

*Sinan ÇELİM

Orcid No:0000-0002-9865-754X

**Fusun GÜLSER

Orcid No: 0000-0002-9495-8839

*Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen
Bilimleri Enstitüsü

**Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve
Bitki Besleme Bölümü (Sorumlu
yazar)

gulserf@yahoo.com

DOI

<https://doi.org/10.46291/ISPECJASv014iss4pp1004-1021>

Geliş Tarihi: 26/10/2020

Kabul Tarihi: 28/11/2020

Anahtar Kelimeler

Fasulye, stres, demir, kadmiyum, bitki
boyu

Keywords

Inorganic iron, organic iron, nano
iron, bean, cadmium, plant growth

Farklı Demir Formlarının Kadmiyum Stresi Altındaki Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L. Var Nana) Bitkisinin Gelişiminde Meydana Getirdiği Değişimler

Özet

Bu çalışma farklı demir formlarının kadmiyumla kirlenmiş ortamlarda fasulye bitkisinin gelişiminde meydana getirdiği değişimlerin belirlenmesi amacıyla kurulmuştur. Deneme, faktöriyel deneme desenine göre üç tekrarlamalı olarak, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümüne ait iklim odasında, kontrollü koşullarda yürütülmüştür. Farklı demir formlarının (inorganik (FeSO₄.7H₂O), organik (Fe-EDDHA) ve nano demir) Fe0:0 mg kg⁻¹ ve Fe1: 15 mg Fe kg⁻¹ olmak üzere iki dozu uygulanmış, Cd-nitrat formunda Cd0: 0 mg Cd kg⁻¹, Cd1: 40 mg Cd kg⁻¹ ve Cd2: 80 mg Cd kg⁻¹ olacak şekilde kadmiyum uygulanmıştır. Deneme tohum ekimini izleyen sekiz hafta sonra sonlandırılmıştır. Hasat edilen bitkilerde bitki gelişim kriterleri üzerine kadmiyum ve demir uygulamalarının etkisi 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. Kadmiyum uygulamaları bitki boyu (p<0.01), bitki yaş ağırlığı (p<0.01), bitki kuru ağırlığı (p<0.01), kök uzunluğu (p<0.01), kök yaş ağırlığı (p<0.01) ve kök kuru ağırlığı (p<0.01) üzerine etki etmiştir. En yüksek değerler bitki boyunda Cd0xNanoFe1 uygulamasında 37.7 cm olarak, bitki yaş ağırlığında Cd2xInorg.Fe1 uygulamasında 9.38 g olarak, bitki kuru ağırlığında Cd0xOrg.Fe0 uygulamasında 0.97 g olarak, kök uzunluğunda Cd0xInorg.Fe0 uygulamasında 26.11 cm olarak, kök yaş ağırlığında Cd0xNanoFe1 uygulamasında 2.76 g olarak ve kök kuru ağırlığında Cd2xInorg.Fe1 uygulamasında 0.58 g olarak belirlenmiştir. Genel olarak, artan Cd dozları bitki gelişim kriterlerini olumsuz etkilemiştir. Uygulanan demir formlarından en etkili olanın inorganik demir formu olduğu ve bitki gelişim kriterlerinde iyileşmeler sağlayabileceği belirlenmiştir.

The Changes Caused by Different Iron Forms in Growth of Bean (*Phaseolus vulgaris* L. Var Nana) Under Cadmium

Abstract

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 (FeSO₄.7H₂O), organic iron (Fe-EDDHA), ve nano iron used different iron forms were applied at two levels as 0-15 mg kg⁻¹. Cadmium was used at three different levels as 0-40-80 mg kg⁻¹. 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 (0.97 g) and root fresh weight (2.76 g) 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 and roots was determined as 7.44 mg pot⁻¹ and 65.14 mg pot⁻¹ in Cd2 dose respectively.

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). İnsan beslenmesinde taze sebze, konserve ve kuru tane olarak tüketilen fasulye tanesi % 19-31 gibi yüksek oranda protein içeriğine sahip olduğu gibi (Adams, 1985)

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). 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 (Pushncik ve Miller, 1989). Ayrıca demir, protein sentezi üzerinde de etkilidir. Yeteri kadar demir içermeyen bitkilerde protein miktarı azalmakta ve amin bileşiklerinde artış görülmektedir. Özgül ağırlıkları 5 g/cm^{-3} ve bu değerin 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. Bunlardan birinci gruptakiler madencilik yoluyla dünya üzerine yayıldıklarından, aslında insan eliyle biyojeokimyasal döngülere sokuldukları için bunlarda antropojenik kaynaklıdır. İkinci gruptakilerin bunlardan farkı, maden cevherinin endüstride işlenmesi sırasında, tarımsal mineral gübrelerin kullanılması ve atık maddeler yoluyla atmosferden ekosistemlere yine insan eliyle yayılmasıdır (Çepel, 1997). Önemli çevresel kirletici 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). 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 kullanımını sonucunda da önemli miktarda kadmiyum kirliliği ortaya çıkmaktadır. Bitki yaşamını etkileyen en önemli kadmiyum kaynakları; su boruları, kömür yakılması, tohum aşamasında ve endüstriyel üretim aşamasında kullanılan gübreler ve endüstriyel üretim aşamalarında oluşan baca gazlarıdır (Kahvecioğlu ve ark., 2007). Kadmiyum stresi koşullarında azot metabolizmasının enzimleri olan nitrat redüktaz ve nitrit redüktazın aktiviteleri azalmaktadır. Bu durum bitkilerin nitrat asimilasyonunu azaltmaktadır (Gouia ve ark., 2000). Yapılan bir çalışmada 50 µM kadmiyum uygulanan domates yaprak ve köklerinin nitrat içeriği kontrol bitkilerine göre % 24 ve % 62 oranında daha düşük bulunurken, toplam amino asit miktarının arttığı belirlenmiştir (Chaffei ve ark., 2004). Son yıllarda, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler sonucu ortaya çıkan ağır metallere bağlı 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⁻¹ düzeyinde bulunmaktadır (Bergman, 1992). Doğal ya da bulaşmış topraklarda 200 mg Cd kg⁻¹ konsantrasyonlarına rastlanmaktadır. Meyvelerde izin verilebilen en yüksek Cd konsantrasyonu 0.05 mg kg⁻¹, sebzelerde izin verilebilen en yüksek Cd konsantrasyonu 0.1 mg kg⁻¹ olarak bildirilmiştir (Bergman, 1992). Bu çalışmada kadmiyumun artan dozlarında farklı demir formlarının ve dozunun fasulyenin gelişimi üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

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±1 °C sıcaklık ile 10.000 Lüks/Gün ışık intensitesi olacak şekilde ayarlanan kontrollü koşullar altında yetiştirilmişlerdir.

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. Kadmiyumun 3 dozu (Cd₀: 0 mg Cd kg⁻¹, Cd₁: 40 mg Cd kg⁻¹ ve Cd₂: 80 mg Cd kg⁻¹) ve demirin ise inorganik Fe (FeSO₄.7H₂O), organik Fe (Fe-EDDHA) ve nano Fe formlarının Fe₀: 0 mg Fe kg⁻¹ ve Fe₁: 15 mg Fe kg⁻¹ olacak şekilde uygulamaları yapılmıştır. Kadmiyum uygulamaları tohum ekimiyle birlikte Cd(NO₃)₂ kimyasalından ve Demir uygulamaları ise çimlenmeden sonra uygulanmıştır. Hasat, çimlenmeden 8 hafta sonra yapılmış ve alınan bitki örneklerinde bitki boyu, bitki çapı, bitki yaş ağırlığı, bitki kuru ağırlığı, kök uzunluğu, kök yaş ağırlığı, kök kuru ağırlığı, yaprak sayısı, gövde çapı ve kök çapı ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen bulguların istatistik analizleri SPSS paket programı kullanılarak varyans analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Duncan çoklu karşılaştırma testine göre gruplandırılmıştır (SPSS, 2018). Deneme toprağında, toprak reaksiyonu, Jackson (1958); toplam tuz, Richards (1954); kireç, Allison ve Moodie (1965); organik madde, modifiye edilmiş Walkey Black (Jackson, 1962); fosfor, sodyum

bikarbonat (Olsen ve ark., 1954) yöntemine göre; değişebilir potasyum, kalsiyum, magnezyum, Thomas (1982) yöntemine göre; yarayırlı demir, bakır, mangan ve çinko DTPA ile ekstrakte edildikten sonra

atomik absorpsiyon spektrofotometresi ile Lindsay ve Norvell, (1978) belirlenmiştir. Denemede kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

pH	Tekstür	Kireç	OM	EC	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		%	%	dS /m	mg kg ⁻¹							
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, kireçli, organik madde, fosfor ve çinko içeriğı bakımından yetersiz, diğere besin elementleri bakımından yeterli düzeyde bulunmuştur.

BULGULAR

Farklı demir uygulamaları ile dozları ve Cd dozlarının bitki ve kök gelişim kriterlerine etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 2, 3 ve 4'te verilmiştir.

Çizelge 2. Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarının bitki boyu, bitki yaş ağırlığı ve bitki kuru ağırlığına etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

VK	SD	Bitki boyu		Bitki yaş ağırlığı		Bitki kuru ağırlığı	
		KO	F	KO	F	KO	F
Fe Form	2	115.84	3.68*	2.56	1.71 ^{öd}	0.01	0.24 ^{öd}
Fe doz	1	264.85	8.40**	0.20	0.14 ^{öd}	0.19	6.84*
Cd doz	2	245.85	7.80**	22.34	14.88**	0.29	10.49**
Fe Form x Fe doz	2	262.40	8.33**	12.65	8.43**	0.09	3.33*
Fe Form x Cd doz	4	72.12	2.29 ^{öd}	5.68	3.78*	0.02	0.71 ^{öd}
Fe doz x Cd doz	2	5.41	0.17 ^{öd}	0.16	0.11 ^{öd}	0.02	0.77 ^{öd}
Fe Form x Fe doz x Cd doz	4	126.75	4.02**	7.97	5.31**	0.03	1.09 ^{öd}

** , %1; * , % 5; öd, önemli değil

Çizelge 3. Demir uygulamaları, demir dozları ve Cd uygulamalarının kök uzunluğu, kök yaş ağırlığı ve kök kuru ağırlığına etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

VK	SD	Kök uzunluğu		Kök yaş ağırlığı		Kök kuru ağırlığı	
		KO	F	KO	F	KO	F
Fe Form	2	320.26	28.45**	0.99	2.94 ^{öd}	0.057	11.71**
Fe doz	1	280.08	24.88**	0.05	0.14 ^{öd}	0.02	0.34 ^{öd}
Cd doz	2	161.46	14.34**	3.75	11.18**	0.016	3.31*
Fe Form x Fe doz	2	83.47	7.42**	4.38	13.04**	0.096	19.84**
Fe Form x Cd doz	4	14.43	1.28 ^{öd}	1.65	4.91**	0.05	9.37**
Fe doz x Cd doz	2	11.81	1.05 ^{öd}	0.20	0.59 ^{öd}	0.03	6.70**
Fe Form x Fe doz x Cd doz	4	26.53	2.36 ^{öd}	1.18	3.50*	0.032	6.67**

** , %1; * , % 5; öd, önemli değil

Çizelge 4. Demir uygulamaları, demir dozları ve Cd uygulamalarının yaprak sayısı, gövde çapı ve kök çapına etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

VK	SD	Yaprak Sayısı		Gövde Çapı		Kök Çapı	
		KO	F	KO	F	KO	F
Fe Form	2	0.73	1.07 ^{öd}	0.32	1.90 ^{öd}	0.38	1.90 ^{öd}
Fe doz	1	0.07	0.11 ^{öd}	0.00	0.01 ^{öd}	0.00	0.01 ^{öd}
Cd doz	2	1.44	2.11 ^{öd}	0.25	1.51 ^{öd}	0.30	1.51 ^{öd}
Fe Form x Fe doz	2	0.003	0.01 ^{öd}	0.18	1.10 ^{öd}	0.22	1.10 ^{öd}
Fe Form x Cd doz	4	0.03	0.05 ^{öd}	0.06	0.36 ^{öd}	0.07	0.36 ^{öd}
Fe doz x Cd doz	2	1.04	1.52 ^{öd}	0.02	0.12 ^{öd}	0.02	0.12 ^{öd}
Fe Form x Fe doz x Cd doz	4	0.49	0.72 ^{öd}	0.14	0.83 ^{öd}	0.17	0.83 ^{öd}

** , %1; *, % 5; öd, önemli değil

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 ve 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 2, 3). 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 2, 3). Yaprak sayısı, gövde çapı ve kök çapı üzerine demir formları, demir dozları ve kadmiyum dozları ile interaksiyonların etkisinin önemsiz olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4) Farklı demir uygulamaları, dozları ve Cd dozlarında elde edilen bitki ve kök gelişim kriterlerine ilişkin ortalamalar ve Duncan harflendirmeleri Çizelge 5, 6 ve 7'de verilmiştir.

Çizelge 5. Farklı demir uygulamaları ve dozları ile Cd dozlarından elde edilen bitki boyu, bitki yaş ağırlığı, bitki kuru ağırlığı, yaprak sayısı ve gövde çapına ilişkin ortalamalar ve Duncan harflendirmeleri

Kriterler	Fe form	Fe doz	Kadmiyum, mg kg ⁻¹			Fe Ort.	Genel Fe Ort.	
			0	40	80			
Bitki boyu (cm)	İnorg. Fe	0 mg kg ⁻¹	35.69a	29.07ab	24.00b	29.59	28.74A	
		15 mg kg ⁻¹	27.83ab	21.19b	34.67a	27.90		
		Cd Ort.	31.76a	25.13b	29.34ab			
	Org. Fe	0 mg kg ⁻¹	33.79a	32.35ab	27.81abc	31.32A	24.79B	
		15 mg kg ⁻¹	23.17bc	19.28cd	12.33d	20.33B		
		Cd Ort.	28.48a	25.81ab	20.07b			
	Nano Fe	0 mg kg ⁻¹	30.56ab	29.66ab	26.15ab	28.79	29.52A	
		15 mg kg ⁻¹	37.72a	33.53a	19.49b	30.25		
		Cd Ort.	34.14a	31.60a	22.82b			
	Genel Cd Ort.			31.46A	27.51B	24.08B		
	Bitki yaş ağırlığı (g)	İnorg. Fe	0 mg kg ⁻¹	7.50ab	4.89b	5.04b	5.81B	6.70
			15 mg kg ⁻¹	7.53ab	5.85b	9.38a	7.59A	
Cd Ort.			7.52a	5.37b	7.21ab			
Org. Fe		0 mg kg ⁻¹	8.26a	6.51ab	5.29b	6.69	5.98	
		15 mg kg ⁻¹	7.17ab	5.39b	3.28c	5.99		
		Cd Ort.	7.71a	5.95b	4.29c			
Nano Fe		0 mg kg ⁻¹	7.33ab	6.09b	7.33ab	6.91	6.55	
		15 mg kg ⁻¹	8.38a	6.16b	3.99c	6.18		
		Cd Ort.	7.86a	6.12b	5.66b			
Genel Cd Ort.			7.69A	5.81B	5.72B			
Bitki kuru ağırlığı (g)		İnorg. Fe	0 mg kg ⁻¹	0.79a	0.62a	0.58a	0.66	0.68
			15 mg kg ⁻¹	0.83a	0.63a	0.64a	0.70	
	Cd Ort.		0.81a	0.62a	0.61a			
	Org. Fe	0 mg kg ⁻¹	0.97a	0.84ab	0.61abc	0.80A	0.68	
		15 mg kg ⁻¹	0.72abc	0.58bc	0.38c	0.58B		
		Cd Ort.	0.85a	0.71ab	0.50b			
	Nano Fe	0 mg kg ⁻¹	0.79a	0.75a	0.82a	0.79	0.71	
		15 mg kg ⁻¹	0.87a	0.62ab	0.43b	0.64		
		Cd Ort.	0.83a	0.69ab	0.63b			
	Genel Cd Ort.			0.83A	0.67B	0.58B		

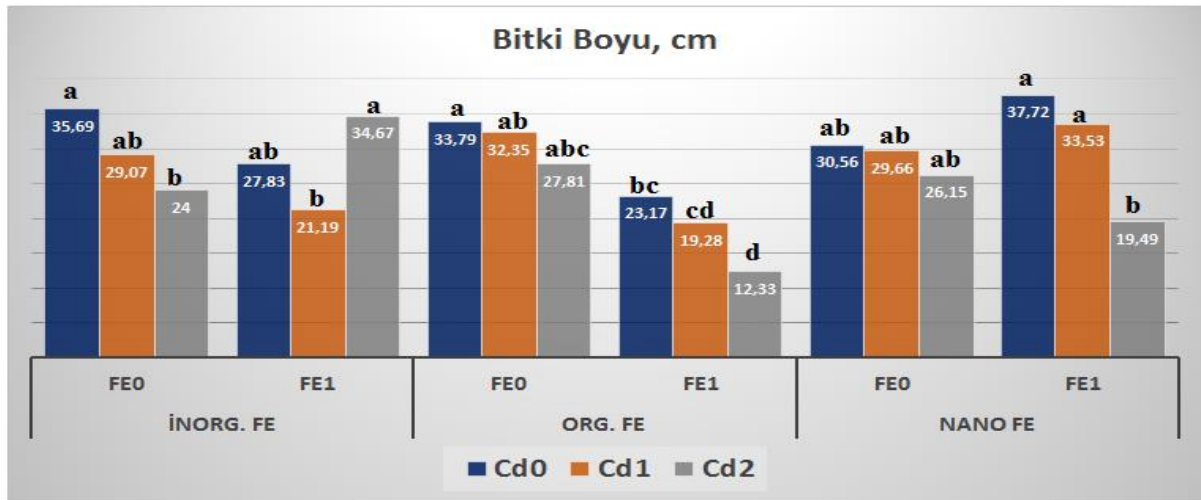
A, B, a, b, c: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi satırında ve sütununda önemlidir.

Çalışmada artan Cd dozları ile bitki boyunda azalmalar belirlenmiştir. En yüksek bitki boyu, bitki yaş ağırlığı, bitki kuru ağırlığı, yaprak sayısı ve gövde çapı ortalamaları sırası ile 31.46 cm, 7.69 g, 0.83 g, 6.13 adet ve 3.69 mm olarak Cd₀ (0 mg Cd kg⁻¹) uygulamasında elde edilmişlerdir. Gövde çapı dışında, bu parametrelere ilişkin en düşük değerler ise sırası ile 24.08 cm,

5.72 g, 0.58 g, ve 5.58 adet olarak Cd₂ (80 mg Cd kg⁻¹) uygulamasında elde edilirken, en düşük gövde çapı ortalaması 3.46 mm Cd₁ (40 mg Cd kg⁻¹) uygulamasında bulunmuştur (Çizelge 5, 6 ve 7). Kadmiyum uygulamalarının bitki boyu ve bitki kuru ağırlığı üzerine olumsuz etkileri birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Bachir ve ark., 2004; Tiryakioğlu ve ark.,

2006; John ve ark., 2009; Safarzadeh ve ark., 2013). Bu durum muhtemelen 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 açmasından kaynaklanmış olabilir. Bunların sonucu olarak da yüksek düzeyde kadmiyumun bitki büyüme ve gelişimini sınırlandırdığı belirtilmiştir (John ve ark., 2009; Nwugo ve Huerta, 2008).

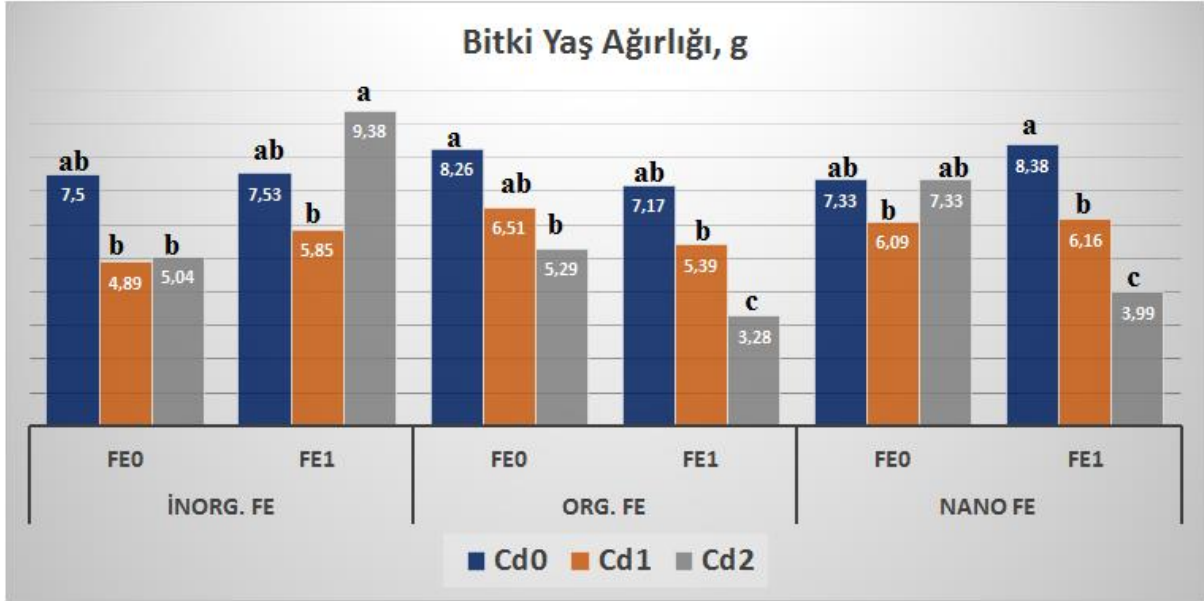
Chakralhoseini ve ark. (2002), topraktan 2.5 mg kg⁻¹ Fe uygulamasının soya fasulyesinde bitki kuru ağırlığını arttırdığını fakat demirin daha yüksek dozlarının bitki büyümesini azalttığını bildirmiştir. Farklı demir formlarının etkileri karşılaştırıldığında en yüksek bitki boyu ortalamaları 29.52 cm 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.



Şekil 1. Fe Form x Fe doz x Cd doz interaksyonunun bitki boyuna etkisi, Fe₀: 0 mg Fe kg⁻¹, Fe₁: 15 mg Fe kg⁻¹. Cd₀: 0 mg Cd kg⁻¹, Cd₁: 40 mg Cd kg⁻¹, Cd₂: 80 mg Cd kg⁻¹

En yüksek bitki boyu 37.72 cm ile Cd₀ x nanoFe₁ bitkilerinde ulaşılmıştır. En düşük bitki boyu ise 12.33 cm ile Cd₂ x organikFe₁ uygulamasında belirlenmiştir. Demir

formları incelendiğinde kadmiyumla kirletilmiş ortamlarda nano Fe formunun etkinliğinin daha belirgin olduğu belirlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 2. Fe Form x Fe doz x Cd doz interaksiyonunun bitki yaş ağırlığına etkisi, Fe₀: 0 mg Fe kg⁻¹, Fe₁: 15 mg Fe kg⁻¹. Cd₀: 0 mg Cd kg⁻¹, Cd₁: 40 mg Cd kg⁻¹, Cd₂: 80 mg Cd kg⁻¹

Şekil 2’de görüleceği üzere bitki yaş ağırlığında en yüksek değer 9.38 g ile 15 mg Fe kg⁻¹ inorganik demir ve 80 mg Cd kg⁻¹ kadmiyum uygulamasında belirlenmişken, en düşük bitki yaş ağırlığı 3.28 g ile 15 mg Fe kg⁻¹ organik demir ve 80 mg Cd kg⁻¹ kadmiyum uygulamasında belirlenmiştir. Demir formlarından inorganik Fe formunun kadmiyumla kirletilmiş ortamlarda bitki yaş ağırlığı üzerine etkisi daha belirgindir. Demir formlarının kök uzunluğu üzerine etkisi incelendiğinde en yüksek kök uzunluğu ortalaması 23.64 cm ile inorganik Fe uygulamasında, en düşük kök uzunluğuna ise 15.55 cm ile nano Fe uygulamasında ölçülmüştür. Ortama demir

ilave durumunda kök uzunluğunda azalma olduğu belirlenmiştir. En uzun kök uzunluğu 23.59 cm ile inorganik demir uygulanmamış bitkilerde ölçülmüşken en kısa kök uzunluğu 12.88 cm ile 15 mg Fe kg⁻¹ uygulanmış nano Fe formunda belirlenmiştir (Çizelge 6). Kök uzunluğunda görülen bu azalışlar bitkinin yetiştiği ortamda demire kolay bir şekilde ulaşması sonucunda fazla bir kök uzatmaya ihtiyaç duymamasından kaynaklanmış olabileceği gibi uygulanan demir dozunun yüksek oluşu kök gelişimini olumsuz şekilde etkilemesinden de kaynaklanmış olabilir.

Çizelge 6. Farklı demir uygulamaları ve dozları ile Cd dozlarından kök uzunluğu, kök yaş ağırlığı ve kök kuru ağırlığına etkilerine ait ortalamalar ve Duncan harflendirmeleri

Kriterler	Fe form	Fe doz	Kadmium, mg kg ⁻¹			Fe Ort.	Genel Fe Ort.
			0	40	80		
Kök uzunluğu (cm)	İnorg. Fe	0 mg kg ⁻¹	26.11ab	26.50a	18.17b	23.59	23.64A
		15 mg kg ⁻¹	24.31ab	22.67ab	24.08ab	23.69	
		Cd Ort.	25.21a	24.58a	21.13a		
	Org. Fe	0 mg kg ⁻¹	23.42ab	25.08a	16.64c	21.71A	17.51B
		15 mg kg ⁻¹	17.78bc	14.69c	7.44d	15.44B	
		Cd Ort.	20.60a	19.89a	12.04b		
	Nano Fe	0 mg kg ⁻¹	18.53a	18.47a	17.68a	18.23A	15.55B
		15 mg kg ⁻¹	16.19ab	13.58b	8.87c	12.88B	
		Cd Ort.	17.36a	16.03a	13.28b		
Genel Cd Ort.			21.05A	20.17A	15.48B		
Kök yaş ağırlığı (g)	İnorg. Fe	0 mg kg ⁻¹	1.93b	0.97b	1.13b	1.34B	1.87AB
		15 mg kg ⁻¹	2.05b	1.85b	3.31a	2.40A	
		Cd Ort.	1.99ab	1.41b	2.22a		
	Org. Fe	0 mg kg ⁻¹	2.58a	2.73a	2.05a	2.45	2.04A
		15 mg kg ⁻¹	2.66a	1.51ab	0.74b	1.90	
		Cd Ort.	2.62a	2.12ab	1.40b		
	Nano Fe	0 mg kg ⁻¹	2.76a	1.50bc	1.12c	1.79	1.58B
		15 mg kg ⁻¹	2.17ab	1.17c	0.78c	1.37	
		Cd Ort.	2.47a	1.34b	0.95b		
Genel Cd Ort.			2.36A	1.62B	1.52B		
Kök kuru ağırlığı (g)	İnorg. Fe	0 mg kg ⁻¹	0.23b	0.09b	0.13b	0.15B	0.24A
		15 mg kg ⁻¹	0.19b	0.20b	0.58a	0.33A	
		Cd Ort.	0.21b	0.14b	0.35a		
	Org. Fe	0 mg kg ⁻¹	0.24a	0.21a	0.14ab	0.20	0.17B
		15 mg kg ⁻¹	0.19a	0.17ab	0.05b	0.18	
		Cd Ort.	0.22a	0.19a	0.10b		
	Nano Fe	0 mg kg ⁻¹	0.23a	0.13b	0.13b	0.17A	0.12B
		15 mg kg ⁻¹	0.12b	0.06b	0.07b	0.083B	
		Cd Ort.	0.18a	0.10b	0.10b		
Genel Cd Ort.			0.20A	0.14B	0.18AB		

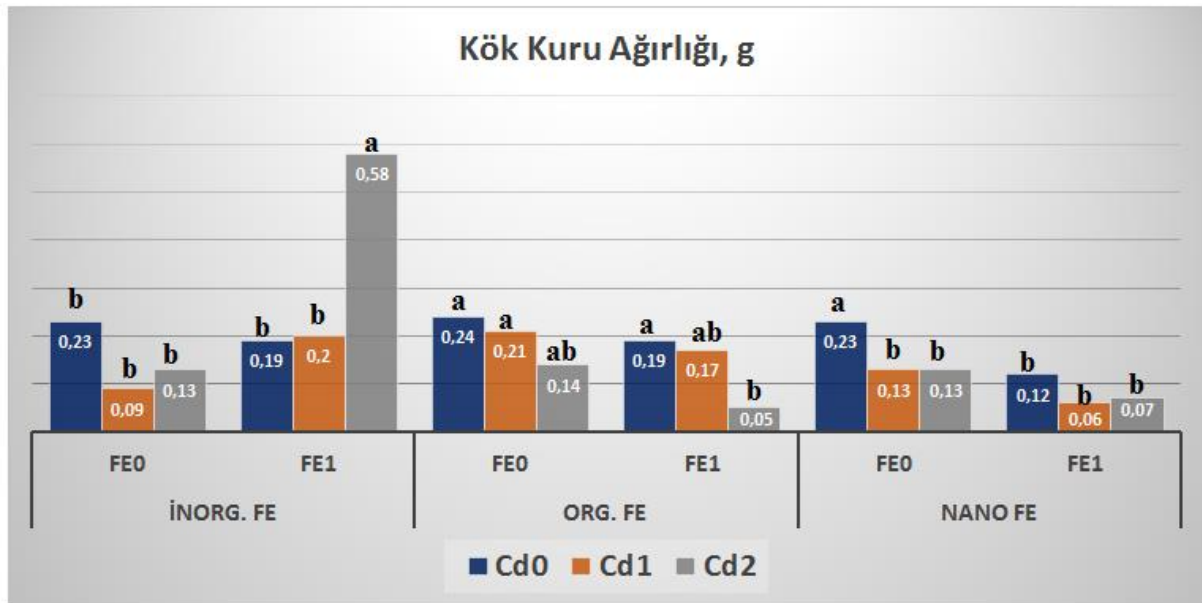
a,b, c: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi satırında ve sütununda önemlidir.

Kadmium 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, 2.36 g ve 0.20 g olarak Cd₀ uygulamasında elde edilirken bu parametrelere ilişkin en düşük ortalamalar sırası ile 15.48 cm 1.52 g Cd₂ uygulamalarında ve 0.14 g olarak Cd₁ uygulamasında bulunmuştur (Çizelge 5). Çizelge 5, 6 ve 7'de görüleceği üzere 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⁻¹

¹ Fe dozunun *Phaseoulus 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.

Farklı demir formlarında elde edilen kök uzunluğu, kök kuru ağırlığı ve kök yaş ağırlığı ortalamaları değerlendirildiğinde, bu parametrelere ilişkin en yüksek ortalamalar, 23.64 cm, 0.24 g ve 2.04 g olarak sırası ile inorganik ve organik Fe uygulamalarında elde edilmişlerdir (Çizelge 6).



Şekil 3. Fe Form x Fe doz x Cd doz interaksiyonunun kök kuru ağırlığına etkisi, Fe₀: 0 mg Fe kg⁻¹, Fe₁: 15 mg Fe kg⁻¹. Cd₀: 0 mg Cd kg⁻¹, Cd₁: 40 mg Cd kg⁻¹, Cd₂: 80 mg Cd kg⁻¹

Kök kuru ağırlığında en yüksek değer 0.58 g ile Cd₂xİnorg.Fe₁ uygulamasında, en düşük değer ise 0.05 g ile Cd₂xOrg.Fe₁ uygulamasında tespit edilmiştir. Kök kuru

ağırlığı üzerine demir formlarından inorganik Fe formunun kadmiyumla kirletilmiş ortamlarda daha etkili olduğu görülmüştür (Şekil 3).

Çizelge 7. Farklı demir uygulamaları ve dozları ile Cd uygulamalarının yaprak sayısı, gövde çapı ve kök çapına etkilerine ati ortalamalar ve Duncan harflendirmeleri

Kriterler	Fe form	Fe doz	Kadmium, mg kg ⁻¹			Fe Ort.	Genel Fe Ort.
			0	40	80		
Yaprak sayısı (adet)	İnorg. Fe	0 mg kg ⁻¹	6.58a	5.67ab	5.06b	5.77	5.80
		15 mg kg ⁻¹	5.58ab	5.67ab	6.25ab	5.83	
		Cd Ort.	6.08	5.67	5.65		
	Org. Fe	0 mg kg ⁻¹	6.33	6.00	5.58	5.97	6.02
		15 mg kg ⁻¹	6.45	5.94	5.83	6.13	
		Cd Ort.	6.39	5.97	5.71		
	Nano Fe	0 mg kg ⁻¹	6.08	5.42	5.28	5.59	5.62
		15 mg kg ⁻¹	5.75	5.69	5.50	5.65	
		Cd Ort.	5.92	5.56	5.39		
Genel Cd Ort.			6.13	5.73	5.58		
Gövde çapı (mm)	İnorg. Fe	0 mg kg ⁻¹	3.39	3.30	3.30	3.33	3.43
		15 mg kg ⁻¹	3.48	3.44	3.70	3.54	
		Cd Ort.	3.44	3.37	3.50		
	Org. Fe	0 mg kg ⁻¹	4.02	3.46	3.50	3.66	3.56
		15 mg kg ⁻¹	3.46	3.48	3.46	3.48	
		Cd Ort.	3.74	3.47	3.48		
	Nano Fe	0 mg kg ⁻¹	3.75	3.64	3.70	3.70	3.70
		15 mg kg ⁻¹	4.06	3.46	3.59	3.70	
		Cd Ort.	3.91	3.55	3.65		
Genel Cd Ort.			3.69	3.46	3.54		
Kök çapı (mm)	İnorg. Fe	0 mg kg ⁻¹	3.73	3.63	3.63	3.66	3.78
		15 mg kg ⁻¹	3.83	3.78	4.07	3.89	
		Cd Ort.	3.78	3.70	3.85		
	Org. Fe	0 mg kg ⁻¹	4.42	3.81	3.85	4.03	3.92
		15 mg kg ⁻¹	3.81	3.82	3.80	3.83	
		Cd Ort.	4.12	3.82	3.83		
	Nano Fe	0 mg kg ⁻¹	4.12	4.01	4.07	4.07	4.07
		15 mg kg ⁻¹	4.47	3.80	3.94	4.07	
		Cd Ort.	4.30	3.90	4.01		
Genel Cd Ort.			4.06	3.81	3.90		

Yaprak sayısı dikkate alındığında, en yüksek ortalama 6.58 adet olarak Cd₀ x org Fe₀ uygulamasında bulunmuştur. Yaprak sayısına ilişkin en düşük ortalama ise 5.06 adet olarak Cd₂ x inorg Fe₀ uygulamasında elde edilmiştir. En yüksek gövde çapı ortalaması 4.06 mm olarak Cd₀ x nano Fe₁ uygulamasında bulunmuştur. Gövde çapına ilişkin en düşük ortalama ise 3.30 mm olarak Cd₁ x inorg Fe₀ ve Cd₂ x inorg Fe₀ uygulamalarında elde edilmişlerdir.

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

SONUÇ

Nanoteknoloji ile üretilmiş gübrelerin, partikül büyüklüklerinin küçük olması ve geniş yüzey alanları dolayısıyla ile yüksek kullanım etkinliğine sahip olmaları,

kontrollü salınım, hedeflenen yere ulaştıktan sonra etkinlik gösterme, düşük ekotoksosite 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 yaratmadıkları bildirilmiştir (Güneş ve ark., 2013b; Liu ve Lal, 2016). Benzer şekilde, Fe EDDHA uygulamalarının FeSO₄ uygulamalarına kıyasla bitki gelişiminde daha etkili olduğu (Mortvedt ve ark., 1972; Hassan ve ark., 2005) 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 yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Benzer şekilde Gülser ve ark. (2018) 15 mg kg⁻¹ Fe dozlarının soya fasulyesinde (*Glycine max. L.*) kontrole kıyasla bazı bitki gelişim kriterlerinde azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir.

Bu araştırmada elde edilen sonuçların farklı demir dozları kullanılarak bu konuda yapılabilecek benzer çalışmalara ışık tutması bakımından faydalı olabileceği düşünülmüştür. Bunun yanında daha az miktarda gübre kullanımına olanak sağlayan organik ve nano gübrelerin kullanımı ile ekonomik alanda ve çevre kirliliği kapsamında olumlu kazanımlar elde edilebilecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, FYL 2018-7094 No'lu proje kapsamında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

Anonim, 2012 <http://www.tugem.gov.tr/document/bitksuretgelproje.html>. (Erişim tarihi: 01.01.2012)

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.

Baysal, A., 2004. Beslenme. Hacettepe Üniversitesi Sağlık Teknolojisi Yüksek Okulu Beslenme ve Diyetetik Bölümü. 11–26. Ankara.

Bergmann, W. 1992. Nutritional disorders of plants: Developments, Visual

and Analytical Diagnosis. Gustav Fischer Verlag Jena, New York.

Chaffei, C., Pageau, K., Suzuki, A., Gouia, H., Ghorbel, M.H and Masclaux-Daubresse, C. 2004. Cadmium toxicity induced changes in nitrogen management in lycopersicon esculentum leading to a metabolic safeguard through an amino acid storage strategy. *Plant Cell Physiol*, 45(11):1681-1693.

Chakralhoseini, M.R., A. Ronaghi, M. Mafton, N.A., Kariman, 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.

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.

Çatak, E., Güler Ç., Süleyman, T., Orhan B. 2000. Bazı domates ve tütün genotiplerinde kadmiyum etkilerini inceleyen istatistiksel bir çalışma. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2 (1).

Çepel, N. 1997. Toprak kirliliği erozyon ve çevreye verdiği zararlar, TEMA Vakfı Yayınları, No: 14, İstanbul.

Çiftçi, C.Y. 2004. Dünyada ve Türkiye’de yemeklik tane baklagiller tarımı. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Teknik Yayınlar Dizisi 5, Ankara.

Ergül, M. 1988. Yemler bilgisi ve teknolojisi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 487, Bornova-İzmir.

Ernst Who, Verkleji J.A.C., Schat, H., 1992. Metal Tolerance in Plants. *Acta Bot Neerl* 41: 229-248.

Gouia, H., Gorbil, M.H., Meyer, C., 2000. Effects of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of the nitrate assimilation pathway in bean. *Plant Physiol. Biochem.* 38: 629-638.

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, New York, 1032.

Gunes, A., Alpaslan, M., InaL, A. 2013a. Bitki besleme ve gübreleme. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. 1514 Ders Kitabı. 467.

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.

Jackson, M. 1962. Soil chemical analysis. Prentice Hall Inc. Eng. Cliffs. New York, 183-187, U.S.A.

Jiang, W.Z., Li J.L. 1989. Effects of Cadmium on Photosynthetic Characteristics of Tobacco, *Plant Physiology Communications*, 6: 27-31.

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.

Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S. 2007. Metallerin Çevresel Etkileri –I. (erişim adresi: www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf, Erişim tarihi: 13.05.2007).

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.

Lindsay, W. L., W.A. Norwell, 1978. Development of a DTPA soil test for Zn, Fe, Mn and Cd. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 42: 421-428.

Liu, R., Lal, R., 2016. Nanofertilizers. In: R. Lal (Ed.) *Encyclopedia of Soil Science*, 3rd Edition, CRC Press, p: 1511-1515.

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 Toxicol.* 12: 29-38.

Mortvedt, J.J., Giordano, P.M., Lindsay, W.L. (Eds) 1972. *Micronutrients in agriculture*. Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America.

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 Chem.* Vol. 49, pp. 2465-2471.

Nriego, J.O. 1979. Global inventory of natural and anthropogenic emissions of

trace metals to the atmosphere. Nature 279: 409-411.

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., C.V., Cole, F.S., Watanable, L.A., Dean, 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U. S. Dept. of Agric. Cir. 939-941, Washington D. C. ABD.

Pekşen, E., Artık, C. 2005. Antibesinsel maddeler ve yemelik tane baklagillerin besleyici değerleri. O.M.Ü. Zir. Fak. 20: 110-120.

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.

Pushnick, J.C., Miller, G. W. 1989. Iron regulation of chloroplast photosynthetic function: Mediation of PSI development. J. Plant Nutr. 12: 407-421.

Reddy, N.R., Pierson, M.D., Sathe, S.K., Salunkhe, D.K., 1984. Chemical, nutritional and physiological aspects of dry bean carbohydrates. Food Chemistry Vol. 13, pp. 25-68

Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agric. Handbook 60. Washington, D. C.

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.

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 CIGR Ejournal Manuscript 3(1): 1-19.

Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. Chemical and Microbiological Properties Agronomy Monograph. No:7. P 159-165. (2nd Ed.) ASASSSA, Madison, Wisconsin, USA.

Tiryakıoglu, M., Eker, S., Özkutlu, F., Husted, S., Cakmak, 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.

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.

Yamagata, N., Shigematsu, 1970. Cadmium pollution in perspective. Bull. Inst. Publ. Health 19, 1-27.