



Ekmeklik ve Makarnalık Buğdaylara Uygulanan Çinko Dozlarının Kadmiyum Alımına Etkisi

Faruk Özkutlu¹, Halil Erdem^{2*}

¹Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 52200 Ordu, Türkiye

²Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 60240 Tokat, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Araştırma Makalesi

Geliş 19 Mart 2018
Kabul 18 Ekim 2018

Anahtar Kelimeler:

Kadmiyum
Çinko gübrelemesi
Ekmeklik buğday
Makarnalık buğday
Yaprak uygulaması

*Sorumlu Yazar:

E-mail: erdemh@hotmail.com

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, yüksek Cd konsantrasyonuna sahip toprağa çinko (Zn) uygulamaları ile ekmeklik ve makarnalık buğdayın Cd alımına olan etkisini araştırmaktır. Çalışma sera koşullarında Zn noksanlığına sahip kireç içeriği yüksek bir toprakta tesadüf blokları deneme desenine göre dört tekrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Denemede Cd uygulamaları 0 (Cd0) ve 10 (Cd10) mg kg⁻¹ Cd dozlarında uygulanmıştır. Çinko uygulamaları ise topraktan 0 (Zn 0) ve 10 (Zn 10) mg kg⁻¹ Zn ile toprak + yapraktan (Zn10+3Y; Zn10+8Y) olacak şekilde yapılmıştır. Yapraktan Zn uygulamalarına sapa kalkma döneminde başlanmış ve haftada 1 defa olmak üzere 3 ve 8 defa yapraktan %0,1 dozunda ZnSO₄·7H₂O uygulaması yapılmıştır. Bitkiler tane olgunluk döneminde hasat edilmiş ve tanelerde Zn ve Cd konsantrasyonları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan topraktan ve toprak+yapraktan Zn uygulamaları ile ekmeklik ve makarnalık buğdayların tane Zn konsantrasyonlarında önemli artışların olduğu görülmüştür. Toprağa Cd uygulaması ile Karacadağ çeşidinin tane Cd konsantrasyonları önemli ölçüde azaltılmıştır. Haran-95 çeşidinin Cd 10 koşullarında 8.434 µg kg⁻¹ olan tane Cd konsantrasyonu, Cd 10 koşullarında 3.616 µg kg⁻¹'e, Harran çeşidinin ise 70 µg kg⁻¹ tane Cd konsantrasyonu Cd10 koşullarında 8.434 µg kg⁻¹'e yükseldiği görülmüştür. Bununla birlikte, toprak, toprak + yapraktan Zn uygulamaları, makarnalık buğday çeşitlerinin tane Cd konsantrasyonlarını önemli ölçüde azaltmıştır. Haran-95 çeşidinin Cd 10 koşullarında 8.434 µg kg⁻¹ olan tane Cd konsantrasyonu, Zn10 koşullarında 6.464 µg kg⁻¹'a, Zn10+3Y koşullarında 7.932 µg kg⁻¹'a, Zn10+8Y koşullarında ise 6.745 µg kg⁻¹'a düşmüştür. Sonuçlardan makarnalık buğday çeşidinin ekmeklik buğday çeşidine göre topraktan daha fazla Cd aldığı görülmüştür. Bunun yanında topraktan ve yapraktan Zn uygulamaları ile makarnalık buğday çeşidinin Cd alımında daha fazla azalma olduğu görülmüştür.

Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 6(12): 1713-1717, 2018

The Effect of Zinc Application Doses to Bread and Durum Wheat on Cadmium Uptake

ARTICLE INFO

Research Article

Received 19 March 2018
Accepted 18 October 2018

Keywords:

Cadmium
Zinc fertilization
Bread wheat
Durum wheat
Foliar application

*Corresponding Author:

E-mail: erdemh@hotmail.com

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effects of zinc application on Cd uptake of bread (Karacadağ) and durum (Harran-95) wheat growing in high Cd concentrations. Plants were grown under greenhouse conditions in Zn-deficient calcareous soil. The experiment was conducted in a randomized block design with four replicates. In the experiment, Cd was applied 0 (Cd0) and 10 (Cd10) mg kg⁻¹. The Zn application was 10 mg kg⁻¹ Zn (soil+leaf) (10 mg kg⁻¹ Zn + 3 applications from leaf; 10 mg kg⁻¹ Zn + 8 applications from leaf). The Zn application was started at the end of the tillering stage in ZnSO₄·7H₂O form at 0.1% dose as 3 (3F) and 8 (8F) times of leaf application per a week. The plants were harvested at grain maturity stage and the Cd and Zn concentrations of grains were determined. The results revealed that Zn concentrations of both bread and durum wheat varieties were significantly increased with the soil Zn and soil+leaf Zn applications. The Cd accumulation in Harran-95 variety with soil Cd treatment was higher than that of Karacadağ variety. The Cd concentration (31 µg kg⁻¹) in the control conditions of Karacadağ varieties increased to 3.616 µg kg⁻¹ in Cd 10 conditions, which was 70 µg kg⁻¹ in control conditions of Harran variety and increased to 8.434 µg kg⁻¹ in Cd10 conditions. However, soil and leaf Zn applications have significantly reduced the grain Cd concentrations of durum wheat variety. Cadmium concentration in Harran-95 cultivar at Cd10 dose was 8.434 µg kg⁻¹ before addition of Zn, and it was decreased to 6.464 µg kg⁻¹, to 7.932 µg kg⁻¹ and to 6.745 µg kg⁻¹ with Zn10, Zn10+3Y and Zn10+8Y applications, respectively. The results showed that the durum wheat variety removed higher Cd than the bread wheat variety. In addition, the decrease in grain Cd concentrations was the highest in durum wheat variety with the soil and leaf Zn applications.

DOI: <https://doi.org/10.24925/turjaf.v6i12.1713-1717.1922>

Giriş

Toprakta ağır metal kirliliği, günümüzde önemli çevresel sorunlar arasında yer almaktadır (Doumet ve ark., 2008; Nouri ve ark., 2009; Li ve ark., 2014). Çevre Koruma Ajansı (EPA)'nın hazırladığı rapora göre, ağır metaller 129 öncelikli gruptan çevre kirleticileri arasında en önemli gruplarından birini oluşturmaktadır (Neilson ve ark., 2003). Canlı organizmalar için toksik etkiye sahip olan kadmiyum (Cd), ekosistemdeki en tehlikeli ağır metal kirleticilerinden birisidir. Kadmiyum ana materyal veya endüstriyel faaliyetler, fosforlu gübre uygulamaları gibi insan aktiviteleri sonucunda toprağa ulaşmaktadır. İnsan faaliyetleriyle toprağa ulaşan Cd'un %54-58'i fosforlu gübrelerden, %39-41'i atmosferik depolanmadan, %2-5'i ise atık çamur ve çiftlik gübresi uygulamalarından kaynaklanmaktadır (Yost ve Miles, 1979; Wang ve ark., 2015). Yer kabuğunda ortalama 0,1 mg kg⁻¹, topraklarda ise 0,53 mg kg⁻¹ Cd bulunmaktadır. Toprakta 3 mg kg⁻¹'dan fazla Cd toksik etkilere yol açmaktadır. Özellikle son 20-30 yıllık süreçte dünya toprakların Cd içeriğinin arttığı bildirilmektedir. Kadmiyum biyolojik fonksiyonlar açısından gerekli bir element olmayıp insan, hayvan ve bitkiler için toksiktir. Diğer ağır metallere göre 2-20 kat daha fazla toksik etkiye sahiptir (Friberg, 2018). Kadmiyum toprakta oldukça hareketli bir element olup kolaylıkla bitkinin besin zincirine dahil olmaktadır. Bitkiler tarafından alınan Cd bitkinin protein sentezi, azot ve karbonhidrat metabolizması, enzim aktivasyonu, fotosentez ve klorofil sentezi gibi birçok metabolik aktivitesinin bozulmasına neden olmaktadır (Mengel ve Kirkby, 2001). Tahıllar arasında Cd birikimi bakımından özellikle makarnalık buğdayda giderek artan bir endişe kaynağıdır. Sebep hala belirsiz olmasına rağmen, makarnalık buğday çeşitleri, ekmeklik buğday çeşitlerinden çok daha fazla tanelerine Cd biriktirmektedir (Li ve ark. 1997; McLaughlin ve ark. 1998; Erdem ve ark., 2012).

Çinko (Zn) bitkiler ve hayvanlar için önemli bir mikro besin elementidir. Çinko noksanlığı topraklarda en yaygın olan mikro besin elementi noksanlıklarından biridir. Problem özellikle yarı kurak bölgelerde tahıl ekilen alanlarda kendini göstermektedir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından desteklenen bir çalışmada, dünyadaki tarım alanlarının %30'unda Zn noksanlığı olduğu saptanmıştır (Sillanpaa, 1982; Alloway, 2004). Çinkonun bitkilerin Cd alımı üzerine etkileri hakkında değişik görüşler bulunmaktadır. Bazı araştırmacılar Zn'nun uygulanmasıyla bitkinin Cd konsantrasyonunun artacağını ileri sürmektedir. Birçok araştırmacı ise Zn uygulamasıyla bitkinin Cd alımının azalacağını savunmaktadır. Çinkonun Cd alımı üzerine hem antagonistik hem de sinergistik etkisinin olduğuna yönelik çalışmalara literatürde fazlaca rastlanılmaktadır. Bu konuda yapılan ilk çalışmalarda örneğin, Zn uygulamalarının bitkide Cd alımını artırdığı bulunmuştur (Williams ve David, 1976). Oysa bir başka çalışmada, düşük Cd içeriğine sahip toprakta Zn'nun bitkide Cd alımını engellediği buna karşın yüksek Cd konsantrasyonuna sahip olan toprakta ise artırdığı ileri sürülmüştür (Page ve ark., 1981). Çinko eksikliğinde yetişen bitkilerin daha fazla Cd alması, benzer kimyasal özelliklere sahip olan Zn ve Cd'un membranlar

üzerindeki absorpsiyon noktaları için rekabet etmesine (Grant ve ark., 1998; Cakmak ve ark., 2000; Öztürk ve ark., 2003) ve Zn noksanlığında membran geçirgenliğinin artmasına (Cakmak ve Marschner, 1988) bağlanmaktadır. Avusturalya'da yapılan denemelerde, Zn eksikliğinin olduğu alanlarda hektara 5 kg Zn uygulamasıyla tane Cd konsantrasyonunun gerilediği bulunmuştur (Oliver ve ark., 1994). Aynı türün çeşitleri arasında da Zn'nun Cd alımını azalttığı bildirilmiştir. Örneğin Hart ve ark. (2002), yaptıkları çalışmada, makarnalık ve ekmeklik buğdayların Cd konsantrasyonunun toprağa Zn ilavesiyle azaldığını saptamıştır.

Bu çalışmada ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitlerinin Cd alımına Zn uygulamasının etkisi araştırılmıştır.

Materyal ve Metot

Materyal

Çalışma Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Araştırma Seralarında, bir ekmeklik (Karacadağ) ve bir makarnalık (Harran-95) çeşidi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tohum materyalleri GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden temin edilmiştir. Deneme toprağının pH'sı 8,06 (Alkali), kireci %12,0 (orta kireçli), organik maddesi %1,08 (az), tuzu 0,21 mS (tuzsuz), yarayışlı P konsantrasyonu 4,13 mg kg⁻¹ (yetersiz), K konsantrasyonu 244 mg kg⁻¹ (yeterli), DTPA'da ekstakte edilebilir Zn konsantrasyonu 0,11 mg kg⁻¹ (yetersiz), Cd konsantrasyonu 0,005 mg kg⁻¹ (toksikite sınırı: 3 mg kg⁻¹), tekstürü ise killi tindir.

Metot

Sera denemesinde bitkiler iki farklı Cd dozunda (Cd 0 ve Cd 10 mg kg⁻¹) yetiştirilmiştir. Kadmiyum dozları toprağa 3(CdSO₄).8H₂O formunda uygulanmıştır. Çinko uygulamaları ise toprak, toprak+yaprak uygulamaları şeklinde gerçekleştirilmiştir. Toprakta Zn uygulamaları 0 ve 10 mg kg⁻¹, yaprakta Zn uygulamaları ise Zn10+3Y (yapraktan 3 farklı zamanda Zn uygulaması) ve Zn10+8Y (yapraktan 8 farklı zamanda Zn uygulaması) olacak şekilde yapılmıştır. Yapraktan Zn uygulamalarına sapa kalkma döneminde başlanmış (Zadoks 32) ve her bir yaprak uygulaması 1'er hafta ara ile 3 ve 8 kez yaprakta %0,1 dozunda ZnSO₄.7H₂O uygulaması yapılmıştır. Yaprak uygulamaları her bir saksıya %0,1'lik olarak hazırlanan ZnSO₄.7H₂O çözeltisi tüm yapraklar ıslanana kadar uygulama şeklinde yapılmıştır. Denemede her saksıya 1,65 kg toprak tartılmış ve temel gübreler olarak 1 kg toprak başına (CaNO₃)₂.4H₂O formunda 400 mg N, KH₂PO₄ formunda 100 mg P, Fe-EDTA formunda 2,5 mg Fe verilmiştir. Toprakta Cd ve Zn uygulamaları temel gübreleme ile birlikte denemenin başlangıcında toprak ile homojen bir şekilde karıştırılarak verilmiştir. Her saksıya 8 tohum ekilmiş ve çimlenmeden sonra bitki sayısı 4'e seyreltilmiştir. Bitkiler tane olgunluk döneminde iken hasat edilmiştir. Hasat edilen bitkilerin taneleri baştan ayrıldıktan sonra tane ağırlıkları belirlenmiş ve daha sonra tane örnekleri yaş yakma metoduna göre mikrodalga fırınında H₂O₂-HNO₃ asit karışımında yakılmıştır. Elde edilen süzüklerde Zn ve Cd konsantrasyonları İndüktif

Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrofotometre (ICP-OES -Varian Vista) cihazında belirlenmiştir (Kacar ve İnal, 2008).

Farklı tahıl türlerinde Cd ve Zn uygulamasının tane ağırlığı, tane Cd ve Zn konsantrasyonlarına etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı tek yönlü varyans analizi (ANOVA) testi uygulanarak belirlenmiştir. Uygulamalar arasındaki farklar, Duncan'ın testi kullanılarak 0,05 olasılık düzeyinde karşılaştırılmıştır. İstatistiksel analizlerde SPSS 21.0 paket programı kullanılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitlerinin farklı Cd ve Zn uygulamaları altındaki tane ağırlıkları Çizelge 1'de verilmiştir. Hem ekmeklik hem de makarnalık buğday çeşitlerinin hem Cd0 hem de Cd10 koşullarında artan Zn uygulamaları ile birlikte tane ağırlıklarının arttığı görülmüş ancak bu artış istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur. Örneğin Karacadağ çeşidinin Zn0 Cd0 koşullarındaki tane ağırlığı 34 mg tane⁻¹ iken, bu değer aynı Cd dozu koşullarının Zn10+8Y uygulamasında 40 mg tane⁻¹'ye çıktığı görülmüştür. Benzer şekilde Harran-95 çeşidinin Zn0 Cd10 dozu koşullarının tane ağırlığı 42 mg tane⁻¹ iken bu değer aynı Cd dozu koşullarının Zn10+8Y uygulamasında 44 mg tane⁻¹'ye çıktığı görülmüştür. Ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitlerinin tüm Zn uygulaması altında Cd0 koşullarına göre Cd10 uygulaması ile tane ağırlıklarında önemli bir değişimin olmadığı görülmüştür. Örneğin Zn 10 dozu koşullarında Cd0 uygulamasında Karacabey çeşidinin 39 mg tane⁻¹ olan tane ağırlığı Cd 10 dozunda değişmemiş, aynı Zn dozu koşullarında bu durum Harran-95 çeşidinde Cd0 koşullarında 46 mg tane⁻¹ iken Cd10 koşullarında 44 mg tane⁻¹'ye düşmüştür. Elde edilen sonuçlardan da görüleceği gibi hem ekmeklik hem de makarnalık buğday çeşitleri Zn uygulaması ile tane ağırlıklarının arttığı, buna karşın her iki çeşitte Cd uygulamasından etkilenmediği görülmüştür (Çizelge 1).

Dağdaş ekmeklik ve Çakmak makarnalık buğday çeşitlerine artan miktarlarda Cd (0, 10 ve 25 mg kg⁻¹) ve Zn (0 ve 10 mg kg⁻¹) uygulaması yapılan bir sera çalışmasında hem ekmeklik hem de makarnalık çeşitlerin Cd dozu arttıkça kuru madde verimlerinin azaldığı, bu azalışın makarnalık çeşitte daha fazla olduğu bildirilmiştir. Aynı çalışmada toprağa Zn uygulaması

yapıldığında ise artan Cd uygulamasına bağlı olarak çeşitlerin kuru madde verimlerinde bir azalma olduğunu ancak Zn 0 koşullarına göre bunun daha az olduğu bildirmiştir (Köleli ve ark. 2004). Yapılan başka bir çalışmaya göre Zhu ve ark. (2003) toprağa artan miktarda yapmış oldukları Cd (0,15,30 ve 50 mg kg⁻¹) ve Zn (0, 2, 10, 100 ve 1000 mg kg⁻¹) uygulaması ile kışlık bir buğday çeşidinin (Kenong 9209) artan Cd dozuna bağlı olarak kuru madde veriminin azaldığını, bu azalışın Zn uygulaması yapıldıkça azaldığını (Zn 10 dozuna kadar) bildirmiştir.

Çizelge 2'de ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitlerinde farklı dozlarda Cd ve Zn uygulamalarının tane Cd ve Zn konsantrasyonlarına olan etkisi verilmiştir. Hem ekmeklik hem de makarnalık buğday çeşitlerine Cd uygulaması ile tüm Zn dozlarında da tane Cd konsantrasyonlarında istatistiksel açıdan önemli artışların olduğu görülmüştür. Bu artış en fazla makarnalık buğday olan Harran-95 çeşidinde görülmüştür. Örneğin Zn0 Cd0 koşullarında Karacadağ çeşidinin 31 µg kg⁻¹ olan tane Cd konsantrasyonu Cd 10 koşullarında 3.616 µg kg⁻¹'a çıkmış, bu durum Harran-95 çeşidinde ise 70 µg kg⁻¹ olan tane Cd konsantrasyonu Cd10 koşullarında 8.434 µg kg⁻¹'a çıkmıştır. Elde edilen sonuçlardan da görüleceği gibi makarnalık buğday çeşidi ekmeklik buğday çeşidine göre tanesinde daha fazla Cd biriktirmektedir. Makarnalık buğdayın özellikle Zn yetersizliği olan koşullarda ekmeklik buğdaydan daha fazla topraktan Cd aldığı ve tanesinde biriktirdiği yapılan benzer çalışmalarda da bildirilmiştir (Grant ve ark., 1998; Clarke ve ark., 2002; Erdem ve ark., 2012). Bu sonuçlar, makarnalık buğdayın, Cd ile kirlenmiş ve Zn noksanlığına sahip topraklarda yetiştirilmemesi gerektiğini göstermektedir.

Yapılan çalışmalarda Zn'nun bitkilerin Cd alımı üzerine etkileri hakkında değişik görüşler bulunmaktadır. Bazı araştırmacılar Zn'nun uygulanmasıyla bitkinin Cd konsantrasyonunun artacağını ileri sürmektedir (Williams ve David, 1976). Birçok araştırmacı ise Zn uygulamasıyla bitkinin Cd alımının azalacağını savunmaktadır (Page ve ark., 1981). Elde ettiğimiz bulgulara göre Cd 10 koşullarında toprağa artan dozlarda Zn uygulaması ile hem ekmeklik hem de makarnalık buğday çeşitlerinin tane Cd konsantrasyonlarında önemli azalmaların olduğu, çeşitler arasında ise Zn uygulamasına karşı en fazla tepkiyi Harran-95 makarnalık buğday çeşidinin verdiği görülmüştür (Çizelge 2).

Çizelge 1 Farklı dozda Cd ve Zn uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitlerinin tane verimine olan etkisi
Table 1 Effect of different doses of Cd and Zn applications on grain yield of bread and durum wheat varieties.

Zn Uygulamaları	Tane Ağırlığı (mg tane ⁻¹)			
	Karacadağ		Harran-95	
	Cd 0	Cd 10	Cd 0	Cd10
Zn 0	34±2,4	34±3,5	43±1,6	42±2,5
Zn 10	39±0,8	39±2,5	46±2,8	44±2,9
Zn10+3Y	39±2,2	40±1,4	46±3,9	46±3,3
Zn10+8Y	40±2,6	38±1,2	43±5,3	44±4,2
Cd	ns		ns	
Zn	ns		ns	
Cd*Zn	ns		ns	

*P<0,05; **P<0,01; ns: önemli değil; ±: Standard sapma

Çizelge 2 Farklı dozda Cd ve Zn uygulamalarının ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitlerinin tane Cd ve Zn konsantrasyonlarına olan etkisi.

Table 2 Effect of different doses of Cd and Zn applications on grain Cd and Zn concentrations of bread and durum wheat varieties.

Zn Uygulamaları	Tane Cd Konsantrasyonu ($\mu\text{g kg}^{-1}$)			
	Karacadağ		Harran-95	
	Cd 0	Cd 10	Cd 0	Cd10
Zn 0	31 \pm 7	3616 \pm 345	70 \pm 11	8434 \pm 521
Zn 10	14 \pm 2	3555 \pm 152	42 \pm 3	6464 \pm 462
Zn10+3Y	13 \pm 1	3666 \pm 244	45 \pm 5	7932 \pm 913
Zn10+8Y	17 \pm 2	3829 \pm 301	46 \pm 3	6745 \pm 596
Cd	**		**	
Zn	*		**	
Cd*Zn	*		**	
Zn Uygulamaları	Tane Zn Konsantrasyonu (mg kg^{-1})			
	Cd 0	Cd 10	Cd 0	Cd10
	Cd 0	Cd 10	Cd 0	Cd10
Zn 0	21,2 \pm 1,8	15,7 \pm 1,2	21.0 \pm 4.5	13.2 \pm 0.7
Zn 10	53,4 \pm 1,4	41,1 \pm 2,7	55.4 \pm 4.4	32.2 \pm 3.1
Zn10+3Y	59,0 \pm 2,3	63,3 \pm 0,6	50.9 \pm 5.7	54.5 \pm 4.2
Zn10+8Y	59,6 \pm 8,2	71,5 \pm 8,8	55.0 \pm 6.7	49.5 \pm 2.3
Cd	**		**	
Zn	**		**	
Cd*Zn	**		**	

*P<0,05; **P<0,01; ns: önemli değil; \pm : Standard sapma

Karacadağ çeşidinin Cd 0 Zn0 koşullarında 3.616 $\mu\text{g kg}^{-1}$ olan tane Cd konsantrasyonu Zn 10 Cd 10 koşullarında 3.555 $\mu\text{g kg}^{-1}$ 'a düştüğü, bu durum makarnalık buğday çeşitinde ise 8.434 $\mu\text{g kg}^{-1}$ olan tane Cd konsantrasyonu, Zn 10 Cd 10 koşullarında 6464 $\mu\text{g kg}^{-1}$ 'a düşmüştür. Toprak+yaprak Zn uygulamaları (Zn10+3Y ve Zn10+8Y) ile tane Cd konsantrasyonlarında artışa neden olduğu görülmüştür. Sonuçlarda da görüleceği üzere tane Cd konsantrasyonunu azaltması yönünden en ideal uygulamanın topraktan Zn uygulaması olduğu ortaya çıkmıştır. Çinko eksikliğinde yetişen bitkilerin daha fazla Cd alması, benzer kimyasal özelliklere sahip olan Zn ve Cd'un membranlar üzerindeki absorpsiyon noktaları için rekabet etmesine (Grant ve ark., 1998; Cakmak ve ark., 2000; Harris ve Taylor 2001; Öztürk ve ark., 2003) ve Zn noksanlığında membran geçirgenliğinin artmasına (Cakmak ve Marschner, 1988) bağlanmaktadır.

Avustralya'da yapılan denemelerde, Zn eksikliğinin olduğu alanlarda hektara 5 kg Zn uygulamasıyla tane Cd konsantrasyonunun gerilediği bulunmuştur (Oliver ve ark., 1994). McLaughlin ve ark (1994; 1995), Avustralya'da patates bitkisiyle yapılan iki farklı araştırmanın ilkinde, topraktaki ekstrakte edilebilir Zn ile patates yumrusu Cd konsantrasyonu arasında negatif bir korelasyon olduğunu ve diğer araştırmasında ise hektara 100 kg Zn uygulamasıyla patates yumrusunun Cd konsantrasyonunda 10 katlık bir azalmanın olduğunu saptamıştır. Elde ettiğimiz sonuçlara benzer şekilde, Hart ve ark (2002), yaptıkları çalışmada, makarnalık ve ekmeklik buğdayların Cd konsantrasyonunun toprağa Zn ilavesiyle azaldığını bildirmişlerdir.

Denemeye konu olan ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitlerinin tane Zn konsantrasyonları hem Cd0 hem de Cd10 koşullarında artan Zn uygulaması ile arttığı görülmüştür. Karacadağ çeşidinin Cd0 Zn0 koşullarında tane Zn konsantrasyonu 21,2 mg kg^{-1} iken bu değer aynı Cd dozunun Zn10+8Y uygulamasında 59,6 mg kg^{-1} 'e çıktığı, benzer artış Harran-95 çeşidinde de görülmüştür

(Çizelge 2). Artan Zn uygulaması ile tane Zn konsantrasyonunda ortaya çıkan bu artış toprağa 10 mg kg^{-1} Cd uygulaması ile hem ekmeklik hem de makarnalık çeşitlerin tane Zn konsantrasyonlarında artış ve azalışlara neden olmuştur. Qaswar ve ark., (2017) sera koşullarında Cd ve Pb ile kirlenmiş bir toprağa 0 ve 8 mg kg^{-1} dozlarında Zn uygulaması ile yetiştirdikleri iki farklı ekmeklik buğday çeşidinin tane Zn konsantrasyonlarının kontrol uygulamasına göre istatistiksel olarak önemli düzeyde arttığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar Cd ve Pb ile kirlenmiş toprağa yapılan 8 mg kg^{-1} Zn uygulaması ile tanedeki hem Cd hem de Pb konsantrasyonlarında önemli azalmalar meydana geldiğini bildirmişleridir.

Sonuç

Sonuçlar ekmeklik ve makarnalık buğday çeşitlerine Cd ve Zn uygulamaları ile tane Zn ve Cd konsantrasyonlarında önemli değişimlerin olduğu görülmüştür. Makarnalık buğday çeşidi ekmeklik buğday çeşidine göre, özellikle Zn-eksikliği ve Cd-toksik koşullar altında tanesinde daha fazla Cd biriktirdiği ortaya çıkmıştır. Bunun yanında hem makarnalık hem de ekmeklik buğday çeşitlerine Zn uygulamaları ile tane Cd düzeylerinde önemli azalmalar neden olduğu ortaya çıkmıştır.

Bu nedenle, Zn eksikliği ve Cd ile kirliliği olan tarım arazilerinde makarnalık buğday tarımı yapılmaması doğru bir yaklaşım olacaktır. Kadmiyum ile kirlenmiş topraklarda makarnalık buğday yetiştiriciliği durumunda, tahıldaki Cd birikimini azaltmak için Cd birikimini azaltmada yüksek kabiliyetli genotipler tercih edilmeli ya da Zn gübrelemesine büyük önem verilmelidir.

Kaynaklar

Alloway BJ. 2004. Zinc in Soils and Crop Nutrition. International Zinc Association Communications. IZA Publications, Brussels.

- Cakmak I, Marschner H. 1988. Increase in membrane permeability and exudation in roots of zinc deficient plants. *Journal of Plant Physiology*, 132(3): 356-361.
- Cakmak I, Welch RM, Erenoglu B, Römheld V, Norvell WA, Kochian LV. 2000. Influence of varied zinc supply on retranslocation of cadmium (109Cd) and rubidium (86Rb) applied on mature leaf of durum wheat seedlings. *Plant and Soil*, 219(1-2): 279-284.
- Clarke JM, Norvell WA, Clarke FR, Buckley WT. 2002. Concentration of cadmium and other elements in the grain of nearisogenic durum lines. *Can. J. Plant Sci.* 82: 27-33.
- Doumett S, Lamperi L, Checchini L, Azzarello E, Mugnai S, Mancuso S, Petruzzelli G, Del Bubba M. 2008. Heavy metal distribution between contaminated soil and *Paulownia tomentosa*, in a pilot-scale assisted phytoremediation study: Influence of different complexing agents. *Chemosphere*, 72: 1481-1490.
- Erdem, H., Tosun, Y.K. and Öztürk, M., 2012. Effect of cadmium zinc interactions on growth and Cd-Zn concentration in durum and bread wheats. *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol. 21(5): 1046-1051.
- Friberg L. 2018. *Cadmium in the Environment*. CRC press.
- Grant CA, Buckley WT, Bailey LD, Selles F. 1998. Cadmium accumulation in crops. *Can. J. Plant Sci.* 78: 1-17.
- Harris NS, Taylor GJ. 2001. Remobilization of cadmium in maturing shoots of near isogenic lines of durum wheat that differ in grain cadmium accumulation. *Journal of Experimental Botany*, 52(360): 1473-1481.
- Hart JJ, Welch RM, Norvell WA, Kochian LV. 2002. Transport interactions between cadmium and zinc in roots of bread and durum wheat seedlings. *Physiologia Plantarum*, 116(1): 73-78.
- Kaçar B, İnal A. 2008. Bitki analizleri. Nobel Yayın Dağıtım.
- Köleli N, Eker S, Cakmak I. 2004. Effect of zinc fertilization on cadmium toxicity in durum and bread wheat grown in zinc-deficient soil. *Environ. Pollut.*, 131: 453-459.
- Li YM, Chaney RL, Schneiter AA, Miller J F, Elias EM, Hammond JJ. 1997. Screening for low grain cadmium phenotypes in sunflower, durum wheat and flax. *Euphytica*, 94(1): 23-30.
- Li Z, Ma Z, van der Kuijp TJ, Yuan Z, Huang L. 2014. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: pollution and health risk assessment. *Science of the total environment*, 468: 843-853.
- McLaughlin MJ, Williams CMJ, McKay AJKG, Kirkham RJKG, Gunton JJKG, Jackson K J, Tiller KG. 1994. Effect of cultivar on uptake of cadmium by potato tubers. *Australian Journal of Agricultural Research*, 45(7): 1483-1495.
- McLaughlin MJ, Maier NA, Freeman K, Tiller KG, Williams CMJ, Smart MK. 1995. Effect of potassic and phosphatic fertilizer type, fertilizer Cd concentration and zinc rate on cadmium uptake by potatoes. *Fertilizer research*, 40(1): 63-70.
- McLaughlin MJ, Parker DR, Clarke JM. 1998. Metals and micronutrients: food safety issues. *Field Crops Res.* 60: 143-163.
- Mengel K, Kirkby, EA. 2001. *Principles of plant nutrition. Principles of plant nutrition. 5th edition.* ISBN 1-4020-0008-1.
- Neilson JW, Artiola JF, Maier RM. 2003. Characterization of lead removal from contaminated soils by non toxic washing agents. *Journal of Environmental Quality* 32: 899-908.
- Nouri J, Khorasani N, Lorestani B, Karami M, Hassani AH, Yousefi, N. 2009. Accumulation of heavy metals in soil and uptake by plant species with phytoremediation potential. *Environmental Earth Science* 59(2): 315-323.
- Oliver DP, Hannam R, Tiller KG, Wilhelm NS, Merry RH, Cozens GD. 1994. The effects of zinc fertilization on cadmium concentration in wheat grain. *Journal of Environmental Quality*, 23(4): 705-711.
- Öztürk L, Karanlık S, Özkutlu F, Cakmak I, Kochian LV. 2003. Shoot biomass and zinc/cadmium uptake for hyperaccumulator and non-accumulator *Thlaspi* species in response to growth on a zinc-deficient calcareous soil. *Plant Science*, 164(6): 1095-1101.
- Page AL, Bingham FT, Chang AC. 1981. Effect of heavy metal pollution on plants. *Appl. Sci. London*, 1, 72-109.
- Qaswar M, Hussain S, Rengel Z. 2017. Zinc fertilisation increases grain zinc and reduces grain lead and cadmium concentrations more in zinc-biofortified than standard wheat cultivar. *Science of The Total Environment*, 605: 454-460.
- Sillanpää M. 1982. Micronutrient and the nutrient status of soils. A global study. *FAO Soils Bulletin*, No.48, ROME.
- Wang L, Cui X, Cheng H, Chen F, Wang J, Zhao X, Pu X. 2015. A review of soil cadmium contamination in China including a health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(21): 16441-16452.
- Williams CH, David DJ. 1976. The accumulation in soil of cadmium residues from phosphate fertilizers and their effect on the cadmium content of plants. *Soil Science*, 121(2): 86-93.
- Yost KJ, Miles LJ. 1979. *Journal of Environmental Science and Health A*. 14: 285-311.
- Zhu YG, Zhao ZQ, Li HY, Smith SE, Smith FA. 2003. Effect of zinc-cadmium interactions on the uptake of zinc and cadmium by winter wheat (*triticum aestivum*) grown in pot culture. *Environmental Contamination and Toxicology*, 71: 1289-1296.