

Tohuma Çinko Uygulama Metodunun Su Kültürü Koşullarında Mısırın Kuru Madde Verimi ve Çinko Konsantrasyonu Üzerine Etkisinin Belirlenmesi

Ayfer ALKAN TORUN^{1*}Abdullah ER¹Halil ERDEM²Bülent TORUN¹¹Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Adana²Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Tokat

*Sorumlu yazar e-posta (Corresponding author e-mail) : atorun@cu.edu.tr

Geliş tarihi (Received) : 01.07.2016

Kabul tarihi (Accepted) : 21.10.2016

Öz

Çinko (Zn) bitkisel üretimin ve ürün kalitesinin artırılmasında önemli bir mikroelementtir. Ayrıca taneldeki Zn yetersizliği beslenmede dolayısıyla insan sağlığında da ciddi bir problem olarak ortaya çıkabilmektedir. Bu noksanlığının giderilmesi amacıyla, tohumun ekim öncesi Zn'lu çözeltilerde bekletilmesi sahip olduğu birçok avantaj nedeniyle son zamanlarda ön plana çıkmış olan bir metottür. Kontrollü koşullarda su kültüründe bu konuda yürütülmüş bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma Zn uygulamalı (Zn1:1 μM ZnSO₄) ve uygulamaz (Zn0: 0 μM ZnSO₄) ortamda farklı zaman aralıklarında (0 dk, 1 dk, 10 dk, 30 dk ve 60 dk) 5 mM ZnSO₄ çözeltilerinde bekletilmiş mısır (*Zea mays* L.) tohumlarından elde edilen yaklaşık 12 (I. hasat) ve 20 günlük (II. hasat) bitkilerin Zn noksanlığı semptom şiddeti, kök ve yeşil aksam kuru madde verimi ile kök ve yeşil aksam Zn konsantrasyonu üzerine etkisini ortaya koymak amacıyla su kültüründe gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, çözeltilerden Zn uygulanmadığında farklı zaman aralıklarında Zn çözeltilerinde bekletilmiş tohumlardan elde edilen bitkilerin her iki hasatta da kontrole göre, hem kök hem de yeşil aksam kuru madde verimi ve Zn konsantrasyonunun arttığı belirlenmiştir. Kuru madde verimi açısından sözkonusu artışlar, özellikle II. hasatta çözeltilerde bekletilme süresiyle doğru orantılı olmuştur. Çinko konsantrasyonu ise, kuru madde veriminin aksine I. hasatta daha yüksek iken II. hasatta azalmıştır. Özellikle çözeltilerden Zn'nun uygulanmadığı koşullarda I. hasata ait yeşil aksam ve kök Zn konsantrasyonu II. hasattan daha yüksek bulunmuştur. Sonuç olarak, yetiştirme ortamında Zn'nun yetersiz olduğu koşullarda mısır tohumunu Zn çözeltilerinde bekletmenin bitkinin Zn noksanlığı semptom şiddeti, kuru madde verimi ve Zn konsantrasyonu üzerinde önemli etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çinko, çözeltilerde bekletme uygulaması, mısır, noksanlık

Determination of Influence of Zinc Application through Seed Treatment Method on Dry Matter Yield and Zinc Concentration of Corn in Hydroponic Culture Conditions

Abstract

Zinc (Zn) is an important microelement in increasing the yield and quality of plant production. In addition, zinc deficiency in the seed can be a nutritional problem and therefore a serious problem in

human health. In order to overcome the problem Zn application method as priming of seeds in dilute Zn solutions prior to sowing recently came to forward because of having many advantages. No studies under controlled conditions could be met in literature regarding on this subject. This study aimed to find out the effect of plants obtained from seeds of corn (*Zea mays* L.) which have been soaked in 5 mM ZnSO₄ at different time periods (0 min, 1 min, 10 min, 30 min and 60 min) grown in with Zn (Zn: 1 µM ZnSO₄) and without Zn (Zn: 0 µM ZnSO₄) conditions for approximately 12 days (I. harvest) and 20 days (II. harvest) on the severity of Zn deficiency symptoms, root and shoot dry matter yield, as well as the concentration of Zn in shoot and root in a hydroponic experiment. In this experiment, increases in dry weight and Zn concentration both in shoots and roots of 12 and 20 days harvested plants which of seeds were soaked in Zn solution at different time periods have been seen in comparison with the control plants. Mentioned increases with respect to dry matter yield increased parallel to the soaking time of seeds in solution especially at II. harvest. In contrast to dry matter yield, Zn concentration was higher in plants obtained at I. harvest while it decreased in plants obtained at II. harvest. Zinc concentrations of plants were found to be higher at I. harvest than those of the ones obtained at II. harvest particularly under the conditions of without Zn application from the solution. As a result, it has been determined that the application method of soaking of the seeds in Zn solution at a certain time has a significant effect on the severity of symptoms of Zn deficiency, dry matter yield and Zn concentration.

Key Words: Zinc, seed dressing, corn, deficiency

GİRİŞ

Çinko (Zn) noksanlığı dünyada (Ortiz-Manasterio vd., 2007) ve Türkiye’de (Cakmak vd., 2004) çok rastlanan bir mikrobesein elementi problemi olup, dünyada tarım yapılan toprakların % 50’sinde bitkiye yararlı Zn’nun düşük olduğu ortaya konulmuştur. Türkiye’nin de tarım yapılan topraklarının % 50’inde ve en önemli tahıl yetiştirme alanı olan Orta Anadolu Bölgesi’ nin % 80’inde Zn noksanlığı mevcuttur (Cakmak vd., 2004). Topraklardaki Zn noksanlığı ile uyumlu olarak, günümüzde dünyada (Gibson, 2006) ve Türkiye’de insanlarda çok yaygın bir biçimde Zn noksanlığı görülmektedir (Cakmak vd., 1999).

Bitkilerdeki Zn noksanlığının giderilmesinde en yaygın olarak kullanılan topraktan Zn uygulama yöntemi bitkisel verimi arttırmada etkin bir yöntem iken (Cakmak vd., 1997; Ekiz vd., 1998; Zhang vd., 2007; Wissuwa vd., 2006), bunun tanedeki Zn’nun insan beslenmesine katkı sağlayıcı boyutta bir artış sağlamada tek başına yeterince etkili bir yol olmadığı belirtilmiştir. Yılmaz ve vd., (1997) tarafından buğdayda yürütülen bir çalışmada Zn’nun toprak, yaprak, tohum, toprak+yaprak ve yaprak+tohum uygulamasıyla, kontrole göre tane veriminde önemli bir artışın sağlandığı belirlenmiştir. İlgili çalışmada yalnızca toprak uygulamasında tane Zn konsantrasyonu 17 mg kg⁻¹ iken, yaprak, toprak+yaprak ve tohum+yaprak uygulamalarında aynı değerlerin 27-35 mg kg⁻¹ arasında değiştiği

görülmüştür. Yapraktan Zn uygulama zamanının da tane Zn’sunun arttırılmasında çok önemli bir faktör olduğu bildirilmiştir (Öztürk vd., 2006; Cakmak, 2008). Tane dolum aşamasında buğday tanesindeki Zn konsantrasyonunun değişiminin izlendiği bir çalışmada, tanede en yüksek Zn konsantrasyonunun süt dolum döneminde gerçekleştiği görülmüştür (Öztürk vd., 2006).

Tanedeki mikroelement içeriğinin arttırılmasında topraktan ve yapraktan gübreleme yöntemlerinin yanı sıra, literatürlerde “seed priming” veya “seed dressing” olarak ifade edilen tanenin mikroelement içeren çözeltide bekletilmesinin (Prom-u-thai vd., 2012) ekim öncesi tanedeki mikroelement içeriğini arttırmada en pratik ve kolay uygulanabilir yöntemlerinden biri olduğu son yıllarda tarla koşullarında yapılan birçok çalışmayla gösterilmiştir (Ajourı vd., 2004; Foti vd., 2008; Harris vd., 2007; Afzal, 2013). Bu çerçevede Harris vd., (2007) tarafından ekim öncesi tanenin Zn içeren çözeltilerde bekletilmesinin pratik bir yöntem olduğu ve daha iyi bir çimlenmeye yol açtığı bildirilmiştir. İlgili çalışmada, mısır tohumu % 1’lik ZnSO₄ çözeltisinde 16 saat bekletildikten sonra ekimi yapılmış ve % 1’lik ZnSO₄ çözeltisi ile doyurulmadan önce tohumdaki Zn konsantrasyonu 15 mg kg⁻¹ olduğu sonrasında bu değer 560 mg kg⁻¹ olduğu bildirilmiştir. Zn’lu çözeltide bekletilmiş tohumlardan elde edilen bitkinin daha fazla biyomas ürettiği ve

daha fazla dane verimi gerçekleştirerek kontrole göre % 27'lik bir verim artışı sağladığı belirtilmiştir. Bu da ekimden önce tohumların Zn'lu çözeltilde bekletilmesinin yalnızca tane Zn'sunun artışı için değil, verim artışında da etkili olduğuna işaret etmektedir. Çalışmada karlılık/maliyet oranı toprak uygulamasında düşük iken, tohumdan uygulamada yüksek olduğu bildirilmiştir. Toprakta hektara 2,75 kg Zn atılmasına karşılık, tohum doyurulma işleminde 1 kg tohumun 1,5 litrelik % 1'lik Zn çözeltisi ile muamele edilmesi de maliyette önemli bir tasarruf sağladığı tespit edilmiştir.

Özellikle tohumun Zn'lu çözeltilde bekletilmesi uygulama şekli ve uygulama zamanının birçok bitki gruplarında kontrollü şartlar altında su kültürü ortamında etkisine ilişkin çalışmalar neredeyse yok dencek azdır. Örneğin ülkemizin ve özellikle Çukurova Bölgesi' nin önemli bitkisel üretim gruplarından birini oluşturan mısır bitkisinde bu konuda çalışmalar son derece yetersizdir. Bu nedenle yürütülen bu çalışmada, sera koşulları altında çözeltilde Zn uygulanan ve uygulanmayan su kültürü ortamında, Zn çözeltisi içerisinde bekletilerek Zn ile zenginleştirilmiş mısır tohumlarının bünyelerine aldıkları Zn'nun deneme süresince bitkilerde Zn eksikliği semptomları, kök ve yeşil aksam kuru madde verimi ve kök ve yeşil aksam Zn konsantrasyonu üzerine etkisinin iki farklı hasatla ortaya konulması amaçlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

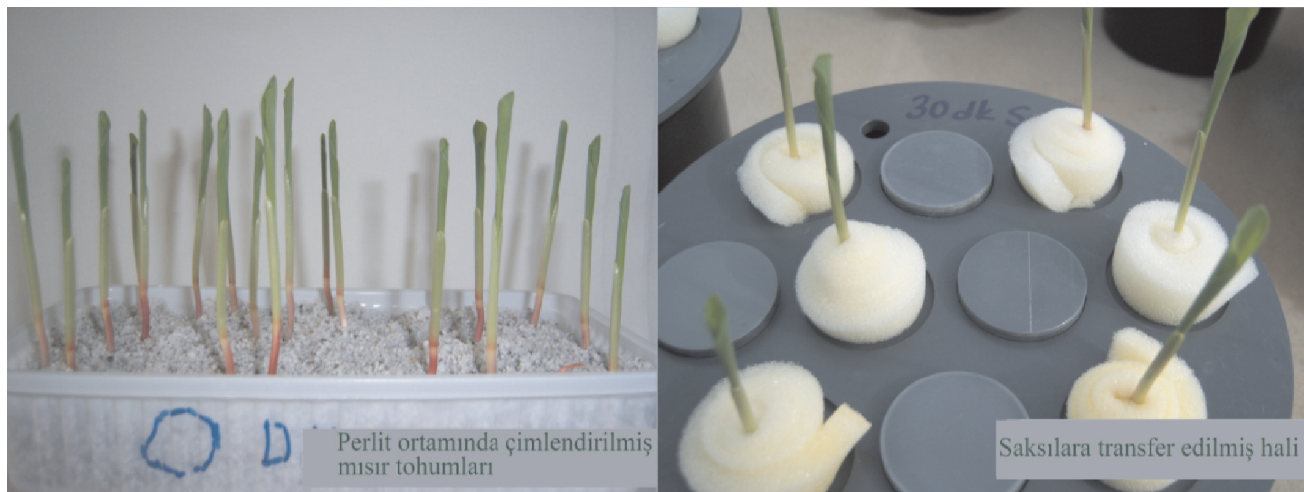
Su kültürü denemesinde bitki materyali olarak iyi çimlenme özelliğine sahip Yeni Doga mısır (*Zea mays* L.) çeşidi kullanılmıştır. Su kültürü koşullarında

yürütülen deneme, farklı zaman aralıklarında (1 dk, 10 dk, 30 dk, ve 60 dk) 5 mM ZnSO₄ çözeltisinde bekletilmiş tohumların deneme süresince besin çözeltisine Zn uygulanmamış (Zn0) ve 1 µM Zn uygulanmış (Zn1) ortamlarda yetiştirilen 2 farklı konudan oluşmuştur.

Tohumlar, içerisinde perlit bulunan çimlenme kutularına ekilmiş ve 4-5 gün içerisinde transfer büyüklüğüne ulaşan bitkiler, içerisinde mısır bitkisi için hazırlanmış besin çözeltisi (2.0 mM Ca(NO₃)₂; 0.7 mM K₂SO₄; 0.1 mM KH₂PO₄; 0.1 mM KCl; 0.5 mM MgSO₄; 1 µM H₃BO₃; 0.5 µM MnSO₄; 100 µM Fe-EDTA; 0.2 µM CuSO₄; 0.01 µM (NH₄)₆ Mo₇O₂₄) bulunan saksılara her saksıda 6 bitki olacak şekilde transfer edilmiştir (Şekil 1).

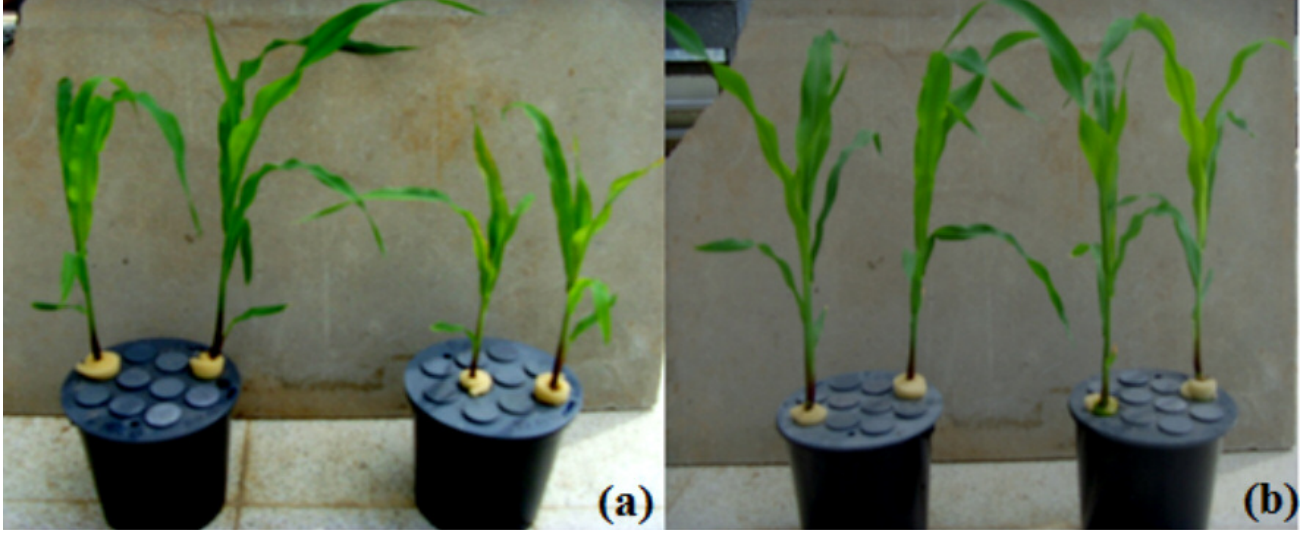
Bitkiler 4 gerçek yapraklı aşamaya gelinceye kadar düşük düzeyde (1/2) besin çözeltisi ile yetiştirilmiş ve bu aşamadan sonra bu doz iki katına çıkarılmıştır. Bitkilerin bulunduğu besin çözeltisi ortamı deneme süresince havalandırılarak, her üç günde bir yenisi ile değiştirilmiş ve saksıların yerleri değiştirilerek ışık ve sıcaklıktan tüm bitkilerin eşit şekilde yararlanmaları sağlanmıştır. Deneme süresince I. hasatta 4 bitki, II. hasatta 2 bitki hasat edilmiştir (Şekil 2).

Çinko noksanlığı semptomları hafif görülmeye başladığında ve bitkiler 12 günlükken I. hasat ve noksanlık semptomları iyice şiddetlendiğinde (20 günlük) II. hasat yapılmıştır. Saksı yüzeyinin 2 cm üzerinden porselen makas kullanılarak hasat edilen bitki materyalleri saf su ile yıkanarak 48 saat boyunca 70 °C'ye ayarlanmış etüvde kurutulup, kuru ağırlıkları alınmıştır. Agat değirmeninde öğütülen ve analize hazır hale getirilen bitki örneklerinden 0,2 g alınmış



Şekil 1. Perlit ortamında çimlendirilmiş mısır tohumları ve transfer büyüklüğüne gelen bitkilerin süngerle bitki kök boğazından sarılarak saksılara yerleştirilmiş hali

Figure 1. Corn seeds germinated in perlite medium and the the view of placed in pots of the seedlings grown to the transferable height and wrapped with sponge from root collar



Şekil 2. Solda çözeltilerden Zn uygulanmayan ve ekim öncesi tohumu 60 dk Zn çözeltisinde bekletilen bitki ve sağda kontrol bitkisi (a), deneme süresince besin çözeltisine Zn uygulanmış (soldaki) bitki ile ekim öncesi tohumu 60 dk. $ZnSO_4$ çözeltisinde bekletilmiş ve besin çözeltisine Zn uygulanmamış (sağdaki) bitki (b)

Figure 2. The plant not applied Zn and soaked 60 min in Zn solution before sowing at left and the control plant at right (a) The plant applied Zn during the experiment (at left) with the plant soaked 60 min $ZnSO_4$ solution and the plant not applied Zn (at right) (b)

ve yaş yakma metoduna göre Milestone marka mikrodalga fırınında 2 ml H_2O_2 - 5 ml HNO_3 asit karışımında 45 dk süreyle yakılıp, mavi bantlı filtre kağıdında süzölmüştür. Süzölen örneklerin son hacmi saf su ile 20 ml'ye tamamlanmış ve elde edilen süzükte Zn ölçümü AAS cihazında yapılmıştır.

Araştırma tesadüf parselleri deneme desenine göre, üç tekerrürlü olarak kurulmuş ve elde edilen veriler MSTAT-C bilgisayar programı kullanılarak istatistiksel analiz yapılmış, ortalamalar arasındaki farklar Duncan ile belirlenmiştir. Elde edilen değerler çizelge ve şekillerde ortalama \pm standart hata şeklinde ifade edilmiştir. Karşılaştırmalarda önem seviyesi $p \leq 0,05$ olarak alınmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada mısır bitkisinin Zn noksanlığı semptomları gözlenmiş, yeşil aksam ve kök kuru madde verimi ($g\ bitki^{-1}$) ile yeşil aksam ve kök Zn konsantrasyon ($mg\ kg^{-1}$) değerleri belirlenmiştir.

Çinko Noksanlığı Semptomları

Çinko noksanlığı semptomları, bitkilerin su kültürüne transferinden 8-9 gün sonra çözeltilerden Zn verilmeyen bitkilerin genç yapraklarında damarlar arası sararmalar şeklinde kendini göstermiştir (Şekil 3). Çinko noksanlığı semptomları gösteren bitkilerin boyu ve boğum araları, tam besin çözeltisi verilen bitkilere göre daha kısa olduğu gözlenmiştir. Deneme sonuçları Cakmak vd., (2010) ile uyumlu Zn noksanlık belirtileri göstermiştir.



Şekil 3. Çinko verilmeyen bitkilerde tipik genç yapraklarda sararmış damarlar arası sararmalar

Figure 3. Typical chlorotic interveinal necrosis on young leaves not given zinc

Çinko uygulanmayan koşullarda, farklı zaman aralıklarında Zn çözeltisinde bekletilmiş bitkilerden sadece tohumu 60 dk Zn çözeltisinde bekletilmiş bitkiler Zn uygulanmış bitkilerle aynı gelişimi göstermiştir (Şekil 2). Çinko uygulanmayan saksılarda bitki büyümesinde gerileme ve yapraklarında Zn noksanlığı belirtileri gözlenmiştir.

Yeşil Aksam ve Kök Kuru Madde Verimi (I. Hasat)

Ekim öncesi tohumları farklı zaman (1dk, 10 dk, 30 dk ve 60 dk) aralıklarında 5 mM $ZnSO_4$ çözelti içerisinde bekletilen mısır bitkisinin su kültürü koşullarında kök ve yeşil aksam kuru madde verimleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Cizelge 1. Deneme süresince çözeltilerden Zn'nun uygulandığı ve uygulanmadığı su kültürü ortamında, ekim öncesi tohumu farklı zaman aralıklarında (1 dk, 10 dk, 30 dk ve 60 dk) 5 mM ZnSO₄ çözeltisinde bekletilerek Zn ile zenginleştirilmiş mısır bitkisinin I. ve II. hasatta saptanan yeşil aksam (g bitki⁻¹) ve kök (g kök⁻¹) kuru madde verimi (Ortalama ± standart hata)

Table 1. Shoot (g plant⁻¹) and root (g root⁻¹) dry matter yield of corn plants having seeds soaked in 5 mM ZnSO₄ solution at different durations (1 min, 10 min, 30 min and 60 min) before sowing determined at I. and II. harvest under hydroponic media with Zn and without Zn application (Mean ±SE)

Uygulama	I. Hasat				II. Hasat			
	Yeşil Aksam		Kök		Yeşil Aksam		Kök	
	Zn(-) (g bitki ⁻¹)	Zn(+) (g bitki ⁻¹)	Zn(-) (g kök ⁻¹)	Zn(+) (g kök ⁻¹)	Zn(-) (g bitki ⁻¹)	Zn(+) (g bitki ⁻¹)	Zn(-) (g kök ⁻¹)	Zn(+) (g kök ⁻¹)
Kontrol	0,30 ±0,01b	0,36 ±0,01	0,28 ±0,02	0,24 ±0,01	0,28 ±0,02c	0,72 ±0,02	0,25 ±0,01	0,29 ±0,05
1 dk	0,35 ±0,02a	0,33 ±0,04	0,25 ±0,02	0,23 ±0,01	0,37 ±0,05bc	0,79 ±0,02	0,27 ±0,04	0,29 ±0,02
10 dk	0,33 ±0,01ab	0,32 ±0,02	0,23 ±0,03	0,23 ±0,04	0,58 ±0,12ab	0,74 ±0,02	0,36 ±0,07	0,29 ±0,02
30 dk	0,36 ±0,01a	0,36 ±0,00	0,30 ±0,04	0,23 ±0,01	0,58 ±0,07ab	0,77 ±0,07	0,37 ±0,05	0,26 ±0,02
60 dk	0,34 ±0,01a	0,39 ±0,00	0,28 ±0,00	0,36 ±0,08	0,71 ±0,01a	0,70 ±0,01	0,36 ±0,01	0,34 ±0,01
Ortalama	0,33	0,35	0,27	0,26	0,50	0,74	0,32	0,29

Farklı zaman aralıklarında tohumu Zn çözeltisinde bekletmek, hem I. hasatta hem de özellikle II. hasatta bitkinin kuru madde veriminde önemli farklılıklara yol açmıştır. Ancak, söz konusu farklılıkların çözeltilerden Zn uygulamasına göre ZnO uygulanmasında daha da belirgin olduğu görülmüştür. Örneğin, I. hasatta kontrole göre Zn'suz koşullarda tohumdan uygulama ortalama % 15'lik verim artışı sağlarken, Zn'lu uygulamada (0,35 g bitki⁻¹) kontrole (0,36 g bitki⁻¹) göre çözeltide bekletme uygulaması herhangi bir verim artışı sağlamamıştır. Çözeltilerden Zn'nun uygulanmadığı koşullarda tohumu çözeltide bekletme uygulaması kontrole göre istatistiksel olarak da anlamlıdır (p<0,05). Ancak, yeşil aksamın aksine Zn'suz koşullarda kontrole göre tohumu farklı zaman aralıklarında Zn'da bekletilen bitkinin kök veriminde söz konusu verim artışı görülmemiştir. Aynı hasat içerisinde kontrolün kök kuru madde verimi 0,28 g kök⁻¹ iken, farklı zaman aralıklarında 5 mM'lık ZnSO₄ çözeltisinde bekletilen bitkinin ortalama kök kuru madde verimi 0,27 g kök⁻¹ olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla Zn'suz koşullarda çözeltide bekletme uygulaması yeşil aksamda yol açtığı artış kök veriminde görülmemiş ve benzer durum Zn uygulaması altındaki köklerde de devam etmiştir (Çizelge 1).

I. hasatta, çözeltilerden Zn'nun uygulanmadığı koşullarda tohumu farklı zaman aralıklarında Zn çözeltisinde bekletilen bitkinin ortalama verimi (0,33 g bitki⁻¹) kontrol verimine (0,30 g bitki⁻¹) göre artarken, ancak uygulama süresine bağlı bir değişim söz konusu olmamıştır. Örneğin, kontrol koşullarında tohumu 1 dk Zn ile muamele edilmiş bitkinin kuru madde verimi 0,35 g bitki⁻¹ iken 60 dk muamele edilen bitkide aynı değer 0,34 g bitki⁻¹ olduğu görülmüştür.

Çinkolu koşullarda, kontrole (0,36 g bitki⁻¹ ve 0,24 g kök⁻¹) göre tohumu 60 dk ZnSO₄ çözeltisinde bekletilen bitkinin hem yeşil aksam (0,39 g bitki⁻¹) hem de kök kuru madde veriminde (0,36 g kök⁻¹) artışa yol açmıştır. Diğer taraftan ekim öncesi farklı zaman aralıklarında Zn'lu çözeltide bekletilmiş tohumlardan elde edilen bitkilere çözeltilerden Zn uygulaması çok önemli farklılık yaratmamıştır. Örneğin, I. hasatta farklı zaman aralıklarında Zn'lu çözeltide bekletilmiş tohumlardan elde edilen bitkilerin ortalama yeşil aksam verimleri ZnO (0,33 g bitki⁻¹) koşullara göre Zn1 (0,35 g bitki⁻¹) koşullarında sadece % 6 artış göstermiştir. Bu durum tohumu ekim öncesi Zn'lu

çözeltide bekletme uygulamasının verim artışı üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu göstermektedir. Harris vd., (2007), ekim öncesi tohumu Zn içeren çözeltilerde bekleterek doyumunun hem pratik hem de daha iyi bir çimlenmeye yol açtığını bildirmişlerdir. Söz konusu çalışmada, mısır tohumunu % 1'lik $ZnSO_4$ çözeltisinde 16 saat beklettikten sonra ekimi yapılmıştır. Araştırmacılar çinko ile doyurulmamış tohumlarla yetiştirilen bitkinin dane verimi $3,0 \text{ ton ha}^{-1}$ iken, doyurulmuş (% 1 $ZnSO_4$) tohumlardan elde edilen verimin ise $3,8 \text{ ton ha}^{-1}$ olduğu ve kontrole göre % 27'lik bir verim artışı olduğunu bildirmişlerdir. Dolayısıyla ekim öncesi tohumu Zn'lu çözeltilerde bekletme uygulamasının bitkinin kuru madde verimi üzerine çok önemli etkisinin olabileceğini göstermiştir.

Yeşil Aksam ve Kök Kuru Madde Verimi (II. Hasat)

Deneme süresince çözeltilere Zn verilmemiş (Zn0) ve farklı zaman aralıklarında tohumu $ZnSO_4$ çözeltisinde bekletilen bitkilerin II. hasat sonrası saptanan kök ve yeşil aksam verimlerinin Zn' lu koşullara (Zn1) göre daha fazla etkilendiği görülmüştür. Çinkosuz koşullarda kontrole göre ($0,28 \text{ g bitki}^{-1}$) tohumu Zn'lu çözeltilerde bekletme uygulaması ($0,50 \text{ g bitki}^{-1}$) yaklaşık % 79'luk bir artış sağlarken, Zn uygulaması ($0,74 \text{ g bitki}^{-1}$) altında kontrole ($0,72 \text{ g bitki}^{-1}$) göre söz konusu artışın % 3 olduğu görülmüştür. Aynı koşullarda kontrol uygulamasında ortalama kök verim %28 artarken, Zn uygulaması altında kökte herhangi bir verim artışı görülmemiştir.

I. hasatın aksine, Zn' nun uygulanmadığı koşullarda ekim öncesi tohumu farklı zaman aralıklarında Zn ile muamele edilen bitkinin uygulama süresine bağlı olarak da veriminde önemli artış gözlenmektedir. Kontrol uygulamasına ($0,28 \text{ g bitki}^{-1}$) göre 1 dk, 10 dk, 30 dk ve 60 dk'lık uygulamalar (sırasıyla 0,37; 0,58, 0,58 ve 0,71 g bitki^{-1}) sırasıyla % 32, % 105, % 107 ve % 153'lük bir artışa yol açmıştır. Aynı koşullarda yeşil aksama benzer şekilde uygulama süresine bağlı olarak kök verimi de artmıştır. Örneğin, kontrol uygulamasına ($0,25 \text{ g kök}^{-1}$) göre 1 dk, 10 dk, 30 dk ve 60 dk'lık uygulamaları kök kuru madde verimini sırasıyla % 8, % 44, % 48 ve % 44 oranında arttırmıştır (Çizelge 1). Aynı şekilde çözeltilerden Zn'nun uygulanmadığı koşullarda tohumdan uygulama kontrole göre istatistiksel olarak anlamlı olmuştur.

I. hasatta olduğu gibi tohumdan uygulama, Zn'suz koşullara göre Zn'lu koşullardaki ortalama yeşil aksam ve kök verimine etkisinin önemsiz olduğu görülmüştür (Çizelge 1). Deneme süresince çözeltilerden Zn uygulanmamış sadece tohumları 60 dk. 5 mM'lık $ZnSO_4$ çözeltisinde bekletilen bitki ile çözeltilerden Zn uygulanmış 60 dk. 5 mM'lık $ZnSO_4$ çözeltisinde bekletilen bitkinin yeşil aksam kuru madde veriminin sırasıyla $0,71 \text{ g bitki}^{-1}$ ve $0,70 \text{ g bitki}^{-1}$ olduğu görülmüş ve her iki uygulama altındaki bitkilerin gelişiminin birbirine benzer olduğu Çizelge 1 ve Şekil 2'de görülmektedir. Sonuçlar, Zn noksanlığına sahip büyüme ortamında, ekim öncesi tohumu Zn'lu çözeltilerde bekletme uygulamasının bitkilerin kuru madde verim artışı üzerinde önemli etkisi olduğunu ve uygulanan Zn'nun bitkilerin ilk büyüme dönemi için yeterli olması nedeniyle herhangi bir uygulama yapılmasına gerek olmadığını göstermektedir. Bu konuda yapılmış çalışmalardan farklı olarak tohumu çözeltilerde bekletme şeklinde Zn ile doyumunun su kültürü koşullarında verim üzerindeki bu söz konusu etkisi literatür bulgularını destekler niteliktedir.

Yeşil Aksam ve Kök Zn Konsantrasyonu (I. ve II. Hasat)

Su kültürü ortamında yürütülen çalışmanın I. ve II. hasadında elde edilen kök ve yeşil aksam Zn konsantrasyon değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Çalışmada tohumu ekim öncesi Zn' lu çözeltilerde bekletme uygulaması, çözeltilerden Zn uygulanmış ve uygulanmamış koşullarda yetiştirilen bitkilerin yeşil aksam ve kök Zn konsantrasyonlarını arttırmıştır. Söz konusu artış özellikle Zn' suz koşullarda tohumun Zn ile doyurulduğu uygulama altında daha belirgin olmuştur. Örneğin, kontrol uygulamasında bitkinin yeşil aksam Zn konsantrasyonu $13,4 \text{ mg kg}^{-1}$ iken, tohumu 1 dk, 10 dk, 30 dk ve 60 dk çözeltilerde bekletilen bitkinin yeşil aksam Zn konsantrasyonunun sırasıyla 15,3; 22,0; 21,6 ve $33,4 \text{ mg kg}^{-1}$ olduğu ve yeşil aksam Zn konsantrasyonu ortalama $23,1 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Kontrole göre en büyük artış tohumu çözeltilerde 60 dk bekletilen bitkilerde görülmüş ve yeşil aksam Zn konsantrasyonu yaklaşık 2,5 kat artmıştır Bu sonuçlar, tohumları ekim öncesi Zn çözeltilerinde bekletmenin ve bekletme süresine bağlı olarak bitkinin yeşil aksamındaki Zn konsantrasyonunun artabileceğini

göstermektedir. Aynı uygulamadaki köke ait Zn konsantrasyon artışı da yeşil aksamdaki artışa benzer bir artış göstermiş ve en yüksek Zn konsantrasyon artışı tohumu 60 dk Zn çözeltisinde bekletilen bitkinin kök değerlerinde saptanmış ve sözkonusu değer 84,6 mg kg⁻¹ olduğu görülmüştür. Aynı koşullarda kontrole ait kök Zn konsantrasyonu 22,8 mg kg⁻¹ ve zamana bağlı olarak tohumu 1 dk, 10 dk ve 30 dk' da ZnSO₄ çözeltisinde bekletilen bitkinin köke ait Zn konsantrasyon değerlerinin sırasıyla 34,7; 63,7 ve 68,3 mg kg⁻¹ olduğu saptanmıştır. Elde edilen değerler çözeltilerden Zn uygulaması altında daha büyük görünse de kontrole göre Zn konsantrasyon artışı tohumu Zn'lu çözeltilerde bekletme uygulaması altında % 74 iken çözeltilerden Zn uygulaması altında % 39 olmuştur.

II. hasatta da yeşil aksam ve köke ait Zn konsantrasyonu, tohumları Zn çözeltisinde bekletme süresine bağlı olarak artış eğilimi göstermiştir. Örneğin, I. hasatta 30dk çözeltilerde bekletilen bitkinin yeşil aksam ve kök Zn konsantrasyonu sırasıyla 21,6 mg kg⁻¹ ve 68,3 mg kg⁻¹ iken II. hasatta aynı değerler 16,3 mg kg⁻¹ ve 35,6 mg kg⁻¹ olarak hesaplanmıştır. İstatistiki olarak da kontrole göre 30 dk'da p<0,01 ve 60 dk uygulamayla arasında <0,05 düzeyindedir. Ancak kuru madde veriminin aksine yeşil aksam konsantrasyonları I. hasattan daha düşük değerler göstermiştir. Bu durum yeşil aksam artışına bağlı olarak büyüme seyrelme şeklinde yorumlanmıştır.

Diğer taraftan çözeltilerden Zn uygulaması altında ekim öncesi tohumu Zn uygulaması yeşil aksam ve kök Zn konsantrasyonunu arttırmıştır. Örneğin, II. hasatta sadece tohumu Zn'ca zenginleştirilmiş bitkinin yeşil aksam Zn konsantrasyonu ortalama 13,0 mg kg⁻¹ iken hem Zn'lu çözeltilerde bekleterek tohumu Zn'ca zenginleştirme hem de çözeltilerden Zn uygulaması altında ortalama Zn konsantrasyonunun 47,9 mg kg⁻¹ olduğu görülmüştür. Aynı durum kök konsantrasyonunda da görülmüş ve sırasıyla 32,3 mg kg⁻¹ ve 88,5 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Benzer eğilim I. hasatta da belirlenmiştir. Bu durum ekimden önce tohumu Zn çözeltisinde bekleterek tohumu Zn ile zenginleştirme uygulamasının Zn konsantrasyonunu arttırdığını ancak bitkinin gelişmesinin ileri aşamalarında sözkonusu uygulamanın yetersiz kaldığını ve ilave Zn'ya ihtiyaç duyulabileceğini göstermektedir.

Cizelge 2. Deneme süresince çözeltilerden Zn'nun uygulandığı ve uygulanmadığı su kültürü ortamında, ekim öncesi tohumu farklı zaman aralıklarında (1dk, 10 dk, 30dk ve 60 dk) 5 mM ZnSO₄ çözeltisinde bekletilerek Zn ile zenginleştirilmiş mısır bitkisinin I. ve II. hasatta saptanan yeşil aksam (g bitki⁻¹) ve kök (g kök⁻¹) kuru madde verimi (Ortalama ± standart hata)

Table 2. Shoot (g plant⁻¹) and root (g root⁻¹) dry matter yield of corn plants having seeds soaked in 5 mM ZnSO₄ solution at different durations (1 min, 10 min, 30 min and 60 min) before sowing determined at I. and II. harvest under hydroponic media with Zn and without Zn application (Mean ±SE)

Uygulama	I. Hasat						II. Hasat					
	Yeşil Aksam			Kök			Yeşil Aksam			Kök		
	Zn(-)	Zn(+)	(mg kg ⁻¹)	Zn(-)	Zn(+)	(mg kg ⁻¹)	Zn(-)	Zn(+)	(mg kg ⁻¹)	Zn(-)	Zn(+)	(mg kg ⁻¹)
Kontrol	13,4 ±0,90c	37,6 ±0,60b	22,8 ±0,80c	63 ±0,60c	63 ±0,60c	10,2 ±0,65cd	38,9 ±0,40b	18,4 ±1,30a	78,9 ±6,65bc	18,4 ±1,30a	78,9 ±6,65bc	
1 dk	15,3 ±0,55c	41,6 ±2,91b	34,7 ±3,85bc	84 ±1,95bc	84 ±1,95bc	9,1 ±0,35d	42,2 ±3,10b	21,4 ±3,70a	65,2 ±3,85c	21,4 ±3,70a	65,2 ±3,85c	
10 dk	22,0 ±2,10b	59,5 ±7,90ab	63,7 ±13,45ab	112 ±5,95b	112 ±5,95b	13,0 ±0,30bc	48,8 ±1,80ab	34,8 ±3,25a	90,8 ±13,10ac	34,8 ±3,25a	90,8 ±13,10ac	
30 dk	21,6 ±1,85b	64,1 ±0,00a	68,3 ±13,15ab	143 ±0,00a	143 ±0,00a	16,3 ±0,15a	63,8 ±9,10a	35,6 ±6,75a	108 ±0,05a	35,6 ±6,75a	108 ±0,05a	
60 dk	33,4 ±2,05a	59,1 ±7,50ab	84,6 ±9,15a	128 ±11,45ab	128 ±11,45ab	13,6 ±1,55ab	46,0 ±0,65b	37,3 ±11,00a	99,3 ±2,05ab	37,3 ±11,00a	99,3 ±2,05ab	
Ortalama	23,1	56,1	62,8	106	106	13,0	47,9	32,3	88,5	32,3	88,5	

Tohumu Zn' lu Çözeltide Bekletme Uygulamasının Bitkinin Kuru Madde Verimi ve Zn Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyon İlişkileri

Çinkolu ve Zn' suz koşullar altında sadece tohumu Zn' lu çözeltide bekletme uygulaması yapılmış mısır bitkisinde iki hasat dönemindeki kök ve yeşil aksam kuru madde verimi ve kök ile yeşil aksam Zn konsantrasyonları arasındaki korelasyon ilişkileri belirlenerek Çizelge 3 ve 4'de gösterilmiştir.

Buna göre Zn' suz koşullar altında II. hasat yeşil aksam ile kök kuru madde verimi 0.906**, I. hasat yeşil aksam konsantrasyonu 0.818* ve I. hasat kök konsantrasyonu 0.827** arasında 0,01 düzeyinde yüksek ve olumlu bir korelasyon; I. hasat kök ile yeşil aksam konsantrasyonu 0,880* ve II. hasat kök ile yeşil aksam konsantrasyonu 0,785** arasında yine 0,01 düzeyinde yüksek ve olumlu korelasyon görülmüştür (Çizelge 3).

Çinkolu koşullar altında ise I. hasat kök ve yeşil aksam konsantrasyonu 0,871** ve II. hasat yeşil aksam konsantrasyonu 0,859** ve I. hasat kök konsantrasyonu ve II. hasat yeşil aksam konsantrasyonu 0,871** arasında 0,01 düzeyinde yüksek ve olumlu korelasyon görülmüştür (Çizelge 4).

Denemede ekimden önce farklı zaman aralıklarında Zn' lu çözeltide bekletilen tohumlardan elde edilen bitkilerin yeşil aksam ve kök kuru madde verimi (Çizelge 1) ile Zn konsantrasyon değerlerinde (Çizelge 2) artış gözlenmiştir. Yeşil aksam kuru madde verimindeki artış I. hasatta % 15 iken bu değer II. hasatta % 79 olarak hesaplanmıştır.

Zamana bağlı olarak tohumu Zn' lu çözeltilerde bekletme uygulaması, bitkinin yeşil aksam ve kök Zn konsantrasyonunu da artırmış ve sözkonusu artış I. hasatta daha belirgin iken II. hasatta daha düşük oranda olduğu görülmüştür (Çizelge 2). Sözkonusu

Çizelge 3. Deneme süresince çözeltilerden Zn' nun uygulandığı su kültürü ortamında, ekim öncesi tohumu farklı zaman aralıklarında (1 dk, 10 dk, 30 dk ve 60 dk) 5 mM ZnSO₄ çözeltisinde bekletilerek Zn ile zenginleştirilmiş mısır bitkisinin I. ve II. hasatta saptanan mısır bitkisinin kök ve yeşil aksam kuru madde verimi ve kök ile yeşil aksam Zn konsantrasyon arasındaki korelasyon

Table 3. Correlation between root and shoot dry matter yield and root and shoot Zn concentration of corn plants having seeds soaked in 5 mM ZnSO₄ solution at different durations (1 min, 10 min, 30 min and 60 min) before sowing determined at I. and II. harvest under hydroponic media with Zn application

Zn (-)	Km-Y1	Km-K1	Km-Y2	Km-K2	Kons-Y1	Kons-K1	Kons-Y2
KM-K1	0,083						
KM-Y2	0,501	0,251					
KM-K2	0,408	0,381	0,906**				
Kons-Y1	0,282	0,148	0,818**	0,554			
Kons-K1	0,435	0,131	0,827**	0,651*	0,880**		
Kons-Y2	0,561	0,365	0,696*	0,675*	0,497	0,726*	
Kons-K2	0,656*	-0,003	0,698*	0,541	0,527	0,673*	0,785**

KM: Kuru madde verimi, Kons: Zn konsantrasyonu, Y: Yeşil aksam, K: Kök

* p< 0.05 , **p< 0.01

Çizelge 4. Deneme süresince çözeltilerden Zn' nun uygulanmadığı su kültürü ortamında, ekim öncesi tohumu farklı zaman aralıklarında (1 dk, 10 dk, 30 dk ve 60 dk) 5 mM ZnSO₄ çözeltisinde bekletilerek Zn ile zenginleştirilmiş mısır bitkisinin I. ve II. hasatta saptanan mısır bitkisinin kök ve yeşil aksam kuru madde verimi ve kök ile yeşil aksam Zn konsantrasyon arasındaki korelasyon

Table 4. Correlation between root and shoot dry matter yield and root and shoot Zn concentration of corn plants having seeds soaked in 5 mM ZnSO₄ solution at different durations (1 min, 10 min, 30 min and 60 min) before sowing determined at I. and II. harvest under hydroponic media without Zn application

Zn (+)	Km-Y1	Km-K1	Km-Y2	Km-K2	Kons-Y1	Kons-K1	Kons-Y2
KM-K1	0,576						
KM-Y2	-0,288	-0,295					
KM-K2	0,059	0,514	-0,085				
Kons-Y1	0,145	0,213	-0,189	-0,259			
Kons-K1	0,237	0,397	0,034	-0,009	0,871**		
Kons-Y2	-0,095	-0,028	0,137	-0,220	0,859**	0,871**	
Kons-K2	0,333	0,213	-0,128	-0,061	0,641*	0,751*	0,622

KM: Kuru madde verimi, Kons: Zn konsantrasyonu, Y: Yeşil aksam, K: Kök

* p< 0.05 , **p< 0.01

artışın II. hasatta daha düşük oranda seyretmesinin nedeni mevcut Zn'nun bitki büyümesini teşvik ederek kuru madde verimini arttırdığı ve bundan dolayı da dokularda bulunan Zn konsantrasyonunun seyrelmesiyle açıklanabilir (Torun vd., 2000; Marschner, 2012). Literatürde bu durum, Zn alımının artması kuru madde veriminin artışına yol açmakta ve sonuçta alınan Zn artan kuru madde verimiyle birlikte seyrelmeye uğrarken, büyümesi daha az olan bitkilerde büyümenin engellenmesinden dolayı dokulardaki Zn'nun konsantrasyonuna olmasıyla açıklanmaktadır (Marschner, 2012).

Yapılan çalışmada Zn noksanlığı ile kök veya yeşil aksamdaki Zn konsantrasyonunun tam bir uyum vermediği bildirilmiştir. Örneğin, I.hasatta çözeltilerden Zn'nun uygulanmadığı koşullarda tohumu 30 dk ZnSO₄ çözeltisinde bekletilen bitkinin kuru madde verimi kontrole göre % 21 artmış ve sözkonusu bitkideki Zn konsantrasyonunun 21,6 mg kg⁻¹ olduğu görülmüştür. Aynı koşullarda II. hasatta aynı değerlerin % 60 ve 16,3 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla Zn noksanlığını açıklamada önemli bir parametre olan kuru madde verimi ile Zn konsantrasyonu arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Çinko konsantrasyonunun tek başına Zn noksanlığını açıklamada yeterli olmadığı başka araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Torun vd., 2000; Cakmak vd., 2001, Marschner, 2012). Yapılan çalışmalarda, bitki türleri veya aynı türün çeşitlerinin Zn noksanlığı altında semptomlarının şiddeti birbirlerinden büyük ölçüde farklı olmasına karşın, genellikle bitkinin yaprak veya yeşil aksamın kuru maddesinde hemen hemen eşit Zn konsantrasyonlarının bulunabileceği bildirilmiştir (Rengel ve Graham, 1995; Cakmak vd., 1996).

SONUÇLAR

Tohumu Zn'lu çözeltilerde bekleterek tohumu Zn ile zenginleştirme uygulamasıyla dane Zn konsantrasyonunu ve biyomas üretimini arttırmak hem bitki gelişimi hem de insan sağlığı açısından oldukça önemlidir. Dolayısıyla daneyi mikroelementlerce zenginleştirme uygulamasının yukarıda söylenen avantajlarının yanı sıra bu çalışmada da birçok avantajının olduğu görülmüştür. Bunlar, her bir tohum mutlaka Zn ile muamele edilmiş olmakta ve başlangıçta alınması gereken besin alımı garantilenmiş olmaktadır. Zn eksikliği görülen bitkilere Zn gübrelemesinin yanı sıra ekim öncesi tohumu Zn ile zenginleştirme uygulaması ile eksikliğin giderildiği görülmekte ve bitkinin ihtiyaç duyduğu Zn'yu kısmen karşılayabildiği belirlenmiştir.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, denemeye konu olan zaman ve konsantrasyonda ekimden önce tohumları ZnSO₄ çözeltisinde bekletilen mısır bitkisinin gelişiminin ileri aşamalarında sözkonusu Zn'nun yeterli olamayacağı ve ilave Zn'ya ihtiyaç duyulabileceği saptanmıştır.

Çözeltiye Zn uygulaması yapılmış ve yapılmamış su kültürü koşullarında, ekim öncesi tohumu Zn ile zenginleştirilen bitkilerle yürütülen denemede sözkonusu uygulamanın etkin bir yöntem olduğu görülmüştür. Ancak, denemeye konu olan uygulamaların bitkinin dane verimi üzerine etkisini görmek için generatif dönemi de içine alan çalışmaların yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Afzal S (2013). Role of seed priming with zinc in improving the hybrid maize (*Zea mays* L.) yield. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 13 (3): 301-306.

Ajouri A, Asgedom H, Becker M (2004) Seed priming enhances germination and seedling growth of barley under conditions of P and Zn deficiency. *J Plant Nutr Soil Sci* 167: 630-636.

Cakmak I, Sari N, Marschner H, Ekiz H, Kalayci M, Yilmaz A, Braun H J (1996). Phytosiderophore release in bread and durum wheat genotypes differing in zinc efficiency. *Plant and Soil* 180: 183-189.

Cakmak I, Ekiz H, Yilmaz H, Torun B, Koleli N, Gultekin I, Alkan A, Eker S (1997). Differential response of rye, triticale, bread and durum wheats to zinc deficiency in calcareous soils. *Plant and Soil* 188: 1-10.

Cakmak I, Kalayci M, Ekiz H, Braun HJ, Kilinc Y, Yilmaz A (1999). Zinc deficiency as a practical problem in plant and human nutrition in Turkey: A NATO-Science for Stability Project. *Field Crops Research* 60: 175-188

Cakmak O, Ozturk L, Karanlik S, Ozkan H, Kaya Z, Cakmak I (2001). Tolerance of 65 durum wheat genotypes to zinc deficiency in a calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition* 24 (11):1831-1847.

Cakmak I, Torun A, Millet E, Feldman M, Fahima T, Korol A, Nevo E, Braun HJ, Ozkan H (2004). *Triticum dicoccoides*: An important genetic resource for increasing zinc and iron concentration in modern cultivated wheat. *Soil Science and Plant Nutrition* 50 (7):1047-1054.

Cakmak I (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil* 302 (1-2):1-17.

Cakmak I, Kalayci M, Kaya Y, Torun AA, Aydin N, Wang Y, Arisoy Z, Erdem H, Yazici A, Gokmen O, Ozturk L, Horst WJ (2010). Biofortification and Localization of Zinc in Wheat Grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58 (16):9092-9102.

Ekiz H, Bagci SA, Kiral AS, Eker S, Gultekin I, Alkan A, Cakmak I (1998) Effects of zinc fertilization and irrigation on grain yield and zinc concentration of various cereals grown in zinc-deficient calcareous soil. *J Plant Nutr* 21:2245-2256

Foti R, Abureni K, Tigere A, Gotosa J, Gere J (2008). The efficacy of different seed priming osmotica on the establishment of maize (*Zea mays* L.) caryopses. *J. Arid Environ.* 72, 1127-1130.

Gibson RS (2006). Zinc: the missing link in combating micronutrient malnutrition in developing countries. *Proceedings of the Nutrition Society* 65 (1):51-60.

Harris D, Rashid A, Miraj G, Arif M, Shah H (2007). On-farm seed priming with zinc sulphate solution - A cost-effective way to increase the maize yields of resource-poor farmers. *Field Crops Res.* 10, 119-127.

Marschner H. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, 3rd Edn London: Academic Press.

Ortiz-Monasterio JI, Palacios-Rojas N, Meng E, Pixley K, Trethowan R, Pena RJ (2007). Enhancing the mineral and vitamin content of wheat and maize through plant breeding. *Journal of Cereal Science* 46: 293-307.

Öztürk L, Yazici MA, Yuçel C, Torun A, Çekic C, Bağcı A, Özkan H, Braun HJ, Sayers Z, Çakmak I (2006). Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. *Physiologia Plantarum* 128 (1):144-152.

Prom-u-thai C, Rerkasem B, Yazici M.A, Çakmak, I (2012). Zinc priming promotes seed germination and seedling vigor of rice", *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Vol.175, No.3, 482-488.

Rengel Z, Graham RD (1995) Importance of seed Zn content for wheat grown on Zn-deficient soil, I: Vegetative growth. *Plant and Soil* 173: 259-266

Torun B, Bozbay G, Gultekin I, Braun H.J, Ekiz H, Çakmak I. (2000). Differences in shoot growth and zinc concentration of 164 bread wheat genotypes in a zinc-deficient calcareous soil

Wissuwa M, Ismail AM, Yanagihara S (2006): Effects of zinc deficiency on rice growth and genetic factors contributing to tolerance. *Plant Physiol.*, 142, 731-741.

Yılmaz A, Ekiz H, Torun B, Gultekin I, Karanlık S, Bağcı SA, Çakmak I (1997) Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc-deficient calcareous soils. *J Plant Nutr* 20:461-471

Zhang F, Gao X, Zou C (2007). Soil and Crop Management for Improving Zinc Nutrition of Crops. http://www.zinccrops.org/ZnCrops2007/PDF/2007_zinccrops2007_zhang_keynote.pdf