

Kadmiyum ile Tuz Stresinin Bazı Maltlık Arpa Çeşitlerinde Kadmiyum Birikimi ve Mineral Besin Maddeleri Üzerine Etkisi*

Faruk ÖZKUTLU^{1*}, Onur BURKAN¹

¹Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ordu/TÜRKİYE

*Bu çalışma ikinci yazarın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Alınış tarihi: 6 Eylül 2023, Kabul tarihi: 19 Ekim 2023

Sorumlu yazar: Faruk ÖZKUTLU, e-posta: fozkutlu@odu.edu.tr

Öz

Amaç: Sera koşullarında saksı denemesi şeklinde 8 maltlık arpa çeşitlerinin 5 ve 10 mg kg⁻¹ ile kirlilik oluşturulan topraklara -NaCl ve +NaCl (3000 mg kg⁻¹) tuz uygulamasının Cd ve mineral besin elementleri üzerine olan etkisi araştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem: Bitki materyali olarak; arpa yetiştiriciliğinde yaygın olarak kullanılan iki sıralı özellikte maltlık olan (Aydan Hanım, Edirne Trakya Sladoran, Kaya, Şerife Hanım, Tarım92, Trakya Bolayır, Yerçil ve Zeynel Ağa) çeşitleri kullanılmıştır. Denemede üç tekerrürlü olarak yürütülmüş, Cd5 ve Cd10 mg kg⁻¹ düzeyinde kirlilik oluşturulmuş topraklara -NaCl ve +NaCl (3000 mg kg⁻¹) tuz uygulamasının Cd ve mineral besin elementleri üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Hasat edilen bitkilerde yeşil aksam kuru ağırlıkları, kadmiyum (Cd), fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), kükürt (S), demir (Fe), bakır (Cu), mangan (Mn), çinko (Zn) konsantrasyonları ICP-OES cihazıyla ölçülmüştür.

Araştırma Bulguları: Kadmiyum ve NaCl stresinin birlikte olduğu koşullarda arpa çeşitlerinin kuru ağırlıklarında en yüksek %70 oranında düşüşlerin olduğu ve buna ilaveten de Cd konsantrasyonlarında 3.2 kat artış oluşturduğu belirlenmiştir. Bunlardan başka Cd ve NaCl stresinde özellikle bitkilerin potasyum ve demir konsantrasyonlarında azalma olur iken kalsiyum ve kükürt yönünden artış olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç: Her iki stresin birlikte olduğu durumlarda kontrolle kıyaslandığında arpa çeşitlerinin verim ve kalitesinde azalmaların olduğu belirlenmiştir. Bu iki stres koşullarında bitkilerin mineral beslenmelerinde

değişimlerin olduğu saptanmıştır. Her iki strese dayanıklı olan çeşitlerin elde edilmesinin gerekli olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Ağır metal stresi, Maltlık arpa, Kadmiyum kirliliği, Tuz stresi

Effect of Cadmium and Salt Stress on Cadmium Accumulation and Mineral Nutrients in Some Malting Barley Varieties

Abstract

Objective: The effects of -NaCl and +NaCl (3000 mg kg⁻¹) salt application on Cd and mineral nutrients of 8 malting barley cultivars on soils contaminated with 5 and 10 mg kg⁻¹ Cd were investigated in a pot experiment under greenhouse conditions.

Materials and Methods: As soil material in the experiment, the soil taken from 0-20 cm depth from Ordu University Application Land was sieved through a 4 mm sieve and 1.65 kg soil was filled into the pots. Two-row malting varieties (Aydan Hanım, Edirne Trakya Sladoran, Kaya, Şerife Hanım, Tarım92, Trakya Bolayır, Yerçil and Zeynel Ağa) which are widely used in barley cultivation were used as plant material. In the experiment, the effects of -NaCl (0) and +NaCl (3000 mg kg⁻¹) salt application on Cd and mineral nutrients in Cd5 and Cd10 ppm contaminated soils were investigated. Dry weights of shoot, cadmium (Cd), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), sulfur (S), iron (Fe), copper (Cu), manganese (Mn), zinc (Zn) concentrations were measured by ICP-OES device.

Results: It was determined that under the conditions of cadmium and NaCl stress, the dry weights of barley varieties decreased by 70% at the highest and in addition to this, Cd concentrations increased 3.2 fold. In addition to these, it was determined that Cd and NaCl stress decreased the potassium and iron concentrations of the plants while increasing the calcium and sulfur concentrations.

Conclusion: It was determined that there were decreases in the yield and quality of barley varieties compared to the control when both stresses were combined. It was also determined that there were changes in the mineral nutrition of the plants under these two stress conditions. It was concluded that it is necessary to obtain varieties resistant to both stresses.

Keywords: Heavy metal stress, Malting barley, Cadmium pollution, Salt, Salinity stress

Giriş

Tarım topraklarının ağır metallere kirlenmesi dünya çapında bitkisel üretim için önemli bir tehdit oluşturmaktadır (Habiba ve ark., 2015; Rizwan ve ark., 2016). Ağır metallere arasında Cd insanlar ve diğer tüm canlı organizmalar için yüksek toksisiteye sahiptir. Cd'un bilinen bir biyolojik işlevi bulunmamaktadır (Dai, ve ark., 2012; Korkmaz ve ark., 2017; Korkmaz ve ark., 2018). Tarım topraklarındaki Cd ana materyalde çok düşük miktarda yer almasına rağmen gübreler, enerji santrallerinden, metal endüstrilerinden, şehir içi trafikten kaynaklanan emisyonlar ve çimento endüstrileri gibi çeşitli antropojenik kaynaklar yoluyla topraklara girerler (Yang ve ark., 2004; Özkutlu ve ark., 2009). Cd'un topraktaki yüksek hareketliliği nedeniyle Cd ile kirlenmiş topraklarda yetişen bitkilerde yüksek miktarda birikebilir (Grant ve Bailey, 1997) ve bu ürünlerin tüketilmesi insan ve hayvan sağlığı için ciddi bir tehdittir (McLaughlin, 2006; Korkmaz ve ark., 2010). Kadmiyum insan vücuduna toprak, su, hava, hayvanlar ve bitkiler vasıtasıyla çeşitli kaynaklardan besin zinciriyle kolaylıkla girer ve insan vücudunda biriktiğinde renal tübüler hasara, akciğer, karaciğer ve hipertansiyon gibi ciddi rahatsızlıkların yanısıra insanlarda kalsiyum (Ca) metabolizmasının bozulmasına da yol açmaktadır (Ryan ve ark.,1982; Osawa ve ark., 2001). Bitkilerde ağır metal toleransında ikilik bulunmaktadır. Tüm canlı organizmalar için gerekli olan demir, bakır, çinko ve mangan gibi bazı ağır metallere düşük konsantrasyonda faydalı olup bitki

büyümesini iyileştirme ve besin zinciri yoluyla da canlı organizmalara faydalıdır. Bununla birlikte, ağır metallere aynı zamanda yüksek konsantrasyonda bitkiler üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle bitkilerin kendilerini korumak için kullandıkları özel/tolerans mekanizmalarıyla bazı bileşikler de üretirler kendilerini korumaya alırlar ancak bu tolerans mekanizmaları zayıf olunca da bitkide yüksek miktarda biriktiğinde hem bitkiye hem de besin zinciri ile insanlar ve hayvanlara toksik olurlar (Verkleij ve ark., 2009; Korkmaz ve Türkiş, 2021; Aydemir ve ark., 2022; Ece ve ark., 2022). Ağır metallere yüksek seviyelerde Cd dahil olmak üzere biyomembranlara zarar verebilir ve bitkilerde kontrolsüz Cd alımına veya translokasyonuna neden olur. Cd'un toksisitesinden başka bitkilerin farklı bölgelerinde önemli miktarda Cd birikebilir ve verim kaybına yol açabilir (Dheri ve ark., 2007). Diğer bitki gruplarına kıyasla hububatlardan buğday, pirinç, mısır ve arpa gibi bitkiler kökleri vasıtasıyla Cd'u kolaylıkla alıp tanelerinde biriktirebilirler (Jafarnejadi ve ark., 2011; Black ve ark., 2014). Özellikle tahıllardan buğdayda Cd alımı toprak tipine, atmosferik kirliliğe ve buğday çeşitlerine göre değişebildiği açıklanmıştır (Guo ve ark., 2012; Liu ve ark., 2015., Akgül ve ark., 2022). (Özkutlu ve ark., 2007; Dahlin ve ark., 2016; Özkutlu ve Kara, 2019) tarafından tuzluluğun ve klorürün (Cl) Cd'yi toprakta mobilize edebileceğini bildirmiştir. Bu durum, tuzlu topraklarda yetiştirilen hububatlarla daha fazla Cd taşınabileceğine işaret etmektedir. Çeşitli faktörlerin Cd taşınmasını teşvik etmesinden dolayı özellikle yenilebilir kısımlarında ve tanede Cd minimize edebilmek için çeşitli yaklaşımlar geliştirilmektedir. Bu nedenle, yenilebilir bitkisel ürünlerin güvenli olarak yetiştirilmesinde Cd ile kirlenmiş topraklarda en az Cd biriktiren çeşitlerin kullanılmasına odaklanılmalıdır. Özellikle son yıllarda, Cd'nun gıda zincirine girişini en aza indirmek ve sağlık risklerini azalmasını sağlamak amacıyla birçok strateji geliştirilmektedir (Aydemir ve ark., 2022). Tahıllarda Cd'a dayanıklı olan çeşitlerinin seçimi ve ıslahı bu yaklaşımlardan birisidir. Bu yaklaşımlardan dolayı, tahılların tanelerinde Cd artıran veya azaltan faktörlerin araştırılmasına hız verilmiştir. Bu amaçla, hububatlarda Cd toksisitesini hafifletmek için bitki besin maddelerinin kullanılması nispeten ucuz ve zaman kazandıran etkili bir yoldur. Yetiştiriciler iyi mahsul verimi elde etmek için doğru çeşit seçimi, uygun toprak koşullarının sağlanması ve besin maddelerinin uygulanmasıyla hem yüksek verim elde edebilir hem de Cd toksisitesinin azalmasına katkıda

bulunabilirler. Cd toksisitesi ve bitki arasındaki etkileşiminde bitki besin maddelerinin doğru yönetiminin doğrudan veya dolaylı etkisi bulunmaktadır. Örneğin, çinko uygulamasıyla Cd taşınımı azalması sağlanır iken tuzluluk ile Cd taşınmasının artması gerçekleşmektedir. Yine azot uygulamalarıyla bitkinin daha fazla gelişmesi sağlanarak seyrelme ile bitkilerde daha az Cd birikebilir. Dünyada sulanan toprakların yaklaşık üçte biri olmak üzere kurak arazilerdeki toprakların büyük bir kısmı tuzludur (Schachtman ve Liu, 1999). Toprak tuzluluğu, kurak ve yarı kurak bölgelerde ürün verimini etkileyen başlıca abiyotik stresten biridir (Uyanık ve ark., 2014; Ekbic ve ark., 2017; Dinler ve ark., 2021; Korkmaz ve ark., 2020). Tuzlu topraklar sürdürülebilir tarımı tehdit ekmekle kalmayıp ağır metallerin de yüksek miktarda taşınmasını hızlandırmaktadır (Afzal ve ark., 2008; Özkutlu ve Kara, 2018). Tuzlu topraklar ile ağır metal stresinin birlikte olduğu alanlardaki sorunlarla başa çıkabilmek için tuza ve Cd'a toleranslı çeşitlerin belirlenmesi oldukça önemlidir (Apse ve Blumwald, 2002). Arpa bitkisi tuzlu alanlarda tuza dayanıklı olduğu için en çok yetiştirilen ürünlerden birisidir (Lawlor ve ark., 1981; Shafi ve ark., 2009). Böyle olmasına rağmen, büyüme ve gelişmesi de tuz stresinden büyük ölçüde etkilenir. Arpa bitkileri tuz stresine maruz kaldığında birçok fizyolojik değişiklik meydana gelir (Mer ve ark., 2000). Bu çalışmanın amacı, maltlık arpa çeşitlerinin tuz ve Cd stresi altında büyüme ve mineral besin elementlerinin değişimini belirlemektir.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Toprak Materyali; Ordu Üniversitesi Uygulama Arazisinden 0-20 cm derinlikten alınan toprak ilk olarak hava kurusu şeklinde kurutulup ardından 4 mm elekten geçirilerek kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri; tekstür (T_{in}), organik madde (%1.45), pH 7.42, kireç (%3.2), EC (332 µs/cm), bitkiye yarışlı fosfor (14 mg kg⁻¹), potasyum (199 mg kg⁻¹), kalsiyum (5526 mg kg⁻¹), magnezyum (143 mg kg⁻¹) ve mikro elementlerden sodyum (50 mg kg⁻¹) ve DTPA da ekstrakte edilebilir demir, çinko, bakır ve mangan sırasıyla 7.5, 1.0, 1.9 ve 5.5 mg kg⁻¹ olarak saptanmıştır. Bitki Materyali; arpa yetiştiriciliğinde yaygın olarak kullanılan iki sıralı özellikte maltlık olan (Aydan Hanım, Edirne Trakya Sladoran, Kaya, Şerife Hanım, Tarım92, Trakya Bolayır, Yerçil ve Zeynel Ağa) çeşitleri kullanılmıştır.

Metod

Bitkilerin Büyümesi ve Hasatı

Araştırma, sera koşullarında, tesadüf parselleri deneme desenine göre 9 çeşit* 4 doz*3 tekerrürlü olarak saksı denemesi olarak yürütülmüştür. Saksılara temel gübreleme olarak 200 mg kg⁻¹ N, 100 mg kg⁻¹ P ve 1 mg kg⁻¹ Zn ve denemenin amacına uygun olarak Cd (5 ve 10 mg kg⁻¹) dozları verilmiştir. Daha sonra, NaCl (0 ve 3000 mg kg⁻¹) dozları uygulanmıştır. Tuz uygulaması iki defada eşit miktarda olacak şekilde birinci kısım tohumların ekimi ve ardından çimlenme tamamlanıp 1 hafta sonra 6 bitki olacak şekilde seyreltikten sonra diğer yarısı uygulanmıştır. Bitkiler tuz ve Cd'un büyüme üzerine etkilerinde farklılıkların olduğu 70. günde hasat edilmiştir.

Bitkilerde Cd, Makro ve Mikro Element Analizleri

Hasat edilen arpa çeşitlerinin yeşil aksam örnekleri 70 °C'de 48 saat etüvde kurutulup ağırlıkları alınmış ve öğütülmüştür. Bitki örneklerinden 0.25 g alınarak HNO₃ (% 65'lik) ortamında mikro dalgada yakılmıştır. Toplanan süzükler soğuduktan sonra watman filtre kağıdından süzülerek P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn ve Cd konsantrasyonu ICP-OES cihazında belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar; "SPSS" istatistik paket programı kullanılarak LSD testi kullanılmıştır (Efe ve ark., 2000).

Bulgular ve Tartışma

Kadmiyum ve NaCl Stresinde Bitki Büyümesi

Toprakta Cd5 ve Cd10 mg kg⁻¹ düzeyinde kirlilik oluşturulmuştur. Cd kirliliği olan topraklara -NaCl 0 ve +NaCl 3000 mg kg⁻¹ uygulamaları altında yetiştirilen 8 maltlık özellikte arpa çeşitlerinin yeşil aksam kuru madde verimleri arasında önemli farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Sonuçlarda, toprakta Cd5'den Cd10 mg kg⁻¹ ile kirlilik doz artışına bağlı olarak çoğunlukla kuru madde verimlerinde azalmalar olduğu saptanmıştır. Bu azalmalar, Cd ve NaCl stresinin birlikte olduğu durumda daha belirgin olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 1). Örneğin, Cd5 mg kg⁻¹ kirlilik oluşturulan topraklara -NaCl (kontrol) uygulamasında kuru madde verimi 594 mg bitki⁻¹ iken +NaCl (3000 mg kg⁻¹) stresi altında kuru madde verimi 515 mg bitki⁻¹ olarak %15 düzeyinde en düşük azalma olduğu saptanmasına karşın kuru madde veriminde en fazla azalma Zeynel ağa çeşinde olup kontrolde 643 mg bitki⁻¹den 3000 mg kg⁻¹ NaCl uygulamasıyla 387 mg bitki⁻¹ olarak %66 oranında azalmıştır.Kuru madde verimindeki azalma eğilimi Cd10 ve 3000 mg kg⁻¹ NaCl uygulamasında da

görülmüş olup Aydan hanım çeşidi en dayanıklı iken Yerçil çeşidi en dayanıksız çeşit olmuştur. Cd 10 ve 3000 mg kg⁻¹ NaCl stresi altında kuru madde veriminde en yüksek azalma elde edilmiştir. Söz konusu dozlarda Yerçil çeşidi kontrolde kuru madde

verimi 648 mg bitki⁻¹ iken 3000 mg kg⁻¹ NaCl uygulamasında 382 mg bitki⁻¹'e düşerek %70 oranında azalmıştır. Cd ve tuz stresi birlikte olduğunda arpa çeşitlerinde bozulmaya yol açtığı belirlenmiştir.

Çizelge 1. Farklı NaCl dozları (0 ve 3000 mg kg⁻¹) ve Cd dozları (5 ve 10 mg kg⁻¹) uygulaması altında sera koşullarında yetiştirilen 8 Arpa çeşitlerinin yeşil aksam kuru madde verimi (mg bitki⁻¹)

Çeşitler	Uygulama		Yeşil Aksam Kuru Madde Verimi		Ortalama
	NaCl		Cd 5	Cd 10	
Aydan Hanım	0		670 a	409 m	539.5 D
	3000		503 gh	436 l	469.5 F
Ortalama			586.5 A	422.5 F	504.5 C
Edirne Trakya Sladoran	0		455 kl	446 l	448.8 G
	3000		307 qr	319 q	313.0 J
Ortalama			379.3 G	282.5 G	380.9 F
Kaya	0		571 f	637 bc	604.0 B
	3000		447 l	437 l	442.0 G
Ortalama			509.0 E	537.0 C	523.0 B
Şerife Hanım	0		594 e	607 de	600.5 B
	3000		515 g	447 l	481.0 EF
Ortalama			554.5 B	527.0 CD	540.8 A
Tarım 92	0		476 ij	494 hı	485.0 E
	3000		367 no	324 pq	345.5 I
Ortalama			421.5 F	409.0 F	415.3 E
Trakya Bolayır	0		437 l	469 jk	453.0 G
	3000		340 p	297 r	318.5 J
Ortalama			388.5 G	383.0 G	385.8 F
Yerçil	0		625 cd	648 b	636.5 A
	3000		381 no	382 no	381.5 H
Ortalama			503.0 E	515.0 DE	509.0 C
Zeynel Aga	0		643 bc	475 ij	559.0 C
	3000		387 n	364 o	375.5 H
Ortalama			515.0 DE	419.5 F	467.3 D
	0		558.5 A	523.1 B	540.8 A
	3000		405.9 C	375.8 D	390.8 B
Genel Ortalama			482.2 A	449.4 B	

P çeşit:<0.001;tuz:<0.001; Cd:<0.001; çeşit*tuz:<0.001; çeşit*Cd:<0.001; tuz*Cd:0.320; çeşit*tuz*Cd:<0.001

Topraklarda Cd5 ve Cd10 mg kg⁻¹ kirlilik oluşturulmuş ve -NaCl 0 ve +NaCl 3000 mg kg⁻¹ dozlarının uygulanmasıyla arpa çeşitlerinin Cd konsantrasyonlarının en düşük ve en yüksek arasında önemli varyasyonun olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2).

Cd5 ve -NaCl (kontrol) uygulamasında yeşil aksam Cd konsantrasyonu en düşük ve en yüksek olarak sırasıyla 8.5 ve 14.4 mg kg⁻¹ bulunmuştur. Cd5 ve +NaCl (3000 mg kg⁻¹) uygulamasında ise yeşil aksam Cd konsantrasyonu 15.3-31.4 mg kg⁻¹ olarak geniş bir varyasyon göstermiştir. Çeşitler arasında tuz uygulamasıyla en fazla artışın kontrole göre kıyaslandığında Şerife Hanım çeşidinin %185 oranında olduğu belirlenmiştir. Cd10 ve 3000 mg kg⁻¹ NaCl stresinde ise tuz uygulamasının kontrole göre Tarım 92 çeşidinde yaklaşık olarak 3.2 kat Cd

konsantrasyonunun arttığı saptanmıştır. Doğan, M., (2003) tarafından *Ceratophyllum demersum* L bitkisini Cd, NaCl ve Cd+NaCl uygulamaları altında yetiştirilmesiyle düşük konsantrasyonlarda bitkinin morfolojik değişim olmadığını ancak yüksek derişimlerde bitkilerin yapraklarında dökülmeler olduğu açıklanmış ve 0.01, 0.1 ve 1 mg Cd L⁻¹ etkisinde yetiştirilen makrofitlerin Cd konsantrasyonlarının kontrole göre sırasıyla 15.4, 33.5 ve 160.0 kat arttığını açıklamıştır. Söz konusu araştırmada 0.01+20 ve 0.1+40 Cd+NaCl etkisinde ise Cd konsantrasyonundaki artışların sırasıyla 14.4 ve 28.1 kat olduğunu bildirmiştir. Araştırmamızda Cd ve Tuz stresinde arpa bitkilerinin de Cd konsantrasyonunda artışların olduğu verilerimizle uyum göstermektedir. Cd5 ve NaCl 0 uygulamaları altında arpa çeşitlerine ait P, K, Ca, Mg ve S konsantrasyonlarında en düşük ve en yüksek arasında farklılıkların olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 2. Farklı NaCl dozları (0 ve 3000 mg kg⁻¹) ve Cd dozları (5 ve 10 mg kg⁻¹) uygulamaları altında yetiştirilen 8 Arpa çeşitlerinin yeşil aksam Cd konsantrasyonu (mg kg⁻¹)

Çeşitler	Uygulama		Yeşil Aksam Cd Konsantrasyonu		Ortalama
	NaCl		Cd 5	Cd 10	
Aydan Hanım	0		9.87 uv	17.1 pq	13.49 K
	3000		20.6 m	29.71 h	25.16 G
Ortalama			15.24 M	23.41 H	19.32 F
Edirne Trakya Sladoran	0		13.29 t	24.69 ij	18.99 H
	3000		31.43 g	50.51 b	40.97 A
Ortalama			22.36 l	37.60 A	29.98 A
Kaya	0		9.27 vw	20.85 m	15.06 J
	3000		15.27 rs	39.25 de	27.26 F
Ortalama			12.27 N	30.05 D	21.16 E
Şerife Hanım	0		8.45 w	18.59 no	13.52 K
	3000		24.23 jk	46.23 c	35.23 C
Ortalama			16.34 L	32.41 C	24.38 C
Tarım 92	0		9.07 vw	12.4 t	10.74 L
	3000		25.71 ı	39.37 d	32.54 D
Ortalama			17.39 JK	25.89 G	21.64 E
Trakya Bolayır	0		14.41 s	17.63 op	16.02 I
	3000		21.52 m	38.2 ef	29.86 E
Ortalama			17.97 J	27.92 E	22.94 D
Yerçil	0		10.53 u	18.98 n	14.76 J
	3000		22.91 l	52.19 a	37.55 B
Ortalama			16.72 KL	35.59 B	26.15 B
Zeynel Aga	0		9.45 u-w	16.28 qr	12.87 K
	3000		23.14 kl	37.93 f	30054 E
Ortalama			16.30 L	27.11 F	21.70 E
Genel Ortalama	0		10.54 D	18.32 C	14.43 B
	3000		23.10 B	41.67 A	32.39 A
			16.82 B	29.99 A	
P	çeşit:<0.001;tuz:<0.001; Cd:<0.001; çeşit*tuz:<0.001; çeşit*Cd:<0.001; tuz*Cd: :<0.001; çeşit*tuz*Cd:<0.001				

Cd5 ve NaCl 0 uygulamaları altında arpa çeşitlerinin P konsantrasyonu %0.31-%0.57, K konsantrasyonu %4.00-%5.15, Ca konsantrasyonu %0.89-%1.25, Mg konsantrasyonu %0.12-%0.15 ve S konsantrasyonu %0.13-%0.21 arasında değişmiştir (Çizelge 3). Cd5 ve NaCl 3000 mg kg⁻¹ uygulamaları altında arpa çeşitlerine ait P, K, Ca, Mg ve S konsantrasyonları ise sırasıyla P konsantrasyonu %0.15-%0.41, K konsantrasyonu %2.52-%4.45, Ca konsantrasyonu %1.37-%1.93, Mg konsantrasyonu %0.11-%0.15 ve S konsantrasyonu %0.18-%0.27 arasında değişmiştir (Çizelge 3). Cd5 ve NaCl 3000 mg kg⁻¹ stresinde kontrole göre tüm arpa çeşitlerinde K konsantrasyonu azalırken Ca ve S konsantrasyonları artmıştır. Cd10 ve NaCl 0 uygulamalarında altında arpa çeşitlerine ait P, K, Ca, Mg ve S konsantrasyonları belirlenmiştir. Benzer durum Cd10 düzeyinde kirlilik olan durumda da mineral besinlerde farklılıklar olduğu saptanmıştır. Bağcı ve ark., (2003) Hogland besin çözeltisi ortamında 8 arpa genotipinin tuzluluğa dayanıklılığının incelendiği çalışmada tuzlu koşullarda K konsantrasyonunun kalite parametresi olduğunu açıklamıştır. Arpa çeşitlerinden Tokak

157/37 ve Hamidiye-85 çeşitlerinin tuzluluğa karşı duyarlı olmasına karşın WBELT-10 ve Erginel-90 çeşitlerinin yüksek toleranslı olduğu bildirilmiştir. Arpa genotiplerinin K ve Na alımlarının yeşil aksam ve köklerde önemli farklılıkların olduğu açıklanmıştır. Benzer durum tarafımızdan yapılan çalışmada da 8 arpa çeşidinin K yönünden önemli farklılıklar oluşturduğu elde edilmiştir. Cd ve tuzlu koşullarda yetiştirilen bitkilerde verim ve kalite kaybını minimize etmek için bozulan mineral beslenme izlenmeli ve eksiklikler giderilmelidir. Çünkü bitki dokularında mineral elementlerin tutunmalarında özellikle Na ile K ve Ca gibi diğer katyonik elementler arasındaki rekabetten dolayı dengenin bozulması olasıdır. Artan Cd dozlarına NaCl uygulamasıyla arpa çeşitlerinin Fe, Cu, Mn ve Zn konsantrasyonlarında önemli farklılıkların olduğu saptanmıştır (Çizelge 4). Cd5 ve tuzsuz koşulda Fe konsantrasyonlarının tuz uygulamasıyla Kaya çeşidi hariç diğer çeşitlerin tamamında azaldığı belirlenmiştir. Cd'un artan dozlarında tuzluluk stresiyle arpa çeşitlerinin mikroelement konsantrasyonunda farklılıklar oluşturmuştur.

Çizelge 3. Farklı Cd dozları (5 ve 10 mg kg⁻¹) ve farklı NaCl dozları (0 ve 3000 mg kg⁻¹) uygulamaları altında yetiştirilen 8 Arpa çeşitlerinin yeşil aksam Makroelement konsantrasyonu (%)

NaCl Uygulamaları (mg kg ⁻¹)	Cd5 NaCl 0					Cd5 NaCl 3000					Cd10 NaCl 0					Cd10 NaCl 3000				
	P	K	Ca	Mg	S	P	K	Ca	Mg	S	P	K	Ca	Mg	S	P	K	Ca	Mg	S
Arpa Çeşitleri																				
Aydan Hanım	0.57	4.79	1.25	0.14	0.21	0.41	4.45	1.37	0.12	0.27	0.43	4.72	0.89	0.11	0.24	0.40	4.14	1.16	0.11	0.33
Edirne Trakya. S	0.43	4.59	1.04	0.12	0.17	0.39	4.15	1.41	0.11	0.24	0.44	5.32	0.99	0.13	0.28	0.40	4.49	1.35	0.12	0.29
Kaya	0.32	4.00	1.00	0.14	0.13	0.15	2.52	1.93	0.15	0.19	0.29	4.20	0.99	0.14	0.15	0.31	4.55	1.63	0.14	0.22
Şerife Hanım	0.31	4.34	1.03	0.14	0.15	0.32	3.66	1.67	0.13	0.18	0.29	4.71	0.98	0.14	0.16	0.35	4.55	1.53	0.13	0.24
Tarım 92	0.41	4.52	1.12	0.15	0.17	0.29	3.75	1.39	0.11	0.20	0.34	5.12	1.06	0.16	0.22	0.35	3.91	1.53	0.13	0.29
Trakya Bolayır	0.48	5.15	1.23	0.15	0.21	0.33	3.93	1.47	0.12	0.22	0.36	4.99	1.08	0.14	0.22	0.39	4.56	1.48	0.14	0.30
Yerçil	0.39	4.09	0.95	0.12	0.13	0.31	3.63	1.46	0.11	0.20	0.38	4.16	1.03	0.13	0.16	0.34	4.13	1.73	0.13	0.24
Zeynel Aga	0.41	4.10	0.89	0.12	0.15	0.32	3.58	1.39	0.11	0.19	0.34	4.86	1.04	0.13	0.21	0.36	4.30	1.51	0.13	0.27

Çizelge 4. Farklı Cd dozları (5 ve 10 mg kg⁻¹) ve farklı NaCl dozları (0 ve 3000 mg kg⁻¹) uygulamaları altında yetiştirilen 8 Arpa çeşitlerinin yeşil aksam Mikroelement konsantrasyonu (mg kg⁻¹).

NaCl Uygulamaları, (mg kg ⁻¹)	Cd5 ve NaCl 0				Cd5 ve NaCl 3000				Cd10 ve NaCl 0				Cd10 ve NaCl 3000							
	Fe	Cu	Mn	Zn	Fe	Cu	Mn	Zn	Fe	Cu	Mn	Zn	Fe	Cu	Mn	Zn				
Arpa Çeşitleri																				
Aydan Hanım	118	10	63	64	98	9	50	63	72	7	39	43	80	8	41	49				
Edirne Trakya. S	102	9	43	47	93	11	48	48	81	10	43	42	124	10	52	41				
Kaya	110	9	40	41	134	7	69	43	81	8	38	40	106	9	41	42				
Şerife Hanım	107	8	45	37	88	8	45	40	71	7	31	33	123	8	45	36				
Tarım 92	152	9	57	58	80	8	51	45	82	8	62	47	92	8	57	57				
Trakya Bolayır	157	11	36	56	107	9	48	51	94	8	44	40	127	9	41	46				
Yerçil	149	9	28	47	95	8	40	40	116	8	39	42	105	10	53	58				
Zeynel Aga	258	8	31	38	99	7	46	37	100	7	44	38	142	8	50	43				

Sonuç

Bu çalışmada, Cd5 ve Cd10 mg Cd kg⁻¹ düzeylerinde topraklarda kirlilik olduğu durumlarda -NaCl ve +NaCl koşullarında 8 maltlık arpa çeşitlerinin tamamında NaCl uygulamalarıyla kuru madde veriminde azalma elde edilirken Cd konsantrasyonlarında artışa neden olduğu sağladığı bulunmuştur. Bu çalışmada elde edilen önemli bulgulardan diğeri de Cd ve tuz stresi birlikte arpa çeşitlerin mineral beslenmesinde bozulmalar oluşturduğu ortaya konulmuştur. Özellikle Cd ve +NaCl dozlarında çeşitlerin tamamının K konsantrasyonu azalma meydana getimesine karşın Ca ve S konsantrasyonunda artış sağladığı da tespit edilmiştir. Cd ve tuz stresi koşullarında mikro element yönünden tüm çeşitlerin özellikle Fe konsantrasyonu azalma eğilimi göstermiştir. Bu durum, Cd kirliliğinin olduğu alanlarda tuzluluk stresiyle birleşince verim ve kalitede düşüşler meydana getirecektir.

Çıkar çatışması

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Yazarların katkı beyanı

F.Ö: Çalışmanın planlaması ve sonuçların yorumlanması,

O.B: Çalışmanın laboratuvar aşamalarında, bitki analizlerinin yapılmasında görev almıştır.

Kaynaklar

- Afzal, I., Rauf, S., Basra, S. M. A., & Murtaza, G. (2008). Halopriming improves vigor, metabolism of reserves and ionic contents in wheat seedlings under salt stress. *Plant Soil Environ*, 54(9), 382-388.
- Akgül, S., Aydemir, Ö. E., & Özkutlu, F. (2022). Gıda uygulamalarının ekmeçlik ve makarnalık buğdayların kadmiyum ve besin elementi alımı üzerine etkisi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 11(2), 353-362.
- Apse, M. P., & Blumwald, E. (2002). Engineering salt tolerance in plants. *Current Opinion in Biotechnology*, 13(2), 146-150.
- 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.
- Bağcı, S. A., Ekiz, H., & Yılmaz, A. (2003). Determination of the salt tolerance of some barley genotypes and the characteristics affecting tolerance. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27(5), 253-260.
- Black, A., McLaren, R. G., Speir, T. W., Clucas, L., & Condrón, L. M. (2014). Gradient differences in soil metal solubility and uptake by shoots and roots of wheat (*T. aestivum*). *Biology and fertility of soils*, 50, 685-694.

- Dahlin, A. S., Eriksson, J., Campbell, C. D., & Öborn, I. (2016). Soil amendment affects Cd uptake by wheat—are we underestimating the risks from chloride inputs?. *Science of the Total Environment*, 554, 349-357.
- Dai, X. P., Feng, L., Ma, X. W., & Zhang, Y. M. (2012). Concentration level of heavy metals in wheat grains and the health risk assessment to local inhabitants from Baiyin, Gansu, China. *Advanced Materials Research*, 518, 951-956.
- Dheri, G. S., Singh Brar, M., & Malhi, S. S. (2007). Influence of phosphorus application on growth and cadmium uptake of spinach in two cadmium-contaminated soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170(4), 495-499.
- Dinler, B. S., Cetinkaya, H., Akgun, M., & 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, 258.
- Ece, D., Aydemir, Ö. E., & Özkutlu, F. (2022). The effect of c-bentonite application on cadmium uptake and shoot dry matter of bread wheat. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 11(4), 50-54.
- Ekbic, E., Cagiran, C., Korkmaz, K., Kose, M. A., & Aras, V. (2017). Assessment of watermelon accessions for salt tolerance using stress tolerance indices. *Ciência e Agrotecnologia*, 41, 616-625.
- Efe, E., Bek, Y., & Şahin, M. (2000). *İstatistik Yöntemler II*. Kahramanmaraş Sutcu Imam Univ., Bilgisayar Araştırma ve Uygulama Merkezi, Publication, (10).
- Grant, C. A., & Bailey, L. D. (1997). Effects of phosphorus and zinc fertiliser management on cadmium accumulation in flaxseed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 73(3), 307-314.
- Guo, G., Wu, F., Xie, F., & Zhang, R. (2012). Spatial distribution and pollution assessment of heavy metals in urban soils from southwest China. *Journal of Environmental Sciences*, 24(3), 410-418.
- Habiba, U., Ali, S., Farid, M., Shakoob, M. B., Rizwan, M., Ibrahim, M., ... & Ali, B. (2015). EDTA enhanced plant growth, antioxidant defense system, and phytoextraction of copper by *Brassica napus* L. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 1534-1544.
- Jafarnejadi, A. R., Homaei, M., Sayyad, G., & Bybordi, M. (2011). Large scale spatial variability of accumulated cadmium in the wheat farm grains. *Soil and Sediment Contamination*, 20(1), 98-113.
- Korkmaz, K., Kara, S. M., Özkutlu, F., & 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.
- Korkmaz, K., Kara, S. M., Özkutlu, F., Akgün, M., & Cenkal, B. C. (2017). Profile of heavy metal and nutrient elements in some sideritis species. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, 51(3), 209-212.
- Korkmaz, K., Ertürk, Ö., Ayvaz, M. Ç., Özcan, M. M., Akgün, M., Kırılı, A., & 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., Kırılı, A., Özcan, M. M., Dede, Ö., & Kara, Ş. M. (2020). Gibberellik Asit ve Salisilik Asit Uygulamalarının Tuz Stresi Altında Yetiştirilen Kolzanın (*Brassica napus* L.) Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkileri. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(4), 873-881.
- Lawlor, D. W., Day, W., Johnston, A. E., Legg, B. J., & Parkinson, K. J. (1981). Growth of spring barley under drought: crop development, photosynthesis, dry-matter accumulation and nutrient content. *The Journal of Agricultural Science*, 96(1), 167-186.
- Liu, F., Zhang, Q., Tong, D., Zheng, B., Li, M., Huo, H., & He, K. B. (2015). High-resolution inventory of technologies, activities, and emissions of coal-fired power plants in China from 1990 to 2010. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(23), 13299-13317.
- McLaughlin, M. J., Whatmuff, M., Warne, M., Heemsbergen, D., Barry, G., Bell, M., Nash, D., & Pritchard, D. (2006). A field investigation of solubility and food chain accumulation of biosolid-cadmium across diverse soil types. *Environmental Chemistry*, 3(6), 428-432.
- Mer, R. K., Prajith, P. K., H. Pandya, D., & 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(4), 209-217.
- Osawa, M., Tong, K. I., Lilliehook, C., Wasco, W., Buxbaum, J. D., Cheng, H. Y. M., Penninger, J. M., İkura, M., & Ames, J. B. (2001). Calcium-regulated DNA binding and oligomerization of the neuronal calcium-sensing

- protein, calsenilin/DREAM/KChIP3. *Journal of Biological Chemistry*, 276(44), 41005-41013.
- Özcutlu, F., Kara, Ş. M., & Şekeroğlu, N. (2007). Determination of mineral and trace elements in some spices cultivated in Turkey. In International Symposium on Medicinal and Nutraceutical Plants 756 (pp. 321-328).
- Özcutlu, F., Turan, M., Korkmaz, K. ve Huang, Y. M. 2009. Assessment of Heavy Metal Accumulation in the Soils and Hazelnut Plant (*Corylus avellena* L.) from Black Sea Coastal Region of Turkey. *Asian Journal of Chemistry*, 21(6), 4371-4388.
- Özcutlu, F., & Kara, Ş. M. (2018). The effect of zinc (Zn) fertilization on alleviating cd accumulation in durum wheat grain. *Journal of Agricultural Science and Technology B*, 8(2018), 203-208.
- Özcutlu, F. & Kara, Ş.M. (2019). Cd concentration of durum wheat grain as influenced by soil salinity. *Akademik Ziraat Dergisi*, 8(1), 97-100.
- Rizwan, M., Ali, S., Rizvi, H., Rinklebe, J., Tsang, D. C., Meers, E., Ok, Y. S., & Ishaque, W. (2016). Phytomanagement of heavy metals in contaminated soils using sunflower: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 46(18), 1498-1528.
- Ryan, J. A., Pahren, H. R., & Lucas, J. B. (1982). Controlling cadmium in the human food chain: a review and rationale based on health effects. *Environmental Research*, 28(2), 251-302.
- Schachtman, D., & Liu, W. (1999). Molecular pieces to the puzzle of the interaction between potassium and sodium uptake in plants. *Trends in plant science*, 4(7), 281-287.
- Shafi, M., Bakht, J., Hassan, M. J., Raziuddin, M., & Zhang, G. (2009). Effect of cadmium and salinity stresses on growth and antioxidant enzyme activities of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 82, 772-776.
- Uyanık, M., Kara, Ş. M., & Korkmaz, K. (2014). Determination of responses of some winter canola (*Brassica napus* L.) cultivars to salt stress at germination period. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 20(4), 368-375.
- Verkleij, J. A., Golan-Goldhirsh, A., Antosiewicz, D. M., Schwitzguébel, J. P., & Schröder, P. (2009). Dualities in plant tolerance to pollutants and their uptake and translocation to the upper plant parts. *Environmental and Experimental Botany*, 67(1), 10-22.
- Yang, X. E., Long, X. X., Ye, H. B., He, Z. L., Calvert, D. V., & Stoffella, P. J. (2004). Cadmium tolerance and hyperaccumulation in a new Zn-hyperaccumulating plant species (*Sedum alfredii* Hance). *Plant and soil*, 259, 181-189.