

Bazı Arpa Çeşitlerinin Kadmiyum ve NaCl Tuz Stresinde Cd Biriktirme Kapasitelerinin Belirlenmesi

Faruk Özkutlu¹ , Onur Burkan¹ 

¹ Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme, Ordu

Geliş Tarihi / Received Date: 28.07.2023

Kabul Tarihi / Accepted Date: 14.09.2023

Öz

Bu araştırma, sera koşullarında saksı denemesi şeklinde yürütülmüştür. Toprakta 5 mg Cd kg⁻¹ düzeyinde kirlilik oluşturulmuştur. Cd (5 ppm) ve NaCl (0 ve 3000 ppm) dozları altında yetiştirilen altı arpa bitkisinin yeşil aksam kuru madde verimi ve Cd konsantrasyonu belirlenmiştir. Cd uygulamasıyla arpa çeşitlerinin yeşil aksam kuru madde verimlerinde önemli farklılıkların olduğu saptanmıştır. Bu etki, Cd 5 ppm ve NaCl (3000 ppm) uygulamasında ise daha belirgin olarak elde edilmiş ve yaklaşık %25 oranında kuru madde verimleri azalmıştır. Çeşitler arasında en fazla kuru madde verimi Çetin 2000 çeşidinde %26.6 oranında azaldığı belirlenmiştir. Her iki stres altında yetiştirilen arpa çeşitlerinin Cd biriktirme kapasitelerinde de önemli farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Tuzsuz ve Cd 5 uygulamasına göre Cd 5 +NaCl uygulaması sonucunda yeşil aksamda Hilal çeşidinde 3.3 kat daha fazla Cd biriktirdiği saptanmıştır. Tuzsuz ortamda en az Cd biriktiren çeşit Hilal iken tuzlu ortamda ise en fazla Cd biriktiren çeşit ise Avcı 2002 (35.57 mg kg⁻¹) olduğu bulunmuştur. Araştırma sonuçlarında çeşitler arasındaki kuru madde ve çeşitlerin Cd biriktirme kapasiteleri istatistiksel olarak P<0.05 önemli olduğu saptanmıştır. Bu çalışmada, tuzun bazı yemlik arpa çeşitlerinde Cd alımını arttırdığı ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: tuz (NaCl), kadmiyum (Cd), arpa

Determining of Cd Accumulation Capacities of Some Barley Varieties under Cadmium and NaCl Salt Stress

Abstract

This research was conducted as a pot experiment under greenhouse conditions. Soil was contaminated at a level of 5 ppm Cd. Shoot dry matter yield and Cd concentration of six barley plants grown under Cd 5 ppm and NaCl (0 and 3000 ppm) doses were determined. It was revealed that there were significant differences in shoot dry matter yields of barley cultivars with Cd treatment. This effect was more significant in Cd 5 ppm and NaCl (3000 ppm) treatments, which decreased dry matter yields by about 25%. Among the varieties, the highest dry matter yield was determined to be decreased by 26.6% in Çetin 2000 variety. There were also significant differences in Cd accumulation capacity of barley varieties grown under both stresses. It was determined that the Cd 5 + NaCl treatment accumulated 3.3 times more Cd in the green parts of Hilal cultivar as a result of Cd 5 + NaCl treatment compared to Cd 5 and no salt treatment. It was found that Hilal was the least Cd accumulating cultivar in without NaCl while the highest Cd accumulating cultivar was Avcı 2002 (35.57 mg kg⁻¹) in +NaCl treatment. In the results, it was found that dry matter yield and Cd accumulation capacity of the varieties were statistically significant at P<0.05 level. In this study, it was revealed that salt increased Cd uptake in some livestock feed barley varieties.

Keywords: salt (NaCl), cadmium (Cd), barley (Hordeum vulgare)

Giriş

Tarımsal ürünler çeşitli biyotik ve abiyotik streslerin tehdidi altındadır. Abiyotik stresler arasında yer alan toprak tuzluluğu ve ağır metal stresi (Shahid vd., 2015) ciddi çevresel tehlikeleri oluşturmaktadır (Hamid vd., 2008), özellikle kurak ve yarı kurak alanlarda tuz stresi mahsul verimliliğinin azalmasına (Afzal vd., 2008, Dinler vd., 2021, Ekbic vd., 2017; Korkmaz vd., 2020) neden olmaktadır. Bitkilerde büyümedeki sınırlamalar ve verim kalitesinin bozulmasında tuzluluk önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle çeşitli bitki türleri tuzluluk sorununa karşı savunma mekanizmaları geliştirmiştir. Tuzluluğa dayanıklılığı olan bitkilerin kökleri tuzu bünyelerine almazlar. Bu tür bitkiler yarı-geçirgen zar özelliği taşıdıklarından su moleküllerinin geçmesine olanak sağlarlar. Diğer taraftan toprakta tuzluluk yüzdesi fazlalaşıp çözünmüş durumda olduğunda bitkilerin topraktan su alımı güçleşmektedir. Bu nedenle de, toprak yapısında bozulmalar ve iyonlarda dengesizlikler oluşmaktadır. Bozulmalar sonucunda bitkiler tarafından aşırı miktarda alınan tuz, hücre fonksiyonlarında tahribatlar meydana getirmesiyle fotosentez ve solunum işlevlerinde gerilemeler olmaktadır (Rady, 2011, Uyanık vd., 2014). Toprakta yüksek tuz konsantrasyonu olduğunda Na iyonunun fazlalığı nedeniyle toprağın fiziksel yapısında bozulmalarla birlikte bitkilere fazla miktarda alınan Na iyonundan kaynaklı bitkisel ürünlerin verim ve kalitelerinde düşüslere sebep olmaktadır (Sönmez ve Sönmez, 2007). Dünya nüfusunun artışına bağlı olarak daha fazla gıdaya erişmeyi sağlamak için verimin arttırılmasında gübrelerin yoğun olarak kullanıldığı belirlenmiştir (Korkmaz vd., 2021). Uygun olmayan aşırı gübreleme sonucunda; toprak reaksiyonunda değişimler ve iyonların dengesinde bozulmalar oluşmaktadır. Kimyasal gübrelerin gereğinden fazla kullanılmasında topraklarda kirlilik oluşmakla kalmayıp toprağın toksik maddelerce zenginleşmesini de sağlamaktadır. Daha fazla verim almak amacıyla fosforlu gübrelerin yoğun olarak kullanılmasıyla topraklara yüksek miktarda Cd girişi olabilmektedir (Kılıç ve Korkmaz, 2012). Fosfat kaya rezervlerinin çok büyük bir bölümünün bileşiminde çeşitli ağır metallere rastlamak mümkündür. Fosfatlı gübrelerin hammaddesinde genellikle düşük miktarlarda da olsa Hg, Ni, As, Cr, Pb bulunmaktadır. Bunlardan başka, fosforlu gübrelerin hammaddelerinde özellikle yer alan Cd uzun yıllar gübrelemenin sonucunda topraklarda belli miktarda birikimden sonra bitkilere yoğun olarak taşınabilmekte ve yenilebilir bitkilerden de besin zinciri vasıtasıyla insanlara geçmektedir (Çağlarımak, 2010; Korkmaz vd., 2010; Korkmaz vd., 2017; Korkmaz vd., 2018). Sanayileşmenin artışına bağlı olarak, endüstriyel alanların çevresinde ağır metal kirlilikleri ve özellikle de Cd kirliliği önemli bir çevresel sorun teşkil etmektedir (Aydemir vd., 2022). Son 50 yıldır tarımsal alanlarda kullanılan gübreler, antropojenik ve atık çamurlarından kaynaklanan Cd'un en önemli kirlenici kaynaklar arasında olduğu görülmektedir. Topraklara giriş yapan ve yüksek miktarda biriktiğinde toprakta mikrobiyal aktivitenin, toprak verimliliğinin azaldığı buna bağlı olarak da ürünlerdeki verim kayıplarının oluşmasına insanlar tarafından yüksek miktarda Cd içeren besinlerin tüketilmesiyle ciddi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir (Buchet vd., 1990; Gill ve Tuteja, 2011). Tarımsal alanlarda genellikle Cd düşük miktarlarda olduğu Kabata-Pendias ve Pendias (1992) göre, tarımsal alanlarda dünyada Cd konsantrasyonunun 0.06-1.1 mg kg⁻¹ arasında değiştiği ve ortalama olarak 0.53 mg kg⁻¹ olduğu bildirilmiştir.

Tarımsal topraklarda Cd dinamiği; tekstür, hidro oksitler, serbest karbonatlar, toprağın pH, redoks durumu, organik madde içeriği gibi özellikler tarafından etkilenmektedir. Bunlardan başka, son yıllarda toprakların tuzluluk durumlarının bitkilerin Cd alımını artırdığı birçok araştırma yer almaktadır (Özkutlu, 2007; Pedro vd., 2013). Tarımsal topraklarda yüksek tuz konsantrasyonu olduğunda bitkisel ürünlerin yetiştirilmesinde verim ve kaliteleri gibi çeşitli sorunlar oluşmaktadır. Topraklarda hem tuz hem de ağır metal özellikle de Cd birlikte olduğunda bitkilerdeki stres artmaktadır. Sadece tuz stresi olduğunda kültür bitkileri tuza dayanıklılık açısından farklılar gösterebilmektedir. Tuzluluğa karşı bazı bitkiler hassas iken bazıları da tuza karşı çeşitli dayanım mekanizmaları oluşturarak dayanıklı olurlar. Örneğin, pamuk, şekerpancarı, buğday ve arpa bitkileri tuza dayanıklılıkta yüksek tolerans göstermektedir (Bayraklı, 1998). Bu çalışmada, tuz ve Cd stresi altında yetiştirilen altı arpa çeşidinin Cd biriktirme kapasiteleri araştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Denemede, Ordu Üniversitesi Uygulama Arazisinden 0-20 cm derinlikten alınan toprak kullanılmıştır. Deneme, arpa yetiştiriciliğinde yaygın olarak kullanılan yemlik özellikte iki sıralı olan (Avcı 2002, Bornova 92, Bülbül, Çetin 2000, altı sıralı, Hilal ve Süleyman Bey) çeşitlerle yürütülmüştür.

Materyal

Denemede, Ordu Üniversitesi Uygulama Arazisinden 0-20 cm derinlikten alınan toprak kullanılmıştır. Denemede kullanılan toprak; tekstür (Tın), organik madde (%1.45), pH 7.42, kireç (%3.2), EC (332 $\mu\text{s}/\text{cm}$), bitkiye yarayışlı fosfor (14 ppm), potasyum (199 ppm), kalsiyum (5526 ppm), magnezyum (143 ppm) ve mikro elementlerden sodyum (50 ppm) ve DTPA da ekstrakte edilebilir demir (Fe), çinko (Zn), bakır (Cu) ve mangan (Mn) sırasıyla 7.5, 1.0, 1.9 ve 5.5 mg kg^{-1} değerlerine sahiptir. Denemede, arpa yetiştiriciliğinde yaygın olarak kullanılan yemlik özellikte iki sıralı olan (Avcı 2002, Bornova 92, Bülbül, Çetin 2000, altı sıralı, Hilal ve Süleyman Bey) çeşitler kullanılmıştır.

Yöntem

Uygulamalar Saksı Denemesinin Kurulması ve Yürütülmesi

Deneme, tesadüf parselleri deneme deseninde 3 tekrarlamalı olarak kurulmuştur. 6 numaralı plastik saksılara 4 mm elekten elenmiş 1.650 kg toprak doldurulmuştur. Saksılara temel gübreleme olarak 200 ppm N, 100 ppm P, 125 ppm K ve 1 ppm Zn uygulanmıştır. Temel gübrelemeden sonra; Cd ve NaCl etkileşimi araştırmak amacıyla (5 ppm Cd) dozu verilmiştir. Daha sonra NaCl 3000 ppm dozu iki defada eşit miktarda olacak şekilde birinci kısım tohumların ekimi ile ve çimlenme olup bitkiler 6 bitki olacak şekilde seyrelttikten sonra diğer yarısı uygulanmıştır. Bitkilerin büyümelerinde farklılıkların olduğu 70. gününde hasat edilmiştir.

Bitki Analizleri

Hasat edilen bitki örnekleri etüvde kurutulup ağırlıkları alınmış ve öğütülmüştür. Öğütülen örneklerinden 0.25 g tartılarak 4 ml HNO_3 (% 65'lik), 2 ml H_2O_2 (% 30'luk) ve 2 ml saf su içeren bir karışımda mikro dalgada yakılmıştır. Süzükler soğuduktan sonra whatman filtre kağıdından süzülerek Cd konsantrasyonu ICP-OES cihazıyla ölçülmüştür. İstatistik analizleri SPSS programında yapılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

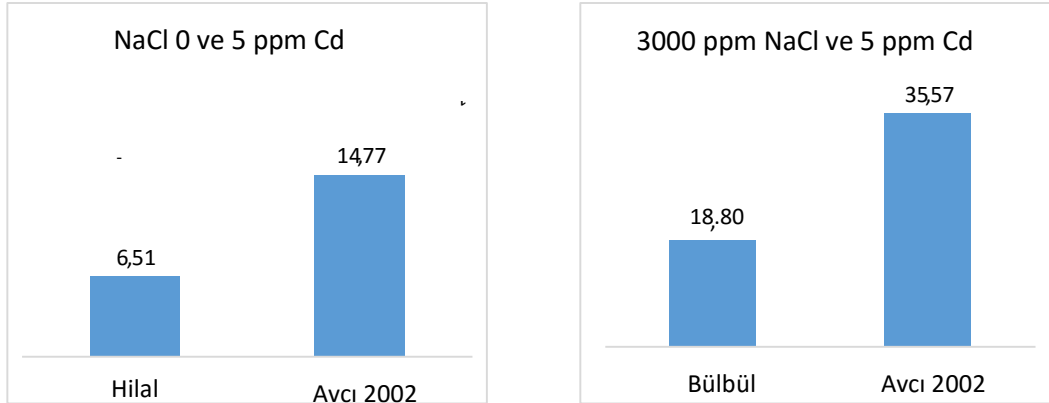
Kadmiyum (Cd) ile Tuz (NaCl) İnteraksiyonu

5 ppm Cd topraklara ilave edilerek kirlilik oluşturulmuş ve NaCl 0 ve NaCl ppm dozları altında yetiştirilen yemlik özellikteki altı arpa çeşitlerinin yeşil aksam kuru madde verimleri ve Cd konsantrasyonları belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, çeşitlerin kuru madde verimlerinde önemli farklılıklar olduğu saptanmıştır. Beklenildiği gibi NaCl 3000 ppm uygulamasında bütün çeşitlerin kuru madde verimleri azalmıştır. Bütün çeşitlerde Cd 5 -NaCl 0 dozlarına göre, NaCl tuzunun 3000 ppm uygulanmasıyla yaklaşık olarak %25 oranında kuru madde verimlerinde düşüş olduğu bulunmuştur. Kuru madde veriminin en fazla azaldığı Çetin 2000 çeşidinde %26.6 düzeyinde olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. 5 ppm Cd'la Kirlilik Oluşturulan Toprağa NaCl Tuzunun (0 ve 3000 ppm) Doz Uygulamaları Altında Yetiştirilen Arpa Çeşitlerinin Yeşil Aksam Kuru Madde Verimi ve Cd Konsantrasyonları

Arpa Çeşitleri	NaCl	Yeşil Aksam Kuru Madde Verimi (mg bitki ⁻¹)	Yeşil Aksam Cd Konsantrasyonu (ppm)
	Uygulamalar	Cd 5	
Avcı 2002	0	466	14,77 e
	3000	347	35,57 a
	Ortalama	407 D	25,17 A
Bornova 92	0	591	6,90 g
	3000	451	20,66 c-d
	Ortalama	521 A	13,78 D
Bülbül	0	509	8,38 f-g
	3000	383	18,80 d
	Ortalama	446 C	13,54 D
Çetin 2000	0	461	13,88 e
	3000	339	28,13 b
	Ortalama	400 D	21,01 B
Hilal	0	564	6,51 g
	3000	416	21,61 c
	Ortalama	490 B	14,06 D
Süleyman Bey	0	570	9,32 f
	3000	437	21,87 c
	Ortalama	504 B	15,59 C
Ortalama	0	527 A	9,94 B
	3000	396 B	24,44 A
		LSD(%5) _{çeşit} : 16,67522	LSD(%5) _{çeşit} : 1,44155
		LSD(%5) _{tuz} : 9,62743	LSD(%5) _{tuz} : 0,83227
		LSD(%5) _{çeşitxtuz} : 22,92522	LSD(%5) _{çeşitxtuz} : 2,03866

5 ppm Cd düzeyinde topraklara ilave edilerek kirlilik oluşturulmuş ve NaCl 0 ve 3000 ppm NaCl tuzunun uygulanmasıyla çeşitler arasında Cd'a dayanıklılık kapasiteleri yönünden önemli farklılıkların olduğu saptanmıştır. 5 ppm Cd ve -NaCl (tuzsuz) uygulamasında Hilal çeşidi en az Cd biriktiren çeşit olup Cd konsantrasyonu 6.51 ppm düzeyinde iken en yüksek Cd konsantrasyonu 14.77 ppm ile Avcı 2002 çeşidinde olmuştur (Şekil 1).

**Şekil 1.** Tuz'suz Cd 5 mg kg⁻¹ ve NaCl 3000 Cd 5 mg kg⁻¹ Uygulaması Altında Yetiştirilen En Düşük ve En Yüksek Cd Konsantrasyonuna Sahip Çeşitler (mg kg⁻¹)

5 ppm Cd ve tuzsuz (NaCl 0) uygulamasına göre, 3000 ppm NaCl tuz verilince bitkilerin Cd konsantrasyonlarının 2.02 ile 3.30 kat aralığında arttığı saptanmıştır. Şekil 1'de görüldüğü gibi 3000 ppm NaCl tuz uygulamasında en düşük Cd konsantrasyonu Bülbül çeşidinde olmasına karşın en fazla Cd konsantrasyonu ise 35.57 ppm olarak Avcı 2002 çeşidinde olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç göstermektedir ki çeşitler arasında Cd konsantrasyonu yönünden geniş bir varyasyon bulunmaktadır. Bu durum muhtemelen Cd'un Cl⁻ anyonu ile yapılan kompleksler neticesinde katyon değiştirici yüzeylere bağlanması azalmakta ve böylelikle Cd alımına dayanıksız olan bitkilerde alınma şansının daha fazla olduğu düşünülmektedir. (Smolders ve McLaughlin, 1996; Özkutlu vd., 2007; Rady, 2011; Özkutlu ve Kara 2019). Tuzluluk, en önemli abiyotik streslerden biri olup bitkisel üretimde verimliliği sınırlamaktadır. Topraktaki fazla tuzlar tek başına veya başka kombinasyon oluşturarak bitkilerde su kaybına, iyon dengesizliğine ve spesifik iyon toksisitesine neden olmaktadır (Serrano vd., 1999). Tuzun bitkilerde Cd alımını arttırdığına yönelik birçok araştırma bulunmaktadır. Örneğin, çeşitli araştırmacılara tarafından tuzlu koşullarda buğdayda Cd daha taşındığı (Rizwan vd., 2016; Özkutlu ve Kara 2019) arpada ise Smykalova ve Zamecnikova (2003) tarafından bildirildiğine göre, Cd ve tuz stresi altında yetiştirilen bitkilerde kontrole göre daha fazla Cd taşındığı açıklanmıştır. Huang vd., 2007 tarafından, su kültürü ortamında Cd ve tuz stresi altında yetiştirilen 4 arpa genotipinin Cd konsantrasyonları bakımından benzer sonuçlar elde edildiği bildirilmiştir. Literatürdeki bu sonuçlarla tarafımızdan yapılan araştırmanın sonuçlarıyla uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç ve Öneriler

Topraklarda Cd kirliliği sürekli artmakta ve önemli çevresel bir tehdit oluşturmaktadır. Toprak tuzluluğunun arpa bitkilerinde Cd birikimini etkileyen önemli bir faktör olduğu saptanmıştır. Tuz toleransı yüksek olan arpa çeşitlerinin Cd biriktirme kapasitelerinin önemli oranda farklılıklar oluşturduğu ve tuzun etkisiyle de yeşil aksama 3.3 kat daha fazla Cd birikmesine neden olduğu saptanmıştır. Bitkisel ürünlerde Cd birikimini arttıran ve azaltan faktörlerin belirlenmesi insan sağlığı açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle, tuzluluk ve Cd stresi ile birlikte olduğunda arpa çeşitlerinde verim ve kalitede bozulmalar oluşmaktadır. Özellikle tuzluluğun yoğun olduğu bölgelerde topraklarda Cd kirlilik boyutu tanımlanmalıdır. Hem Cd kirliliği hem de tuzluluk stresine dayanıklı olan çeşitlerin araştırılıp elde edilmesi gerekmektedir.

Destek ve Teşekkür

Bu çalışma, Prof. Dr. Faruk Özkutlu danışmanlığında Onur Burkan tarafından tamamlanan "Türkiye'de yetiştirilen bazı arpa çeşitlerinin farklı tuz uygulamalarında kadmiyum'a (Cd) toleransının belirlenmesi" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir (Tez No. 363730).

Yazar Katkısı

Faruk Özkutlu, tez konusunun belirlenmesi, planlanması, verilerin değerlendirilmesi ve makale yazımında yer almıştır. *Onur Burkan*, deneysel ortamın kurulması, verilerin toplanması ve istatistiksel analizleri gerçekleştirdi. Yazarlar makaleyi birlikte yazdı, okudu ve onayladı.

Etik

Bu makalenin yayınlanmasıyla ilgili herhangi bir etik sorun bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını belirtmektedir.

ORCID

Faruk Özkutlu  <https://orcid.org/0000-0002-8651-3346>

Onur Burkan  <https://orcid.org/0009-0003-8249-201X>

Kaynaklar

- Afzal, I., S. Rauf, Basra, S. M. A. ve Murtaza, G. (2008). Halopriming improves vigor, metabolism of reserves and ionic contents in wheat seedlings under salt stress. *Plant, Soil and Environment*, 54(9), 382-388.
- Bayraklı, F. (1998). *Toprak kimyası*. O.M.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Kitabı, No: 26.
- Aydemir, Ö. E., Korkmaz, K., & Özkutlu, F. (2022). The effect of foliar application of different amino acids (L-histidine, methionine) on cadmium and zinc uptake of wheat. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 10(8), 1482-1485. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v10i8.1482-1485.5141>
- Buchet, J. P., Lauwerys, R., Roels, H., Bernard, A., Bruaux, P. ve Claeys, F. (1990). Renal effects of cadmium body burden of the general population. *Lancet* 336, 699-702. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(90\)92201-R](https://doi.org/10.1016/0140-6736(90)92201-R)
- Çağlarırnak, N. ve Hepçimen Z. A., (2010). Ağır metal toprak kirliliğinin gıda zinciri ve insan sağlığına etkisi. *Akademik Gıda* 8(2), 31-35. <https://dergipark.org.tr/en/pub/akademik-gida/issue/55834/764810>
- Dinler, B. S., Cetinkaya, H., Akgun, M. ve Korkmaz, K. (2021). Simultaneous treatment of different gibberellic acid doses induces ion accumulation and response mechanisms to salt damage in maize roots. *Journal of Plant Biochemistry and Physiology*, 9(3), 258.
- Ekbic, E., Cagiran, C., Korkmaz, K., Kose, M. A. ve Aras, V. (2017). Assessment of watermelon accessions for salt tolerance using stress tolerance indices. *Ciência e Agrotecnologia*, 41, 616-625. <https://doi.org/10.1590/1413-70542017416013017>
- Gill, S. S. ve Tuteja, N. (2011). Cadmium stress tolerance in crop plants: Probing the role of sulfur. *Plant Signal. Behav.*, 6, 215-222. <https://doi.org/10.4161/psb.6.2.14880>
- Huang, Y., Zhang, G., Wu, F., Chen, J. ve Zhou, M. (2007). Differences in physiological traits among salt-stressed barley genotypes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37(3-4), 557-570. <https://doi.org/10.1080/00103620500449419>
- Kabata-Pendias, A. ve Pendias, H. (1992). *Trace elements in soils and plants*. CRC Press.
- Kılıç, R. ve Korkmaz, K. (2012). Kimyasal gübrelerin tarım topraklarında artık etkileri. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 5(2), 87-90. <http://bibad.gen.tr/index.php/bibad/article/download/184/184>
- Korkmaz, K., Kara, S. M., Özkutlu, F. ve Gul, V. (2010). Monitoring of heavy metals and selected micronutrients in hempseeds from North-western Turkey. *African Journal of Agricultural Research*, 5(6), 463-467. <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text-pdf/0089EF428319.pdf>
- Korkmaz, K., Kara, Ş. M., Özkutlu, F., Akgün, M. ve Şenkal, B. C. (2017). Profile of heavy metal and nutrient elements in some sideritis species. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, 51(3). <https://www.ijper.org/sites/default/files/Doi%20-%20article%20id%2010.5530ijper.51.3s.14.pdf>
- Korkmaz, K., Ertürk, Ö., Ayvaz, M. Ç., Özcan, M. M., Akgün, M., Kirli, A. ve Alver, D. O. (2018). Effect of cadmium application on antimicrobial, antioxidant and total phenolic content of basil genotypes. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, 52(4), S108-S114.
- Korkmaz, K., Akgün, M., Kirli, A., Özcan, M. M., Dede, Ö. ve Kara, Ş. M. (2020). Effects of gibberellic acid and salicylic acid applications on some physical and chemical properties of rapeseed (*Brassica napus* L.) grown under salt stress. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(4), 873-881. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i4.873-881.3044>

- Korkmaz, K., Akgün, M., Özcan, M. M., Özkutlu, F. ve Kara, Ş. M. (2021). Interaction effects of phosphorus (P) and zinc (Zn) on dry matter, concentration and uptake of P and Zn in chia. *Journal of Plant Nutrition*, 44(5), 755-764. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1845373>
- Özkutlu, F., Öztürk, L., Erdem, H., McLaughlin, M. ve Çakmak, İ. (2007) . Leaf-applied sodium chloride promotes cadmium accumulation in durum wheat grain. *Plant and Soil*, 290, 323-331. <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9164-6>
- Özkutlu, F. ve Kara, Ş. M. (2019). Cd concentration of durum wheat grain as influenced by soil salinity. *Akademik Ziraat Dergisi* 8(1), 97-100. <https://doi.org/10.29278/azd.593833>
- Pedro, C. A., Santos, M. S. S., Ferreira, S. M. F. ve Gonçalves, S. C. (2013). The influence of cadmium contamination and salinity on the survival, growth and phytoremediation capacity of the saltmarsh plant *salicornia ramosissima*. *Marine Environmental Research*, 92, 197-205. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2013.09.018>
- Rady, M. M. (2011). Effect of 24-epibrassinolide on growth, yield, antioxidant system and cadmium content of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plant under salinity and cadmium stress. *Scientia Horticulturae*, 129, 232–237. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.035>
- Rizwan, M., Ali, S., Abbas, T., Zia-Ur-Rehman, M., Hannan, F., Keller, C., Al-Wabel, M. I., ve Ok, Y. S. (2016). Cadmium minimization in wheat: A critical review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 130, 43–53. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.04.001>
- Shahid, M., Khalid, S., Abbas, G., Shahid, N., Nadeem, M. ve Sabir, M. (2015). Heavy metal stress and crop productivity. In K. R. Hakeem (Ed.), *Crop production and global environmental issues* (pp. 1-25). Springer International Publishing.
- Smolders, E. ve McLaughlin, M. J. (1996). Effect of Cl on Cd uptake by Swiss chard in nutrient solution. *Plant and Soil*, 179, 57-64. <https://doi.org/10.1007/BF00011642>
- Smykalova, I. ve Zamecnikova, B. (2003). The relationship between salinity and cadmium stress in barley. *Biologia Plantarum*, 46(2), 269-273. <https://doi.org/10.1023/A:1022815013951>
- Sönmez, İ. ve S. Sönmez. (2007). Tuzluluk ve gübreleme arasındaki ilişkiler. *Tarımın Sesi Dergisi*, 16, 13-16.
- Üyanık, M., Kara, S. M. ve Korkmaz, K. (2014). Bazı kışlık kolza (*Brassica napus* L.) çeşitlerinin çimlenme döneminde tuz stresine tepkilerinin belirlenmesi. *Journal of Agricultural Sciences*, 20(4), 368-375. <https://doi.org/10.15832/tbd.61947>