



Effects of Different Concentration of Copper Solutions on the Kind of Alfalfa Seeds

Gülay ZULKADİR

*Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, 46040
Kahramanmaraş, Turkey, gulayzulkadir@ksu.edu.tr*

Abstract

In this study, three different varieties of alfalfa were studied to determine that their effect on germination parameters related to the germination under heavy metal stress in different concentrations of copper and these effects were studied to determine the differences between the varieties. The trial, control (distilled water) with 100, 200, 400 and 800 μM copper (CuSO_4) containing solutions which copper concentrations using as the water to germinate seeds are given. Seeds on copper- containing and no copper- containing solutions were germinated in dark conditions and germination cabinet set at 20 °C. On the three different kinds of alfalfa seeds on germination performance, 100 and 200 μM copper concentrations were occurred the positive impact compared to the kontrol; but, on the concentrations of 400 and 800 μM , it was determined that showing reduce germination performance on seeds by toxic effects. According to the case of copper tolerance alfalfa varieties, determination of the effect of these has been shown to difference. However, total radicle length of each of the three clover varieties examined that effects of copper dose is changed as depending on the varieties and highest values obtained from the control group which have not applied the copper and depending on the copper dose, reduction in radicle length was determined to occur with regular and gradually. As a result of germination stage is given stimulant until

the amount of copper but it was determined that damage to the plant roots from germinating in the next step.

Keywords: CuSO₄, Heavy metal stress, Alfalfa, Germination.

Farklı Konsantrasyonlarda Kullanılan Bakır Çözeltisinin Çeşitli Yonca Tohumları Üzerine Etkileri

Özet

Bu çalışmada üç farklı yonca çeşidinin bakırın farklı konsantrasyonlarda kullanılarak ağır metal stresi altında çimlendirilmesiyle ilgili çimlenme parametreleri üzerine olan etkilerini ve bu etkilerin çeşitler arasındaki farklılıklarını belirlemeye çalışılmıştır. Denemede bakır konsantrasyonları tohumlara çimlenme suyu olarak verilmek suretiyle kontrol (saf su) ile birlikte 100, 200, 400 ve 800 µM'lık bakır (CuSO₄ Sigma) içerikli çözeltiler verilmiştir. İçerisine bakır bulunan ve bulunmayan çözeltilere konulan tohumlar, karanlık koşullarda 20 °C'ye ayarlı çimlendirme dolaplarında çimlendirilmiştir. Üç farklı yonca çeşidine ait tohumların çimlenme performansları üzerine, bakırın 100 ve 200 µM'lık konsantrasyonlarında kontrole göre olumlu etki yaptığı; ancak 400 ve 800 µM konsantrasyonlarda tohumlar üzerinde toksik etki göstererek çimlenme performanslarını düşürdüğü belirlenmiştir. Belirlenen bu etkilerin ise yonca çeşitlerinde bakıra toleranslılık durumlarına göre farklılık gösterdiği görülmüştür. Ancak, her üç yonca çeşidine ait toplam radikula uzunlukları incelendiğinde bakır dozlarının etkilerinin çeşide bağlı olarak değişmekle birlikte, en yüksek değerlerin bakır uygulanmamış olan kontrol gruplarından elde edildiği, bakır dozlarına bağlı olarak düzenli ve kademeli olarak radikula uzunluklarında azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Sonuç olarak bakır miktarının çimlenme aşamasında belirli bir doza kadar uyarıcı etkisi olduğu, ancak çimlenmeden sonraki aşamada bitki köklerine zarar verdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: CuSO₄, Ağır metal stresi, Yonca, Çimlenme.

Giriş

Ağır metaller uygun dozlarda kullanıldığı takdirde bitkilerde olumlu ve önemli etkileri bulunurken, ağır metallere aşırı miktarda maruz kalan bitkilerde toksik etki gözlenmektedir [1,2]. Ağır metallerin bu etkileri bitkilerde transpirasyon, stoma hareketleri, su alımı, fotosentez, enzim aktivitesi, çimlenme, protein sentezi, membran stabilitesi, hormonal denge gibi birçok fizyolojik olayın bozulmasına neden olmaktadır [3]. Toksikite, metalden metale değişebildiği gibi maruz kalma süresi/ konsantrasyonu, bitki türü, yaşı ve hatta organları arasında dahi farklılık göstermektedir [4,2]. Bu nedenle bitkilerin bu strese karşı oluşturduğu tepki mekanizmasını bilmek gerekmektedir. Bu özelliklerin bilinmesi, bitkilerin gelişimi ve canlılığı açısından oldukça önemlidir [5].

Bakır, bitkilerde enzim aktivasyonunda, karbonhidrat ve lipid metabolizmasında yer alması nedeniyle önemli bir elementtir [6]. Bakır kirliliği, insan aktivitesi sonucu oluşan emisyon ve atmosferik depositler, pestisid kullanımı, kanalizasyon atıklarının gübre olarak değerlendirilmesi, kömür ve maden yataklarından kaynaklanmaktadır. Bakır toksisitesi genellikle bitki kök sistemlerinde açığa çıkar ve bitki bünyesinde protein sentezi, fotosentez, solunum, iyon alımı ve hücre membran stabilitesi gibi bazı fizyolojik olayların bozulmasına neden olur [7]. Yapılan çalışmalarda; Cu toksisitesinin bitkilerde fotosentez oranının azalmasına [8], bakırın asimilat taşınımını engellemesiyle nişasta içeriğinde artışa ve ayrıca bakırın kalsiyumun köklerden yapraklara taşınımını azaltmasıyla bitkilerin magnezyum ve potasyum içeriklerinin azalmasına neden olduğunu [7], hücre duvarı elastikiyetini bozduğunu, turgoru azalttığını [9] belirlemişlerdir [10]. Toprakta bakırın fazla miktarda bulunmasının bitkilerde toplam verim [11], meyve sayısı, kuru kök ağırlığı ve bitki boyunun azalmasına neden olduğu [12], artan bakır dozlarının toprak pH'sinin, Mg ve Fe azalmasına, N, P, K, Zn ve Cu içeriklerinin artmasına neden olduğu belirtilmiştir [13]. Ayrıca Cd, Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Pb, As gibi ağır metallerin bitkilerde oksidatif stres oluşumuna neden olduğu [14,15], bakır stres toksisitesinin embriyoyu çevreleyen dokunun fizyolojik durumuna bağlı olarak toksisitenin belirlenmesinde sorumlu olduğu [16] belirtilmiştir.

Ağır metallerce kirlenmiş topraklarda yetişen *Medicago sativa* L. dokuları, metalleri alarak tolere etmekte [17-19] ve ayrıca üzerinde yetişmiş olduğu toprakları ağır metallerden temizlemektedir [20,21]. Ağır metal solusyonunda *M.sativa* dokularının en çok nikeli, daha sonra sırasıyla kadmiyum, çinkoyu ve bakır akümüle ettikleri [22], sentezledikleri ve bir molekül sayesinde de nikeli kolayca bağlayabildiklerini gözlemlemişlerdir [23]. Bir başka araştırmada, yine *M. sativa*'ya ait dokuların, metalleri 5 dakika gibi çok kısa bir süre içinde bağlayabildikleri, metallerin bağlanma tercih önceliğinin önce bakır ile başladığı, sonra sırasıyla krom, kurşun, çinko, nikel ve kadmiyum olarak devam ettiği belirtilmiştir [24,25].

Medicago sativa L. Üzerinde ağır metallere ilgili çalışmalar oldukça azdır. Bu nedenle çalışma materyalimiz olan bu bitkilerin farklı konsantrasyonlarda Cu stresi altında imlendirilmesiyle, ilgili çimlenme parametreleri üzerine olan etkilerini ve bu etkilerin çeşitler arasındaki farklılıkları belirlenebilir.

Materyal ve Metot

Materyal

Çalışma materyali olarak 3 farklı yonca eşidi (Savaş, Elçi ve Ömerbey) Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden temin edilmiş ve deneme, 2013 yılında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü laboratuvarında kurulmuştur.

Metot

Çimlenme çalışmalarında tohumlar; 5x5.5 cm çaplı petri kaplarındaki çift katlı kurutma kağıdı içerisine, birbirine temas ettirilmeksizin yerleştirilmiştir. Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü ve her bir tekerrürde 50 tohum olarak kurulmuştur. Denemede bakır konsantrasyonları tohumlara 3 ml'lik çözeltiler halinde verilmek suretiyle kontrol (saf su) ile birlikte 100, 200, 400 ve 800 µM bakır (CuSO₄ Sigma) içerikli çözeltiler oluşturulmuştur. İçerisinde bakır bulunan ve bulunmayan çözeltilere konulan tohumlar, karanlık koşullarda 20 °C'ye ayarlı çimlendirme dolaplarında imlendirilmiştir. Denemeler, testadan çıkan radikulaların

sayımı baz alınarak, 3 gün üst üste aynı sonuç verdiğiinde sonlandırılmış; aşağıda verilen çimlenme performansı ve çimlenme süresi özellikleri ele alınmıştır.

$\underline{ÇO= Çimlenme Oranı (\%)}= (Çimlenen\ tohum\ sayısı/Toplam\ tohum\ sayısı) \times 100$

$\underline{Çİ= Çimlenme İndeksi}= (1.\ gündeki\ ÇO/Dt1) + (2.\ gündeki\ ÇO/Dt2) + \dots + (n.\ gündeki\ ÇO/Dtn)$

$\underline{OÇS= Ortalama Çim. Süresi (gün)}= [(1.\ gündeki\ G \times 1.\ gün) + (2.\ gündeki\ G \times 2.\ gün) + \dots + (n.\ gündeki\ G \times n.\ gün)] / Top.\ Gün$

$\underline{Çim\ Y= Çimlenme\ Yüzdesi}= Çimlenen\ tohum\ sayısının\ toplam\ tohum\ sayısına\ oranının\ \% \text{ ifadesi}$

$\underline{YÇS: Yarı Çimlenme Süresi}= Çimlenen\ tohumların\ \% \ 50'sinin\ çimlenmesi\ için\ geçen\ süre$

$\underline{UÇ90= 90\ Üni\ form\ Çimlenme\ Süresi\ (gün)}= Çimlenen\ tohumların\ \% \ 90'ının\ çimlenmesi\ için\ geçen\ süre$

$\underline{UÇ10= 10\ Üni\ form\ Çimlenme\ Süresi\ (gün)}= Çimlenen\ tohumların\ \% \ 10'unun\ çimlenmesi\ için\ geçen\ süre$

$\underline{UÇ90-10= 90-10\ Üni\ form\ Çimlenme\ Süresi\ (gün)}= Çimlenen\ tohumların\ \% \ 90'ı\ ile\ \% \ 10'unun\ çimlenmesi\ için\ geçen\ süre$

Eşitliklerde, G: Çimlenen tohum sayısını, T: Kullanılan toplam tohum sayısını, Dt: Sayım gününü, n: Son sayım gününü göstermektedir (26).

Verilerin Değerlendirilmesi

Çalışmada elde edilen verilere F testi ile varyans analizi uygulanmış, ortalamalar arasındaki farklılıklar Duncan çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir.

Bulgular

Bu çalışma, farklı yonca çeşitlerine ait tohumlar (Savaş, Elçi ve Ömerbey) çimlenme suyu olarak verilen farklı konsantrasyonlarda bakır (CuSO_4 Sigma) çözeltisinin etkilerini araştırmak amacıyla yapılmıştır.

Çeşitli konsantrasyonlarda (0, 100, 200, 400 ve 800 μM) CuSO_4 çözeltileri ilk çimlenme suyu olarak verilerek, 20 °C’de ve karanlık ortamda çimlenmeye bırakılmış, çimlenme parametreleri ve kök uzunlukları günlük olarak belirlenmiştir.

Çimlendirmeye bırakılan yonca tohumlarının toplam 4 günlük çimlenen tohum sayılarına bağlı olarak elde edilen uygulamalar arası çimlenme parametreleri sonuçları Tablo 1’de ve yonca çeşitleri arasında gözlemlenen çimlenme parametreleri sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

Bakırın farklı konsantrasyonlarının yonca tohumları üzerine olan etkileri incelendiğinde çimlenme parametreleri (maksimum çimlenme sayısı, çimlenme yüzdesi (%), çimlenme indeksi, tohumların çimlenmesi için geçen ortalama süre, tohumların %50, 90, 10 ve 90-10 ‘unun çimlenmesi için geçen süreler gibi) üzerine olan etkileri $p < 0,001$ düzeyinde önemli bulunmuştur. En yüksek ÇO değeri 77.500 ile 100 μM ‘lık bakır konsantrasyonundan elde edilmiş olup, bu değer kontrol (74.833) ile karşılaştırıldığında çimlenmeyi teşvik ettiği görülmüştür. Artan bakır konsantrasyonlarının yonca bitkilerinde çimlenmeyi olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir. En düşük ÇO değeri 27.333 ile 800 μM ‘lık konsantrasyondan elde edilmiştir. Çim Y değeri incelendiğinde; 100 ve 200 μM konsantrasyonlardaki bakır miktarlarında sırasıyla 51.623 ve 51.456 sonuçları elde edilirken kontrole (50.720) kıyasla çok az miktarda bir artış gözlenmiştir. En düşük çimlenme yüzdesi ise 32.636 ile 800 μM ‘lık bakır konsantrasyonundan elde edilmiştir. Çimlenme indeksi bakımından uygulamalar karşılaştırıldığında 59.973 ile en yüksek değer, kontrol tohumlarından elde edilmiş olup artan konsantrasyonlarla birlikte bu değer kademeli olarak düştüğü ve en düşük değer 18.835 ile 800 μM ‘lık konsantrasyondan elde edildiği belirlenmiştir. Ortalama çimlenme süresi (OÇS)’ nin en yüksek değeri (15.354) 100 μM ‘lık konsantrasyondan elde edilmiş olup, kontrol (13.688) ile karşılaştırıldığında daha uzun sürdüğü görülmüştür. Ancak, 800 μM ‘de bu değer 5.958’e kadar düştüğü

belirlenmiştir. Yarı çimlenme süresi (YÇS) dikkate alındığında 100 ve 200 µM 'lık konsantrasyonlardan elde edilen sonuçların sırasıyla 38.750, 38.333 ve 37.417 ile kontrol uygulamasının takip ettiği görülmektedir. YÇS'de en düşük değer 13.667 ile diğer parametrelerde de olduğu gibi 800 µM 'lık konsantrasyondan elde edilmiştir. Ünitiform çimlenme süreleri incelendiğinde (UÇ90, UÇ10, UÇ90-10) en yüksek değerler 100 ve 200 µM 'lık bakır konsantrasyonlarından elde edilirken, en düşük değerler 800 µM 'lık bakır konsantrasyonundan elde edilmiştir.

Yonca tohumları çeşitlere bağlı olarak birbirleri ile kıyaslandığında, tüm çimlenme parametreleri bakımından birbirleri arasında istatistiki açıdan önemli bir fark gözlenmezken, Ömerbey çeşidinin diğer Elçi ve Savaş çeşitlerine göre farklı bakır konsantrasyonlarına karşı toleransı nispeten daha yüksek çıkmıştır.

Tablo 1. Farklı konsantrasyonlardaki CuSO₄ uygulamalarının yonca tohumlarının çimlenme parametreleri üzerine etkileri

Bakır Konsantrasyonu (mg/L)	ÇO (%)	Çim Y	Çİ	OÇS	YÇS	UÇ90	UÇ10	UÇ90-10
0	74.833 BA	50.720 BA	59.973 ^A	13.688 BA	37.417 BA	67.350 BA	7.4833 BA	59.867 BA
100	77.500 ^A	51.623 ^A	57.862 BA	15.354 ^A	38.750 A	69.750 A	7.7500 A	62.000 ^A
200	76.667 ^A	51.456 ^A	55.723 BA	15.313 ^A	38.333 A	69.000 A	7.6667 A	61.333 ^A
400	66.000 ^B	47.358 ^B	50.111 ^B	12.438 ^B	33.000 B	59.400 B	6.6000 B	52.800 ^B
800	27.333 ^C	32.636 ^C	18.835 ^C	5.958 ^C	13.667 C	24.600 C	2.7333 C	21.867 ^C
LSD: 0,05	**	**	**	**	**	**	**	**

p<0,01: ** ; p<0,05: * ; ÖD: Önemli Değil

Tablo 2. Farklı yonca çeşitlerinin farklı CuSO₄ konsantrasyonlardaki çimlenme parametresi değerleri

Çeşitler	ÇO (%)	Çim Y	Çİ	OÇS	YÇS	UÇ90	UÇ10	UÇ90-10
Savaş Yoncası	60.000 B	45.088 B	47.218 B	10.8750 B	30.000 B	54.000 B	6.0000 ^B	48.000 ^B
Elçi Yoncası	60.400 B	45.154 B	44.501 B	12.1500 B	30.200 B	54.360 B	6.0400 ^B	48.320 ^B
Ömerbey Yoncası	73.000 A	50.035 A	53.784 A	14.6250 A	36.500 A	65.700 A	7.3000 ^A	58.400 ^A
LSD: 0,05	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD

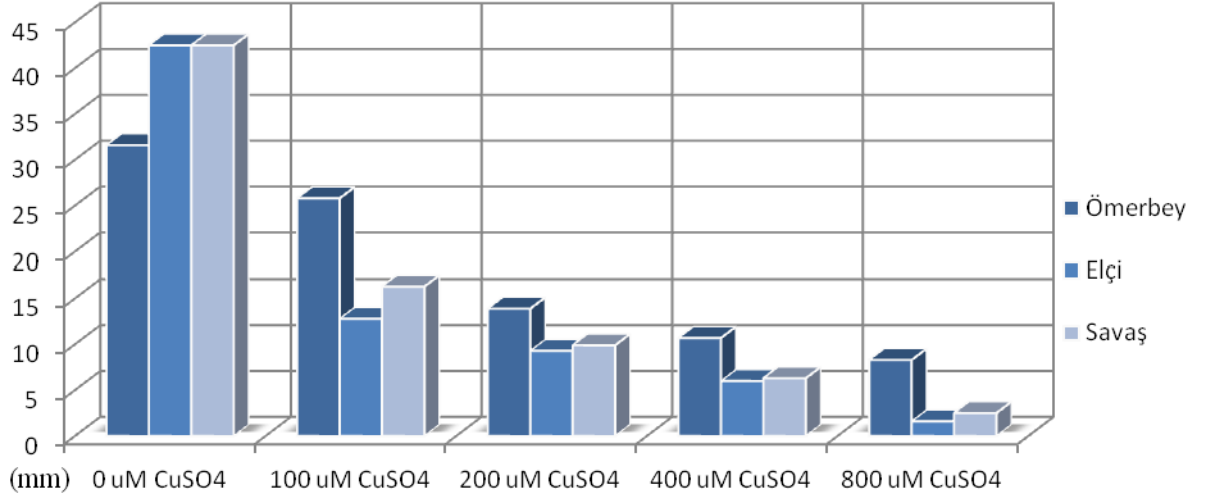
p<0,01: ** ; p<0,05: * ; ÖD: Önemli Değil

Çimlenmeye bırakılan yonca tohumlarının radikula uzunlukları günlük olarak ölçülmüş, elde edilen değerler Şekil 1’de detaylı olarak verilmiştir.

Şekil 1’deki verilere göre; Ömerbey çeşidinde, uygulamalara bağlı olarak meydana gelen radikula uzunlukları en yüksek değeri 31.6 mm ile kontrolde oluşmuştur. Daha sonra ilave edilen CuSO₄ konsantrasyonlarının miktarına paralel olarak radikula uzunluklarında da azalma olduğu ve sonuç olarak en düşük radikula değerine 8.3 mm ile 800 µM CuSO₄ konsantrasyonundan ulaşıldığı belirlenmiştir. Diğer uygulamalar incelendiğinde 100, 200 ve 400 µM CuSO₄ konsantrasyonlarındaki uygulamalarda toplam radikula uzunluğu sırasıyla 25.8, 13.9 ve 10.7 mm olarak belirlenmiştir.

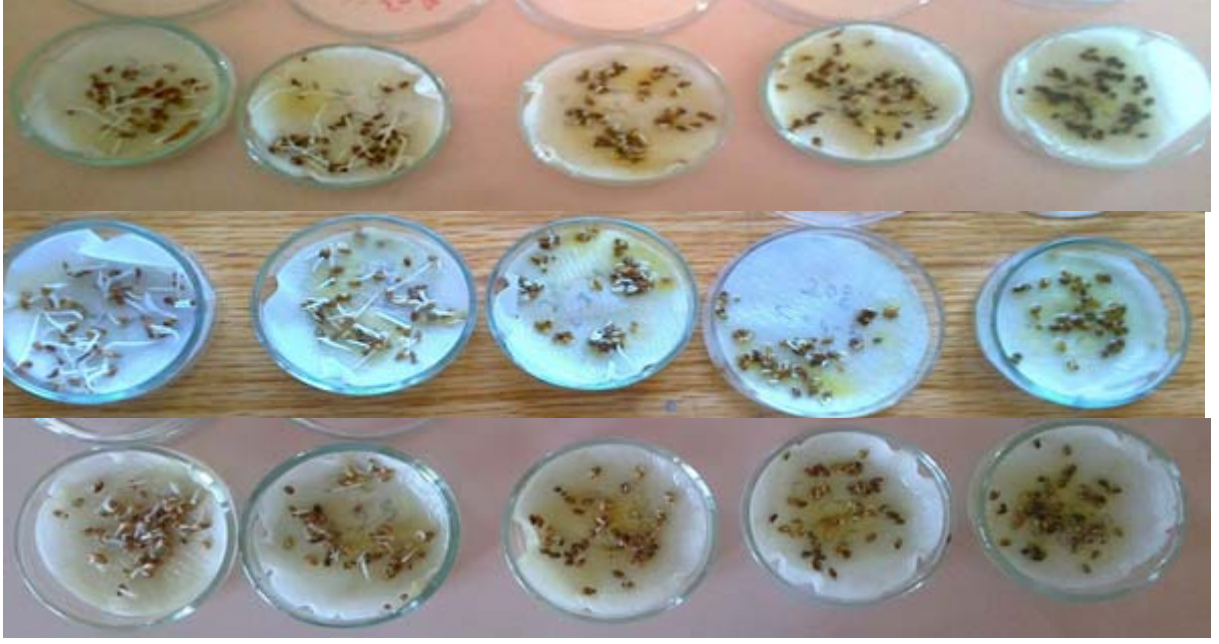
Elçi çeşidinde radikula uzunlukları incelendiğinde hiçbir şekilde CuSO₄ uygulaması yapılmamış olan kontrol tohumlarında toplam radikula uzunluğu 42.5 mm olarak elde edilmiş ve diğer uygulamalarla karşılaştırıldığında en yüksek değer elde edilmiştir. Sırasıyla diğer (100, 200 ve 400 µM) uygulamalarda 12.8, 9.3 ve 6 mm olarak radikula uzunlukları elde edilmiştir. En düşük değer ise 1.6 mm ile 800 µM ‘lık CuSO₄ konsantrasyonunun mevcut olduğu uygulamadan elde edilmiştir.

Savaş çeşidinde 0, 100, 200, 400 ve 800 μM 'lık CuSO_4 konsantrasyonlarında toplam radikula uzunlukları sırasıyla 42.5, 16.3, 9.9, 6.3 ve 2.5 mm olarak belirlenmiş olup, en yüksek değer kontrol grubu tohumlarda olurken, en düşük değer ise 800 μM 'lık 0, 100, 200, 400 ve 800 μM CuSO_4 konsantrasyonunun uygulandığı tohumlardan elde edilmiştir.



Şekil 1. Ömerbey, Elçi ve Savaş çeşitlerinin farklı konsantrasyonlardaki CuSO_4 uygulamaları sonucu elde edilen toplam radikula uzunlukları

Genel olarak incelendiğinde (Şekil 2) tüm yonca çeşitlerinde radikula uzunluklarında en yüksek değer kontrol gruplarından elde edilirken, bu değerler artan CuSO_4 konsantrasyonlarıyla orantılı olarak azalmaktadır. Ancak, çeşitler arasından kontrol grupları bakımından birbirine çok yakın değerler gösteren Elçi ve Savaş çeşitleri karşılaştırıldığında Savaş çeşidinin CuSO_4 miktarı bakımından daha toleranslı olduğu belirlenmiştir. Ömerbey çeşidinin kontrol grubu ise, diğer yonca çeşitlerinin kontrol gruplarıyla karşılaştırıldığında radikula uzunluğunun daha kısa olmasına karşın artan CuSO_4 konsantrasyonları neticesinde elde edilen radikula uzunlukları dikkate alındığında diğer her iki yonca çeşidine nazaran CuSO_4 konsantrasyonundan etkilenme durumu daha düşük bulunmuştur.



Şekil 2. Farklı dozlarda bakır uygulamalarının yonca çeşitlerinde radikula uzunlukları üzerine etkisi. Sırasıyla; Elçi, Savaş ve Ömerbey Çeşidi.

Tartışma

Çalışmada üç farklı yonca çeşidine ait tohumların çimlenme performansları üzerine, bakırın 100 ve 200 μM 'lık konsantrasyonlarında kontrole göre olumlu etkilerde bulunduğu, ancak 400 ve 800 μM konsantrasyonlarda tohumlar üzerinde toksik etki göstererek çimlenme performanslarını düşürdüğü belirlenmiştir. Belirlenen bu etkilerin ise yonca çeşitlerinde bakıra toleranlık durumlarına göre farklılık gösterdiği görülmüştür.

Her üç yonca çeşidine ait toplam radikula uzunlukları incelendiğinde çeşide bağlı olarak değişmekle birlikte en yüksek değerlerin bakır uygulanmamış olan kontrol gruplarından elde edildiği, bakır dozlarına bağlı olarak düzenli ve kademeli olarak radikula uzunluklarında azalma meydana geldiği belirlenmiştir.

Sonuç olarak bakır miktarının çimlenme aşamasında belirli bir doza kadar uyarıcı etkisi olduğu, ancak çimlenmeden sonraki aşamada bitki köklerine zarar verdiği belirlenmiştir. Buna bağlı olarak ağır metallere karşı yonca bitkisinin hassasiyeti göz

önünde bulundurulmalı ve ekimi yapılacak olan bölgede bakır miktarına bağlı olarak bakıra daha toleranslı çeşitlerin ekiminin yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Kaynaklar

- [1] Kacar, B., Katkat, V., Öztürk, Ş., Bitki fizyolojisi, Uludağ Üniversitesi, Güçlendirme Vakfı, Yayın No: 198, Vipaş Yayın No: 74, Livane Matbaası, Bursa, 2002.
- [2] Gür, N., Topdemir, A., Munzuroğlu, Ö., Çobanoğlu, D., *F.Ü. Fen ve Matematik Bilimleri Dergisi*, **16(2)**, 177-182, 2004.
- [3] Kennedy, C. D., Gonsalves, F.A.N., *J. Exp. Bot.*, **38**, 800-817, 1987.
- [4] Haktanır, K., Arcak, S., Çevre Kirliliği, Ankara Üni. Ziraat Fak. Toprak Bölümü, Ankara Üni., Yayın No: 1503, Ders Kitabı:457, Ankara, 1998.
- [5] Paschke, M. W., Valdecantos, A., Redente, E. F., *Environmental Pollution*, **135**, 313-322, 2005.
- [6] Kacar, B., Katkat, V., Bitki Besleme, Nobel Yayın, No:849. 2006.
- [7] Sossé, B. A., Genet, P., Dunand-Vinit, F., Toussaint, L. M., Epron, D., Badot, P. M., *Plant Science*, **166**, 1213-1218, 2004.
- [8] Dunand, V. F., Epron, D., Sossé, A. B., Badot, P. M., *Plant Science*, **163**, 53-58, 2002.
- [9] Ouzounidou, G., *J. Plant. Nutr.*, **17**, 933-943, 1994.
- [10] Öktüren Asri, F., Sönmez, S., Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, Antalya, 2011.
- [11] Xu, J., Yang, L., Wang, Z., Dong, G., Huang, J., Wang Y., **62**, 602-607, 2006.
- [12] Sönmez, S., Kaplan, M., Sönmez, N.K., Kaya, H., Uz, İ., *Sci. Agric.(Piracicaba, Braz.)*, **63(3)**, 213-218, 2006.

- [13] Sönmez, S., Kaplan, M., Sönmez, N. K., Kaya, H., Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, **19(1)**, 151-158, 2006.
- [14] Mithofer, A., Schulze, B., Boland, W., *FEBS Letters*, **566**, 1–5, 2004.
- [15] Yadav, S. K., *South African J. Bot.*, **76**, 167-179, 2010.
- [16] Sharma, A., Singh, G., *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, **9(1)**, 5-13, 2013.
- [17] Rechcigl, J. E., Reneau, R. B., Zelazney, L. W., *Soil Science and Plant Analysis*, **19**, 989-1001, 1988.
- [18] Kherbawy, M. E., Angle, J. S., Heggo, A., Chaney, R. L., *Biology Fertility of Soils*, **8**, 61-73, 1989.
- [19] Baligar, V. C., Campbell, T. A., Wright, R. J., *Journal of Plant Nutrition*, **16**, 219-223, 1993.
- [20] Peterson, J. S., *Hydrometallurgy*, **14**, 171- 188, 1983.
- [21] Tiemann, K. J., Gardea- Torresday, J. L., Gamez, G., Dokken, K., Renner, S. M., Furenlid, L., **33**, 150-154, 1999.
- [22] Peralta-Videa, J. R., Gardea-Torresdey, J. L., Gomez, E., Tiemann, K. J., Parsons, J. G., Carrillo, G., *Environmental Pollution*, **119**, 291-301, 2002.
- [23] Theisen, M. O., Blincoe, C., **21**, 137-146, 1984.
- [24] Gardea- Torresdey, J. L., Tiemann, K. J., Gamez, G., Dokken, K., *Journal of Hazardous Materials*, **69**, 41-51, 1999.
- [25] Demir, R., Düz, Z., *D.Ü. Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi*, **10**, 148-153, 2008.
- [26] Akıncı, S., Akıncı, İ. E., *Ekoloji*, **20(79)**, 69-76, 2011.