

**T.C.  
HARRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

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

**Songül İNAL**

**TOPRAK ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA  
2009**

Yrd. Doç. Dr. Osman SÖNMEZ danışmanlığında Songül İNAL'ın hazırladığı “Mikoriza ve Farklı Demir Dozları Uygulamasının Çinko Toksisitesi Üzerine Etkileri” konulu bu çalışma 27.04.2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Toprak Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Osman SÖNMEZ

Üye : Doç.Dr. Cengiz KAYA

Üye : Prof. Dr. Tahir POLAT

**Bu Tezin Toprak Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.**

**Prof. Dr. İbrahim BOLAT**  
**Enstitü Müdürü**

**Bu Çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.**  
**Proje No:855**

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

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
2.1. Bitkiler İçin Çinko'nun Önemi .....	3
2.2. Toprakta Çinko Kaynakları.....	5
2.3. Çinko Döngüsü.....	6
2.3.1. Çinko'nun içsel döngüsü .....	7
2.3.2. Çinko'nun toprakta kaybı.....	8
2.4. Toprakta Çinko'nun Biyo-yarayırlılığına Etki Eden Faktörler.....	9
2.4.1. pH .....	9
2.4.2. Redoks potansiyeli.....	10
2.4.3. Oksitler, organik madde ve kil.....	10
2.4.4. Diğer besin elementleri ile çinko'nun etkileşimi.....	11
2.5. Çinko Biyo-yarayırlılığını Belirleme Yöntemleri.....	11
2.6. Çinko ile Kirlenmiş Toprakların Islahı.....	14
2.7. Mikorizanın Tanımı.....	16
2.7.1. Mikoriza türleri.....	18
2.7.2. Mikorizanın işlevleri.....	18
2.7.3. Mikorizanın bitki beslenmesindeki önemi.....	19
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	23
3.1. Materyal.....	23
3.1.1. Deneme toprağının özellikleri.....	23
3.1.2. Denemede kullanılan uygulamalar.....	23
3.2. Yöntem.....	24
3.2.1. Denemenin kurulması.....	24
3.3. Bu Çalışmada Yapılan Ölçüm ve Analizler.....	25
3.3.1. Toprak analizleri.....	25
3.3.1.1. Toprak reaksiyonu.....	25
3.3.1.2. Elektriksel iletkenlik.....	25
3.3.1.3. Katyon değişim kapasitesi .....	25
3.3.1.4. Organik madde .....	25
3.3.1.5. Tekstür.....	25
3.3.2. Bitki Analizleri.....	26
3.3.2.1. Yeşil ot verimi.....	26
3.3.2.2. Kuru ot verimi .....	26
3.3.2.3. İstatistiksel analiz.....	26
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	27
4.1. Bitki Verimi.....	27
4.2. Bitki Gövdesindeki Çinko .....	28
4.3. Bitki Gövdesindeki Demir .....	29
4.4. Bitki Gövdesindeki Kalsiyum.....	31
4.5. Bitki Gövdesindeki Fosfor ve Magnezyum.....	31
4.6. Suda Çözünebilir Çinko .....	34
4.7. CaCl <sub>2</sub> Ekstrakte Edilebilir Çinko.....	36
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	40
KAYNAKLAR.....	42
ÖZGEÇMİŞ.....	49
ÖZET.....	50
SUMMARY.....	51



## ÖZ

Yüksek Lisans Tezi

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

Songül İNAL

Harran Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Toprak Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Osman SÖNMEZ  
Year: 2009, Page: 51

Çinko (Zn) 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 ZnSO<sub>4</sub> çözeltisinden 0, 750 ve 1500 mg kg<sup>-1</sup> ilave edilmiştir. Fe oranlarından da 0,3,6 mg kg<sup>-1</sup> lık 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 KELİMELER:** Çinko Biyoyarayırlılığı, Hoagland çözeltisi, Mikoriza, Çinko Konsantrasyonu

## **ABSTRACT**

**MSc Thesis**

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

**Songül İNAL**

**Harran University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Soil Science**

**Supervisor: Assist. Prof. Dr. Osman SÖNMEZ**

**Year: 2009, Page: 51**

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.

**KEY WORDS:** Phytoavailability of zinc, Hoagland Solution, Mycorrhiza, Zinc concentrations

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konumun seçimi, yürütülmesi ve sonuçlandırılmasında değerli düşünce ve katkılarıyla beni yönlendiren, araştırmanın her aşamasında yardımını esirgemeyen, bilimsel ve sosyal alanda iyi bir bilim insanı olmam için bana desteği ile rehber olan hocam Yrd. Doç. Dr. Osman SÖNMEZ'e anlayışı ve sabrı için teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuar çalışmaları esnasında hep yanımda olup sabır ve emeğini esirgemeyen değerli arkadaşlarım, Ebru Pınar SAYGAN, Halime AKIL ve Mehmet DEME'ye lisans öğrencilerinden sera ve laboratuar da bana yardımcı olan Veysel TURAN, Zübeyde EKİNCİ ve Zafer TALAYHA'ya teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasında kullanılan mikorizanın sağlanmasında büyük katkıları olan Doç. Dr. Refik UYANÖZ 'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma esnasında beni teşvik edip sabırlarını bir an olsun esirgemeyen aileme şükranlarımı sunarım.

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 2.1. Aşılannış Endomikorizanın ve uygulanan gübre P mısır yeşil aksamındaki farklı elementlerin içeriği( $\mu\text{g}$ ) üzerine etkisi .....	21
Çizelge 3.1. Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	22
Çizelge 3.2. Deneme kombinasyonları .....	22
Çizelge 4.2. Zn ve Fe içeren mikorizalı ve mikorizasız toprakta yetişen sudan otunun gövdesindeki Zn konsantrasyonu ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).....	30
Çizelge 4.3. Zn ve Fe içeren mikorizalı ve mikorizasız toprakta yetişen sudan otunun gövdesindeki Fe konsantrasyonu ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).....	30
Çizelge 4.4. Zn ve Fe içeren mikorizalı ve mikorizasız toprakta yetişen sudan otunun gövdesindeki Ca konsantrasyonu ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).....	33
Çizelge 4.5. Fe içeren mikorizalı ve mikorizasız toprakta yetişen sudan otunun gövdesindeki P ve Mg konsantrasyonu ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).....	33
Çizelge 4.6a. Toprakta suda çözünen çinko konsantrasyonu .....	35
Çizelge 4.6b. Toprakta suda çözünen çinko konsantrasyonu .....	35
Çizelge 4.7. $\text{CaCl}_2$ Ekstarakte edilebilir çinko .....	37
Çizelge 4.8. Toprak ve bitki gövdesi besin elementi konsantrasyonu .....	39



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
Şekil 2.1. Topraktaki çinko dolaşımının şematik diyagramı.....	7
Şekil 4.7. CaCl <sub>2</sub> Ekstrakte edilebilir Zn yöntemi ile bitki gövdesinden elde edilen Zn konsantrasyonu arasındaki ilişki.....	38

## SİMGELER DİZİNİ

Zn	Çinko
Fe	Demir
P	Fosfor
C	Karbon
N	Azot
Mg	Magnezyum
K	Potasyum
Na	Sodyum
Ca	Kalsiyum
S	Selenyum
Cu	Bakır
Mn	Mangan
Al	Alüminyum
Pb	Kurşun
%	Yüzde
ppm	Milyonda bir kısım
pH	Asitlik – Alkalilik Faktörü
µg	Mikro gram

## KISALTMALAR DİZİNİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
KDK	Katyon Değişim Kapasitesi
DTPA	Dietilentriaminpentaasetik asit

## 1. GİRİŞ

Çinko (Zn), çelik, alüminyum (Al) ve bakırdan (Cu) sonra dünyada en fazla kullanılan elementlerden biridir. Çinkonun atom numarası 30 ve atom ağırlığı 65.37 g mol<sup>-1</sup> dir. Mavimsi açık gri renkli kırılğan bir metaldir. Periyodik tabloda geçiş elementleri grubunda olup, özgül ağırlığı 7.13 tür. Erime sıcaklığı 419.6 °C ve kaynama noktası 907 °C dir.

Çinko kimyasal olarak aktif olup diğer metaller ile kolaylıkla birleşebilen istenilen mekaniksel özellikteki bileşikleri kolaylıkla oluştururlar. Örneğin; Cu, Zn'nun sertliğini arttırır. Magnezyum (Mg) belirli saflığın sebep olduğu alt yüzey korozyonunu düşürür. Kurşun (Pb) çıkarılması sırasında genellikle Pb yanında Zn da yer alır. Amerika Birleşik Devletlerinde (ABD) en büyük Zn rezervleri güneydoğu Missouri, doğu ve orta Tennessee' dir. Günümüzün en büyük Zn cevher üreticileri Avustralya, Kanada, Çin, Peru ve ABD dir.

Çinko çok amaçlı olarak kullanılmaktadır. Kapı ve pencere çerçeveleri, paneller, demir yolları, inşaat işlerinde galvanize, pirinç alaşımı ve bronz ürünleri (bronz madalyon) olarak kullanılmaktadır (Aydemir ve ark., 1994).

Amerika Birleşik Devletlerinde Zn, kuru hücreli pillerin ve bozuk para yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca Zn oksitler oldukça sık olarak boya, plastik kauçuk, kozmetik, sabun, yazıcı mürekkebi ve ilaç üretiminde ayrıca bitki ve hayvanlar için mikro element olarak tarımsal alanda da kullanılmaktadır. Çinko sülfür (ZnS) bileşiği floresans özelliğe sahip olduğu için kol saatlerinde parlak kadrانların yapımında, floresans ışıklarda, X-ışıkları ve televizyon ekranlarının yapımında, çinko klorür tekstil endüstrisinde katalizör olarak kullanılmaktadır

(Aydemir ve ark., 1994). Çinko arsenit böcek öldürücü olarak kullanılmaktayken çinko borat yangından korunma amaçlı olarak da kullanılmaktadır ( Neiağu, 1980 ).

Demir ( $Fe^{+2}$ ),  $Mn^{+2}$  ve diğer katyonlar Zn'nun bitki tarafından alımını engeller. Bunun sebebi, aynı taşıyıcı noktalar için bu katyonlar arasındaki rekabettir. Mikorizaların birçok mikro elementleri absorpsiyonu arttırdığı bilinmekle beraber fosfor (P) gübrelemesi bitkilerin mikoriza yoluyla Zn alımına etki ederek bitkilerde Zn noksanlığına neden olabilir. Fosfor köklerce absorbe edilir ve bitkilerin toprak üstü bölümlerine taşınır (Güzel ve ark., 2002).

Kelime olarak mantar-kök anlamına gelen mikorizanın herhangi bir cinse bağlı bitki türlerinin % 95 `inde karakteristik olarak görüldüğü tahmin edilmektedir. Mikorizal mantar bitki kökünün korteksine (kabuğuna) yerleştikten sonra korteks içine hiflerini (mantar ipliği) salarak iç ortamın bir parçası olmaktadır. İçeride ve dışarıda hızla gelişen hifler dışardan içeriye su ve mineral madde, içerden dışarıya da organik madde sağlamaktadırlar. Bitki besin elementlerinin köklere kadar gelmesinde, özellikle verimliliği düşük topraklarda çok etkilidir.

Bitkiler için topraktaki Zn toksisitesinin kritik seviyesi, iklim faktörleri, toprak çeşitleri ve bitki genotipine bağlıdır. Bitkilerde Zn toksisitesi kök ve yeşil aksamda büyümenin gerilemesine neden olur (Choi ve ark., 1996; Ebbs ve Kochian, 1997; Fontes ve Cox, 1998). Çinko toksisitesi bitkilerde hücre bölünmesine zarar vererek meristematik kök hücrelerinin çekirdeğinin hasarlı olmasına neden olur (Bobak, 1985). Çinko'nun yüksek konsantrasyonu kök uzunluğunun ve klorofil miktarının azalmasına ve yapraklarda mor renk oluşumuna neden olur (Bekiaroglov ve Karatoglis, 2002).

Topraklardaki Zn alınabilirliği. Morgan, Mehlich 1, Mehlich 3, çözülmüş şelatlar (EDTA veya DTPA ve onların değişik versiyonları) birçok yöntem tarafından belirlenmektedir (Chaney, 1993; McBride ve ark., 2003).

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

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1. Bitkiler İçin Çinkonun Önemi

Bitkiler çinkoyu  $Zn^{+2}$  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).

Türkiye'deki tarım arazilerinin yarısında (%49.8) çinkonun eksik olduğu özellikle Orta Anadolu Bölgesi topraklarında bu eksikliğin fazlalaştığı (Çakmak ve ark., 1996a; Kalaycı ve ark., 1993; Eyüpoğlu ve ark., 1994; Özbek ve ark., 1998) bu eksikliğin Konya'da %85 'e kadar çıktığı belirtmişlerdir (Kaçar, 1998; Bayraklı ve Sezgin, 1991).

Nohut yetiştirilen bölgelerde Zn noksanlığının yaygın olarak görüldüğü ve gelişim dönemi süresince bu bitkinin Zn noksanlığı ile su yetersizliğinden olumsuz etkilendiği bildirilmektedir (Khan ve ark., 2000; Khan ve ark., 2003). Çinko eksikliğinin görüldüğü Konya'da buğday yetiştirilen alanlara Zn uygulanmış ve %5-200 verim artışının olduğunu rapor etmişlerdir (Ekiz ve ark., 1998).

Ülkemizde özellikle az yağış alan bölgelerde, toprak pH'sının yüksek olması ve toprağın  $CaCO_3$  ve kilce zengin olması ve organik madde miktarının az olması nedeniyle görülen Zn noksanlığı dünya ülkeleri arasında önemli bir yerdedir. Türkiye genelinde yapılan bir çalışmada, tarım topraklarımızın %50'sinde çinko noksanlığı olduğu belirtilmiştir. Bu toprakların büyük bölümü Orta Anadolu Bölgesindedir. Bölgede yapılan bir çalışmada tarım topraklarının %60'ında Zn, sınır değer kabul edilen 0.5 ppm'in altında bulunmuştur (Eyüpoğlu ve ark., 1995).

Toprakta bulunan besin maddelerinin elverişliliğini toprağın fiziksel ve kimyasal yapısı, kullanım şekli, organik madde miktarı, diğer besin elementlerinin oranı gibi birçok faktör etkilemektedir. Büyüme ve gelişme için ihtiyaç duyulan besin maddeleri toprakta yeterli miktarda bulunsa bile, bitkiler bunlardan her zaman tam olarak yararlanamamaktadırlar. Örneğin kireçleme; demir ve çinko gibi besin maddelerinin elverişliliğini azaltmaktadır. Ayrıca toprakta bir besin maddesinin yetersizliği bitki gelişmesini sınırlıyorsa, diğer besin maddeleri yeterli ölçüde bulunsa bile bitki bunlardan tam olarak yararlanamayacaktır (Bayraklı, 1983).

Çinkonun birçok enzimin yapısında bulunan bir element olduğunu; karbonhidrat, lipit, protein ve nükleik asidin sentez ve parçalanmasındaki işlevi ve ayrıca son yıllardaki gen aktarımında büyük rol oynadığı bildirilmektedir (Aras, 1998). Çinko gelişme hormonlarının (oksinler) üretimi için zorunlu bir elementtir.

Çinko noksanlığı çeken bitkilerde, gelişme hormonunun azalmış olması, boğum aralarının kısalmasına ve yaprakların normal büyüklüğüne göre daha küçük olmasına neden olur. Özellikle yaşlı alt yaprakların damarları arasında hafif yeşil, sarı veya beyaz renkli alanların oluşmasına, yaprakların küçülerek rozet şeklini almasına, yaprakların erken dökülmesine ve kaybına neden olmaktadır. Çinko noksanlığına duyarlı olan bazı bitkiler elma, asma, narenciye, mısır, fasulye, patates ve soğan'dır. Çinko noksanlığı özellikle çeltik üretimi yapan Asya ülkelerinde fazla gözlenmektedir (Güzel ve ark., 2002).

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).

Topraktaki Zn kirlenmesinde en dikkat edilmesi gereken nokta Zn'nun su ekosistemlerine kötü etkisidir. Çinko sulu ortamlarda yaşayan bitkiler için bir problem teşkil eder. 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).

## 2.2. Toprakta Çinko Kaynakları

Litosferin Zn içeriğinin yaklaşık 80 mg kg<sup>-1</sup> civarında olduğu bilinmektedir. Genel olarak topraktaki toplam Zn içeriğinin 10–300 mg kg<sup>-1</sup> arasında değiştiğini ve ortalama olarak 50 mg kg<sup>-1</sup> olduğu bildirilmektedir (Mortwedt, 2000). Topraktaki Zn konsantrasyonu ana materyale bağlı olarak çeşitlidir. Çinko konsantrasyonu bazalt kayalar için yaklaşık 100 mg kg<sup>-1</sup> iken şistli ve killi sedimentlerde ise 80-120 mg kg<sup>-1</sup> arasında değişerek daha yüksek Zn konsantrasyonu bulunmuştur (Stevenson ve Cole, 1999). 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, 1995; Chaney, 1993 ).

Çinko toksisitesi diğer endüstri kaynaklarına ve madenin saflaştırılması işlemlerinin yapıldığı yerlere yakın alanlarda ortaya çıkabilmektedir. Arıtma çamuru ve şehir çöplüklerinin kompostlarıyla ve limanların temizleme işlemleriyle ortaya çıkan balçıklarda Zn birikmesi olmaktadır. Ayrıca atık suların ırmaklara verilmesiyle ırmak ağzında Zn birikmektedir (Özbek ve ark., 2001). Okyanuslardaki Zn atmosferik çökeltileri 0,37mg m<sup>-2</sup> yıl<sup>-1</sup> iken dünyanın ortalama endüstriyel olarak açığa çıkan Zn nun havaya giren miktarı 132×10<sup>9</sup>g yıl<sup>-1</sup>, suya katılan miktarı 237×10<sup>9</sup>g yıl<sup>-1</sup> ve toprağa giren miktarı 1322×10<sup>9</sup>g yıl<sup>-1</sup> olarak bildirilmiştir (Nriagu, 1991). Çinko kimyasal bir gübre olarak çinko asetat şeklinde toprağa uygulanır.

Çinko, endüstride kullanılan ağır metallerin başında gelmektedir. Paslanmaya karşı demirin galvanize edilmesi, çelik üretimi ve çeşitli alaşımlar Zn ile yapılmaktadır. Bundan dolayı endüstri alanlarında ve maden yatakları çevresinde Zn fazla miktarda birikmektedir. Motorlu araçlardan çıkan gazlarla ve çeşitli fosil yanması sonucu çevreye yayılması sonucu şehirlere yakın topraklarda Zn miktarı



daha uzaktaki tarım topraklarından daha fazla Zn içermektedir. Bu alanlardaki Zn içeriği  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  olmaktadır (Özbek ve ark., 2001).

Bazı alanlarda Zn nun atmosferik kaynağı, özellikle endüstriyel alanlarda atmosfere giden Zn'nun tekrar dönüşü ile bu alanlardaki Zn miktarının fazla olması açısından önem taşımaktadır. Amerika Birleşik Devletlerinde bu alanlarda çökelmiş en büyük Zn kaynağı ABD'nin kuzey doğusundadır ve bunu güney doğusu, güney batısı ve kuzey batısı takip eder (Lodge ve ark., 1968). Amerikanın kuzey doğusunda atmosferik Zn kaynağının yüksek olmasından dolayı ziraat ürünlerinde Zn eksikliği çok azdır (Kubota ve Allowoy, 1972).

Kayalar iklimsel etkilerle oluşmuş Zn minerallerini içerirler. Bunlar Zn sülfür, Zn sülfat, Zn oksit, Zn fosfat, Zn karbonat ve Zn silikat mineralleridir ve bunlar yüksek konsantrasyonlarda Zn ve diğer elementleri içeren topraklardır (Barak ve Helmke, 1993). Örneğin Belçika'da Plombieres'de toprağın Zn konsantrasyonu  $100.000 \mu\text{g Zn g}^{-1}$  değerini aştığı tespit edilmiştir (Cappuyns ve ark., 2006). Bu tür alanlar, maden yataklarından su sızıntısıyla yüksek Zn konsantrasyonuna sahip topraklarla sınırları olmasına rağmen genellikle birkaç hektarlık alanda lokalize olmuşlardır (Chaney, 1993).

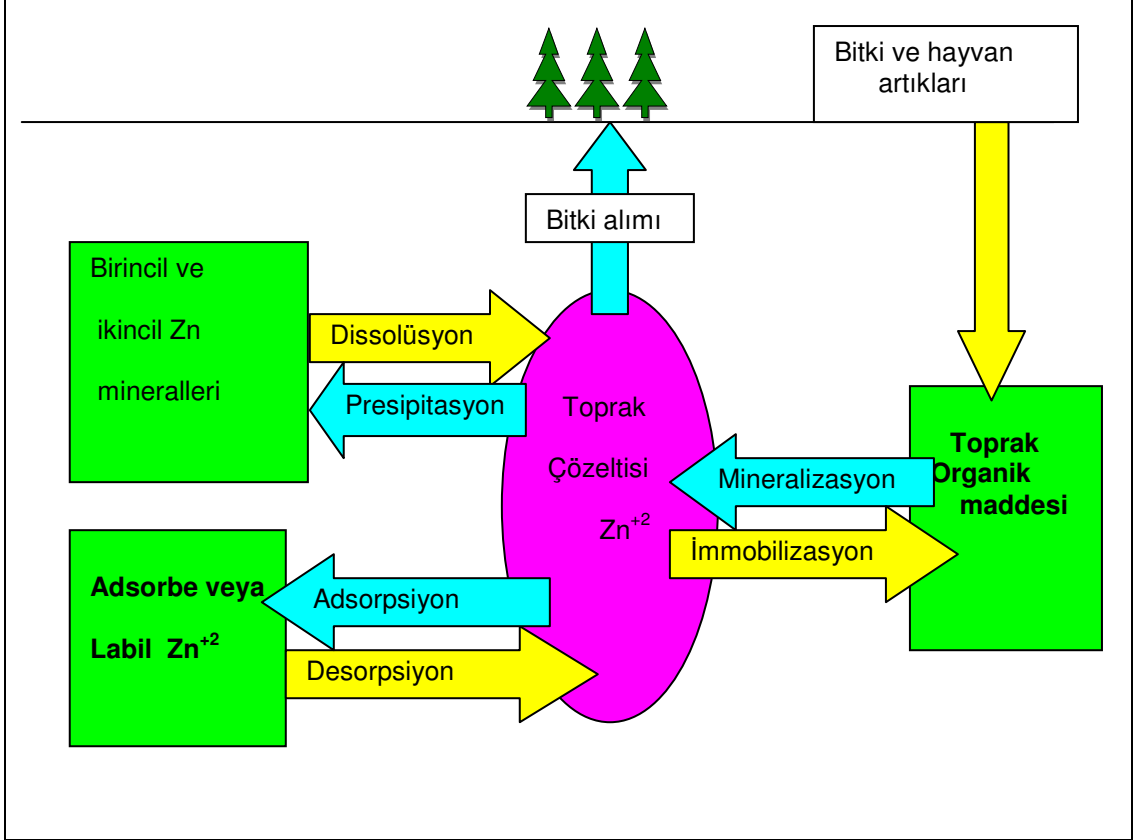
Çinkonun ikinci olarak topraklara atmosferik (dekompozizasyon, orman yangınları ve yüzey tozları gibi) ve biyotik ( dekompozizasyon, yaprak yüzeyinden sızma) süreçlerle geçmektedir (Friedland, 1990).

İnsanlar uzun yıllardır Zn'nun toprağa geçişini etkilemektedirler. 2000 yıl önce, madeni çıkarma ve işleme faaliyetleriyle yaklaşık olarak  $10.000 \text{ ton Zn yl}^{-1}$  toprağa karışmıştır (Nriagu, 1996).

### 2.3. Çinko Döngüsü

Çinko döngüsü diğer elementlerin çoğu gibi üç safhadan meydana gelir. İlk safha farklı kaynaklardan toprağa giren Zn dur. İkinci safhada adsorpsiyon /

desorpsiyon, çökelme / çözünme ve mineralizasyon / immobilizasyon tarafından kontrol edilen Zn'nun içsel (kendi içindeki) döngüsüdür. Üçüncü safha ise bitki tarafından topraktan alınan Zn, erozyon ve yıkanma ile topraktan kaybolan Zn olarak döngü tamamlanır.



Şekil 2.1 Topraktaki Zn dolaşımının şematik diyagramı(Güzel ve ark., 2002)

### 2.3.1. Çinkonun içsel döngüsü

Toprakların toplam Zn içeriğinin  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  olduğu düşünüldüğünde toprak çözeltisindeki Zn konsantrasyonunun yaklaşık  $3 \times 10^{-8} \text{ M}$  olması çok az miktardır. Çinko kil mineralleri hidrate olmuş metal oksit ve organik madde tarafından adsorbe edilir. Katı toprak partikülleri tarafından toprak çözeltisinden Zn'nun adsorpsiyonu, katı kısımdan toprak çözeltisine diğer katyonların eşit miktardaki desorpsiyonundan çökmesinden sonra meydana gelir (Alloway, 1990). Asit topraklardaki Zn adsorpsiyon mekanizması alkali topraklarındakinden farklıdır. Asit topraklarda Zn'nun adsorpsiyonu katyonların değişim yüzeylerince bağlanırken alkali topraklarda

organik madde ve kimyasal sorpsiyon (tutunma) ile olur. Kil tabakaları arasında fiziksel tutunma veya değişebilir yüzeylerde güçlü bir Zn adsorpsiyonunun olduğu belirtilmektedir (Reddy ve Perkins, 1974).

Değişebilir yüzeylerce adsorbe edilen Zn dönüşümlüdür. Fakat kil minerallerinin tabakalarının arasına girmiş olan Zn dönüşümlü değildir (Tiller ve Hodgson, 1962). Yüksek kil ve organik madde içeren toprakların Zn için daha yüksek bir adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğunu bildirmiştir (Shuman, 1975). Çinko bir de hidroksitler, karbonatlar, fosfatlar, sülfatlar, molibdatlar, humatlar, fulvatlar ve organik ligatlar (bileşikler) şeklinde çökebilir. Çinko sülfat ve Zn fosfat, çözültisindeki toplam Zn ya katkılarından dolayı çok önemlidir (Allowoy, 1990).

### 2.3.2. Çinkonun topraktan kaybı

Toprakta bulunan Zn suda eriyebilmesi nedeniyle kolaylıkla topraktan kaybolabilir. Çinko, asit- kumlu topraklarda yıkanma ve erozyon ile taşınabilir.

Çinko eksikliği görülen bazı toprak koşulları;

- Asit kumlu topraklar,
- Yararlı fosfor içeriği fazla olan topraklar,
- Bazı organik topraklar,
- Nötr ve bazik reaksiyonlu özellikle kireçli topraklar,
- İnce kil ve şilt içerikleri fazla olan topraklar,
- Arazi düzleme sonucu yüzeye çıkmış alt topraklar,
- Rüzgâr ve su erozyonuna uğramış topraklar.

Toprakta Zn nun diğer bir kaybı da, bitkinin topraktan aldığı Zn şeklindedir. Farklı bitkiler tarafından alınabilir Zn üzerinde yaptıkları çalışmada toprağın Zn içeriği 135 kg ha<sup>-1</sup> olduğu zaman bazı bitkiler 1500 g ha<sup>-1</sup> topraktan kaldırdığını belirlediler (Solamans ve ark., 1995).

#### 2.4. Topraktaki Çinko'nun Biyo-yararışlılığına Etki Eden Faktörler

Toprakta bulunan toplam metal konsantrasyonları ile bitkiye yararışlılığı arasında çok sağlıklı bir ilişki yoktur. Yani, topraktaki toplam Zn miktarı fazla olması bitki için bir şey ifade etmeyebilir. Önemli olan bitkiye yararışlı Zn miktarıdır.

Topraktaki ağır metallerin yararışlılığı bazı faktörler tarafından etkilenmektedir. Toprak özellikleri, metallerin taşınması, hareketi ve tutulmasını kontrol ederek metallerin bitkiye yararışlılığını etkiler (Badawy ve ark., 2002). Bu faktörler pH, redox potansiyeli, Katyon Değişim Kapasitesi (KDK), organik madde, toprak minerolijisi ve metal miktarıdır (Calece ve ark., 2002). Ek olarak, diğer besin elementleri ile olan etkileşimi, kil içeriği, oksitler, iklim koşulları da Zn'nun alınabilirliğini etkilemektedir (Guadalix ve Pordo, 1995; Lindsay, 1991).

Karanlık ve ark., (1998) GAP, Orta Anadolu ve Çukurova Bölgesi topraklarında, başta Zn olmak üzere mikro elementlerin topraktaki kimyasal formlarını ve bu formlardaki mikro element konsantrasyonlarını saptamak amacıyla yapmış oldukları araştırma sonucunda; alınan bölge topraklarının total mikro element içerikleri yönünden zengin olduklarını saptamışlardır. Fakat, yüksek pH, kireç, kil ve düşük organik madde içeriği gibi çeşitli toprak özellikleri nedeniyle, mikro elementlerin bitkilere yararışlılığının önemli ölçüde sınırlı olduğunu bildirmişler.

##### 2.4.1. pH

Toprak pH, Zn tutunması (sorpsiyonu) işlemleri ve çözünebilirlikteki rolünden dolayı, metallerin bitkiye yararışlılığı üzerinde başlıca etkiye sahiptir. pH, organik C bileşikleri ile metal komplekslerine etki ederek metallerin çözünebilirliğini kontrol eder. Genel olarak çoğu metaller asit koşullar altında çözünebilir ve hareketlidir. Buna karşılık yüksek pH'lı topraklar da hareketsizdir. Bunun sebebi, oksitler ve organik maddenin fonksiyonel gruplarının oluşturdukları metal kompleksidir (Yoo ve James, 2002). pH düştükçe metallerin çözünebilirliği

artar (McBride, 1994). Düşük pH da apatitler ve Pb içeren minerallerin hepsi tamamen çözülmüştür (Zhang ve Ryan, 1999a;1999b). Yüksek pH nın çökeltme reaksiyonları üzerindeki kontrolünden dolayı Zn çözünebilirliği etkilenir iken nötr ve asidik pH da Zn çözünebilirliği özellikle adsorbe edilen Zn tarafından kontrol edilmiştir (Gupta ve ark., 1987).

#### 2.4.2. Redoks potansiyeli

Redoks potansiyeli ağır metaller üzerinde doğrudan ve dolaylı olarak iki türlü etkiye sahiptir. Doğrudan etkisi, metallerin oksidasyon durumlarını değiştirmek suretiyle metallerin kimyasındaki değişimine etki eder. Dolaylı etkisi ise redoks potansiyeli değiştikçe çözünmeyen bileşiklerin oluşması veya adsorbe etme özelliklerindeki değişimler sonucunda Zn elverişliliği etkilenmektedir. Pratik olarak redoks Zn üzerine doğrudan bir etkiye sahip değildir. Çünkü Zn normal çevre koşulları altında  $Zn^{+2}$  formundadır. Çinko indirgenmiş koşullar altında çözünemeyen sülfürler formunda olabilir. Çoğu ağır metallerin indirgenmiş koşullar altında hareketsizdir. Çinkonun immobilizasyonundan dolayı su ile kaplı çeltik ve pirinç tarlalarında yetişen alanlarda Zn eksikliği rapor edilmiştir ( Ross, 1994).

#### 2.4.3. Oksitler, organik madde ve kil

Toprakta organik madde, oksitler ve kil miktarı arttıkça metallerin bitkiye yararlılığı azalır (McBride, 1994). Bazı metaller humik maddeleri ile iç yapıda güçlü bileşik oluşturabilirler (Yoo ve James, 2002). Kil ve oksitler, adsorpsiyon yüzeyleri sağlamasından dolayı metallerin bitkiye yararlılığını etkiler (Han ve ark., 2000). Oksitlerin özellikle de, Mn oksitler metaller için çok kuvvetli adsorbe edici oksitler olduğunu belirtmişlerdir (McKenzie, 1980). Demir oksit ile kaplanmış kum ve kalsiyum karbonatlı kum üzerinde yetiştirilen kolza bitkisinin Zn toksisitesini azaltmak için yapılan bir çalışmada, kalsiyum karbonatın Fe oksitten daha fazla çinko tuttuğu belirlenmiştir (Montilla ve ark., 2003).

#### 2.4.4. Diğer besin elementleri ile çinkonun etkileşimi

Bakır,  $Fe^{+2}$ ,  $Mn^{+2}$  ve diğer katyonlar Zn'nun bitki tarafından alımını engeller. Bunun sebebi, aynı taşıyıcı noktalar için bu katyonlar arasındaki rekabettir. Mikorizaların birçok mikro elementleri absorpsiyonu arttırdığı bilinmekle beraber P gübrelemesi bitkilerin mikoriza yoluyla Zn alımına etki ederek bitkilerde Zn noksanlığına neden olabilir. Fosfor köklerce absorbe edilir ve bitkilerin toprak üstü bölümlerine taşınır. Toprak üstü organlarına taşınan P miktarı o kadar fazladır ki bitkiye toksik etki yapar ve bitkinin toprak üstü organında Zn konsantrasyonu yeterli olduğu halde bitkide Zn noksanlık belirtilerine benzeyen belirtiler ortaya çıkar (Güzel ve ark., 2002).

#### 2.5. Çinko Biyo-yarayışlılığını Belirleme Yöntemleri

Topraktaki Zn'nun bitkideki toksisitesi geçmiş yirmi yıl süresince birçok bilim adamı tarafından yeniden gözden geçirilmiştir (Chaney ve Giordano, 1977; Foy ve ark., 1978; Chang ve ark., 1992; Bingham ve ark., 1986; Berry ve Wallace, 1989; Beckett ve ark., 1979; Collins, 1982; Cummings ve Tomsett, 1992; Patterson, 1971; Rauser, 1990; Wagner ve Krotz, 1986; Woolhouse, 1983).

Metal toksisitesi, metallerin toprak içindeki toplam konsantrasyonlarından ziyade bitki tarafından alınabilirliğine bağlıdır. Metallerin alınabilirliğinin belirlenmesi zordur. Çünkü alınabilirlik birçok toprak özelliği tarafından etkilenir (Rieuwerts ve ark., 1998). Genel olarak toprakların Zn alınabilirliği Morgan, Mehlich 1, Mehlich 3, çözülmüş şelatlar (EDTA veya DTPA ve onların değişik versiyonları) gibi ekstraksiyonlardan biriyle belirlenmektedir (Chaney, 1993; McBride ve ark., 2003).

Bu ekstraksiyonların güvenilirliği, bitkilerce alınabilen Zn ve ekstraksiyonlar içindeki Zn arasındaki ilişkiye göre belirlenmektedir. Bu ekstraksiyonlar; toprağın kimyasını çok büyük oranda değiştirmesi, bitkilerce alınabilir elementlerden çok

daha fazlasına ekstrakte etmesi, toprağa özgü olması ve analizleri sınırlandırmasından dolayı çok eleştirilmektedir (Zhang ve ark., 1998).

Mulchi ve ark. (1991), tütün kullanarak ekstrakte edilebilir Zn, Cu ve bu metallerin bitki tarafından alınabilirliği ve Mehlich 3 arasındaki ilişkiyi belirlemek için bir çalışma yapmışlar ve güçlü bir ilişki bulmuşlardır. Bu ekstraksiyonların bitkinin topraktan alabildiğinden daha fazla metali ekstrakte eden çok güçlü bir ekstraksiyon olduğuna inanıldı.

Chaney, 1993; Chang ve ark., 1992, İnsan faaliyetleri (lağım çamuru) sonucunda, topraklarda metal birikmesinin çevre kirliliğine neden olduğu ve bunlardan çinko toksisitesinin gelecekte büyük bir problem oluşturmasını önlemek için ABD’de birçok araştırmacı tarafından lağım çamurunun tarımda kullanılması için belirli standartlar geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu nedenle farklı etkilere toleranslı bitkiler üzerinde durulmuştur. Toprak kirlenmesi tehlikeli toksik seviyede olduğu zaman tedaviye ihtiyacı vardır. Çünkü Zn toksisitesi insan, hayvan, bitki veya çevreye zarar vermemesi için önemli bir sınırın olması gerekmektedir. Bu çalışmada, Amerikadaki tarım alanlarındaki lağım çamurunun zarar vermeden kullanımı için standartlar geliştirmeye çalışmışlardır.

Chaney, (1993), bazı türler ile Zn toksisitesi arasındaki ilişkiyi araştırdılar. Bitki yapraklarında 300–1000 mg Zn kg<sup>-1</sup> olduğu zaman ürün azaldığını, asidik topraklarda Fe eksikliği sonucunda oluşan klorozun genellikle Zn toksisitesinin neden olduğu belirtilmiştir. Çok asidik topraklarda çim türleri Zn fazlalığına genellikle ‘dicots’ lardan daha toleranslıdır. Bazı türlerin (*Festuca rubra* L.) kökleri ile Zn alımını engeller. Diğerleri Zn’u hızlı bir şekilde yeşil aksamına taşır ve yapraklardaki Zn konsantrasyonu çok yüksek olur (alpine pennycress (*Thlaspi caerulescens* J.) 40.000 mg kg<sup>-1</sup>). Bu çalışmada, işlenmiş Zn ve Cd gibi madenlerin neden olduğu kirlenmiş topraklarda tedavi amaçlı kullanılan *Thlaspi* gibi türlerin metabolizmasındaki birikimin toprak üstü kısımlarda olduğu bildirilmiştir.

Davis ve Parker (1993), dört farklı toprak ve Zn uygulamasının kullanıldığı bir sera çalışmasında, bitki olarak yer fıstığı seçmişlerdir. Toksikite belirtilerinin 4–8

haftadan sonra belli olduğunu, büyümede bodurlaşma olduğunu, verimin düşmesine neden olduğunu belirtmişlerdir. Bitkideki Zn oranları karşılaştırılmış ve gövdedeki Zn konsantrasyonunun ( $r = 0.84$ ) yapraklardakinden ( $r = 0.79$ ) daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Çinko toksisitesi belirtilerinin, Ca:Zn oranının 35 ten küçük ve yeşil aksamda  $240 \text{ mg kg}^{-1}$  dan büyük olduğu zaman görüldüğü belirtilmiştir. Çinko toksisitesi, yaprak biyomasından daha fazla gövde biyomasında birikerek gövde biyomasını azalttığını belirtmişlerdir.

Davison ve Zhang (1994), katı kısımdan sağlanan metal ölçümünü yerinde yapmak için yeni bir teknik geliştirildi. İyon kullanılarak iyi bir geometrik şekle sahip bu tekniğe DGT adı verildi. Yapılan çalışmada DGT kullanarak topraktaki metal birikintilerinin değişimlerini ve solüsyon konsantrasyonunu yerinde ölçerek araştırdılar.

Zhang ve ark. (1998), lağım çamuruna maruz bırakılan toprak ile metal uygulaması olmayan lağım çamurlu toprak içindeki metallerin konsantrasyonunu incelemişler.  $100 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{yıl}^{-1}$  çamur muamelesi olan toprak ile  $300 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{yıl}^{-1}$  çamur muamelesi olan toprak ve muamele edilmeyen topraklar karşılaştırıldı. Sonuç olarak muamele edilenlerin Zn ve Cd' un sabit katsayıları, muamele edilmeyenden daha yüksek çıktığını belittiler. Muamele edilen toprak ile muamele edilmeyen toprak karşılaştırıldığı zaman gerçek denge katsayısı muamele edilen toprakta daha yüksekti. Bunun sebebi katı kısma bağlı olarak konsantrasyonun daha yüksek olmasıydı. Bir de DGT tarafından ölçülen Cd ve Zn konsantrasyonu ile doğrudan toprak çözeltisinde ölçülen Cd ve Zn konsantrasyonları arasında iyi bir ilişki olduğunu belirlediler. Korelasyon değeri ( $r^2$ ) Cd için 0.95 ve Zn için 0.88 'dir

Hood ve ark. (1999), farklı ağırlık esasına göre nem içerikleri ( $0.27 - 1.1 \text{ kg kg}^{-1}$ ) olan topraklarda DGT ile metallerin yayarılılıklarını çalıştılar. Çamur muamelesi olan topraklar içinde Cd, Co, Cu, Ni, Pb ve Zn 'nun değişimlerini ölçtüler. Sonuçlar gösterdi ki çok farklı toprak koşulları altında ( $0.42 \text{ kg kg}^{-1}$  ve nem içeriği çok yüksek) DGT ölçümleri metal birikintilerinin değişimlerini belirlediğini belirtmişlerdir. 1:1 oranındaki toprak su karışımının içine DGT konularak kalma



süresinin etkisini çalıştılar. Metal birikmesi zamanla doğrusal bir şekilde arttı. DGT' nin sature edilen toprak örnekleri içinde 0.4 mm'lik iyon geçiren bir jel kullanarak metal birikmesi iki günde doğrusal fakat iki günden sonra Kobalt (Co) hariç diğer metallerin önemli bir şekilde azaldığını bildirdiler.

McBride ve ark. (2003), lağım çamurlu alanlar üzerinde büyümüş 'red clover' üzerinde birikmiş iz metalleri ve 0.01M CaCl<sub>2</sub> ekstrakte edilmiş metaller ile Mehlich 3 arasındaki ilişkiyi araştırdılar ve sonuç olarak Mehlich 3 ile bitkinin bu metallere (Zn, Cd, Cu, Ni) alınabilen kısmını karşılaştırarak Mehlich 3'ün bitkinin alabildiğinden çok metali ekstrakte ettiğini buldular. Ayrıca 0.01M CaCl<sub>2</sub> ekstraksiyonu yeryüzünü kaplayan toprakların ekstraksiyonları olarak Mehlich 3'e tercih edilebileceğini belirttiler. Fakat 0,01M CaCl<sub>2</sub> ekstraksiyonlarının Cd, Mo ve Pb gibi bazı metallerin analizi için yeterli ekstrat alamayacağını rapor ettiler. Bu sınırlama kullanılan ekstraksiyon sıcaklığının (90–100°C ) üstesinden gelebilir.

Sönmez ve Pierzynski (2005), bitkide Zn toksisitesinin başlangıç noktasını belirlemek için yeni bir yöntem olan DGT kullanmışlar ve önceki metodlarla karşılaştırılmasını yapmışlar. Sonuç olarak Zn biyo-yararışlılığının belirlenmesinde DGT nin güzel sonuçlar verdiğini fakat bu sonuçların diğer metodlarla (0.01M CaCl<sub>2</sub> ekstraksiyonunun) da belirlenen sonuçlardan bir farklılık göstermediğini belirlemişlerdir. Ayrıca artan dozlardaki Zn uygulamalarının bitki verimini düşürdüğünü ve bitki tarafından alınan Zn oranının arttığını belirlemişlerdir.

## 2.6. Çinko ile Kirlenmiş Toprakların Islahı

Çinko ile kirlenmiş toprağın iyileştirilmesi birkaç metot ile gerçekleştirilebilir. Örneğin kirlenmiş toprağın kazılması ve temiz toprak ile yer değiştirmesi veya toprak kazıldıktan sonra kimyasal ve fiziksel uygulamalarla kirlenmiş toprağın tedavisi ve tekrar eski yerine götürülmesiyle mümkündür (Lasat ve ark., 2001). Ek olarak Zn nun yararışlılığını azaltacak P gibi iyileştirici ilave edilebilir (Maenpaa ve ark., 2002). Bitkileri kullanarak toprakların iyileştirilmesi de bir ıslah metodudur.

Bitkileri kullanarak yapılan tedaviyi 3 bölüme ayırırız; phytostabilization, phytoextraction ve phytovolatilization.

Phytostabilization; bitkiler kullanarak metal ile kirlenmiş toprağın tespit edilmesi yöntemidir (USEPA, 2000). Bu yöntem ve ilgili metalin yarıyışlılığını ve hareketliliğini azaltır. Dolayısıyla hava ve taban suyunun korunmasına yardımcı olur (Miller, 1996).

Tedavide diğer bir yöntem (phytoextraction) bitkilerin metalin ekstrakte etmesi, ki bu metot da bitkiler kökleri vasıtasıyla metali topraktan alırlar ve toprak üstü kısımlarında biriktirdiler. Hasat etmek suretiyle bu metaller topraktan uzaklaştırılmış olur (Robinson, 2001).

Üçüncü metot (phytovolatilization) ise bitkiler selenyum (Se) gibi iz elementleri buharlaştırarak uzaklaştırır ve toprakların ıslahında katkıda bulunurlar (Zayed ve Terry, 1994).

Toprakların kazılarak yerinden taşınması, etrafındaki araziye zarar verir. Ayrıca toprağın fiziksel özelliğini bozar (Perronnet ve ark., 2000). Buna karşılık bitki kullanarak yapılan ıslah metodu bu dezavantajları ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca bitki kullanmanın ucuz ve çevre açısından daha faydalı olduğu belirtilmiştir (Glass, 2000).

Bitkilerdeki metal konsantrasyonunun, topraktaki metal konsantrasyonuna oranlanmasındaki sonuç 1'den büyükse böyle bitkilere yüksek oranda metal biriktiren bitkiler denilmektedir (Barman ve ark., 2000). Örneğin Brassica juncea, Bressica oleracea, Thlospi caerulea, Allysum bertolonii ve Berkeya coddii. Bu bitkiler gövdelerinde kuru ağırlık esasına göre %1 veya daha fazlasına kadar metal biriktirebilirler. Bu bitkilere Hiperakümülatör diyebiliriz. Bu Hiperakümülatör bitkiler çok yavaş büyür ve çok az toprak üstü kısmı oluşturur. Bu bitkiler çok nadir bulunur (Ebbs ve ark., 1997). Hiperakümülatör bitkileri, bitkinin hangi metali biriktirdiğine bağlı olarak 3 farklı kategoriye ayrılmıştır (Mejare ve Bulow, 2001).

- 1)Cu/Co
- 2)Zn/Cd/Pb
- 3)Ni

*T. caerulescens* bitkisi yüksek oranda Pb biriktirmesi yanında bitki dokusunda 10.000 ppm Zn biriktirdiğine rastlanmıştır (Lasat ve ark, 2000; Baker ve Brooks, 1989). Bazı metallerin bitkiye yarayışlılığı topraklarda hareketsiz olmalarından dolayı düşüktür. Bu metallerin bitkiye yarayışlıkları topraktaki hareketlerini artırarak yapılabilir. Örneğin ethylenediamine-tetraacetic acid (EDTA), diethyle netri aminopentaacetic acid (DTPA), ethylenediaminedi (o-hydroxyphenylacetic) acid (EDDHA), ethylenebi (oxyethylenenitrolo) tetraacetitacid (EGTA), N (2hydroxyethyl) ethylenediamine-tetraacetic acid (HEDTA), ve sitrik asit (Lambi ve ark, 2001; Lasat, 2002).

### 2.7. Mikorizanın Tanımı

Mikroorganizmalar, her birinin kendine özgü oluşları, özel kültür ve çevre koşulları altında önceden tahmin edilemeyen yapı ve biyosentetik yetenekleri ile canlı bilimlerinde ve diğer bazı alanlardaki zor problemlerin çözülmesinde öncelik almışlardır. Toprak kökenli mikroorganizmaların, kimyasal gübreler ve pestisitlerin oluşturduğu problemleri çözümede alternatif olmaları nedeni ile ekolojik veya organik tarımda kullanılmaları oldukça yaygınlaşmıştır (Cebel N., 1989).

Toprak mikrobiyologları ve mikrobiyal ekologlar, yıllardır toprak mikroorganizmalarını faydalı ve zararlı diye sınıflandırmaya çaba harcamışlardır. Bu sınıflandırmada, mikroorganizmaların işlevleri ve toprak kalitesine, bitki gelişimi ve verimine, bitki sağlığına olan etkileri değerlendirilmiştir. Faydalı mikroorganizmaların tarımda kullanılması, diğer yönetim uygulamalarının yerini tutmamaktadır. Aksine bitki ekim nöbeti, organik iyileştiricilerin kullanılması, koruyucu sürüm, bitki artıklarının dönüşümü ve zararlı böceklerin biyokontrolu gibi en iyi toprak ve bitki yönetim uygulamalarının optimizasyonuna bir başka boyutla

etki yapmaktadır. Yani doğru şekilde uygulandığında, bu mikroorganizmalar, sayılan bu yönetim uygulamalarının faydalı etkilerini artırmaktadır.

Toprakta bulunan mikroorganizmaların, toprakta meydana gelen pek çok kimyasal değişimin içinde aktif rol aldığı bilinmektedir. Bugün tarla koşullarında çokça vurgulanan konu, kök ve mantar arasındaki karşılıklı yararlılık ilişkisidir. Toprakta bulunan bazı mikroorganizma türleri bitki gelişmesi için gerekli olan örneğin azot ve karbon besin elementlerinin döngüsünde görev aldıkları için toprak verimliliğinin önemli unsurlarıdır (Cebel N., 1989). Aynı şekilde topraktaki besin elementlerinin alımını sağlayan mantarlarda toprak verimliliğine katkıda bulunmaktadırlar (Ortaş, 1997).

Kelime olarak mantar-kök anlamına gelen mikoriza (mycorrhiza) terimi, ilk olarak 1885 yılında A.B. Frank isimli bir Alman orman patoloğu tarafından mantar-ağaç ortaklığını tanımlamada kullanılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda mikorizanın bitki beslenmesini geliştirmesinden dolayı bitki büyümesini de artırdığı gözlenmiştir (Özcan ve Taban, 2000). Bitkilerin mikorizal simbiyozlardan sağladığı faydalar agronomik yönden büyüme ve verim artışı veya ekolojik olarak uyumun iyileştirilmesidir. Mikorizal mantarlar, hem kök içerisinde hem de toprakta genellikle hızlı çoğalırlar. Toprak kökenli veya ekstramatrikal hifler, bitki besin elementlerini (P, Zn vb.) toprak çözeltisinden alarak köklere taşırlar. Bu mekanizma ile mikorizalar, bitkinin etkili absorpsiyon yüzey alanını artırır. Bitki besin elementlerince fakir veya yeterli nem bulunmayan topraklarda, ekstramatrikal hiflerle besin maddelerinin alınması daha iyi bir bitki gelişimi ve çoğalmayı sağlayabilir. Sonuç olarak, mikorizal bitkiler, mikorizal olmayan bitkilere göre, çevresel streslere genellikle daha dayanıklıdır (Cebel, 1989). Mikorizal ortaklıklar, yapı ve işlev olarak çok geniş bir yelpaze oluştururlar.

Ortaş ve ark. (2001), çinko ve fosfor bakımından yetersiz olan kireçli topraklarda yeşilbiber ve mısırın gelişimi, P ve Zn alımı üzerine seçilen mikorizaların etkisini araştırmışlardır. Sözü edilen çalışmada, topraklara mikoriza inokulusyonu olmaksızın bitkilerin ciddi bir biçimde Zn ve P noksanlığı gösterdiğini ve yeterli

miktarda Zn ve P uygulandığında bitkilerin gelişiminin önemli derecede arttığı, topraklara mikoriza inokulasyonunun ise özellikle düşük Zn ve P içeren topraklarda bitkilerin Zn ve P içeriklerini arttırdığı bulunmuştur. Araştırmacılar ayrıca P ve Zn bakımından yetersiz olan topraklarda bitkilerin beslenmesi açısından mikorizanın önemli rol oynadığını ve özellikle de mısır ve yeşilbiberin oldukça mikorizaya bağımlı olduğunu belirtmişlerdir.

Yeryüzündeki bitki türlerinin %95'inin karakteristik olarak mikoriza oluşturdukları tahmin edilmektedir.

### 2.7.1. Mikoriza türleri

Mikoriza türleri kök içindeki ve dışındaki görünüşleri ve taksonomik özellikleri yönünden beş grup altında sınıflandırılmaktadır (Smith ve Read, 1997).

1. Ektomikoriza
2. Endomikoriza (Arbusküler mikoriza)
3. Ectendo-mikoriza
4. Orchidaceae mikoriza
5. Ericaceae mikoriza

### 2.7.2. Mikorizanın işlevleri

Gupta ve ark. (2000), çeşitli kaynaklardan yararlanarak mikoriza-bitki ilişkisinden şu yararların çıkarılabileceğine yer vermiştir:

- Genişletilmiş absorpsiyon alanı sayesinde besin elementi ve su absorpsiyonunu artırır (Boyd, 87),
- Biyolojik havalanma sayesinde besin elementi mobilizasyonunu artırır,
- N, P, K, Ca ve Zn gibi elementleri biriktirir ve onların bitki dokusuna taşınmasına yardımcı olur,
- Ektomikoriza hifleri, antibiyotik salgısı, fiziksel engel sağlama ve artık karbonhidratların kullanımını gibi stratejilerden dolayı patojenik mantarların

saldırısından hassas kök dokusunu korumayı üstlenir (Dushesne ve ark.,1989; Garrido ve ark., 1992; Tsantrizos ve ark., 1991),

· Auxinler gibi gelişme hormonları, sitokininler, giberellinler ve B vitamini gibi gelişme düzenleyicilerini bitkiye sağlar (Gopinathan ve Raman, 1992; Ho, 1987; Kraigher ve ark., 1991),

· Su stresi, pH stresi, sıcaklık stresi, ağır metal ve toksin streslerini içeren olumsuz şartlara karşı bitkinin toleransını artırır (Dixon ve ark., 1994)

### 2.7.3. Mikorizanın bitki beslenmesindeki önemi

Mikoriza genel olarak topraktan alımı zor olan bitki besin elementlerini, hareketli elementleri ve kökün etki alanı dışında olup ulaşılamayan besin maddelerini hifler yardımıyla alarak bitki gelişimini artırır (O'Keefe ve Sylvia, 1991). Mikoriza kontrollü koşullar altında bitkinin P, Zn, Ca, Cu, Mn, Fe, Mg içeriğini arttırdığı görülmüştür (George, 2000).

Mikorizanın beslenme yönünden önemi kökün etki alanı dışında olup, ulaşılamayan besin maddelerinin kökten gelişen mikoriza hiflerinin, kökün uzantısı gibi işlev görerek toprağı sömürmesinden kaynaklanmaktadır (Mosse, 1981). Marschner ve ark., (1991) da mikorizanın topraktaki geniş yayılma özelliği ve metabolizma hızı sayesinde topraktan iyon alımı, iyonların birikiminin sağlanması ve onların konukçu bitkiye taşınmasında önemli görev üstlendiğini belirtmişlerdir.

Mikoriza ile enfekte olmamış bitkiler kök bölgesinin 1 cm uzağındaki fosfordan yararlanabildiği halde, mikoriza ile enfekte olmuş bitki kökleri, mantarın hifleri aracılığı ile kökten 11 cm uzaktaki fosforu alabilmektedir (Li ve ark., 1991). Fosfor, biyolojik sistemler için son derece önemli olup N'tan sonra en çok gereksinim duyulan bir makro besin elementidir. Ancak çoğu zaman toprakta bitkiler tarafından alınabilir miktarı az ve aynı zamanda çoğu zaman varolduğu halde ortam koşulları tarafından alımı sınırlandırılabilir. Mikoriza ve enfekte olmuş bitki kökleri, rizosfer pH' sını değiştirerek P ve diğer besin elementlerinin alımını arttırmaktadır (Li ve ark., 1991; Ortaş, 1994)

Fakat yüksek seviyede gübreleme, özellikle P ve N gübrelemesi, arbüskular mikoriza mantarları tarafından kolonize edilmiş kök genişliği oranlarını, yüzeysel hif üretimini ve bitki gelişimini sağlayan ortak yaşamı olumsuz yönde etkileyebilir (Hayman, 1970; Hayman et al., 1975, Menge et al., 1982;). Bolan et al.(1991) yaptıkları çalışmada yetersiz P'un mikorizal gelişimi sınırlandırdığını belirlemişlerdir. Toprak solüsyonundaki N ve P oranı yine kolonizasyonu etkileyebilir ve değişik mantar genotipleri N/P oranlarına göre farklı tepki verebilir (Douds ve Schenck, 1990).

Mikoriza bitki köklerini patojenik olan organizmalara karşı koruduğu gibi ağır metal toksisitesi ve tuzluluk stresine karşıda bitkiyi korur ve bitkinin direncini artırır (Smith ve Read, 1997).

Doğadaki bitkilerin %95'i mikoriza ile simbiyotik yaşam oluşturmaktadırlar (Bonfante ve Perotto, 1995). Narenciye bitkileri yüksek P uygulamasına rağmen şiddetli derecede özellikle ilk kök gelişimi döneminde mikorizaya bağımlılık göstermektedir (Mosse, 1981; Menge ve ark., 1978; Nemec ve Vu, 1990). Turunçgiller mikoriza ile çok iyi infekte olmakta ve mikoriza infeksiyonu eksikliğinde P, Zn, Cu, K, Ca ve N noksanlığı göstermektedir (Mengel ve Kirkby, 1982).

Mikorizal mantar bitki kökünün korteksine (kabuğuna) yerleştikten sonra korteks içine hiflerini (mantar ipliği) salarak iç ortamın bir parçası olmaktadır. İçeride ve dışarıda hızla gelişen hifler dışardan içeriye su ve mineral madde, içerden dışarıya da organik madde sağlamaktadırlar. Bitki besin elementlerinin köklere kadar gelmesinde, özellikle verimliliği düşük topraklarda çok etkilidir. Ekto ve endomikoriza diye ikiye ayrılır ama en yaygın olanı endomikorizadır. Birçok tarla bitkilerinin köklerinde bulunur. Besin elementlerin artan oranlarda alınabilmesinin sebebi, mantarlar ile absorbe edici yüzeylerin genişletilmiş olmasıdır. Mikoriza ile aşılana bitki köklerinde, absorbe edici yüzeyin aşılama bitki köklerine göre 10 kat kadar arttırmıştır (Güzel ve ark., 2002).

Çizelge 2.1. Aşılınmış Endomikorizanın ve uygulanan gübre fosforunun (P) mısır yeşil aksamındaki farklı elementlerin içeriği( $\mu\text{g}$ ) üzerine etkisi (Güzel ve ark., 2002).

		Po (P ilavesi yok)		25 ppm P	
Elementler	-Mikoriza	+Mikoriza	-Mikoriza	+Mikoriza	
Zn	28	95	48	169	
Fe	80	147	161	277	
Ca	1200	1600	2700	3500	
P	750	1340	2970	5910	

Bitki gelişimindeki köklere uygulanan mikorizanın gübre olarak verilen P'u bitkinin daha fazla absorbe ederek iyi gelişmesi sonucunda, diğer elementleri daha hızlı alınmalarını sağlamıştır (Güzel ve ark., 2002).

Özel teknikler kullanılarak yapılan ölçümlerde mikorizal mantar ile enfekte olmuş bitkilerin almış oldukları P %80'ninin; Azot (N) %25'inin, Potasyum (K) %10'unun, Zn'nun %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. Bitkilerde, besin elementleri ve su yeterince sağlanmadığı durumlarda kök ortamındaki pH (asitlik derecesi) değişir; kök salgılarında, kök morfolojisinde ve fizyolojisindeki değişimler ile birlikte mikoriza gibi mekanizmalar görülür. Mikroorganizmalardan, mikoriza mantarlarının gerçekleştirdiği simbiyotik ilişki gerek kök içinde gerekse kök dışında mantarın geliştirmiş olduğu hifler aracılığı ile bitki gelişimi için gerekli beslenme koşullarının oluşmasına katkıda bulunmaktadır (Gübe, 2006).



### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Deneme toprağının özellikleri

Bu denemede, Samsundaki mera toprağından 0–20 cm derinlikten alınan ve aşağıdaki özellikler bulunan toprak kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. 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

##### 3.1.2. Denemede kullanılan uygulamalar

Çalışmada yapılan uygulamalar ve oluşturulan deneme kombinasyonları aşağıda verildiği şekildedir:

Çizelge 3.2. 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 sporlarının büyük oranda yok edilmesi sağlanmıştır.

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. 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 kurutulmuş 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 kâğıtlarına 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.

### 3.3. Bu Çalışmada Yapılan Ölçüm ve Analizler

#### 3.3.1. Toprak analizleri

Bu çalışmada belirtildiği gibi, 0–20 cm derinlikten alınmış olan bozulmuş toprak örneklerinde aşağıdaki özellikler tayin edilmiştir.

##### 3.3.1.1. Toprak reaksiyonu (pH)

Saturasyon çamurundan elde edilen ekstratın pH metre ile ölçülmesiyle belirlenmiştir (Thomas, 1996).

##### 3.3.1.2. Elektriksel iletkenlik(EC)

Saturasyon çamurundan elde edilen ekstratın EC metre ile ölçülmesiyle belirlenmiştir (Rhoades, 1996).

##### 3.3.1.3. Katyon değişim kapasitesi (KDK)

Amonyum ve sodyum asetat çözeltileri ile iyon değiştirme esasına dayanan yöntem kullanılmıştır (Sumner, 1996).

##### 3.3.1.4. Organik madde (%)

Jackson (1962) Tarafından bildirilen, modifiye Walkley Black yöntemi ile belirlenmiştir.

##### 3.3.1.5. Tekstür

Örnek kaplarına 50'g toprak tartılır. Üzerine 10 ml %10'luk kalgon (sodyum heksametafosfat) ve 150 ml saf su ilave edilir. Karıştırılır ve 24 saat bekletilir.

40. saniye ve 2. saat hidrometre okumaları yapıldıktan sonra hesaplama yapılarak tekstür belirlenmiştir (Bouyoucos, 1951 ).

### **3.3.2. Bitki analizleri**

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.

#### **3.3.2.1. Yeşil ot verimi**

Her bir saksıdan biçilerek hasat edilen bitkiler tartılmıştır.

#### **3.3.2.2. Kuru ot verimi**

Her bir saksıdan alınan bitki örneklerinin 70 °C de ağırlıkları sabitleşinceye kadar kurutma dolabında bırakılarak hesaplanan kuru ot oranı ile saksı yeşil ot verimin çarpılmasıyla bulunmuştur.

#### **3.3.2.3. İstatistikî 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.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

### 4.1. Bitki Verimi

Topraklar da 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. Dahası kırmızımsı-mor renkler bu bitkilerin yapraklarında 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.

Sönmez ve Pierzynski (2009), topraktaki Zn konsantrasyonunun artması ile bitki kök ve gövdesindeki Zn konsantrasyonu artarak bitki verimini olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir.

#### 4.2. 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 mg  $kg^{-1}$  arasında bulunmuştur (Çizelge 4.1). En düşük gövde Zn konsantrasyonu, Fe ve Zn uygulanmayan mikorizalı kontrol uygulamasında elde edilirken, en yüksek konsantrasyon mikorizalı ve yüksek Fe ve Zn uygulamalarında ( $Fe_6$  ve  $Zn_{1500}$ ) ortaya çıkmıştır. Saksılara artan miktarlarda uygulanan Zn, bitki gövdesindeki Zn konsantrasyonunu istatistiksel olarak artırmıştır.  $Fe_0$  veya  $Fe_3$  uygulamaları, mikorizalı saksılarda yetişen bitkilerin gövde Zn konsantrasyonunu mikorizasız saksılarda yetişen bitkilerle karşılaştırıldığında daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Fakat bu durum yüksek dozda Fe ( $Fe_6$ ) ilavesinde gözlenmemiştir (Çizelge 4.1).

Kaya ve Higgs (2002), yapmış oldukları sera çalışmasında besin çözeltilisindeki 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 konsantrasyonunun 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 mg  $kg^{-1}$ ) iki farklı P konsantrasyonu (0, 200 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 turunc bitkisinin de Zn ve P içeriklerinin artırdığını rapor etmişlerdir.

### 4.3. Bitki Gövdesindeki Demir

Bitki gövdesindeki Fe konsantrasyonu mikoriza-demir-çinko arasında 3'lü interaksyon ortaya çıkmıştır ( $p=0.05$ ). Gövdedeki Zn konsantrasyonu 93-344 mg kg<sup>-1</sup> arasında bulunmuştur (Çizelge 4.2). En düşük gövde Fe konsantrasyonu Zn<sub>0</sub> ve Fe<sub>3</sub> mg kg<sup>-1</sup> uygulamasında iken en yüksek konsantrasyon, Fe<sub>3</sub> ve Zn<sub>1500</sub> mikorizasız uygulamada ortaya çıkmıştır. Fe'in artan uygulamalarında ve Zn<sub>0</sub> 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 g Zn kg<sup>-1</sup> içeren Chat materyali, ve aynı oranlarda Zn içeren Dearing materyali ve yıkanmış kuma çeşitli oranlarda (10, 25, 50 ve 100 mg Zn kg<sup>-1</sup>) ekledikleri Zn konsantrasyonları sonucu elde ettikleri karışımda sorgum bitkisi yetiştirmişlerdir. Karışımlarda artan Zn konsantrasyonlarının bitki gövdesindeki Fe konsantrasyonunu Chat materyalinde 50 g Zn kg<sup>-1</sup> e kadar artırdığını ve bu noktadan sonra düşürdüğünü bulmuşlardır. Kum karışımında ise artan Zn konsantrasyonunun gövde Zn konsantrasyonunu artırdığını gözlemlemişlerdir.

Çizelge 4.2. 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 4.3. 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



#### 4.4. Bitki Gövdesindeki Kalsiyum

Bitki gövdesindeki Ca konsantrasyonu için yapılan istatistiksel analiz sunucunda 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 4.3 ). En düşük gövde Ca konsantrasyonu  $Zn_{1500}$ - $Fe_3$ -mikoriza uygulamasında iken en yüksek konsantrasyon,  $Zn_0$ - $Fe_3$ - mikorizasız uygulamada ortaya çıkmıştır. Fe'in artması mikorizalı uygulamalarda Ca alımını azalttığı gözlenmiştir. Fe'in artan  $Zn_{1500}$  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.

#### 4.5. 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  $1882-2504 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında bulunmuştur (Çizelge 4.4). En düşük gövde P konsantrasyonu mikorizasız  $Fe_3$  uygulamasında iken en yüksek konsantrasyon, mikorizalı  $Fe_6$  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 aşısıza 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 6238-6996 mg kg<sup>-1</sup> arasında bulunmuştur (Çizelge 4.4). 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 4.4). Mikorizasız uygulamalarda mikorizalı uygulamalara göre bitki gövdesinde daha fazla Mg ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.4. 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 4.5. 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 Çözünebilir Çinko

Toprakta suda çözünebilir Zn belirlenmiş ve veriler için istatistiksel analiz yapılmıştır. Sonuç olarak mikoriza-Zn ve Fe-Zn arasında 2'li interaksiyonlar çıkmıştır ( $p=0.05$ ). İkili interaksiyon 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 4.5a ve 4.5b). 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 çözünebilir Zn konsantrasyonu bakımından mikorizalı ve mikorizasız uygulamalar arasında istatistiksel olarak farklılık gözlenmemiştir. Sadece  $Zn_{1500}$  uygulamasında mikorizasız topraklarda Zn konsantrasyonu fazla çıkmıştır. Suda çözünebilir 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 çözünebilir Zn konsantrasyonunu Chat materyalinde artırdığını, kum ve Dearing materyalinde azalttığını rapor etmişlerdir. Chat materyalinde suda çözünebilir Zn miktarının artmasının sebebinin ise Chat materyali ilavesi sonucunda toprak pH artması olarak belirtmişlerdir.

Çizelge 4.6a. 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 4.6b. 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

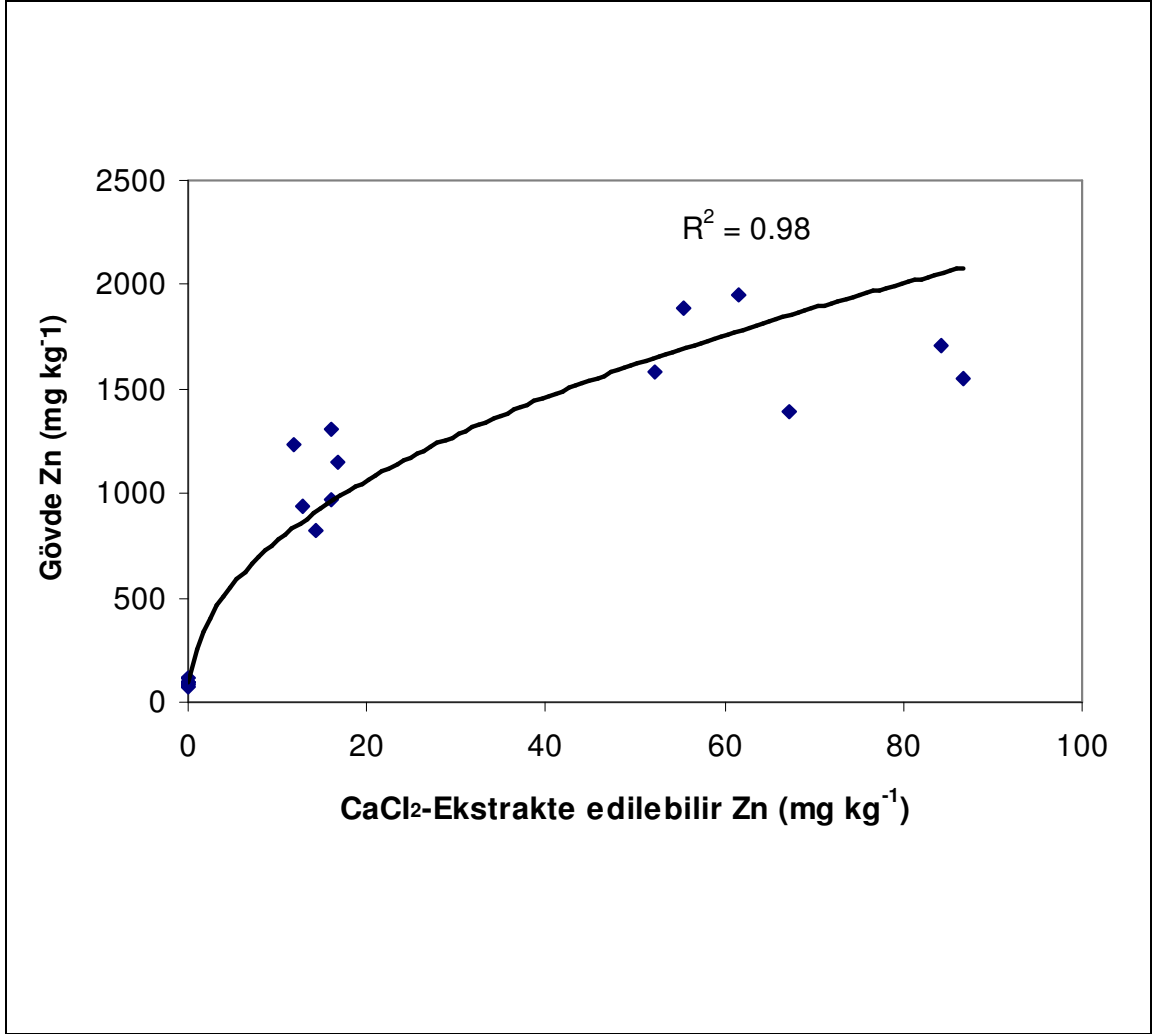
#### 4.7. CaCl<sub>2</sub> Ekstrakte Edilebilir Çinko

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 mg kg<sup>-1</sup> arasında bulunmuştur (Çizelge. 4.6 ve 4.7 ). En yüksek CaCl<sub>2</sub> konsantrasyonu Zn<sub>1500</sub>-Fe<sub>6</sub>-mikorizasız uygulamasında iken en düşük konsantrasyon, Zn ilave edilmeyen kontrol saksılarında (Zn<sub>0</sub>) ortaya çıkmıştır. Demir dozlarının tamamının Zn<sub>0</sub>-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.

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.

Çizelge 4.7. 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 4.7. CaCl<sub>2</sub> Ekstrakte edilebilir Zn yöntemi ile bitki gövdesinden elde edilen Zn konsantrasyonu arasındaki ilişki



Çizelge 4.8. Toprak ve bitki gövdesi besin elementi konsantrasyonları (mg kg<sup>-1</sup>)

Uygulamalar			Besin Elementi Konsantrasyonları (mg kg <sup>-1</sup> )				
Mikoriza	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn	CaCl <sub>2</sub> ekstrakte edilebilir Zn	Fe	Ca	
M+	0	0	73 i	0.1 l	107.6 e	12677 ab	
		750	821 h	14.3 hi	160.3 de	12488 ab	
		1500	1583 c	52.3 f	149.1 de	10571 fg	
	3	0	98 i	0.1 l	93.1 e	11388 cdef	
		750	1239 ef	11.7 k	356.5 a	12102 bcd	
		1500	1887 a	55.5 e	208.1 cd	10118 g	
	6	0	94 i	0.11 l	127.1 e	12632 ab	
		750	1154 f	16.7 g	332.3 a	11860 bcde	
		1500	1948 a	61.6 d	316.2 ab	11223 def	
	M-	0	0	85 i	0.1 l	341.7 a	12152 bc
			750	969 g	15.9 gh	247.1 bc	11308 cdef
			1500	1395 d	67.3 c	203.7 cd	10538 fg
3		0	96 i	0.12 l	140.4 de	13166 a	
		750	935 g	12.9 ik	154.2 de	11183 ef	
		1500	1704 b	84.3 b	344.9 a	10868 fg	
6		0	113 i	0.1 l	128.2 e	10646 fg	
		750	1303 de	16.1 g	251 bc	10631 fg	
		1500	1547 c	86.7 a	330.1 a	11038 ef	

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Topraklar da 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. Dahası kırmızımsı-mor renkler bu bitkilerin yapraklarında görülmüştür. Bu renkler Zn toksisitesi belirtileri olarak adlandırılır. Ayrıca, Zn<sub>0</sub> ve Zn<sub>750</sub> mg kg<sup>-1</sup> de yaş ve kuru ağırlıklara 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 10.118-13.166 mg kg<sup>-1</sup> 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.

## KAYNAKLAR

- AYDEMİR O., AÇMA E., ARSLAN C., 1994. Çinko. Sistem Yayıncılık, İstanbul,. ISBN:975-7397-41-5.
- ALLOWAY, B.J., 1990. Heavy Metals in Soils. John Wiley & Sons, 1 Wiley Drive, Somerset, New Jersey
- ALLOWAY, B.J., 1995. Heavy Metals in Soils, 2nd edn. London, UK: Blackie Academic & Professional.
- BADAWY, S.H., HELAL, M.I.D., CHAUDRI, A.M., LAWLOR, K. and MCGRATH, S.P., 2002. Soil solid-phase controls lead activity in soil solution. J. Environ. Qual. 31:162-167.
- BAKER, A.J.M. and BROOKS, R.R., 1989. Terrestrial plants which hyperaccumulate metallic elements: A review of their distribution, ecology and phytochemistry. Biorecovery 1:81-126.
- BARAK, P.,and HELMKE, P.A., 1993. The chemistry of zinc. In: Robson AD, ed. Zinc in soil and plants. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1-13.
- BARMAN, S.C., SAHU R.K., BHARGAVA, S.K. and CHATERJEE, C., 2000. Distribution of heavy metals in wheat, mustard, and weed grown in field irrigated with industrial effluents. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 64:489-496.
- BAYRAKLI, F., 1983. Toprak Verimliliği ve Besleme. O.M.Ü.Ziraat Fakültesi Yayınları. Ders Notları No:2. Samsun.
- BECKETT, P.H.T., DAVIS, R.D., and BRIDLEY, P., 1979. The disposal of sewage sludge onto farmland. The scope of the problems of toxic elements. Water Pollut. Contr. 78:419-445.
- BEKIAROGLOU, P., and KARATAGLIS, S., 2002. The effect of lead and zinc on *Mentha spicata*. J. Agron. Crop Sci. 188:201-205.
- BERRY, W.L., and WALLACE, A., 1989. Zinc phytotoxicity. Physiological responses and diagnostic criteria for tissues and solutions. Soil Sci. 147:390-397.
- BINGHAM, F.T., PERVEY, F.J., and JARRELL, W.M., 1986. Metal toxicity to agricultural crops. Metal ions in biological systems. 20: 119-156.
- 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.
- BOLAN, N.S., 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in uptake of phosphorous by plants. Plants and Soil, 134:53-63.

- BONFANTE, P. and PEROTTO, S., 1995. Strategies of arbuscular mycorrhizal fungi when infecting host plants. *New Phytologist*, 130:3-21
- BOUYOUCOS, G. J., 1951. A Recalibration of the Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of the Soil. *Agronomy Journal*, 9: 434-438.
- ÇAKMAK, İ., YILMAZ, A., KALAYCI, M., EKİZ, 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.
- CALACE, N., PETRONIO, B.M., PICCIOLO, M. and PIETROLETTI, M., 2002. Heavy metal uptake by barley growing in polluted soils: Relationship with heavy metal speciation in soils. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 33:103-115.
- CAPPUYNS, V., SWENNEN, R., VANDAMME, A., NICLAES, M., 2006. Environmental impact of the former Pb-Zn mining and smelting in East Belgium. *Journal of Geochemical Exploration* 88: 6-9.
- CEBEL, N., 1989. <http://bahcebiz.com/>
- CHANEY, R.L. and GIORDANO, P.M., 1977. Microelements as related to plant deficiencies and toxicities. In, Elliott, L.F and Stevenson, F.J.(e.d.s) *Soils for management of organic wastes and waste waters*. American society of Agronomy, madison, wl. pp.234-279.
- CHANEY, R.L., 1993. Zinc phytotoxicity. In Robson AD, ed, *Zinc in Soils and Plants*. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 135-150.
- CHANG, A.C., GRANATO, T.C. and PAGE, A.L., 1992. A methodology for establishing phytotoxicity criteria for chromium, copper, nickel and zinc in agricultural I and application of municipal sewage sludges. *J. Environ. Qual.* 21:521-536.
- CHAPMAN, HD. and 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. and LEE, C.W., 1996. Micronutrient toxicity in French Marigold. *J. Plant Nutr.* 19:901-916.
- CUMMING, J.R. and TOMSETT, A.B., 1992. Metal tolerance in plant. Signal transduction and acclimation mechanisms. In D.C Adriano. *Biogeochemistry of trace metals*. Lewis publishers. pp. 329-364.
- COLLINS, S.C. 1982. Zinc. Effect of heavy metal pollution on plants. Vol 1. Effect of trace metals on plant function. Applied science publishers, NJ. pp. 145-169
- DAVIS, J.G., and PARKER, M.B., 1993. Zinc Toxicity symptom development and partitioning of biomass and zinc peanut plants. *Journal of Plant Nutrition*. 16(12):2353-2369.
- DAVISON, W., and ZHANG, H., 1994. In situ speciation measurements of trace components in natural waters using thin-films gels. *Nature*, 367-546.
- DIXON, R.K., RAO, M.V., and GRAG, V.K., 1994. In situ and In vitro Response of Mycorrhizal Fungi to Salt Stress, *Mycorrhiza News*, 5: 6-8.
- DOUDS, D.D., and SCHENCK, N.C., 1990. Relationship of colonization and sporulation by VA mycorrhizal fungi to plant nutrient and carbohydrate contents. *New Phytol.* 116:621-627.

- EBBS, S.D., LASAT, M.M., BRADY, D.J., CORNISH, J., GORDON, R. and KACHIAN, L.V., 1997. Phytoextraction of cadmium and zinc from a contaminated site. *J. Environ. Qual.* 26:1424-1430.
- EBBS, S.D. and KOCHIAN, L.V., 1997. Toxicity of zinc and copper to Brassica species: Implications for phytoremediation. *J. Environ. Qual.* 26:776-781.
- EKİZ, H., YILMAZ, A., GÜLTEKİN, İ., BAĞCI, S.A. TORUN, B., ÇAKMAK, İ., 1998. Konya Yöresinde Çinko Noksanlığı Üzerinde Yürütülen Araştırmalar Ve Sağlanan Gelişmeler.1.Ulusal Çinko Kongresi, 12-16 Mayıs 1997. Eskişehir.s 115-121. Adana.
- FONTES, R.L.S. and COX, F.R., 1998. Zinc toxicity in soybean grown at high iron concentration in nutrient solution. *J. Plant Nutr.* 21:1723-1730.
- FOY, C.D., CHANEY, R.L. and WHITE, M.C., 1978. The physiology of metal toxicity in plants. *Annu. Rev. Plant physiol.* 29: 213-240.
- FRIEDLAND, A., J. 1990. The movement of metals through soils and ecosystems. In: Shaw AJ, ed. Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 7-19.
- GEORGE, E., 2000. Nutrient Uptake, Contributions of Arbuscular Mycorrhizal Fungi to Plant Mineral Nutrition. In: Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. Eds. By Kapulnik and D.D. Douds, Jr. Kluwer academic Publishers. London.
- GIANQUINTO, G., ABU-RAYYAN, A., TOLA, LD., PICCOTINO, D., and 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.
- GLASS, D.J., 2000. Economic potential of phytoremediation. In I. Raskin and B. D. Ensley (ed.) *Phytoremediation of toxic metals*. J. Willey & Sons, New York.
- GOLUB, M.S., TAKEUCHI, P.T., KEEN, C.L., 1994. Modulation of behavioral performance of prepubertal monkeys by moderate dietary zinc deprivation. *Am J Clin Nutr*; 60: 238–243.
- GUADALIX, M.E. and PARDO, M.T., 1995. Zinc sorption by acid tropical soils as affected by cultivation. *J. Soil Sci.* 46:47-51.
- GUPTA, R., SATAYANARAYANA, T., GARG, S., 2000. Ectomycorrhiza – An Overview, In: *Mycorrhizal Biology*, (Ed. by K.G. Mukerji, B.P. Chamola, J. Singh), Kluwer Academic, 27-44.
- 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. Adana
- HAYMAN, D.S., 1970. Endogone spore numbers in soil and soil treatment. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 54:53-63.
- HAYMAN, D.S., 1975. Phosphorus cycling by soil micro-organisms and plant root. In *soil microbiology*. Ed. Walker. N. London
- HAN, F.X., KINGERY, W.L., SELİM, H.M. ve GERALD, P.D., 2000. Accumulation of heavy metals in long-term poultry waste-amended soil. *Soil Sci.* 165: 260–268.
- HARE, L. and TESSIER, A., 1996. Predicting animal cadmium concentrations in lakes. *Nature* 360: 430–432.
- HOODA, P.S., ZHANG, H., DAVISON, W. and EDWARDS, A.C., 1999. Measuring bioavailable trace metals by diffusive gradients in thin films

- (DGT): soil moisture effects on its performance in soils. *Euro. J. of Soi. Sci.* 50: 285–295.
- HOUBA, V.J.G., NOVOZAMSKY, I., LEXMOND, T.H.M. and. VAN DER LEE. J.J., 1990. Applicability of 0.01 M CaCl<sub>2</sub> as a single extraction solution for the assessment of the nutrient status of the soils and other diagnostic purposes. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*
- JACKSON, M.L., 1962. *Soil Chemical Analysis*. Printice-Hall Inc. 183.21:2281-2290.
- KACAR, B., 1998. Toprakta Çinkonun Bulunuşu, Yarayışliliği Ve Tepkimeleri. 1. Ulusal Çinko Kongresi, 12–16 Mayıs 1997, Eskişehir. s. 47–60. Adana.
- KARANLIK, S., ERENOĞLU, B., DERİCİ, M.R., ve ÇAKMAK, İ., 1998. Orta Anadolu, Çukurova ve GAP Bölgeleri topraklarının değişik fraksiyonlarındaki mikroelement konsantrasyonlarının belirlenmesi. I. Ulusal Çinko Kongresi (Tarım, Gıda ve Sağlık), 783-786.
- KAYA, C. and HIGGS, D., 2001. Growth enhancement by supplementary phosphorus and iron in tomato cultivars grown hydroponically at high zinc. *24(12):1861-1870.*
- KIEKENS, L., 1990. Zinc in Heavy Metals in Soils. Ed. Alloway, B.J. 2nd ed. Blackie Academic and Professional, Glasgow. pp. 284-305.
- KHURUNA, N. and CHATTERJEE, C., 2001. Influence of variable zinc on yield, oil content, and physiology of sunflower. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32:3023-3030.
- KHAN, H.R, MCDONALD, K. VE RENGEL, Z., 2003. Zn fertilization improves water use efficiency. Grain yield and seed Zn content in chickpea. *Plant and soil* 249: 389–400.
- LAMBI, E., ZHAO, F.J., DUNHAM, S.J. and MCGRATH, S.P., 2001. Phytoremediation of heavy metal-contaminated soils: Natural hyperaccumulation versus chemically enhanced phytoextraction. *J. Environ. Qual.* 30:1919-1926.
- LASAT, M.M., 2002. Phytoextraction of toxic metals: a review of biological mechanisms. *J. Environ. Qual.* 31:109-120.
- LASAT, M.M., PENCE, N.S. GARVIN, D.F., EBBS, S.D. and KOCHIAN, L.V., 2000. Molecular physiology of zinc transport in the Zn hyperaccumulation in *Thlaspi caerulescens*. *Plant Physiol.* 118:875-883.
- LEE, C.W., CHOI, J.M. and PAK, C.H., 1996a. Micronutrient toxicity in seed geranium (*Pelargonium × hortorum* Barley). *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 121:77-82.
- LINDSAY, W.L. ve NORVELL, W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:421-428.
- LINDSAY., 1991. Inorganic equilibria affecting micronutrient in soils. In micronutrient in agriculture. Eds. Mortvedt, J.J., Cox, F.R., Shuman, L.M. ve Welch. R.M. Soil science society of America, Madison WI. pp. 90-112.
- LI, X. L., MARSCHNER, H., And GEORGE, E., 1991 a. Phosphorus depletion and pH decrease at the root-soil and hyphae-soil interfaces of VA mycorrhizal white clover fertilized with ammonium. *New Phytologist* 119, 397-404
- MAENPAA, K.A., KUKKONEN, J.V.K. and LYDY, M.J., 2002. Remediation of Heavy Metal-Contaminated Soils Using Phosphorus: Evaluation of Bioavailability Using an Earthworm Bioassay. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 43: 389-398.

- MEJARE, M. and BULOW, L., 2001. Metal-binding proteins and peptides in bioremediation and phytoremediation of heavy metals. *Trends Biotechnol.* 19: 67-73.
- MENGEL K., and E.A. KIRKBY.,1982. Principles of Plant Nutrition .3 rd Edition.International Potash Institute Bern, Switzerland
- MENGE, J.A., 1982. Predicting mycorrhizal dependency of troyer citrange on *Glomus fasciculatus* in California citrus soils and nursery mixes. *Soil Sci. Soc am.J.*46, 762-768.
- MCKENZIE, M.B., 1994. Environmental chemistry of soils. Oxford University Press, Inc. NY.
- MCKENZIE, M.B., E.A. NIBARGER, B.K. RICHARDS, and T. STEENHUIS. 2003. Trace Metal Accumulation by Red Clover Grown on sewage Sludge-Amended Soils and Correlation to Mehlich 3 and Calcium Chloride-Extractable Metals. *Soil Sci.* 168:29-38.
- MILLER, R.R., 1996. Phytoremediation. Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center (GWRTAC) report TO-96-03. [Http://www.gwrtac.org](http://www.gwrtac.org).
- MCKENZIE, R.M., 1980. The adsorption of lead Ve other heavy metals on oxides of manganese and iron. *Aust. J. Soil Res.* 18: 61–73.
- 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.
- MULCHI, C.L., ADAMU, C.A., BELL, P.F. and CHANEY, R.L., 1991. Residual heavy metal concentrations in sludge amended coastal plain soils-I.Comparisons of extractants. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 22:1053-1069.
- MUT, Z., GÜLÜMSER, A., 2005. Bakteri aşılamaşı ile birlikte Zn ve Mo uygulama sının damla-89 nohut çeşidinin bazı kalite özelliklerine etkileri. *OMÜ Zir. Fak. Dergisi*, 2005,20(2):1-10 *J. of Fac. of Agric., OMU*, 2005,20(2):1-10
- MONTILLA, I., PARRA, M.A. and TORRENT, J., 2003. Zinc phytotoxicity to oilseed rape grown on zinc-loaded substrates consisting of Fe oxide-coated and calcite sand. *Plant and Soil.* 257:227-236.
- MOSSEA, B., 1981. Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza Research For Tropical Agriculture. Research Bulletin. Hawaii Institute Of Tropical agriculture And Human Resources. 82p.
- NELSON, R.E., 1982. Carbonate and Gypsum. In. A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (ed.), *Methods of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties* 2<sup>nd</sup> Edition. Agronomy No: 9. Am. Soc. of Agronomy and Soil Sci. Soc. of Am. Inc. Publisher, Madison, Wisconsin USA. p. 181-196.
- NRÍAGU, J.O., 1980. Zinc in the environment. John Willey & Sons, Inc. New York.
- NRÍAGU, J.O., 1991. Human influence on the global cycling of trace metals. In *Heavy Metals in the Environment*, vol.1. International Conference. Farmer, J. G. Edinburgh, Scotland.
- NRIAGU, J.O., 1996. A history of global metal pollution. *Science* 272: 223–224.
- ÖZBEK, H., KAYA, Z., GÖK, M., KAPTAN, H., 2001. Ç.Ü. Ziraat Fak. Genel Yayın No:73 Ders Kitaplari. Yayın No: A-16 Toprak Bilimi. Adana.
- PATTERSON, J.B.E., 1971. Metal toxicities arising from industry. In *trace elements in soils and crops*. *Minagric. Fish. Food, Tech. Bull.* 21: 193-207.



- PERRONNET, K., SCHWARTZ, C., GERARD, E., and MORE, J.L., 2000. Availability of cadmium and zinc accumulation in the leaves of *Thlaspi caurulescens* incorporated into soil. *Plant Soil* 227:257-263.
- RAUSER, W.E., 1990. Phytochelatins. *Annu. Rev. Biochem.* 59: 61-86.
- REDDY, N.R. VE PERKINS, H.F., 1974. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38: 229.
- 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.
- RIEUWERTS, J.S., THORNTON, I., FARAGO, M.E., and ASHMORE, M.R., 1998. Factors influencing metal bioavailability in soils. *Chem Speciat Bioavailab* 10:61-75.
- ROBINSON, B., 2001. Professor Robert Richard Brooks: The godfather of hyperaccumulator plants, phytoremediation and phytomining. *WISPAS Newsletter No. 77*. HortResearch, Palmerston North, New Zealand.
- 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., PIERZYNSKI, G.M., 2005. Assessment of zinc phytoavailability by diffusive gradients in thin films. Department of Agronomy, Throckmorton Plant Sciences Center, Kansas State University, Manhattan, Kansas 66506-5501, USA.
- SÖNMEZ, O., AYDEMİR, S., and 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.* (In press).
- SMITH, S., and READ, DJ., 1997. *Mycorrhizal Symbiosis*. Second Edition. Academic Pres. London.
- STEVENSON, F.J. and COLE, M.A., 1999. *Cycles of soil*. 2<sup>nd</sup> edition. John Wiley & Sons, New York, USA.
- SUMNER, M.E. and 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
- O'KEEFE, D.M., and SYLVIA, D.M., 1991. Mechanisms of the vesicular-arbuscular mycorrhizal plant-growth response. P. 35-54. In D.K. Arora et al. (ed.) *handbook of applied mycology*. Marcel Dekker, New York
- OLSAN, R.V., and R.ELLIS, J.R., 1982. Iron. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological properties-Agronomy Monograph No.9:159-165*. ASA-SSSA, madison, Wisconsin, USA.
- ORTAŞ, İ., 1994. The effect of different forms and rates of nitrogen and different rates of phosphorus fertilizer on rhizosphere phandp uptake in mycorrhizal and non-mycorrhizal sorghum plants. Ph. D. Thesis 1994, University of Reading, Reading, UK.
- ORTAŞ, İ., 1997. Mikoriza nedir?. *TUBİTAK dergisi*. Ankara. Şubat 1997 sayı 351

- ORTAŞ, İ., KAYA, Z., and ÇAKMAK, İ., 2001. Influence of Arbuscular Mycorrhizae Inoculation 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
- ÖZCAN, H., ve TABAN, S., 2000 .VA-mycorrhiza'nın alkalın ve asit toprakta yetiştirilen mısır bitkisinin gelişimi ile fosfor, çinko, demir, bakır ve mangan konsantrasyonları üzerine etkisi. *Turkj.agric.For.*24:629-635.
- THOMAS, G.W., 1982. Exchangeable Cations. In. A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (ed.), *Methods of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties 2<sup>nd</sup> Edition*. Agronomy Series No: 9. Am. Soc. of Agronomy and Soil Sci. Soc. of Am. Inc. Publisher, Madison, Wisconsin USA. p.159-164.
- 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.
- USEPA., 2000. Introduction to phytoremediation. National Risk Management Research Lab., Office of Research and Development. Cincinnati. OH. EPA/600/R-99/1 09.
- WAGNER, G.J. and KROTZ, R.M., 1989. Perspective on cadmium and zinc accumulation, accommodation and tolerance in plant cells. The role of cadmium-binding peptide versus other mechanisms. pp. 325-336.
- WOOLHOUSE, H.W., 1983. Toxicity and tolerance in the responses of plants to metals. pp. 246-300. In o.l. Lange et.al. *Physiological plant ecology III. Responses to the chemical and Biological environment*. Springer- Verlag, Newyork.
- YILMAZ, A., EKİZ, H., TORUN, B., GÜLTEKİN, İ., KARANLIK, S., BAĞCI, S. and 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.
- YOO, M.S. and JAMES, B.R., 2002. Zinc extractability as a function of pH in organic waste-amended soils. *Soil Sci.* 167.246–259.
- ZAYED, A.M. and TERRY, N., 1994. Selenium volatilization in roots and shoots: Effects of shoot removal and sulfate level. *J. Plant Physiol.* 143:8-14.
- ZHANG, H., DAVISON, W., KNIGHT, B., and MCGRATH, S., 1998. In situ measurements of solution concentrations and fluxes of trace metals in soils using DGT. *Environ Sci Technol* 32:704-710.
- ZHANG, H., ZHAO, F.J., SUN, B., DAVISON, W, and MCGRATH, S.P, 2001. A new method to measure effective soil solution concentration predicts copper availability to plants. *Environ. Sci. Technol.* 35:2602-2607.

## **ÖZGEÇMİŞ**

1982 yılında Gaziantep'in Nizip ilçesinde doğdu. İlköğretim ve Lise Eğitimini Nizip'te tamamladı. 2000 yılında başladığı Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü'nden 2005 yılında mezun oldu. 2006 öğretim yılı şubat ayın da Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü'nde Yüksek lisans öğrenimine başladı. 2007 Haziran ayında Gaziantep Valiliğine bağlı bir projede şube müdürü olarak göreve başladı. Halen aynı yerde çalışmaktadır.

## ÖZET

Çinko bitkiler için gerekli bir besin elementidir. Genellikle topraklarda düşük konsantrasyonda bulunur. Bununla beraber toprakta insan etkisiyle oluşan çinko bitkiler zehir etkisi yapacak seviyeye çıkarabilir. Metal toksisitesi, metallerin toprak dışındaki toplam miktarından çok biyo-yarayırlılığına bağlıdır. Metal biyo-yarayırlılığının belirlenmesi zordur. Çünkü biyo-yarayırlılık birçok toprak özellikleri tarafından etkilenir.

Çinko bio-yarayırlılığı üzerine Fe uygulamalarının etkisini belirlemek için bir sera denemesi kurulmuştur. Topraklar 120°C de 15 dk da iki kez sterilize edilmiştir. Topraklara ZnSO<sub>4</sub> çözeltisinden Zn<sub>0</sub>, Zn<sub>750</sub>, Zn<sub>1500</sub> ilave edilmiştir. Demir oranlarından da Fe<sub>0</sub>, Fe<sub>3</sub>, Fe<sub>6</sub> oranlarda saksılara karıştırılmıştır. Saksılara besin çözeltisi olarak Hoagland solüsyonu verilmiştir.

Sonuçlar gösterdi ki; toprağa ilave edilen Zn suda çözünebilir Zn miktarını arttırmıştır. Mikorizanın topraktaki Zn üzerine bir etkisi olmamıştır. Fakat bitki bünyesinde ki besin konsantrasyonunu arttırmıştır. Uygulanan Fe topraktaki Zn biyo-yarayırlılığını üzerine bir etki olmamıştır. Topraktaki Zn biyo-yarayırlılığı üzerine Fe ve mikoriza uygulamalarının etkilerinin belirlenmesi için daha fazla çalışmalara gerek duyulmaktadır.

## SUMMARY

Zinc is required element for plants. It usually in low concentrations in soil. However, anthropogenic sources can increase soil zinc to a level toxic to plants. Metal toxicity is related to bioavailability rather than the total concentration of metal in soil. The assesment of metal bioavaibility is difficult because bioavaibility is influenced by many soil.

A greenhouse study was conducted to assess the influence of mycorrhiza and Fe on phytoavailability of Zn. Soils was sterilized twice at 120 0°C for 15 minutes. Soils then amended with ZnSO<sub>4</sub> at rates of Zn<sub>0</sub>, Zn<sub>750</sub>, Zn<sub>1500</sub>. The rates of Fe applied were Fe<sub>0</sub>, Fe<sub>3</sub>, Fe<sub>6</sub> ve 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>-extactable 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.