

Çinko ve NaCl Uygulamalarının Makarnalık Buğdayın (*Triticum durum* Desf.) Kuru Madde Verimi ve Besin Elementi Konsantrasyonları Üzerine Etkisi

Ayfer ALKAN TORUN¹ Nurdilek GÜLMEZOĞLU² İnci TOLAY³
Ebru DUYMUŞ¹ Zehra AYTAÇ⁴ Şahin CENKSEVEN¹ Bülent TORUN¹

¹Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Adana

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Eskişehir

³Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Antalya

⁴Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Eskişehir
atorun@cu.edu.tr

Öz

Dünyanın birçok bölgesinde bitki verimliliğini azaltan tuzluluk, kurak ve yarı kurak bölgelerde yaygın olup böylesi alanlarda çinko (Zn) eksikliği de bitkisel üretimi sınırlandıran önemli bir sorundur. Bu çalışmada, Zn noksanlığına sahip bir toprakta Zn ve tuz uygulamalarının makarnalık buğdayın (Kundurdu-1149) yeşil aksam büyümesi ve bazı element konsantrasyonlarına etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla yürütülen çalışmada denemenin başında 3 farklı Zn dozu (0, 5 ve 10 mg Zn kg⁻¹) bitkilerin sapa kalkma döneminde ise 4 farklı tuz dozu (%0, 0.5, 1.0 ve 1.5) uygulanmıştır. Denemede bitkinin yeşil aksam klorofil içeriği (SPAD değeri), kuru madde verimi, yeşil aksam potasyum (K), sodyum (Na), çinko (Zn), mangan (Mn), bakır (Cu), demir (Fe) konsantrasyonları ve K/Na parametreleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre SPAD değerleri, Zn uygulamasının 5 mg kg⁻¹ dozuyla artmış ancak tuz uygulaması ile azalmıştır. Tuz uygulamasının kuru madde veriminde yol açtığı azalma, Zn'nun 10 mg kg⁻¹ uygulamasına göre kontrol ve 5 mg kg⁻¹ uygulamasında daha fazla gerçekleşmiştir. Bitkilerin yeşil aksamındaki K konsantrasyonları bütün tuz uygulamaları altında azalma eğilimi gösterirken, Zn uygulamaları ile artmış, Na konsantrasyonu ise bütün tuz uygulamaları altında artarken Zn uygulamasının aynı tuz uygulamaları altında Na konsantrasyonunu azalttığını, Zn ve Mn konsantrasyonunun arttığı görülmüştür. Sonuçta, tuz uygulamasından kaynaklanan zararın Zn uygulama koşulları altında azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Çinko, tuzluluk, NaCl, makarnalık buğday

Effects of Zinc and NaCl Applications on Dry Matter Yield and Mineral Nutrient Concentrations of Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.)

Abstract

Salinity, which reduces plant productivity in many regions of the world, is common in arid and semi-arid regions and zinc (Zn) deficiency in such areas is an important problem that limits crop production. In this study, it was aimed to determine the effects of Zn and salt applications on the growth and mineral content of the shoots in Kundurdu-1149, which is a durum wheat cultivar using a soil with Zn deficiency. In the study carried out with this aim, 3 Zn doses (0, 5 and 10 mg Zn kg⁻¹) at the beginning of the experiment and Zn and 4 different salt doses (0, 0.5, 1.0 and 1.5%) at the tillering stage of plants were applied. Chlorophyll content (SPAD value), dry matter yield, green component potassium (K), sodium (Na), Zn, Mn, Cu, Fe concentrations and K/Na parameters of the plant were determined in the experiment. According to the results, SPAD values were increased due to Zn application regardless of salt application, but SPAD values decreased in all Zn applications due to increased salt applications. The yield reduction of the dry matter yielded by salt application was higher in the application of 0 mg kg⁻¹ and 5 mg kg⁻¹ than the 10 mg kg⁻¹ application of Zn. While the K concentrations in the shoots of the plants tend to decrease under all salt applications, they increased with Zn applications and Na concentration increased under all salt applications, while Na concentration decreased with Zn application under the same salt applications. As a result, the damage caused by salt application has been observed to decrease under Zn application conditions.

Keywords: Zinc, salinity, NaCl, durum wheat

Giriş

Abiyotik stres faktörlerinden biri olan tuzluluk, bitki yetiştiriciliğini kısıtlayan ve uzun yıllar öncesinden günümüze kadar hala araştırmacılar tarafından incelenen konuların başında gelmektedir. Tuzluluk tarım, ormancılık, mera gelişimi ve diğer benzer uygulamalar için büyük zararlara yol açmaktadır. Yüksek konsantrasyondaki tuzların bitki üzerinde zararlı etkileri olduğuna ve bitki gelişimini durdurduğuna dair oldukça fazla kanıtlar vardır (Pessarakli ve Szabolcs, 1999). Birçok araştırmacı, yüksek tuzluluğun çimlenme ve fide büyümesini geciktirdiğini bildirmiştir (Garg ve Gupta, 1997; Mer ve ark., 2000; Ramoliya ve Pandey, 2003).

Bitkilerin tuzdan zararlanmasının birincil nedeni olan ana kayadan veya tuzun yoğun olarak bulunduğu okyanuslardan oluşan yağıştan (Munns ve Tester, 2008) ve ikincil nedeni olarak tarımsal alanlarda yoğun sulama ile çeşitli tuzlar bakımından zengin yer altı suyu seviyesinin toprak yüzeyine kadar yükselmesi ile oluşmaktadır (Pessarakli ve Szabolcs, 1999). Yeryüzündeki tuzlu toprakları ise çoğunlukla Na₂SO₄ ve NaCl oluşturmaktadır (Pessarakli ve Szabolcs, 1999; Çulha ve Çakırlar, 2011).

Tuzluluk bitki gelişimini üç ana yolla sınırlayabilmektedir (Marschner, 2011). Bunlar, bitkinin potasyum (K), kalsiyum (Ca), azot (N) veya fosfor (P) alımındaki düşüş ile ilişkili su stresine girmesi, mutlak gerekli besin elementi dengesizliği ve bu besin elementlerinin alımında azalma, iyon toksisitesi, özellikle klor (Cl) ve sodyum (Na) alımının artışı şeklindedir (Yeşil, 2008). Su ve iyon dengesindeki önemli değişiklikler bitkinin gelişimini olumsuz etkilemekte, klorofilin oksidatif bozulmasına (yaprak klorozu) ve plazma membranında lipit peroksidasyonuna neden olmakta ve dolayısıyla bitkilerin tuz stresi veya tuzluluk tolerans seviyesine bağlı olarak bitkilerin ölümüne neden olmaktadır.

Tuzluluk kurak ve yarı kurak bölgelerde yaygın bir problem olurken, toprakta Zn eksikliği de aynı bölgelerde bitki üretimini kısıtlamaktadır. Çinko noksanlığı bitkisel üretimde verim ve kalite parametrelerini etkileyen önemli beslenme sorunuyken, insan beslenmesi için de ciddi bir beslenme problemidir (Çakmak, 2008). Çinko noksanlığı olan topraklarda üretim ciddi bir şekilde azalmaktadır. Çinko yapısal bütünlüğü etkileyerek, kök hücre zarının geçirgenliğini kontrol etmekte ve tuzlu koşullarda bitkinin aşırı Na alımını azaltmaktadır (Aktaş ve ark., 2006). Bitkilerin yeterli Zn ile beslenmesi, bitki hücrelerinde Na konsantrasyonunun azalmasına ve bitkilerin K/Na oranının artmasında etkili olmaktadır. Hücrelerde Zn eksikliğinde, hücre zarları yüksek geçirgenlik göstermekte ya da kökten bazı organik ve inorganik bileşikler sızmaktadır (Yeşil, 2008). Çinko eksikliği, Na ve Cl gibi toksik iyonların artmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle bitki gelişimi üzerinde tuzluluğun ve Zn eksikliğinin birbirine olan etkileri önemlidir.

Makarnalık buğday (*Triticum durum* Desf.), ülkemizde ve dünyada gıda üretiminde önemli bir yere sahiptir. Çinko eksikliğinin dünyada tahıl üretilen bölgelerde yaygın olduğu belirtilmektedir (Graham ve Welch, 1996; Alloway, 2008). Türkiye’de tahıl üretilen alanlarının yaklaşık %49.8’inin bitkilerce alınabilir Zn konsantrasyonunun (0.5 mg kg⁻¹ kritik sınır değerinden) düşük olduğu bildirilmiştir (Eyüpoğlu ve ark., 1996).

Tuz ve Zn çalışmaları bazı farklı bitkilerde (Alpaslan ve ark., 1999; Aktaş ve ark., 2006; Daneshbakhsh ve ark., 2013; Gulmezoglu ve ark., 2016) araştırılmış olmasına rağmen, makarnalık buğday bitkisinde benzer bir çalışmanın olmadığı belirlenmiştir. Bu çalışmada, toprağa farklı oranda Zn uygulanmış ve bitkilerin vejetatif dönemlerinin başlangıcında, farklı konsantrasyonlarda NaCl içeren su ile sulanan makarnalık buğday bitkilerinin, Zn uygulamasında tuz zararını iyileştirici etkileri araştırılmıştır.

Materyal ve Metot

Bu çalışmada, Zn noksanlığına sahip (DTPA’da ekstrakte edilebilir Zn düzeyi 0.20 mg kg⁻¹ olan) Eskişehir-Sultanönü toprağı kullanılarak Çukurova Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü’ne ait seralarda, 3 tekerrürlü olacak şekilde 36 saksıda yürütülmüştür. Kullanılan toprağın, pH (toprak:su: 1:2) ve toplam tuz (Jackson, 1959), bünye (Bouyoucos, 1951), organik madde (Walkley ve Black, 1934), alınabilir fosfor (Olsen ve ark., 1954), potasyum (Carson, 1980), demir, çinko, mangan, bakır (Lindsay ve Norvell, 1978) konsantrasyonlarına bakılmıştır. Çalışmanın toprağı hafif alkalın (pH 8.02), tuzsuz (0.24 mmhos cm⁻¹) ve killi tınlı, organik maddesi (%1.1) çok düşük, orta kireçli (%10.2), alınabilir P (4.8 mg kg⁻¹) az, K (149 mg kg⁻¹) yeterli, Zn (0.2 mg kg⁻¹) yetersiz, Fe (0.85 mg kg⁻¹) orta, Mn (2.74 mg kg⁻¹) az ve Cu (0.46 mg kg⁻¹) konsantrasyonu yeterli olarak belirlenmiştir.

Bitki yetiştirilecek her bir saksıya, 1.65 kg kuru toprak tartılmış ve bir kg toprak için temel gübreler olarak, (NH₄)₂SO₄ formunda 200 mg kg⁻¹ N, KH₂PO₄ formunda 100 mg kg⁻¹ P; 125 mg kg⁻¹ K ve Fe-EDTA formunda 2.5 mg kg⁻¹ Fe uygulanmıştır (Torun ve ark., 2017).

Bu araştırmada makarnalık buğday olan Kunduru-1149 çeşidi kullanılmıştır. Buğday tohumlarının ekiminden önce Zn noksanlığına sahip toprağı, üç Zn dozu (Zn0=0 mg Zn kg⁻¹, Zn5= 5 mg Zn kg⁻¹ ve Zn10= 10 mg Zn kg⁻¹) ZnSO₄.7H₂O formunda hesaplanarak uygulanmıştır. Tohumların ekimi, bir saksıya 20 adet tohum olacak şekilde yapılmıştır. Tohumlar çimlenip, bitkiler 3-4 yapraklı aşamaya gelince, her saksıda 10 bitki kalacak şekilde seyreltilmiştir. Tohumların çıkışından 34 gün sonra bitkilerin vejetatif devrelerinin başlangıcında (sapa kalkma aşamasında), %0, 0.5, 1.0 ve 1.5 NaCl içeren sulama suyu ile bir hafta tuz uygulaması yapılmıştır. Tuz uygulamasının yapılmadığı dönemde sulama işlemi için bitkiler saf suyla günlük olarak tarla kapasitesine yakın bir nem içeriğinde tutulacak şekilde sulanmıştır.

Makarnalık buğdayın çiçeklenme öncesinde (ekimden 86 gün sonra), bitkilerin toprak üstü aksamaları hasat edilmiştir. Hasat edilmeden önce bitkilerin büyümesini tamamlamış en genç yapraklarından 5 tekerrürlü olarak SPAD metre ile klorofil değerleri belirlenmiştir (Follett ve ark., 1992). Hasat edilen bitkiler yeşil aksam kuru madde veriminin belirlenmesi için 65 °C’de 48 saat kurutulmuş, kuru madde verimi için tartılmış (mg bitki⁻¹) ve yeşil aksam örnekleri, mineral element konsantrasyonları için kapalı sistem (Milestone 1200 Mega) mikrodalga fırınında H₂O₂-HNO₃ karışım asitte yakılmıştır. Elde edilen süzükte K, Na, Zn, Mn, Cu ve Fe konsantrasyonları Inductively Coupled Plasma-Atomik Emission Spectrometry (ICP-AES) cihazında ölçülmüştür.

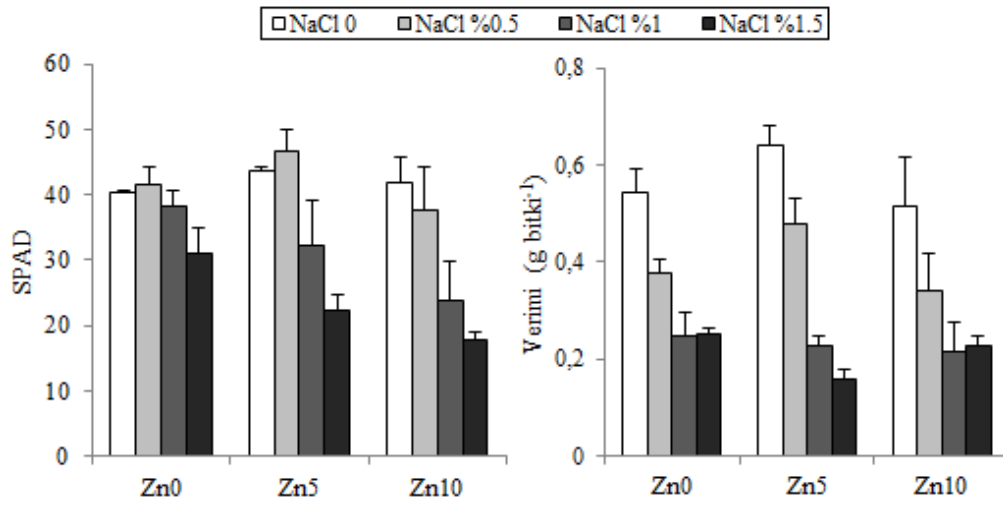
Elde edilen verilerde, Tesadüf Parselleri Deneme Deseni’ne göre IBM SPSS 20 (IBM, Armonk, NY, USA) paket programı kullanılarak varyans analizi yapılmış ve ortalamalar arasındaki farkları belirlemek için %5 önem seviyesinde LSD testi kullanılmıştır. Elde edilen üç tekrarlı veriler çizelge ve şekillerde ortalama ±standart hata şeklinde ifade edilmiştir.

Araştırma Bulguları ve Tartışma

Bu çalışmada makarnalık buğday bitkisinin, tuz stresi altında Zn uygulamasının etkisini görmek üzere sera koşullarında test edilmiştir. Bitkiler vejetatif aşama başlangıcına (gerçek 3-4 yapraklı) geldiğinde farklı tuz konsantrasyonuna (%0, 0.5, 1.0 ve 1.5 NaCl) maruz bırakılarak, tuza karşı dayanıklılıkta Zn uygulamasının etkisine bakılmıştır. Denemede yeşil aksamda klorofilin bir ifadesi olan SPAD değeri, kuru madde verimi, yeşil aksam Zn, K, Na, Fe, Mn ve Cu konsantrasyonları ve yeşil aksamın K/Na oranları değerlendirilmiştir.

Yeşil Aksam Klorofil ve Kuru Madde Verimi

Hasat öncesi ölçülen SPAD değerleri, tuz uygulamalarına bakılmaksızın, Zn uygulamalarına (Zn0, Zn5 ve Zn10) bağlı olarak artmıştır (Şekil 1). Bununla birlikte, tüm Zn uygulamalarında, uygulanan tuz miktarındaki artış ile SPAD değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Örneğin, Zn10 uygulamasında SPAD değeri NaCl %0, 0.5, 1.0 ve 1.5 uygulamalarında sırasıyla 42, 38, 24 ve 18 olarak ölçülmüştür. Bazı araştırmalarda bitkilerin tuz stresi altında yaprak klorofil içeriğinin artan tuz oranıyla birlikte domates (Shiam ve ark., 2015) ve bezelye (Hamada ve El-Enany, 1994) gibi tuza duyarlı bitkilerde azaldığını bildirmiştir. Ancak Misra ve ark. (1997) ise tuz stresinin, stresli yaprakların kloroplast sayısında artışa neden olduğunu ve bunun sonucunda klorofil içeriğinin de arttığını bildirmiştir. Çinko uygulaması ile klorofil içeriğinin artması ise fotosentez sırasında kloroplastların içindeki hasarlı proteini çinkonun onararak, NaCl'nin olumsuz etkilerini azaltabildiği şeklinde bildirilmektedir (Parker ve ark., 1992; Bailey ve ark., 2002).



Şekil 1. Artan dozda Zn ve NaCl uygulamalarının makarnalık buğday bitkisinin SPAD değeri (LSD_{0.05}; Zn: 3.85**, NaCl: 4.45***, Zn×NaCl: 7.70*) ve kuru madde verimi (LSD_{0.05}; Zn: 0.041*, NaCl: 0.047***, Zn×NaCl: 0.082**) üzerine etkisi

Farklı Zn ve tuz uygulamaları altında buğday bitkisinin kuru madde verimi önemli düzeyde etkilenmiştir (Şekil 1). Tüm Zn uygulamalarında, artan NaCl miktarı ile bitki veriminin önemli düzeylerde azaldığı belirlenmiştir. Kontrole göre verim azalışlarının %1 ve %1.5 NaCl uygulamalarında daha belirgin olduğu, %1.5 NaCl uygulamalarında kuru madde verimindeki azalışların Zn0'da 2.2, Zn5'de 4.0 ve Zn10'da 2.3 kat olduğu belirlenmiştir.

Çinko uygulaması bitkilerin kuru madde veriminde doğrusal bir artışa yol açmamış olup, en yüksek ortalama kuru madde veriminin 0.38 g bitki⁻¹ ile 5 mg Zn kg⁻¹ uygulanan bitkilerde olduğu saptanmıştır (Şekil 1). Bununla beraber 10 mg Zn kg⁻¹ uygulaması altında buğdayın kuru madde veriminin düştüğü görülmüştür. Bu sonuç, Zn uygulamasının bitki verimini NaCl toksisitesine karşı belli bir doza kadar koruyabileceğini göstermiştir. (Şekil 1). Zn×NaCl interaksiyonunda en yüksek kuru madde verimi (0.64g bitki⁻¹) Zn'nun 5 mg Zn kg⁻¹ uygulandığı ancak tuz uygulanmayan bitkilerden elde edilmiştir. En düşük kuru madde verimi (0.16 g bitki) ise, 5 mg Zn kg⁻¹ uygulaması altında %1.5 NaCl uygulamasında belirlenmiştir. Çinkonun etkilerinin buğday bitkisi ile çalışan Genç ve ark. (2005), Daneshbakhsh ve ark. (2013) ve biber bitkisinde çalışan Aktaş ve ark. (2006) tarafından yürütülen çalışmada da benzer sonuçlar bildirilmiştir.

Yeşil Aksam K, Na ve Zn Konsantrasyonları ve K/Na Oranı

Bitkilerin yeşil aksamındaki K konsantrasyonları bütün tuz uygulamaları altında azalma eğilimi gösterirken Zn uygulamaları ile arttığı görülmüştür. Örneğin, tüm tuz uygulamalarının ortalaması olarak K konsantrasyonu Zn0 uygulamasında %4.31 iken, Zn5 ve Zn10 uygulaması altında %4.47 olduğu görülmüştür. İstatistiksel olarak makarnalık buğdayın K konsantrasyonuna Zn uygulaması ve Zn×NaCl interaksyonunda önemli bir fark belirlenmemiş olsa da NaCl uygulaması bitkilerin K konsantrasyonunu azalmıştır (Çizelge 1). Tuz stresi altındaki bitkilerin K alımı ve biriktirmesi ile hücrede ozmotik potansiyelde artış, dolayısıyla hücreye daha fazla su alımı söz konusu olabilir. Potasyum, bitkinin su ihtiyacını sağlamada oldukça önemlidir. Bitkilerin tuz koşullarında Na alımını azaltıp, K alımını artırması ile tuzlu koşullardan etkilenmemesi mümkün olmaktadır (Gorham ve ark., 1985). Satti ve Lopez (1994) tuz stresine maruz kalan domates bitkilerinde K konsantrasyonundaki bir artışın, tuz stresinin zararlı etkisini hafifletebileceğini bildirmiştir. Bu araştırma verilerine göre istatistiksel olarak Zn uygulamasının K konsantrasyonuna etkisi görülmemesine rağmen artan Zn uygulamaları ile ortalama K konsantrasyonunu (%4.5 K) arttırdığı görülmektedir (Çizelge 1). Kısmen de olsa Zn'nun tuz uygulaması altında bitkinin K konsantrasyonuna olumlu etkisinin olduğu söylenebilir.

Potasyum konsantrasyonunun aksine Na konsantrasyonu bütün tuz uygulamaları ile artarken Zn uygulamasının aynı tuz uygulamaları altında Na konsantrasyonunu azaltan bir etkisi olmamış ve en yüksek Na konsantrasyonu 10 mg Zn kg⁻¹ uygulaması ile en yüksek tuz dozunda (%8.34) elde edilmiştir (Çizelge 1). Yüksek tuz konsantrasyonlarına dayanabilen genotiplerin, tuza hassas genotiplere göre toprak üstü aksamlarına daha yüksek oranda K alımı yapıp, Na alımını azaltabildikleri yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Botella ve ark., 1997; Al-Karaki, 2000). Ancak tuzlu koşullarda K alımında azalma ve Na alımında artışın olduğu bazı çalışmalarda mevcuttur (Levitt, 1980; Yıldırım ve ark., 2006). Aşırı Na birikiminde, yüksek K'un gerekli olduğu işlemlerde metabolik bozulmalara neden olabilmektedir (Marschner, 2011). Bu çalışmada Zn'ya duyarlı bir tür olan makarnalık buğdayın (Torun ve ark., 1998), NaCl uygulamasına da hassas olduğu ve hem Zn noksanlığından hem de tuz stresinden kendisini yeteri kadar koruyacak K birikimini sağlayamadığı belirlenmiştir.

Çizelge 1. Artan dozlarda Zn ve NaCl uygulamalarının makarnalık buğday bitkisinin yeşil aksam K, Na, Zn konsantrasyonu ve K/Na oranı üzerine etkisi

Zn Dozları (mg kg ⁻¹)	NaCl Dozları (%)	K (%)	Na (%)	K/Na oranı	Zn (mg kg ⁻¹)
Zn0	0	5.32±0.11	1.40±0.04	3.79±0.11	13.63±0.86
	0.5	3.94±0.33	2.89±0.33	1.39±0.29	12.07±0.57
	1	3.70±0.31	4.90±0.92	0.77±0.13	10.23±0.95
	1.5	4.29±0.06	6.25±0.48	0.69±0.04	12.97±0.91
	Ort.	4.31	3.86	1.66	12.20
Zn5	0	5.48±0.12	1.93±0.09	2.84±0.09	85.53±2.97
	0.5	4.30±0.45	4.02±0.40	1.08±0.21	71.60±2.95
	1	3.90±0.26	5.87±0.69	0.67±0.13	54.67±2.66
	1.5	4.19±0.18	8.23±0.16	0.51±0.03	45.33±4.19
	Ort.	4.47	5.01	1.28	64.28
Zn10	0	6.01±0.08	2.30±0.08	2.62±0.07	117.77±16.69
	0.5	3.87±0.56	4.14±0.07	0.94±0.15	100.37±12.42
	1	3.90±0.03	7.08±0.93	0.56±0.07	73.13±10.37
	1.5	4.38±0.03	8.34±0.22	0.53±0.01	60.87±2.02
	Ort.	4.54	5.46	1.16	88.03
<i>LSD_{0.05}</i>	(Zn): ö.d. (NaCl): 0.26 (Zn×NaCl): ö.d.	(Zn):0.41 (NaCl): 0.48 (Zn×NaCl): ö.d.	(Zn): 0.11 (NaCl):0.13 (Zn×NaCl):0.23	(Zn): 5.90 (NaCl):6.82 (Zn×NaCl):11.81	

ö.d.: önemli değil

Potasyum ve Na konsantrasyonunun yanı sıra K/Na oranları artan tuz uygulamalarına bağlı olarak azalma göstermiş ve Zn uygulamasının söz konusu parametre üzerinde azalma yönünde bir etkisi olmamıştır (Çizelge 1). Bitkilerin tuzluluğa dayanıklılık mekanizmalarında, kökleriyle almış oldukları iyonlar arasında dengenin olması, önemli bir etkidir. Sodyum birikmesinin kontrol altına alınması, yapraklardaki K/Na oranının yüksek olması ile tuzluluğa dayanıklılık konusunda önemli ilişki bulunmaktadır (Cuartero ve Fernandez-Munoz, 1999; Al-Karaki, 2000; Daşgan ve ark., 2006). Tuz stresi altında yetişen bitkilerde Na alımının ve taşınmasının düzenlenmesi, dokularındaki yüksek K/Na oranının ve dolayısıyla önemli bir tuz tolerans özelliği olarak yorumlanmaktadır (Shabala ve Pottosin, 2014). Genel ifade ile yüksek K varlığı, tuz stresi altındaki bitkinin büyümesini iyileştirdiği, ancak düşük K'un tuz stresi koşullarında tahrip edici etkisinin olduğu bildirilmektedir (Very ve Sentenac, 2003). Toksik Na⁺ birikiminin düzenlenmesi, K iyonunun alımının ve birikiminin artırılmasının, tuzlu ortamlarda tuza hassas bitkilerin hayatta kalmasında önemli olduğu açıktır, bu da Na ve K taşıyıcılarının ve kanallarının bu bitkilerin tuz stresine toleransında önemli bir rol oynaması anlamına gelmektedir (Assaha ve ark., 2017). Bu çalışmada Zn'un K/Na oranına, K konsantrasyonunu artırarak olumlu etkisi bulunmuştur.

Makarnalık buğdayın yeşil aksamında Zn konsantrasyonu, Zn uygulamaları ile önemli bir artış gösterirken, artan NaCl dozları ile azalma göstermiştir (Çizelge 1). En yüksek Zn konsantrasyonu (117.8 mg kg⁻¹) tuz uygulanmayan 10 mg Zn kg⁻¹ uygulamasından elde edilirken, en düşük Zn konsantrasyonu ise Zn uygulanmayan ve en yüksek NaCl (%1.5) uygulamasında belirlenmiştir. Ancak tuz uygulamasına bağlı olarak Zn konsantrasyonu azalmıştır. Alpaslan ve ark. (1999), tuzlu bölgelerde Zn uygulamasının, Na iyonunun bitkiler üzerindeki olumsuz etkilerini azalttığını ve bitkilerin tuzluluğa karşı toleransını arttırdığını, aynı zamanda tuzlu koşullar altında Na iyonu ile Zn arasındaki ilişkide, Zn alımının

azaldığını bildirmiştir. Bu çalışmada, Zn uygulamasının, makarnalık buğday bitkisinin tuzlu koşullarda olumlu tepki vermesini ve bunun bitkinin yeşil aksamında Zn konsantrasyonunu artırması ile sağladığı anlaşılmaktadır. Bazı araştırmacılar (Aktas ve ark., 2006; Eker ve ark., 2013; Gulmezoglu ve ark., 2016) tarafından da benzer sonuçlar bildirilmiştir.

Yeşil Aksam Fe, Cu ve Mn Konsantrasyonları

Makarnalık buğdaya Zn uygulaması sadece Mn konsantrasyonu üzerinde etkili olmuştur (Çizelge 2). Bu etkinin Zn dozlarının Mn konsantrasyonunu artırdığı şeklinde görülmüştür. Ancak uygulanan iki Zn dozu da Mn konsantrasyonu yakın değerlerde artış olarak belirlenmiştir. Çinko uygulaması bitkilerin Fe ve Cu konsantrasyonunda önemli bir etkide bulunmamıştır. NaCl uygulaması Mn, Fe ve Cu konsantrasyonlarında önemli etkide bulunmuş ve artan tuz uygulaması ile Mn ve Cu konsantrasyonları NaCl uygulamasının artan dozuyla düşmüş, Fe konsantrasyonu ise NaCl'ün %1.5 dozuna kadar düşerken, bu dozda Fe konsantrasyonunda artışa neden olmuştur. Zn×NaCl interaksiyonu Mn ve Fe konsantrasyonunda önemli etki yaparken, Cu konsantrasyonunda etkisi bulunmamıştır. Bitkilerin Mn konsantrasyonu 5 mg Zn kg⁻¹ uygulamasıyla birlikte %0.5 NaCl uygulamasında (194.6 mg Mn kg⁻¹), Fe konsantrasyonu 10 mg Zn kg⁻¹ ile beraber %1.5 NaCl uygulamasında (111.2 mg Fe kg⁻¹) en yüksek değerler belirlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Artan dozlarda Zn ve NaCl uygulamalarının makarnalık buğday bitkisinin yeşil aksam Fe, Cu ve Mn konsantrasyonu üzerine etkisi

Zn Dozları (mg kg ⁻¹)	NaCl Dozları (%)	Fe	Cu	Mn
		(mg kg ⁻¹)		
Zn0	0	101.3±13.2	10.90±0.61	120.3±23.1
	0.5	57.60±7.25	9.83±0.21	111.1±18.9
	1	53.27±13.12	6.80±0.50	115.8±12.6
	1.5	75.00±5.96	6.27±0.12	130.2±1.7
	Ort.	71.79	8.45	119.3
Zn5	0	77.80±9.81	10.17±0.35	152.9±15.9
	0.5	65.07±2.69	9.73±1.70	194.6±18.2
	1	53.90±0.44	6.10±0.44	137.6±13.8
	1.5	62.67±3.21	6.77±0.81	113.4±2.1
	Ort.	64.86	8.19	149.6
Zn10	0	63.80±7.13	10.47±0.76	185.3±13.0
	0.5	56.23±3.55	8.93±0.81	178.1±31.3
	1	52.83±9.16	6.27±0.45	115.8±12.3
	1.5	111.2±4.25	6.87±0.76	97.4±4.4
	Ort.	71.02	8.13	144.1
<i>LSD_{0.05}</i>		(Zn): <i>ö.d.</i> (NaCl): 11.16 (Zn×NaCl): 19.32	(Zn): <i>ö.d.</i> (NaCl): 0.47 (Zn×NaCl): <i>ö.d.</i>	(Zn): 13.65 (NaCl): 15.77 (Zn×NaCl): 27.31

ö.d.: önemli değil

Bitki türü ve organının, tuz seviyesi ve çevre koşullarına bağlı olarak bazı mikro besin maddelerinin alımını arttırdığı veya engellediği yürütülen çalışmalarda bildirilmiştir. Villora ve ark. (2000), kabak yapraklarındaki Fe ve Mn konsantrasyonlarının, tuzluluk oranının artmasıyla arttığını, ancak Cu konsantrasyonlarının azaldığını belirtmiştir. Bununla birlikte, Cramer ve ark. (1991), tuzluluğun arpa sürgünlerinde Mn konsantrasyonunu azalttığını

belirlemiştir. Bazı araştırmacılara göre göre tuzlu koşullarda bitkilerin Fe konsantrasyonları azalırken (Yousfi ve ark., 2007), bazılarında göre yükselmektedir (Mass ve Grieve, 1987; Talei ve ark., 2012). Araştırmacılar, Cu alımının genellikle tuzluluk stresine maruz kalan bitkilerde arttığını (Alam, 1999; Achakzai ve ark., 2010), bununla birlikte, araştırmacıların çoğunun, tuzlu ve tuzlu-sodik topraklarda, Cu'nun çözünürlüğünün özellikle düşük olduğunu ve bu tür topraklarda yetişen bitkilerin genellikle Cu eksikliği yaşadığını belirtmiştir (Page ve ark., 1990; Rahman ve ark., 1993). Makarnalık buğday bitkisinin tuzlu koşullarda, mikro besin elementlerinin konsantrasyonundaki farklılıkların, özellikle artan tuz konsantrasyonu ile su kullanımında azalmaya ve iyon alımındaki dengesizlikten kaynaklanan etkileşime bağlı olabileceği söylenebilir.

Sonuç

Bu araştırmada, 5 mg Zn kg⁻¹ uygulaması ile birlikte %0.5 NaCl stresindeki buğday bitkilerinin klorofil içeriğinde bir artış gözlenmiştir. Bu, buğday bitkilerinin yeterli miktarda Zn içeren toprakta %0.5 tuz stresinin etkisinin azalttığını ve klorofil ürettiğini göstermektedir. Ayrıca Zn'ya hassas bitki olan makarnalık buğdayın fazla Zn uygulamasında (10 mg Zn kg⁻¹ dozunda) kuru madde veriminin azaldığı, tuz uygulamasına da hassas olduğu ve hem Zn hem de tuz stresinden kendisini yeteri kadar koruyacak K birikimini sağlayamadığı belirlenmiştir. Bitkilerin yeşil aksamındaki K konsantrasyonları bütün tuz uygulamaları altında azalma eğilimi gösterirken, Zn uygulamaları ile artmış, Na konsantrasyonu ise bütün tuz uygulamaları altında artarken Zn uygulamasının aynı tuz uygulamaları altında Na konsantrasyonunu azalttığı görülmüştür. Ancak Zn'nun K/Na oranına, K konsantrasyonunu artırarak olumlu etkide bulunmuştur. Bu çalışmada Zn uygulamasının, makarnalık buğday bitkilerinin tuzlu koşullarda olumlu tepki vermesini ve bitkinin yeşil aksamında Zn konsantrasyonunun artmasını sağlamıştır. Benzer şekilde, Zn dozları Mn konsantrasyonunu artırmış fakat Mn ve Cu konsantrasyonları, NaCl uygulamasının artan dozuyla azalmıştır. Buğday bitkilerinin tuz içeren su ile sulanması, mikro besin elementlerinin konsantrasyonunda, özellikle artan tuz konsantrasyonu ile su kullanımında azalma sonucu, iyon alımında dengesizlikten dolayı farklılıkların olabileceği söylenebilir.

Sonuçlar, Zn noksan alanlarda bitkilerin tuzlu sulamadan zarar görebileceğini ve yeterli Zn miktarına sahip topraklarda bitkilerin NaCl'e karşı daha dayanıklı ve verimlerini artırabileceğini göstermektedir. Ayrıca, tuz zararının görüldüğü alanlarda Zn içerikli gübre kullanımının bitki veriminde belli bir doza kadar koruyucu etkisinin olduğu saptanmıştır. Bu çalışmanın, özellikle tuzlu ve Zn noksanlığının görüldüğü bölgelerde tarla denemeleri ile desteklenmesinin de yararlı olacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

- Achakzai, A. K. K., Kayani, S. A., Hanif, A. Z. H. A. R. (2010). Effect of salinity on uptake of micronutrients in sunflower at early vegetative stage. *Pakistan Journal of Botany*, 42(1), 129-139.
- Aktaş, H., Abak, K., Oztürk, L., Cakmak, I. (2006). The Effect of zinc on growth and shoot concentrations of sodium and potassium in pepper plants under salinity stress. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30, 407-412.
- Alam, S. M. (1999). Nutrient uptake by plants under stress conditions. *Handbook of Plant and Crop Stress*, 285-313.
- Al-Karaki, G. N. (2000). Growth, water use efficiency and sodium and potassium acquisition by tomato cultivars grown under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 23(1), 1-8.
- Alloway, B. J. (2008). Zinc in soils and crop nutrition. 2nd edition. IZA Brussels, Belgium and IFA Paris, France.

- Alpaslan, M., Inal, A., Günes, A., Çikili, Y., Özcan, H. (1999). Effect of zinc treatment on the alleviation of sodium and chloride injury in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) Mill. cv. Lale) Grown under salinity. Turkish Journal of Botany, 23, 1-6.
- Assaha, D. V., Ueda, A., Saneoka, H., Al-Yahyai, R., Yaish, M. W. (2017). The role of Na⁺ and K⁺ transporters in salt stress adaptation in glycophytes. Frontiers in physiology, 8, 509.
- Bailey, S., Thompson, E., Nixon, P. J., Horton, P., Mullineaux, C. W., Robinson, C., Mann, N. H. (2002). A critical role for the Var2 FtsH homologue of Arabidopsis thaliana in the photosystem II repair cycle in vivo. Journal of Biological Chemistry, 277, 2006–2011.
- Botella, M. A., Martinez, V., Pardines, J., Cerda, A. (1997). Salinity induced potassium deficiency in maize plants. Journal of Plant Physiology, 150(1-2), 200-205.
- Bouyoucos, G. J. (1951). A Recalibration of the hydrometer for making mechanical analysis of soils. Agronomy Journal, 43, 434-438.
- Carson, P. L. (1980). Recommended Potassium Test. in: Recommended chemical soil test procedures for the North Central Region. Rev. Ed. North Central Region Publication No: 221. North Dakota Agric.Exp. Stn. North Dakota State University, Fargo, USA.
- Cramer, R. G., Epstein, E., Lauchli, A. (1991). Effects of sodium, potassium and calcium on salt stressed barley. II. Elemental Analysis. Physiologia Plantarum, 81(2), 197.
- Cuartero, J., Fernandez-Munoz, R. (1999). Tomato and Salinity. Scientia Horticulturae, 78, 83-125.
- Çakmak, I., (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? Plant and Soil, 302, 1-17.
- Çulha, Ş., Çakırlar, H. (2011). Tuzluluğun bitkiler üzerine etkileri ve tuz tolerans mekanizmaları. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11, 11-34.
- Daneshbakhsh, B., Khoshgoftarmansh, A. H., Shariatmadari, H., Cakmak, I. (2013). Effect of zinc nutrition on salinity-induced oxidative damages in wheat genotypes differing in zinc deficiency tolerance. Acta physiologiae plantarum, 35, 881–889.
- Daşgan, H. Y., Koç, S., Ekici, B., Aktaş, H., Abak, K. (2006). Bazı fasulye ve börülce genotiplerinin tuz stresine tepkileri. Alatarım, 5(1), 23-31.
- Eker, S., Heybet, E. H., Barut, H., Erdem, H. (2013). Effects of zinc on growth and sodium, potassium and calcium concentrations of shoot in bread wheat under salt stress. Fresenius Environmental Bulletin, 22:1622-1627.
- Eyüpoğlu, F., Kurucu, N., Talaz, S. (1996). Türkiye topraklarının bitkiye yararlı bazı mikroelementler bakımından genel durumu. Toprak ve Su kaynakları Araştırma Yıllığı. Yayın No: 98, Ankara.
- Follett, R. H., Follett, R. E., Halvorson, A. D. (1992). Use of chlorophyll meter to evaluate the nitrogen status of dry land winter wheat. Communications in Soil Science and Plant Analysis 23, 687–697.
- Garg, B. K., Gupta, I. C. (1997). Saline wastelands environment and plant growth. Scientific Publishers, Jodhpur, India, 283 p.
- Genç, Y., Humphries, J. M., Lyons, G. H., Graham, R. D. (2005). Exploiting genotypic variation in plant nutrient accumulation to alleviate micronutrient deficiency ion populations. Journal of Trace Elements, 18(4), 319-324.
- Gorham, I., McDonnell, E., Budrewics, E., Wyn Jones, R. G. (1985). Salt tolerance in the Triticeae: Growth and solute accumulation in leaves of *Thinopyrum hessarabicum*. Journal of experimental botany, 36, 1021-103.
- Graham, R. D., Welch, R. M. (1996). Breeding for staple-food crops with high micronutrient density. Agricultural Strategies for Micronutrients Working Paper No. 3. Washington, DC: International Food Policy Research Institute, 1-72.
- Gulmezoglu, N., Aydogan, C., Turhan, E. (2016). Physiological, biochemical and mineral dimensions of green bean genotypes depending on zn priming and salinity. Legume Research, 39 (5), 713-721.
- Hamada, A. M., El-Enany, A. E. (1994). Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. Plant biology, 36, 75-81.
- Jackson, M. L. (1959). Soil Chemical Analysis, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Levitt, J. (1980). Responses of Plants to Environmental Stresses. Vol.II, 2nd ed. Academic Press, New York, pp:607.
- Lindsay, W. L., Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America Journal, 42, 421-428.

- Maas, E., Grieve, C. (1987). Sodium-induced calcium deficiency in salt-stressed corn. *Plant Cell Environ.* 10(7), 559-564.
- Marschner, H. (2011). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3rd Edition. Academic Press, Amsterdam, Netherlands.
- Mer, R. K., Prajith, P. K., Pandya, D. H., Pandey, A. N. (2000). Effect of salts on germination of seeds and growth of young plants of *Hordeum vulgare*, *Triticum aestivum*, *Cicer arietinum* and *Brassica juncea*. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 185: 209–217.
- Misra, A. N., Sahl, S. M., Misra, M., Singh, P., Meera, T., Das, N., Har, M., Sahu, P. (1997). Sodium chloride induced changes in leaf growth, and pigment and protein contents in two rice cultivars. *Biologia plantarum*, 39, 257-262
- Munns, R. Tester, M. (2008). Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681.
- Olsen, S. N., Cole, C. V., Watanabe, F. S., Dean, L. A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by Extraction with Sodiumbicarbonate. USDA, Circ. 939 p.
- Page, A., Chang, A., Adriano, D. (1990). Deficiencies and toxicities of trace elements. *Agric Salinity Assess Manage*, 71, 138-160.
- Parker D. R, Aguilera, J.J., Thomason, D. N. (1992). Zincphosphorus interaction in two cultivars of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) grown in chelato-buffered nutrient solution. *Plant and Soil*, 193, 163–177.
- Pessarakli, M., Szabolcs, I. (1999). Soil Salinity and Sodidity as Particular Plant/Crop Stress Factors, *Handbook of Plant Crop Stress*, New York, 1198 p.
- Rahman, S., Vance, G. F., Munn, L. C. (1993). Salinity induced effects on the nutrient status of soil, corn leaves and kernels. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 24, 2251-2269.
- Ramoliya, P. J., Pandey, A. N. (2003). Effect of Salinization of Soil on Emergence, Growth and Survival of Seedlings Of *Cordia rothii*. *Forest Ecology and Management*, 176, 185-194.
- Satti, S. M. E., Lopez, M. (1994). Effect of increasing potassium levels for alleviating sodium chloride stress on the growth and yield of tomato. . *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 25, 2807-2823.
- Shabala, S., Pottosin, I. (2014). Regulation of potassium transport in plants under hostile conditions: implications for abiotic and biotic stress tolerance. *Physiologia plantarum*, 151, 257–279. doi: 10.1111/ppl.12165
- Shiam, I. H., Nahiyani, A. S. M., Momena, K., Mehraj, H., Uddin, A. J. (2015). Effect of NaCl salt on vegetative growth and yield of sixteen tomato lines. *Journal of Bioscience and Agriculture Research*, 3(1), 15-27.
- Talei, D., Kadir, M. A., Yusop, M. K., Valdiani, A., Abdullah, M. P. (2012). Salinity effects on macro and micronutrients uptake in medicinal plant King of Bitters (*Andrographis paniculata* Nees.). *Plant Omics*, 5(3), 271-8.
- Torun, A. A., Erdem, H., Tolay, I., Torun, B. (2017). Farklı tahıl türlerinin çinko noksanlığına karşı duyarlılığının belirlenmesi. *Türk Tarım –Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(12), 1571-1574.
- Torun, B., Çakmak, Ö., Özbek, H., Çakmak, I. (1998). Çinko eksikliği koşullarında yetiştirilen değişik tahıl türlerinin ve çeşitlerinin çinko eksikliğine karşı duyarlılığın belirlenmesi. I. Ulusal Çinko Kongresi, 12-16 Mayıs 1997, Bildiri Kitabı. 897-900, Eskişehir.
- Very, A. A., Sentenac, H. (2003). Molecular mechanisms and regulation of K⁺ transport in higher plants. *Annual review of plant biology*, 54, 575–603.
- Villora, G., Moreno, D. A., Pulgar, G., Romero, L. (2000). Yield improvement in zucchini under salt stress: Determining micronutrient balance. *Scientia Horticulturae*, 86, 175-183.
- Walkley, A., Black, I. A. (1934). An examination of degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-37.
- Yeşil, E., (2008). Genetic Variation for Salt and Zinc Deficiency Tolerance in *Aegilops tauschii*. Sabancı Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Yıldırım, E., Taylor A. G., Spittler, T. D. (2006). Ameliorative effects of biological treatments on growth of squash plants under salt stress. *Scientia Horticulturae*, 111:16.
- Yousfi, S., Mahmoudi, H., Abdelly, C., Gharsalli, M. (2007). Effect of salt on physiological responses of barley to iron deficiency. *Plant Physiology and Biochemistry*, 45(5), 309-314.