154 kg verim alınmaktadır. Ekim alanları düşünüldüğünde Orta Anadolu Bölgesi 57 305 ha ve % 31.8'lik pay ile en fazla fasulye ekim alanına, üretimde ise 108 424 ton ve % 43.3'lük pay ile tüm üretimin yaklaşık yarısına sahiptir (Çiftçi, 2004).

Özgül ağırlıkları  $5 \text{ g/cm}^3$  ve bu değer üzerinde olan metaller, ağır metal olarak nitelenmekte (Cd, Ag, As, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Zn gibi) ve bunların toprakta çok yönlü zararlara neden olduğu bilinmektedir. Ağır metallerin toprakta normalin üzerinde birikmeleri, toprak kültürleri ve besin zinciriyle diğer canlılar için çok tehlikeli sonuçlar doğurabilmektedir. Bu büyük tehlike insanlar tarafından fark edildiğinden, ağır metaller

ile ilgili çalışmalar son 30 yıl içinde büyük bir hız kazanmıştır. Bilim adamlarına göre antropojenik kaynaklı olarak atmosferden diğer ekosistemlere dağılan arsenik (22 bin ton), kadmiyum (70 bin ton), kurşun (400 bin ton), bakır (56 bin ton) ve çinko (214 bin ton) civarında olduğu ifade edilmektedir (Çepel, 1997). Günümüzde toprakta ağır metal kirliliği önemli çevresel problemlerden birisidir. Ağır metallerin toprakta birikmesinin sadece toprak verimliliği ve ekosistem fonksiyonları üzerinde değil aynı zamanda besin zinciri yoluyla havyan ve insan sağlığı üzerinde de önemli etkileri vardır. Bitki bünyesine ulaşan ağır metaller bitkilerin fizyolojik aktivitelerini engellemekte, verimliliklerini azaltmakta ve ölümlerine neden olmakta dolayısıyla ürün kalite ve miktarının azalmasına yol açmaktadırlar. Bitkilerin ağır metal toksisitesine karşı toleransları bitki türüne, element türüne, strese maruz kalma süresine ve strese maruz kalan doku veya organın yapısına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle ağır metalin tür ve miktarı, yayılgınlığı, zararın şiddeti ve türü ayrıca zarar oluşum sürecinin bilinmesi bitkilerin gelişimi ve canlılığı açısından oldukça önemlidir (Öktüren ve Sönmez, 2007). Son zamanlarda ağır metal tanımı ile kimyasal maddelerin ekolojik sisteme verdikleri zarar genelleştirilerek gazete haberlerinde sık sık ağır metallerin, çevresel problemlere neden oldukları yer almaya başlamıştır. Bunun nedeni çevresel problemler söz konusu olduğunda “ağır metal” tanımı sanki çok tanımlı ve kesin bir grupmuş gibi bu kavramın çok sık “nispeten yüksek yoğunluğa sahip ve düşük konsantrasyonlarda bile toksik veya zehirleyici olan metal” olarak kullanılmasıdır. Bu yaygın kaniya, ağır metallerin belirli bir zaman aralığında canlı organizmada diğer metallere kıyasla akümüülasyonunun fazla olması ve bunun sonucu negatif etkinin giderek artması yol açmaktadır. Gerçekte ağır metal tanımı fiziksel özellik açısından yoğunluğu  $5 \text{ g/cm}^3$ 'ten daha yüksek olan metaller için kullanılır. Bu gruba kadmiyum, kurşun, krom, demir, kobalt, bakır, nikel, cıva ve çinko olmak üzere 60 tan fazla metal dahildir. Bu elementler doğaları gereği yer kürede genellikle karbonat, oksit, silikat ve sülfat halinde stabil bileşik olarak veya silikatlar içinde hapsedilmiş olarak bulunurlar. Her ne kadar metallerin yoğunluk değeri üzerinden hareketle ekolojik sistem üzerindeki etkileri tanımlanmaya ve gruplandırılmaya çalışılıyorsa da gerçekte metallerin yoğunluk değerleri onların biyolojik etkilerini tanımlamaktan çok uzaktır (Kahvecioğlu ve ark., 2006).

Önemli çevresel kirlenici olan ağır metallerin düşük konsantrasyonları bile zehirlidir. Zehirli metallerle birlikte biyosferin kirlenmesi endüstriyel gelişimin



başlamasıyla çarpıcı bir şekilde hızlanmıştır (Nriogo, 1979). Ağır metallerin bitkiler tarafından alınma miktarı değişiktir. Bütün bitkiler toprak ve sudan kendi büyüme ve gelişimleri için şart olan ağır metalleri toplama kabiliyetine sahiptirler. Bu metaller Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo ve Ni içermektedirler (Langille ve MacLean, 1976). Bazı bitkiler de biyolojik fonksiyonları bilinmeyen ağır metalleri biriktirme kabiliyetine sahiptirler. Bunlar Cd, Cr, Pb, Co, Ag, Se ve Hg içermektedirler (Hana ve Grant, 1962; Baker ve Brooks, 1989). Yüksek konsantrasyonlardaki ağır metallerin hem tolere edilebilir hem de biriktirilebilir üst sınırları farklı bitki türlerine göre değişmektedir (Ernst ve ark., 1992).

Bitkiler metallerle kirlenmiş topraklarda büyümeleri için üç temel strateji geliştirmişler (Baker ve Walker, 1990):

1. Metal dışlayıcılar; Topraktaki metal konsantrasyonu üzerindeki konsantrasyonların hava yolu ile girişini engelleyen ve köklerinde metallerin geniş oranını kontrol altında tutan bitkiler.
2. Metal indikatörler; Kendi dokuları üzerinde metalleri biriktiren ve topraktaki metal seviyeleri genellikle kendi dokularındaki metal seviyelerini gösteren bitkiler.
3. Toplayıcılar; Topraktaki hazır halde bulunan metalleri kendi dokularında yoğun şekilde bulunduran bitkiler.

Gübreleme, pestisid kullanımı, endüstriyel atık ve gazlar aracılığıyla toprağa bulaşan ağır metallerin bitkiler aracılığıyla topraktan uzaklaştırılması fitoremediasyon olarak adlandırılmaktadır. Fitoremediasyon'nun başarılı olarak yürütülebilmesi için bulaşmanın olduğu alanlarda biyokütle oluşurken önemli miktarda metal biriktiren hiperakümülatör bitki türlerinin kullanılması gerekmektedir. Hiperakümülatör bitkilerinin ağır metal içerikleri ve gereksinimleri biriktirici olmayan türlere göre daha fazladır. Bu bitkiler, 10 ppm den daha fazla Hg, 100 ppm Cd, 1000 ppm Co, Cr, Cu ve Pb, ve 10 000 ppm Ni ve Zn içerirler. Bugün bilinen 400 ağır metal biriktirici bitki bulunmaktadır (Reeves ve Baker, 1999). En bilinen bitki *Thlaspi caerulescens* (alpine pennycress)'dir. Günümüzde, ekosistemlerin toprak, su ve hava gibi ortamlarında yaygın bir şekilde birikmeye başlayan ağır metaller, dünya yüzeyindeki tüm organizmaların yaşamını tehdit eden önemli bir çevre sorunu haline almıştır. Ağır metallerin çevreye yayılmasına neden olan etmenlerin başında endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtların

egzozları, maden yatakları ve işletmeleri, volkanik faaliyetler, tarımda kullanılan gübre ve ilaçlar ile kentsel atıklar gelmektedir (Stresty ve Madhava Rao, 1999).

Ağır metallere biri olan kadmiyum, günümüzde çeşitli kullanım alanlarıyla ve çevre kirliliğindeki önemli rolü ile gündeme gelmiş oldukça toksik bir metaldir. Kadmiyum nispeten nadir bir elementtir ve doğada saf olarak bulunmaz. Önemli bir kirletici olmasının nedeni çok düşük dozlarda bile toksik olması ve biyolojik yarı ömrünün uzun olmasıdır (Goyer, 1991; Lyons ve ark., 1996). Kadmiyum bitki yaşamında daha çok toksik etkileri ile bilinen bir elementtir (Jiang ve Li, 1989; Çatak ve ark., 2000). Kadmiyum, çinko üretimine eşlik eden metal olarak üretilmiştir. Çinko üretiminde ortaya çıkıncaya kadar havaya, yiyeceklere ve suya doğal süreçlerle önemli miktarlarda karışmamıştır. Ancak günümüzde kadmiyum da çevre kirliliğine sebep olan ağır metaller arasında yerini almıştır. Günümüzde kadmiyum endüstriyel olarak nikel/kadmiyum pillerde, korozyona karşı özellikle deniz koşullarına dayanımı nedeniyle gemi sanayinde çeliklerin kaplanması, boya sanayinde, PVC stabilizatörü olarak, alaşımlarda ve elektronik sanayinde kullanılır. Kadmiyum empürüte olarak fosfatlı gübrelerde, deterjanlarda ve rafine petrol türevlerinde bulunmaktadır. Bunların çok yaygın kullanımı sonucunda da önemli miktarda kadmiyum kirliliği ortaya çıkmaktadır (Kahvecioğlu ve ark., 2007). Son yıllarda, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler sonucu ortaya çıkan ağır metallerle ilgili çevre kirliliği önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle de, bakır (Cu), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb) ve civa (Hg) gibi metallerin üretiminin yüksekliğinin önemli boyutlarda olduğu bildirilmiştir (Pinto ve ark., 2004). Topraklarda genellikle tolere edilebilir Cd düzeyi 3 ppm'in altındadır (Bergman, 1992). Kirlenmemiş alanlarda toprağın Cd kapsamı genellikle 1 ppm'in altındadır (Yagamata ve Shigematsu, 1970). Topraklarda bulunan Cd'nin kritik miktarları genellikle 0.1 mg kg<sup>-1</sup> düzeyinde bulunmaktadır (Bergman, 1992). Doğal ya da bulaşmış topraklarda 200 mg kg<sup>-1</sup> Cd konsantrasyonlarına rastlanmaktadır. Meyvelerde izin verilebilen en yüksek Cd konsantrasyonu 0.05 mg kg<sup>-1</sup>, sebzelerde izin verilebilen en yüksek Cd konsantrasyonu 0.1 mg kg<sup>-1</sup> olarak bildirilmiştir (Bergman, 1992).

Demir yer kabuğunun % 5'ini oluşturan yaygın metalik elementlerden biridir. Topraklarda Fe primer ve sekonder minerallerde ve ayrıca limonit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.3H<sub>2</sub>O) gibi sulu oksitlerde ve sülfürlerde de bulunmaktadır. Toprak çözeltisi içinde genellikle oksitler, hidroksitler, fosfatlar ve karbonat formlarında bulunmaktadır. Ortam pH'sına ve redoks

potansiyeline bağılı olarak  $10^{-2}$  ile  $10^{-6}$  mg L<sup>-1</sup> arasında Fe bulunabildiği gibi organik madde içeriği yüksek topraklarda Fe kilyetlerinin miktarı  $10^{-2}$  ile  $10^{-4}$  mg L<sup>-1</sup> arasında bulunmaktadır. (Römheld ve Marschner, 1986). Çeşitli alkalın topraklarda buğdaygil bitkileri ile birlikte ayçiçeği ve yer fıstığı gibi çeşitli dikotiledon bitkileri yetiştiren araştırmacılar (Römheld ve ark., 1982; Marschner, 1995) buğdaygil bitkilerinin yeşil renkli ve sağlıklı gelişmelerine karşın çift çenekli bitkilerin demir noksanlığına bağılı olarak kloroz belirtileri gösterdiklerini saptamışlardır. Araştırmacılar buğdaygil bitkilerinin kökleriyle salgıladıkları *fitosiderofor* adı verilen maddelerle rizosferde yayayışlı şekle dönüştürerek demiri aldıklarını belirlemişlerdir. Tropik bölge topraklarının kırmızımsı renkleri, içerdikleri yüksek düzeydeki Fe'den kaynaklanır. Yağışlı yöre topraklarında Fe'in büyük bir bölümü hornblend, biotit, pirit ve klorit gibi Fe içeren primer minerallerin parçalanıp dağılmalarından ve kimyasal değişime uğramalarından oluşur. Belirtilen minerallerde demir asal olarak Fe<sup>+2</sup> halinde olup, parçalanıp dağılma sonucu demir Fe<sup>+3</sup> haline dönüşür. Toprakların toplam Fe içerikleri fazla olsa bile, değişebilir ve çözünebilir Fe yani bitki tarafından alınabilir demir bakımından (Fe<sup>+2</sup>, Fe<sup>+3</sup>) fakir olabilirler. Demir sülfatın piyasada diğer gübre çeşitlerine göre çok daha ucuz olarak temin edilebilir olması, bitki gelişmesi için mutlaka gerekli olan demir, kükürt gibi elementsel besin maddelerini içinde bulundurması, uygulandığı alanlarda uygun şartlarda hemen eriyerek bitkiler tarafından kolayca alınması, bitkilere yeşil rengi veren ve fotosentez (bitkinin besin yapması) olayının gerçekleştiği klorofil pigmentinin merkez atomunun yapısında rol alması, bütün bitkilerde hasattan sonra nakliye ve depolama sırasında dayanıklılığın artması ve demir sülfatın direk toprağa verildiği gibi çözelti formunda da yapraklara püskürtülerek uygulanabilir olması, tercih edilmesinin nedenidir. Kullanıldığı bitkilerin daha canlı ve dirençli olmasını sağlar. Bitkilerin çiçek açmasında, meyve tutmasında, büyüme ve renk oluşumlarında fizyolojik açıdan olumlu etkiler (Güneş ve ark., 2013a).

İnorganik demirin aksine, demir şelat dediğimiz çözünebilir organik demir bileşikleri; kök salgılarından, organik maddeden, mikroorganizmaların metabolik ürünlerinden veya toprağa ilave edilen demir kilyet gübrelerinden kaynaklanan ürünlerden ortaya çıkar. Kilyet Yunanca kerpeten anlamına gelen kelimedenden türemiştir. Kilyetler organik bileşiklerdir ve Fe gibi metaller ile birleşince immobil hale geçseler bile suda çözünebilirlikleri kaybolmaz. Bitkilerde Fe metabolik yönden önemini ve fizyolojik etkinliklerini yükseltgenme-indirgenme tepkimeleriyle göstermektedir. Demir

kilyetlerinin püskürtülerek uygulanmaları, toprağa uygulanmalarına göre tercih edilmektedir. Çünkü kilyetler gün ışığında parçalanıp etkinliklerini yitirirler. Toprağa uygulanacak demir kilyetlerinin çeşit ve miktarları toprak ve iklim koşullarına bağlı olarak değişir. Demir bileşiklerinin sulama sularına karıştırılarak uygulanması da pek çok araştırmacı tarafından gerçekleştirilmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır (Güneş ve ark., 2013a).

Son yıllarda demir bileşikleri yağmurlama ve damla sulama sistemleriyle de başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Demir, yer kabuğunun ağırlıkça yaklaşık % 5'ini oluşturur ve hemen her toprakta bulunur. Topraktaki miktarı diğer besin maddelerinden fazladır. Doğada çok bulunmasına ve bitkilerin Fe ihtiyacının az olmasına rağmen çözünürlüğün ve dolayısıyla alınabilirliğinin az olması nedeniyle bitkilerde Fe noksanlığı çok yaygın görülür. Demir toprakta oksitler, hidroksitler, silikat mineralleri, amorf oksitler, adsorbe Fe, organik madde ile kompleks halde ve toprak çözeltisinde bulunur (Güneş ve ark., 2013a). Toplam Fe içeriğiyle karşılaştırıldığında toprakların çözünebilir Fe içerikleri oldukça düşüktür. Çözünebilir inorganik Fe formları  $Fe^{+3}$ ,  $FeOH^{+2}$  ve  $Fe^{+2}$  iyonlarıdır. Toprak pH'sının yüksek olduğu yerlerde ve iyi havalandırılan topraklarda  $Fe^{+2}$  iyonu toplam çözünebilir inorganik demirin çok az bir kısmını oluşturur. Demir alımı bitki köklerinin  $Fe^{+3}$ 'ü  $Fe^{+2}$ 'ye indirgeme güçlerine bağlıdır ve bu açıdan bitkiler arasında farklılıklar görülmektedir. Demirin alınmadan önce indirgenmesi gerektiği görüşü yaygın şekilde kabul edilmiştir. Kural olarak Fe(III) ile karşılaştırıldığında, Fe(II) alımı daha fazladır (Marschner, 1995). Yüksek pH'da daha çok  $Fe(OH)_3$  çökeleklerinin oluşumu cereyan ettiği için pH arttıkça  $Fe^{+3}$  iyonlarının aktivitesi azalır. Yüksek pH'larda pH'nın bir birim artışına karşılık  $Fe^{+3}$  iyonlarının aktivitesi 1000 kat azalır. Çözünebilir Fe miktarı pH 6.5-8.0 arasında en az düzeye ulaşır (Lindsay, 1972).

Tarımsal teknolojilerdeki değişimler modern tarımın şekillenmesinde temel etkidir. Bu değişimlerden biri de nanoteknolojinin tarımda uygulanmasıdır. Son inovatif teknolojiler arasında yer alan nanoteknolojinin tarımsal üretimin gelecekte şekillenmesinde vazgeçilemez bir role sahip olacağı düşünülmektedir. Çeşitli yöntemlerle 100 nm'den daha küçük boyutta üretilen materyaller nano materyal olarak kabul edilmektedir. Materyallerin nano boyuta indirgenmesi onların fiziksel, kimyasal, biyolojik ve katalitik özelliklerini etkilemektedir. Nano boyuta indirgenmesinde materyallerin spesifik yüzey alanı ve reaktif özellikleri artmaktadır. Nanoteknolojinin

sağlık alanında başarılı bir şekilde uygulanabilirliği tarımsal nanoteknolojiye ilgiyi artırmıştır. Nanoteknoloji tarımda üreme bilimi ve teknolojisi ile tarımsal ve diğer faydalı atıkların enzimatik nanobiyoproses yoluyla enerjiye dönüştürülmesi, nanosit kullanım yoluyla hastalık ve zararlılarla mücadele gibi konularda önemli faydalar sağlamıştır. Nano gübre ve nano taşıyıcıların üretilmesi tarımsal biyoteknolojide yeni uygulama alanları açacaktır. Tarımda nanoteknoloji uygulamasının amacı mevcut tarımsal üretim tekniklerini geliştirmektir. Tarımda nanoteknoloji uygulamasına gübrelerin etkin kullanımı yoluyla bitki büyümesinin artırılması yönünden gereksinim duyulmaktadır. Yeni ve alışılmadık dışında özelliklere sahip olan nano tarımsal girdiler tarımsal sistemlerin daha etkin halde işlemlerini sağlamaktadır. Nanoteknolojinin tarımda uygulanması ile kontrollü salınımlı gübre üretimi ve kullanılması, iyon veya moleküllerin bitkide istenilen yere taşınmasının sağlanması, etkin gübre kullanımı yoluyla gübre tüketiminin azaltılmasının sağlanması sonucu fazla gübre kullanımının çevre üzerine oluşturduğu olumsuz etkilerin azaltılması gibi birçok konuda ilerleme kaydedilmesi hedeflenmektedir. Nanoteknoloji ile üretilmiş gübreler, etkinliklerinin yüksek olması için gerekli olan yüksek çözünürlük, dayanıklılık ve etkinlik yönleriyle konsantrasyon etkinliği, kontrollü salınım, hedeflenen yere ulaştıktan sonra etkinlik gösterme, düşük ekotoksisite ve etkin dağılım yoluyla uygulama tekrarı zorunluluğunu ortadan kaldırma gibi özelliklerden birine ya da bir kaçına sahip olmaları nedeniyle uygulanmaları ekonomik olmakla birlikte atmosfer, toprak ve su kirliliği gibi çevre sorunları yaratmamaktadır. Boyutları nedeniyle nanoteknolojiyle üretilen gübrelerde bulunan besin maddelerinin kök hücreleri ile yaprak kutikulasından girişi ve bitkide kısa ve uzun mesafe taşınmaları kolay olmaktadır. Geleneksel boyutlu gübrelerde olduğu gibi nanoteknolojik gübrelerdeki iyonların bitkiye girişine de hücre duvarı engel oluşturmaktadır. Hücre duvarlarındaki boşluk çaplarının 5-20 nm olduğu ölçülmüştür (Fleischer ve O'Neill, 1999). Bu durumda bu çaptan küçük olan maddeler hiçbir zorlukla karşılaşmadan hücre duvarından geçerek plazma membranına ulaşabilecektir. İşte nanoteknolojinin tarıma uygulanması bunu sağlamaya olanak vermek suretiyle gübrelerin etkin, ekonomik ve az kullanımın sağlayacak bir teknolojidir. Nano partiküllerin interaksiyonu ile bu porların uyarılmış genişmesi veya hücre duvarında yeni porların oluşma olasılığı da bulunmakta ki bu da, nano boyuttaki besin maddelerinin alımını kolaylaştırmakta, hızlandırmakta ve artırmaktadır. Ancak Fe-kleytlerin fiyatlarının yüksek olması kullanılmalarını ekonomik

açıdan zorlaştırmakta ve sınırlandırmaktadır. Bu yüzden Fe-kleytlerin yerini alabilecek ucuz kaynak ve yöntem arayışı yönündeki çalışmalar devam etmektedir. Nanoteknoloji ile üretilmiş Fe uygulaması bu açıdan önemli bir alternatif oluşturmaktadır (Güneş ve ark., 2013a).

Bitkilerin demir alımı üzerine çeşitli etmenler etki yapar. Bu etmenler; bitkisel, çevresel ve toprak etmenleri olmak üzere 3 grupta toplanabilir. Toprak sıcaklığının düşük ya da yüksek olması ve toprak neminin gereğinden fazla bulunması tarla koşullarında bitkilerin demir alımını olumsuz şekilde etkilemekte ve bitkilerde demir noksanlığı belirtileri görülmektedir. Soya fasulyesi üzerinde araştırmalar yapan Inskeep ve Bloom (1986), demir alımının 12 °C ve 26 °C toprak sıcaklıklarına göre 19 °C toprak sıcaklığında daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. Kireçli alkalın topraklarda yeterli düzeyde demir alamadıkları için bitkilerde demir noksanlığı belirtileri genelde daha sık ve yaygın görülür. Kireçli topraklarda demirin yayılsılılığı  $\text{HCO}_3$  konsantrasyonuna bağlı olarak azalır (Bloom ve Inskeep 1988). Toprak ve rizosfer pH'sını asit yöne doğru değiştiren uygulamalar bitkilerde demir alımının artmasına neden olmaktadır (Kalbasi ve ark., 1988). Çeşitli bitki besin elementlerinin, demirin yayılsılığını ve bitkilerin alımını etkilediği saptanmıştır. Ağır metaller demir alımını ve taşınmasını:  $\text{Cu}^{+2} > \text{Ni}^{+2} > \text{Co}^{+2} > \text{Zn}^{+2} > \text{Cr}^{+2} > \text{Mn}^{+2}$  şeklinde bir sıra içerisinde etkiler (Kacar ve ark. 2006). Bitki yapraklarında Fe miktarı kuru madde ilkesine göre 10 ile 1000  $\text{mg kg}^{-1}$  arasında değişir. Yeterli demir miktarı ise genelde 50-250  $\text{mg kg}^{-1}$  arasında değişir. Demir miktarı 50  $\text{mg kg}^{-1}$  dan az olduğu zaman bitkilerde noksanlık belirtileri görülebilir (Kacar ve ark., 2006).

Demirin bitkiler tarafından alınmasını ya da etkili bir şekilde kullanılmasını olumsuz yönde etkileyen her etmen bitkide demir noksanlığına bağlı belirtilerin ortaya çıkmasına neden olur. Demir noksanlığı belirtileri genç yapraklarda ve özellikle de son çıkan yapraklarda öncelikle görülür. Yaşlı yapraklardan genç yapraklara demir aktarılmaz. Bitkilerde demir noksanlığı damarlar arasında sararma olarak ortaya çıkar. Demir noksanlığının en tipik özelliği yapraklarda en ince damarların bile yeşil kalması ve damarlar arasında rengin tamamen sarıya dönmesidir (Kacar ve ark., 2006).

Eusèbe Gris (1844) kloroz ile Fe ilişkisini araştırmıştır. Geçen yüzyıl boyunca rizosferde bulunan Fe'in mobilizasyonu ve prensipleri üzerine araştırmalar devam etmiştir. Demir bitki kökleri tarafından iyonik formda ( $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$ ) absorbe edilebildiği gibi karmaşık organik tuzlar (şelat/kleyt) şeklinde de alınabilmektedir. Bitki bünyesinde

metabolik aktivitelere etkin rol oynayan Fe formu  $Fe^{+2}$ 'dir. Bitkilerin  $Fe^{+3}$  içerikleri fazla bile olsa noksanlık belirtilerine rastlanmaktadır. Klorofilin yapısında bulunmaması da klorofil oluşumunda çok önemli görevlere sahiptir. Bitki kökleri proton ( $H^+$  iyonlarını), indirgen madde ve farklı aminoasitler içeren kileyt oluşturucular (fitosideroforları), salgırlar. Bu bitkiler "demir-etkin" (iron-efficient) bitkiler olarak isimlendirilir ve demiri  $Fe^{+2}$  olarak alırlar. Demir'den daha fazla yararlanabilmek için geliştirdikleri mekanizmaya ise Strateji I denilmektedir. Bu mekanizmaya sahip olmadığı için Fe içerikleri düşük olan ve yüksek pH'larda Fe eksikliği gösteren bitkiler de "demir etkin olmayan" (iron-inefficient) bitkiler olarak tanımlanmıştır. Arpa, yulaf, buğday, çeltik gibi bazı buğdaygil bitkileri ise Strateji II olarak isimlendirilen mekanizmaya sahiptir. Bu mekanizmada buğdaygil bitkilerinin kökleriyle salgıladıkları fitosiderofor adı verilen madde, toprak çözeltisi içerisindeki  $Fe^{+3}$  ile kileyt oluşturur. Kileyten ayrılan ve indirgenen demir,  $Fe^{+2}$  şeklinde bitki kök hücreleri tarafından alınabilir forma dönüşmektedir (Kacar ve ark., 2010).

Son yıllarda ülkemizdeki tarım alanlarında ticari gübrelerin yoğun şekilde bilinçsiz olarak kullanımı sonucunda bazı mikro besin elementlerinin noksanlıkları yaygın bir biçimde görülmeye başlanmıştır. Bitkiler için mutlak gerekli mikro besin elementlerinden biri olan demirin bitki bünyesinde ve büyümesinde çok önemli fonksiyonları vardır. Bitkiler ihtiyaç duydukları anda ve ihtiyaç duydukları miktarda demir alamadıkları zaman bitkide klorofil oluşmadığı ve bu nedenle demir klorozunun ortaya çıktığı belirlenmiştir. Demir klorofilin yapısında yer almamakla birlikte; bitkinin demir beslenmesiyle klorofil içeriği arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır (Pushnik ve Miller, 1989). Ayrıca demir, protein sentezi üzerinde de etkilidir. Yeteri kadar demir içermeyen bitkilerde protein miktarı azalmakta ve amin bileşiklerinde artış görülmektedir.

Dünya nüfusunun hızla artması nedeniyle birim alandan elde edilen bitkisel ürün miktar ve kalitesinin artırılmasının hedeflendiği bitkisel üretimde (özellikle mevsim dışı yetişen ürünlerde) verimin artırılması, kalite standartlarının yakalanmasının yanı sıra insan sağlığını etkileyebilecek uygulamalardan da kaçınılması gerekmektedir. Günümüzde ağır metallerle kirlenmiş toprakların iyileştirilmesi için, kirlenmiş toprakların uzaklaştırılması, arazi doldurma ve fitoremediasyon gibi yöntemler kullanılmaktadır (Salt ve ark., 1998; Gardea-Torresdey ve ark., 2005).

Bu çalışmada farklı demir formlarının ve dozlarının fasulye (*Phaseolus vulgaris* L. var. nana) bitkisinde bitki gelişimi, verim parametreleri ve besin elementleri alımlarına etkileri ile kadmiyum bulaştırılmış ortamda kadmiyum toksisitesine etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.





## 2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Ağır metallere bağlı çevre kirlenmesi 19. yüzyılın sonları ile 20. yüzyılın başlarında madencilik ve endüstriyel aktivitelerle birlikte artmaya başlamış ve problemin boyutu günümüzde daha da önemli bir noktaya gelmiştir. Bakır (Cu), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb) ve civa (Hg) gibi metallerin üretimi önemli boyutlardadır (Pinto ve ark., 2004).

Çin'deki tarım topraklarının % 20'sinin ( $2.48 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ) ağır metallerce kirlenmiş olduğu ve bunun  $1.3 \times 10^5 \text{ hm}^2$  den fazlasının da kadmiyumla ilişkili olduğu bildirilmiştir (Gu ve Zhou, 2002).

Kadmiyuma bağlı büyümedeki gerileme, fotosentez olayı ve klorofil içeriğindeki azalmadan dolayı karbon fiksasyonunun engellenmesine bağlı olarak açıklanabilir (Hassan ve ark., 2005).

Bitkilerde kadmiyum birikimiyle ilgili çoğu önemli çalışmalar özellikle de tahıllar üzerine, örneğin; çeltik, buğday ve mısır üzerine yoğunlaşırken sebzelerde Cd birikimiyle ilgili daha az çalışma yapıldığı bildirilmiştir (Yu ve ark., 2006; Amar ve ark., 2007; Wang ve ark., 2007).

Çoğu bitkinin yeşil aksamındaki  $5-10 \mu\text{g g}^{-1}$  kadmiyumdan daha fazlasının, bazı Cd biriktiren bitkiler dışında, toksik olduğu bildirilmiştir (Reeves ve Baker, 2000; Broadley ve ark., 2001; Verbruggen ve ark., 2009).

Bitki türleri topraktan ağır metalleri kaldırma ve biriktirme bakımından farklı kapasitelere sahiptirler. Bazı türler, tüketildiğinde insan sağlığına önemli ölçüde zarar verebilecek düzeyde belirli ağır metalleri biriktirebilmektedirler (Wenzel ve Jackwer, 1999).

Metallerin bitkiler tarafından alımı, metalin topraktaki çözünürlüğü, toprak pH'sı, bitki büyüme dönemi, bitki türlerine, gübrelere ve toprağa göre değişebilmektedir (İsmail ve ark., 2005; Sharma ve ark., 2006).

Bitkilerde Cd birikiminde toprak pH'sının en önemli faktör olduğu (Kirkham, 2006) ve de marulda yapılan bir çalışmada topraktan kadmiyum alımında ve bitkilerde biriktirilmesinde toprak pH'sının karar verici olduğu ve düşük toprak pH'sında yetişen bitkinin kadmiyum alımının daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Lehoczky ve ark., 1998).

Bitkilerde Cd birikiminin fotosentez, bitki su ilişkileri, besin elementlerinin alımı ve taşınmasında olumsuzluklara yol açtığı ve bu durumun gözle görülebilir zararlanma belirtilerinin ortaya çıkmasıyla ve/veya ölümlerle sonuçlandığı bildirilmiştir (Sanita di Toppi ve Gabbrielli, 1999; Anjum ve ark., 2008a).

Cd birikiminin oksidatif strese neden olduğu tespit edilmiştir (Qadir ve ark., 2004; Tiryakioğlu ve ark., 2006; Anjum ve ark., 2008a, b).

Yapılan çalışmalar yaprağı yenen sebzelerde Cd birikimin daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Artan kadmiyum uygulamasının verime ve bitkinin yenilebilir kısımlarındaki Cd konsantrasyonuna etkisini araştırmak için sera koşulları altında marul, turp ve salatalık üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarda bitkiler 0, 1, 5, 10 ve 20 mg kg<sup>-1</sup> Cd uygulamalarında yetiştirilmiştir. Hiçbir bitkide toksik etki belirlenememesine rağmen deneme materyali bitkilerinin yenilebilir kısımlarının Cd konsantrasyonu, Cd uygulamaları ile artmıştır. Cd birikimi marul ve salatalığın yenilebilir kısımlarında ortaya çıkmıştır ve dış yapraklar iç yapraklara göre % 5-43 daha fazla Cd biriktirmiştir (Moustakas, 2001).

Kadmiyum uygulamasına bağlı olarak Cd konsantrasyonunun bezelyenin yeşil aksam ve kökünde arttığı bildirilmiştir (Sandalio ve ark., 2001).

Bitkiler, kadmiyum toksisitesine karşı hücrese düzeyde; immobilizasyon, kabul etmeme (dışlama), fitoşelatin sentezi, belli bölgelerde tutma, metalloproteinlerin sentezi, stres proteinlerinin sentezi ve etilen üretimi gibi değişik savunma sistemleriyle reaksiyon gösterebilirler (Sanita di Toppi ve Gabbrielli, 1999).

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, Dünya ve Türkiye topraklarında mikro besin elementleriyle ilgili yaygın beslenme problemlerinin olduğu ortaya konulmuştur ve Türkiye topraklarının % 27'sinde demir noksanlığı belirlenmiştir (Eyüpoğlu ve ark., 1998).

Orta Anadolu tarım topraklarının yaklaşık % 85'inde demir (Fe) noksanlığı (Gezgin ve Er, 2001) bulunmakta olup bu noksanlığın hem bitkilerde hem de besin zinciri yoluyla insan ve hayvanlarda olumsuz etkileri çok yaygın olarak görülmektedir. Dünyada enerji ve protein gereksinimi bakımından 800 milyon insanın yetersiz beslenmesine karşın, 2 milyara yakın insan gizli açlık olarak isimlendirilen ve yetersiz seviyede mikro element (demir, çinko, selenyum ve bor vb.) ve vitamin noksanlığı çekmektedir (Çakmak, 2002; Welch, 2002).

Kireçli topraklara göre asit topraklarda daha fazla çözünebilir inorganik Fe bulunur. Ülkemiz topraklarının neredeyse tamamına yakınında, pH ve kireç yüksektir. Dolayısıyla kireç kökenli kloroz (demir noksanlığı) tahılların dışındaki bitkilerde dünyada ve ülkemizde çok sık karşılaşılan bir beslenme sorunudur. Demir noksanlığından en fazla etkilenen bitkiler meyve ağaçları ve baklagiller grubundaki bitkilerdir. Kireçli topraklarda yetiştirilen bitkilerde yaygın olarak görülen Fe noksanlığını, toprağın sıkışması veya fazla su içermesi nedeniyle oluşan havalanma yetersizliği ile toprağın uzun süre ıslak kalmasına neden olan düşük sıcaklık daha da şiddetlendirir (Römheld, 1985).

Demir klorozunu artıran O<sub>2</sub> yetersizliği değil HCO<sub>3</sub> konsantrasyonunun yüksek oluşudur. Yapraklarda Fe'in kritik noksanlık düzeyi 50-150 mg kg<sup>-1</sup> arasında değişir. Bitkiler yeteri kadar demir alamadıklarında demir noksanlığı ile karşılaşmaktadır. Bu durum, demir noksanlığı olan bitkileri tüketen insan ve hayvanlarda da demir noksanlığına sebep olmaktadır. Dünya nüfusunun neredeyse 1/3'ünde demir noksanlığının görülmesi konunun önemini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Demir noksanlığında bitkilerde en genç yapraklar sarımsı-yeşil renk alır ve bu yaprakların damarlar arası limon sarısı veya turuncu renge benzer görünüm ortaya çıkar. Buna karşılık en inceler de dahil olmak üzere tüm damarlar yeşil rengini korur (Bergmann, 1992; Güneş ve ark., 2013a).

Soya fasulyesi bitkisinin demir alımı üzerine EDDHA ürünleri olan racemic 0,0-EDDHA, meso 0,0-EDDHA, O P-EDDHA ve rest-EDDHA uygulamalarının etkilerini belirlemek için yaptıkları çalışmada, Fe EDDHA uygulamalarının bitkinin verimini (% 30) ve bitkinin Fe içeriğini (% 50) artırdığını bildirmişlerdir (Schenkeveld ve ark., 2007).

Araştırma sonucunda değişik demir bileşikleri ve hümik + fulvik asit kaynağı olarak farklı dozlarda TKİ-Hümas uygulamalarının ıspanak bitkisinin aktif (Fe<sup>+2</sup>) ve toplam demir, klorofil a, klorofil b, klorofil a+b ve kuru madde verimi üzerine etkileri farklı bulunmuştur. Bitkilerin beslenmesi, ekonomik olması ve verimin artırılması bakımından FeSO<sub>4</sub>. 7H<sub>2</sub>O + 250 ppm hümik + fulvik asit sağlayan TKİ-Hümas uygulaması FeEDDHA'ya alternatif olarak tercih edilebilir olduğu bildirilmiştir (Yılmaz ve ark., 2012).

Yapılan çalışmada domates bitkisinin kuru madde verimi, demir ve klorofil içeriği üzerine potasyum (150, 300 ve 450 mg kg<sup>-1</sup>) ve demir (1 ve 3 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamaların

etkisini araştırdıkları bir çalışmada, yaprakların toplam demir, aktif demir, klorofil a, b ve a+b içerikleri üzerine demir uygulamaların; bitki kuru madde verimi üzerine potasyum ve demir uygulamaları arasındaki interaksiyonun etkisinin istatistiki bakımdan önemli olduğunu belirtilmiştir. Ayrıca bitkinin toplam ve aktif demir kapsamaları ile klorofil içeriklerinin artan demir uygulamalarına bağlı olarak arttığı bildirilmiştir (Asri ve Sönmez, 2010).

Yapılan çalışmada demir sülfat uygulamasının bitki gelişimi üzerine önemli bir etkide bulunmadığı bildirilmiştir. Bu durumun; organik kilyet formda uygulanan demirden bitkilerin yararlanma oranının, inorganik formdaki demir bileşiklerinden daha yüksek olmasından ileri geldiği, kireç kapsamı yüksek olan topraklarda kireç tarafından elverişsiz formlarda bağlanan demirin alımı güçleştiği, toprakta yeterli düzeyde demir bulunsa da bitkinin alamadığı, bu durumda demirin, toprakta ancak kilyetlere bağlı olduğunda alınabildiği bildirilmiştir (Aydeniz ve ark., 1990).

Bitkilerin demir noksanlığına duyarlılıklarının farklı olduğu belirtilerek demir alım stratejilerine göre bitkilerin 2 gruba ayrıldığı bildirilmiştir. Demir noksanlığına duyarlı bitkiler (strateji-I) soya fasulyesi, yer fıstığı, ayıceği, bağlar ve coğunlukla diğer dikotiledonlardır. Daha az duyarlı bitkiler ise (strateji-II) sorgum, buğday, mısır, cavdar, yulaf ve diğer graminealar olarak belirtilmektedir (Bergmann, 1988).

şelatlı nano-Fe'in ıspanak bitkisinde verim ve verim ögelerini artırdığı belirtilmiştir (Moghadam ve ark., 2012).

Patlıcan bitkisine 0, 1, 2 g L<sup>-1</sup> düzeyinde yapraktan uygulanan nano-şelatlı-Fe düzeylerinden 2 g L<sup>-1</sup> düzeyinde en yüksek verim alındığını belirtmiştir (Bozorgi, 2012).

Buğday bitkisine topraktan % 0, 0.05, 0.1, 0.5 ve 1 düzeylerinde nano-Fe (25-250 nm) ve normal FeO (0.02-0.06 mm) uygulayarak bitkinin Fe, Mn, Zn ve Cu alımını incelemişler ve bitkinin Mn kapsamının azalmasına karşın Fe, Zn ve Cu kapsamının arttığını, bu artışın nano-Fe uygulamalarında daha fazla olduğunu belirtmişlerdir (Güneş ve ark., 2013a).

Yapılan çalışmada, topraktan demir uygulamaları 10 mg kg<sup>-1</sup> Fe seviyelerinde yapılmış, buna ilave olarak Nano-Fe 1 mg kg<sup>-1</sup> seviyesinde dşuk doz olarak da uygulanmıştır. Yerfıstığı bitkisinin gelişimi üzerine en olumlu etkiyi Fe-EDDHA yapmış, bunu 1 mg kg<sup>-1</sup> Nano-Fe ve FeSO<sub>4</sub> uygulamaları takip etmiştir. Yapraktan yapılan uygulamalarda ise 10 mg kg<sup>-1</sup> seviyesinde uygulanan bütün demir kaynakları yerfıstığı

bitkisinin ağırlığını önemli düzeyde artırmıştır. Ayrıca topraktan FeSO<sub>4</sub>, Fe EDDHA ve nano Fe kaynaklarından uygulanan demirin yerfıstığı bitkisinin demir kapsamı üzerine etkileri farklı olmuştur. Kontrol grubundaki bitkilerin demir kapsamı 257.90 mg kg<sup>-1</sup> iken, topraktan 10 mg kg<sup>-1</sup> düzeyinde Nano-Fe uygulamasıyla yerfıstığı yapraklarının demir kapsamı 389 mg kg<sup>-1</sup>'a çıkararak, bu uygulama yaprakların demir kapsamını arttırmada diğer gübrelere göre daha etkili olmuştur. Toprakta olduğu gibi yaprakta uygulanan Nano-Fe uygulaması oldukça etkili olmuştur ve yaprakta % 0.2 seviyesinde uygulanan Nano-Fe ile yerfıstığı bitkisinin demir kapsamı 1234 mg kg<sup>-1</sup>'a yükselmiştir (Güneş ve ark., 2013b).

Kadmiyumun bitkilerde, çeşitli besin elementlerinin alımını ve dağılımını etkilediğini bildirilmiştir (Jastrow ve Koeppe, 1980).

Kadmiyumun bitkilerde, çeşitli besin elementlerinin alımını ve dağılımını etkilemesinin temel nedeninin, hem işlenmiş bitkilerin kökleri hem de sürgünlerinde çoğunlukla Cd'ye bağlı Fe eksikliğinden kaynaklanan kloroz olduğu bildirilmiştir (Terry, 1981; Siedlecka and Baszynski, 1993; Jalil ve ark., 1994).

Öte yandan, Cd alımı Fe dahil diğer katyonlardan da etkilenebilir (Thys ve ark., 1991; Siedlecka and Baszynski, 1993; Siedlecka, 1995).

İki değerlikli bir katyon olan kadmiyumun, membranlarda karşıya taşınmalarında Ca, Mg ve demir (Fe) ile rekabet edebileceği bildirilmiştir (Llamas ve ark., 2000).

Cd stresi altında Cd'ye duyarlı çeşitlerin yapraklarındaki Mn, Fe, Mg, S ve P konsantrasyonlarının azalmasının, yaprak fotosentezinin sınırlanmasının ve lahananın büyümesinin azalmasının ana nedeni olduğu gösterilmiştir (Sun ve Shen, 2007).

Farklı arpa genotiplerinde gelişme ortamına kadmiyum ilavesi çekirdek, kök ve sürgünlerde Mn ve Cu konsantrasyonlarını, ayrıca çekirdek ve sürgünlerde Fe konsantrasyonunu da düşürmüştür (Wu ve ark. 2003).

Kadmiyum, normal ve aşırı demir arzında (0, 10, 20 ve 50 µM dozlarda) köklerde ve birincil yapraklarda demir birikimini azaltırken, diğer yandan fazla demir, bitkilerin büyüme ortamında çok yüksek kadmiyum konsantrasyonlarının aşırı toksisitesini engelleyerek kadmiyum seviyesini düşürmüştür. Ayrıca besin ortamında Cd ve Fe arasındaki karşılıklı ilişkilere bağlı olarak, nihai etkilerin oldukça antagonistik veya sinerjistik olması gerektiği anlaşılmıştır. Fe eksikliği koşullarında, köklerde ve özellikle birincil yapraklarda, kolaylaştırılmış Cd birikimi ile ilişkili olarak, genel olarak bitki

gelişimine yönelik arttırılmış Cd toksisitesi gözlemlenmiştir. Öte yandan, temelde toksik olmasına rağmen aşırı Fe, Cd'nin toksisitesini sınırlayan bazı detoksifikasyon etkileri göstermiştir. Bu büyük oranda fasulye köklerinde ve birincil yapraklarda azalmış Cd birikimine bağlanmıştır (Siedlecka ve Krupa, 1996).



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Araştırma Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'ne ait iklim odasında yürütülmüştür. Araştırmada deneme bitkisi olarak fasulye (*Phaseolus vulgaris* L. var. nana) bitkisi kullanılmıştır.

Yetiştirme ortamında sıcaklık, nem, ışık ve ayrıca sterilizasyon kontrolleri yapılmıştır. İklim odasında fidelikler büyüme ve gelişme süresince % 45-55 nem, 16 saat aydınlık ve 8 saat karanlık fotoperiyod,  $25\pm 1$  °C sıcaklık ile 10 000 Lüks/Gün ışık intensitesi olacak şekilde ayarlanan kontrollü koşullar altında yetiştirilmişlerdir. İnorganik demir olarak % 20 Fe içeren ticari preparat ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) kullanılmıştır. Organik demir olarak, ticari ismi MİCROFER olan % 6 Fe içeren kleyt yapılı Fe EDDHA kullanılmıştır. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Malzeme Bilgisi Ana Bilim Dalından temin edilen, Nano Fe olarak,  $\text{NaBH}_4$  ün Fe EDDHA ile reaksiyona sokulması sonucu elde edilen, Fe içeriği 395 mg  $\text{kg}^{-1}$  ve partikül büyüklüğü 100 nm den küçük olan nano Fe kullanılmıştır.

#### 3.2. Yöntem

##### 3.2.1. Deneme planı

Araştırma 3 tekrarlamalı olarak 54 saksıda faktöriyel deneme desenine göre yürütülmüştür. Deneme 3 kg kapasiteli saksılarda yürütülmüştür ve deneme için 8 adet tohum ekilip birinci haftanın sonunda 4 adet bitkiye seyreltilmiştir. Kadmiyum, 3 farklı dozda (0-40-80 mg  $\text{kg}^{-1}$ ) ve demir, inorganik Fe ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) organik Fe (Fe-EDDHA), nano Fe (0-15 mg  $\text{kg}^{-1}$ ) olacak şekilde 2 farklı dozda uygulanmıştır. Kadmiyum, tohum ekimiyle birlikte  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  olarak ve cansuyu ile beraber uygulanmıştır. Demir, çimlenmeden sonra  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , Fe-EDDHA ve nano Fe olarak 3 farklı formda uygulanmıştır. Temel gübreleme olarak 100 mg  $\text{kg}^{-1}$   $\text{P}_2\text{O}_5$ , 150 mg  $\text{kg}^{-1}$   $\text{K}_2\text{O}$  ile 250 mg

kg<sup>-1</sup> N olacak şekilde sırasıyla Triple süper fosfat, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gübreleri uygulanmıştır.

Deneme, 30/11/2017 de tohum ekiminden hasada kadar iklim odasında kontrol altında tutulmuştur. Çalışma sonuna kadar saf su kullanılmış, sulama ve diğer bakım işlemleri özenle yapılmıştır. Hasat, çimlenmeden 8 hafta sonra 29/01/2018 de yapılmış ve alınan bitki örneklerinin gelişim kriterleri kaydedildikten sonra örnekler saf su ile yıkayıp sabit ağırlığa gelinceye kadar 65°C’de kurutulmuş ve kimyasal analizlere tabi tutulmuştur.

Denemede kullanılan yetiştirme ortamları ve uygulamalar aşağıda özetlenmiş ve farklı uygulamalardaki bitki gelişimine ait görüntüler Şekil 1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Denemede kullanılan uygulamalar ve dozları

İnorganik Fe	Organik Fe	Nano Fe
1) İnog Fe0-Cd0	7) Org Fe0-Cd0	13) Nano Fe0-Cd0
2) İnog Fe0-Cd1	8) Org Fe0-Cd1	14) Nano Fe0-Cd1
3) İnog Fe0-Cd2	9) Org Fe0-Cd2	15) Nano Fe0-Cd2
4) İnog Fe1-Cd0	10) Org Fe1-Cd0	16) Nano Fe1-Cd0
5) İnog Fe1-Cd1	11) Org Fe1-Cd1	17) Nano Fe1-Cd1
6) İnog Fe1-Cd2	12) Org Fe1-Cd2	18) Nano Fe1-Cd2

Kadmium, 3 farklı dozda (0-40-80 mg kg<sup>-1</sup>) ve Fe (0-15 mg kg<sup>-1</sup>) olacak şekilde 2 farklı dozda uygulanmıştır.



Şekil 3.1. Deneme deseninin genel görünümü.





Şekil 3.2. Organik Fe0 Cd0, Cd1, Cd2 uygulamalarında bitkilerin genel görünümü.



Şekil 3.3. Organik Fe1 Cd0, Cd1, Cd2 uygulamalarında bitkilerin genel görünümü.



Şekil 3.4. İnorganik Fe0 Cd0, Cd1, Cd2 uygulamalarında bitkilerin genel görünümü.



Şekil 3.5. İnorganik Fe1 Cd0, Cd1, Cd2 uygulamalarında bitkilerin genel görünümü.



Şekil 3.6. Nano Fe0 Cd0, Cd1, Cd2 uygulamalarında bitkilerin genel görünümü.



Şekil 3.7. Nano Fe1 Cd0, Cd1, Cd2 uygulamalarında bitkilerin genel görünümü.



Şekil 3.8. Cd0 dozunda 3 farklı Fe formunun karşılaştırıldığı uygulamalarda bitkilerin genel görünümü.



Şekil 3.9. Cd1 dozunda 3 farklı Fe formunun karşılaştırıldığı uygulamalarda bitkilerin genel görünümü.



Şekil 3.10. Cd2 dozunda 3 farklı Fe formunun karşılaştırıldığı uygulamalarda bitkilerin genel görünümü.



Şekil 3.11. Cd0, Cd1 ve Cd2 dozlarında 3 farklı Fe formunun karşılaştırıldığı uygulamalarda bitkilerin genel görünümü.

### **3.2.2. Toprak örneklerindeki fiziksel ve kimyasal analizler**

#### **3.2.2.1. Toprak tekstürü**

Toprak tekstürü, hidrometre yöntemine göre yapılmıştır (Bouyoucous, 1951).

#### **3.2.2.2. Toprak reaksiyonu**

Toprak reaksiyonu, cam elektrotlu pH-metre ile 1:2.5'luk toprak-su karışımında belirlenmiştir (Jackson, 1964).

#### **3.2.2.3. Tuz içeriği**

Toprak tuzluluğu 1:2.5'luk toprak-su karışımında kondaktivite aleti kullanılarak elektriksel iletkenliğin ölçülmesi ile belirlenmiştir (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954).

#### **3.2.2.4. Organik madde içeriği**

Organik madde analizi, Walkley-Black yaş yakma metoduna (Jackson, 1964) göre titrimetrik yöntem ile yapılmıştır.

#### **3.2.2.5. Kireç içeriği**

Kireç içeriği, Scheibler kalsimetre (Çağlar, 1949) yöntemine göre belirlenmiştir.

#### **3.2.2.6. DTPA'da ekstrakte edilebilir mikro besin elementleri**

Ekstrakte edilebilir Zn, Fe, Mn ve Cu elementlerinin analizleri kireçli topraklar için önerilen DTPA-TEA ekstraksiyon çözeltisiyle AAS de okunarak yapılmıştır (Lindsay ve Norvell, 1978).

### **3.2.2.7. Yarayışlı fosfor**

Olsen yöntemine göre, ekstrakt çözeltilisine geçen fosfor, molibdofosforik mavi renk yöntemine göre belirlenmiştir (Olsen ve Watanable, 1957).

### **3.2.2.8. Değişebilir katyonlar**

Örneklerin değişebilir, K, Ca, Mg değerleri 1 N Amonyum asetat yöntemine göre, pH değeri 7 olan 1 N Amonyum asetat (NH<sub>4</sub>OAc) ile çalkalanarak elde edilen süzükler atomik absorpsiyon spektrofotometresinde (Themo ICE 3000 series) tayin edilmiştir (Pratt, 1965).

### **3.2.3. Bitki örneklerindeki fiziksel ölçümler**

#### **3.2.3.1. Bitki boyu (cm/bitki)**

Kök boğazından hasat edilen bitkilerin kök boğazı ile tepe noktası arasındaki mesafe cetvel yardımıyla ölçülmüştür.

#### **3.2.3.2. Bitki yaş ve kuru ağırlıkları (g/bitki)**

Deneme sonunda hasat edilen 4 bitki hassas terazide tartılarak yaş ağırlıkları belirlenmiştir; daha sonra aynı örnekler 65 °C etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları alınmıştır.

#### **3.2.3.3. Gövde çapı (mm/bitki)**

Gövde çapı sayısal kompast yardımı ile mm ( $\pm 0.1$ ) olarak belirlenmiştir.

#### **3.2.3.4. Yaprak sayısı (adet/bitki)**

Deneme sonunda hasat edilen fasulye bitkilerinde yaprak sayısı bitkin üzerindeki tüm yaprakların sayılması ile adet/bitki olarak ölçülmüştür.

#### **3.2.3.5. Kök yaş ve kuru ağırlıkları (g/bitki)**

Deneme sonunda hasat edilen bitkilerden 4 bitki kökü hassas terazide tartılarak yaş ağırlıkları belirlenmiştir; daha sonra aynı örnekler 65 °C etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları alınmıştır.

#### **3.2.3.6. Kök uzunluğu ve çapı (cm/bitki- mm/bitki)**

Bitkide kök boğazından kök ucuna kadar olan bölge cm ( $\pm 0.5$ ) cinsinden metre ile ölçülmüştür. Kök çapı sayısal kompast yardımcı ile mm ( $\pm 0.1$ ) olarak belirlenmiştir.

### **3.2.4. Bitki örneklerindeki kimyasal analizler**

#### **3.2.4.1. Makro ve mikro besin element alımlarının belirlenmesi**

Bitki örneklerinde, Azot; kjeldahl yöntemi ile, fosfor spektrofotometre ile vanado molibdo sarı renk yöntemine göre, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn) içerikleri kuru yakma sonunda elde edilen ekstraktlarda atomik absorpsiyon spektrofotometre (Thermo ICE 3000 series) ile belirlenmiştir (Kacar ve İnal, 2008). Bitkilerin makro ve mikro besin elementi alımları, hasat edilen bitkilerin kuru ağırlıklarının bitkilerin besin elementi konsantrasyon değerleri ile çarpılması yoluyla hesaplanmıştır.

#### **3.2.4.2. Kadmiyum alımının belirlenmesi**

Bitki kök ve yaprak örnekleri, çift asit ekstraksiyon yöntemi kullanılarak nitrik ve perklorik asit karışımı (3:1 oranında) ile muamele edildikten sonra, Cd içeriği atomik absorpsiyon spektrofotometresi (Thermo ICE 3000 series) ile analiz edilmiştir (Kacar,



1994). Bitkilerde Cd alımı hasat edilen bitkilerin kuru ağırlıklarının Cd konsantrasyon değerleri ile çarpılması yoluyla hesaplanmıştır.

### **3.3. İstatistiksel Analizler**

Elde edilen bulguların istatistik analizleri SPSS paket programı kullanılarak varyans analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Duncan çoklu karşılaştırma testine göre gruplandırılmıştır (SPSS, 2018).





#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Denemede kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

pH	Tekstür	Kireç	OM	EC	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		%	%	dS /m								
7.81	Tın	3.86	1.32	0.36	5.50	298	3034	405	5.58	29.84	0.58	0.81

Deneme toprağı tınlı bünyeli hafif alkali reaksiyonlu, tuzsuz, orta seviyede kireçli, organik madde, fosfor ve çinko içeriği bakımından yetersiz, diğer besin elementleri bakımından yeterli düzeyde bulunmuştur.

Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarının bitki ve kök gelişimine etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.2 ve 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarının bitki boyu, bitki yaş ağırlığı, bitki kuru ağırlığı, yaprak sayısı ve gövde çapına etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

VK	SD	Bitki Boyu		Bitki Yaş Ağırlığı		Bitki Kuru Ağırlığı		Yaprak Sayısı		Gövde Çapı	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Fe Form	2	115.84	3.68*	2.56	1.71 <sup>öd</sup>	0.01	0.24 <sup>öd</sup>	0.73	1.07 <sup>öd</sup>	0.32	1.90 <sup>öd</sup>
Fe doz	1	264.85	8.40**	0.20	0.14 <sup>öd</sup>	0.19	6.84*	0.07	0.11 <sup>öd</sup>	0.00	0.002 <sup>öd</sup>
Cd doz	2	245.85	7.80**	22.34	14.88**	0.29	10.49**	1.44	2.11 <sup>öd</sup>	0.25	1.51 <sup>öd</sup>
Fe	2	262.40	8.33**	12.65	8.43**	0.09	3.33*	0.003	0.004 <sup>öd</sup>	0.18	1.10 <sup>öd</sup>
FormXFe doz	4	72.12	2.29 <sup>öd</sup>	5.68	3.78*	0.02	0.71 <sup>öd</sup>	0.03	0.05 <sup>öd</sup>	0.06	0.36 <sup>öd</sup>
FormX Cd doz	2	5.41	0.17 <sup>öd</sup>	0.16	0.11 <sup>öd</sup>	0.02	0.77 <sup>öd</sup>	1.04	1.52 <sup>öd</sup>	0.02	0.12 <sup>öd</sup>
Fe dozX Cd doz	4	126.75	4.02**	7.97	5.31**	0.03	1.09 <sup>öd</sup>	0.49	0.72 <sup>öd</sup>	0.14	0.83 <sup>öd</sup>
FormX Fe dozX Cd doz											

\*\* ile gösterilen F değeri % 1 düzeyinde önemlidir (P<0.01).

\* ile gösterilen F değeri % 5 düzeyinde önemlidir (P<0.05).

Farklı Fe formlarının bitki boyu üzerine etkileri önemli (P<0.05) bulunmuştur. Benzer şekilde Fe dozlarının bitki boyu üzerine etkilerinin önemli (P<0.01) olduğu bitki kuru ağırlığı üzerine etkilerinin önemli (P<0.05) olduğu belirlenmiştir. Kadmiyum dozları bitki boyu ve bitki yaş ve kuru ağırlığında istatistiksel anlamda % 1 düzeyinde

önemli değişim meydana getirmişlerdir. Demir formu x Fe dozu x Cd dozu interaksiyonlarının bitki boyu ve bitki yaş ağırlığı üzerine etkileri önemli ( $P<0.01$ ) bulunmuştur (Çizelge 4.2 ).

Çizelge 4.3. Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarının kök boyu, kök yaş ağırlığı, kök kuru ağırlığı ve kök çapına etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

VK	SD	Kök Boyu		Kök Yaş Ağırlığı		Kök Kuru Ağırlığı		Kök Çapı	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Fe Form	2	320.26	28.45**	0.99	2.94 <sup>öd</sup>	0.057	11.71**	0.38	1.90 <sup>öd</sup>
Fe doz	1	280.08	24.88**	0.05	0.14 <sup>öd</sup>	0.02	0.348 <sup>öd</sup>	0.00	0.002 <sup>öd</sup>
Cd doz	2	161.46	14.34**	3.75	11.18**	0.016	3.31*	0.30	1.51 <sup>öd</sup>
Fe	2	83.47	7.42**	4.38	13.04**	0.096	19.84**	0.22	1.10 <sup>öd</sup>
FormXFe doz									
Fe	4	14.43	1.28 <sup>öd</sup>	1.65	4.91**	0.05	9.37**	0.07	0.36 <sup>öd</sup>
FormXCd doz									
Fe dozXCd doz	2	11.81	1.05 <sup>öd</sup>	0.20	0.59 <sup>öd</sup>	0.03	6.70**	0.02	0.12 <sup>öd</sup>
Fe	4	26.53	2.36 <sup>öd</sup>	1.18	3.50*	0.032	6.67**	0.17	0.83 <sup>öd</sup>
FormXFe dozXCd doz									

\*\* ile gösterilen F değeri % 1 düzeyinde önemlidir ( $P<0.01$ ).

\* ile gösterilen F değeri % 5 düzeyinde önemlidir ( $P<0.05$ ).

Farklı Fe formlarının kök boyu ve kök kuru ağırlığı üzerine etkileri önemli ( $P<0.01$ ) bulunmuştur. Benzer şekilde Fe dozlarının kök boyu üzerine etkilerinin önemli ( $P<0.01$ ) olduğu belirlenmiştir. Kadmiyum dozları kök boyu ve kök yaş ağırlığında istatistiksel anlamda % 1 düzeyinde, kök kuru ağırlığında ise % 5 düzeyinde önemli değişim meydana getirmişlerdir. Demir formu x Fe dozu x Cd dozu interaksiyonlarının kök kuru ağırlığı üzerine etkileri önemli ( $P<0.01$ ) ve kök yaş ağırlığı üzerine etkileri önemli ( $P<0.05$ ) bulunmuştur (Çizelge 4.3).

Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarında elde edilen bitki ve kök gelişim kriterlerine ilişkin ortalamalar ve Duncan harflendirmeleri Çizelge 4.4 ve 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarında elde edilen bitki boyu, bitki yaş ağırlığı, bitki kuru ağırlığı, yaprak sayısı ve gövde çapına ilişkin ortalamalar ve duncan harflendirmeleri

	Fe form	Fe doz (mg kg <sup>-1</sup> )	Cd 0	Cd1	Cd2	Fe ort.	Fe Genel ort.
Bitki boyu (cm)	İnorg Fe	0	35.69a	29.07ab	24.00b	29.59	28.74A
		15	27.83ab	21.19b	34.67a	27.90	
		Cd ort.	31.76a	25.13b	29.34ab		
	Org Fe	0	33.79a	32.35ab	27.81abc	31.32A	24.79B
		15	23.17bc	19.28cd	12.33d	20.33B	
		Cd ort.	28.48a	25.81ab	20.07b		
	Nano Fe	0	30.56ab	29.66ab	26.15ab	28.79	29.52A
		15	37.72a	33.53a	19.49b	30.25	
		Cd ort.	34.14a	31.60a	22.82b		
Cd Genel ort.			31.46A	27.51B	24.08B		
Bitki yaş ağırlığı (g saksı <sup>-1</sup> )	İnorg Fe	0	30ab	19.56b	20.16b	23.24B	26.8
		15	30.12ab	23.4b	37.52a	30.36A	
		Cd ort.	30.08a	21.48b	28.84ab		
	Org Fe	0	33.04a	26.04ab	21.16b	26.76	23.92
		15	28.68ab	21.56b	13.12c	23.96	
		Cd ort.	30.84a	23.8b	17.16c		
	Nano Fe	0	29.32ab	24.36b	29.32ab	27.64	26.2
		15	33.52a	24.64b	15.96c	24.72	
		Cd ort.	31.44a	24.48b	22.64b		
Cd Genel ort.			30.76A	23.24B	22.88B		
Bitki kuru ağırlığı (g saksı <sup>-1</sup> )	İnorg Fe	0	3.16	2.48	2.32	2.64	2.72
		15	3.32	2.52	2.56	2.80	
		Cd ort.	3.24	2.48	2.44		
	Org Fe	0	3.88a	3.36ab	2.44abc	3.20A	2.72
		15	2.88abc	2.32bc	1.52c	2.32B	
		Cd ort.	3.4a	2.84ab	2b		
	Nano Fe	0	3.16a	3a	3.28a	3.16	2.84
		15	3.48a	2.48ab	1.72b	2.56	
		Cd ort.	3.32a	2.76ab	2.52b		
Cd Genel ort.			3.32A	2.68B	2.32B		
Yaprak sayısı (adet)	İnorg Fe	0	6.58a	5.67ab	5.06b	5.77	5.80
		15	5.58ab	5.67ab	6.25ab	5.83	
		Cd ort.	6.08	5.67	5.65		
	Org Fe	0	6.33	6.00	5.58	5.97	6.02
		15	6.45	5.94	5.83	6.13	
		Cd ort.	6.39	5.97	5.71		
	Nano Fe	0	6.08	5.42	5.28	5.59	5.62
		15	5.75	5.69	5.50	5.65	
		Cd ort.	5.92	5.56	5.39		
Cd Genel ort.			6.13	5.73	5.58		
Gövde çapı (mm)	İnorg Fe	0	3.39	3.30	3.30	3.33	3.43
		15	3.48	3.44	3.70	3.54	
		Cd ort.	3.44	3.37	3.50		
	Org Fe	0	4.02	3.46	3.50	3.66	3.56
		15	3.46	3.48	3.46	3.48	
		Cd ort.	3.74	3.47	3.48		
	Nano Fe	0	3.75	3.64	3.70	3.70	3.70
		15	4.06	3.46	3.59	3.70	
		Cd ort.	3.91	3.55	3.65		
Cd Genel ort.			3.69	3.46	3.54		

a,b, c, d: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi satırında ve sütununda önemlidir.

Çizelge 4.5. Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarında elde edilen kök boyu, kök yaş ağırlığı, kök kuru ağırlığı ve kök çapına ilişkin ortalamalar ve duncan harflendirmeleri

	Fe form	Fe doz (mg kg <sup>-1</sup> )	Cd 0	Cd1	Cd2	Fe ort.	Fe Genel ort.
Kök boyu (cm)	İnorg Fe	0	26.11ab	26.50a	18.17b	23.59	23.64A
		15	24.31ab	22.67ab	24.08ab	23.69	
		Cd ort.	25.21	24.58	21.13		
	Org Fe	0	23.42ab	25.08a	16.64c	21.71A	17.51B
		15	17.78bc	14.69c	7.44d	15.44B	
		Cd ort.	20.60a	19.89a	12.04b		
	Nano Fe	0	18.53a	18.47a	17.68a	18.23A	15.55B
		15	16.19ab	13.58b	8.87c	12.88B	
		Cd ort.	17.36a	16.03a	13.28b		
Cd Genel ort.			21.05A	20.17A	15.48B		
Kök yaş ağırlığı (g saksı <sup>-1</sup> )	İnorg Fe	0	7.72b	3.88b	4.52b	5.36B	7.12AB
		15	8.2b	7.4b	10.96a	8.84A	
		Cd ort.	7.96ab	5.64b	7.76a		
	Org Fe	0	10.32a	10.92a	8.2a	9.8	8.16A
		15	10.64a	6.04ab	2.96b	7.6	
		Cd ort.	10.48a	8.48ab	5.6b		
	Nano Fe	0	11.04a	6bc	4.48c	7.16	6.32B
		15	8.68ab	4.68c	3.12c	5.48	
		Cd ort.	9.88a	5.36b	3.8b		
Cd Genel ort.			9.44A	6.48B	5.72B		
Kök kuru ağırlığı (g saksı <sup>-1</sup> )	İnorg Fe	0	0.92b	0.36b	0.52b	0.60B	0.24A
		15	0.76b	0.80b	2.32a	1.32A	
		Cd ort.	0.84b	0.56b	1.4a		
	Org Fe	0	0.96a	0.84a	0.56ab	0.80	0.17B
		15	0.76a	0.68ab	0.20b	0.72	
		Cd ort.	0.88a	0.76a	0.40b		
	Nano Fe	0	0.92a	0.52b	0.52b	0.68A	0.48B
		15	0.48b	0.24b	0.28b	0.33B	
		Cd ort.	0.72a	0.40b	0.40b		
Cd Genel ort.			0.80A	0.56B	0.72AB		
Kök çapı (mm)	İnorg Fe	0	3.73	3.63	3.63	3.66	3.78
		15	3.83	3.78	4.07	3.89	
		Cd ort.	3.78	3.70	3.85		
	Org Fe	0	4.42	3.81	3.85	4.03	3.92
		15	3.81	3.82	3.80	3.83	
		Cd ort.	4.12	3.82	3.83		
	Nano Fe	0	4.12	4.01	4.07	4.07	4.07
		15	4.47	3.80	3.94	4.07	
		Cd ort.	4.30	3.90	4.01		
Cd Genel ort			4.06	3.81	3.90		

a,b, c, d: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi satırında ve sütununda önemlidir.

Bu araştırmada, artan Cd dozları ile bitki boyunda azalmalar belirlenmiştir. En yüksek bitki boyu, bitki yaş ağırlığı, bitki kuru ağırlığı, yaprak sayısı ve gövde çapı

ortalamları sırası ile 31.46 cm, 30.76 g saksı<sup>-1</sup>, 3.32 g saksı<sup>-1</sup>, 6.13 adet ve 3.69 mm olarak Cd0 uygulamasında elde edilmişlerdir. Gövde çapı dışında, bu parametrelere ilişkin en düşük değerler ise sırası ile 24.08 cm, 22.88 g saksı<sup>-1</sup>, 2.32 g saksı<sup>-1</sup>, ve 5.58 adet olarak Cd2 uygulamasında elde edilirken, en düşük gövde çapı ortalaması 3.46 mm Cd1 uygulamasında bulunmuştur (Çizelge 4.4).

Kadmiyum uygulamaları kök boyu, kök yaş ve kuru ağırlığında azalmalara neden olmuştur. En yüksek kök boyu, kök yaş ve kuru ağırlıkları sırası ile 21.05 cm, 9.44 g saksı<sup>-1</sup> ve 0.80 g saksı<sup>-1</sup> olarak Cd0 uygulamasında elde edilirken bu parametrelere ilişkin en düşük ortalamalar sırası ile 15.48 cm 5.72 g saksı<sup>-1</sup> Cd2 uygulamalarında ve 0.56 g saksı<sup>-1</sup> olarak Cd1 uygulamasında bulunmuştur (Çizelge 4.5).

Kadmiyum uygulamalarının bitki boyu ve bitki kuru ağırlığı üzerine olumsuz etkileri birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Tiryakioğlu ve ark., 2006; John ve ark., 2009; Safarzadeh ve ark., 2013).

Bitkilerde Cd birikiminin toksik etki yaparak besin elementi alımında, fotosentez metabolizmasında yer alan elektron taşıma zincirinde ve Calvin döngüsünde aktif olan enzimlerde dolayısı ile karbonhidrat metabolizmasında bozulmaya yol açtığı bildirilmiştir. Bunların sonucu olarak da yüksek düzeyde kadmiyumun bitki büyüme ve gelişimini sınırladığı belirtilmiştir (John ve ark., 2009; Nwugo ve Huerta, 2008).

Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5 de izlendiği gibi, artan demir dozları, bitki ve kök gelişim kriterlerinde uygulanan Fe formlarına bağlı olarak artan ya da azalan eğilimde değişiklikler meydana getirmiştir. Artan inorganik Fe dozları ile birlikte bitki yaş ağırlığı ve kök yaş ağırlığında, artan organik Fe dozları ile bitki kuru ağırlığında artış belirlenmiştir. Genel olarak artan demir dozları ile bitki gelişim kriterlerinde azalma belirlenmiştir. Bu durum, 15 mg kg<sup>-1</sup> Fe dozunun *Phaseolus vulgaris L. var nana* çeşidi için uygun doz olmaması olasılığından kaynaklanmış olabilir.

Chopde ve ark. (2015), uygun konsantrasyonlarda uygulanan demirin, bitkide metabolizmanın enzimatik reaksiyonunda önemli bir katalizör görevi gördüğünü ve bitkinin vejetatif büyümesini arttırdığını, bunun sonucunda bitkinin yaş ve kuru ağırlığının arttığını bildirmişlerdir.

Chakralhoseini ve ark. (2002), topraktan 2.5 mg kg<sup>-1</sup> Fe uygulamasının soya fasulyesinde bitki kuru ağırlığını arttırdığını fakat demirin daha yüksek dozlarının bitki büyümesini azalttığını bildirmiştir.

Farklı demir formlarının etkileri karşılaştırıldığında en yüksek bitki boyu ortalamaları 29.52 cm ve 28.74 cm olarak sırası ile nano Fe ve inorganik Fe uygulamalarında elde edilmişler ve duncan çoklu karşılaştırma testine göre aynı grupta yer almışlardır.

Farklı demir formlarında elde edilen kök boyu, kök kuru ağırlığı ve kök yaş ağırlığı ortalamaları değerlendirildiğinde, bu parametrelere ilişkin en yüksek ortalamalar, 23.64 cm, 0.96 g saksı<sup>-1</sup> ve 8.16 g saksı<sup>-1</sup> olarak sırası ile inorganik Fe ve organik Fe uygulamalarında elde edilmişlerdir.

Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarının makro ve mikro besin elementi alımına etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.6 ve 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarının bitkilerin makro besin elementi alımına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

VK	SD	N		P		K		Ca		Mg	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Fe Form	2	6.49	0.44 <sup>öd</sup>	46.04	0.77 <sup>öd</sup>	38.81	0.31 <sup>öd</sup>	430.10	3.04 <sup>öd</sup>	5.47	1.04 <sup>öd</sup>
Fe doz	1	84.96	5.76*	129.38	2.17 <sup>öd</sup>	1135.95	9.08**	1582.61	11.19**	104.09	19.73**
Cd doz	2	147.68	10.02**	675.44	11.33**	1343.38	10.74**	2666.18	18.85**	36.06	6.84**
Fe	2	12.92	0.88 <sup>öd</sup>	74.45	1.25 <sup>öd</sup>	98.52	0.79 <sup>öd</sup>	127.59	0.90 <sup>öd</sup>	2.34	0.44 <sup>öd</sup>
FormXFe											
doz											
Fe	4	42.17	2.86 <sup>öd</sup>	113.69	1.91 <sup>öd</sup>	94.33	0.75 <sup>öd</sup>	27.51	0.19 <sup>öd</sup>	2.37	0.45 <sup>öd</sup>
FormXCd											
doz											
Fe	2	16.48	1.12 <sup>öd</sup>	84.48	1.42 <sup>öd</sup>	306.53	2.45 <sup>öd</sup>	676.60	4.78*	26.49	5.02*
dozXCd											
doz											
Fe	4	7.72	0.52 <sup>öd</sup>	33.85	0.57 <sup>öd</sup>	127.96	1.02 <sup>öd</sup>	165.11	1.17 <sup>öd</sup>	4.07	0.77 <sup>öd</sup>
FormXFe											
dozXCd											
doz											

\*\* ile gösterilen F değeri % 1 düzeyinde önemlidir (P<0.01).

\* ile gösterilen F değeri % 5 düzeyinde önemlidir (P<0.05).

Çizelge 4.6 incelendiğinde, Cd dozlarının bitkinin N alımı üzerine etkilerinin % 1 düzeyinde ve Fe dozlarının % 5 düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde Cd dozlarının P alımı üzerine etkilerinin % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Fe dozları ve Cd dozlarının K alımı üzerine etkileri önemli (P<0.01) bulunmuştur. Fe dozları ve Cd dozlarının Ca alımı üzerine etkilerinin % 1 düzeyinde ve Fe dozu x Cd dozu interaksiyonlarının % 5 düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Fe dozları ve Cd



dozlarının Mg alımı üzerine etkilerinin % 1 düzeyinde ve Fe dozu x Cd dozu interaksiyonlarının % 5 düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.6 ).

Çizelge 4.7. Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarının bitkilerin mikro besin elementi alımına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

VK	SD	Fe		Cu		Zn		Mn	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Fe Form	2	17.86	1.35 <sup>öd</sup>	8.43	1.33 <sup>öd</sup>	3.20	0.32 <sup>öd</sup>	1.17	0.75 <sup>öd</sup>
Fe doz	1	0.07	0.01 <sup>öd</sup>	20.49	3.24 <sup>öd</sup>	28.59	2.86 <sup>öd</sup>	53.58	34.34**
Cd doz	2	119.94	9.04**	53.38	8.43**	56.59	5.67**	12.46	7.99**
Fe FormXFe doz	2	49.19	3.71*	3.96	0.63 <sup>öd</sup>	6.25	0.63 <sup>öd</sup>	2.18	1.40 <sup>öd</sup>
Fe FormXCd doz	4	121.29	9.14**	6.44	1.02 <sup>öd</sup>	15.59	1.56 <sup>öd</sup>	0.10	0.07 <sup>öd</sup>
Fe dozXCd doz	2	1.39	0.11 <sup>öd</sup>	18.21	2.88 <sup>öd</sup>	43.03	4.31*	20.64	13.23**
Fe FormXFe dozXCd doz	4	28.58	2.15 <sup>öd</sup>	5.24	0.83 <sup>öd</sup>	6.95	0.70 <sup>öd</sup>	1.06	0.68 <sup>öd</sup>

\*\* ile gösterilen F değeri % 1 düzeyinde önemlidir (P<0.01).

\* ile gösterilen F değeri % 5 düzeyinde önemlidir (P<0.05).

Cd dozları ile Fe formu x Cd dozu interaksiyonlarının bitkinin Fe alımı üzerine etkilerinin % 1 düzeyinde ve Fe formu x Fe dozu interaksiyonlarının % 5 düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Cd dozları bitkinin Cu alımı üzerinde % 1 düzeyinde önemli farklılıklar meydana getirmiştir. Benzer şekilde Cd dozlarının Zn alımı üzerine etkilerinin % 1 düzeyinde ve Fe dozu x Cd dozu interaksiyonlarının % 5 düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Fe dozları, Cd dozları ile Fe dozu x Cd dozu interaksiyonlarının Mn alımı üzerine etkilerinin % 1 düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.7).

Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarında bitkilerin makro besin elementi alımına ilişkin ortalamalar ve Duncan harflendirmeleri Çizelge 4.8 ve 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarının bitkilerin makro besin elementi alımına etkisine ilişkin ortalamalar ve Duncan harflendirmeleri

	Fe form	Fe doz (mg kg <sup>-1</sup> )	Cd 0	Cd1	Cd2	Fe ort.	Fe Genel ort.
N (mg saksı <sup>-1</sup> )	İnorg Fe	0	17.95	13.76	13.73	15.15	15.52
		15	18.98	14.31	14.42	15.90	
		Cd ort.	18.46	14.04	14.07		
	Org Fe	0	21.58a	18.76ab	14.11abc	18.15A	15.49
		15	17.04abc	12.36bc	9.12c	12.84B	
		Cd ort.	19.31a	15.56ab	11.61b		
	Nano Fe	0	18.10a	17.38a	18.62a	18.03	16.55
		15	20.40a	14.30ab	10.50b	15.07	
		Cd ort.	19.25a	15.84ab	14.56b		
Cd Genel ort.			19.01A	15.14B	13.41B		
P (mg saksı <sup>-1</sup> )	İnorg Fe	0	36.35	29.48	26.75	30.86	31.27
		15	39.30	27.38	28.39	31.69	
		Cd ort.	37.82a	28.43b	27.57b		
	Org Fe	0	42.49a	36.52ab	27.55ab	35.52	31.14
		15	33.75ab	26.94ab	19.59b	26.76	
		Cd ort.	38.12a	31.73ab	23.57b		
	Nano Fe	0	35.55b	31.08bc	37.33ab	34.65	33.97
		15	46.68a	29.05bc	24.16c	33.30	
		Cd ort.	41.12a	30.06b	30.74b		
Cd Genel ort.			39.02A	30.07B	27.30B		
K (mg saksı <sup>-1</sup> )	İnorg Fe	0	58.85a	44.21a	41.72a	48.26	48.16
		15	57.53a	45.09a	41.57a	48.06	
		Cd ort.	58.19a	44.65ab	41.65b		
	Org Fe	0	64.18a	56.39a	39.83ab	53.47A	45.25
		15	47.17ab	39.28ab	24.64b	37.03B	
		Cd ort.	55.68a	47.83ab	32.23b		
	Nano Fe	0	51.30ab	49.29ab	54.87a	51.82A	46.38
		15	55.06a	39.47bc	28.29c	40.94B	
		Cd ort.	53.18a	44.38ab	41.58b		
Cd Genel ort.			55.68A	45.62B	38.49B		
Ca (mg saksı <sup>-1</sup> )	İnorg Fe	0	55.56	36.84	36.40	42.94	43.86AB
		15	58.58	37.26	38.50	44.78	
		Cd ort.	57.07a	37.05b	37.45b		
	Org Fe	0	66.14a	50.84ab	29.19bcd	48.72A	37.41B
		15	38.15bc	26.16cd	13.94d	26.09B	
		Cd ort.	52.15a	38.50a	21.57b		
	Nano Fe	0	59.96a	46.14a	52.41a	52.84A	46.99A
		15	59.02a	39.39ab	25.04b	41.15B	
		Cd ort.	59.49a	42.76b	38.72b		
Cd Genel ort.			56.24A	39.44B	32.58B		

a,b, c, d: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi satırında ve sütununda önemlidir.

Çizelge 4.8. Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarının bitkilerin makro besin elementi alımına etkisine ilişkin ortalamalar ve Duncan harflendirmeleri (devamı)

	Fe form	Fe doz (mg kg <sup>-1</sup> )	Cd 0	Cd1	Cd2	Fe ort.	Fe Genel ort.
Mg (mg saksı <sup>-1</sup> )	İnorg Fe	0	9.32	9.13	7.95	8.80	8.81
		15	10.29	8.16	8.02	8.82	
		Cd ort.	9.80	8.65	7.98		
	Org Fe	0	12.55a	10.65ab	8.92ab	10.70A	8.61
		15	8.58abc	6.99bc	3.96c	6.51B	
		Cd ort.	10.56a	8.82ab	6.44b		
Nano Fe	0	13.81a	10.14b	11.24ab	11.73A	9.65	
	15	8.25bc	8.71bc	5.74c	7.57B		
	Cd ort.	11.03a	9.42ab	8.49b			
Cd Genel ort.			10.47A	8.96AB	7.64B		

a,b, c, d: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi satırında ve sütununda önemlidir.

Çizelge 4.8.'de izlendiği gibi, farklı demir formları bitkilerin makro besin elementi alımlarında önemli bir değişiklik meydana getirmemiştir. Ancak farklı demir formlarındaki Ca alımları Duncan çoklu karşılaştırma testine göre farklı gruplarda yer almışlardır. Ca alımında en yüksek ortalama nano Fe uygulamasında 46.99 mg saksı<sup>-1</sup> olarak diğer uygulamalardan farklı ve yüksek bulunmuştur.

Artan demir dozları ile birlikte genellikle bitkilerin makro besin elementleri alımlarında azalmalar belirlenmiştir. Bu azalmalar P alımları dışında, org Fe ve nano Fe uygulamalarında Duncan çoklu karşılaştırma testine göre farklı gruplarda yer almışlardır.

Bu çalışmada, artan Fe dozları ile bitki ve kök gelişim kriterlerinde meydana gelen azalmaların bitkilerin makro besin elementi alımının azalmasına neden olduğu düşünülmüştür.

Bitkilerin makro besin elementi alımında artan Cd dozlarının olumsuz etkileri olduğu belirlenmiştir. En yüksek N, P, K, Ca ve Mg alımları sırası ile 19.01 mg saksı<sup>-1</sup>, 39.02 mg saksı<sup>-1</sup>, 55.68 mg saksı<sup>-1</sup>, 56.24 mg saksı<sup>-1</sup> ve 10.47 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd0 uygulamasında elde edilirken, en düşük N, P, K, Ca ve Mg alımları sırası ile 13.41 mg saksı<sup>-1</sup>, 27.30 mg saksı<sup>-1</sup>, 38.49 mg saksı<sup>-1</sup>, 32.58 mg saksı<sup>-1</sup> ve 7.64 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd2 uygulamasında elde edilmişlerdir.

Kadmiyum toksisitesinin bitkilerde besin elementi alımını fotosentezi, büyümeyi ve kök uzunluğunu ve gelişimini olumsuz olarak etkilediği birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir ( Khan ve ark., 2006; Mobin ve Khan, 2007; Li ve ark., 2008).

Çizelge 4.9. Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarının bitkilerin mikro besin elementi alımına etkisine ilişkin ortalamalar ve Duncan harflendirmeleri

	Fe form	Fe doz (mg kg <sup>-1</sup> )	Cd 0	Cd1	Cd2	Fe ort.	Fe Genel ort.
Fe (mg saksı <sup>-1</sup> )	İnorg Fe	0	9.71b	9.06b	10.71	9.82	10.11
		15	17.16a	7.12b	6.90b	10.39	
		Cd ort.	13.44a	8.09b	8.80b		
	Org Fe	0	10.77ab	18.66a	7.38b	12.27	12.08
		15	16.67a	11.10ab	7.92b	11.90	
		Cd ort.	13.72a	14.88a	7.65b		
	Nano Fe	0	12.91ab	7.12c	14.59a	11.54	11.33
		15	17.26a	8.75bc	7.37bc	11.13	
		Cd ort.	15.08a	7.93b	10.98b		
Cd Genel ort.			14.07A	10.30B	9.14B		
Cu (mg saksı <sup>-1</sup> )	İnorg Fe	0	10.43	7.92	7.46	8.60	9.06
		15	11.36	8.23	8.95	9.51	
		Cd ort.	10.90	8.07	8.21		
	Org Fe	0	13.26a	11.35a	8.91ab	11.18A	9.64
		15	10.75a	8.18ab	5.36b	8.10B	
		Cd ort.	12.00a	9.77ab	7.14b		
	Nano Fe	0	10.88ab	11.18ab	11.50ab	11.19	10.42
		15	12.73a	9.40ab	6.84b	9.66	
		Cd ort.	11.80	10.29	9.17		
Cd Genel ort.			11.57A	9.38B	8.17B		
Zn (mg saksı <sup>-1</sup> )	İnorg Fe	0	9.98	8.91	9.08	9.32	10.32
		15	12.68	10.97	10.33	11.33	
		Cd ort.	11.33	9.94	9.71		
	Org Fe	0	14.88a	13.05ab	10.17ab	12.70A	10.72
		15	11.85ab	8.44ab	5.93b	8.74B	
		Cd ort.	13.36a	10.75ab	8.05b		
	Nano Fe	0	12.64a	11.05ab	13.43a	12.37	11.17
		15	14.13a	9.33ab	6.42b	9.96	
		Cd ort.	13.38	10.19	9.93		
Cd Genel ort.			12.69A	10.29B	9.23B		
Mn (mg saksı <sup>-1</sup> )	İnorg Fe	0	6.12	4.05	4.19	4.79	5.02
		15	6.62	4.43	4.69	5.25	
		Cd ort.	6.37a	4.24b	4.44b		
	Org Fe	0	7.67a	6.60a	4.62b	6.30A	4.55
		15	3.58bc	2.78bc	2.07c	2.81B	
		Cd ort.	5.63a	4.69a	3.35b		
	Nano Fe	0	6.30a	6.53a	6.51a	6.45A	4.97
		15	4.29ab	3.48b	2.72b	3.49B	
		Cd ort.	5.29	5.00	4.62		
Cd Genel ort.			5.76A	4.64B	4.14B		

a,b, c, d: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi satırında ve sütununda önemlidir.

Çizelge 4.9 incelendiğinde farklı demir formları bakımından Fe dışında, bitkilerin mikro element alımlarında önemli değişiklik görülmemiştir. En yüksek Fe alımı Cd0 dozunda org Fe ve nano Fe uygulamalarında sırası ile 12.27 mg saksı<sup>-1</sup> ve 11.54 mg saksı<sup>-1</sup> olarak elde edilmiştir.

Organik Fe ve nano Fe uygulamalarında, demir dozları artarken bitkilerin Cu, Zn ve Mn alımlarında önemli azalmalar belirlenmiştir. Bu durumun bitkilerde Fe ile diğer mikro besin elementleri arasındaki antagonistik ilişkilerden kaynaklandığı düşünülmüştür.

Organik Fe uygulamalarında bu azalmalar istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. En yüksek Zn alımı 12.70 mg saksı<sup>-1</sup>, ve olarak org Fe0 uygulamasında, en yüksek Cu ve Mn alımları sırası ile 11.19 mg saksı<sup>-1</sup>, 6.45 mg saksı<sup>-1</sup> olarak nano Fe0 uygulamasında ve en düşük Cu, Zn ve Mn alımları ise sırası ile 8.10 mg saksı<sup>-1</sup>, 8.74 mg saksı<sup>-1</sup> ve 2.81 mg saksı<sup>-1</sup> olarak org Fe1 uygulamasında elde edilmiştir.

Farklı Fe formları ile yapılan araştırmalarda organik formdaki Fe EDDHA'nın Fe alımında Fe sülfattan daha etkili olduğu bildirilmiştir (Mortvedt ve ark., 1972; Modaihsh, 1997). Bu nedenle org Fe uygulamasında Fe alımı ile diğer mikro besin elementleri arasındaki interaksiyonlar daha fazla gerçekleşmiştir.

Benzer şekilde artan Cd dozları ile bitkilerin Fe, Cu, Zn ve Mn alımlarında önemli azalmalar meydana gelmiştir. Cd0 uygulamalarında artan Fe dozları ile bitkilerin Fe alımlarında artış elde edilirken Cd1 ve Cd2 dozlarında azalmalar belirlenmiştir.

Khan ve ark. (2006), Mobin ve Khan, (2007), Wu ve ark. (2007) ve Li ve ark. (2008) bitkilerde kadmiyum birikiminin besin elementi alımına olumsuz etki yaptığını bildirmişlerdir.

Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarının toprak üstü organlarda ve kökte Cd alımına etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarının toprak üstü organlarda ve kökte Cd alımına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

VK	SD	Toprak üstü organlarda Cd alımı		Kökte Cd alımı	
		KO	F	KO	F
Fe Form	2	11.15	3.80*	9661.24	18.60**
Fe doz	1	3.67	1.25 <sup>öd</sup>	6874.27	13.23**
Cd doz	2	76.92	26.19**	15165.71	29.19**
Fe FormXFe doz	2	3.46	1.18 <sup>öd</sup>	12902.10	24.84**

\*\* ile gösterilen F değeri % 1 düzeyinde önemlidir (P<0.01).

\* ile gösterilen F değeri % 5 düzeyinde önemlidir (P<0.05).

Çizelge 4.10. Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarının toprak üstü organlarda ve kökte Cd alımına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları (devamı)

		Toprak üstü organlarda Cd alımı			Kökte Cd alımı	
VK	SD	KO	F	KO	F	
Fe	4	5.03	1.71 <sup>öd</sup>	8072.87	15.54**	
FormXCd doz						
Fe dozXCd doz	2	1.60	0.55 <sup>öd</sup>	2661.16	5.12*	
Fe FormXFe dozXCd doz	4	13.57	4.62**	6075.71	11.70**	

\*\* ile gösterilen F değeri % 1 düzeyinde önemlidir (P<0.01).

\* ile gösterilen F değeri % 5 düzeyinde önemlidir (P<0.05).

Demir formlarının toprak üstü organlarda ve kökte Cd alımı üzerine sırası ile % 5 ve % 1 düzeyinde önemli etkileri olduğu belirlenmiştir. Demir dozlarının kökte Cd alımına, Cd dozlarının ise toprak üstü organlarda ve kökte Cd alımına etkileri % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Demir formu x Fe dozu ve Fe formu x Cd dozu interaksiyonlarının kökte Cd alımı üzerine etkileri % 1 düzeyinde önemli bulunurken, Fe dozu x Cd dozu interaksiyonları % 5 düzeyinde etkili olmuştur. Fe formu x Fe dozu x Cd dozu interaksiyonlarının, toprak üstü organlarda ve kökte Cd alımı üzerine etkileri % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.10).

Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarında toprak üstü organlarda ve kökte Cd alımına ilişkin ortalamalar ve Duncan harflendirmeleri Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarının toprak üstü organlarda ve kökte Cd alımına etkisine ilişkin ortalamalar ve Duncan harflendirmeleri

	Fe form	Fe doz (mg kg <sup>-1</sup> )	Cd 0	Cd1	Cd2	Fe ort.	Fe Genel ort.
Toprak üstü organlarda Cd (mg saksı <sup>-1</sup> )	İnorg Fe	0	2.14b	4.01ab	7.16a	4.43	4.52B
		15	2.68b	3.74ab	7.39a	4.60	
		Cd ort.	2.41b	3.87b	7.27a		
	Org Fe	0	4.31b	9.18a	6.05ab	6.51	6.09A
		15	3.90b	4.26b	8.82a	5.66	
		Cd ort.	4.10b	6.72a	7.44a		
Nano Fe	0	2.98c	4.42bc	9.49a	5.63	5.19AB	
	15	3.97bc	4.54bc	5.74b	4.75		
	Cd ort.	3.48b	4.48b	7.61a			
Cd Genel ort.			3.33C	5.02B	7.44A		

a,b, c, d: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi satırında ve sütununda önemlidir.

Çizelge 4.11. Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarının toprak üstü organlarda ve kökte Cd alımına etkisine ilişkin ortalamalar ve Duncan harflendirmeleri (devamı)

	Fe form	Fe doz (mg kg <sup>-1</sup> )	Cd 0	Cd1	Cd2	Fe ort.	Fe Genel ort.
Kökte Cd (mg saksı <sup>-1</sup> )	İnorg Fe	0	2.62c	22.91bc	43.65bc	23.06B	65.22A
		15	9.27c	77.41b	235.49a	107.39A	
		Cd ort.	5.95c	50.16b	139.57a		
	Org Fe	0	4.76d	51.04a	36.69abc	30.83	27.90B
		15	6.96cd	48.37ab	19.60bcd	24.98	
		Cd ort.	5.86c	49.70a	28.15b		
	Nano Fe	0	3.14b	42.25a	39.12a	28.17A	22.78B
		15	18.96b	16.91b	16.30b	17.39B	
		Cd ort.	11.05b	29.58a	27.71a		
Cd Genel ort.			7.62C	43.15B	65.14A		

a,b, c, d: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi satırında ve sütununda önemlidir.

Kadmiyum uygulamaları dikkate alındığında, artan Cd dozları ile köklerde ve toprak üstü organlarda Cd alımında artış belirlenmiştir. Toprak üstü organlarda ve köklerde en düşük Cd alımları sırası ile 3.33 mg saksı<sup>-1</sup> ve 7.62 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd0 uygulamalarında elde edilirken, toprak üstü organlarda ve köklerde en yüksek Cd alımları sırası ile 7.44 mg saksı<sup>-1</sup> ve 65.14 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd2 uygulamasında bulunmuştur (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11.'de izlendiği gibi, genel olarak köklerdeki Cd alımları ortalamaları toprak üstü organlara kıyasla daha yüksek bulunmuş ve aşağıda sunulan benzer araştırma sonuçları ile uyum sağlamıştır.

Singh ve ark. (2012), farklı sebze türlerinde yapmış oldukları çalışmada en yüksek Cd birikiminin köklerde belirlendiğini, bunu yapraklar gövde ve meyvelerin izlediğini bildirmiştir.

Zhao ve ark. (2015), domates bitkisinde Cd birikiminin köklerden gövde ve yapraklara doğru azalma eğiliminde olduğunu belirlemişlerdir.

Bu çalışmada artan dozlarda org Fe ve nano Fe uygulamaları ile toprak üstü organların ve köklerin Cd alımında azalma elde edilmiştir.

Cataldo ve ark. (1983), kök hücrelerinden sürgünlere doğru Cd taşınması sırasında besin elementleri ile Cd arasında rekabet olduğunu, bundan dolayı Fe ve diğer mikro besin elementlerinin alınımının Cd taşınımının engellenmesine neden olduğunu bildirmiştir.

Demir formları arasında, toprak üstü organlarda ve kökte Cd alımına etkileri bakımından farklılıklar belirlenmiştir. Toprak üstü organlarda en yüksek Cd alımı, Org Fe uygulamasında 6.09 mg saksı<sup>-1</sup> olarak elde edilmiş, en düşük Cd alımı ise inorg Fe uygulamasında 4.52 mg saksı<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir.

Kökte ise en yüksek Cd alımı, inorg Fe uygulamasında 65.22 mg saksı<sup>-1</sup> olarak elde edilirken en düşük Cd alımı nano Fe uygulamasında 22.78 mg saksı<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir.

Benzer Cd dozları uygulandığında, toprak üstü organlarda Cd alımı değerlendirildiği zaman, en düşük Cd alımı ortalaması inorg Fe uygulamasında 4.52 mg saksı<sup>-1</sup> olarak en yüksek Cd alımı ortalaması ise 6.09 mg saksı<sup>-1</sup> olarak org Fe uygulamasında belirlenmiştir. Buna karşılık köklerde en yüksek Cd alımı ortalaması 65.22 mg saksı<sup>-1</sup> olarak inorg Fe uygulamasında, en düşük Cd alımı ortalaması ise 22.78 mg saksı<sup>-1</sup> olarak nano Fe uygulamasında elde edilmiş ve org Fe uygulamasında 27.90 mg saksı<sup>-1</sup> olarak bulunan değer ile aynı grupta yer almıştır. Toprak üstü organlarda Cd alımında inorg Fe'in, kökte Cd alımında ise organik ve nano Fe uygulamalarının daha engelleyici etkiye sahip oldukları belirlenmiştir.

Toprak üstü organlarda Cd alımları 6.09 mg saksı<sup>-1</sup> > 5.19 mg saksı<sup>-1</sup> > 4.52 mg saksı<sup>-1</sup> olarak sırası ile organik Fe, nano Fe ve inorganik Fe ortamlarında azalan bir sıralama göstermişlerdir. Buna karşılık kökte Cd alımları 65.22 mg saksı<sup>-1</sup> > 27.90 mg saksı<sup>-1</sup> > 22.78 mg saksı<sup>-1</sup> olarak sırası ile inorganik Fe organik Fe ve nano Fe ortamlarında azalan bir sıralama izlemişlerdir.

Nanoteknoloji ile üretilmiş gübrelerin, partikül büyüklüklerinin küçük olması ve geniş yüzey alanları dolayısı ile yüksek kullanım etkinliğine sahip olmaları, kontrollü salınım, hedeflenen yere ulaştıktan sonra etkinlik gösterme, düşük ekotoksisite ve etkin dağılım yoluyla uygulama tekrarı zorunluluğunu ortadan kaldırma gibi özelliklerden birine ya da birkaçına sahip olmaları nedeniyle uygulanmaları ekonomik olmakla birlikte atmosfer, toprak ve su kirliliği gibi çevre sorunları yaratmadıkları bildirilmiştir (Güneş ve ark., 2013b; Liu ve Lal, 2016).

Benzer şekilde, Fe EDDHA uygulamalarının FeSO<sub>4</sub> uygulamalarına kıyasla bitki gelişiminde daha etkili olduğu (Mortvedt ve ark., 1972; Hassani ve ark., 2015) tarafından bildirilmiştir.



Bu araştırmada da nano Fe ve organik Fe uygulamalarının kadmiyum birikimini ve toksisitesini engelleyici etkileri olduğu ortaya konulmuştur. Organik Fe ve nano Fe in ağır metal alınımının azaltılmasında daha etkili olduğu belirlenmiştir. Bitki gelişiminde belirgin bir artış elde edilememiş olmasının uygulanan Fe dozlarının ylık olmasından kaynaklandığı dűřnűlműřtir. Benzer şekilde Gűlser ve ark. (2018) 15 mg kg<sup>-1</sup> Fe dozlarının soya fasulyesinde (*Glycine max.* L.) kontrole kıyasla bazı bitki gelişim kriterlerinde azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir.

Bu arařtırmada elde edilen sonuçların farklı demir dozları kullanılarak bu konuda yapılabilecek benzer çalıřmalara ıřık tutması bakımından faydalı olabileceđi dűřnűlműřtir. Bunun yanında daha az miktarda gűbre kullanımına olanak sađlayan organik ve nano gűbrelerin kullanımı ile ekonomik alanda ve evre kirliliđi kapsamında olumlu kazanımlar elde edilebilecektir.



## 5. SONUÇ

Bu çalışmada farklı demir formlarının ve dozlarının Cd bulaştırılmış ortamda fasulye (*Phaseolus vulgaris* L. var. nana) bitkisinde bitki gelişimi, verim parametreleri ve besin elementleri ve kadmiyum alımına etkileri araştırılmıştır.

Farklı demir formları, demir dozları ve Cd uygulamaları ile bunların interaksiyonlarının bitki gelişim kriterleri ile besin elementi içerikleri üzerine etkileri istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. Farklı demir formlarının bitki boyu ( $P<0.05$ ), kök boyu ve kök kuru ağırlığı ( $P<0.01$ ), üzerine etkileri önemli bulunmuştur. Benzer şekilde demir dozlarının bitki boyu ( $P<0.05$ ) bitki kuru ağırlığı ( $P<0.05$ ) ve kök boyu ( $P<0.01$ ) üzerine etkilerinin önemli olduğu belirlenmiştir. Kadmiyum dozları bitki boyu, bitki yaş ve kuru ağırlığı, kök boyu ve kök yaş ağırlığında istatistiksel anlamda % 1 düzeyinde, kök kuru ağırlığında ise % 5 düzeyinde önemli değişim meydana getirmişlerdir. Demir formu x Fe dozu x Cd dozu interaksiyonlarının bitki boyu ( $P<0.01$ ), bitki yaş ağırlığı ( $P<0.01$ ), kök kuru ağırlığı ( $P<0.01$ ) ve kök yaş ağırlığı ( $P<0.05$ ) üzerine etkileri önemli bulunmuştur. Farklı demir formları, demir dozları ve Cd uygulamaları ile bunların interaksiyonlarının bitki gelişim kriterleri ile besin elementi içerikleri üzerine etkileri istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. Bitki gelişim kriterlerine ilişkin en yüksek ortalamalar, kadmiyum bulaştırılmamış ortamlarda elde edilmiştir.

İnteraksiyonlar dikkate alındığında, en yüksek bitki boyu ortalaması 37.72 cm olarak Cd0 nano Fe1 uygulamasında elde edilmiştir. Bitki boyuna ilişkin en düşük ortalama ise 12.33 cm olarak Cd2 org Fe1 uygulamasında bulunmuştur.

Bitki yaş ağırlığı incelendiğinde, en yüksek ortalama 37.52 g saksı<sup>-1</sup> olarak Cd2 inorg Fe1 uygulamasında bulunmuştur. En düşük bitki yaş ağırlığı ortalaması ise 13.12 g saksı<sup>-1</sup> olarak Cd2 org Fe1 uygulamasında elde edilmiştir.

Bitki kuru ağırlığında en yüksek ortalama 3.88 g saksı<sup>-1</sup> olarak Cd0 org Fe0 uygulamasında bulunmuştur. En düşük bitki kuru ağırlığı ortalaması ise 1.52 g saksı<sup>-1</sup> olarak Cd2 org Fe1 uygulamasında elde edilmiştir.

Yaprak sayısı dikkate alındığında, en yüksek ortalama 6.58 adet olarak Cd0 org Fe0 uygulamasında bulunmuştur. Yaprak sayısına ilişkin en düşük ortalama ise 5.06 adet olarak Cd2 inorg Fe0 uygulamasında elde edilmiştir.

En yüksek gövde çapı ortalaması 4.06 mm olarak Cd0 nano Fe1 uygulamasında bulunmuştur. Gövde çapına ilişkin en düşük ortalama ise 3.30 mm olarak Cd1 inorg Fe0 ve Cd2 inorg Fe0 uygulamalarında elde edilmişlerdir.

İnteraksiyonlar dikkate alındığında, en yüksek kök boyu ortalaması 26.50 cm olarak Cd1 inorg Fe0 uygulamasında elde edilmiştir. Kök boyuna ilişkin en düşük ortalama ise 7.44 cm olarak Cd2 org Fe1 uygulamasında bulunmuştur.

En yüksek kök yaş ağırlığı ortalaması 11.04 g saksı<sup>-1</sup> olarak Cd0 nano Fe0 uygulamasında bulunmuştur. En düşük kök yaş ağırlığı ortalaması ise 2.96 g saksı<sup>-1</sup> olarak Cd2 org Fe1 uygulamasında elde edilmiştir.

Kök kuru ağırlığı dikkate alındığında, en yüksek ortalama 2.32 g saksı<sup>-1</sup> olarak Cd2 inorg Fe1 uygulamasında bulunmuştur. En düşük kök kuru ağırlığı ortalaması ise 0.20 g saksı<sup>-1</sup> olarak Cd2 org Fe1 uygulamasında elde edilmiştir.

En yüksek kök çapı ortalaması 4.47 mm olarak Cd0 nano Fe1 uygulamasında bulunmuştur. Kök çapına ilişkin en düşük ortalama ise 3.63 mm olarak Cd1 inorg Fe0 ve Cd2 inorg Fe0 uygulamalarında elde edilmişlerdir.

En yüksek azot alımı ortalaması 21.58 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd0 org Fe0 uygulamasında elde edilmiştir. En düşük azot alımı ortalaması ise 9.12 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd2 org Fe1 uygulamasında bulunmuştur.

En yüksek fosfor alımı ortalaması 46.68 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd0 nano Fe1 uygulamasında bulunmuştur. En düşük fosfor alımı ortalaması ise 19.59 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd2 org Fe1 uygulamasında elde edilmiştir.

Potasyum alımı dikkate alındığında, en yüksek ortalama 64.18 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd0 org Fe0 uygulamasında bulunmuştur. En düşük potasyum alımı ortalaması 24.64 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd2 org Fe1 uygulamasında elde edilmiştir.

En yüksek kalsiyum alımı ortalaması 66.14 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd0 org Fe0 uygulamasında bulunmuştur. En düşük kalsiyum alımı ortalaması ise 13.94 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd2 org Fe1 uygulamasında elde edilmiştir.

Magnezyum alımı dikkate alındığında, en yüksek ortalama 13.81 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd0 nano Fe0 uygulamasında bulunmuştur. En düşük magnezyum alımı ortalaması ise 3.96 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd2 org Fe1 uygulamalarında elde edilmiştir.

En yüksek demir alımı ortalaması 18.66 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd1 org Fe0 uygulamasında elde edilmiştir. En düşük demir alımı ortalaması ise 6.90 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd2 inorg Fe1 uygulamasında bulunmuştur.

En yüksek bakır alımı ortalaması 13.26 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd0 org Fe0 uygulamasında bulunmuştur. En düşük bakır alımı ortalaması ise 5.36 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd2 org Fe1 uygulamasında belirlenmiştir.

Çinko alımı dikkate alındığında en yüksek ortalama 14.88 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd0 org Fe0 uygulamasında bulunmuştur. En düşük çinko alımı ortalaması ise 5.93 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd2 org Fe1 uygulamasında elde edilmiştir.

En yüksek mangan alımı ortalaması 7.67 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd0 org Fe0 uygulamasında bulunmuştur. En düşük mangan alımı ortalaması ise 2.07 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd2 org Fe1 uygulamasında belirlenmiştir.

Bitkide en yüksek kadmiyum alımı ortalaması 9.49 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd2 nano Fe0 uygulamasında elde edilmiştir. En düşük kadmiyum alımı ortalaması ise 2.14 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd0 inorg Fe0 uygulamasında bulunmuştur.

Sonuç olarak, artan Cd dozları bitki gelişim kriterlerini olumsuz etkilemişlerdir. İnorganik demir uygulamaları ile bitki gelişim kriterlerinde iyileşme sağlanmıştır. Bitki besin elementi alımına ilişkin en yüksek ortalamalar Cd bulaştırılmamış ortamlarda, organik demir uygulamalarının birinci dozunda ve nano demirin ikinci dozlarında elde edilmişlerdir. Artan Cd dozları ile birlikte bitki ve kökte Ca alımları artmıştır. Bitkide ve kökte en yüksek Cd alımı ortalamaları ise Cd2 dozunda sırası ile 7.44 mg saksı<sup>-1</sup> ve 65.14 mg saksı<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir.

İnteraksiyonlar dikkate alındığında, kökteki en yüksek kadmiyum alımı ortalaması 235.49 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd2 inorg Fe1 uygulamasında bulunmuştur. En düşük kadmiyum alımı ortalaması ise 2.62 mg saksı<sup>-1</sup> olarak Cd0 inorg Fe0 uygulamasında elde edilmiştir. İnorganik Fe uygulamaları ile diğer Fe formlarına kıyasla Cd alımında artış belirlenmiştir. Bu durumun inorganik Fe uygulamalarında daha iyi bir kök gelişimi elde edilmiş olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Genel olarak, organik ve nano Fe uygulamaları ile bitkide ve kökte Cd alımının azaldığı belirlenmiştir.

Bu araştırmada elde edilen sonuçlar, ülkemizde ağır metal kirliliği tehlikesi olan arazilerde insan sağlığı bakımından endişe oluşturmayacak sebze yetiştirileceğine katkı sağlayacaktır. Demir eksikliğinin ülkemiz genelinde yaygın bir toprak sorunu olduğu

düşünüldüğünde, demir gübrelemesinin bu yönüyle de insan beslenmesindeki protein açığının kapatılmasında önemli bir yeri olan baklagillerin ve diğer sebze türlerinin verim artışında olumlu etkisi olacaktır. Ayrıca, bu konu ile ilgili ilerde yapılabilecek olan çalışmalar için araştırmacılara kaynak teşkil edecektir.



## KAYNAKLAR

- Abu-Muriefah, S. S., 2008. Growth parameters and elemental status of cucumber (*Cucumis sativus*) seedlings in response to cadmium accumulation. *International Journal of Agriculture and Biology*, **10**: 261-266.
- Aktaş, M., 1994. *Bitki Besleme ve Toprak Verimliliği* (2. baskı). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yay. No: 1361, Ankara.
- Allison, L. E., Moodie, C.D., 1965. Carbonate. In: C.A. Black et al (ed.) *Methods of Soil Analysis*, Part 2. Agronomy Series, Am. Soc. of Argon. Inc. U.S.A. **9**: 1379-1400.
- Amar, C., Steve, M., Paul, G., Brian, C., Colin, C. S., Andrew, G., Jeffrey, B., Colin, C., Mark, A., 2007. Cadmium availability to wheat grain in soils treated with sewage sludge or metal salts *Chemosphere*. *Journal of Plant Nutrition*, **66**: 1415-142.
- Anjum, N. A., S. Umar, A., Ahmad, M., Iqbal, N., 2008a. Responses of components of antioxidant system in moongbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] genotypes to cadmium stress. *Commun Soil Sci Plant Analysis*, **58**: 92-99.
- Anjum, N. A., S. Umar, A., Ahmad, M., Iqbal, N., Khan, A., 2008b. Ontogenic variation in response of *Brassica campestris* L. to cadmium toxicity. *Journal of Plant Interact*, **10**: 1080-1742.
- Anonim, 2012. <http://www.tugem.gov.tr/document/bitksuretgelproje.html>. Erişim tarihi: 01.01.2012.
- Asri, F.Ö., Sönmez, S., 2010. Farklı düzeylerdeki potasyum ve demir uygulamalarının perlit ortamında yetiştirilen domates bitkisinin demir ve klorofil içeriği üzerine etkilerinin belirlenmesi. *5. Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Kongresi*. 15-17 Eylül 2010, İzmir. 183-189.
- Astolfi, S., Zuchi, S., Passera, C., 2004. Role of sulphur availability on cadmium-induced changes of nitrogen and sulphur metabolism in maize (*Zea mays* L.) leaves. *J. Plant Physiol*, **161** (7): 795-802
- Aydeniz, A., Zabunoğlu, S., Brohi, A. R., Danişman, S., 1990. Kireç-demir ilişkileri. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, **6** (1): 95.
- Baker, A. J. M., Brooks, R. R., 1989. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements- A review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*. **1**: 81-126.
- Baker, A. J. M., Walker, P. L., 1990. Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants, heavy metal tolerance in Plants. In. *Shaw A.J. Evolutionary Aspects*. CRC Pres, Boca Raton. **5**: 155-177.
- Barcelo, J., Poschenrieder, C., 1990. Plant water relations as affected by heavy metal stress: A review. *Journal of Plant Nutrition*, **13**: 1-37.
- Baysal, A., 2004. *Beslenme*. Hacettepe Üniversitesi Sağlık Teknolojisi Yüksek Okulu Beslenme ve Diyetetik Bölümü. 11-26. Ankara.
- Bergmann, W., 1988. *Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen*. Gustav Fischer Verlag Stuttgart, New York.
- Bergmann, W., 1992. *Nutritional Disorders of Plants: Developments, Visual and Analytical Diagnosis*. Gustav Fischer Verlag Jena, New York.
- Bloom, P. R., Inskeep, W. P., 1988. Factors affecting bicarbonate chemistry and iron chlorosis in soils. *J. Plant Nutrition*, **9**: 215-228.

- Boussama, N., Ouariti, O., Suzuki, A., Ghorbal, M. H., 1999. Cd-Stress on Nitrogen Assimilation. **J. Plant Physiol**, **155**: 310–317.
- Bouyoucoucous, G.D., 1951. A Recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of the soil. **Agronomy J.**, **43**, 434-438.
- Bozorgi, H. R., 2012. Study effects of nitrogen fertilizer management under nano iron chelate foliar spraying on yield and yield components of eggplant (*Solanum melongena* L.). **ARPJ Journal of Agricultural and Biological Science**, **7** (4): 233-237.
- Broadley M. R., Willey N. J., Wilkins, J. C., Baker A. J. M., Mead, A., White, P. J., 2001. Phytogenetic variation in heavy metal accumulation in angiosperms. **New Phytol**, **152**: 9–27.
- Cataldo, D. A., Garland, T. R., Wildung, R. E., 1983. Cadmium uptake kinetics in intact soybean plants. **Plant Physiol**, **73**: 844–848.
- Chakralhoseini, M. R., Ronaghi, A., Mafton, M., Kariman, N. A., 2002. Soybean response to application of iron and phosphorus in a calcereous soil. **Science and Technology Journal of Agriculture and Natural Resources**, **6** (4): 91-101.
- Chen, X., Wang, J., Shi, Y., Zhao, M. Q., Chi, G. Y., 2011. Effects of cadmium on growth and photosynthetic activities in pakchoi and mustard. **Botanical Studies**, **52**: 41-46.
- Chopde, N., Nehare, N., Maske, S. R., Lokhande, S., Bhute, P. N., 2015. Effect of foliar application of zinc and iron on growth, yield and quality of gladiolus, **Plant Archives**, **15**, 417-419.
- Ciscato, M., Vangronsveld, J., Valcke, R., 1999. Effects of heavy metals on the fast chlorophyll fluorescence induction kinetics of photosystem II: a comparative study, **Z. Naturforsch.**, **54**, 735- 739.
- Çağlar, K. Ö., 1949. Toprak bilgisi. A. Ü. Zir. Fak. **10**: 230.
- Çakmak, İ., 2002. Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. **Plant and Soil**, **247**: 3–24.
- Çatak, E., Güler, Ç., Süleyman, T., Orhan, B., 2000. Bazı Domates ve Tütün Genotiplerinde Kadmiyum Etkilerini İnceleyen İstatistiksel Bir Çalışma. **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, **2** (1): 121.
- Çepel, N., 1997. **Toprak Kirliliği Erozyon ve Çevreye Verdiği Zararlar**, TEMA Vakfı Yayınları, No: **14**, İstanbul.
- Çiftçi, C. Y., 2004. **Dünyada ve Türkiye’de Yemelik Tane Baklagiller Tarımı**. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Teknik Yayınlar Dizisi **5**, Ankara.
- Dunand, F. V., Epron, D., Sossé, B. A., Badot. P. M., 2002. Effects of copper on growth and on photosynthesis of mature and expanding leaves in cucumber plants. **Plant Sci**, **163**: 53-58.
- Ergül, M., 1988. **Yemler Bilgisi ve Teknolojisi**. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, **487**, Bornova-İzmir.
- Ernst W., Verkleji, J. A. C., Schat, H., 1992. Metal tolerance in plants. **Acta Bot. Neerl**, **41**: 229-248.
- Eyüpoğlu, F., Kurucu, N., Talaz, S., 1998. **Türkiye Topraklarının Bitkiye Yararışlı Mikroelementler Bakımından Genel Durumu**. T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Ens. Müd. Genel Yayın: **217**, Seri No: R-133, Ankara.
- Fleischer, M. A., O’Neill, R. E., 1999. The pore size of non-graminaceous plant cell wall is rapidly decreased by borate ester cross-linking of the pectic polysaccharide rhamnogalacturon II, **Plant Physiol**, **121**: 829–838.



- Foyer, C. H., Lopez-Delgado, H., Dat, J. E., Scot, I. M., 1997. Hydrogen peroxide- and glutathione-associated mechanisms of acclimatory stress tolerance and signalling. *Plant Physiology*, **100**: 241-254.
- Gardea-Torresdey, J. L., Peralta-Videa, J. R., Dela-Rosa G., Parsons J. G., 2005. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorption spectroscopy. *Coordination Chemistry Reviews*, **249**: 1797-1810.
- Gezgin, S., Er, F., 2001. Relationship between total and active iron contents of leaves and observed chlorosis in vineyards in Konya-Hadim - Aladag Region of Turkey. *Commun. Soil Sci. Plant Analy.*, **32** (9 ve 10): 1513-1521.
- Giordano, P. M., Mays, D. A., 1977. In H. Drucker and R. Wildung, eds. *Biological Implications of Metals in the Environment*, 750-929. NTIS, Springfield, VA.
- Goyer, R. A., 1991. Toxic effects of metals. In: Caserett and Doull's Toxicology. *The Basic Science of Poisons* (Eds. Amdur M. O., Doull, J., Klaassen, C. D.) *Pergamon Press*, 1032, New York.
- Greger, M., Ögren, E., 1991. Direct and indirect effects of Cd<sup>2+</sup> on photosynthesis in sugar beet (*Beta vulgaris*). *Physiologia Plantarum*, **83**: 129-135.
- Gris, E., 1844. *C.R. Acad. Sci.*, **19**: 1118-1119, Paris.
- Gu J. G., Zhou, Q. X., 2002. Cleaning up through phytoremediation: a review of Cd contaminated soils. *Ecological Science*, **21** (4): 352-356, China.
- Gülser, F., Yavuz, H. İ., Gökkaya T. H., Sedef, M., 2018. Effects of different iron forms and doses on plant growth criteria in soybean (*Glycine max. L.*), *International Agricultural Science Congress*, **1**: 583, VAN.
- Güneş, A., Alpaslan, M., İnal, A., 2013a. *Bitki Besleme ve Gübreleme*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. **1514**: 467.
- Güneş, A., M., İnal, A., Söylemezoğlu, G., 2013b. Nano Fe'in Demir Beslenmesi Üzerine Etkileri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. **151**, 254.
- Hana, W. J., Grant, C. L., 1962. Spectrochemical analysis of the foliage of certain trees and ornamentals for 23 elements. *Bull Torrey Bot Club*, **89**: 293-302.
- Hassan, M. J., Wang, F., Ali, S., Zhang, G., 2005. Toxic effects of cadmium on rice as affected by nitrogen fertilizer form. *Plant Soil*, **277**: 845-856.
- Hassani, A., Tajali, A. A., Mazinani, S. M. H., 2015. Studying the conventional chemical fertilizers and nano-fertilizer of iron, zinc and potassium on quantitative yield of the medicinal plant of peppermint (*Mentha piperita L.*) in Khuzestan. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, **3** (4): 1078-1082.
- Hendry, G. A., Baker, F. A. J. M., Ewart, C. F., 1992: Cadmium tolerance and toxicity, oxygen radical processes and molecular damage in cadmiumtolerant and cadmium sensitive clones of holcus lanatus L. *Acta Bot. Neerl.*, **41**: 271-281.
- Inskeep, W. P., Bloom, P. R., 1986. Effects of soil moisture on soil pCO<sub>2</sub>, soil solution bicarbonate and Iron chlorosis in soybeans. *Soil Science Society of America Journal*, **50**: 946-952.
- Ismail, B. S., Fariyah, K., Khairiah, J., 2005. Bioaccumulation of heavy metals in vegetables from selected agricultural areas. *B. Environ. Contam. Tox*, **74**: 320-327.
- Jackson, M. L., 1958. Soil chemical analysis. *Verlag Prentice Hall, Inc, Englewood Cliffs*, **498**: 39-40.
- Jackson, M., 1962. Soil Chemical Analysis. *Prentice Hall Inc. Eng. Cliffs*, **3**: 183-187, New York, U.S.A.
- Jackson, M. L., 1964. Chemical composition of soils. In F.E. Bear (ed.) Chemistry of the soil, 2nd edition. *Reinhold Publ. Corp*, **4**: 71-141, New York.

- Jalil, A., Selles, F., Clarke, J. M., 1994. Effect of cadmium on growth and the uptake of cadmium and other elements by durum wheat. *Journal of Plant Nutrition*, **17**: 1839-1858.
- Jastrow, J. D., Koeppe, D. E., 1980. Uptake and effects of cadmium in higher plants. In: Cadmium in the environment. *Ecological Cycling*, Nriagu J.O. (ed. O. John Wiley and Sons, **1**: 608-638, New York.
- Jiang, W. Z., Li, J. L., 1989. Effects of Cadmium on Photosynthetic Characteristics of Tobacco, *Plant Physiology Communications*, **6**: 27-31.
- Jiang, X. J., Luo, Y. M., Liu, Q., Liu, S. L., Zhao, Q. G., 2004. Effect of cadmium on nutrient uptake and translocation by indian mustard. *Environmental Geochemistry and Health*, **26**: 319-324.
- John, R., Ahmad, P., Gadgil, K., Sharma, S., 2009. Cadmium and lead-induced changes in lipid peroxidation, antioxidative enzymes and metal accumulation in *Brassica juncea L.* at three different growth stages. *Archives of Agronomy and Soil Science*, **55**: (4), 395-405.
- Kacar, B., 1994. *Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri: III, Toprak Analizleri*, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları **No: 3**, Ankara.
- Kacar, B., Katkat, A. V., Öztürk, Ş., 2006. *Bitki Fizyolojisi*, (2. baskı). Nobel Yayınları, Ankara.
- Kacar, B., İnal, A., 2008. *Bitki Analizleri*, Nobel Yayınları, **1241**, Fen Bilimleri: 63.
- Kacar, B., Katkat, V., 2009. *Bitki Besleme*, Nobel yayınları, Ankara, 659.
- Kacar, B., Katkat, V., Öztürk, Ş., 2010. *Bitki Fizyolojisi*. Nobel Yayınları, **848**: 225-285, Ankara.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., 2006. Metallerin Çevresel Etkileri. Erişim adresi: [www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136\\_4753.pdf](http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf).
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., 2007. Metallerin Çevresel Etkileri –I. Erişim adresi: [www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136\\_4753.pdf](http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf). (Erişim tarihi: 13.05.2007).
- Kalbası, M., Filsof, F., Rezai-Nejad, Y., 1988. Effect of Sulphur Treatments on Yield and Uptake of Fe, Zn and Mn By Corn, Sorghum And Soybeans. *Journal of Plant Nutrition*, **11**: 1353-1360.
- Kirkham, M. B., 2006. Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyperaccumulation, and amendmets. *Geoderma*, **137**: 19-32.
- Köleli, N., 1998. *Değişik Tahıl Türlerinin ve Buğday Çeşitlerinin Kadmiyum Toksisitesine Duyarlılığı ve Buna Çinko Eksikliğinin Etkisi*. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi), Adana.
- Köleli, N., Eker, S., Çakmak, I., 2004. Effect of zinc fertilization on cadmium toxicity in durum and bread grown in zinc-deficient soil. *Environmental Pollution*, **131**: 453-459.
- Kumar, R. G., Dubey, R. S., 1999. Glutamine Synthetase Isoforms from Rice Seedlings: Effects of Stress on Enzyme Activity and the Protective Roles of Osmolytes. *Journal of Plant Physiol*, **155**: 118–121.
- Khan, N. A., Ahmad, I., Singh, S., Nazar, R., 2006. Variation in growth, photosynthesis and yield of five wheat cultivars exposed to cadmium stress. *World Journal of Agricultural Sciences*, **2**: 223–226.
- Langille, W. M., MacLean, K. S., 1976. Some essential nutrient elements in forest plants as related to species, plant part, season and location. *Plant Soil*, **45**: 17-26.

- Lehoczky, E., Szabo, L., Horvath, S. Z., 1998. Cadmium uptake by lettuce in different soils. *Commun. Soil Sci. Plant Analysis*, **29** (11-4), 1903-1912.
- Lee, S. M., Leustek, T., 1999. The Effect of Cadmium on Sulphate Assimilation Enzymes in *Brassica juncea*. *Plant Sci*, **141**: 201–207.
- Li, M., Zhang, L. J., Tao, L., Li, W., 2008. Ecophysiological responses of *Jussiaea rapens* to cadmium exposure. *Aquat Bot*, **88**: 347–352.
- Liu, R., Lal, R., 2016. Nanofertilizers. In: R. Lal (Ed.) *Encyclopedia of Soil Science*, CRC Press, **3**: 1511-1515.
- Lindsay, W. L., 1972. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. In: Micronutrients in Agriculture. *Soil Sci. Soc. America, Inc*, **3**: 41-57. Madison, USA.
- Lindsay, W. L., 1974. Role of chelation in micronutrient availability. The plant Root and Its Environment, *Univ. Press of Virginia*, **2**: 507-524.
- Lindsay, W. L., Norvell, W. A., 1978. Development of a DTPA soil test for Zn, Fe, Mn and Cd. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **42**: 421-428.
- Llamas, M. A., Ramos, J. L., Rodriguez-Herva J. J., 2000. Mutations in each of the *tol* genes of *Pseudomonas putida* reveal that they are critical for maintenance of outer membrane stability. *Journal of Bacteriology*, **182**: 4764–4772.
- Lyons-Alcantara, M., Tarazona, J. V., Mothersill, C., 1996. The differential effect of cadmium exposure on the growth and survival of primary and established cells from fish and mammals. *Cell Biol. and Toxicology*, **12**: 29-38.
- Marschner, H., 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, 889. San Diego.
- Mobin, M., Khan, N. A., 2007. Photosynthetic activity, pigment composition and antioxidative response of two mustard (*Brassica juncea*) cultivars differing in photosynthetic capacity subjected to cadmium stress. *Journal of Plant Physiol*, **164**: 601–610.
- Modaihsh, A. S., 1997. Foliar application of chelated and non-chelated metals for supplying micronutrients to wheat grown on calcareous soil. *Experimental Agriculture*, **33**: 237-245.
- Moghadam, A., Vattani, H., Baghaei, N., Keshavarz, N., 2012. Effect of Different Levels of Fertilizer Nano\_Iron Chelates on Growth and Yield Characteristics of Two Varieties of Spinach (*Spinacia oleracea* L.): Varamin 88 and Viroflay. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, **4** (12): 4813-4818.
- Mortvedt, J. J., Giordano, P. M., Lindsay, W. L., (Eds), 1972. Micronutrients in Agriculture. Madison, Wisconsin: *Soil Science Society of America*, **164**: 601–610.
- Moustakas, N. K., 2001. Cadmium accumulation and its effect on yield of lettuce, radish and cucumber *Plant and Soil*, **20**: 124-169.
- Nriego, J. O., 1979. Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere. *Nature*, **279**: 409-411.
- Njintang, N. Y., Mbofung, C. M. F., Waldron, K. W., 2001. In vitro protein digestibility and physicochemical properties of dry red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour: effect of processing and incorporation of soybean and cowpea flour. *J. Agric. Food Chemistry*, **49**: 2465-2471.
- Nwugo C. C., Huerta A. J., 2008. Effects of silicon nutrition on cadmium uptake, growth and photosynthesis of rice plants exposed to low-level cadmium. *Plant and Soil*, **311**: 73-86.

- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., Dean, L. A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *U. S. Dept. of Agric. Cir.*, **1**: 939-941, Washington D. C. ABD.
- Olsen, S. R., Watanabe, F. S., 1957. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soil as measured by the Langmuir isotherm. *Soil Science Society American Proceedings*, **21**: 144-149.
- Öktüren, A. F., Sönmez, S., 2007. *Ağır Metal Toksisitesinin Bitki Metabolizması Üzerine Etkileri*, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, Antalya.
- Öztürk, L., Eker, S., Özkutlu, F., 2003. Effect of cadmium on growth and concentrations of cadmium, ascorbic acid and sulphhydryl groups in durum wheat cultivars. *Turk J Agric For*, **27**: 161-168.
- Pekşen, E., Artık, C., 2005. Antibesinsel maddeler ve yemeklik tane baklagillerin besleyici değerleri. *O. M. Ü. Zir. Fak. Dergisi.*, **20**: 110-120.
- Pinto, E., Teresa, C. S. S., Maria, A. S. L., Oswaldo, K. O., David, M., Pio, C., 2003. Heavy metal induced oxidative stress in algae. *J. Phycol.*, **39**: 1008-1018.
- Pinto, A. P., Mota, A. M., De-Varennes, A., Pinto, F. C., 2004. Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants. *Sci Total Environ*, **326**: 239-27.
- Pratt, D.E., 1965. Antioxidants in vegetable tissue. *J. Food Sci.*, **30**: 737.
- Pushnick, J. C., Miller, G. W., 1989. Iron Regulation of Chloroplast Photosynthetic Function: Mediation of PSI development. *Journal of Plant Nutrition*, **12**: 407-421.
- Qadir, S., Qureshi, M. I., Javed, S., Abdin, M. Z., 2004. Genotypic variation in phytoremediation potential of Brassica juncea cultivars exposed to Cd stress. *Plant Sci*, **167**: 1171-1181.
- Reeves, R. D., Baker, A. J. M., 1999. *Metal-accumulating plants*. In Phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean up the environment, eds, I Raskin, BD Ensley, John Wiley&Sons Inc, 193-229. New York.
- Reeves, R. D., Baker, A. J. M., 2000. Metal-accumulating plants. In: Raskin I, Ensley BD, editors. *Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment*. *John Wiley & Sons Inc*, **5**: 193-229, New York.
- Reddy, N. R., Pierson, M. D., Sathe, S. K., Salunkhe, D. K., 1984. Chemical, nutritional and physiological aspects of dry bean carbohydrates. *Food Chemistry*, **13**: 25-68.
- Richards, L. A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *USDA Agric*, Handbook **60**. Washington, D. C.
- Römheld, V., Marschner, H., Kramer, D., 1982. Responses to deficiency in roots of Fe-efficient plant *Helianthus annuus*. *The Soil Root Interface ed. Harley, J. L. Scoot Russel, R.*, **1**: 19-23. London Academic Press.
- Römheld, V., 1985. Schlechtwetterchlorose der rebe: Einfluss von bikarbonat und niedrigen bodentemperaturen auf die aufnahme und verlagerung von eisen und das auftreten von chlorose. *VDLUFA-Schriftenreihe Kongressband.*, **16**: 211-217.
- Römheld, V., Marschner, H., 1986. Evidence for a specific uptake system for iron phytosiderophores in roots of grasses. *Plant Physiol*, **80**: 175-180.
- Russo, V. M., 2006. Mineral nutrient and protein contents in tissues, and yield of navy bean, in response to nitrogen fertilization and row spacing. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, **4**: 168-171.
- Safarzadeh, S., Ronaghi, A., Karimian, N., 2013. Effect of cadmium toxicity on micronutrient concentration, uptake and partitioning in seven rice cultivars. *Archives of Agronomy and Soil Science*, **59** (2): 231-245.

- Salt, D. E., Smith, R. D., Raskin, I., 1998. Phytoremediation. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, **49**: 643-668.
- Sandalio, L. M., Dalurzo, H. C., Gomez, M., Romero-Puertas, M. C., Del-Río, L. A., 2001. Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. **Journal of Experimental Botany**, **52** (364): 2115-2126.
- Sanita di Toppi, L., Gabbriellini, R., 1999. Response to cadmium in higher plants. **Environ. Exp. Bot.**, **41**: 105-130.
- Schenkeveld, W. D. C., Dijcker, R., Reichwein, A. M., Temminghoff, E. J. M., Riemsdijk W. H., 2007. The effectiveness of soil-applied FeEDDHA treatments in preventing iron chlorosis in soybean as a function of the o,o-FeEDDHA content. **Plant Soil**, **303**: 161-176.
- Sgherri, C., Quartacci, M. F., Izzo, R., Navari-Izzo, F., 2002. Relation between lipoic acid and cell redox status in wheat grown in excess copper. **Plant Physiology Biochemistry**, **40**: 591-597.
- Sharma, R. K., Agrawal M., Marshall, F., 2006. Heavy metals contamination in vegetables grown in wastewater irrigated areas of Varanasi, **India B. Environ. Contam. Tox.**, **77**: 312-318.
- Sheoran, I. S., Singal, H. R., Singh, R., 1990. Effect of cadmium and nickel on photosynthesis and enzymes of the photosynthetic carbon reduction cycle in pigeon pea (*Cajanus cajan L.*). **Photosynthesis Research**, **23**: 345-351.
- Shimelis, E. A., Rakshit, S. K., 2005. Proximate composition and physico-chemical properties of improved dry bean (*Phaseolus vulgaris*) varieties grown in Ethiopia. **LWT - Food Science and Technology**, **38**: 331-338.
- Shimelis, E.A., Meaza, M., Rakshit, S.K., 2006. Physico-chemical properties, pasting behavior and functional characteristics of flours and starches from improved bean (*Phaseolus vulgaris L.*) varieties grown in East Africa. **Agricultural Engineering International, The CIGRE journal Manuscript FB 05015.**, **3**: 1-19.
- Siedlecka, A., Baszynski, T., 1993. Inhibition of electron flow around photosystem I in chloroplasts of Cd-treated maize plants is due to Cd-induced iron deficiency. **Physiol. Plant**, **87**: 199-202
- Siedlecka, A., 1995. Some aspects of interactions between heavy metals and plant mineral nutrients. **Acta Soc. Bot. Pol.**, **64**: 265-272.
- Siedlecka, A., Krupa, Z., 1996. Department of plant physiology, institute of Biology, Marie Curie Skłodowska University, **Lublin Akademicka**, **19**: 20-33, Poland.
- Singh, S., Zacharias, M., Kalpana, S., Mishra, S., 2012. Heavy metals accumulation and distribution pattern in different vegetable crops. Division of Environmental Sciences, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi 110012, India. **Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology**, **4** (4): 75-81.
- Staff, U. S., Salinity Lab. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. **Agricultural Handbook**, **60**: United State Department of Agriculture.
- Stobart, A. K., Griffiths, W. T., Ameen-Bukhari, A., Sherwood, R. P., 1985. The effect of Cd on the biosynthesis of chlorophyll in leaves of barley. **Physiol. Plant.**, **63**: 291-293.
- Stresty, T. V. S., Madhava-Rao, K.V., 1999. Ultrastructural alterations in response to zinc and nickel stress in the root cell of pigeonpea. **Environ Exp Bot**, **41**: 3-13.
- Sun, J. Y., Shen, Z. G., 2007. Effects of Cd Stress on Photosynthetic Characteristics and Nutrient Uptake of Cabbage with Different Cd-tolerance. **Chinese Journal of Applied Ecology**, **18** (11): 2605-2610.

- Şehirali S., 1988. *Yemelik Dane Baklagiller*, A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, Ders Kitabı, 314.
- Terry, N., 1981. Physiology of trace element toxicity and its relation to iron stress. *J. Plant Nutr.* **3**: 561-578.
- Thamayanthi, D., Sharavanan, P. S., Vijayaragavan, M., 2011. Effect of cadmium on seed germination, growth and pigments content of zinnia plant. *Current Botany*, **2** (8): 08-13.
- Thomas, G. W., 1982. Exchangeable cations. *Chemical and Microbiological Properties Agronomy Monograph. 7*: 159-165. (2nd Ed.) ASASSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Thys, C., Vanthomme, P., Schrevens, E., De-Proft, M., 1991. Interaction of Cd with Zn, Cu, Mn and Fe for lettuce (*Lactuca sativa* L.) in hydroponic culture. *Plant Cell Environ*, **14**: 713-717.
- Tiryakioğlu, M., Eker, S., Özkutlu, F., Husted, S., Çakmak, I., 2006. Antioxidant defense system and cadmium uptake in barley genotypes differing in cadmium tolerance. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, **20**: 181-189.
- Van-Assche, F., Chijsters, H., 1990. Effects of Metals on Enzyme Activity in Plants. *Plant Cell Environ*, **13**: 195-206.
- Verbruggen, N., Hermans, C., Schat, H., 2009. Mechanisms to cope with arsenic or cadmium excess in plants. *Curr Opin Plant Biol*, **12**: 364-372.
- Visitpanich, T., Batterham, E. S., Norton, B. W., 1985. Nutritional value of chickpea (*Cicer arietinum*) and pigeon pea (*Cajanus cajan*) meals for growing pigs and rats. 2. Effects of autoclaving and alkali treatment. *Australian Journal of Agricultural Research*, **36**: 337 - 345.
- Wagner, G., 1993. Accumulation of cadmium in crop plants and its consequences to human health. *Adv Agron*, **51**: 173-205 and 211.
- Wang, W., 1987. Root elongation method for toxicity testing of organ and inorganic pollutants. *Environ Toxicol Chem.*, **6**: 409-414.
- Wang, M., Zou, J. H., Duan, X. C., Jiang, W. S., Liu, D. H., 2007. Cadmium accumulation and its effect on metal uptake in maize (*Zea mays* L.) Biores. *Technol.* **98**: 82-88.
- Welch, R. M., 2002. The impact of mineral nutrients in food crops on global human health. *Plant and Soil*, **247**: 83-90.
- Wenzel, W., Jackwer, F., 1999. Accumulation of heavy metals in plants grown on mineralized solids of the Austrian Alps. *Environ. Poll*, **104**: 145-155.
- Wu, S., Huang, J., Dong, J., Pan, D., 2003. Hippo encodes a Ste-20 family protein kinase that restricts cell proliferation and promotes apoptosis in conjunction with salvador and warts. *Cell*, **114** (4): 445-456.
- Wu, F. B., Zhang, G. P., Dominy, P., Wu, H. X., Bachir, D. M. L., 2007. Differences in yield components and kernel Cd accumulation in response to Cd toxicity in four barley genotypes. *Chemosphere*, **70**: 83-92.
- Yamagata, N., Shigematsu, 1970. Cadmium pollution in perspective. *Bull. Inst. Publ. Health*, **19**: 1-27.
- Yang, X., Baligar, V. C., Martens, D. C., Clark, R. B., 1996. Cadmium effects on influx and transport of mineral nutrients in plant species. *J Plant Nutrition*, **19**: 643-656.
- Yilmaz, N., Houbraken, J., Hoekstra, E. S., 2012. Delimitation and characterisation of *Talaromyces purpurogenus* and related species *Persoonia*, *J Plant Nutrition*, **29**: 39-54.

- Yu, H., Wang, J. L., Fang, W., Yuan, J. G., Yang, Z. Y., 2006. Cadmium accumulation in different rice cultivars and screening for pollution safe cultivars of rice. *Sci. Total Environ.*, **370**: 302-309.
- Zengin, K. F., Munzuroğlu, Ö., 2005. Fasulye Fidelerinin (*Phaseolus vulgaris L.Strike*) Klorofil ve Karotenoid Miktarı Üzerine Bazı Ağır Metallerin ( $Ni^{+2}$ ,  $CO^{+2}$ ,  $Cr^{+3}$ ,  $Zn^{+2}$ ) Etkileri. *F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **17** (1): 164-172.
- Zhao, Y. S., Sun, C., Sun, J. Q., Zhou, R., 2015. Kinetic modeling and efficiency of sulfate radical-based oxidation to remove p-nitroaniline from wastewater by persulfate/ $Fe_3O_4$  nanoparticles process. *Sep. Purif. Technol.*, **142**: 182-188.







## ÖZ GEÇMİŞ

Van'da 1992 yılında doğdu. İlk ve orta öğrenimini Hasan Ali Yücel İlköğretim Okulu'nda, lise öğrenimini Vali Haydar Bey Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2012-2016 yılları arasında, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'nde lisans eğitimini tamamlayıp, Ziraat Mühendisi unvanıyla mezun oldu. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine 2016 yılında başladı.

