



Farklı çinko form ve dozlarının mısırın kuru madde verimi üzerine etkisi

Effect of zinc forms and doses on dry matter yield of maize

Ebru DUYMUŞ^{id}, Murat GENCER^{id}, Oğuzhan AYDIN^{id}, Reyhan YERLİKAYA^{id}, M. Bülent TORUN^{id}

Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 01330, Adana

Sorumlu yazar (*Corresponding author*): E. Duymuş, e-posta (*e-mail*): ebruduymus@yahoo.com.tr

Yazar(lar) e-posta (*Author e-mail*): mrtgncr50@gmail.com, oguzhanaydin@gmail.com, yerlikayarengin@gmail.com, mbtorun@cu.edu.tr

MAKALE BİLGİSİ

Alınış tarihi 21 Ekim 2019
Düzeltilme tarihi 21 Ekim 2019
Kabul tarihi 14 Ocak 2020

Anahtar Kelimeler:

Çinko formu
Uygulama dozu
Çinko noksanlığı
Kuru madde verimi
Mısır

ÖZ

Çinko eksikliğinden kaynaklı bitkisel verimde önemli düşüşlerin olduğu bildirilmiştir. Bu düşüşlere karşılık alınabilecek en etkin yöntemlerden bir tanesi Zn gübrelemesidir. Bitkinin Zn kullanım etkinliğinde, uygulanan gübrenin Zn dozu ve formunun önemli olduğu düşünülmektedir. Bu amaçla, sera koşullarında artan dozlarda [0 (kontrol), 0.2, 1, 5 mg kg⁻¹] ve farklı formlarda (ZnO, ZnSO₄.7H₂O, Zn-EDTA, ZnCl₂) Zn uygulamalarının mısır bitkisinin büyüme, yeşil aksam SPAD değeri, kuru madde verimi, Zn konsantrasyonu ve Zn içeriği üzerine etkisi belirlenmiştir. Denemede elde edilen bulgulara göre, Zn noksanlığından kaynaklı verim kayıplarının olduğu buna karşılık Zn uygulamasının söz konusu verim kayıplarının önüne geçtiği saptanmıştır. Çinko uygulamasından kaynaklı verim artış oranlarının %9 ile %191 arasında değiştiği, kontrol uygulamasına göre en belirgin artışların 1 ve 5 mg kg⁻¹ Zn uygulamalarında olduğu bulunmuştur. Bu artış oranları üzerine uygulanan Zn formunun da önemli olabildiği belirlenmiştir. Özellikle en düşük Zn uygulama dozu olan 0.2 mg kg⁻¹ da kontrol uygulamasına göre ZnO'den kaynaklı yeşil aksam kuru madde verim artışı %11 elde edilirken bu değer Zn-EDTA, ZnCl₂ ve ZnSO₄.7H₂O için sırasıyla %139, %101 ve %49 olarak saptanmıştır. Çinko uygulamaları, bitkinin yeşil aksam kuru madde veriminde olduğu gibi yeşil aksam Zn konsantrasyonunu da artırmıştır. Bu artışlarda, Zn uygulama dozunun önemli olduğu buna karşılık uygulanan gübre formunun önemli bir farklılık yaratmadığı belirlenmiştir. Benzer bulgular bitki başına Zn alım miktarında da elde edilmiştir. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde en etkin Zn uygulama dozunun 1 mg kg⁻¹ olduğu, bunun dışında Zn formları içinde bitkinin büyümesinde ve Zn kullanım etkinliğinde en etkin formun Zn-EDTA olduğu, bunu sırasıyla ZnCl₂, ZnSO₄.7H₂O ve ZnO'ın izlediği görülmüştür.

ARTICLE INFO

Received 21 October 2019
Received in revised form 21 October 2019
Accepted 14 January 2020

Keywords:

Zinc form
Application dose
Zinc deficiency
Dry matter yield
Maize

ABSTRACT

Significant reductions have been reported in plant yields due to the zinc (Zn) deficiency. The Zn fertilization is one of the most effective methods to prevent the yield decreases. The Zn dose and form of the fertilizer used are assumed to be important in the Zn use efficiency of the plants. This study was conducted to determine the effects of increasing doses [0 (control), 0.2, 1, 5 mg kg⁻¹] and different forms (ZnO, ZnSO₄.7H₂O, Zn-EDTA, ZnCl₂) of Zn applications on growth, shoot SPAD value, dry matter yield, Zn concentration and Zn content of maize plants under greenhouse conditions. The results of the experiment showed yield losses due to Zn deficiency, whereas Zn application prevented the yield losses. Yield increase ratio due to zinc application ranged from 9 to 191% and the most significant increase compared to the control application was obtained in 1 and 5 mg kg⁻¹ Zn treatments. The ratios of yield increase indicated the importance of applied Zn form. The increase in shoot dry matter yield in the lowest ZnO dose of 0.2 mg kg⁻¹ compared to the control was 11%, while this value was 139, 101 and 49 for Zn-EDTA, ZnCl₂ and ZnSO₄.7H₂O forms, respectively. Zinc applications increased shoot dry matter yield as well as shoot Zn concentration. Yield increases revealed the importance of Zn application dose, whereas the Zn fertilizer form did not cause a significant difference in yield. Similar findings were obtained in Zn uptake per plant. The results showed that the most effective Zn application dose was 1 mg kg⁻¹, and Zn-EDTA was the most effective form for plant growth and Zn use efficiency, followed by ZnCl₂, ZnSO₄.7H₂O and ZnO, respectively.

1. Giriş

Çinko (Zn) noksanlığı dünyada (Ortiz-Monasterio ve ark. 2007; Cakmak ve Kutman 2018) ve Türkiye’de oldukça yaygın görülen bir mikro besin elementi problemi olup, bu sorun, özellikle kurak-yarı kurak bölgelerdeki tahıl ekilen alanlarda ortaya çıkmaktadır (Graham ve Welch 1996; Cakmak ve ark. 2010). Dünyada ve ülkemizde yetiştiricilik yapılan tarım topraklarının mikro besin elementlerince yetersiz olması bitkisel üretimdeki verim ve kalite düşüşlerine neden olmakta ve buna paralel insan ve hayvan beslenmesi olumsuz etkilenmektedir. Genel olarak dünyadaki Zn eksikliğine sahip toprakların bulunduğu alanlardaki insanlarda da yaygın Zn eksikliği olduğu yapılan çalışmalarda bildirilmiştir (White ve Zasoski 1999; Hotz ve Brown 2004; Welch ve Graham 2004; Alloway 2009; Cakmak ve ark. 2008; Dhaliwal ve ark. 2019; Signorell ve ark. 2019).

Birçok araştırmacı tarafından değişik bitki türleri ve aynı türün çeşitleri arasında Zn noksanlığına karşı duyarlılıkta farklılıklar belirlenmiş olup, bunlar (örneğin, mısır (Özer 1999; Özgüven ve Katkat 2001), buğday (Torun ve ark. 1998; Singh ve ark. 2005; Bağcı ve ark. 2007; Dhaliwal ve ark. 2009), arpa (Genç ve ark. 2004), pirinç (Quijano-Guerta ve ark. 2002), fasulye (Hacısalıhoğlu ve ark. 2004), mercimek (Pandey ve ark. 2006), nohut (Khan ve ark. 1998), yonca (Grewal ve Williams 1999), sakız kabağı (Yağmur ve ark. 2002) ve biber (Güneş ve ark. 1999; Aktaş ve ark. 2006) olmak üzere birçok bitki türünü kapsamaktadır. Dünyada, buğday ve çeltikten sonra mısır insanlar tarafından en çok tüketilen besin kaynaklarından bir tanesidir (FAO 2018). Literatür sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, mısır bitkisinde Zn noksanlığından kaynaklı verim ve kalitedeki düşüşlere karşı alınabilecek önlemlerden bir tanesi de Zn gübrelmesidir. Ayrıca uygulanan organik ve inorganik gübre formlarının bitkilerce kullanılabilme etkinlikleri de birbirlerinden farklı olabilmektedir. Çinko hem organik hem de inorganik bileşikler olarak toprağa doğrudan uygulanabilir. Çinko sülfat, yüksek çözünürlüğü ve düşük maliyeti nedeniyle diğer inorganik formlara göre en yaygın olarak uygulanan inorganik Zn kaynağıdır. Çinko ayrıca ZnO, Zn-EDTA, ZnCl₂ ve Zn-oksüsülfat formunda da topraklara uygulanabilmektedir. Yapılan çalışmalarda, genel olarak organik Zn gübrelere inorganik Zn gübrelere göre agronomik etkinliğinin daha yüksek olduğu (Mortvedt 1991; Martens ve Westermann 1991) ancak, yüksek maliyeti nedeniyle Zn-EDTA'nın tahıl tarımında kullanımının sınırlı olduğu bildirilmiştir (Cakmak ve Kutman 2018).

Dünyada ve ülkemizde Zn gübrelmesi ile ilgili birçok çalışma yürütülmüş olup buna karşılık mısır bitkisinin büyümesi ve veriminde farklı gübre formlarının ve uygulama dozlarının bir arada yürütüldüğü çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu noktadan hareketle bu çalışmayla, sera koşullarında mısır bitkisinin büyümesi ve kuru madde verimi üzerine, artan dozlarda ve farklı formlardan Zn uygulamalarının etkisini belirlemek hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Çalışma Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Araştırma Seralarında, Pioneer 1571 çeşidi mısır bitkisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneme toprağının pH'sı 8.35 (orta alkali), kireci %13.2 (kireçli), organik maddesi %1.03 (düşük), tuzu 0.12 mS

(tuzsuz), yarayışlı P konsantrasyonu 4.83 mg kg⁻¹ (yetersiz), K konsantrasyonu 423 mg kg⁻¹ (yeterli), DTPA ile ekstrakte edilebilir Zn 0.15 mg Zn kg⁻¹ (yetersiz), tekstürü ise tınlı kumdur. Topraklarda DTPA ile ekstrakte edilebilir Zn analizi Lindsay ve Norvell (1978), tekstür Bouyoucos (1951), kireç Çağlar (1949), pH, organik madde ve tuz Jackson (1959) yöntemlerine göre yapılmıştır.

2.2. Yöntem

2.2.1. Sera denemesinin kurulması ve yürütülmesi

Sera yürütülen denemede doğal Zn noksanlığına sahip (0.15 mg kg⁻¹) Kumlu Serisinden alınan toprak kullanılmıştır. Denemede plastik saksılara 4 mm elekten geçirilmiş hava kuru 3 kg toprak örneği tartılmıştır. Temel gübreleme olarak saksılara başlangıçta 200 mg N kg⁻¹; CaNO₃.4H₂O formunda, 100 mg kg⁻¹ P; KH₂PO₄ formunda, 125 mg kg⁻¹ K; KH₂PO₄ formunda, 50 mg kg⁻¹ S; CaSO₄ formunda, 5 mg kg⁻¹ Fe; Fe-EDTA formunda uygulanmıştır. İlerleyen dönemlerde N uygulaması 400 mg kg⁻¹'e tamamlanmıştır. Her saksıya 5 tohum ekilmiş ve sonrasında 3 bitkiye seyreltilmiştir.

Deneme; artan dozlarda (Zn0: 0 mg Zn kg⁻¹, Zn0.2: 0.2 mg Zn kg⁻¹, Zn1: 1 mg Zn kg⁻¹ ve Zn5: 5 mg Zn kg⁻¹) ve farklı formlarda (ZnO, ZnSO₄.7H₂O, Zn-EDTA ve ZnCl₂) Zn uygulaması olmak üzere 3 tekerrürlü bir çalışma olarak yürütülmüştür. Bitkilerin Zn noksanlık şiddetine ve büyüme performanslarındaki farklılıklara bağlı olarak 50 günlükken SPAD değerleri ölçülmüş ve hasat işlemi gerçekleştirilmiştir. Hasat edilen mısır bitkilerinin yeşil aksam kuru madde verimi belirlenmiş ve daha sonra kuru yakma metoduna göre 200 mg tartılarak porselen krozelerde 5.5 saat 550°C'de kül fırınında yakılmış yanan örneklerin üzerine 2 ml 1/3'lük HCl ve 18 ml saf su eklenecek son hacim 20 ml'ye tamamlanıp mavi bant filtre kağıdından süzümüştür. Elde edilen süzüklerde Zn konsantrasyonları Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre cihazında belirlenmiştir.

2.3. İstatistiksel analiz

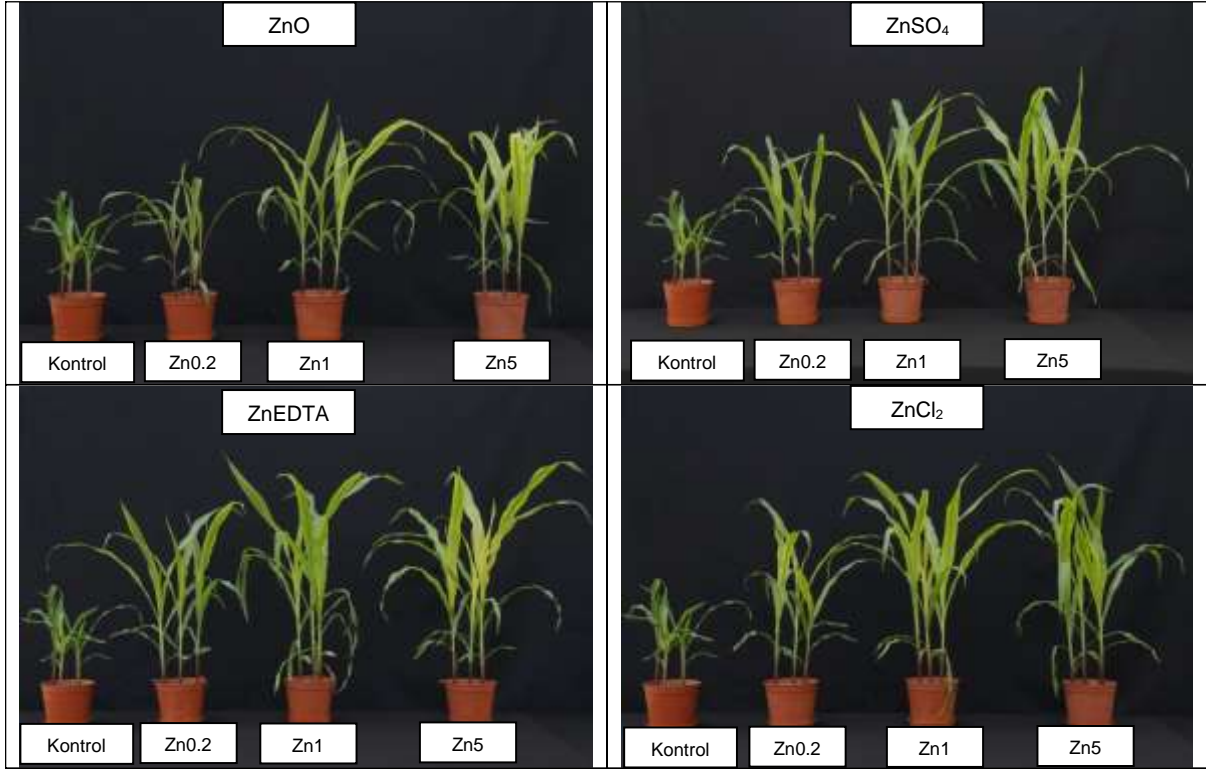
Araştırma verilerinin istatistiksel analizi JMP paket programında varyans analizi ile yapılmış ve ortalamalar arasındaki farkları belirlemek için %5 önem seviyesinde LSD çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Sera koşullarında yürütülen denemede, artan dozlarda [0 (kontrol), 0.2, 1, 5 mg kg⁻¹] ve farklı formlarda (ZnO, ZnSO₄.7H₂O, Zn-EDTA ve ZnCl₂) Zn uygulamaları altında yetiştirilen mısır bitkisinin büyüme, yeşil aksamda klorofilin bir ifadesi olan SPAD değeri, yeşil aksam kuru madde verimi, yeşil aksam Zn konsantrasyonu ve yeşil aksam Zn içeriği üzerine etkileri belirlenmiştir.

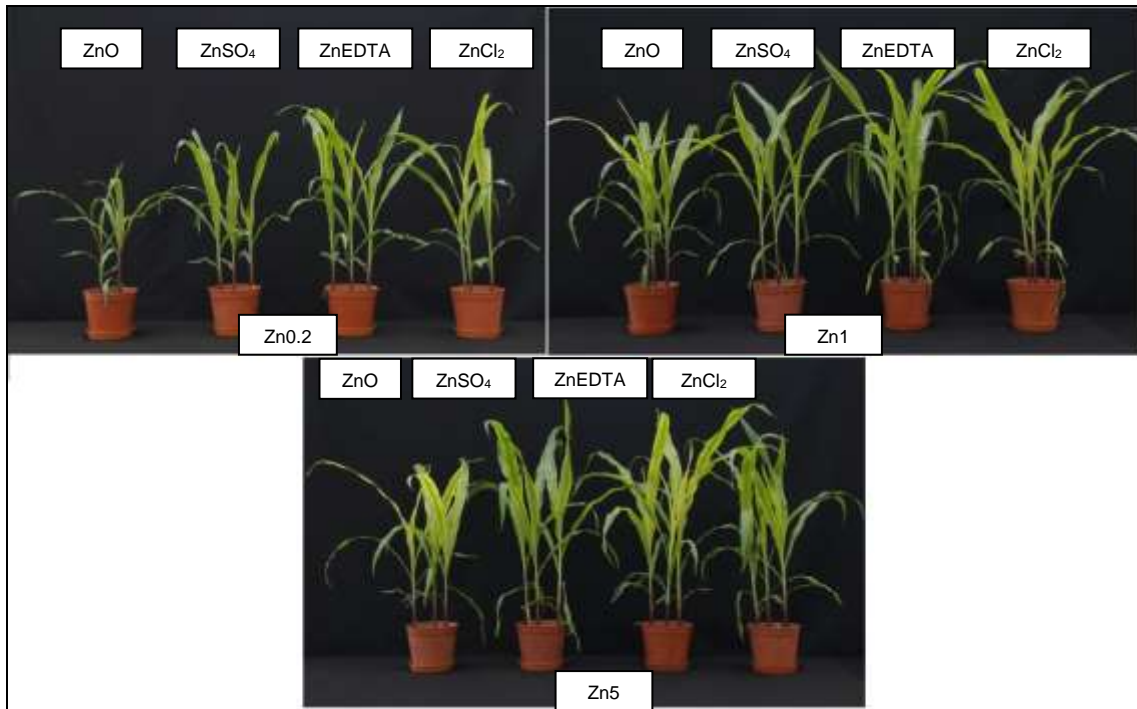
3.1. Çinko uygulamalarının SPAD değeri ve yeşil aksam kuru madde verimi üzerine etkisi

Sera koşullarında yürütülen denemede artan dozlarda ve farklı formlarda Zn uygulamalarının bitki büyümesi üzerine önemli etkisinin olduğu görülmüştür (Şekil 1, 2). Mısır bitkisinde Zn noksanlığı belirtilerini büyümede gerileme ve boğumlar arası mesafede kısalma olarak kendini göstermiştir. Çinko noksanlığına bağlı belirtilerinin Torun ve ark. (2016) ile uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 1. Farklı formlarda (ZnO , $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, $Zn-EDTA$ ve $ZnCl_2$) Zn uygulamalarının mısırın yeşil aksam büyümesi üzerine etkisi.

Figure 1. Effects of different forms (ZnO , $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, $Zn-EDTA$ and $ZnCl_2$) of Zn applications on shoot growth of maize.



Şekil 2. Artan dozlarda ($Zn0$: 0 mg Zn kg^{-1} , $Zn0.2$: $0.2 \text{ mg Zn kg}^{-1}$, $Zn1$: 1 mg Zn kg^{-1} , $Zn5$: 5 mg Zn kg^{-1}) Zn uygulamalarının mısırın yeşil aksam büyümesi üzerine etkisi.

Figure 2. Effects of increased doses ($Zn0$: 0 mg Zn kg^{-1} , $Zn0.2$: $0.2 \text{ mg Zn kg}^{-1}$, $Zn1$: 1 mg Zn kg^{-1} , $Zn5$: 5 mg Zn kg^{-1}) of Zn applications on shoot growth of maize.

Denemeden elde edilen sonuçlara göre, farklı Zn uygulama formlarından bağımsız olarak yalnızca Zn uygulamaları dikkate alındığında toprağa artan dozlarda Zn ilavesinin bitkilerin SPAD değerleri üzerinde çok belirgin bir farklılık olmamasına rağmen kısmen düşüşe yol açtığı belirlenmiştir (Çizelge 1).

Örneğin söz konusu koşullardaki bitkilerde Zn uygulamasının yapılmadığı kontrol (Zn0) uygulamasında bitkilerin ortalama yeşil aksam SPAD değerinin 34.07 olduğu aynı değer Zn0.2, Zn1 ve Zn5 uygulamalarında sırasıyla 29.85, 27.76 ve 27.39 olduğu saptanmıştır (Çizelge 1). Söz konusu düşüşlerin bitkilerin büyüme performanslarının farklı olmasından kaynaklı, büyüme ile seyrelme şeklinde ifade edilen büyüyen bitkilerin dokularındaki klorofil seyrelmesiyle ilişkili olduğu düşünülmüştür.

Denemede kullanılan farklı gübre formlarına bağlı olarak, artan dozlarda Zn uygulamalarının bitkilerin yeşil aksam kuru madde verimi üzerine istatistiksel olarak önemli etkisinin olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$; Çizelge 2). Elde edilen verilere göre, bitkilerin yeşil aksam kuru madde verimlerinde, Zn noksanlığından kaynaklı verim kayıplarının olduğu buna karşılık Zn uygulamasının söz konusu verim kayıplarının önüne geçtiği görülmüştür. Kontrole göre, Zn uygulamasından kaynaklı verim artış oranlarının %9 (ZnO-Zn0.2) ile %191 (ZnEDTA-Zn5) arasında değiştiği saptanmıştır. Çinko uygulamasından kaynaklı en belirgin artışların tüm formlarda kontrol uygulamasına göre 1 mg kg⁻¹ ve 5 mg kg⁻¹ uygulamalarında olduğu bulunmuştur. Topraklara Zn uygulayarak bitkisel üretimin artırılabilmesine ilişkin birçok çalışma yapılmıştır. Erdem (2011) tarafından tarla koşullarında yürütülen, 10 farklı mısır çeşidinde Zn uygulamasının kuru madde verimi üzerine olan etkisini araştırdığı çalışmada toprağa 3 kg da⁻¹ Zn gübrelemesiyle ortalama kuru madde verim değerinin önemli oranda arttığı ve söz konusu artışın %21

civarında gerçekleştiğini bildirmiştir. Sera koşullarında yürütülen bir başka çalışmada Çukurova ve Niğde bölgelerine ait iki farklı toprakta Zn'suz (0 mg Zn kg⁻¹) ve Zn'lu (5 mg Zn kg⁻¹) koşullarda yetiştirilen mısır bitkisinin yeşil aksam kuru madde veriminde Zn uygulamasıyla verim artışı olduğu belirlenmiştir. Söz konusu artışın kontrol (0 mg Zn kg⁻¹) uygulamasına göre Çukurova toprağında %174, Niğde toprağında ise %127 düzeyinde meydana geldiği bildirilmiştir (Torun ve ark. 2019).

Denemede artan dozlarda Zn uygulamalarından kaynaklı verim artış oranlarının etkisinin yanısıra uygulanan farklı Zn formunun da önemli olduğu görülmüştür ($P < 0.05$). Özellikle en düşük Zn uygulama dozu olan 0.2 mg kg⁻¹'de kontrol uygulamasına göre ZnO'den kaynaklı yeşil aksam kuru madde verim artışı %11 iken bu değer Zn-EDTA, ZnCl₂ ve ZnSO₄.7H₂O için sırasıyla %139, %101 ve %49 olarak saptanmıştır (Çizelge 2). Çinkonun farklı formlarda kuru madde verimi üzerine etkisinin olduğu yapılan başka çalışmalarda da bildirilmiştir. Örneğin, Cevizcioğlu (2012), sera koşullarında buğdaya artan dozda ve farklı formlarda topraktan Zn uygulamış ve bitkinin kuru madde verimi üzerine olan etkisini saptamıştır. Çalışmada kontrol uygulamasına göre tüm formların kuru madde verimini önemli oranda arttırdığı ve topraktan artan dozlarda uygulanan Zn formlarından Zn-EDTA'nın verim üzerinde en belirgin etkiye sahip olduğu buna karşılık en düşük etkinin ise ZnO formuna ait olduğunu bildirmiştir. Sera koşullarında yürütülen bir başka çalışmada farklı formlardan toprağa Zn uygulanmasıyla buğday bitkisinin tane veriminin kontrole göre Zn-EDTA ile %12 artarken, ZnSO₄ uygulaması ise %10 artırdığı saptanmıştır (Modaihsh 1997). Benzer şekilde Taban ve ark. (1997), tarla koşullarında yürüttükleri çalışmada Zn-EDTA'nın buğdayın tane verimini ZnSO₄'dan daha fazla artırdığını bildirmişlerdir.

Çizelge 1. Artan dozlarda (Zn0: 0 mg Zn kg⁻¹, Zn0.2: 0.2 mg Zn kg⁻¹, Zn1: 1 mg Zn kg⁻¹, Zn5: 5 mg Zn kg⁻¹) ve farklı formlarda (ZnO, ZnSO₄.7H₂O, Zn-EDTA ve ZnCl₂) Zn uygulamalarının mısırın yeşil aksam SPAD değerleri üzerine etkisi.

Table 1. Effects of increased doses (Zn0: 0 mg Zn kg⁻¹, Zn0.2: 0.2 mg Zn kg⁻¹, Zn1: 1 mg Zn kg⁻¹, Zn5: 5 mg Zn kg⁻¹) and different forms (ZnO, ZnSO₄.7H₂O, Zn-EDTA and ZnCl₂) of Zn applications on shoot SPAD values of maize.

Zn (mg kg ⁻¹)	SPAD				
	ZnO	ZnSO ₄	Zn-EDTA	ZnCl ₂	Ortalama
0	34.07	34.07	34.07	34.07	34.07
0.2	26.97	30.60	28.35	33.47	29.85
1	21.23	32.65	30.60	26.57	27.76
5	23.17	33.30	26.95	26.13	27.39
Ortalama	26.36c	32.66a	29.99b	30.06ab	
LSD _(0.05)	4.69	ö.d.	6.54	6.90	

* ö.d. : istatistiksel olarak önemli değil.

Çizelge 2. Artan dozlarda (Zn0: 0 mg Zn kg⁻¹, Zn0.2: 0.2 mg Zn kg⁻¹, Zn1: 1 mg Zn kg⁻¹, Zn5: 5 mg Zn kg⁻¹) ve farklı formlarda (ZnO, ZnSO₄.7H₂O, Zn-EDTA ve ZnCl₂) Zn uygulamalarının mısırın yeşil aksam kuru madde verimi üzerine etkisi.

Table 2. Effects of increased doses (Zn0: 0 mg Zn kg⁻¹, Zn0.2: 0.2 mg Zn kg⁻¹, Zn1: 1 mg Zn kg⁻¹, Zn5: 5 mg Zn kg⁻¹) and different forms (ZnO, ZnSO₄.7H₂O, Zn-EDTA and ZnCl₂) of Zn application on shoot dry matter yield of maize.

Zn (mg kg ⁻¹)	Yeşil Aksam Kuru Madde Verimi (g bitki ⁻¹)				
	ZnO	ZnSO ₄	Zn-EDTA	ZnCl ₂	Ortalama
0	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
0.2	1.17	1.56	2.51	2.11	1.84
1	2.26	2.85	3.11	3.09	2.83
5	2.43	3.05	3.21	3.21	2.98
Ortalama	1.73c	2.13b	2.47a	2.37a	
LSD _(0.05)	0.29	0.39	0.57	0.62	

Farklı formlarda uygulanan Zn'nun, mısır ve buğday bitkisinin dışında diğer bitki türlerinde de benzer etkileri görülmüştür. Örneğin, Gülmezoğlu ve Aytaç (2016), aspir bitkisine topraktan ve yapraktan uygulanan Zn-EDTA ve $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ formlarının verim ve Zn konsantrasyonu üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmada, farklı Zn form ve uygulama metotlarının, bitkinin tane verimini kontrol uygulamasına göre önemli oranda arttırdığını bildirmişlerdir.

Tarla ve sera koşullarının yanısıra mısır bitkisine farklı formlardan uygulanan Zn'nun etkileri su kültürü koşullarında da araştırılmıştır. Örneğin, Rasheed ve ark. (2019), su kültürü koşullarında yaptıkları çalışmada, iki farklı mısır genotipi ile farklı Zn form ve uygulama metotlarının bitkinin kuru madde verimi ve Zn konsantrasyonu üzerine etkilerini belirlemişler ve sonuç olarak doğrudan besin çözeltisine uygulanan Zn'nun yapraktan Zn uygulamasına göre bitkilerin kuru madde verimi üzerine daha etkili olduğunu, ayrıca Zn-EDTA'nın $ZnSO_4$ 'dan daha olumlu sonuç verdiğini bildirmişlerdir.

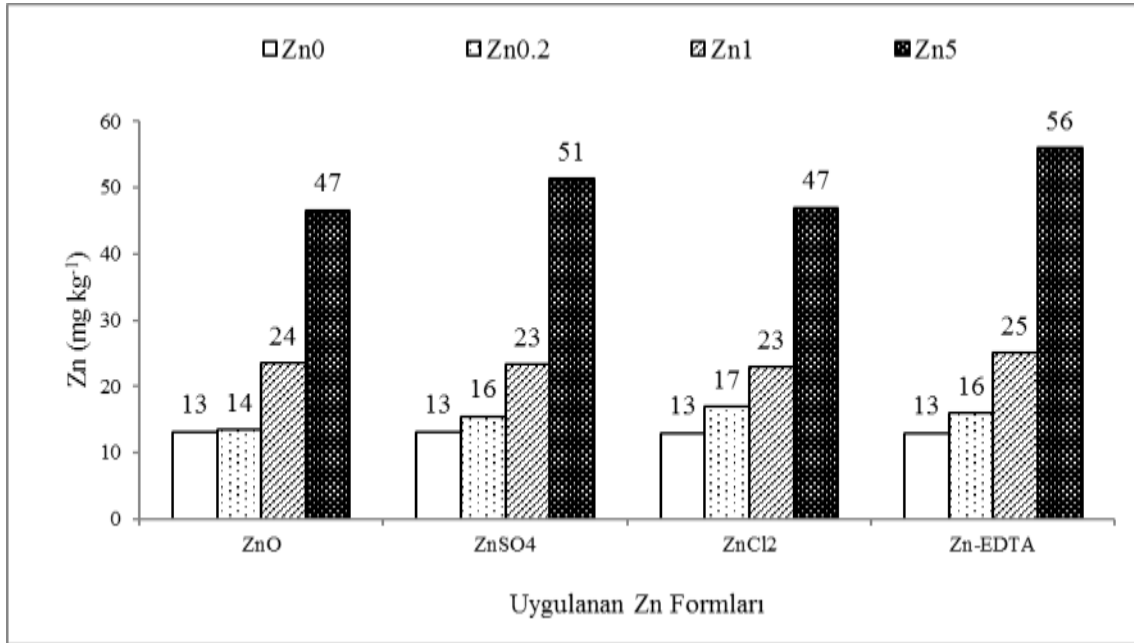
3.2. Çinko uygulamalarının yeşil aksam Zn konsantrasyonu ve içeriği üzerine etkisi

Artan dozlarda ve farklı formlarda Zn uygulamaları altında yetiştirilen mısır bitkisine ait yeşil aksam Zn konsantrasyonları Şekil 3'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Zn uygulamaları beklenildiği gibi bitkilerinin yeşil aksamındaki Zn konsantrasyonlarını önemli oranda arttırmıştır ($p < 0.005$). Farklı Zn formlarından bağımsız olarak tüm saksılar için Zn'nun verilmediği uygulamada bitkinin yeşil aksam Zn konsantrasyonu 13 mg kg^{-1} , Zn'nun 0.2 , 1 ve 5 mg kg^{-1} uygulandığı saksılarda ise sırasıyla 16 , 24 ve 50 mg kg^{-1} olduğu bulunmuştur. Kontrol uygulamasına göre artan dozda Zn

uygulanması bitkilerin yeşil aksam Zn konsantrasyonunu arttırmış ve söz konusu artış oranları %2 (ZnO-Zn0.2) ile %327 (Zn-EDTA-Zn5) arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu artışlarda Zn uygulama dozunun önemli olduğu buna karşılık uygulanan gübre formlarının ise önemli bir farklılık yaratmadığı görülmüştür (Şekil 3).

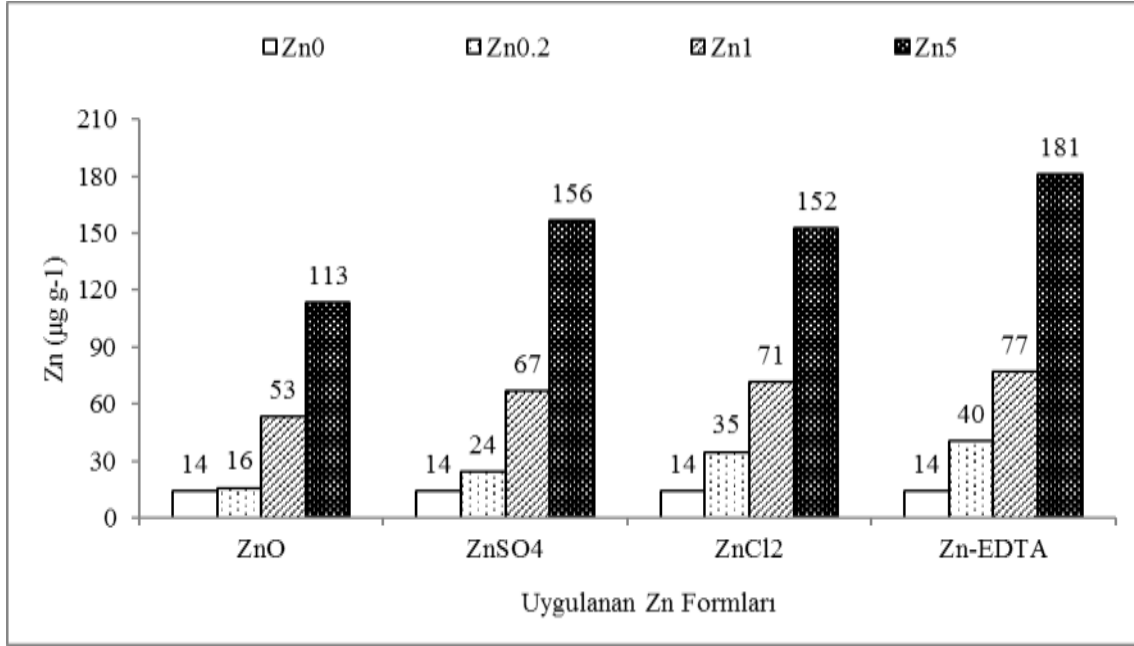
Kutman ve ark. (2010), Zn'ca fakir bir toprakta yürüttükleri bir çalışmada topraktan ve yapraktan Zn uygulamalarının makarnalık buğdayın tanesindeki Zn birikimi üzerine önemli bir etkisinin olduğunu; yapraktan veya topraktan Zn'nun uygulanması ile tanenin Zn konsantrasyonunun önemli derecede artmış olduğunu bildirmişlerdir. Mısır bitkisi ile su kültürü koşullarında tohumdan Zn uygulamalarını konu alan bir çalışmada ise, çözeltiden Zn uygulamasının yeşil aksam ve kök Zn konsantrasyonlarını arttırdığını bildirmiştir (Torun ve ark. 2016).

Bitkinin Zn alım karakteristiği açısından önemli bir parametre olan yeşil aksam Zn içeriğine Zn uygulama dozu ve formlarının etkisinin önemli olduğu görülmüştür. Örneğin, ZnO'nin en düşük Zn uygulama dozu olan 0.2 mg kg^{-1} Zn uygulaması altında Zn içeriği $16 \text{ } \mu\text{g bitki}^{-1}$ iken bu değer Zn-EDTA, $ZnCl_2$ ve $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ için sırasıyla 40 , 35 ve $24 \text{ } \mu\text{g bitki}^{-1}$ olarak saptanmıştır. Tüm uygulama dozlarında Zn alımı açısından en yüksek ve en etkin alımların, Zn-EDTA'da olduğu belirlenmiş, bunu sırasıyla $ZnCl_2$, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ve ZnO takip etmiştir (Şekil 4). Benzer bulgular Cevizcioglu (2012) tarafından vejetatif dönemde hasat edilen buğday bitkisinde de elde edilmiştir. Aynı çalışmada uygulanan tüm dozlarda bitki başına toplam Zn alımındaki en fazla artışın Zn-EDTA formunda olduğu, en az artışın ise ZnO formuna ait olduğu bildirilmiştir.



Şekil 3. Artan dozlarda (Zn0: 0 mg Zn kg^{-1} , Zn0.2: $0.2 \text{ mg Zn kg}^{-1}$, Zn1: 1 mg Zn kg^{-1} , Zn5: 5 mg Zn kg^{-1}) ve farklı formlarda (ZnO, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, Zn-EDTA ve $ZnCl_2$) Zn uygulamalarının mısırın yeşil aksam Zn konsantrasyonu üzerine etkisi ($LSD_{(0.05)}$ ZnO: 5.26, $ZnSO_4$: 6.44; $ZnCl_2$: 9.85; Zn-EDTA: 8.68).

Figure 3. Effects of increased doses (Zn0: 0 mg Zn kg^{-1} , Zn0.2: $0.2 \text{ mg Zn kg}^{-1}$, Zn1: 1 mg Zn kg^{-1} , Zn5: 5 mg Zn kg^{-1}) and different forms (ZnO, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, Zn-EDTA and $ZnCl_2$) of Zn applications on shoot Zn concentration of maize ($LSD_{(0.05)}$ ZnO: 5.26, $ZnSO_4$: 6.44; $ZnCl_2$: 9.85; Zn-EDTA: 8.68).



Şekil 4. Artan dozlarda (Zn0: 0 mg Zn kg⁻¹, Zn0.2: 0.2 mg Zn kg⁻¹, Zn1: 1 mg Zn kg⁻¹, Zn5: 5 mg Zn kg⁻¹) ve farklı formlarda (ZnO, ZnSO₄.7H₂O, Zn-EDTA ve ZnCl₂) Zn uygulamalarının mısırın yeşil aksam Zn içeriği üzerine etkisi (*LSD*_(0,05) ZnO:14.54; ZnSO₄:15.62; ZnCl₂:16.09; Zn-EDTA:20.03).

Figure 4. Effects of increased doses (Zn0: 0 mg Zn kg⁻¹, Zn0.2: 0.2 mg Zn kg⁻¹, Zn1: 1 mg Zn kg⁻¹, Zn5: 5 mg Zn kg⁻¹) and different forms (ZnO, ZnSO₄.7H₂O, Zn-EDTA and ZnCl₂) of Zn applications on shoot Zn concentration of maize (*LSD*_(0,05) ZnO:14.54; ZnSO₄:15.62; ZnCl₂:16.09; Zn-EDTA:20.03).

4. Sonuç

Sera koşullarında gerçekleştirilen bu çalışma sonucunda, toprağa yapılan Zn uygulamaları bitkinin sadece kuru madde verimlerini artırmamış, aynı zamanda yeşil aksam Zn konsantrasyon ve içeriğinde de önemli artışlara yol açmıştır. Bu nedenle mısır bitkisinde Zn noksanlığından kaynaklı verim kayıplarının önüne geçmek için özellikle Zn'ca fakir topraklarda ekim öncesinde Zn uygulamasının mutlaka yapılması gerekmektedir. Ayrıca gübre kullanım formu olarak sırasıyla; Zn-EDTA, ZnCl₂ ve ZnSO₄.7H₂O'ın tercih edilmesi, ZnCl₂ kullanımında tuzluluk problemi olmayan alanlarda kullanımına dikkat edilmesi gerektiği ancak Zn'nun topraktaki residüal etkisinin uzunluğu ve ekonomik koşullar düşünüldüğünde ZnO'ın de değerlendirilebilir nitelikte olduğu söylenebilir. Ancak, denemeye konu olan doz ve form uygulamalarının bitkinin tane verimi üzerine etkisini görmek için generatif dönemi de içine alan çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Kaynaklar

- Aktaş H, Abak K, Öztürk L, Çakmak İ (2006) The effect of zinc on growth and shoot concentrations of sodium and potassium in pepper plants under salinity stress. *Turkish Journal Agriculture Forestry* 30: 407-412.
- Alloway BJ (2009) Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environmental Geochemistry and Health* 31(5): 537-548.
- Bagci SA, Ekiz H, Yılmaz, A, Cakmak, I (2007) Effects of zinc deficiency and drought on grain yield of field-grown wheat cultivars in Central Anatolia. *Journal of Agronomy & Crop Science* 193: 198-206.
- Bouyoucos GJ (1951) A Recalibration of hydrometer for making mechanical analysis of soil. *Agronomy Journal* 43: 434-437.

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

Cakmak I, Kalayci M, Kaya Y, Torun AA, Aydın 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 & Food Chemistry* 58: 9092-9102.

Cakmak I, Kutman UB (2018) Agronomic biofortification of cereals with zinc: A review. *European Journal of Soil Science* 69: 172-180.

Cevizcioğlu Ö (2012) Değişik çinko formlarının ekmeçlik buğdayda verim ve tane çinko konsantrasyonu üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

Çağlar KÖ (1949) Toprak Bilgisi. Ankara Üniversitesi. Yayınları No: 10, Ankara.

Dhaliwal SS, Sadana US, Manchanda JS, Dhadli HS (2009) Biofortification of wheat grains with zinc (Zn) and iron (Fe) in typic ustochrept soils of Punjab. *Indian Journal of Fertilizers* 5: 13-16.

Dhaliwal SS, Ram H, Shukla AK, Mavi GS (2019) Zinc biofortification of bread wheat, triticale, and durum wheat cultivars by foliar zinc fertilization. *Journal of Plant Nutrition* 42(8): 813.

Erdem H (2011) Silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalitesine çinko gübrelemesinin etkilerinin belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 28(2): 199-206.

FAO (2018) FAO Statistical Year. <http://faostat.fao.org>. Erişim 15 Mart 2018.

Geç Y, McDonald GK, Graham RD (2004) Differential expression of zinc efficiency during the growing season of barley. *Plant and Soil* 263: 273-282.

Graham RD, Welch RM (1996) Breeding for staple-food crops with high micronutrient density: Working Papers on Agricultural Strategies for Micronutrients, No.3. International Food Policy Institute, Washington DC.

- Grewal HS, Williams R (1999) Alfalfa genotypes differ in their ability to tolerate zinc deficiency. *Plant and Soil* 214: 39-48.
- Gülmezoğlu N, Aytaç, Z (2016) Farklı çinko uygulamalarının aspir bitkisinin verimi ve çinko alımı üzerine etkisi. *Toprak Su Dergisi* 5(2): 11-17.
- Güneş A, İnal A, Alpaslan M, Çıkılı Y (1999) Effect of salinity on phosphorus induced zinc deficiency in pepper (*Capsicum annuum* L.) *Plants. Agriculture and Forestry* 23: 459-464.
- Hacısalıhoğlu G, Öztürk L, Çakmak İ, Welch RM, Kochian L (2004) Genotypic variation in common bean in response to zinc deficiency in calcareous soil. *Plant and Soil* 259: 71-83.
- Hotz C, Brown KH (2004) Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. *Food Nutrition Bulletin* 25: 94-204.
- Jackson ML (1959) *Soil chemical analysis*. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Khan HR, McDonald GK, Rengel Z (1998) Chickpea genotypes differ in their sensitivity to Zn deficiency. *Plant and Soil* 198: 11-18.
- Kutman UB, Yıldız B, Ozturk L, Cakmak I (2010) Biofortification of durum wheat with zinc through soil and foliar applications of nitrogen. *Cereal Chemistry* 87: 1-9.
- Lindsay WL, Norwell WA (1978) Development of a DTPA Soil test for Zn, Fe, Mn and Cu. *Soil Science Society of America: Proceedings* 42: 421-428.
- Martens DC, Westermann DT (1991) Fertilizer applications for correcting micronutrient deficiencies. In: Mortvedt JJ, Cox FR, Shuman LM, Welch RM (eds) *Micronutrients in Agriculture*. SSSA Book Series No. 4. Madison, WI. s. 549-592.
- Modaihsh AS (1997) Foliar application of chelated and non-chelated metals for supplying micronutrients to wheat grown on calcareous soil. *Experimental Agriculture* 33: 237-245.
- Mortvedt JJ (1991) Micronutrient fertilizer technology. In: Mortvedt JJ, Cox FR, Shuman LM, Welch RM (eds) *Micronutrients in Agriculture*. SSSA Book Series No. 4. Madison, WI. s. 89-112.
- 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 Cereal Science* 46 (3): 293-307.
- Özer MS (1999) Harran ovası koşullarında değişik mısır genotiplerinin çinko gübrelemesine reaksiyonları ve çinko yetersizliğine dayanıklı genotiplerin seçimi. *Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana*.
- Özgülven N, Katkat AV (2001) Artan miktarlarda uygulanan çinkonun mısır bitkisinin verim ve çinko alımı üzerine etkisi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 15: 85-97.
- Pandey N, Pathak GC, Sharma CP (2006) Zinc is critically required for pollen function and fertilisation in lentil. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 20: 89-96.
- Quijano-Guerta, C, Kirk GJD, Portugal AM, Bartolome VI, McLaren GC (2002) Tolerance of Rice Germplasm to Zinc Deficiency. *Field Crops Research* 76: 123-130.
- Rasheed N, Maqsood MA, Aziz T, Rehman MZU, Bilal HM, Ayub MA, Irfan M, Sanaullah M (2019) Zinc application methods affect its accumulation and allocation pattern in maize grown in solution culture. *International Journal of Agriculture and Biology* 21: 1197-1204.
- Signorell C, Zimmermann MB, Cakmak I, Wegmuller R, Zeder C, Hurrell R, Aciksoz SB, Boy E, Tay F, Frossard E, Moretti D (2019) Zinc absorption from agronomically biofortified wheat is similar to post-harvest fortified wheat and is a substantial source of bioavailable zinc in humans. *The Journal of Nutrition* 149: 840-846.
- Singh B, Natesan SKA, Sing BK, Usha K (2005) Improving zinc efficiency of cereals under zinc deficiency. *Current Science* 88: 1.
- Taban S, Alpaslan M, Güneş A, Aktaş M, Erdal İ, Eyüpoğlu H, Baran İ (1997) Değişik şekillerde uygulanan çinkonun buğday bitkisinde verim ve çinkonun biyolojik yararlanılabilirliği üzerine etkisi. 1. Ulusal Çinko Kongresi. Cilt 1, Eskişehir, s. 147-156.
- Torun B, Çakmak Ö, Özbek H, Çakmak İ (1998) Çinko eksikliği koşullarında yetiştirilen değişik tahıl türlerinin ve çeşitlerinin çinko eksikliğine karşı duyarlılığının belirlenmesi. I Ulusal Çinko Kongresi (Tarım, Gıda ve Sağlık) Cilt 1, Eskişehir, s. 363-369.
- Torun AA, Er A, Erdem H, Torun B (2016) Tohum çinko uygulama metodunun su kültürü koşullarında mısırın kuru madde verimi ve çinko konsantrasyonu üzerine etkisinin belirlenmesi. *Toprak Su Dergisi* 5(2): 42-51.
- Torun AA, Duymuş E, Erdem H, Torun MB (2019) Effects of Zn applications on dry matter yield and mineral nutrient uptake of corn and wheat crops in two different regions of soils with zinc deficiency. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology* 7(9): 1382-1386.
- Welch RM, Graham RD (2004) Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. *Journal of Experimental Botany* 55: 353-364.
- White JG, Zasoski RJ (1999) Mapping soil micronutrients. *Field Crop Research* 60: 11-26.
- Yağmur B, Ceylan Ş, Yoldaş F, Oktay M (2002) Çinko katkılı ve katkısız kompoze gübrelerin sakız kabağı (*Cucurbita Pepo* cv.) yetiştiriciliğinde verim ve bazı verim kriterlerine etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 39(1): 111-117.