

## Farklı potasyum gübre formları ve oranlarının brokoli bitkisinin kadmiyum alımı üzerine etkileri

Faruk ÖZKUTLU<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ordu Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 52200, Altınordu/Ordu

Alınış tarihi: 1 Nisan 2020, Kabul tarihi: 5 Haziran 2020

Sorumlu yazar: Faruk ÖZKUTLU, e-posta: farukozkutlu@hotmail.com

### Öz

Kadmiyum, yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu bitki, hayvan ve insanlara toksik etkisi olan bir elementtir. Toprak ve bitkilerde kadmiyumun (Cd) birikiminin olması nedeniyle dokularında 3 mg kg<sup>-1</sup>'den fazla Cd içeren bitkileri düzenli olarak tüketen insanlarda Cd'un toksik etkileri görülmektedir. Bu nedenle, dünya genelinde topraklarda ve bitkilerde Cd'un birikiminin boyutları ve bitkilerde birikiminin azaltılmasına yönelik araştırmalar hızla artmaktadır. Bu araştırma, sera koşullarında brokoli (*Brassica oleracea italica*) bitkisine farklı potasyumlu (KCl, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve KNO<sub>3</sub>) gübrelerin 4 farklı dozda (0, 200, 600 ve 1800 mg kg<sup>-1</sup>) uygulanmasıyla bitkinin Cd alımı üzerine etkisi belirlenmiştir. Potasyumun Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> formlarında ve (0, 200, 600 ve 1800 mg kg<sup>-1</sup>) uygulandığı dozlarda yeşil aksam Cd taşınması tüm dozlarda kontrole göre artmıştır. Artan dozlarda KCl uygulamalarının tamamında K'un NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> formlarına göre kontrole göre kuru madde verimini azaltırken yeşil aksam Cd alımını arttırmıştır. Kadmiyumun 2.5 mg kg<sup>-1</sup> ve K'un 1800 mg kg<sup>-1</sup> Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> formları uygulandığında, kuru madde verimleri 2.3, 2.41, 2.36 g bitki<sup>-1</sup> olduğu ve yeşil aksam Cd alımlarının ise sırasıyla 23.9, 18.4 ve 17.9 mg kg<sup>-1</sup> olduğu saptanmıştır. Bu çalışmada, Cl<sup>-</sup> anyonunun NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> anyonlarına göre brokoli (*Brassica oleracea italica*) bitkisinin yeşil aksamında Cd alımının daha fazla olması muhtemelen Cd-Cl kompleksinin Cd absorpsiyonuna katıldığını göstermektedir. Bu sonucunda da topraklarda Cd<sup>+2</sup>'nin biyoyararlılığını artırmaktadır. Sonuç olarak, Cd kontamine olmuş topraklara potasyumlu gübre

uygularken formların ve oranların dikkate alınması gerekliliği belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Potasyumlu gübreler, anyon, kadmiyum alımı, brokoli

### Effects of different forms and ratios of potassium fertilizer on cadmium uptake of broccoli plant

### Abstract

Cadmium, when present at high concentrations, is an element with toxic effect on plants, animals and humans. Cadmium toxicity is occurred in humans consuming regularly the plants containing 3 mg kg<sup>-1</sup> in their tissues because of cadmium (Cd) accumulation in soil and plants. Therefore, studies regarding the extent of Cd accumulation and relevant precautions directed for decreasing its accumulation have increased rapidly in worldwide. This study, as a pot experiment in greenhouse conditions, was carried out to determine effect of different forms (KCl, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and KNO<sub>3</sub>) and doses (0, 200, 600 and 1800 mg kg<sup>-1</sup> in) of potassium fertilizer on Cd uptake. Cadmium transport to green parts has increased in all forms of Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> and doses (0, 200, 600 and 1800 mg kg<sup>-1</sup>) of potassium as compared to the control. All increasing KCl doses increased Cd accumulation by green parts while dry matter yield decreased in comparison to the NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> forms of K. With the application of 2.5 mg kg<sup>-1</sup> Cd and 1800 mg kg<sup>-1</sup> Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> K forms, the dry matter yields and green parts Cd uptakes were found to be as the followings; 2.3, 2.41, 2.36 g plant<sup>-1</sup> and 23.9, 18.4 and 17.9 mg kg<sup>-1</sup>, respectively.

In this study, higher  $\text{Cl}^-$  anion in green parts of broccoli plant as compared to  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  anions shows that the Cd-Cl complex presumably participates in Cd absorption. As a result of this, bioavailability of  $\text{Cl}^{+2}$  in soils is increased. In conclusion, it was determined that the forms and ratios should be taken into account when applying potassium fertilizers to Cd contaminated soils.

**Key words:** Potassium fertilizers, anion, cadmium uptake, broccoli

## Giriş

Tarım topraklarında çok düşük de olsa kadmiyum (Cd) bulunmaktadır. Ancak, topraklardaki Cd içeriği doğal koşullarda oldukça düşük olmasına rağmen çeşitli kaynaklardan toprağa Cd girişi olabilmektedir. Kadmiyum, antropojenik kaynaklardan atmosfer yoluyla, tarım arazilerine kanalizasyon çamurunun uygulanması ve gübre kullanımı yoluyla topraklara Cd girişi olmakta ve birikilmektedir. Gübrelerden topraklara Cd girişi olmakta ve gübrelerin türüne göre Cd içerikleri farklılık göstermektedir (Kılıç ve Korkmaz 2012; Özkutlu ve Kara, 2018). Fosfor gübreleri  $300 \text{ mg Cd kg}^{-1}$  üstünde Cd'a sahip olurken, N ve K'lu gübreler genellikle  $9 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ 'dan daha az Cd içermektedir (Fergusson, 1990). Genellikle N'lu ve K'lu gübrelerin ham madde kaynağının Cd içeriğinin  $1 \text{ mg kg}^{-1}$ 'dan daha düşük olduğu açıklanmıştır (Zarcinas and Nable 1992). Kadmiyum, tarımsal topraklarda birikebilen, bitkilere mutlak gerekli olmayan toksik bir ağır metaldir (Wu et al., 2016; Huang et al., 2018; Korkmaz ve ark., 2018). Tarımsal toprakların Cd kontaminasyonunun boyutlarının belirlenmesi çalışmalarını artıran bir hızla devam etmektedir. Bitkisel gıdalarda Cd toksik sınırlarda birikebilmekte ve besin zinciriyle insanlara geçişi olmaktadır. Kadmiyum insan sağlığı için potansiyel riskler oluşturmaktadır. İnsanlarda toksik düzeyde birikmesi sonucunda görme bozukluğu, yüksek tansiyon, akciğer, karaciğer ve böbrek rahatsızlıkları gibi ciddi sağlık problemlerine neden olmaktadır (Jarup et al., 1998; Boussen et al., 2013; Nie et al., 2016). Bu nedenle, Cd üzerine yapılan mevcut araştırmalar tarımsal ürünlerde Cd birikimini en aza indirmek ve insan sağlığı üzerine risklerin hafifletilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Gübrelemenin tarım ürünlerinin üretiminin sürdürülmesi için vazgeçilmez bir faktör olduğu, ancak toprak-bitki sistemlerinde Cd taşınmasına ve birikimini de yol açtığı ileri sürülmektedir (Zhao et al., 2003; Cheng et al., 2018). Toprakta potasyum

bitkilerin mutlak gereksinim duyduğu bir makro element olup bitkiler tarafından azottan sonra en fazla alınan besin elementlerinden biridir (Esençay ve Korkmaz, 2019). Türkiye'de bitkisel ürünlerin yetiştirilmesi ve daha yüksek ve kaliteli ürün alabilmek için potasyumlu gübrelerin potasyum klorür (KCl), potasyum sülfat ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) ve potasyum nitrat ( $\text{KNO}_3$ ) formları yaygın olarak kullanılmaktadır (Korkmaz ve ark., 2015). Örneğin, Liu et al. (2013), K gübre uygulamasıyla mısır yapraklarında Cd birikiminin arttığını açıklamıştır. Benzer şekilde yapılan başka bir araştırmada da potasyumun  $\text{KNO}_3$  ve  $\text{K}_2\text{SO}_4$  formlarının haşhaş tohumunun Cd içeriğinde bir değişiklik göstermez iken KCl'nin Haşhaş tohumu Cd içeriğini artırdığını saptamıştır (Salardini et al., 1993). Toprak bitki sistemlerinde potasyum gübrelerdeki klorür ( $\text{Cl}^-$ ), sülfat gibi anyonlar ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) ve  $\text{NO}_3^-$  Cd translokasyonunu etkilemektedir. Bazı araştırmalar  $\text{Cl}^-$  anyonunun ve  $\text{SO}_4^{2-}$  anyonuna göre bitkiler tarafından Cd alımı üzerine daha fazla etki ettiğini ileri sürmektedir. Toprak tuzluluğunun bitkilerde Cd birikimini etkileyen önemli bir faktör olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur (McLaughlin et al., 1998 a, b; Norvell et al., 2000; Özkutlu ve ark., 2007; Özkutlu ve Kara, 2019). ABD'de yapılan çalışmalarda topraklarda tuzluluğun artışıyla (özellikle Cl konsantrasyonunun artışıyla) bitkilerde Cd miktarının arttığı saptanmıştır (Norvell et al., 2000). Smolders and McLaughlin (1996),  $\text{CdCl}_n^{2-n}$  komplekslerinin  $\text{Cd}^{+2}$  ve  $\text{Cl}^-$  anyonlarıyla ilişkili olduğu ve bitkiler tarafından Cd'un oluşan kompleksleri kolayca almaktadır. Sülfat anyonlarının  $\text{Cl}^-$  anyonları kadar kararlı  $\text{CdCl}_n^{2-n}$  kompleksleri oluşturmamaktadır. Bu nedenle,  $\text{SO}_4^{2-}$  ve  $\text{Cl}^-$  bitkilerin Cd alımı üzerinde farklı etkilere sahiptir. Liu et al. (2003), Cd'nin birikiminin etkilerinin bitki organları, türleri ve çeşitler arasında farklı olduğu açıklamıştır. Smolders et al. (1998), toprakda tuzluluğun NaCl olarak artırılmasıyla toprak çözeltisinde çözünür Cd konsantrasyonunun  $65 \text{ nM}$ 'dan  $400 \text{ nM}$ 'a yükseldiğini buna karşın NaCl yerine  $\text{NaNO}_3$  uygulanması durumunda ise toprak çözeltisindeki çözünür Cd miktarında herhangi bir değişikliğin olmadığını belirlemiştir. Smolders and McLaughlin (1996), toprak çözeltisinde  $\text{Cd}^{+2}$  iyonunun  $\text{Cl}^-$  ile  $\text{CdCl}_n^{2-n}$  şeklinde bilinmeyen bir kompleks formu oluşturduğunu ve bu formun bitkilerce alınabildiğini ileri sürmüştür. Günümüzde fosforlu gübrelerin topraklara Cd girişi ve bitkilerde birikmesi üzerine çalışmalar yaygın iken potasyumlu gübrelerin bitkilerin Cd alımı üzerine olan etkilerine

yönelik araştırmalar sınırlıdır. Bu nedenle, farklı ürünlerde K gübrelemesi ile Cd birikimi arasındaki ilişki hakkında çok fazla bilgi olmaması nedeniyle farklı kimyasal gübrelere bitkilerin Cd birikimi üzerine ilişkili olup olmadığı belirsizliğini korumaktadır. Bu araştırmada, Potasyumlu gübrelerin formları ve Cd arasındaki etkileşimleri ortaya çıkarılmıştır. Brokoli (*Brassica oleracea italica*) bitkisinde üç farklı K gübresinin (KCl, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve KNO<sub>3</sub>) Cd alımı üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

### Materyal ve Yöntem

Araştırma, sera koşullarında tesadüf parselleri deneme deseninde yürütülmüştür. Denemede test bitkisi olarak brokoli bitkisi yetiştirilmiştir. Uygulama dozları olarak sırasıyla; potasyumlu gübrelerin KCl, KNO<sub>3</sub> ve K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> formları dört (0, 200, 600 ve 1800 mg kg<sup>-1</sup>) ve (Cd) dozu ve Cd (0.1, 0.5 ve 2.5 mg Cd kg<sup>-1</sup>) dozları altında 4 tekerrürlü olacak şekilde 108 saksıda yürütülmüştür.

### Denemede toprağın analizinde kullanılan yöntemler ve değerleri

Toprak tekstürü (Bouyoucous, 1952) Killi Tım, pH (Jackson, 1959) 8.08, Organik Madde; Walkey-Black yaş yakma metoduyla (Jackson, 1959) %0.7, Kireç (Çağlar, 1949) %14.2, toprak tuzluluğu (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954) 0.22 mmhos/cm, DTPA'da ekstakte edilebilir Zn, Fe, Cu, Mn ve Cd (Lindsay and Norvell, 1978) sırasıyla 0.1, 2.33, 0.44, 2.70 ve 0.005 mg kg<sup>-1</sup>, Toplam Cd (Schlichting and Blume, 1966) 0.27 mg kg<sup>-1</sup>, yarayışlı P konsantrasyonu (Olsen, 1954) 4.13 mg kg<sup>-1</sup>, K konsantrasyonu amonyum asetat (pH: 7.1N) yöntemine göre 244 mg kg<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir.

### Sera denemesinin yürütülmesi

Denemede polietilen 6 numaralı saksılar kullanılmış olup her saksıya 4 mm'lik elekten geçirilmiş 1.65 kg hava kuru toprak konulmuştur. Brokoli fidelerinin saksılara şaşırtılmadan önce temel gübrelemede azot için (CaNO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. 4H<sub>2</sub>O formundan 200 mg kg<sup>-1</sup> N, fosfor için CaHPO<sub>4</sub> formundan 100 mg P kg<sup>-1</sup>, kükürt için CaSO<sub>4</sub> formundan 20 mg kg<sup>-1</sup> S, Fe-EDTA formunda 2.5 mg kg<sup>-1</sup> Fe, çinko için ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O formundan 1 mg kg<sup>-1</sup> Zn uygulanmıştır. Denemede saksıların tamamında N dozları eşit olacak şekilde hesaplanıp uygulanmıştır. Brokoli fideleri saksılara şaşırtılmadan önce potasyumlu gübrelerin üç formu KCl (0, 200, 600 ve 1800 mg kg<sup>-1</sup>), KNO<sub>3</sub> (0, 200, 600 ve 1800 mg kg<sup>-1</sup>) ve K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0, 200, 600 ve 1800 mg kg<sup>-1</sup>) dozlarıyla üç Cd dozu (Cd 0.1=0.1 mg Cd kg<sup>-1</sup>, Cd 0.5= 0.5 mg Cd kg<sup>-1</sup> ve Cd 2.5= 2.5 mg Cd kg<sup>-1</sup>)

3CdSO<sub>4</sub>.8H<sub>2</sub>O formundan uygulanmıştır. Kimyasal gübreler karıştırıldıktan sonra fidelerden 5-6 cm büyüklüğünde homojen olanlardan her saksıya 3 adet dikilmiş ve ardından 4 gün sonra 2 bitki kalacak şekilde seyreltilmiştir. Bitkiler saf suyla günlük olarak tarla kapasitesine yakın bir nem içeriğinde olacak şekilde sulanmıştır. Sera koşullarında 28 gün büyütülüp çiçeklenme öncesinde toprak üstünden 2-3 cm yukarıdan hasat edilmiştir. Hasat edilen bitkiler yeşil aksam kuru madde veriminin belirlenmesi için 70 °C'de 48 saat kurutulmuştur. Kuru madde verimleri (g bitki<sup>-1</sup>) olarak saptanmıştır.

### Bitki analizleri

Kurutulan bitki örnekleri ağırlıkları alındıktan sonra agat taşa sahip değirmende öğütülmüştür. Yeşil aksam örneklerinde 0.25 gram tartılarak 2 ml saf su, 2 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (%30'luk) ve 4 ml HNO<sub>3</sub> (%65'lik) içeren bir karışımı içinde mikro dalga cihazında yakılmıştır (CEM MARS X-PRESS). Yakılan örnekler oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra saf su ile 25 ml'ye tamamlanarak mavi bant filtre kağıdından süzümüştür. Süzüklerde K, P, Mg, Zn, Fe, Cu, Mn ve Cd konsantrasyonları ICP cihazında Inductively Coupled Plasma-Atomik Emission Spectrometry, VARIAN VISTA PRO) cihazında ölçülmüştür. Elde edilen verilerin excell paket programı kullanılarak standart sapmaları belirlenmiştir. Elde edilen veriler dört tekrarlamalı olarak çizelgelerde (ortalama ±standart hata) şeklinde verilmiştir.

### Bulgular ve Tartışma

Potasyumlu gübrelerin farklı formlarının artan (0, 200, 600, 1800 mg kg<sup>-1</sup>) ve artan Cd'un (0.1, 0.5 ve 2.5 mg kg<sup>-1</sup>) dozlarının birlikte uygulanmasıyla brokoli yeşil aksam kuru madde verimlerinde önemli farklılıkların olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 1). Artan Cd dozlarının hepsinde KCl formunun (0, 200, 600, 1800 mg kg<sup>-1</sup>) uygulanmasıyla kuru madde veriminde önemli azalmalar meydana gelmiştir. Örneğin, toprağa 2.5 mg Cd kg<sup>-1</sup> uygulamasında kontrolde kuru madde verimi 3.0 g bitki<sup>-1</sup> iken artan KCl uygulamalarında sırasıyla 3.05, 2.57, 2.13 g bitki<sup>-1</sup> düzeyine gerilediği belirlenmiştir. 0.5 mg Cd kg<sup>-1</sup> uygulamasının kontrolde 3.65 g bitki<sup>-1</sup> kuru madde verimi elde edilmiş iken K'un Cl- formunun artan dozlarda uygulamalarında 3.23, 2.84 ve 2.54 g bitki<sup>-1</sup> olduğu bulunmuştur (çizelge 1). Kuru madde verimlerindeki azalmalar NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> formunda da benzer sonuçlar göstermiş olup ancak, Cl- formuna göre kuru madde verimini azaltmaları daha az olmuştur.

Çizelge 1. Farklı Dozlarda Cd ile kontamine edilmiş toprakta farklı potasyum formlarının artan oranlarda uygulamasının brokoli yeşil aksam kuru madde verimi üzerine etkisi

Uygulamalar, mg kg <sup>-1</sup>		Cd 0.1, mg kg <sup>-1</sup>		Cd 0.5, mg kg <sup>-1</sup>		Cd 2.5, mg kg <sup>-1</sup>	
		Kuru Madde (g bitki <sup>-1</sup> )		Kuru Madde (g bitki <sup>-1</sup> )		Kuru Madde (g bitki <sup>-1</sup> )	
Kontrol	0	3.59 ± 0.30	3.65 ± 0.56	3.00 ± 0.40			
	200	3.32 ± 0.39	3.23 ± 0.15	3.05 ± 0.43			
KCl	600	2.74 ± 0.22	2.84 ± 0.27	2.57 ± 0.25			
	1800	2.18 ± 0.14	2.54 ± 0.53	2.13 ± 0.09			
Kontrol	0	3.59 ± 0.30	3.65 ± 0.56	3.00 ± 0.40			
	200	3.23 ± 0.11	2.61 ± 0.54	3.29 ± 0.60			
KNO <sub>3</sub>	600	3.11 ± 0.14	2.92 ± 0.36	2.54 ± 0.22			
	1800	2.52 ± 0.29	2.47 ± 0.16	2.41 ± 0.17			
Kontrol	0	3.59 ± 0.30	3.65 ± 0.56	3.00 ± 0.40			
	200	3.20 ± 0.30	3.21 ± 0.36	3.07 ± 0.33			
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	600	3.20 ± 0.35	3.26 ± 0.63	2.49 ± 0.30			
	1800	3.11 ± 0.35	3.23 ± 0.57	2.36 ± 0.64			

### Yeşil aksam Cd konsantrasyonu

Potasyumlu gübrelerin Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> formları artan (0, 200, 600 ve 1800 mg kg<sup>-1</sup>) dozlarının Cd'un (0.1, 0.5 ve 2.5 mg Cd kg<sup>-1</sup>) dozlarına uygulanmasıyla brokoli bitkisinin Cd alımlarında önemli farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Toprağın çok düşük bir oranda Cd 0.1 mg Cd kg<sup>-1</sup> kontamine olmuş durumuna potasyumun formlarının Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> anyonlarının uygulanması sonucunda kontrol bitkisinde Cd 1.2 mg kg<sup>-1</sup> iken anyonların artan dozlarında sırasıyla KCl için; 1.4, 1.6, 1.8, KNO<sub>3</sub> için; 1.2, 1.2, 1.3 ve K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> için 1.3, 1.3, 1.2 mg kg<sup>-1</sup> olduğu bulunmuştur (çizelge 2). Toprak çok düşük miktarda Cd ile kontamine olduğunda potasyumun NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> formunun brokoli yeşil aksamında Cd alımında artışa neden olmadığı belirlenmiş ve bu durumun azot (N) birincil ve kükürt (S)'ünde ikincil besin elementleri olmasından ileri geldiği düşünülmektedir. Potasyumun Cl<sup>-</sup> anyonun 1800 mg kg<sup>-1</sup> uygulamasında ise kontrolde Cd alımı 1.2 mg kg<sup>-1</sup> iken %50 oranında Cd alımında artış sağladığı belirlenmiştir. Benzer eğilim toprakta 2.5 mg Cd kg<sup>-1</sup> ile kontamine olması durumunda da potasyumun Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> formları arasında Cl<sup>-</sup> diğerlerine göre daha fazla Cd taşıdığı görülmektedir. Toprak 2.5 mg Cd kg<sup>-1</sup> kirlenmiş durumda kontrolde yeşil aksam Cd alımı 17.6 mg kg<sup>-1</sup> iken 1800 mg KCl kg<sup>-1</sup> uygulanmasında 23.9 mg kg<sup>-1</sup> düzeyinde olduğu ve %35.8 oranında Cd alımında artış olduğu saptanmıştır (çizelge 2). Bitkinin yeşil aksamındaki Cd konsantrasyonunu etkilemede Cl<sup>-</sup> tuzlarının NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> tuzlarına göre daha büyük rol oynadığı

saptanmıştır. Farklı oranlarda Cd ile kontamine edilmiş topraklarda artan dozlarda KCl uygulanmasıyla bitkilerin Cd konsantrasyonunda belirgin artışlar olmuştur.

### Yeşil Aksam Mineral Element Konsantrasyonu

Toprağın Cd'un (0.1, 0.5 ve 2.5 mg kg<sup>-1</sup>) dozlarıyla kontamine edilmesiyle potasyumlu gübrele formlarının artan (0, 200, 600, 1800 mg kg<sup>-1</sup>) dozlarının uygulanmasıyla yeşil aksam K, P ve Mg konsantrasyonlarında değişikliklerin olduğu tespit edilmiştir. Potasyumlu gübrelerin artan dozlarının uygulanmasıyla P ve Mg konsantrasyonlarında önemli değişiklik olmaz iken K konsantrasyonları artmıştır. En yüksek doz olan 2.5 mg Cd kg<sup>-1</sup> ve 1800 mg kg<sup>-1</sup> dozlarının Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> uygulanmasıyla sırasıyla kontrolde %4,16'dan %5,41'e, 4,16'dan 5,17'e, 4,16'dan 5,02'e yükseldiği saptanmıştır (çizelge3).

Toprağın Cd'un (0.1, 0.5 ve 2.5 mg kg<sup>-1</sup>) dozlarıyla kontamine edilmesiyle potasyumlu gübrele formlarının artan (0, 200, 600, 1800 mg kg<sup>-1</sup>) dozlarının uygulanmasıyla yeşil aksam Zn, Fe, Cu ve Mn konsantrasyonlarında değişikliklerin olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlardan görüldüğü gibi yeşil aksam Fe, Cu, Mn konsantrasyonlarında önemli bir değişikliği olmadığı ancak Cd alımının fazla olduğu yerlerde Zn taşınımlarında farklılıkların olduğu görülmüştür (çizelge 4). Bu durum da düşük Cd içeriğine sahip toprakta Zn'nun bitkide Cd alımını engellediği buna karşın yüksek Cd konsantrasyonuna sahip olan toprakta ise arttırmasıyla açıklanabilir.



şansının daha fazla olduğu düşünülmektedir. McLaughlin et al. (1997), patates yumrusundaki Cd konsantrasyonu ile toprak çözeltisi  $Cd^{+2}$  iyonu aktivitesi arasında bir ilişkinin olmadığını buna karşılık toprak çözeltisinin Cl kompleksleri ile yumru Cd konsantrasyonu arasında bir olumlu ilişkinin bulunduğunu ve artan Cl konsantrasyonu ile yumru Cd konsantrasyonunun arttığını belirlemiştir. Smolders et al. (1998), toprakta tuzluluğun NaCl olarak artırılmasıyla toprak çözeltisinde çözünür Cd konsantrasyonunun 65 nM'dan 400 nM'a yükseldiğini buna karşın NaCl yerine  $NaNO_3$  uygulanması durumunda ise toprak çözeltisindeki çözünür Cd miktarında herhangi bir değişikliğin olmadığını belirlemiştir. Birleşik Amerika'da yapılan bir çalışmada, ayçiçeği çekirdeğinde Cd miktarının Cl konsantrasyonunun artışıyla arttığı, buna karşın  $SO_4^{2-}$ 'in Cd konsantrasyonunu etkilemediği bildirilmiştir (Li ve ark., 1994). Zhong-Qiu et al. (2003), yaptığı çalışmada, sera koşullarında toprağa eşit oranda K'un  $NO_3$ ,  $SO_4$  ve  $Cl^-$  tuzlarının uygulamasıyla yazlık buğday yetiştirmiştir. Elde edilen bulgulara göre, buğday bitkisinin yeşil aksamında  $Cl^-$  ve  $SO_4^{2-}$  anyonları Cd alımını arttırmaktadır.

Bu araştırmanın ve literatürde yapılmış araştırmaların sonuçlarından da görüldüğü gibi, farklı oranlarda Cd kirlenmesine maruz kalan topraklarda yetişen bitkilerde Cd'un kolaylıkla akümüle olduğu ve besin zinciri yoluyla Cd'un

insanlara geçtiği bilinmektedir. Bu nedenle, birçok ülke, bitkisel ürünlerde maksimum izin verilebilir Cd limitlerini yasal düzenlemelerle ortaya koymuştur. Dokularında 3 mg  $kg^{-1}$  dan fazla Cd içeren bitkileri düzenli olarak tüketen insanlarda Cd'un toksik etkileri görülmektedir (Alloway, 1995). Bu nedenle, son yıllarda çeşitli bitkilerin Cd biriktirme kapasiteleri belirlenmesi, bünyesinde daha az Cd biriktiren çeşitlerin geliştirmesi ve bitkilerin Cd alımlarını artırıcı/azaltıcı faktörlerin ortaya konulmasına yönelik çalışmalara hız verilmiştir. Beslenmemizde büyük rol oynayan buğday, mısır, çeltik, marul, bezelye, brokoli, pancar, turp ve patates Cd'u kolayca absorbe edebilmektedir. Topraklardaki Cd konsantrasyonu düşük olmasına rağmen, insan beslenmesinde önemli rol oynayan buğday, mısır, çeltik gibi tahıllarda ve sebzelerde yüksek miktarlarda Cd birikebilmektedir. Yumru köke sahip ve yaprağı yenen sebzelerde kadmiyum birikimi diğer bitki türlerine göre daha fazla olmaktadır (Jinadsa et al., 1997). Patates, mısır, fasulye ve bezelyenin çok az miktarda Cd akümüle ettiği buna karşılık salatalık, ıspanak, kereviz, brokoli ve lahananın fazla miktarda Cd'u biriktirebilme özelliğine sahip olduğu açıklanmıştır (Bergman, 1992; Wang et al., 2009; Zhang et al., 2013). Bitkilerin yenilebilir kısımlarına taşınan Cd miktarı türler arasında önemli düzeyde farklılık göstermektedir.

Çizelge 4. Farklı Dozlarda Cd ile kontamine edilmiş topraklarda farklı potasyum formlarının artan oranlarda uygulamasının brokoli yeşil aksam Zn, Fe, Cu ve Mn alım miktarları üzerine etkisi

Uygulamalar, mg $kg^{-1}$		Cd 0.1, mg $kg^{-1}$				Cd 0.5, mg $kg^{-1}$				Cd 2.5, mg $kg^{-1}$				
		Zn	Fe	Cu	Mn	Zn	Fe	Cu	Mn	Zn	Fe	Cu	Mn	
		(mg $kg^{-1}$ )												
Kontrol	0	22	65	5,6	198	23	80	4,8	219	20	49	3,9	201	
	200	23	65	5,4	185	21	64	4,0	187	20	47	3,7	176	
	KCl	600	24	66	5,7	204	22	52	3,6	194	21	50	4,0	182
		1800	26	59	6,0	217	21	44	3,9	199	24	53	4,4	206
KNO3	0	22	65	5,6	198	23	80	4,8	219	20	49	3,9	201	
	200	22	64	5,2	173	20	48	3,9	187	20	57	4,5	196	
	600	24	64	5,5	176	20	51	3,5	176	22	58	4,7	199	
	1800	24	61	5,8	204	21	51	4,1	204	22	52	4,6	196	
K2SO4	0	22	65	5,6	198	23	80	4,8	219	20	49	3,9	201	
	200	23	64	5,3	178	21	52	3,5	185	19	54	4,4	188	
	600	24	84	5,8	206	21	50	3,6	191	20	50	4,1	189	
	1800	25	90	5,7	237	24	52	4,0	209	22	51	4,6	215	

## Sonuç

Farklı potasyum formlarının brokoli yeşil aksamında Cd birikimi üzerine etkilerinde farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Toprakların Cd kirlilik düzeylerine göre K gübrelerinin uygulanması brokoli kuru madde veriminde azaltıcı etkisi saptanmıştır. Kadmiyum kirliliğinin yüksek olduğu topraklarda KCl formunun  $\text{KNO}_3$  ve  $\text{K}_2\text{SO}_4$  formlarına göre, kuru madde verimini %50 oranında azalmasına neden olurken aynı zamanda yeşil aksamda da daha fazla Cd birikmesine neden olmuştur. Bu sonuçlar göstermektedir ki artan KCl dozlarıyla K gübrelemesi sadece topraklardaki Cd fraksiyonlarını değiştirmekle kalmayıp aynı zamanda brokoli yeşil aksamında Cd birikimini de etkilemektedir. Bu nedenle, Cd kontamine olmuş topraklarda brokoli sebzesinde Cd birikimini hafifletmek için  $\text{KNO}_3$  gübresi uygulamak daha akılcı bir yaklaşım olacaktır.

## Kaynaklar

- Alloway, B. J. (1995). Heavy Metals in Soils, Chapman&Hall, London, UK.
- Bergman, W. (ed.). (1992). Nutrient disorders of plant development: Visual and analytical diagnosis. Gustav Fischer, New York.
- Boussen, S., Soubrand, M., Bril, H., Ouerfelli, K., & Abdeljaouad, S. (2013). Transfer of lead, zinc and cadmium from mine tailings to wheat (*Triticum aestivum*) in carbonated Mediterranean (Northern Tunisia) soils. *Geoderma*, 192, 227-236.
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. *Agronomy journal*, 54(5), 464-465.
- Cheng, M., Kopittke, P. M., Wang, A., & Tang, C. (2019). Salinity decreases Cd translocation by altering Cd speciation in the halophytic Cd-accumulator *Carpobrotus rossii*. *Annals of botany*, 123(1), 121-132.
- Çağlar, K., & Bilgisi, T. (1949). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 10.
- Esençayı, M. K., & Korkmaz, K. (2019). Ordu Topraklarının Potasyum Durumu ve Potasyum Fiksasyonunun Belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(4), 878-886.
- Fergusson, J. E. (1990). The heavy elements: chemistry, environmental impact and health effects. *Jack E. Fergusson* (No. 628.53 F4).
- Huang, Q., Yu, Y., Wan, Y., Wang, Q., Luo, Z., Qiao, Y., & Li, H. (2018). Effects of continuous fertilization on bioavailability and fractionation of cadmium in soil and its uptake by rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of environmental management*, 215, 13-21.
- Jackson, M. L. 1959. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Järup, L., Berglund, M., Elinder, C. G., Nordberg, G., & Vanter, M. (1998). Health effects of cadmium exposure—a review of the literature and a risk estimate. *Scandinavian journal of work, environment & health*, 1-51.
- Jinadasa, K. B. P. N., Milham, P. J., Hawkins, C. A., Cornish, P. S., Williams, P. A., Kaldor, C. J., & Conroy, J. P. (1997). Survey of cadmium levels in vegetables and soils of Greater Sydney, Australia. *Journal of Environmental Quality*, 26(4), 924-933.
- Korkmaz, K., Özbay Dede, H. E., Çankaya, S., & Akgün, M. (2015). Relationships between chemical and physical properties of soils and nutrient status of plants on yield of potato. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(11 C), 4108-4113.
- Korkmaz, K., Ertürk, Ö., Ayvaz, M. Ç., Özcan, M. M., Akgün, M., Kirli, 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.
- Kılıç, R., & Korkmaz, K. (2012). Kimyasal gübrelerin tarım topraklarında artık etkileri. *Research Journal of Biology Sciences*, 5(2), 87-90.
- Lindsay, W. L., & Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper 1. *Soil science society of America journal*, 42(3), 421-428.
- Liu, J., Li, K., Xu, J., Liang, J., Lu, X., Yang, J., & Zhu, Q. (2003). Interaction of Cd and five mineral nutrients for uptake and accumulation in different rice cultivars and genotypes. *Field Crops Research*, 83(3), 271-281.
- Liu, Y., Zhuang, P., Li, Z., Zou, B., Wang, G., Li, N., & Qiu, J. (2013). Effects of fertiliser and intercropping on cadmium uptake by maize. *Chemistry and Ecology*, 29(6), 489-500.
- McBride, M. B. (2003). Toxic metals in sewage sludge-amended soils: has promotion of beneficial use discounted the risks?. *Advances in environmental research*, 8(1), 5-19.
- McLaughlin, M. J., Andrew, S. J., Smart, M. K., & Smolders, E. (1998a). Effects of sulfate on cadmium uptake by Swiss chard: I. Effects of complexation and calcium competition in nutrient solutions. *Plant and Soil*, 202(2), 211-216.

- McLaughlin, M. J., Andrew, S. J., Smart, M. K., Smolders, E., 1998a. Cadmium uptake by swiss chard: I. Effects on complexation and calcium competition in nutrient solutions. *Plant and Soil*, 202: 211-216.
- McLaughlin, M. J., Andrew, S. J., Smart, M. K., & Smolders, E. (1998b). Effects of sulfate on cadmium uptake by Swiss chard: I. Effects of complexation and calcium competition in nutrient solutions. *Plant and Soil*, 202(2), 211-216.
- McLaughlin, M. J., Tiller, K. G., & Smart, M. K. (1997). Speciation of cadmium in soil solutions of saline/sodic soils and relationship with cadmium concentrations in potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). *Soil Research*, 35(1), 183-198.
- Nie, J., Liu, Y., Zeng, G., Zheng, B., Tan, X., Liu, H., ... & Liu, W. (2016). Cadmium accumulation and tolerance of *Macleaya cordata*: a newly potential plant for sustainable phytoremediation in Cd-contaminated soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(10), 10189-10199.
- Norvell, W. A., Wu, J., Hopkins, D. G., & 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(6), 2162-2168.
- Olsen, S. R. (1954). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate* (No. 939). US Department of Agriculture.
- Özkutlu, F., Öztürk, L., Erdem, H., McLaughlin, M., & Cakmak, I. (2007). Leaf-applied sodium chloride promotes cadmium accumulation in durum wheat grain. *Plant and soil*, 290(1-2), 323-331.
- Özkutlu, 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.
- Özkutlu, F. & Kara, Ş. M. (2019). Cd concentration of durum wheat grain as influenced by soil salinity. *Akademik Ziraat Dergisi*, 8 (1): 97-100.
- Salardini, A. A., Sparrow, L. A., & Holloway, R. J. (1993). Effects of potassium and zinc fertilizers, gypsum and leaching on cadmium in the seed of poppies (*Papaver somniferum* L.). In *Plant Nutrition—from Genetic Engineering to Field Practice* (pp. 795-798). Springer, Dordrecht.
- Schlichting, E., & Blume, H. P. (1966). *Bodenkundliches Praktikum*: Verlag Paul Parey.
- Smolders, E. M. J. G., Lambregts, R. M., McLaughlin, M. J., & Tiller, 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.
- Wang, J., Yuan, J., Yang, Z., Huang, B., Zhou, Y., Xin, J., ... & Yu, H. (2009). Variation in cadmium accumulation among 30 cultivars and cadmium subcellular distribution in 2 selected cultivars of water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk.). *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(19), 8942-8949.
- Wu, J., Geilfus, C. M., Pitann, B., & Mühling, K. H. (2016). Silicon-enhanced oxalate exudation contributes to alleviation of cadmium toxicity in wheat. *Environmental and Experimental Botany*, 131, 10-18.
- Zarcinas, B. A., & Nable, R. O. (1992). *Boron and other impurities in South Australian fertilizers and soil amendments*. Adelaide, SA, CSIRO Division of Soils.
- Zhang, K., Yuan, J., Kong, W., & Yang, Z. (2013). Genotype variations in cadmium and lead accumulations of leafy lettuce (*Lactuca sativa* L.) and screening for pollution-safe cultivars for food safety. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 15(6), 1245-1255.
- Zhao, Z. Q., Zhu, Y. G., Li, H. Y., Smith, S. E., & Smith, F. A. (2004). Effects of forms and rates of potassium fertilizers on cadmium uptake by two cultivars of spring wheat (*Triticum aestivum*, L.). *Environment international*, 29(7), 973-978.