

## MİKORİZA VE FARKLI DEMİR DOZLARI UYGULAMASININ ÇİNKO TOKSİSİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Songül İNAL<sup>1</sup>Osman SÖNMEZ<sup>1§</sup>

### ÖZET

Çinko (Zn)' nun bio-yarayırlılığı üzerine micoriza ve demir (Fe) uygulamalarının etkisini belirlemek için bir sera denemesi kurulmuştur. Topraklar 120°C de 15 dk da iki kez sterilize edilmiştir. Topraklara 0, 750 ve 1500 mg Zn kg<sup>-1</sup> ZnSO<sub>4</sub> olarak ilave edilmiştir. Fe oranlarından da 0,3,6 mg kg<sup>-1</sup> lik oranlarda saksılara karıştırılmıştır. Saksılara besin çözeltisi olarak Hoagland solüsyonu verilmiştir. Sonuçlar gösterdi ki; toprağa ilave edilen Zn suda çözünebilir ve CaCl<sub>2</sub> ekstraksiyonundaki Zn miktarını arttırmıştır. Mikorizanın topraktaki Zn üzerine bir etkisi olmamıştır. Fakat bitki bünyesinde ki besin konsantrasyonunu arttırmıştır. Uygulanan Fe topraktaki Zn biyo-yarayırlılığı üzerine bir etkisi olmamıştır. Topraktaki Zn biyo-yarayırlılığı üzerine Fe ve mikoriza uygulamalarının etkilerinin belirlenmesi için daha fazla çalışmalara gerek duyulmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Çinko Biyoyarayırlılığı, Hoagland çözeltisi, Mikoriza, Çinko Konsantrasyonu

### THE EFFECTS OF MYCORRHIZA AND DIFFERENT IRON DOSES APPLICATIONS ON THE ZINC TOXICITY

### ABSTRACT

A greenhouse study was conducted to assess the influence of mycorrhiza and iron (Fe) on phytoavailability of zinc (Zn). Soils was sterilized twice at 120 °C for 15 minutes. Soils then amended with ZnSO<sub>4</sub> at rates of 0, 750 and 1500 mg kg<sup>-1</sup>. The rates of Fe applied were 0, 3 and 6 mg kg<sup>-1</sup>. Hoagland solution was used as plant nutrients. The results showed that increasing Zn concentration in soil increased water soluble as well as CaCl<sub>2</sub> extractable Zn. Mycorrhiza did not have any effect on soil Zn. However, it influenced plant nutrient concentrations. Applications of Fe did not have any effect on phytoavailable Zn in soil. Further studies are necessary to establish a link between mycorrhiza and Fe additions on phytoavailability of Zn in soil.

**Keywords:** Phytoavailability of zinc, Hoagland Solution, Mycorrhiza, Zinc concentrations

### GİRİŞ

Topraklardaki toplam Zn konsantrasyonu 10-300 mg kg<sup>-1</sup> olmakla beraber ortalama 50 mg kg<sup>-1</sup> civarındadır (Mortvedt, 2000). Fakat bu konsantrasyon madenlerin çıkarılması, endüstriyel artıklar, fosil yakıtları, tekstil, pestisitler ve gübre uygulamaları gibi insan faaliyetleri sonucunda çok yüksek seviyelere kadar yükseltilmektedir ki bu seviye canlılar için zehir etkisi oluşturabilmektedir (Alloway, 1990; Chaney, 1993; Ross, 1994 ).

Bitkiler çinkoyu Zn<sup>+2</sup> olarak alırlar. Bitkilerin normal bir şekilde büyümeleri için ihtiyaç duydukları çinko miktarı oldukça azdır. Bitkideki Zn miktarının 25-150 ppm arasında değiştiğini fakat bu miktarın 20 ppm'in altına düştüğü zaman bu elementin noksan olduğunu belirtmişlerdir (Yılmaz ve ark., 1997).

Ülkemiz tarım arazilerinin %49.8 de çinko noksanlığı gözükmektedir. Bu noksanlık özellikle Orta Anadolu Bölgesi topraklarında kendini göstermektedir (Çakmak ve ark., 1996a; Özbek ve ark., 1998), Çinko noksanlığının Konya topraklarında %85 'e kadar çıktığı belirtmişlerdir (Kaçar, 1998).

Topraktaki Zn konsantrasyonu çeşitli bölgelerde insan faaliyetlerinin bir sonucu olarak artmıştır. Bu kaynaklar lağım çamuru uygulanan topraklar, kompostlar, zirai kimyasallar ve maden yataklarıdır (Kiekens, 1990). Sağlıklı bitkilerde Zn konsantrasyonu 27-150 ppm iken toksik seviye 100-400 ppm arasında değişir (Steverson ve Cole, 1999).

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü 630040, Şanlıurfa

§Sorumlu yazar. os@harran.edu.tr

Bitkiler için topraktaki Zn toksisitesinin kritik seviyesi, iklim faktörleri, toprak çeşitleri ve bitki genotipinin bir fonksiyonu olarak farklıdır. Bitkilerde Zn toksisitesi kök ve yeşil aksamda büyümenin gerilemesine neden olur (Choi ve ark., 1996; Ebbs ve Kochian, 1997; Fontes ve Cox, 1998). Genç yapraklarda demir eksikliğinden dolayı yaşlı yapraklara göre daha fazla kloroz oluşumu gözlemlendiği ve kökte yeşil aksama göre, bitkinin savunma mekanizmasından dolayı daha fazla Zn biriktiği belirtilmiştir (Ebbs ve Kochian, 1997). Çinko toksisitesi bitkilerde hücre bölünmesine zarar vererek meristematik kök hücrelerinin çekirdeğinin hasarlı olmasına neden olur (Bobak, 1985). Çinko'nun yüksek konsantrasyonu, kök uzunluğu ve klorofil miktarının azalmasına neden olur (Bekiaroglov ve Karatoglis, 2002). Çinkonun yüksek konsantrasyonu bitki görünüşünü küçültür, tohum sayısını tohum ağırlığını ve ayçiçeğinde çözülebilir proteinleri azaltır (Khurano ve Chatterjee, 2001). Çinko toksisitesinin diğer bir etkisi, P eksikliğinden dolayı mor renk oluşumudur (Lee ve ark., 1996a).

#### MATERYAL ve YÖNTEM

##### Materyal

Bu çalışma 2008 yılı içerisinde Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesinde sera şartlarında yapılmıştır. Çalışmada kullanılmak

Aşırı düzeyde Zn bulunan topraklarda Demir (Fe) noksanlığının olduğu belirtilmiştir. Bakır,  $Fe^{+2}$ ,  $Mn^{+2}$  ve diğer katyonlar Zn'nin bitki tarafından alınımı engeller. Bunun sebebi, aynı taşıyıcı noktalar için bu katyonlar arasındaki rekabettir.

Mikorizal mantar bitki besin elementlerinin köklere kadar gelmesinde, özellikle verimliliği düşük topraklarda çok etkilidir. Mikoriza ile aşılana bitki köklerinde, absorbe edici yüzeyin aşılama bitki köklerine göre 10 kat kadar arttırmıştır (Güzel ve ark., 2002). Çinkonun %25'inin ve Cu %60'ının mikoriza hifleri aracılığı ile alındığı belirtilmektedir. Ayrıca mikorizal enfeksiyonunun kalsiyum (Ca), Fe, Mn, Al ve bor (B) alımındaki etkili olduğu bilinmektedir (Gübe, 2006). Fakat mikorizanın Zn toksisitesini azaltmada kullanıldığına dair literatürde bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada amaç; Uygulanan Fe ve mikorizanın, bitkideki Zn toksisitesine nasıl etki ettiğini belirlemektir.

üzere, Samsundan mera toprağı getirilmiştir. 0–20 cm derinlikten alınan ve özellikleri aşağıda verilmiş bulunan toprak denememizde kullanılmıştır.

Çizelge 1.1. Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

pH	EC (ds/m)	Org. mad.(%)	KDK (me/100g)	Tekstür % (kil-silt-kum)
6.7	1.03	3.9	25	44 40 16

##### Uygulamalar

Denemede 3 farklı Zn konsantrasyonu X 3 Fe konsantrasyonu X 2 mikoriza

uygulamalarının kombinasyonundan meydana gelmiştir. Kullanılan uygulamalar ve oluşturulan deneme kombinasyonları Aşağıda verildiği şekildedir:

Çizelge 1.2. Deneme kombinasyonları

Zn oranları (mg/kg <sup>-1</sup> )	Fe oranları (mg/kg <sup>-1</sup> )	Mikoriza
Zn <sub>0</sub>	Fe <sub>0</sub>	M+
Zn <sub>750</sub>	Fe <sub>3</sub>	M -
Zn <sub>1500</sub>	Fe <sub>6</sub>	

Denemede iki mikoriza uygulaması kullanılmıştır. Buna göre toprağımızı yarıya bölerek mikorizalı kısımda mikorizal fungus türü olarak "Glomus mossea" kullanılmıştır.

100 gr toprakta 100 spor bulunan toprağımız tohumların ekim öncesi, topraklar 120°C de 15 dakikada iki kez sterilize edilmiştir. Toprak sterilizasyonu sonucu toprakta mevcut bulunan

mikroorganizmalar özellikle de canlı mikoriza sporların büyük oranda yok edilmesi

## YÖNTEM

### Denemenin kurulması

Çalışmada mikorizalı ve mikorizasız uygulama ile üç Fe ve üç Zn dozları kullanılmıştır. Demir ve Zn ekim öncesi toprağa uygulanmıştır. Denemede kullanılacak olan bitkinin, toksisiteye dayanıklı olması ve belirtilerinin rahat gözlenebilmesi, hızlı büyümesi, biyomasının fazla olması nedeniyle *Sorghum-sudan* çimi seçilmiştir. Alınan toprak kurutularak 2 mm'lik elekten geçirildikten sonra, 1 litrelik her bir saksıya 1150 gr toprak doldurulmuştur. Çalışmada 2 (mikoriza) × 3 (Fe) × 3 (Zn) × 3 (tekerrür) olmak üzere toplam 54 saksı kullanılmıştır.

Ekim yapmadan 150 gr toprak örneği alınmıştır. Her bir saksıya 30 tohum ekilmiş ve her saksıda 20–25 bitki kalacak şekilde seyreltme yapılmıştır. Bitkiler haftada iki kez besin solüsyonu ve gerekli görüldüğünde her gün saf su ile sulanmıştır. Saksılardaki yabancı otlar elle yolmak suretiyle temizlenerek ve haşere bulunması durumunda ilaçlama yapılmıştır. Bitkiler 35-40 gün sonra hasat edilmiştir.

Hasat; her bir saksıdaki bitkinin toprakla temas ettiği noktaya kadar olan kısmı yani yeşil aksam, makasla kesilip saf su ile yıkandıktan sonra kağıt havlularla kurulanıp önceden etiketlenmiş olan kese kağıtlarına konulmuştur. Aynı şekilde her bir saksıdaki bitki kökleri toprak içinden çıkartılıp bol su ile yıkanıp kurulanıp, kese kağıtlarına yerleştirilip, yeşil ot verimi için yaş ağırlıkları alınarak kuru ağırlığını belirlemek için 65°C de etüve yerleştirilmiştir. Kuru ağırlığı alınan bitki örnekleri öğütülerek yaş yakma yapılmıştır. Toprağın, ekim öncesi ve hasat sonrası durumunu karşılaştırmak amacıyla her bir saksıdan 150 gr hasat sonrası toprak örneği alınmıştır.

## ARAŞTIRMA BULGULAR ve TARTIŞMA

### Bitki Verimi

Topraklarda artan Zn konsantrasyonu bitki verimini azaltmıştır bu daha çok Zn<sub>1500</sub> uygulanan saksılarda görülmüştür. Ayrıca bu uygulamaların verildiği saksılardaki bitki boyları, kontrol saksılarında yetişen bitkilere oranla daha kısa kalmıştır. Bunlarla birlikte bitki yapraklarında kırmızimsı-mor renkli Zn

sağlanmıştır.

### Bu Çalışmada Yapılan Ölçüm ve Analizler

Toprak analizleri çalışmada belirtildiği gibi, 0–20 cm derinlikten alınmış olan bozulmuş

toprak örneklerinde toprak reaksiyonu (pH) saturasyon çamurundan elde edilen ekstratın pH metre ile ölçülmesiyle belirlenmiştir (Thomas, 1996). Elektriksel iletkenlik (EC) saturasyon çamurundan elde edilen ekstratın EC metre ile ölçülmesiyle belirlenmiştir (Rhoades, 1996). Katyon değişim kapasitesi (KDK) amonyum ve sodyum asetat çözeltileri ile iyon değiştirme esasına dayanan yöntem kullanılmıştır (Sumner, 1996). Organik madde (%) Jackson (1962) tarafından bildirilen, modifiye Walkley Black yöntemi ile belirlenmiştir. Tekstür örnek kaplarına 50'g toprak tartılarak üzerine 10 ml %10'luk kalgon (sodyum heksametafosfat) ve 150 ml saf su konularak ve karıştırılarak ve 24 saat bekletildikten sonra 40. saniye ve 2. saat hidrometre okumaları yapıldıktan sonra hesaplama yapılarak belirlenmiştir (Bouyoucos, 1951).

Bitkiler her bir saksıdan biçilerek hasat edilen bitkiler tartılmak suretiyle yaş ot verimi belirlenmiştir. Her bir saksıdan alınan bitki örneklerinin 70 °C de ağırlıkları sabitleşinceye kadar kurutma dolabında bırakılarak kuru ot verimi bulunmuştur. Yaş yakma yapılan bitki, kök ve toprak üstü aksamda Ca, K, Mg, P, Fe, Zn içeriği gibi özellikler AAS, (Chapman ve Pratt,1982) referansları verilen metotlar izlenerek belirlenmiştir.

### İstatistiki analizler

Bu çalışma üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. İstatistik analizler Windows versiyon 9 SAS programı kullanılarak yapılmıştır (p=0.05). Ortalama değerlerin karşılaştırılmasında (LSD) farklı en küçük değerler kullanıldı.

toksisitesi belirtileri görülmüştür. Bu renkler Zn toksisitesi belirtileri olarak adlandırılır. Ayrıca, Zn<sub>0</sub> ve Zn<sub>750</sub> de yaş ve kuru ağırlıklara bir etkisi olmamıştır. Demir ilavesinin bitki verimi üzerine herhangi bir etkisi istatistiksel olarak görülmemiştir. Aynı şekilde mikoriza uygulamaları da bitki verimi üzerine önemli sayılabilecek bir etki göstermemiştir.

Kaya ve Higgs (2001), üç farklı domates çeşidi kullanarak yapılan bir su

kültürü çalışmasında yüksek Zn uygulaması yapıldıktan bir hafta sonra Fe ve P ilave edilerek yaprak ve köklerin nasıl etkilendiğine bakmışlardır. Yüksek Zn uygulamasının klorofil içeriği ve kuru ağırlığı, üç çeşidin kontrol uygulamasıyla karşılaştırıldığında önemli bir şekilde azalmaya neden olduğu belirtilmiştir. Sönmez ve Pierzynski (2005), yapmış oldukları çalışmada toprakta artan Zn konsantrasyonunun mor renk oluşumunu artırdığını ve bitki büyümesinde kontrol bitkilerine kıyasla azalttığını rapor etmişlerdir. Ayrıca, topraktaki Zn konsantrasyonunun artması ile bitki kök ve gövdesindeki Zn konsantrasyonu artarak bitki verimini olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir.

### Bitki Gövdesindeki Çinko

Bitki gövdesindeki Zn konsantrasyonu verileri için istatistiksel analiz yapılmıştır. Sonuç olarak mikoriza-demir-çinko arasında 3'lü interaksiyon istatistiksel olarak özellikli bulunmuştur ( $p=0.05$ ). Gövdedeki Zn konsantrasyonu  $73-1948 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında bulunmuştur (Çizelge 2.1). En düşük gövde Zn konsantrasyonu, Fe ve Zn uygulanmayan mikorizalı kontrol uygulamasında elde edilirken, en yüksek konsantrasyon mikorizalı ve yüksek Fe ve Zn uygulamalarında ( $\text{Fe}_6$  ve  $\text{Zn}_{1500}$ ) ortaya çıkmıştır. Saksılara artan miktarlarda uygulanan Zn, bitki gövdesindeki Zn konsantrasyonunu istatistiksel olarak artırmıştır.  $\text{Fe}_0$  veya  $\text{Fe}_3$  uygulamaları, mikorizalı saksılarda yetişen bitkilerin gövde Zn konsantrasyonunu mikorizasız saksılarda yetişen bitkilerle karşılaştırıldığında daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Fakat bu durum yüksek dozda Fe ( $\text{Fe}_6$ ) ilavesinde gözlenmemiştir (Çizelge 2.1).

Kaya ve Higgs (2002), yapmış oldukları sera çalışmasında besin çözeltisindeki Zn konsantrasyonunun artmasıyla yaprak ve köklerdeki Zn konsantrasyonunun arttığını rapor etmişlerdir. Sönmez ve Pierzynski (2005) tarafından da rapor edilmiştir. Bu araştırmacılar yüksek konsantrasyonda Zn içeren toprakları kullanarak sera çalışmaları yapmışlar ve sonuç olarak topraktaki artan Zn konsantrasyonunun bitki kök ve gövdesindeki Zn konsantrasyonun artırdığı bulmuşlardır. Benzer sonuçlar Sönmez ve ark.(2009) tarafından da rapor edilmiştir. Gianquinto ve ark. (2000), yapmış oldukları çalışma da üç farklı Zn (0, 10, 40  $\text{mg kg}^{-1}$ ) iki farklı P konsantrasyonu (0, 200  $\text{mg kg}^{-1}$ ) kullanmışlardır. Çinko konsantrasyonu arttıkça köklerdeki Zn miktarının arttığını fakat yapraklardaki Zn konsantrasyonunun kök'e göre daha az olduğunu rapor etmişlerdir. Ortaş

ve ark. (2001) yapmış oldukları çalışma sonucunda Zn ve P içeriği düşük olan topraklarda mikoriza uygulaması yapmışlar ve sonuç olarak mikoriza uygulamasının turuncu bitkisin de Zn ve P içeriklerinin arttırdığını rapor etmişlerdir.

### Bitki Gövdesindeki Demir

Bitki gövdesindeki Fe konsantrasyonu mikoriza-demir-çinko arasında 3'lü interaksiyon ortaya çıkmıştır ( $p=0.05$ ). Gövdedeki Zn konsantrasyonu  $93-344 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında bulunmuştur (Çizelge 2.2). En düşük gövde Fe konsantrasyonu  $\text{Zn}_0$  ve  $\text{Fe}_3 \text{ mg kg}^{-1}$  uygulamasında iken en yüksek konsantrasyon,  $\text{Fe}_3$  ve  $\text{Zn}_{1500}$  mikorizasız uygulamada ortaya çıkmıştır. Fe'in artan uygulamalarında ve  $\text{Zn}_0$  da istatistiksel olarak bir farklılık gözlenmemiştir. Fe'in artması mikorizalı uygulamalarda Zn alımını arttırmıştır.

Kaya ve Higgs (2002), üç çeşit domates üzerinde Zn uygulamasının P ve Fe eksikliğine nasıl bir etkisi olduğunu araştırmışlardır. Besin çözeltisindeki Zn konsantrasyonunun artması ile üç çeşitte de yapraklardaki Fe azalırken kökte Zn konsantrasyonunun artması ile Fe miktarı artmıştır. Sönmez (2004) yılında yapmış olduğu doktora tez çalışmasında 10, 20, 50, 100 ve 150  $\text{g Zn kg}^{-1}$

içeren Chat materyali, ve aynı oranlarda Zn içeren Dearing materyali ve yıkanmış kuma çeşitli oranlarda (10, 25, 50 ve 100  $\text{mg Zn kg}^{-1}$ ) ekledikleri Zn konsantrasyonları sonucu elde ettikleri karışımda sorgum bitkisiyetiştirmişlerdir. Karışımlarda artan Zn konsantrasyonlarının bitki gövdesindeki Fe konsantrasyonunu Chat materyalinde 50  $\text{g Zn kg}^{-1}$  e kadar artırdığını ve bu noktadan sonra düşürdüğünü bulmuşlardır. Kum karışımında ise artan Zn konsantrasyonunun gövde Zn konsantrasyonunu artırdığını gözlemlemişlerdir.

### Bitki Gövdesindeki Kalsiyum

Bitki gövdesindeki Ca konsantrasyonu için yapılan istatistiksel analiz sonucunda mikoriza-Fe-Zn arasında 3'lü interaksiyon çıkmıştır ( $p=0.05$ ). Gövdedeki Ca konsantrasyonu  $10,118-13,166 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında bulunmuştur (Çizelge 2.3). En düşük gövde Ca konsantrasyonu  $\text{Zn}_{1500}\text{-Fe}_3$ -mikoriza uygulamasında iken en yüksek konsantrasyon,  $\text{Zn}_0\text{-Fe}_3$ - mikorizasız uygulamada ortaya çıkmıştır. Fe'in artması mikorizalı

uygulamalarda Ca alımını azalttığı gözlenmiştir. Fe'in artan Zn<sub>1500</sub> mikorizalı ve mikorizasız uygulamalarda istatistiksel olarak bir farka rastlanmamıştır.

Sönmez ve Pierzynski (2005), yapmış oldukları deneme sonucunda Chat ve Dearing materyalinde Zn konsantrasyonlarının artması bitki gövdesindeki Ca miktarını artırdığını, kum da ise azalttığını rapor etmişlerdir.

#### **Bitki Gövdesindeki Fosfor ve Magnezyum**

Bitki gövdesindeki P ve Mg konsantrasyonu verileri analiz edilmiştir. Sonuç olarak mikoriza-demir arasında 2'li interaksiyonlar çıkmıştır (p=0.05). Gövdedeki P konsantrasyonu 1882-2504 mg kg<sup>-1</sup> arasında bulunmuştur (Çizelge 2.4). En düşük gövde P konsantrasyonu mikorizasız Fe<sub>3</sub> uygulamasında iken en yüksek konsantrasyon, mikorizalı Fe<sub>6</sub> uygulamada ortaya çıkmıştır. Mikorizalı topraklarda Fe'nin artan uygulamaları arasında istatistiksel olarak hiç bir farka rastlanmamıştır (Çiz. 4.4). Mikorizalı uygulamalarda mikorizasız uygulamalara göre bitki gövdesinde daha fazla P ortaya çıkmıştır.

Kaya ve Higgs (2001), yaptıkları su kültürü çalışmasında Fe ve P ilave edilmesi, yüksek seviyede Zn ilavesinde yetişen bitkilerin kök ve yapraklarında Zn konsantrasyonunu azaltmıştır. Fakat Zn konsantrasyonunun toksik seviyesi hala değişmemiş yapraklarda Fe ve P konsantrasyonu yüksek Zn muamelesinde farklı bir seviyede azalmıştır. Fakat köklerde önemli bir şekilde artmıştır. Fosfor ve

Fe ilave edilmesi yüksek Zn da yetişen bitkilerin yapraklarında Fe ve P eksikliğini, köklerde Fe ve P konsantrasyonunu azaltarak düzeltmişlerdir. Mut ve Gülümser (2005), bakteri aşılması ile Zn ve Mo uygulamasının damla-89 nohut çeşidi üzerindeki besin

elementlerince etkilerini araştırmışlar. Bitkiye Zn uygulamak, tanedeki P miktarını önemli ölçüde etkilemiştir. Molibden ve aşılamanın etkisi olarak hiç Zn verilmeden tane P seviyesi %0.385 iken Zn'nin artan uygulamaların da bu oran %0.382 seviyesine düşmüştür. Aşılama ile Zn'nun birlikte uygulanması tane P oranını olumsuz etkilerken aşısız ortamda Zn uygulaması en iyi (%0.405) sonucu vermiştir. Çinko'nun artan uygulamasında aşılama yapmakla tanedeki Mg miktarı aşısız göre değişiklik olmadığını saptamışlardır.

Sönmez ve Pierzynski (2005), üç farklı materyal kullanarak yapmış oldukları çalışma da Chat materyali, ve aynı oranlarda Zn içeren Dearing materyali ve yıkanmış kuma çeşitli oranlar da ekledikleri Zn konsantrasyonlarında elde ettikleri sonuçta Zn konsantrasyonlarının artması ile bitki gövdesindeki P miktarını kullanılan üç materyalde de azalttığını rapor etmişlerdir. Sönmez ve Pierzynski (2009), sera çalışmasında sorgum bitkisi kullanarak yapılan çalışmada üç farklı P ve altı farklı Zn uygulaması kullanmışlardır. Topraktaki Zn konsantrasyonunun artması ile bitki kök ve gövdesindeki P konsantrasyonunun azaldığını rapor etmişlerdir.

Gövdedeki Mg konsantrasyonu 6,238-6,996 mg kg<sup>-1</sup> arasında bulunmuştur (Çizelge 2.4). En düşük gövde Mg konsantrasyonu mikorizalı Fe<sub>3</sub> uygulamasında iken en yüksek konsantrasyon, mikorizasız Fe<sub>3</sub> uygulamasında ortaya çıkmıştır. Mikorizalı topraklarda Fe'nin artan uygulamaları arasında istatistiksel olarak bir artış oluş fakat Fe<sub>3</sub> ve Fe<sub>6</sub> arasında istatistiksel bir fark gözlenmemiştir (Çizelge 2.4). Mikorizasız uygulamalarda mikorizalı uygulamalara göre bitki gövdesinde daha fazla Mg ortaya çıkmıştır.

**Çizelge 2.1.** Zn ve Fe içeren mikorizalı ve mikorizasız toprakta yetişen sudan otunun gövdesindeki Zn konsantrasyonu ( $\text{mg kg}^{-1}$ )

Uygulamalar			
Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	M+	M-
0	0	73 i	85 i
	750	969 g	821 h
	1500	1583 c	1395 d
3	0	98 i	96 i
	750	1239 ef	935 g
	1500	1887 a	1704 b
6	0	94 i	113 i
	750	1154 f	1303 de
	1500	1948 a	1547 c

**Çizelge 2.2.** Zn ve Fe içeren mikorizalı ve mikorizasız toprakta yetişen sudan otunun gövdesindeki Fe konsantrasyonu ( $\text{mg kg}^{-1}$ )

Uygulamalar			
Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	M+	M-
0	0	107.6 e	341.7 a
	750	160.3 de	247.1 bc
	1500	149.1 de	203.7 cd
3	0	93.1 e	140.4 de
	750	356.5 a	154.2 de
	1500	208.1 cd	344.9 a
6	0	127.1 e	128.2 e
	750	332.3 a	251 bc
	1500	316.2 ab	330.1 a

**Çizelge 2.3.** Zn ve Fe içeren mikorizalı ve mikorizasız toprakta yetişen sudan otunun gövdesindeki Ca konsantrasyonu ( $\text{mg kg}^{-1}$ )

Uygulamalar			
Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	M+	M-
0	0	12677 ab	12152 bc
	750	12488 ab	11308 cdef
	1500	10571 fg	10538 fg
3	0	11388 cdef	13166 a
	750	12102 bcd	11183 ef
	1500	10118 g	10868 fg
6	0	12632 ab	10646 fg
	750	11860 bcde	10631 fg
	1500	11223 def	11038 ef

**Çizelge 2.4.** Fe içeren mikorizalı ve mikorizasız toprakta yetişen sudan otunun gövdesindeki P ve Mg konsantrasyonu ( $\text{mg kg}^{-1}$ )

Uygulamalar			
M	Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Bitki Gövdesindeki Fosfor	Bitki Gövdesindeki Magnezyum
M	0	2293.4 b	6267.4 bc
	3	2430.3 a	6238.1 c
	6	2504.5 a	6509.4 bc
-M	0	2067.5 c	6682.1 ab
	3	1882.3 d	6996.2 a
	6	1996.5 cd	6310.7 bc

#### 4.6. Suda Çözünabilir Çinko

Toprakta suda çözünabilir Zn belirlenmiş ve veriler için istatistiksel analiz yapılmıştır. Sonuç olarak mikoriza-Zn ve Fe-Zn arasında 2'li interaksyonlar çıkmıştır ( $p=0.05$ ). İkili interaksyon sonucu Fe-Zn'de  $0.1-13 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında çıkarken Zn-mikoriza'da  $0.2-11 \text{ mg kg}^{-1}$  olarak bulunmuştur (Çizelge 2.5a ve 2.5b). Demirin artan uygulamalarında ve  $Zn_0$  da istatistiksel olarak bir farklılık gözlenmemiştir. Fakat genel olarak diğer uygulamalara bakıldığında Fe nin artması Zn alımını arttırmıştır. Toprakta çözünabilir Zn konsantrasyonu bakımından mikorizalı ve mikorizasız uygulamalar arasında istatistiksel olarak farklılık gözlenmemiştir. Sadece  $Zn_{1500}$  uygulamasında mikorizasız topraklarda Zn konsantrasyonu fazla çıkmıştır. Suda çözünabilir Zn miktarı mikorizasız uygulamalarda daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Sönmez ve Pierzynski (2005), yılında üç farklı materyal kullanarak yapmış oldukları çalışmada Chat materyali, ve aynı oranlarda Zn içeren Dearing materyali ve yıkanmış kuma çeşitli oranlarda ekledikleri Zn konsantrasyonlarında elde ettikleri sonuçta artan Zn konsantrasyonlarının suda çözünabilir Zn konsantrasyonunu Chat materyalinde artırdığını, kum ve Dearing materyalinde azalttığını rapor etmişlerdir. Chat materyalinde suda çözünabilir Zn miktarının artmasının sebebini ise Chat materyali ilavesi sonucunda toprak pH artması olarak belirtmişlerdir.

#### CaCl<sub>2</sub> Ekstrakte Edilebilir Çinko

0.01 M CaCl<sub>2</sub> ekstrakte edilebilir Zn konsantrasyonu için yapılan istatistiksel analiz sunucunda mikoriza-Fe-Zn arasında 3'lü interaksyon çıkmıştır ( $p=0.05$ ). Sonuçlar  $0.1-86.7 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında bulunmuştur (Çizelge. 2.6). En yüksek CaCl<sub>2</sub> konsantrasyonu  $Zn_{1500}$ -Fe<sub>6</sub>-mikorizasız uygulamasında iken en düşük

konsantrasyon, Zn ilave edilmeyen kontrol saksılarında ( $Zn_0$ ) ortaya çıkmıştır. Demir dozlarının tamamının  $Zn_0$ -mikorizalı ve mikorizasız uygulamalarında istatistiksel olarak bir farka rastlanmamıştır. Genel olarak mikorizanın 0.01 M CaCl<sub>2</sub> ekstrakte edilebilir Zn konsantrasyonu üzerine net bir etkisini gösteren bir trend ortaya çıkmamıştır. 0.01 M CaCl<sub>2</sub> ekstrakte edilebilir Zn konsantrasyonu ile bitki gövdesindeki Zn konsantrasyonu arasında kuvvetli ( $R^2=0.98$ ) bir ilişki bulunmuştur (Şekil 1).

Sönmez ve Pierzynski (2005), 0.01 M CaCl<sub>2</sub> ekstrakte edilebilir Zn konsantrasyonunun toprakta artan Zn konsantrasyonu ile doğrusal bir ilişkisinin olduğunu rapor etmişlerdir. Toprakta artan Zn konsantrasyonu 0.01 M CaCl<sub>2</sub> ekstrakte edilebilir Zn konsantrasyonunu artırmıştır. Benzer sonuçlar Sönmez ve ark. (2009) tarafından da rapor edilmiştir.

#### SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Topraklar da artan Zn konsantrasyonu bitki verimini azaltmıştır bu daha çok  $Zn_{1500}$  uygulanan saksılarda görülmüştür. Ayrıca bu uygulamaların verildiği saksılardaki bitki boyları, kontrol saksılarında yetişen bitkilerle oranla daha kısa kalmıştır. Dahası kırmızımsı-mor renkler bu bitkilerin yapraklarında görülmüştür. Bu renkler Zn toksisitesi belirtileri olarak adlandırılır. Ayrıca,  $Zn_0$  ve  $Zn_{750} \text{ mg kg}^{-1}$  de yaş ve kuru ağılıklara bir etkisi olmamıştır. Demir ilavesinin bitki verimi üzerine herhangi bir etkisi görülmemiştir. Aynı şekilde mikoriza uygulamaları da bitki verimi üzerine önemli sayılabilecek bir etki göstermemiştir.

Genel olarak toprağa ilave edilen artan Fe ile mikorizalı uygulamalarda Zn alımı artmıştır. Gövdedeki Ca konsantrasyonu  $10.1-13.2 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında bulunmuştur. Demirin

artması mikorizalı uygulamalarda Ca alımını azalttığı gözlenmiştir. Mikorizalı topraklarda Fe'nin artan uygulamaları arasında hiç bir farka rastlanmamıştır. Mikorizalı uygulamalarda mikorizasız uygulamalara göre bitki gövdesinde daha fazla P ortaya çıkmıştır.

Gövdedeki Mg konsantrasyonu 6238-6996 mg kg<sup>-1</sup> arasında bulunmuştur. Mikorizasız uygulamalarda mikorizalı uygulamalara göre bitki gövdesinde daha fazla Mg birikmiştir. Toprakta çözünebilir Zn konsantrasyonu bakımından mikorizalı ve mikorizasız uygulamalar arasında farklılık gözlenmemiştir. Sadece Zn<sub>1500</sub> uygulamasında mikorizasız topraklarda Zn konsantrasyonu fazla çıkmıştır. Suda çözünebilir Zn miktarı

mikorizasız uygulamalarda daha fazla olduğu gözlenmiştir. En yüksek CaCl<sub>2</sub> ekstrakte edilebilir Zn konsantrasyonu Zn<sub>1500</sub>-Fe<sub>6</sub>-mikorizasız uygulamasında iken en düşük konsantrasyon, kontrol saksılarında (Zn<sub>0</sub>-Fe<sub>0</sub>) ve Zn<sub>0</sub>-Fe<sub>6</sub> mikorizasız, Zn<sub>0</sub>-Fe<sub>3</sub> mikorizalı uygulamalarda ortaya çıkmıştır. Sonuçlar 0.1-86.7 mg kg<sup>-1</sup> arasında bulunmuştur. Demir dozlarının tamamının Zn<sub>0</sub>-mikorizalı ve mikorizasız uygulamalarında bir fark gözlenmemiştir. Mikoriza ve Fe uygulamalarının Zn toksisitesi üzerine olan etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için bu konuda daha fazla araştırmaların yapılması gerekmektedir

**Çizelge 2.5a.** Toprakta suda çözünebilir Zn konsantrasyonu

Uygulamalar		
Fe	Zn	Suda çözünebilir Zn
0	0	0.2 f
	750	2.3 e
	1500	8.7 c
3	0	0.3 f
	750	2.6 de
	1500	11 b
6	0	0.1 f
	750	3.1 d
	1500	13.1 a

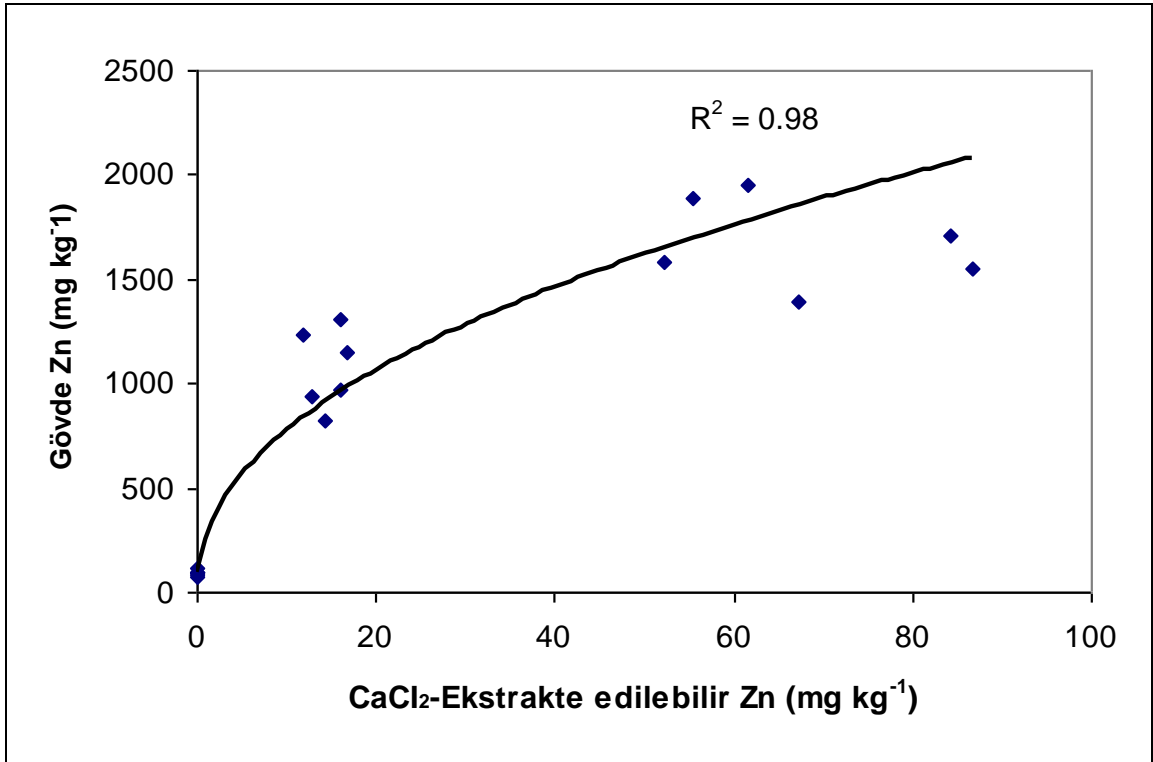
**Çizelge 2.5b.** Toprakta suda çözünebilir Zn konsantrasyonu

Uygulamalar		
M	Zn	Suda çözünebilir Zn
M	0	0.2 d
	750	2.6 c
	1500	10.1 b
-M	0	0.3 d
	750	2.7 c
	1500	11.7 a



Çizelge 2.6. CaCl<sub>2</sub>- ekstrakte edilebilir Zn

Uygulamalar			
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	M+	M-
0	0	0.1 l	0.1 l
	750	14.3 hi	15.9 gh
	1500	52.3 f	67.3 c
3	0	0.1 l	0.12 l
	750	11.7 k	12.9 ik
	1500	55.5 e	84.3 b
6	0	0.11 l	0.1 l
	750	16.7 g	16.1 g
	1500	61.6 f	86.7 a

Şekil 4.1. CaCl<sub>2</sub> Ekstrakte edilebilir Zn yöntemi ile bitki gövdesinden elde edilen Zn konsantrasyonu arasındaki ilişki

**Teşekkür**

Bu çalışma Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı (HÜBAK) tarafından desteklenmiştir.

**KAYNAKLAR**

- Alloway, B.J., 1990. Heavy Metals in Soils. *John Wiley & Sons*, 1 Wiley Drive, Somerset, New Jersey.
- Bekiaroglou, P., Ve Karataglis, S., 2002. The effect of lead and zinc on *Mentha spicata*. *J. Agron. Crop Sci.* 188: 201–205.
- Bobak, M., 1985. Ultrastructure changes of the nucleus and its components in meristematic root cells of the horse-bean after zinc intoxication. *Physiol. Plant.* 15: 31–36.
- Bouyoucos, G. J., 1951. A Recalibration of the Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of the Soil. *Agronomy Journal*, 9: 434-438.
- Chaney, Rl., 1993. Zinc phytotoxicity. In Robson AD, ed, *Zinc in Soils and Plants*. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, pp 135–150.
- Chapman, HD. ve Pratt, PF., (1982) 'Methods of analysis for soils, plants and water.' (Chapman Publisher: Riverside, CA). *Methods of Soil Analysis Part 1: Physical and Mineralogical Methods* 2nd Edition. *Agronomy Series No: 9. Am. Soc. of Agronomy and Soil Sci. Soc. of Am. Inc. Publisher, Madison, Wisconsin USA.* p.363-381.
- Choi, J.M., Pak, C.H. ve Lee, C.W., 1996. Micronutrient toxicity in French Marigold. *J. Plant Nutr.* 19:901-916.
- Çakmak, İ., Yılmaz, A., Kalaycı, M., Ekiz, H., Torun, B., Erenoğlu, B. Ve Braun, H.J., 1996. Zinc deficiency as a Critical Problem in Wheat Production in Central Anatolia. *Plant and Soil.* 180: 165–172.
- Ebbs, S.D. ve Kochian, L.V., 1997. Toxicity of zinc and copper to *Brassic species*: Implications for phytoremediation. *J. Environ. Qual.* 26:776-781.
- Fontes, R.L.S. ve Cox, F.R., 1998. Zinc toxicity in soybean grown at high iron concentration in nutrient solution. *J. Plant Nutr.* 21:1723-1730.
- Gianquinto, G., Abu-Rayyan, A., Tola, LD., Piccotino, D., ve Pezzarossa, B., 2000. Interaction effect of phosphorus and zinc on photosynthesis, growth and yield of dwarf bean grown in two environments. *Plant and soil.* 220:219-228.
- Gübe, Ö., 2006. Mikoriza. *Ekoloji magazin dergisi.* No:11.
- Güzel, N., Gülüt, K.Y., Büyük, G., 2002. Toprak Verimliliği ve Gübreler. *Ç.Ü. Ziraat Fak. Genel Yayın No:246 Ders Kitapları.* Yayın No: A–80.
- Adanan, M.L., 1962. Soil Chemical Analysis. *Printice-Hall Inc.* 183.21:2281-2290.
- Kacar, B., 1998. Toprakta Çinkonun Bulunuşu, Yarıyışlılığı Ve Tepkimeleri. *1.Ulusal Çinko Kongresi*, 12–16 Mayıs 1997, Eskişehir. s. 47–60. Adana.
- Kaya, C. ve Higgs, D., 2001. Growth enhancement by supplementary phosphorus and iron in tomato cultivars grown hydroponically at high zinc. *J. Plant Nutr.* 24(12):1861-1870.
- Kaya, C. ve Higgs, D., 2002. Improvements in the physiological and nutritional developments of tomato cultivars grown at high zinc by foliar application of phosphorus and iron. *Journal of Plant Nutrition* 25(9), 1881-1894.
- Khuruma, N. ve Chatterjee, C., 2001. Influence of variable zinc on yield, oil content, and physiology of sunflower. *Commun. Soil Sci. Palnt Anal.* 32: 3023–3030.
- Kiekens, L., 1990. Zinc in *Heavy Metals in Soils*. Ed. B J Alloway, 2nd ed. Blackie Academic and Professional, Glasgow. pp. 284–305.
- Lee, C.W., Choi, J.M. ve Pak, C.H., 1996. Micronutrient toxicity in seed geranium (*Pelargonium* × hortorum Barley). *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 121:77-82.

- Mortvedt, J.J., 2000. *Bioavailability of micronutrients*. In Handbook of Soils Science. Ed. In chief M E Sumner. Pp. D71-d86.crc Press LLC, Boca Raton, FL.
- Mut, Z., Gülümser, A., 2005. Bakteri aşılması ile birlikte Zn ve Mo uygulama sının damla-89 nohut çeşidinin bazı kalite özelliklerine etkileri. *OMÜ Zir. Fak. Dergisi*, 20(2):1-10 J. of Fac. of Agric., OMU, 2005,20(2):1-10
- Ortaş, İ., Kaya, Z., ve Çakmak, İ., 2001. Influence of Arbuscular Mycorrhizae İnoculation on Growth of Maize and Green Pepper Plants in Phosphorus and Zinc Deficient Soil. *Plant Nutrition Food Security and Sustainability of Agro ecosystems*, 632-633
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M., Kaptan, H., 2001. *Ç.Ü. Ziraat Fak. Genel Yayın No:73 Ders Kitapları*. Yayın No: A-16 Toprak Bilimi. Adana.
- Rhoades, J.D., 1996. Salinity: Electrical Conductivity and Total Dissolved Solids. In. D.L. Sparks et. al., (Ed.), *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods*. SSSA Book Series No: 5. Am. Soc. of Agronomy and Soil Sci. Soc. of Am. Inc. Publisher, Madison, Wisconsin USA. p.417-436.
- Ross, S.M., 1994. Sources and forms of potentially toxic metals in soil-plant systems. In S. M. Ross (ed.) *Toxic metals in plant systems*. J. Wiley & Sons, New York.
- Sönmez, O., 2004. Doktora tez çalışması. *Kansas State University, Manhattan, Kansas 66506-5501,USA*.
- Sönmez, O. ve Pierzynski, G.M., 2005. Assessment of zinc phytoavailability by diffusive gradients in thin films. *Environmental toxicology and chemistry*. 24 (4):934-941.
- Sönmez, O., Aydemir, S., ve Kaya, C., 2009. The effects of soil pH on phytoavailability of zinc in soil system by Diffusive Gradients in Thin Films (DGT). *Com. Soil Sci and Plant Anal*. 40:3435-3451.
- Stevenson, F.J. ve Cole, M.A., 1999. *Cycles of soil. 2nd edition*. John Wiley & Sons, New York,
- USA.
- Sumner, M.E. ve Miller, W.P., 1996. Cation Exchange Capacity and Exchange Coefficients. In. D.L. Sparks et. al., (Ed.), *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods*. SSSA Book Series No: 5. Am. Soc. of Agronomy and Soil Sci. Soc. Of Am. Inc. Publisher, Madison, Wisconsin USA. p.1201-1230.dd
- Thomas, G.W., 1996. Soil pH and Soil Acidity. In. D.L. Sparks et. al., (Ed.), *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods*. SSSA Book Series No: 5. Am. Soc. of Agronomy and Soil Sci. Soc. of Am. Inc. Publisher, Madison, Wisconsin USA. pp.475-490.
- Yılmaz, A., Ekiz, H., Torun, B., Gültekin, İ., Karanlık, S., Bağcı, S. ve Çakmak, İ., 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc-deficient-calcareous soils. *J Plant Nutrition* 180: 165–172.