

Farklı Tuz Uygulamalarının Makarnalık (*Triticum durum* L.) Buğdayda Kadmiyum ve Çinko Alımı Üzerine Etkisi

Faruk ÖZKUTLU

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

*Sorumlu Yazar: farukozkutlu@hotmail.com

Geliş Tarihi: 08.04.2020 Düzeltme Geliş Tarihi: 08.10.2020 Kabul Tarihi: 13.10.2020

Öz

Değişik kaynaklardan topraklara ulaşan ve önemli bir çevre kirlenici olan kadmiyum (Cd), bitki, hayvan ve insanların beslenmesinde mutlak gerekli bir element değildir. Kadmiyum, yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu, bitki, hayvan ve insanlara toksik etkisi olan bir elementtir. Bitkilerde Cd birikimini etkileyen önemli faktörlerden birisi toprakların tuzluluk durumudur. Bu çalışmada, değişik tuzların bitkilerde Cd birikimini nasıl etkilediği belirlenmiştir. Toprağa artan oranda NaCl, Na₂SO₄ ve CaCl₂ uygulandığında bitkilerin yalnızca Cl⁻ formundaki tuzlarda ve özellikle NaCl ile Cd biriktirme kapasitesinde artışların olduğu saptanmıştır. Artan miktarlarda uygulanan değişik (NaCl, Na₂SO₄ ve CaCl₂) tuzlardan NaCl tuzunun yeşil aksam Cd konsantrasyonunda çarpıcı biçimde artış oluşturduğu bulunmuştur. Değişik tuzların Cd alımı üzerine etkilerinin kıyaslanmasıyla Cl⁻ tuzunun uygulandığı koşullarda, yeşil aksam Cd konsantrasyonu SO₄²⁻ tuzu uygulanan bitkilere göre daha yüksek olmuştur. Tuzun NaCl ve CaCl₂ formlarında uygulanması durumunda da bitkilerin Cd konsantrasyonu farklı şekilde etkilenmiştir. Klorürün Cd konsantrasyonu üzerindeki arttırıcı etkisi kendisini daha çok Na formunda uygulandığında göstermiştir. Kalsiyum varlığında Cl⁻'nin Cd alımı üzerinde Na iyonuna göre daha az arttırıcı etkisinin olduğu saptanmıştır. Sonuçlar, artan Cd ve farklı tuzların uygulanmasıyla yeşil aksam kuru madde verimini azalttığı ve bitki bünyesinde daha fazla Cd'yi biriktirdiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Makarnalık buğday, NaCl, NaSO₄, CaCl₂, kadmiyum

Effect of Different Salt Treatments on Cadmium and Zinc Uptake in Durum Wheat (*Triticum durum* L.)

Abstract

Cadmium (Cd), an important environmental pollutant reaching into soils from different sources, is not an essential element in animal and human nutrition. Cadmium, when present in high concentrations, is an element with toxic effect to humans, animals and plants. One of the important factors affecting Cd accumulation in plants is salinity status of the soils. In this study, it was determined how different salts effected Cd accumulation in plants. When increasing rates of NaCl, Na₂SO₄ and CaCl₂ applied into the soil, it was determined that Cd accumulation capacity of the plants increased only with the forms of Cl⁻ salts, particularly with NaCl. It was found that, among different salts applied with increasing ratios (NaCl, Na₂SO₄ ve CaCl₂), NaCl salt remarkably increased green part Cd concentration. With comparing the effects of different salts on Cd uptake, green part Cd concentration in the Cl⁻ salt applied condition was higher than those of the plants treated with SO₄²⁻ salt. The Cd concentration of the plants was affected differently when the salt was applied as NaCl and CaCl₂ forms. The increasing effect of chlorine on Cd concentration mostly occurred when it was applied as Na form. With the present of calcium, the increasing effect of Cl on Cd uptake was less comparing to Na ion. In conclusion, the application of Cd and different salts with increasing rates decreased dry matter yield of green part but increased Cd accumulation by plant.

Key words: Durum wheat, NaCl, NaSO₄, CaCl₂, cadmium

Giriş

Ağır metaller başlıca çevresel kirleticiler olmasının yanı sıra toksisite oluşturması nedeniyle canlılar için önemli bir beslenme ve çevresel sorun olarak güncelliğini korumaktadır. Toprakların ağır metallerle kirlenmesi sonucunda yalnızca toprak kalitesinin azalması değil aynı zamanda bitki sağlığı ve ürün verimliliği de olumsuz etkilenmektedir (Özkutlu ve ark., 2009). İnsanlar için ağır metallerin tamamı tehlikeli olup besin zinciriyle insanlara çok kolay geçişi olmaktadır. Ağır metallerden kadmiyum (Cd) toprakta diğer ağır metallerden farklı olarak çok fazla mobil olması nedeniyle düşük konsantrasyonlarda bile farklı bitki türlerinin hücreleri tarafından kolayca alınmakta ve birikebilmektedir (Moral, 2002; Quinn ve ark., 2011, Korkmaz ve ark., 2018). Kadmiyum bitki kökleri tarafından alındıktan sonra kolayca yeşil aksamına taşınabilmektedir (Adams ve ark., 2004; Clemens, 2006).

Topraklara Cd girişi özellikle antropojenik kaynaklardan atmosfer yoluyla, tarım arazilerine kanalizasyon çamurunun uygulanması yoluyla ve fosforlu gübreleme yoluyla olmaktadır (Kılıç ve Korkmaz 2012). Topraklardaki Cd dinamiği; toprağın pH, redoks durumu, organik madde içeriği, tekstür, hidro oksitler ve serbest karbonatlar ve tuzluluk gibi özellikler tarafından güçlü bir şekilde etkilenmektedir. Bitkilerde Cd birikimini etkileyen en önemli faktör toprakların tuzluluk durumudur. Topraklarda tuzluluğun artışıyla (özellikle Cl konsantrasyonunun artışıyla) bitkilerde Cd miktarının arttığı saptanmıştır (Norvell ve ark., 2000). Toprak tuzluluğu bitkisel üretim için önemli abiyotik streslerden birisi olup tuzlu topraklarda yetiştirilen bitkilerin ciddi verim kayıp kayıplarına maruz kaldıkları bilinmektedir (Uyanık ve ark., 2014; Ekbic ve ark., 2017). Tuzluluğun toprakta Cd'un hareketliliğini artırması ve kompleks oluşturması sonucunda Cd'un bitkiler tarafından kolayca alınmasına neden olduğu ileri sürülmektedir. Toprak çözeltideki Cl⁻ konsantrasyonuna bağlı olarak Cd'un Cl⁻ ile değişik formları (CdCl⁺, CdCl₂, CdCl₃⁻ ve CdCl₄²⁻) bulunmaktadır (Lindsay, 1979). Ayrıca, tuzlu toprakların çözelti kimyasında baskın bulunan Cd, Cl⁻un bilinmeyen CdCl_n²⁻ⁿ formunu oluşturduğu düşünülmektedir. Sulama suyunun (özellikle Cl⁻ konsantrasyonu) kalitesi de bitkilerin Cd alımını etkilemektedir. McLaughlin ve ark. (1997) yaptığı bir çalışmada yukarıda vurgulanan sulama suyundaki Cl⁻ konsantrasyonunun bitkilerin Cd alımı üzerinde etkili olabileceğini vurgulamıştır. McLaughlin ve ark. (1994) ticari bitkisel ürünlerde tuzluluğun Cd konsantrasyonunu arttığını kanıtlamak için sulama suyunda Cl⁻ ilavesi yapmış ve bitkilerin Cd konsantrasyonunda artan tuzluluğa

bağlı olarak önemli oranda arttığını göstermiştir. Kadmiyum Cl⁻ ile yaptığı kompleksler sonucunda Cd'un katyon değiştirici yüzeylere tutunması azalmakta ve böylece bitkilerce alınma şansının daha fazla olduğu düşünülmektedir. Weggler-Beaton ve ark. (2000) hektara 50 ton bitkisel atık uygulaması yaptıktan sonra şeker pancarı ve buğday bitkisinde NaCl tuzunun Cd alımına etkisini araştırmış ve bu amaçla ortama sulama suyuyla 27.4 mM NaCl ilavesi sonucunda, her iki bitkinin yeşil aksamında meydana gelen Cd konsantrasyonundaki artıştan sadece toprak çözeltisindeki Cd²⁺ iyonunun aktivitesinin sorumlu olmadığı; bu artışta, Cd'nin Cl⁻ komplekslerinin de etkili olduğu bildirilmiştir. Beslenmemizde büyük rol oynayan buğday Cd'u kolayca absorbe edebilmektedir. Tahıllar içerisinde makarnalık buğdayların ekmeçlik buğdaylara göre tanelerinde daha fazla kadmiyum biriktirdiği çeşitli araştırmalarla saptanmıştır (Hart ve ark., 2002; Greger ve Löfsted ,2004; Shentu ve ark., 2008; Özkutlu, ve Kara, 2019). Çeşitli gıdalarla Cd'un insanlarda fazlaca biriktiğinde akciğer, karaciğer, böbrek rahatsızlığı, hipertansiyon gibi çok ciddi sağlık sorunlarına yol açtığı ifade edilmektedir (Gallego ve ark., 2012; Korkmaz ve ark., 2010). Kadmiyum, besin zinciri yoluyla insanlar tarafından alınması nedeniyle birçok ülke yenilebilir bitkilerde maksimum izin verilebilir Cd sınırı belirlemiştir (Bernard, 2008). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Bileşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tahıllarda izin verilebilir maksimum Cd konsantrasyonunu 0.1 mg kg⁻¹ olarak belirlemiştir (WHO/FAO, 2001). WHO ile FAO insanların her bir kg vücut ağırlıklarına göre günlük tolere edebileceği Cd miktarını 1 µg Cd kg⁻¹ olarak belirlemiştir (Gawalko ve ark., 2001; Gray ve ark., 2001). Ancak, daha sonraki yıllarda Avrupa Komisyonu (EEC, 2001) buğday için maksimum izin verilebilir Cd sınır değerini 200 mg kg⁻¹ FW (taze ağırlık) olarak revize etmiştir. Söz konusu taze ağırlık değer 235 mg kg⁻¹ DW (kuru ağırlık)'a eşit durumdadır. Greger ve Landberg, (2008) Avrupada insanlara besin zinciri vasıtasıyla Cd girişinin olduğunu ve insanlara Cd girişinin yaklaşık olarak %40'ının tahıllar grubundan kaynaklandığını tahmin edildiğini açıklamıştır. Dünyada insanların beslenmesinin ana kaynağının buğday olduğu bilinmektedir. Son yıllarda bitkisel gıdalarda Cd birikimin nedenlerinin belirlenmesine yönelik araştırmalara hız verilmesinin yanısıra bitkisel ürünlerde Cd birikimine sebep olan faktörlerinde belirlenmesi çalışmaları artmaktadır.

Bu çalışmada da makarnalık buğdayda farklı tuzların Cd alımları üzerine etkisi araştırılmıştır.

Materyal ve Metot**Sera denemesinde kullanılan toprak ve bitki materyali**

Araştırmada kullanılan toprak Eskişehir-Sultanönü yöresinden getirilmiştir. Toprak, havada kurutulup 4 mm'lik elekten geçirildikten sonra kullanılmıştır. Kullanılan toprak materyalinin analiz

değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Araştırma, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Araştırma Seralarında yürütülmüştür. Denemede, bitki materyali olarak makarnalık buğday (Diyarbakır-81) çeşidi kullanılmıştır. Araştırmanın sonuçları, Excel paket programı yardımıyla istatistik analizine tabi tutulmuştur.

Çizelge 1. Araştırma toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Özellikler ve Metotlar	Düzyey
Tekstür sınıfı, Bouyoucoucous (1952)	Killi (C)
pH Jackson (1959)	8.08
Tuz (mmhos/cm), U.S. Salinity Laboratory Staff (1954)	0.22
Organik madde (%), Jackson (1959)	0.7
Kireç (%), Çağlar (1949)	14.02
DTPA-Zn (mg kg ⁻¹), Lindsay ve Norvell (1978)	0.1
DTPA-Cd (mg kg ⁻¹), Lindsay ve Norvell (1978)	0.005
Toplam Zn (mg kg ⁻¹), Schlichting ve Blume (1966)	51
Toplam Cd (mg kg ⁻¹), Schlichting ve Blume (1966)	0.27

Saksı denemesinin kurulması ve yürütülmesi

Plastik saksılarda (2 L'lik) 1.650 kg toprak tartılmış ve temel gübreler tüm saksılara 200 mg kg⁻¹ N {Ca(NO₃)₂.4H₂O}, 100 mg kg⁻¹ P {KH₂PO₄}, 2.5 mg kg⁻¹ Fe (Fe-EDTA) ve 1.0 mg kg⁻¹ Zn (ZnSO₄.7H₂O) uygulanmıştır. Deneme, Cd'nin (0, 0.2 ve 1.0 mg Cd (CdSO₄)₃.8H₂O kg⁻¹- toprak) dozları ve tuzların (NaCl, Na₂SO₄ ve CaCl₂) 2 farklı dozu uygulanarak 3 tekerrürlü olarak 63 saksıda yürütülmüştür. Değişik tuz uygulamalarında NaCl, 200 ve 1000 mg NaCl kg⁻¹; Na₂SO₄, 100 ve 500 mg Na₂SO₄ kg⁻¹ ve CaCl₂ 100 ve 500 mg CaCl₂ kg⁻¹ olarak tuzlarda Cl⁻ anyonu ve Na⁺ katyonu eşit miktarda olacak şekilde hesaplanıp verilmiştir. Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Bitkiler Cd ve tuz toksisitesi semptomları dikkate alınarak 45 gün süre ile yetiştirilmiş ve yeşil aksam hasadı yapılmıştır. Yeşil aksam örnekleri 70 °C'de etüvde 48 saat kurutulup öğütülmüştür. Yeşil aksam örneklerinde Cd ölçümü yapmak için örneklerden 0.25 gram alınarak 2 ml saf su, 2 ml H₂O₂ (%30'luk) ve 4 ml HNO₃ (%65'lik) içeren bir karışımı içinde mikro dalgada yakılmıştır (Milestone, İtalya). Örneklerde Cd ölçümü ICP-AES (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emmission Spectrometer; JY 138 Ultrace) ile Zn

konsantrasyonu ise AAS (Atomik Absorbsiyon Cihazı; Varian-FS 220) ile belirlenmiştir.

Bulgular ve Tartışma**Yeşil aksam kuru madde üretimi**

Bitkilerin Cd alımı üzerine farklı formlarda uygulanan (Cl⁻ ve SO₄²⁻ formları) tuzların etkisi araştırılmıştır. Farklı Cd dozları (0, 0.2 ve 1.0 mg kg⁻¹) ve farklı tuz formları altında (NaCl, Na₂SO₄ ve CaCl₂) sera koşullarında 45 gün yetiştirilen makarnalık buğday yeşil aksam kuru madde üretiminde önemli farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Artan Cd, CaCl₂ uygulamaları dışındaki tüm tuz uygulamalarında bitkilerin kuru madde verimini azaltma eğilimi göstermiştir (Çizelge 2). Toprağa uygulanan tüm tuzlarda tuz uygulamasının yapılmadığı kontrol uygulamasına göre, kuru madde verimi azalmıştır. Bu azalışlar, en belirgin olarak Cl⁻'nin 1000 mg kg⁻¹ olarak verildiği CaCl₂ ve NaCl uygulamalarında görülmüştür. Buna göre, toprağa Cd'un ve herhangi bir tuzun uygulanmadığı durumda bitkinin kuru madde verimi 438 mg bitki⁻¹ iken, 1000 mg kg⁻¹ NaCl ve 500 mg kg⁻¹ CaCl₂ uygulamasıyla bitkinin kuru madde verimi sırasıyla 310 ve 323 mg bitki⁻¹'ye düştüğü bulunmuştur. Kadmiyumun 0.2 ve 1.0 mg kg⁻¹ olarak verildiği ve Cl⁻'un 1000 mg kg⁻¹ olarak Na⁺ ve Ca⁺² formunda uygulamalarıyla bitki kuru madde verimi daha çarpıcı biçimde düşmüştür (Çizelge 2).

Çizelge 2. Farklı Cd dozları (0, 0.2 ve 1.0 mg kg⁻¹) ve farklı tuz formları altında (NaCl, Na₂SO₄ ve CaCl₂) sera koşullarında 45 gün yetiştirilen makarnalık buğday Diyarbakır-81 çeşidinin yeşil aksam kuru madde üretimi.

Uygulamalar mg kg ⁻¹ -toprak	Yeşil Aksam Kuru Madde Üretimi, mg bitki ⁻¹							
	Cd Uygulaması, mg kg ⁻¹							
	0		0.2		1.0			
Kontrol	438	± 2	433	± 12	423	± 32		
200 NaCl	346	± 18	340	± 10	332	± 28		
1000 NaCl	310	± 11	303	± 15	283	± 6		
100 Na ₂ SO ₄	402	± 25	389	± 26	382	± 31		
500 Na ₂ SO ₄	402	± 24	383	± 5	373	± 7		
100 CaCl ₂	342	± 49	322	± 26	343	± 10		
500 CaCl ₂	323	± 1	320	± 24	322	± 11		

Elde edilen sonuçlara göre, hem Cd hem de tuz stresi artınca makarnalık buğday yeşil aksam kuru madde verimi azalmıştır. Bu durum, bitkinin fizyolojik süreçlerinin olumsuz etkilenmesiyle açıklanmaktadır. Araştırma sonuçlarımızı destekleyen benzer bir araştırma da Shafi, M., ve ark. (2011) tarafından tespit edilmiştir. Araştırmacı, buğday bitkisini NaCl (75–150 mM) ve Cd (2–4 µM) stresi altında yetiştirilmesi sonucunda yeşil aksam kuru madde veriminde düşüş olduğunu bildirmiştir. Debez ve ark. (2003) tarafından yapılan başka bir araştırmada da üç buğday çeşidinin Cd ve tuz stresi altında yetiştirmişti. Buna göre, Cd ve tuzun ayrı ayrı ve ikisinin birlikte uygulamasıyla kuru madde veriminde ciddi azalışların olduğu, bu azalmanın tuz ve Cd'nin birlikte uygulandığında ise kuru madde veriminde azalmaların daha şiddetli olduğunu belirlemiştir. Mühling ve Lauchli, (2003) besin çözültüsü ortamına 10 µM Cd ve 75 µM NaCl uygulaması yaparak yetiştirdiği iki farklı buğday genotipinin kontrol bitkisine göre kuru madde veriminin azaldığı açıklanmıştır. Yapmış olduğumuz denemede Cd artan oranlarda tek başına uygulandığında kuru madde veriminde düşüş oluşturduğu, tuz ve Cd artan oranlarda birlikte olduğunda ise daha çarpıcı azalmaya sebep olduğu belirlenmiştir.

Yeşil aksam Cd ve Zn konsantrasyonu

Artan miktarda Cd uygulanmasıyla tüm tuz uygulamalarında bitkilerin Cd konsantrasyonu belirgin biçimde artmıştır. Ancak, bu artışlar ortama uygulanan tuzlardan farklı biçimde etkilenmiştir (Çizelge 3). Bitkinin yeşil aksamındaki Cd konsantrasyonunu etkilemede Cl⁻ tuzlarının SO₄²⁻ tuzlarına göre daha büyük rol oynadığı saptanmıştır (Çizelge 3). Klorürün varlığında ve artan oranda uygulanmasıyla (özellikle Na formunda) bitkilerin Cd konsantrasyonunda belirgin artışlar olmuştur. Tuz uygulamalarının yüksek dozu olan 1000 mg kg⁻¹'lik NaCl ve 500 mg kg⁻¹'lik Na₂SO₄ uygulamalarında, dışardan Cd uygulanmadığında kontrol grubunda bitkinin yeşil aksamındaki Cd konsantrasyonu sırasıyla 0.13 ve 0.10 mg kg⁻¹ düzeyinde olmuştur. Cd'un 0.2 mg kg⁻¹ verildiği uygulamada aynı değerler sırasıyla 3.14 ve 2.30 mg kg⁻¹ düzeyinde olduğu tespit edilmiştir. Kadmiyumun yüksek 1 mg Cd kg⁻¹ dozunun uygulamasında ise sırasıyla 12.0 ve 9.7 mg kg⁻¹ düzeyinde olmuştur. NaCl, CaCl₂ ve NaSO₄ tuzlarının birlikte karşılaştırıldığında bitki Cd alımı üzerine olan etkilerinde Cl⁻ tuzlarının SO₄²⁻ tuzlarına göre daha büyük rol oynadığı saptanmıştır.

Çizelge 3. Farklı Cd dozları (0, 0.2 ve 1.0 mg kg⁻¹) ve farklı tuz formları altında (NaCl, Na₂SO₄ ve CaCl₂) sera koşullarında 45 gün yetiştirilen makarnalık buğday Diyarbakır-81 çeşidinin yeşil aksam Cd konsantrasyonu.

Uygulamalar mg kg ⁻¹ -toprak	Yeşil Aksam Cd Konsantrasyonu, mg kg ⁻¹							
	Cd Uygulaması, mg kg ⁻¹							
	0		0.2		1.0			
Kontrol	0.12	± 0.03	1.98	± 0.12	8.0	± 0.2		
200 NaCl	0.08	± 0.02	2.29	± 0.49	8.7	± 1.2		
1000 NaCl	0.13	± 0.01	3.14	± 0.47	12.0	± 1.5		
100 Na ₂ SO ₄	0.14	± 0.04	2.14	± 0.20	9.0	± 0.1		
500 Na ₂ SO ₄	0.10	± 0.02	2.30	± 0.39	9.7	± 1.1		
100 CaCl ₂	0.09	± 0.02	1.91	± 0.20	5.9	± 0.5		
500 CaCl ₂	0.13	± 0.01	2.43	± 0.26	8.3	± 0.7		

Sonuçlardan da görüldüğü gibi, her üç Cd uygulamasında da Cl^- uygulaması altındaki bitkilerin SO_4^{2-} uygulanan bitkilere göre Cd konsantrasyonu daha yüksek bulunmuştur. Ancak Cl^- 'un Na ve Ca formlarında uygulanması durumunda da bitkilerin Cd konsantrasyonu farklı şekilde etkilenmiştir. Klorürün Cd konsantrasyonu üzerindeki arttırıcı etkisi kendisini daha çok Na formunda uygulandığında göstermiştir. Kalsiyum varlığında Cl^- 'nin Cd alımı üzerinde Na iyonuna göre daha az arttırıcı etki göstermesi, Ca'nın membranlar üzerinde koruyucu ve geçirgenliği kontrol edici etkisi ve Ca ile Cd arasında absorpsiyon sırasında bir antagonistik etkinin olmasıyla ilişkili olabilir. Son yıllarda, kadmiyumun insan sağlığına olumsuz etkilerinden dolayı değişik bitkilerde Cd alımı ve birikiminin nedenlerini belirlemeye yönelik araştırmalar hızla artmaktadır. Bu kapsamda, bitkilerde Cd'nin yüksek miktarda alımlarında etkili olan toprak tuzluluğunun ilişkisi giderek artan düzeyde araştırılmaktadır. Dünya topraklarında tuzluluğun giderek artış göstermesi ve topraklara gübreleme veya endüstriyel atıklarla Cd girişinin artması bu ilişkiyi önemli kılmaktadır. Topraktaki tuzluluğun (özellikle Cl^- 'nin) bitkilerde Cd birikimini etkileyen en önemli faktör olduğu yapılan çalışmamızda belirlenmiştir. Özellikle, kadmiyumun Cl^- ile yaptığı kompleksler sonucunda katyon değiştirici yüzeylere tutunması azalmakta ve böylece bitkilerce alınma şansının daha fazla olduğu düşünülmektedir. Bu durum, klor ile Cd'nin kompleksleşmesi sonucunda Cd'un toprakta daha fazla hareketli olması ve plazma membranlar üzerindeki absorpsiyon noktalarına daha hızlı hareket etmesiyle açıklanabilir (McLaughlin ve ark., 1996; Smolders ve McLaughlin, 1996). Elde ettiğimiz bulgularımızın literatürde yapılan çalışmalarla uyumlu olduğu saptanmıştır. Söz konusu araştırmalarda, topraktaki tuzluluğun NaCl olarak artırılmasıyla toprak çözeltisinde çözünür Cd konsantrasyonunun yükseldiği, ancak NaCl yerine $NaNO_3$ uygulanması durumunda ise toprak çözeltisindeki çözünür Cd miktarında herhangi bir değişikliğin olmadığı belirlenmiştir (Smolders ve ark., 1998). Wu ve ark. (2002) survey amaçlı yaptıkları araştırmada, buğday tane Cd konsantrasyonu ile tuzluluk ve diğer toprak özellikleri arasındaki ilişkiyi belirlemiştir. Tuzluluğun ve özellikle Cl^- anyonunun yüksek olduğu alanlarda makarnalık buğday tanesinde Cd

konsantrasyonunun daha fazla olduğu görülmüştür. Norvell ve ark. (2000) tarafından yapılan survey niteliğindeki bir araştırmada, topraktaki Cl^- konsantrasyonunun artmasıyla makarnalık buğdaylarda tanede Cd konsantrasyonunun arttığı saptanmıştır. Zhong-Qio ve ark. (2003) tarafından sera koşullarında yazlık buğday çeşitleriyle yapılan bir araştırmada ise, toprağa eşit oranda K'un NO_3^- , SO_4^{2-} ve Cl^- tuzlarının uygulanması sonucunda, buğday bitkisinin yeşil aksamında Cd alımının Cl^- ve SO_4^{2-} ile daha fazla arttığı açıklanmıştır. Abbas ve ark. (2018) tarafından yapılan araştırmada buğday bitkisinde tuz ve Cd stresini tek tek ve birlikte etkilerini karşılaştırmıştır. Tuz stresinin Cd stresine göre bitki büyümesini, tane verimini ve klorofil içeriğini azalttığını bildirmiştir. Ayrıca, bu iki stresin birlikte olduğu durumlarda bitki büyümensin daha şiddetli etkilendiği açıklanmıştır. Gerçekten, toprak ve bitkilerde giderek artan bir Cd kontaminasyonu söz konusudur (Grant ve ark., 1998). Özellikle topraklarda yüksek tuzluluğun olduğu alanlarda yetişen bitkilere Cd daha fazla alınması olası görülmektedir. Artan Cd (0, 0.2 ve 1.0 mg kg^{-1}) dozları altında yeşil aksam Zn konsantrasyonu sırasıyla 22, 22 ve 20 mg kg^{-1} olduğu saptanmıştır. Farklı tuz uygulamalarına bağlı olarak yeşil aksam Cd konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak Zn konsantrasyonunda da artışlar olduğu tespit edilmiştir. Örneğin, NaCl ve Na_2SO_4 en yüksek dozlarında bitkideki Cd konsantrasyonunun artmasıyla Zn konsantrasyonunda sırasıyla 23, 26, 28 ve 25, 26, 23 mg kg^{-1} düzeyine arttığı belirlenmiştir (Çizelge 4). Kadmiyum ve Zn'nin bazı kimyasal özellikler yönünden benzer olması nedeniyle Cd ve Zn arasından antagonistik ve sinergistik ilişki olabilmektedir. Genellikle birçok araştırmacı tarafından değişik bitkilerdeki Zn'nun Cd alımını üzerine antagonistik etkisinin olduğu açıklanmıştır (Özkutlu ve Kara, 2018). Ancak, bitkilerde Zn'nun Cd alımı üzerine olan antagonistik etkisine karşı sinergistik etkisi olduğunu gösteren araştırma sonuçları da bulunmaktadır. Elde ettiğimiz sonuçları destekleyen bir araştırmada sinergistik etkinin olduğu bildirilmiştir. Örneğin survey amaçlı bir araştırmada buğday ve toprak örneklerinin analizi sonucunda, tarla koşullarında Cd ve Zn elementlerinin yüksek miktarlarda birlikte bulunduğu yerlerde bitkilerde bu elementlerin biriktiği ve Cd-Zn etkileşiminin sinergistik bir süreç içinde olduğu bildirilmiştir (Nan ve ark., 2002).

Çizelge 4. Farklı Cd dozları (0, 0.2 ve 1.0 mg kg⁻¹) ve farklı tuz formları (NaCl, Na₂SO₄ ve CaCl₂) altında sera koşullarında 45 gün yetiştirilen makarnalık buğday Diyarbakır-81 çeşidinin yeşil aksam Zn konsantrasyonu.

Uygulamalar mg kg ⁻¹ -toprak	Yeşil Aksam Zn Konsantrasyonu, mg kg ⁻¹		
	Cd Uygulaması, mg kg ⁻¹		
	0	0.2	1.0
Kontrol	22 ± 1	22 ± 1	20 ± 2
200 NaCl	22 ± 3	30 ± 1.2	21 ± 2
1000 NaCl	23 ± 1	26 ± 2	28 ± 6
100 Na ₂ SO ₄	23 ± 1	22 ± 1	22 ± 0
500 Na ₂ SO ₄	25 ± 2	26 ± 1	23 ± 0
100 CaCl ₂	20 ± 1	22 ± 2	20 ± 2
500 CaCl ₂	26 ± 3	23 ± 1	19 ± 2

Sonuç ve Öneriler

Bu araştırmada, makarnalık buğday (Diyarbakır-81) bitkisinin ortamdan Cd alımı ve bünyesinde Cd biriktirmesi üzerine Cl⁻'un artırıcı etkisi olduğu tespit edilmiştir. Farklı tuzların katyonlarından Na⁺ ve Ca⁺² formları arasında da Cd konsantrasyonunu en fazla arttırmada Na⁺ olduğu ardından >Ca⁺² belirlenmiştir. Ayrıca, Cl⁻ tuzlarının SO₄⁻² tuzlarına göre yeşil aksam Cd konsantrasyonunu daha fazla arttırdığı saptanmıştır. Tuz uygulamalarının (NaCl, Na₂SO₄ ve CaCl₂) tersine Zn uygulaması bitkilerin Cd miktarı üzerinde düşürücü etki yapmıştır. Çinkonun bu etkisi ileride daha ayrıntılı incelenmiştir. Kadmiyum ile kirlenmiş ve tuzluluğu yüksek topraklarda yetiştirilen bitkilerde Cd analizleri mutlaka yapılmalıdır. Kadmiyum ve tuzluluk stresine dayanıklı olan çeşitlerin belirlenmesine yönelik araştırmalara özel önem verilmelidir.

Çıkar Çatışması Beyanı: Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti: Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynaklar

Abbas, T., Rizwan, M., Ali, S., Adrees, M., Zia-ur-Rehman, M., Qayyum, M. F. and Murtaza, G. 2018. Effect of biochar on alleviation of cadmium toxicity in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown on Cd-contaminated saline soil. Environmental Science and Pollution Research, 25 (26): 25668-25680.

- Adams, M.L., Zhao, F.J., McGrath, S.P., Nicholson, F.A. and Chambers, B.J. 2004. Predicting cadmium concentrations in wheat and barley grain using soil properties. J Environ. Qual., 33: 532-541.
- Bernard, A. 2008. Cadmium and its adverse effects on human health. Indian Journal of Medical Research, 128 (4): 557.
- Bouyoucos, G.J. 1952. Hydrometer method improved for making particle size at analysis of soil. Argon. J., 54(5):464-465.
- Clemens, S. 2006. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. Biochimie, 88: 1707–1719.
- Çağlar, K.Ö. 1949. Toprak Bilgisi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Debez, A.,W., Chaibi, and Bouzid, S. 2003. Physiological responses and structural modifications in *Atriplex halimus* L. plants exposed to salinity. In: Cash Crop Halophytes: Recent Studies, eds. L. Helmut and M. Marina, pp. 19–30. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer.
- EEC, 2001. Commission Regulation (EC) no. 466/2001 of 8 March 2001 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Official Journal of the European Communities, 16.3.2001, L77/ 1-23.
- Ekbic, E., Cagiran, C., Korkmaz, K., Kose, M. A., and Aras, V. 2017. Assessment of watermelon accessions for salt tolerance using stress tolerance indices. Ciência e Agrotecnologia, 41(6), 616-625.
- FAO, 2001. Food and agriculture organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org>.
- Gallego, S.M., Pena, L.B., Barcia, R.A., Azpilicueta, C.E., Iannone, M.F., Rosales, E.P., Zawoznik, M.S., Groppa, M.D. and Benavides, M.P.

2012. Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: insight into regulatory mechanisms. *Environ. Exp. Bot.*, 83: 33-46.
- Gawalko, E.J., Garrett, R.G. and Nowicki, T.W. 2001. Trace elements in western Canadian hard red spring wheat (*Triticum aestivum* L.): levels and quality assurance. *Journal of AOAC International*, 84 (6): 1953-1963.
- Grant, C.A., Buckley, W.T., Bailey, L.D. and Selles, F. 1998. Cadmium accumulation in crops. *Canadian Journal of Plant Science*, 78 (1): 1-17.
- Gray, C.W., McLaren, R.G. and Roberts, A.H.C. 2001. Cadmium concentrations in some New Zealand wheat grain. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 29 (2): 125-136.
- Greger, M. and Löfstedt, M. 2004. Comparison of uptake and distribution of cadmium in different cultivars of bread and durum wheat. *Crop Science*, 44 (2): 501-507.
- Greger, M. and Landberg, T. 2008. Role of rhizosphere mechanisms in Cd uptake by various wheat cultivars. *Plant and Soil*, 312 (1-2): 195-205.
- Hart, J.J., Welch, R.M., Norvell, W.A. and Kochian, L.V. 2002. Transport interactions between cadmium and zinc in roots of bread and durum wheat seedlings. *Physiol. Plant*, 116: 73-78.
- Jackson, M.L. 1959. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Kılıç, R. ve Korkmaz, K. 2012. Kimyasal Gübrelerin Tarım Topraklarında Artık Etkileri. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 5(2): 87-90.
- Korkmaz, K., Kara, S.M., Özkutlu, F. and 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., Ertürk, Ö., Ayvaz, M. Ç., Özcan, M. M., Akgün, M., Kirli, A., and 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): 108-114.
- Lindsay, J. 1979. *The Trent and Mersey Canal*, David & Charles, Newton Abbot.
- Lindsay, W.L. and Norvell, W.L. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42:421-428.
- McLaughlin, M.J., Tiller, K.G. and Smart, M.K. 1997. Speciation of cadmium in soils solution of saline/sodic soils and relationship with cadmium concentrations in potato tubers. *Australian Journal of Soil Research*, 35: 1-17.
- McLaughlin, M.J., Tiller, K.G., Beech, T.A. and Smart, M.K., 1994. Soil salinity causes elevated cadmium concentrations in field-grown potato tubers. *J. Environ. Qual.*, 23 (5): 1013-1018.
- McLaughlin, M.J., Tiller, K.G., Naidu, R. and Stevens, D.G. 1996. Review: The behaviour and environmental impact of contaminants in fertilizers. *Aust. J. Soil Res.*, 34: 1–54.
- Moral, R., Gilkes, R.J. and Moreno-Caselles, J. 2002. A comparison of extractants for heavy metals in contaminated soils from Spain. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33 (15-18): 2781-2791.
- Mühling, K.H. and Lauchli, A. 2003. Interaction of NaCl and Cd stress on compartmentation pattern of cations, antioxidant enzymes and proteins in leaves of two wheat genotypes differing in salt tolerance. *Plant Soil*, 253(1): 219-231.
- Nan, Z., Li, J., Zhang, J. and Cheng, G. 2002. Cadmium and zinc interactions and their transfer in soil-crop system under actual field conditions. *Science of the Total Environment*, 285 (1-3): 187-195.
- Norvell, W.A., Wu, J., Hopkins, D.G. and Welch, R.M. 2000. Association of cadmium in durum wheat grain with soil chloride and chelate-extractable soil cadmium. *Soil Science Society of America Journal*, 64:2162–8.
- Özkutlu, F., Turan, M., Korkmaz, K. and Huang, Y. M. 2009. Assessment of heavy metal accumulation in the soils and hazelnut plant (*Corylus avellana* L.) from Black Sea coastal region of Turkey. *Asian Journal of Chemistry*, 21(6), 4371-4388.
- Özkutlu, F. and 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.
- Özkutlu, F. and Kara, Ş.M. 2019. Cd concentration of durum wheat grain as influenced by soil salinity. *Akademik Ziraat Dergisi*, 8 (1): 97-100.
- Quinn, C. J., Mohammad, A. and Macfie, S.M. 2011. Accumulation of cadmium in near-isogenic lines of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var durum): the role of transpiration. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 17 (4): 317.
- Schlichting, E. and Blume, H.P. 1966. *Bodenkundliches praktikum*. verlag paul parey. Hamburg- Berlin.

- Shafi, M., Bakht, J., Raziuddin, Y, Hayat and Zhang, G. 2011. Genotypic differences in the inhibition of photosynthesis and chlorophyll fluorescence by salinity and cadmium stresses on stresses in wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 34: 315-23.
- Shentu, J., He, Z., Yang, X.E. and Li, T. 2008. Accumulation properties of cadmium in a selected vegetable-rotation system of southeastern China. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 (15): 6382-6388.
- Smolders, E. and McLaughlin, M.J., 1996. Effect of Cl on Cd uptake by Swiss chard in nutrient solutions. *Plant Soil*, 179: 57–64.
- Smolders, E., Lambregts, R.M., McLaughlin, M.J., Tiller. and K.G. 1998. Effect of soil solution chloride on cadmium availability to Swiss chard. *Journal of Environmental Quality*, 27 (2): 426–431.
- U. S. Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils (Ed L. A. Richards). USDA Agriculture Handbook B, No: 60, U. S. Gov. Printing Office, Washington, 160P.
- Uyanık, 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.
- Wegglar-Beaton, K., McLaughlin, M.J. and Graham, R.D. 2000. Salinity increases cadmium uptake by wheat and Swiss chard from soil amended with biosolids. *Austr. J. Soil Res*, 38 (1): 37-45.
- WHO, 2001. World health organization. <http://who.org>.
- Wu, J., Norvell, W.A., Hopkins, D.G. and Welch, R.M. 2002. Spatial variability of grain cadmium and soil characteristics in a durum wheat field. *Soil Science Society of America Journal*, 66:268–75.