

Kadmiyum (Cd) ve NaCl Uygulamalarının Brokolide (*Brassica oleracea var. italica*) Kuru Madde Miktarı ve Besin Elementi İçeriğine Etkisi

Faruk ÖZKUTLU^{1*}

¹Ordu Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü

*Sorumlu Yazar: farukozkutlu@hotmail.com

Geliş Tarihi: 31.03.2020, Düzeltme Geliş Tarihi: 04.01.2021, Kabul Tarihi: 10.01.2021

Öz

Gelişmekte olan ülkelerde, daha ekonomik olması nedeniyle gelişmiş ülkelere göre sebze tüketimi hızla artmaktadır. Sebzelerde kadmiyum (Cd) birikimi, küresel olarak insan sağlığını tehdit eden önemli bir çevresel konudur. Sebzelerin Cd stresine tepkisini anlamak ve yönetim stratejilerini uygulamak, sebzelerin Cd alımını azaltmaya yardımcı olabilir. Bitkilerin Cd alımını etkileyen faktörler arasında tuzluluk yer almaktadır. Tuzluluk, dünyadaki en büyük abiyotik streslerden biridir. Tuzlu toprakta Cd bulunması sorunu daha da kötüleştirir. Bu amaçla yürütülen çalışmada brokoli bitkisine 3 farklı Cd dozu (0.1, 0.5 ve 2.5 mg Cd kg⁻¹) ve 4 farklı tuz dozu (0, 200, 600, ve 1800 mg NaCl kg⁻¹) uygulanmıştır. Denemede bitkinin yeşil aksam kuru madde verimi ve yeşil aksam Cd alımları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Cd 0.1 mg kg⁻¹ olduğu dozda kuru madde verimi tuz uygulamasının kontrolünde 3.59 g bitki⁻¹ iken artan tuz uygulamalarına bağlı olarak sırasıyla 3.43, 2.83 ve 2.36 g bitki⁻¹ olarak azaldığı belirlenmiştir. Tuzsuz ve Cd 2.5 uygulamasında kuru madde verimi 3.0 g bitki⁻¹ iken tuzun en yüksek dozunda yaklaşık 2 kat azalarak 1.64 g bitki⁻¹ düzeyine gerilemiştir. Düşük miktarda Cd ile kontamine olmuş toprak tuzluluk ile bir arada olduğunda Cd alımının arttırdığı saptanmıştır. Bitkilerin yeşil aksamındaki K konsantrasyonları bütün tuz uygulamaları altında azalma eğilimi gösterirken, 2.5 mg Cd kg⁻¹ ve 1800 mg NaCl kg⁻¹ uygulamasında K konsantrasyonu 4.19'dan 3.06'a mg kg⁻¹ düzeyine düştüğü belirlenmiştir. Sonuçta, tuzlu topraklarda brokolide Cd alımının yüksek miktarda birikebileceği ortaya konulmuş olup brokolide daha az Cd biriktiren çeşitlerin belirlenmesine ihtiyaç olduğu saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Brokoli, tuz, kadmiyum, kuru madde

The Effect of Cadmium (Cd) and NaCl Applications on Dry Matter and Nutrient Element Content of Broccoli (*Brassica oleracea var. italica*)

Abstract

Vegetable consumption, as it is more economic, has rapidly increased in developing countries as compared to the developed countries. Cadmium (Cd) accumulation in vegetables is an important environmental problem globally threatening human health. Understanding the response of vegetables to Cd stress and applying management strategies may be helpful to decrease Cd uptake of vegetables. Among the factors, affecting Cd uptake of plants is salinity. Salinity is one of the biggest abiotic stresses in the world. Cadmium occurrence in saline soils makes the problem even worse. In this study, for this reason, three Cd (0.1, 0.5 and 2.5 mg Cd kg⁻¹) and four salt (0, 200, 600 and 1800 mg NaCl kg⁻¹) doses were applied to broccoli plant. Dry matter yield and Cd uptake of green parts were investigated in the study. According to the obtained results, in the dose of 0.1 mg Cd kg⁻¹, dry matter yield in the salt-control plants was 3.59 g plant⁻¹ whereas it decreased as 3.43, 2.83 and 2.36 g plant⁻¹ depending on increasing salt applications. In unsalted and 2.5 mg Cd kg⁻¹ application, dry matter yield was 3.0 g plant⁻¹ while it reached to as 1.64 g plant⁻¹ by increasing almost two-folds with the highest salt dose. It was determined that Cd uptake was increased when the soil contaminated with a low amount of Cd was together with salinity. Although K concentrations in green plant parts tended to decrease in all salt applications, it decreased from 4.19 to 3.06 mg kg⁻¹ in the treatment of 2.5 mg Cd kg⁻¹ and 1800 mg NaCl kg⁻¹. In conclusion, it was found that Cd uptake in broccoli might be high in salty soils and thus there was a need for determining broccoli varieties accumulating lower amount of Cd.

Key words: Broccoli, salinity, cadmium, dry matter

Giriş

Tarımsal üretim yapılan topraklarda oldukça düşük miktarlarda olsa da kadmiyum (Cd) bulunmaktadır. Topraklardaki Cd içeriği doğal koşullarda oldukça düşük miktarda olduğu halde çeşitli kaynaklardan toprağa Cd girişi olabilmektedir. Topraklara Cd girişinde özellikle antropojenik kaynaklardan atmosfer yoluyla, tarım arazilerine kanalizasyon çamurunun uygulanması yoluyla ve fosforlu gübreleme yoluyla olmaktadır (Mataka ve ark., 2006; Kılıç ve Korkmaz 2012). Kadmiyum düşük konsantrasyona sahip topraklarda bile bitkiler tarafından kolaylıkla alınabilmekte ve bitki dokularında birikebilmektedir. Kadmiyum sadece bitki büyümesini ve gelişmesini engellemekle kalmayıp aynı zamanda çevre ve insan sağlığı için de büyük bir tehdit oluşturmaktadır (Ozkutlu ve ark., 2009; Rizwan ve ark., 2012; Rehman ve ark., 2017; Korkmaz ve ark., 2017; Korkmaz ve ark., 2018). Dokularında 3 mg kg⁻¹'den fazla Cd içeren bitkileri düzenli olarak tüketen insanlarda Cd'nin toksik etkileri görülmektedir (Alloway, 1995). Bitkilerde Cd yüksek miktarda birikebilmekte bunun sonucunda da büyüme azaltmakta veya durdurmaktadır. (Qureshi ve ark., 2010). Bitkilerde Cd birikimini etkileyen birçok faktör olmasına rağmen bunlar arasında en önemlisinin 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 kaybı kayıplarına maruz kaldıkları bilinmektedir (Uyanık ve ark., 2014; Ekbic ve ark., 2017). Tuzluluk dünyada arid ve semi-arid bölgelerde sulanan alanların %20'sinde tuzluluk önemli bir sorun olmakta ve giderek de yaygınlaşmaktadır (Sairam ve Tyagi, 2004). Tuzlu topraklarda yetişen bitkiler önemli bir strese maruz kalırken bu tür alanlara ağır metal özellikle Cd stresi eklenince bitkilerdeki bozulma daha da şiddetlenmektedir (Shafi ve ark., 2010). Tuzlu topraklarda Cd bulunması bitki büyümesi için sorunun daha da kötüleştiğini göstermektedir. Tek başına Cd güçlü biyolojik birikme kapasitesi nedeniyle bitkiler tarafından kolayca emilip birikmektedir (Hadi ve ark., 2014). Bu özelliğinden dolayı birçok araştırma sonucunda Cd'un bitki büyümesi ve biyokütle üzerindeki azaltıcı etkisinin olduğu bildirilmiştir (Abu-Muriefah, 2008; Zheng ve ark., 2010). Kadmiyum stresine ilaveten NaCl tuzunun toprakta yüksek miktarda kombine olarak bulunduğu yüksek plazma membran geçirgenliğine neden olduğu böylece bitkilerde Cd'un kolayca birikebildiği açıklanmıştır (Muhling ve Lauchli, 2003). Bu tür sorunlu alanlarda yetişen (özellikle yaprakları yenen) sebzelerde Cd'un yüksek

oranlarda biriktiğini açıklanmıştır (Mcbride, M.B, 2003). Beslenmemizde büyük rol oynayan patates, mısır, fasulye ve bezelyenin çok az miktarda Cd akümüle ettiği buna karşılık salatalık, ıspanak, kereviz, lahana ve brokolinin fazla miktarda Cd'u biriktirebilme özelliğine sahip olduğu açıklanmıştır (Bergman, 1992; Jinadsa ve ark., 1997; Alexander ve ark., 2006). Sebzelerde Cd biriktirme yönünden sırasıyla brokoli, ıspanak, fesleğen olduğu bildirilmiştir (Bakhshayesh, E.B., 2014). Bitkilerin yenilebilir kısımlarına taşınan Cd miktarı türler arasında önemli düzeyde farklılık göstermektedir (Alexander ve ark., 2006). Sebzeler günlük yaşamımızda vazgeçilmez bir besin kaynağıdır. Günümüzde sebzelerin beslenmemizdeki payı gün geçtikçe de artmaktadır. İnsanların sebzeyle olan ihtiyaçları karşılama sağlıklı ürünlerin yetiştirilmesi gerekmektedir. Ancak, Cd sebzelerde kolayca birikebilmekte ve sebzelerin görünümünde herhangi bir zararlanmaya neden olmadığı bilinmektedir. Bu nedenle çeşitli gıda kaynaklarında yüksek miktarda Cd biriktirebilen gıdalarla insan vücuduna Cd girişi olmakta ve bunun sonucunda akciğer, karaciğer, böbrek rahatsızlığı gibi çok ciddi sağlık sorunlarına yol açtığı bilinmektedir. Yaprakları yenilen sebzeleri diğer sebzelerden daha fazla ağır metal biriktirme yeteneklerine sahip olduğu ve insan vücudundaki Cd'un yaklaşık %70'inin sebzelerden geçtiği açıklanmıştır (Fan ve ark., 2017; Ji ve ark., 2018). Besin zinciri vasıtasıyla insanlara Cd girişi olması nedeniyle birçok ülke yenilebilir bitkilerde maksimum izin verilebilir Cd sınırı belirlemiştir. Genel olarak sebzeler için Cd'un kabul edilebilir sınır değeri 100 µg kg⁻¹ olarak açıklamıştır (Fao, 2014; Who, 2014). İnsanlarda Cd'nin neden olduğu sağlık riskini azaltmak için düşük Cd birikimi olan sebze çeşitlerinin elde edilmesinin veya sebzelerde Cd seviyelerini düşürmek için teknik yöntemler geliştirmenin önemi vurgulanmaktadır (Wei ve ark., 2017; Avila ve ark., 2017; Tang ve ark., 2018). Tuzlu koşulların ve ağır metal birikimlerinin topraktan ıslah çalışmalarının pahalı olması nedeniyle son yıllarda daha düşük maliyete sahip olan bitki ıslahı çalışmalarına özel önem verildiği ifade edilmektedir (Ali ve ark., 2013; Mahar ve ark., 2016). Kurak ve yarı kurak bölgelerde, yüksek tuzluluk seviyeleri başka bir kritik çevresel stres olan genellikle Cd kontaminasyonuna eşlik eder ve iyileştirme sürecini daha da zorlaştırmaktadır (Lutts ve Lefevre, 2015; Cheng ve ark., 2018).

Bu çalışmada, kadmiyum ve NaCl uygulamalarının brokolinin (*Brassica oleracea var. italica*) kuru madde verimi ile Cd ve bazı besin elementleri alımı üzerine olan etkileri araştırılmıştır.

Materyal ve Metot

Araştırma, Sabancı Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Serasında kontrollü şartlar altında yürütülmüştür. Araştırma, 48 adet saksıda yetiştirilen brokoli bitkilerine 3 Cd (0.1, 0.5 ve 2.5 mg kg⁻¹) ve 4 NaCl (0, 200, 600 ve 1800 mg kg⁻¹) doz uygulamalarının etkisini belirlemek amacıyla tesadüf parselleri faktöriyel deneme desenine göre 4 tekerrürlü olacak şekilde dizayn edilmiştir. Denemede kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları ve deneme toprağının analizinde kullanılan yöntemler Çizelge 1’de verilmiştir. Bitki yetiştirilecek her bir saksıya 1.65 kg kuru toprak konulmuştur. Brokoli fidelerinin saksılara şaşırtılmadan önce temel gübrelemede azot için (CaNO₃)₂. 4H₂O formundan 200 mg kg⁻¹ N, fosfor için KH₂PO₄ formundan 100 mg kg⁻¹ P ve 125 mg kg⁻¹ K, kükürt için CaSO₄ formundan 20 mg kg⁻¹ S, çinko için ZnSO₄.7H₂O formundan 1 mg kg⁻¹ Zn uygulanmıştır. Brokoli fideleri dikimden önce toplam kadmiyum (Cd) içeriği 0.27 mg kg⁻¹ ve toplam tuz içeriği 0.22 mmhos/cm olan toprağa, üç Cd dozu (Cd 0.1=0.1 mg Cd kg⁻¹, Cd 0.5= 0.5 mg Cd kg⁻¹ ve Cd 2.5= 2.5 mg Cd kg⁻¹) 3CdSO₄.8H₂O formundan ve NaCl 200, NaCl 600 ve NaCl 1800 mg kg⁻¹ olarak hesaplanıp uygulanmıştır. 5-6 cm

büyükliğindeki brokoli fideleri her saksıya 3 adet olacak şekilde dikilmiştir. Dikimden 5 gün sonra her saksıda 2 bitki kalacak şekilde seyreltilmiştir. Bitkiler saf suyla günlük olarak tarla kapasitesine yakın bir nem içeriğinde tutulacak şekilde sulanmıştır. Bitkiler 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 kurutulmuş ve kuru madde verimi (g bitki⁻¹) olarak belirlenmiştir. Kurutulan bitki örnekleri ağırlıkları alındıktan sonra agat değirmende öğütülmüştür. Yeşil aksam örneklerinde 0.25 gram tartılarak 2 ml saf su, 2 ml H₂O₂ (%30’luk) ve 4 ml HNO₃ (%65’lik) içeren bir karışımı içinde mikro dalgada yakılmıştır (CEM MARS 6). Yakılan örnekler oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra saf su ile 25 ml’ye tamamlanarak mavi bant filtre kağıdı ile süzülmuş ve Cd konsantrasyonları Inductively Coupled Plasma-Atomik Emission Spectrometry (ICP-OES; Varian Vista-pro) cihazında ölçülmüştür. Elde edilen verilerde, excell paket programı kullanılarak standart sapmaları belirlenmiştir. Elde edilen veriler dört tekrarlamalı olarak çizelgelere ortalama ± standart hata şeklinde gösterilmiştir.

Çizelge 1. Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellikler	Düzyey	Metodlar
pH	8.08	Jackson, 1959
EC, (mmhos/cm)	0.22	U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954
Kireç, %	14.2	Çağlar, 1949
O.M. %	0.7	Jackson, 1959
Kum, %	8.6	Bouyoucous, 1952
Silt, %	30.8	Bouyoucous, 1952
Kil, %	60.6	Bouyoucous, 1952
Tekstür sınıfı	killi (C)	Bouyoucous, 1952
P, mg kg ⁻¹	4.8	Watanabe ve Olsen, 1965
K, mg kg ⁻¹	144	Pratt 1965
Toplam Zn (mg kg ⁻¹)	51	Schlichting ve Blume, 1966
Toplam Cd (mg kg ⁻¹)	0.27	Schlichting ve Blume, 1966
DTPA-Zn (mg kg ⁻¹)	0.1	Lindsay ve Norvell, 1978
DTPA-Cd (mg kg ⁻¹)	0.005	Lindsay ve Norvell, 1978
DTPA-Cu (mg kg ⁻¹)	0.44	Lindsay ve Norvell, 1978
DTPA-Mn (mg kg ⁻¹)	2.70	Lindsay ve Norvell, 1978

Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada brokoli bitkisinin, sera koşullarında saksı denemesinde tuz ve Cd stresinin kombine olduğu durumda bitkinin Cd alımı üzerine

etkisi test edilmiştir. Brokoli fideleri saksılara dikimden önce saksılara artan tuz konsantrasyonuna (0, 200, 600 ve 1800 mg kg⁻¹ NaCl) ve artan Cd (0.1, 0.5 ve 2.5 mg kg⁻¹) dozlarına

maruz bırakılarak tuzun Cd alımı üzerine etkisi belirlenmiştir.

Yeşil aksam kuru madde verimi

Farklı Cd ve tuz uygulamaları altında brokoli bitkisinin yeşil aksam kuru madde verimi önemli düzeyde etkilendiği tespit edilmiştir. Hiç tuz verilmeyen (kontrol) ve Cd 0.1 mg kg⁻¹ uygulamasında 3.59 g bitki⁻¹ iken 200 mg NaCl kg⁻¹ ve Cd 0.1 kombine uygulamasında ise 3.43 g bitki⁻¹ kuru madde verimine sahip olduğu saptanmıştır (Çizelge 2). Artan tuz dozlarında kuru madde veriminde çarpıcı bir şekilde düşüş olmuştur. Örneğin tuzun 1800 mg NaCl kg⁻¹ ve Cd 0.1'in birlikte uygulanmasıyla kontrolde 3.59 g bitki⁻¹ den 2.36 g bitki⁻¹ e düşmüş olup %34 oranında kuru madde veriminde düşüş olmuştur. Tuz stresi hem ozmotik hem de iyonik strese neden olduğu için büyümede azalmaya neden olmaktadır (Sirguey, 2013). Birçok araştırmada NaCl tuzunun fazla olduğu topraklarda bitki büyümesinin ve mahsul veriminin olumsuz etkilendiği bildirilmiştir (Wang ve ark., 2004; Pandolfi

ve ark., 2012; Ekbiç ve ark., 2017). Bitkilerde tuzluluk iyon (Na⁺ ve Cl⁻) toksisitesine, ozmotik ve oksidatif stresin artması sonucunda beslenme dengesizliğine neden olmaktadır. Bunun sonucunda da, metabolik süreçlerde değişiklik olması, hücre ve kloroplast membranların düzensizliği ve bozulmasıyla biomas veriminde azalmaların olduğu açıklanmıştır (Zhu, 2003). Tuzun kontrol dozu ve Cd 0.5 dozlarının birlikte uygulamasında yeşil aksam kuru madde verimi 3.65 g bitki⁻¹ iken en yüksek doz 1800 mg NaCl kg⁻¹ uygulamasıyla yeşil aksam kuru madde verimi 2.29 g bitki⁻¹ e düşerek %40 oranında azalmanın olduğu saptanmıştır. Tuzsuz (kontrol) 2.5 mg Cd kg⁻¹ uygulamasında yeşil aksam kuru madde verimi 3.0 g bitki⁻¹ elde edilmiş iken artan tuz (200, 600 ve 1800 mg NaCl kg⁻¹) uygulamalarına bağlı olarak kuru madde veriminde sırasıyla 2.94, 2.44 ve 1.64 g bitki⁻¹ olarak azalmalar oluşturduğu tespit edilmiştir. Tuzun 1800 mg NaCl kg⁻¹ uygulamasında yeşil aksam kuru madde verimi yaklaşık olarak 2 kat düşüş oluşturduğu belirlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Artan dozlarda Cd ve NaCl uygulamalarının brokoli bitkisinin yeşil aksam kuru madde verimi üzerine etkisi

Uygulamalar, mg kg ⁻¹	0.1 mg Cd kg ⁻¹	0.5 mg Cd kg ⁻¹	2.5 mg Cd kg ⁻¹
	Kuru Madde	Kuru Madde	Kuru Madde
	g bitki ⁻¹	g bitki ⁻¹	g bitki ⁻¹
NaCl	3.59 ± 0.30	3.65 ± 0.56	3.00 ± 0.40
0	3.43 ± 0.40	3.03 ± 0.23	2.94 ± 0.60
200	2.83 ± 0.40	2.65 ± 0.54	2.44 ± 0.39
600	2.36 ± 0.10	2.29 ± 0.47	1.64 ± 0.17
1800			

Yeşil aksam Cd konsantrasyonları

Bu araştırmada, hiç tuz verilmeyen artan Cd (0.1, 0.5 ve 2.5 mg Cd kg⁻¹) dozları altında yeşil aksam Cd konsantrasyonları sırasıyla 1.2, 4.0 ve 16.8 mg kg⁻¹ olduğu saptanmıştır (Çizelge 3). Kadmiyum (Cd) güçlü biyolojik birikme kapasitesi nedeniyle topraktan bitkiler tarafından kolayca alınmakta ve birikebilmektedir (Hadı ve ark., 2014). Kadmiyum topraklarda çok düşük konsantrasyonda olsa bile bitkilere çok kolay taşınabilmektedir. Özellikle yapraklı sebzelerin yumruları yenen sebzelere göre topraktan daha fazla Cd kaldırdığı ileri sürülmektedir (Smolders ve Mertens, 2013). Toprakta aşırı miktarda Cd bulunması durumunda bitkilerde mineral beslenmenin bozulmasıyla (Gharaibeh ve ark., 2015; Mombo ve ark., 2016) bitkilerde büyümenin azalması ve karbonhidrat metabolizmasının (Moya ve ark., 1993) bozulması sonucu birçok toksik semptomlara neden olmakta ve bunun sonucunda da biyokütle üretiminde azalma olmaktadır (Kumar ve ark., 2016). Biyokütlenin Cd toksisitesi ile azaltılması, klorofil sentezinin (Padmaja ve ark., 1990) ve

fotosentezin (Baszynski ve ark., 1986) inhibisyonunun doğrudan sonucu olabilir. Kadmiyum (Cd) stresi bitkilerde hücre yapılara zarar verirken, bitkilerin yenilebilir kısımlarında Cd birikimiyle de gıda kalitesinin düşmesine neden olmaktadır (Shafi ve ark., 2011).

Artan tuz uygulamasının 0, 200, 600 ve 1800 mg NaCl kg⁻¹ ve Cd'un 0.1 mg Cd kg⁻¹ dozunun birlikte uygulandığında yeşil aksam Cd konsantrasyonu kontrolde 1.2 mg kg⁻¹ iken tuzun en yüksek olduğu 1800 mg NaCl kg⁻¹ doz uygulamasında 1.6'a yükseldiği ve %33.3 oranında artış sağladığı belirlenmiştir. Tuzsuz (kontrol) ve Cd'un 2.5 mg Cd kg⁻¹ uygulamasında yeşil aksam Cd konsantrasyonu 16.8 mg kg⁻¹ iken tuzun en yüksek 1800 mg NaCl kg⁻¹ doz uygulamasında yeşil aksam Cd konsantrasyonunu yaklaşık 2 kat artırarak 28.7 mg kg⁻¹ a yükselmiştir (Çizelge 3). Topraktaki tuzluluğun (özellikle klorürün) bitkilerde Cd birikimini etkileyen en önemli faktör olduğu ve Cl⁻ ile yaptığı kompleksler sonucunda Cd'un katyon değiştirici yüzeylere tutunması azalmakta ve böylece bitkilerce alınma şansının daha fazla olmasını sağlamaktadır.

Bu durum, tuzlu koşullarda daha fazla Cd taşınmasını açıklar niteliktedir. Smykalova 2003, besin çözeltisi ortamına Cd'un (0.005 ve 0.01 mM) dozlarını ve 100 mM NaCl uygulayarak arpa yeşil aksamında Cd konsantrasyonunu belirlemiştir. Bu araştırmada tuzsuz ortamda her iki Cd uygulamasında Cd'un çoğunlukla köklerde biriktiği ancak Cd ve NaCl stresi altında yetişen bitkilerde ortama verilen Cd'un yarısının köklerde biriktiği ve diğer yarısının yeşil aksam taşındığı bulunmuştur.

Kombine olarak NaCl ve Cd stresinin olduğu koşullarda bitkilerde daha yüksek plazma membran geçirgenliğine neden olduğu bunun sonucunda bitkilerin oksijen radikallerinin ve H₂O₂ üretimini arttırdığı açıklanmıştır (Mühling ve Lauchli 2003). Bitkilerin tuzlu koşullara ilave olarak Cd stresine birlikte maruz kaldıklarında bitkideki bozunumların daha da şiddetlendiği belirtilmiştir (Shafi ve ark., 2010).

Sonuçlarda, tuzun (NaCl) bitki dokularına Cd taşınmasını arttırdığı belirlenmiştir. Bitkilerde yüksek miktarda Cd birikimi iki mekanizma ile ilişkili olabilir. Bu görüşlerden ilkinde; katyonik bileşen tarafından topraktaki sorpsiyon bölgelerinden metallerin yer değiştirmesi ve ikinci görüş olarak da klorür (Cl⁻) anyonuyla kararlı metal komplekslerinin oluşturulması ve oluşan komplekslerin bitkiler tarafından kolayca alınması şeklinde açıklanmaktadır (Schmidt, 2003; Ghallab ve Usman, 2007). Bununla birlikte kurak ve yarı kurak bölgelerde, yüksek tuzluluk seviyelerine ilaveten çevresel streslerden Cd kontaminasyonu eklenince bitkilerde büyümenin ve gelişmenin çok karmaşık bir süreç aldığı açıklanmıştır (Lutts ve Lefevre, 2015; Cheng ve ark., 2018).

Çizelge 3. Artan dozlarda Cd ve NaCl uygulamalarının brokoli bitkisinin yeşil aksam Cd konsantrasyonu üzerine etkisi.

Uygulamalar, mg kg ⁻¹		0.1 mg Cd kg ⁻¹	0.5 mg Cd kg ⁻¹	2.5 mg Cd kg ⁻¹
		Cd kons. (mg kg ⁻¹)	Cd kons. (mg kg ⁻¹)	Cd kons. (mg kg ⁻¹)
NaCl	0	1.2 ± 0.1	4.0 ± 0.3	16.8 ± 1.1
	200	1.3 ± 0.0	4.6 ± 0.9	17.7 ± 0.7
	600	1.6 ± 0.2	5.1 ± 0.6	21.8 ± 0.9
	1800	1.6 ± 0.0	6.7 ± 0.9	28.7 ± 2.0

Yeşil aksamın potasyum (K), fosfor (P) ve magnezyum (Mg) konsantrasyonu

Artan tuz ve Cd uygulamaları altında yetiştirilen brokoli bitkisinin yeşil aksam K, P ve Mg konsantrasyonlarında farklılıkların olduğu belirlenmiştir (çizelge 4). Yeşil aksam P ve Mg konsantrasyonlarında önemli bir değişim gözlenmez iken artan tuz ve Cd'a bağlı olarak özellikle K konsantrasyonunda azalma olduğu saptanmıştır. Hiç tuz verilmeyen kontrol bitkisinde Cd 2.5 dozunda yeşil aksam K konsantrasyonu %4.16 iken

tuzun 1800 mg kg⁻¹ ve Cd'un 2.5 mg kg⁻¹ uygulamasında %3.06'a düştüğü tespit edilmiştir.

Birçok araştırmada, tuzluluğun besin maddelerini alımını ve taşınımını bozarak bitki büyümesini azalttığı gösterilmiştir (Essa, 2002; Smýkalova ve Zamecnikova, 2003; Fernández-García ve ark., 2004). Hem tuz hem de Cd stresi dokularda K⁺ ve Ca²⁺ gibi iyonların taşınımı azaltmasına karşın Na⁺ iyonun daha fazla taşınarak bitkinin mineral besin elementleri kapsamında dengesizlik oluşturmasıyla (Wei ve ark., 2003).

Çizelge 4. Artan dozlarda Cd ve NaCl uygulamalarının brokoli bitkisinin yeşil aksam K, P ve Mg konsantrasyonları üzerine etkisi.

Uygulamalar, mg kg ⁻¹		0.1 mg Cd kg ⁻¹			0.5 mg Cd kg ⁻¹			2.5 mg Cd kg ⁻¹		
		K	P	Mg	K	P	Mg	K	P	Mg
		(%)			(%)			(%)		
NaCl	0	3.79	0.45	0.56	4.03	0.50	0.67	4.16	0.46	0.53
	200	4.27	0.53	0.69	4.06	0.49	0.49	4.09	0.49	0.50
	600	3.97	0.57	0.64	3.64	0.46	0.43	4.01	0.52	0.49
	1800	3.68	0.55	0.60	3.67	0.51	0.46	3.06	0.56	0.47

Sonuç ve Öneriler

Tarım topraklarında Cd çok düşük konsantrasyonlarda olsa bile özellikle sebzelere çok kolay bir şekilde taşınabilmektedir. Kadmiyumun besin zinciri yoluyla insanlara taşınabilme

özellikinde olduğu ve bünyede belli bir miktardan sonra birçok rahatsızlıklara neden olduğu bilinmektedir. Bu nedenle Cd'un bitkiler tarafından absorbe edilmesi ve taşınmasını artıran/azaltan faktörlerin bilinmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Kadmiyumun bu özelliğinden dolayıdır ki araştırmaların çoğunluğu bitkisel gıdalarda Cd birikimi üzerine yoğunlaşmıştır. Yapılan bu araştırmada; Cd ve NaCl tuzunun birlikte uygulanmasıyla veya bu iki stres faktörünün var olduğu alanlarda NaCl tuzunun ve Cl⁻ anyonunun toprakta Cd ile bilinmeyen bir kompleks oluşturarak bitkilerin daha fazla Cd'ü almasını sağladığı belirlenmiştir. Bu araştırmanın sonuçlarına göre yapılacak öneri olarak; kurak ve yarı kurak bölgelerde tuzluluğun yüksek olduğu alanlarda Cd kirlenmesinin boyutu analizlerle belirlenmelidir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2004) ve FAO (2004) sebzeler için belirlemiş olduğu 0.1 mg kg⁻¹ sınır değerler dikkate alınarak birçok bitkide Cd konsantrasyonu belirlenmeli ve söz konusu sınır değerlerle kıyaslanmalıdır. Ayrıca, tuzlu alanlarda brokoli çeşitleri arasında Cd'a dayanıklı çeşitlerin belirlenmesine yönelik araştırmalara da hız verilmelidir.

Kaynaklar

- Abu-Muriefah, S.S. 2008. Growth parameters and elemental status of cucumber (*Cucumis sativus*) seedlings in response to cadmium accumulation. *International Journal of Agriculture and Biology*, 10:261–266.
- Alexander, P.D., Alloway, B.J. ve Dourado, A.M. 2006. Genotypic variations in the accumulation of Cd, Cu, Pb and Zn exhibited by six commonly grown vegetables. *Environ. Pollut*, 144:736–745.
- Ali, H., Khan, E. ve Sajad, M.A., 2013. Phytoremediation of heavy metals – concepts and applications. *Chemosphere*, 91:869–881.
- Alloway, B. J. Heavy metals in soils, Chapman&Hall, London, UK, 1995.
- Avila, P.F., Ferreira, D.S.E. ve Candeias, C., 2017. Health risk assessment through consumption of vegetables rich in heavy metals: the case study of the surrounding villages from Panasqueira mine, Central Portugal. *Environ. Geochem. Hlth*, 39:565–589.
- Bakhshayesh, E.B., Delkash, M., ve Scholz, M. 2014. Response of vegetables to cadmium-enriched soil. *Water*, 6(5):1246-1256.
- Baszynski, T. 1986. Interference of Cd²⁺ in functioning of the photosynthetic apparatus of higher plants. *Acta Soc. Bot. Pol*, 55:291- 304
- Bergman, W., 1992. Nutritional Disorders of Plants- Development, Visual and Analytical Diagnosis. Fischer Verlag. Jena.
- Bouyoucos, G. J. 1952. Hydrometer method improved for making particle size at analysis of soil. *Argon. J*, 54(5):464-465.
- Cheng, M., Kopittke, P.M., Wang, A. ve Tang, C., 2018. Salinity decreases Cd translocation by altering Cd speciation in the halophytic Cd-accumulator *Carpobrotus rossii*. *Ann. Bot.* 123:121–132.
- Çağlar, K.Ö. 1949. Toprak bilgisi. Ankara Üniveristesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Ekbic, E., Cagıran, C., Korkmaz, K., Kose, M. A., ve Aras, V. 2017. Assessment of watermelon accessions for salt tolerance using stress tolerance indices. *Ciência e Agrotecnologia*, 41(6), 616-625.
- Essa, T.A. 2002. Effect of salinity stress on growth and nutrient composition of three soybean (*Glycine max* L. Merrill) cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 188(2):86-93.
- Fan, Y., Li, H., Xue, Z., Zhang, Q. ve Cheng, F., 2017. Accumulation characteristics and potential risk of heavy metals in soil-vegetable system under greenhouse cultivation condition in Northern China. *Ecol. Eng*, 102:367–373.
- FAO, 2004. Food and agriculture organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org>.
- FAO, 2014. Food and agriculture organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org>.
- Fernández-García, N., Martínez, V., ve Carvajal, M. (2004). Effect of salinity on growth, mineral composition, and water relations of grafted tomato plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167(5):616-622.
- Ghallab, A. ve Usman, A.R.A., 2007. Effect of sodium chloride-induced salinity on phytoavailability and speciation of Cd in soil solution. *Water Air Soil Pollut*, 185:43-51.
- Gharaibeh, M.A., Marschner, B. ve Heinze, S. 2015. Metal uptake of tomato and alfalfa plants as affected by water source, salinity, and Cd and Zn levels under greenhouse conditions. *Environ. Sci. Pollut. Res*, 22:18894-18905.
- Hadi, F., Ali, N. ve Ahmad, A. 2014. Enhanced phytoremediation of cadmium-contaminated soil by *parthenium hysterophorus* plant: effect of gibberellic acid (GA3) and synthetic chelator, alone and in combinations. *Bioremediation Journal*, 18(1): 46–55.
- Jackson, M.L. 1959. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Ji, Y., Wu, P., Zhang, J., Zhang, J., Zhou, Y., Peng, Y., Zhang, S., Cai, G. ve Gao, G. 2018. Heavy metal accumulation, risk assessment and

- integrated biomarker responses of local vegetables: a case study along the Le'an river. *Chemosphere*, 199:361–371.
- Jinadasa, K.B.P.N., Milham, P.J., Hawkins, C.A., Cornish, P.S., Williams, P.A., Kaldor, J. ve Conroy, J.P. 1997. Survey of Cd levels in vegetables and soils of Greater Sidney. *Australia. J. Environ. Qual*, 26: 924-933.
- Kılıç, R. ve Korkmaz, K. 2012. Kimyasal Gübrelerin Tarım Topraklarında Artık Etkileri. *Biyolojik Bilimler Araştırma Dergisi*, 5(2), 87-90.
- Korkmaz, K., S. M. Kara, F. Ozkutlu, ve V. Gul. 2017. Monitoring of heavy metals and selected micronutrients in hempseeds from North-western Turkey. *African Journal of Agricultural Research* 5, no. 6 (2010): 463-467.
- Korkmaz, K., Ertürk, Ö., Ayvaz, M. Ç., Özcan, M. M., Akgün, M., Kirli, A., ve Alver, D. O. 2018. Effect of Cadmium Application on Antimicrobial, Antioxidant and Total Phenolic Content of Basil Genotypes. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, 52(4), S108-S114.
- Kumar, V., Chopra, A.K. ve Srivastava, S., 2016. Assessment of heavy metals in spinach (*Spinacia oleracea* L.) grown in sewage sludge-amended soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*, 47:221-236.
- Lindsay, W.L. ve Norvell, W.L. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, copper. *Soil. Sci. Soc. Am*, 42:421-428.
- Lutts, S. ve Lefevre, I., 2015. How can we take advantage of halophyte properties to cope with heavy metal toxicity in salt-affected areas? *Ann. Bot*, 115:509–528.
- Mahar, A., Wang, P., Ali, A., Awasthi, M.K., Lahori, A.H., Wang, Q., Li, R. ve Zhang, Z., 2016. Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: a review. *Ecotoxicol Environ Saf*, 126:111–121.
- Mataka, L.M., Henry, E.M.T., Masamba, W.R.L. ve Sajidu, S.M. 2006. Lead remediation of contaminated water using *Moringa stenopetala* sp., and *Moringa oleifera* sp., seed powder. *Inter. J. Envir. Sci. & Tech*, 3(2):131-139.
- 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.
- Mombo, S., Foucault, Y., Deola, F., Gaillard, I., Goix, S., Shahid, M., Schreck, E., Pierart, A. ve Dumat, C., 2016. Management of human health risk in the context of kitchen gardens polluted by lead and cadmium near a lead recycling company. *J. Soils Sediments*, 16:1069-1077.
- Moya, J.L., R. Ros ve I. Picazo. 1993. Influence of cadmium and nickel on growth, net photosynthesis and carbohydrate distribution in rice plants. *Photosyn. Res*, 36(2):75-80.
- Mühling, K.H. ve 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.
- 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 Sci Soc Am J*, 64:2162–8.
- Özkutlu, F., Turan, M., Korkmaz, K. ve 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.
- Padmaja, K., Prasad, D.D.K. ve Prasad, A.R.K. 1990. Inhibition of chlorophyll synthesis in *Phaseolus vulgaris* seedlings by cadmium acetate. *Photosynth*, 24(3):399-405.
- Pandolfi, C., Mancuso, S. ve Shabala, S., 2012. Physiology of acclimation to salinity stress in pea (*Pisum sativum*). *Environ. Exp. Bot*, 84:44-51.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium. editor C. A. black, methods of soil analysis part II. American Society of Agronomy Inc., Publisher Madison, Wisconsin, USA, pp. 1022.
- Qureshi, M.I., D'Amici, G.M., Fagioni, M., Rinalducci, S. ve Zolla, L., 2010. Iron stabilizes thylakoid protein-pigment complexes in Indian mustard during Cd-phytoremediation as revealed by BN-SDS-PAGE and ESI-MS/MS. *J. Plant Physiol*, 167: 761-770.
- Rehman, M.Z.U., Khalid, H., Akmal, F., Ali, S., Rizwan, M., Qayyum, M.F., Iqbal, M., Khalid, M.U. ve Azhar, M., 2017. Effect of limestone, lignite and biochar applied alone and combined on cadmium uptake in wheat and rice under rotation in an effluent irrigated field. *Environ. Pollut*, 227:560–568.
- Rizwan, M., Meunier, J.D., Miche, H. ve Keller, C. 2012. Effect of silicon on reducing cadmium toxicity in durum wheat (*Triticum turgidum* L. cv. Claudio W.) grown in a soil

- with aged contamination. *J. Hazard Mater*, 209–210:326–334.
- Sairam, R.K. ve Tyagi, A. 2004. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants, *Current Science*. 407-421.
- Schlichting, E. ve Blume, H.P. 1966. *Bodenkundliches praktikum*. verlag paul parey. Hamburg- Berlin.
- Schmidt, U. 2003. Enhancing phytoextraction: The effect of chemical soil manipulation on mobility, plant accumulation and leaching of heavy metals. *Journal of Environmental Quality*, 32:1939-1954.
- Shafi, M., Zhang, G.P., Bakht, J., Khan, M.A. Islam, E., Dawood, M.K. ve Raziuddin, Y. 2010. Effect of cadmium and salinity stresses on root morphology of wheat. *Pak. J. Bot*, 42(4): 2747-2754.
- Shafi, M., Bakht, J., Raziuddin, Y., Hayat ve Zhang, G. 2011. Genotypic differences in the inhibition of photosynthesis and chlorophyll fluorescence by salinity and cadmium stresses on stresses in wheat. *J. Plant. Nutri*, 34: 315-23.
- Sirguey, C. ve Ouvrard, S. 2013. Contaminated soils salinity, a threat for phytoextraction. *Chemosphere*, 91(3):269-274.
- Smolders, E., ve Mertens, J., 2013. Cadmium. heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. Springer, Netherlands (Chapter 10).
- Smykalova, I. ve Zamecnikova, B. 2003. The relationship between salinity and cadmium stress in barley. *Biologia plantarum*, 46(2):269-273.
- Tang, L., Luo, W.J., He, Z.L., Gurajala, H.K., Hamid, Y., Khan, K.Y. ve Yang, X.E. 2018. Variations in cadmium and nitrate co-accumulation among water spinach genotypes and implications for screening safe genotypes for human consumption. *J. Zhejiang Univ. - Sci. B*, 19:147–158.
- 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.
- Wang, W., Vinocur, B., Shoseyov, O. ve Altman, A. 2004. Role of plant heat-shock proteins and molecular chaperones in the abiotic stress response. *Trends Plant Sci*, 9:244-252.
- Watanabe, F.S. ve Olsen, S.R. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc*, 29:677-678.
- Wei, W.X., Bilsborrow, P.E., Hooley, P., Fincham, D.A., Lombi, E. ve Forster, B.P. 2003. Salinity induced differences in growth, ion distribution and partitioning in barley between the cultivar Maythorpe and its derived mutant Golden Promise. *Plant Soil*, 250(2):183-191. [doi:10.1023/A:1022832107999]
- Wei, Y., Zheng, X., Shohag, M.J.I. ve Gu, M. 2017. Bioaccessibility and human exposure assessment of cadmium and arsenic in pakchoi genotypes grown in Co-contaminated soils. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14, 977.
- WHO, 2004. World health organization. <http://who.org>.
- WHO, 2014. World health organization. <http://who.org>.
- Zheng, G., Lv, H.P., Gao, S. ve Wang, S.R. 2010. Effects of cadmium on growth and antioxidant responses in *Glycyrrhiz auralensis* seedlings. *Plant, Soil and Environment*, 56:508-515.
- Zhu, J.K. 2003. Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Curr. Opin. Plant Biol.* 6:441-445.