

Kırmızıbiberde Bitki Organları Arasında Krom (Cr) Elementinin Birikim ve Dağılımının İncelenmesi

Hava Şeyma İNCİ^{1*}, Sermin AKINCI²

¹Bingöl Üniversitesi, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Bingöl

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Kahramanmaraş
*Sorumlu Yazar (Corresponding author): hsyilmaz@bingol.edu.tr

Özet

Bu çalışma kırmızıbiberde krom (Cr) elementinin bitki organlarında birikim ve dağılımını belirlemek amacıyla Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi seralarında yürütülmüştür. Araştırmada Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nden temin edilen "Maraş-1" kırmızıbiber çeşidine ait fideler kullanılmıştır. Çalışma (5 doz Cr elementi x 3 tekerrür) tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuş ve 2017-2018 yıllarında 2 yıl süre ile gerçekleştirilmiştir. Uygulanan krom (Cr) dozları 0, 15, 30, 60 ve 120 mg kg⁻¹ şeklindedir. Vegetasyon süresi (160 gün) sonunda bitkide gerçekleşen akümüasyonu belirlemek için bitkinin kök, gövde, yaprak, meyve eti ve tohumlarında Cr konsantrasyonu ölçülmüştür. Ayrıca hasat sonrası toprakta kalan Cr konsantrasyonu DTPA (Diethylen Triamin Pentaasetik Asit) yöntemi ile belirlenmiştir. Krom uygulamasının 2017 ve 2018 yılları ortalama sonuçlarında tüm bitki organlarındaki (kök, gövde, yaprak, meyve eti, tohum) birikim (mg kg⁻¹) istatistiksel olarak çok önemli (p<0.01) bulunmuştur. En yüksek iki doz olan 60 ve 120 mg kg⁻¹ Cr uygulamasında biber bitkisinde meyve tutumu gerçekleşmemiştir. Toprakta bulunan Cr, bitkinin esas olarak köklerinde birikmekle beraber diğer organlarına transfer olmuştur (kök>gövde>yaprak> tohum>meyve eti). Bitkinin tüketilen kısmı olan meyve eti ve tohumda bulunan Cr konsantrasyonu tüm uygulanan dozlarda izin verilen sınır değeri (WHO) aşmıştır.

Investigation of Accumulation and Distribution of Chromium (Cr) Element Among Plant Organs in Red Pepper

Abstract

This study was carried out in the greenhouses of Kahramanmaraş Sütçü İmam University (KSU) Faculty of Agriculture in order to determine the accumulation and distribution of chromium (Cr) element in plant organs in red pepper. In the research, seedlings of the "Maraş-1" red pepper variety obtained from the Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Agricultural Research Institute were used. The study (5 doses Cr element x 3 replications) was established according to a randomized plot design and was carried out for 2 years in 2017-2018. The administered chromium (Cr) doses are 0, 15, 30, 60 and 120 mg kg⁻¹. At the end of the vegetation period (160 days), Cr concentration was measured in the root, stem, leaf, fruit flesh and seeds of the plant to determine the accumulation in the plant. In addition, the Cr concentration remaining in the soil after harvest was determined by the DTPA (Diethylene Triamine Pentaacetic Acid) method. In the average results of chromium application in 2017 and 2018, the accumulation (mg kg⁻¹) in all plant organs (root, stem, leaf, fruit flesh, seed) was found to be statistically very significant (p<0.01). In treatment of the highest two doses of 60 and 120 mg kg⁻¹ Cr, fruit set did not occur in the pepper plant. Cr in the soil accumulated mainly in the roots of the plant, but transferred to other organs (root>stem>leaf>seed>fruit pulp). The Cr concentration in the fruit flesh and seed, which is the consumed part of the plant, exceeded the permissible limit value (WHO) at all applied doses.

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi

Geliş Tarihi :13.03.2023
Kabul Tarihi :18.04.2023

Anahtar Kelimeler

Kırmızı biber
ağır metal
krom

Research Article

Article History

Received :13.03.2023
Accepted :18.04.2023

Keywords

Red pepper
heavy metal
chromium

1.Giriş

Biber bitkisi (*Capsicum annuum* L.), Asya, Kuzey Amerika, Güney ve Orta Avrupa, tropikal ve subtropikal Afrika gibi dünya genelinde sıcak iklim bölgelerinde yetiştirilen Solanaceae familyasına ait tek yıllık otsu bir bitkidir (Thampi, 2004). Dünya biber üretimi 2020 yılında 2.069.990 ha alanda, 36.136.996 ton olarak gerçekleşmiştir (FAOSTAT, 2020). Dünya sıralamasında 16.650.855 ton biber üretimi ile Çin ilk sırayı alırken, Meksika 2.818.443 ton ile ikinci sırada, Endonezya 2.772.594 ton ile üçüncü sırada ve Türkiye 2.636.905 ton üretim miktarı ile 4. sırada yer almıştır (FAOSTAT, 2020). Türkiye 2021 yılı verilerine göre salçalık biber 1.445.275 ton, dolmalık biber 420.918 ton, sivri biber 1.064.633 ton ve çarliston biberi 160.469 ton olarak bildirilmiştir (TÜİK, 2021). Çoğunlukla ülkenin güney bölgelerinde üretilen baharatlık kırmızıbiber en çok Şanlıurfa, Gaziantep, Kahramanmaraş ve Kilis illerinde üretilmektedir. Şanlıurfa ekili alanın %43.37'sini toplam üretimin ise %53'ünü karşılamaktadır. Gaziantep, Kahramanmaraş ve Kilis illeri toplam baharatlık kırmızıbiber ekili alanın %48.80'ini oluştururken, üretimin de %37.43'ünü oluşturur (Aytıp ve Akbay, 2018). Kahramanmaraş ili kopya biber üretimi ise 2021 yılında 6.331 da alanda 13.448 ton olarak gerçekleşmiştir (TÜİK, 2021).

Ağır metal terimi Kahvecioğlu ve ark. (2003) tarafından, fiziksel özellik bakımından sahip olduğu yoğunluk cm^3 'lük hacimde 5 g'dan daha ağır olan metaller için (Cd, Cr, Ni, Zn, Co, Fe gibi 60 tan fazla element) tanımlanmıştır.

Yer kabuğunun krom (Cr) konsantrasyonu ortalama 100 mg kg^{-1} iken dünya topraklarının ortalama Cr konsantrasyonu 60 mg kg^{-1} 'dir. Kromun ana kullanım alanı metalurji, refrakter ve endüstrileridir, bununla birlikte büyük kısmı paslanmaz çelik ve kromat

kaplamada, kimya endüstrisinde (sarı renginden dolayı da pigment olarak), ahşap koruyucularda ve metal kaplamada kullanılmaktadır. Boya vernikleri, cilalar ve mürekkepler için yeşil renk tonlarının üretiminde yaygın olarak tercih edilmektedir. Özellikle deri tabaklama işleminde önemli miktarlarda Cr bileşikleri kullanılmaktadır. Ayrıca krom, kâğıt üretiminin çeşitli aşamalarında da yer almaktadır. Endüstriyel ve konut kaynaklı oluşan atık suların arıtma tesisleri önemli miktarlarda Cr yaymaktadır. Toprakta kolayca çözünen Cr^{+6} bitkiler ve hayvanlar için toksiktir (Kabata-Pendias, 2011).

Krom (Cr), kayaçlardan oluşan topraklarda ve volkanik tozlarda doğal olarak bulunabilen bir elementtir. Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı'na göre kanserojen olarak sınıflandırılmıştır. Yüksek çözünürlüğü nedeniyle, Cr (VI), yeraltı sularını kirleten ve besin zinciri yoluyla aktarılabilen tehlikeli bir iyon olarak kabul edilmektedir (Sharma ve ark., 2020). Cr toksisitesinin bitki büyümesini etkilediği ve bitkinin temel metabolik süreçlerini engellediği bildirilmektedir (Shanker ve ark., 2009).

Fendorf ve ark. (2004), kromun (Cr) bitkiler tarafından alınabilirliğinin toprağın tipi ve metale maruz kalma süresinin etkisinde olduğunu ve her iki Cr iyonunun (Cr^3 ve CrO_4^{-2}) birikim ve taşıma modellerinin oldukça özdeş olduğunu bildirmişlerdir. Bununla birlikte, çeşitli sebzelerin sürgünleri ve kökleri tarafından akümüle edilen Cr miktarında büyük farklılıklar gözlemlenmiştir, sürgünlerde 0.005 mg kg^{-1} Cr bulunurken, köklerde 0.027 mg kg^{-1} bulunabilmektedir. Her iki formda (Cr^{+3} ve Cr^{+6}) da belirlenen en yüksek Cr konsantrasyonu *Brassicaceae* familyasının bitkilerinin köklerinde, en düşük ise *Allium* sp. türlerinde bulunmuştur. Kahramanmaraş il genelinde gerçekleştirilen tekstil başta olmak üzere sanayi endüstrisinin topraklara getirdiği

ağır metal kirliliğinin Kahramanmaraş için en önemli sebzelerden biri olan kırmızıbiberde değerlendirilmesi gereken bir risk olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmanın amacı, farklı konsantrasyonlarda uygulaması yapılan Cr elementinin kırmızıbiberin toprak altı (kök) ve toprak üstü (yaprak, gövde, meyve eti ve tohum) organlarında dağılım, taşınım ve birikimini incelemektir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmanın sera denemeleri ilk yıl 28.04.2017-14.10.2017 tarihleri arasında, ikinci yıl ise 14.05.2018-20.10.2018 tarihleri arasında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi araştırma seralarında kurulmuş ve yürütülmüştür. Çalışma toprağı KSÜ Avşar Yerleşkesi, Kampüs alanından alınmıştır. Toprağın saturasyon değeri %58.1, pH'sı 7.32, tuzluluğı %0.1, kireç miktarı %0.7 ve organik madde içeriğı %0.6 olarak bulunmuştur.

Çalışmada bitkisel materyal olarak Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nden temin edilen "Maraş-1" kırmızıbiber çeşidine ait fideler kullanılmıştır. Krom ise ticari olarak potasyum kromat (K_2CrO_4) olarak temin edilmiştir. Çalışma (5 doz Cr elementi x 3 tekerrür) tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuş ve 2017-2018 yıllarında 2 yıl süre ile yürütülmüştür. Uygulanan Cr dozları 0, 15, 30, 60 ve 120 mg kg⁻¹ şeklindedir. Temin edilen toprak elendikten sonra 10 kg ağırlığında saksılara doldurulmuştur, daha sonra fidelerin dikimi gerçekleştirilmiş ve dekara 15 kg N-10 kg P₂O₅-15 kg K₂O hesabı ile saksı ağırlıklarına oranlanarak gübreleme yapılmıştır. Fidler yerlerine adapte olduktan sonra da Cr uygulaması (0, 15, 30, 60 ve 120 mg kg⁻¹) yapılmıştır. Vejetasyon süresi içerisinde olgunlaşan kırmızıbiber meyveleri toplanmış bununla birlikte

yaklaşık 160 günlük büyüme periyodu sonunda bitkiler hasat edilmiş kök, gövde ve yaprakları da meyvelerle birlikte kurutulmuş, öğütülmüş ve analize hazır hale getirilmiştir.

2.1. Bitki organlarında Cr konsantrasyonunun belirlenmesi

Hassas terazide 1 g olarak tartılan bitki örneğı mikrodalga cihazına ait vessellara aktarılmış ve üzerine 10 ml HNO₃ eklenmiştir. Yakma işlemi için CEM-MARS 6-mikrodalga cihazı kullanılmıştır. Mikrodalga cihazında yakması yapılan ve sonrasında seyreltilerek elde edilen biber bitkisinin organlarına ait süzüklerde AAS cihazında Cr konsantrasyonu belirlenmiştir. Toprak örneklerinde Cr konsantrasyonu ise DTPA yöntemine (Lindsay ve Norvell, 1978) göre yapılmıştır.

2.2. Verilerin değerlendirilmesi

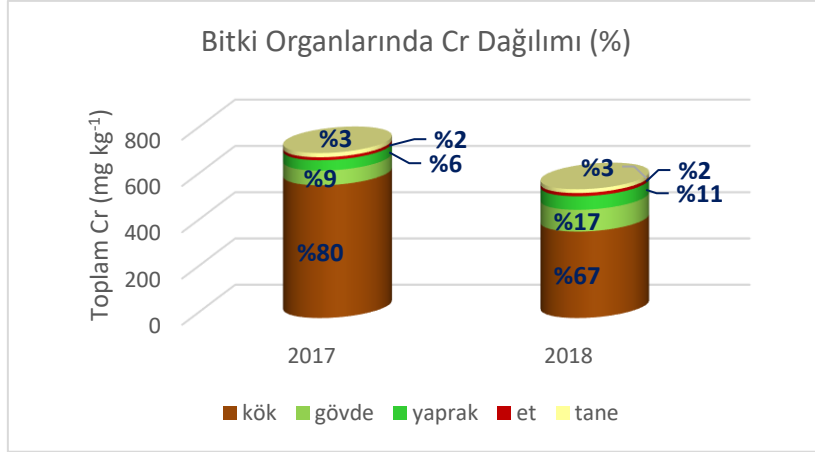
Her iki yılda elde edilen veriler JMP istatistik paket programı (SAS programına ait bir yazılım/ JMP 2018) yardımıyla varyans analizi ile değerlendirilmiş ve grupların farklılıkları LSD testi ile karşılaştırılmıştır. Gruplar arası farklılıklar %5 anlam düzeyinde kontrol edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Bitki organlarında Cr birikimi ve dağılımları

Biber bitkisinin organları arasındaki Cr birikim ve dağılımları çalışmanın yapıldığı her iki yıl içinde incelenmiştir. Yıllar ve yıllara ait tüm dozların ortalaması ayrı ayrı toplanıp % olarak oranlanarak dağılımın değişimi hakkında fikir oluşturması amaçlanmıştır ve Şekil 1'de gösterilmiştir.

2017 ve 2018 yılı hem ayrı değerlendirmede hem de ortalama değerlendirmede bitki organları arasında Cr dağılımında sıralama; kök>gövde>yaprak>tohum>meyve eti şeklinde gerçekleşmiştir.



Şekil 1. Kromun (Cr) bitki organları arasında dağılımı

3.1.1. Bitki köklerinde Cr birikimi (mg kg⁻¹ Cr)

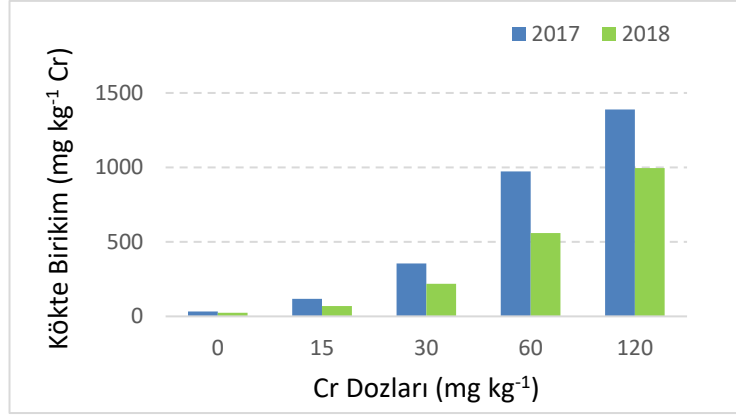
Kökte birikim varyans analizi sonucuna göre istatistiksel olarak doz, yıl ve doz x yıl interaksyonu çok önemli ($p < 0.01$) bulunmuştur. Cr dozlarına, yıllara ve doz x yıl interaksyonuna ait ortalamalar ve LSD testi grupları Tablo 1'de ve kökte Cr birikimi değişim grafiği Şekil 2'de verilmiştir. Artan Cr dozları ile birlikte bitki kök bölgesinde biriken Cr konsantrasyonları da artış göstermiştir. En yüksek Cr konsantrasyonu ($1192.52 \text{ mg kg}^{-1}$) 120 mg kg^{-1} Cr uygulamasında

belirlenirken en düşük Cr konsantrasyonu (28.93 mg kg^{-1}) kontrol grubunda belirlenmiştir. Yıllar arasında kökte biriken ortalama Cr konsantrasyonu istatistiksel olarak farklılık göstermiştir. Birinci yıl (2017 yılı) $573.74 \text{ mg kg}^{-1}$ Cr iken ikinci yıl (2018 yılı) $373.48 \text{ mg kg}^{-1}$ Cr olarak belirlenmiş ve ilk yıl bitkinin köklerinde ikinci yıla göre daha fazla Cr birikimi tespit edilmiştir. Doz x yıl interaksyonunda kökte en az Cr birikimi ikinci yıl, 24.63 mg kg^{-1} ile kontrol bitkilerinde belirlenirken, en fazla birinci yıl $1389.37 \text{ mg kg}^{-1}$ Cr ile 120 mg kg^{-1} Cr uygulamasında belirlenmiştir.

Tablo 1. Cr dozlarının kökte Cr birikimi (mg kg^{-1} Cr) üzerine etkisine ait ortalamalar

Dozlar mg kg^{-1} Cr	Kökte Birikim (mg kg^{-1} Cr)		
	2017 yılı	2018 yılı	Ortalama (2017 ve 2018)
0	$33.22 \pm 1.96 \text{ g}^{**}$	$24.63 \pm 5.63 \text{ g}$	28.93 e^{**}
15	$117.32 \pm 5.38 \text{ f}$	$69.18 \pm 2.23 \text{ fg}$	93.25 d
30	$355.38 \pm 6.05 \text{ d}$	$218.80 \pm 28.81 \text{ e}$	287.09 c
60	$973.43 \pm 78.35 \text{ b}$	$559.10 \pm 87.78 \text{ c}$	766.27 b
120	$1389.37 \pm 27.06 \text{ a}$	$995.67 \pm 62.58 \text{ b}$	1192.52 a
Ortalama	573.74 a^{**}	373.48 b	DK: %9.77
LSD (0.05)	Yıl: 35.49	Doz: 56.11	Yıl x Doz: 79.35

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$ ve öd: önemli değil. LSD testine göre farklı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır. DK: Değişim Katsayısı



Şekil 2. Cr dozlarının kökte Cr birikimi (mg kg⁻¹ Cr) üzerine etkisine ait değişim grafiği

Uygulanan Cr dozlarının artışına paralel şekilde biber bitkisinin köklerinde biriken Cr konsantrasyonunda artmaya devam etmiştir. Genel bitki organlarındaki dağılım incelendiğinde (kök>gövde>yaprak>tohum>meyve eti) yine en yoğun birikim her iki yılda da bitkinin köklerinde gerçekleşmiştir. Krom (Cr⁺³) hücre duvarına bağlanma eğiliminden dolayı bitki içinde kolayca yer değiştiremez, esas olarak köklerde konsantre olur. Muhtemel neden bitki kök hücreleri tarafından kromun vakuollerde tutulması veya kök korteks hücrelerinde Cr⁺⁶'nın Cr⁺³'e anında indirgenmesi olabilir (Zayed ve ark., 1998). Çeşitli sebzelerin sürgünleri ve kökleri tarafından akümüle edilen Cr miktarında büyük farklılıklar gözlemlenmiştir, sürgünlerde 0.005 mg kg⁻¹ Cr bulunurken yaklaşık 5 katı köklerde 0.027 mg kg⁻¹ bulunabilmektedir (Fendorf ve ark., 2004). Cr ile kirlenmiş toprakta yetişen bitkilerde, özellikle Hint hardalı ve yem turpunun köklerinde oldukça yüksek bir Cr birikimi belirlenmiştir (Simon ve ark., 1998). Golovatyj ve Bogatyreva (1999) çalışmalarında krom, bitkiler (mısır) tarafından ortamdaki Cr konsantrasyonu ve toprak özelliklerinden bağımsız olarak bitkinin köklerinde diğer organlarına göre daha yüksek oranda birikmiş ve daha az miktarı bitkinin toprak üstü organlarında (vejtatif ve generatif) belirlenmiştir. *Datura innoxia*'nın köklerinde gövdesine oranla daha fazla miktarda krom (Cr) akümüle

olmuştur (Vernay ve ark., 2008). Çalışmamıza benzer şekilde Ahmed ve ark. (2021) biberde Cr akümüasyonu için bitki organlarındaki dağılımı kökler > yapraklar > sürgünler > meyveler şeklinde sıralamışlardır.

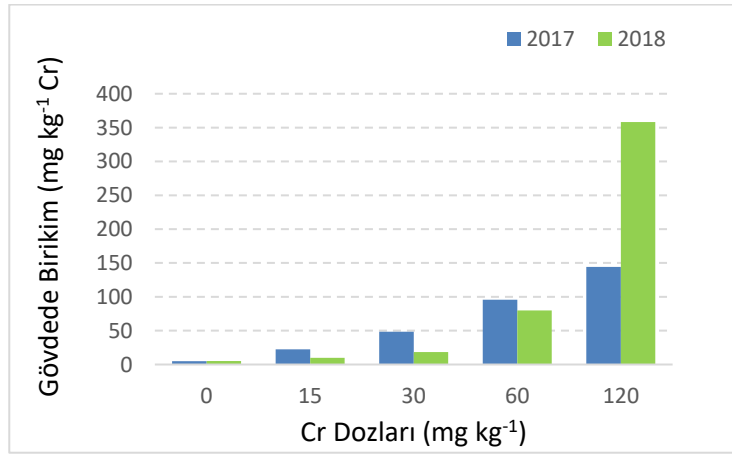
3.1.2. Bitki gövdesinde Cr birikimi (mg kg⁻¹ Cr)

Gövdede birikim varyans analizi sonucuna göre istatistiksel olarak doz, yıl ve doz x yıl interaksyonu çok önemli (p<0.01) bulunmuştur. Cr dozlarına, yıllara ve doz x yıl interaksyonuna ait ortalamalar ve LSD testi grupları Tablo 2'de ve gövdede Cr birikimi değişim grafiği Şekil 3'te verilmiştir. Artan Cr dozları ile birlikte bitki gövdesinde biriken Cr konsantrasyonları da artış göstermiştir. En yüksek Cr konsantrasyonu (251.15 mg kg⁻¹) 120 mg kg⁻¹ Cr uygulamasında belirlenirken en düşük Cr konsantrasyonu (5.11 mg kg⁻¹) kontrol grubunda belirlenmiştir. Yıllar arasında gövdede biriken ortalama Cr konsantrasyonu istatistiksel olarak farklılık göstermiştir. Birinci yıl (2017 yılı) 63.11 mg kg⁻¹ Cr iken ikinci yıl (2018 yılı) 94.33 mg kg⁻¹ Cr olarak belirlenmiş ve ilk yıl bitkinin gövdesinde ikinci yıla göre daha az Cr birikimi tespit edilmiştir. Doz x yıl interaksyonunda gövdede en az Cr birikimi ilk yıl, 4.98 mg kg⁻¹ ile kontrol bitkilerinde belirlenirken, en fazla ikinci yıl 358.13 mg kg⁻¹ Cr ile 120 mg kg⁻¹ Cr uygulamasında belirlenmiştir.

Tablo 2. Cr dozlarının gövdede Cr birikimi (mg kg^{-1} Cr) üzerine etkisine ait ortalamalar

Dozlar mg kg^{-1} Cr	Gövdede Birikim (mg kg^{-1} Cr)		
	2017 yılı	2018 yılı	Ortalama (2017 ve 2018)
0	4.98±0.43**	5.23±0.83 e	5.11 d**
15	22.38±3.32 e	9.83±1.44 e	16.10 d
30	48.40±4.94 d	18.45±2.11 e	33.43 c
60	95.63±1.85 c	79.98±2.90 c	87.81 b
120	144.17±8.43 b	358.13±37.26 a	251.15 a
Ortalama	63.11 b**	94.33 a	DK: % 15.67
LSD _(0.05)	Yıl: 9.46	Doz: 14.96	Yıl x Doz: 21.16

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$ ve öd: önemli değil. LSD testine göre farklı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır. DK: Değişim Katsayısı

**Şekil 3.** Cr dozlarının gövdede Cr birikimi (mg kg^{-1} Cr) üzerine etkisine ait değişim grafiği

Toprağa uygulanan krom konsantrasyonunun artmasıyla birlikte biber bitkilerinin gövdelerinde akümüle olan Cr konsantrasyonu artmıştır. Bitkiler her iki uygulama yılında da kökten sonra en fazla akümüasyonu gövdelerinde yapmışlardır. Zengin (2006) Cr stresinde kök bölgesinin daha hassas olduğunu, daha sonra gövde ve yaprak dokularının onu takip ettiğini bildirmiştir. Çalışmamıza benzer şekilde *Amaranthus hybridus*'da Cr akümüasyonu kök > gövde > yaprak şeklinde olmuştur (Karimah ve ark., 2021). Çalışma sonucumuzdan farklı olarak biberde Cr elementinin bitki organlarındaki dağılım yoğunluğu, meyve < gövde < kök < yaprak şeklinde

gerçekleşmiş ve en yoğun birikim yaprakta iken gövdede birikim üçüncü sırada yer almıştır (Antoniou, 2016).

3.1.3. Bitki yapraklarında Cr birikimi (mg kg^{-1} Cr)

Yaprakta birikim varyans analizi sonucuna göre istatistiksel olarak doz ve yıl çok önemli ($p < 0.01$) iken doz x yıl interaksyonu önemsiz bulunmuştur. Cr dozlarına, yıllara ve doz x yıl interaksyonuna ait ortalamalar ve LSD testi grupları Tablo 3'te ve yaprakta Cr birikimi değişim grafiği Şekil 4'te verilmiştir. Artan Cr dozları ile birlikte yapraklarda biriken Cr konsantrasyonları da artış göstermiştir. En yüksek Cr konsantrasyonu ($110.53 \text{ mg kg}^{-1}$)

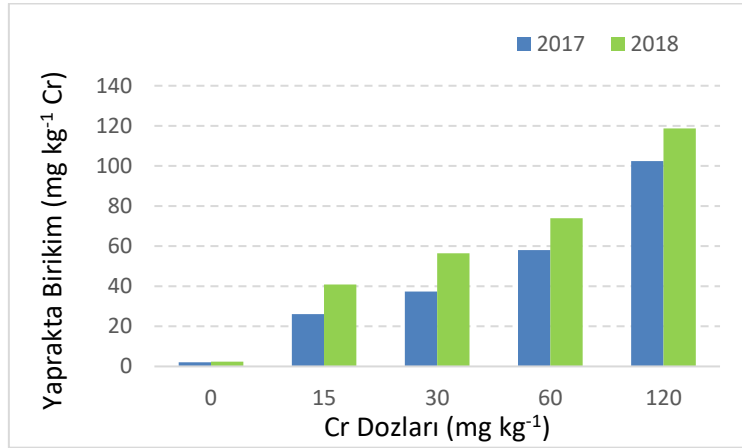
120 mg kg⁻¹ Cr uygulamasında belirlenirken en düşük Cr konsantrasyonu (2.23 mg kg⁻¹) kontrol grubunda belirlenmiştir. Yıllar arasında bitki yapraklarında biriken ortalama Cr konsantrasyonu istatistiksel olarak farklılık göstermiştir. Birinci yıl (2017 yılı) 45.19 mg kg⁻¹ Cr iken ikinci yıl (2018 yılı) 58.45 mg kg⁻¹ Cr olarak belirlenmiş ve ilk yıl

bitkinin yapraklarında ikinci yıla göre daha az Cr birikimi tespit edilmiştir. Doz x yıl interaksyonu istatistiksel olarak anlamlı bulunmamış fakat rakamsal olarak bitkinin yapraklarında en az Cr birikimi birinci yıl, 2.08 mg kg⁻¹ ile kontrol bitkilerinde belirlenirken, en fazla ikinci yıl 118.67 mg kg⁻¹ Cr ile 120 mg kg⁻¹ Cr uygulamasında belirlenmiştir.

Tablo 3. Cr dozlarının, yaprakta Cr birikimi (mg kg⁻¹ Cr) üzerine etkisine ait ortalamalar

Dozlar mg kg ⁻¹ Cr	Yaprakta Birikim (mg kg ⁻¹ Cr)		
	2017 yılı	2018 yılı	Ortalama (2017 ve 2018)
0	2.08±0.49 ^{öd}	2.37±0.41	2.23 e**
15	26.10±7.41	40.85±3.01	33.48 d
30	37.33±7.75	56.42±2.06	46.88 c
60	58.02±7.58	73.95±7.90	65.98 b
120	102.40±23.64	118.67±16.91	110.53 a
Ortalama	45.19 b**	58.45 a	DK: %17.03
LSD _(0.05)	Yıl: 6.77	Doz: 10.71	Yıl x Doz: -

*: P<0.05, **: P<0.01 ve öd: önemli değil. LSD testine göre farklı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır. DK: Değişim Katsayısı



Şekil 4. Cr dozlarının yaprakta Cr birikimi (mg kg⁻¹ Cr) üzerine etkisine ait değişim grafiği

Uygulanan Cr dozlarının artışına paralel şekilde biber bitkisinin yapraklarında akümüle edilen Cr konsantrasyonunda artmaya devam etmiştir. Genel bitki organlarındaki dağılım incelendiğinde (kök>gövde>yaprak> tohum>meyve eti) her iki yılda da bitkinin yapraklarında

gerçekleşen birikimin kök ve gövdeden sonra geldiği görülmektedir. Cr (VI) ve Cr (III)'ün bitkinin yapraklarına kolay bir şekilde geçiş yapabildiği belirlenmiştir (Howe ve ark., 2003). Çalışmamızda yapraklarda biriken Cr miktarı köktekinden az olmuştur yapılan çalışmalarda piriç

(Zeng ve ark., 2010), turp (Choudhary ve ark., 2011), hardal (Gill ve ark., 2015) ve tütün (Bukhari ve ark., 2016) gibi farklı bitkilerin sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Benzer şekilde Çok yıllık çimin köklerinde yapraklarından çok daha fazla krom birikimi gerçekleşmiştir (Vernay ve ark., 2007). Çalışmamızdan farklı olarak yaprakta kökten daha fazla Cr akümüülasyonunun gerçekleştiği çalışmalarda mevcuttur: Krom ile bulaşık alanlarda yetişen sebzelerden, havuç yaprakları köklerden yaklaşık 11 kat daha fazla Cr içerirken kırmızı pancar ise yapraklarında köklerinden yaklaşık 25 kat daha fazla krom içeriğine sahip olmuştur (Mikuła ve Indeka, 1997).

3.1.4. Meyve Etinde Cr Birikimi (mg kg⁻¹ Cr)

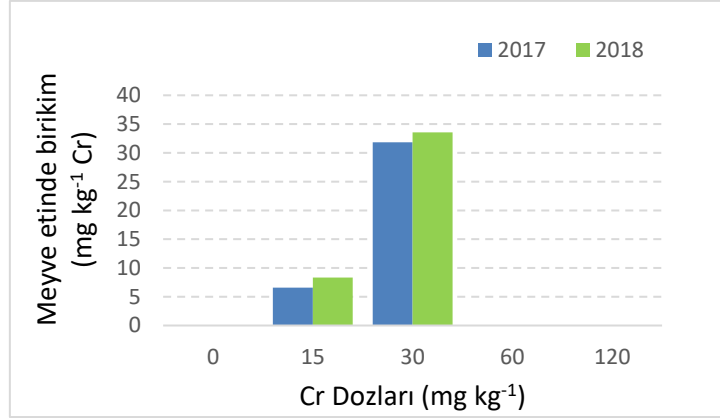
Meyve etinde birikim varyans analizi sonucuna göre istatistiksel olarak doz çok önemli (p<0.01) iken yıl ve doz x yıl interaksyonu önemsiz bulunmuştur. Cr dozlarına, yıllara ve doz x yıl interaksyonuna ait ortalamalar ve LSD testi

grupları Tablo 4'te, meyve etinde Cr birikimi değişim grafiği ise Şekil 5'te verilmiştir. En yüksek iki doz olan 60 ve 120 mg kg⁻¹ Cr uygulamalarında biber bitkisinde değerlendirilebilecek meyve tutumu gerçekleşmemiştir bu yüzden meyve etinde krom birikimi bu dozlarda hesaplanamamıştır. Artan Cr dozları ile birlikte meyve etinde biriken Cr konsantrasyonları da artış göstermiştir. En yüksek Cr konsantrasyonu (32.68 mg kg⁻¹) 30 mg kg⁻¹ Cr uygulamasında belirlenirken en düşük Cr konsantrasyonu (0.00 mg kg⁻¹) kontrol grubunda belirlenmiştir. Yıllar arasında meyve etinde biriken ortalama Cr konsantrasyonu istatistiksel olarak farklılık göstermemiştir. Birinci yıl (2017 yılı) 12.80 mg kg⁻¹ Cr iken ikinci yıl (2018 yılı) 13.96 mg kg⁻¹ Cr olarak belirlenmiş ve ilk yıl bitkinin meyve etinde ikinci yıla göre daha az Cr birikimi tespit edilmiştir. Doz x yıl interaksyonunda meyve etinde en az Cr birikimi her iki yılda da 0.00 mg kg⁻¹ ile kontrol bitkilerinde belirlenirken, en fazla ikinci yıl 33.55 mg kg⁻¹ Cr ile 30 mg kg⁻¹ Cr uygulamasında belirlenmiştir.

Tablo 4. Cr dozlarının meyve etinde Cr birikimi (mg kg⁻¹ Cr) üzerine etkisine ait ortalamalar

Dozlar mg kg ⁻¹ Cr	Meyve Etinde Birikim (mg kg ⁻¹ Cr)		Ortalama (2017 ve 2018)
	2017 yılı	2018 yılı	
0	0.00±0.00 ^{öd}	0.00±0.00	0.00 c**
15	6.58±1.15	8.33±1.44	7.46 b
30	31.82±3.53	33.55±2.04	32.68 a
60	-	-	-
120	-	-	-
Ortalama	12.80^{öd}	13.96	DK: %12.09
LSD _(0.05)	Yıl: -	Doz: 2.14	Yıl x Doz: -

*: P<0.05, **: P<0.01 ve öd:önemli değil. LSD testine göre farklı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır. DK: Değişim Katsayısı



Şekil 5. Cr dozlarının meyve etinde Cr birikimi (mg kg⁻¹ Cr) üzerine etkisine ait değişim grafiği

Kontrol uygulamasının meyve etinde Cr tespit edilemezken 15 ve 30 mg kg⁻¹ Cr uygulamalarında meyve etinde bulunan Cr konsantrasyonu artış göstermiştir. Meyve eti biber bitkisinin insanlar tarafından tüketilen kısmıdır ve sağlık riski taşıması en önemli noktadır, kontrol uygulamalarında meyve etinde Cr tespit edilememiştir fakat en düşük doz uygulaması olan 15 mg kg⁻¹ Cr uygulamasında bile meyve etinde Cr konsantrasyonu 7.46 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir ve bu değer Dünya Sağlık Örgütü'nün bitkilerde izin verilen 1.30 mg kg⁻¹ Cr sınır değerini aştığını göstermektedir (WHO, 1996). Cr dağılımı sıralamasında bitki organları arasında en az birikim meyve etinde görünse de bitkinin köklerinden ve diğer vejetatif organlarından meyveye Cr transferi gerçekleşmiştir. Çalışma sonuçlarımıza benzer ve farklı sonuçların elde edildiği çalışmalar mevcuttur. Benzer şekilde Trebolazabala ve ark. (2017), analiz edilen diğer kısımlara kıyasla domates meyvelerinde metal birikiminin (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sn, Sr, Ti, V ve Zn) daha düşük olduğunu bulmuştur. Domates bitkisinde Cr uygulaması sonucu bitkinin yenen kısmında (meyvesinde) krom tespit edilmemiştir (Moral ve ark., 1995). Krom domates meyvelerine taşınmış ancak numunelerdeki toplam Cr konsantrasyonu, izin verilen maksimum sınırların altında kalmıştır (Christou ve ark., 2021). Çalışma

sonucumuzdan tamamen zıt yönde biberde en yüksek konsantrasyon meyvelerde bulunmuş; meyveler > gövde ve saplar > yapraklar = kök; ancak meyvelerdeki Cr konsantrasyonu tüm uygulamalarda istatistiksel olarak aynı kalmıştır (Nunes ve ark., 2018).

3.1.5. Tohumda Cr birikimi (mg kg⁻¹ Cr)

Tohumda birikim varyans analizi sonucuna göre istatistiksel olarak doz ve doz x yıl interaksyonu çok önemli (p<0.01) iken yıl önemsiz bulunmuştur. Cr dozlarına, yıllara ve doz x yıl interaksyonuna ait ortalamalar ve LSD testi grupları Tablo 5'te, tohumda Cr birikimi değişim grafiği ise Şekil 6'da verilmiştir. 60 ve 120 mg kg⁻¹ Cr uygulamalarında biber bitkisinde değerlendirilebilecek meyve tutumu gerçekleşmemiştir bu yüzden tohumda krom birikimi bu dozlarda hesaplanamamıştır. Artan Cr dozları ile birlikte tohumda biriken Cr konsantrasyonları da artış göstermiştir. En yüksek Cr konsantrasyonu (34.93 mg kg⁻¹) 30 mg kg⁻¹ Cr uygulamasında belirlenirken en düşük Cr konsantrasyonu (0.00 mg kg⁻¹) kontrol grubunda belirlenmiştir. Yıllar arasında tohumda biriken ortalama Cr konsantrasyonu istatistiksel olarak farklılık göstermemiştir. Birinci yıl (2017 yılı) 18.15 mg kg⁻¹ Cr iken ikinci yıl (2018 yılı) 16.41 mg kg⁻¹ Cr olarak belirlenmiş ve ilk yıl bitkinin tohumda ikinci yıla göre daha fazla Cr birikimi tespit edilmiştir. Doz x yıl

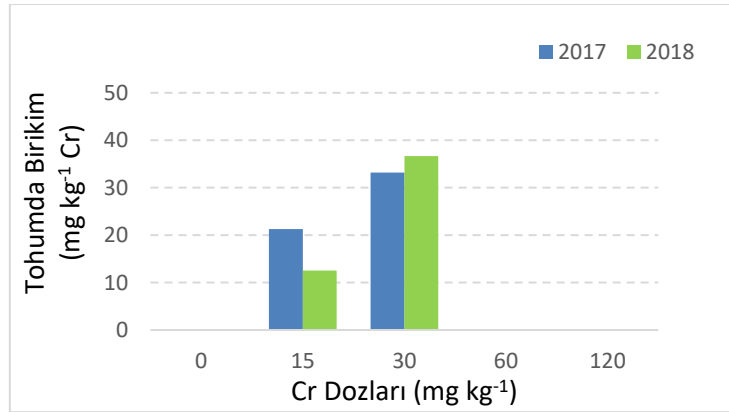
interaksiyonunda tohumda en az Cr birikimi her iki yılda da 0.00 mg kg⁻¹ ile kontrol bitkilerinde belirlenirken, en fazla ikinci yıl

36.68 mg kg⁻¹ Cr ile 30 mg kg⁻¹ Cr uygulamasında belirlenmiştir.

Tablo 5. Cr dozlarının tohumda Cr birikimi (mg kg⁻¹ Cr) üzerine etkisine ait ortalamalar

Dozlar mg kg ⁻¹ Cr	Tohumda Birikim (mg kg ⁻¹ Cr)		Ortalama (2017 ve 2018)
	2017 yılı	2018 yılı	
0	0.00±0.00 e**	0.00±0.00 e	0.00 c**
15	21.27±2.56 c	12.55±1.55 d	16.91 b
30	33.18±1.40 b	36.68±2.79 a	34.93 a
60	-	-	-
120	-	-	-
Ortalama	18.15^{öd}	16.41	DK: %9.91
LSD (0,05)	Yıl: -	Doz: 2.20	Yıl x Doz: 3.11

*: P<0.05, **: P<0.01 ve öd: önemli değil, LSD testine göre farklı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır, DK: Değişim Katsayısı



Şekil 6. Cr dozlarının tohumda Cr birikimi (mg kg⁻¹ Cr) üzerine etkisine ait değişim grafiği

Cr dağılımı sıralamasında (kök>gövde>yaprak> tohum>meyve eti) bitki organları arasında en az birikim olan organlardan biri tohumlar olmuştur fakat bitkinin köklerinden ve diğer vejetatif organlarından tohumlara Cr transferi gerçekleşmiştir. Tohumlar biber bitkisinin esas tüketilen kısmı olan meyve içerisinde yer almakta ve üreticiler kırmızıbiberi baharat olarak işlemede genellikle tohumdan ayırmamaktadır, kontrol uygulamalarında tohumda Cr tespit edilememiştir fakat en düşük doz uygulaması olan 15 mg kg⁻¹ Cr

uygulamasında bile tohumda Cr konsantrasyonu 16.91 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir ve bu değer Dünya Sağlık Örgütü'nün bitkilerde izin verilen Cr sınır değeri olan 1.30 mg kg⁻¹ aştığını göstermektedir (WHO, 1996). Benzer şekilde bezelye bitkisinde krom akümülyasyonu bitki organlarında kök>gövde>yaprak>tohum sıralaması ile gerçekleşmiştir (Tiwari ve ark., 2009). Krom (Cr) dinamikleri için, emilimi kökte başlar, ardından gövde ve sap dokuları yoluyla taşınarak yapraklara ve meyvelere ulaşır (Gropper ve ark., 2009; Hua ve ark.,

2012). Çalışma sonucundan farklı olarak ise Cr bulaşık alanda yetiştirilen sorgum bitkisinin tohumlarında diğer bitki organlarının aksine Cr tespit edilememiştir.

3.1.6. Toprakta kalan krom (mg kg^{-1} Cr)

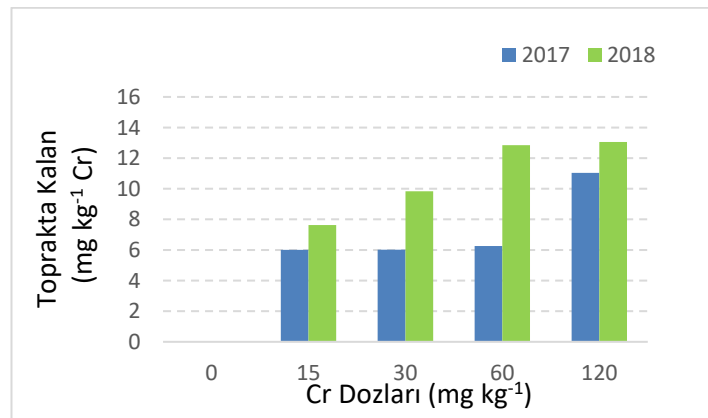
Toprakta kalan krom (Cr) varyans analizi sonucuna göre istatistiksel olarak doz, yıl ve doz x yıl interaksyonu çok önemli ($p < 0.01$) bulunmuştur. Cr dozlarına, yıllara ve doz x yıl interaksyonuna ait ortalamalar ve LSD testi grupları Tablo 6'da toprakta kalan krom (Cr) konsantrasyonu değişim grafiği ise Şekil 3.7'de verilmiştir. Uygulanan Cr dozlarının artması ile birlikte, toprakta kalan krom

(Cr) konsantrasyonu da artış göstermiştir. En yüksek Cr konsantrasyonu (12.05 mg kg^{-1}) 120 mg kg^{-1} Cr uygulamasında belirlenirken en düşük Cr konsantrasyonu (0.05 mg kg^{-1}) kontrol grubunda belirlenmiştir. Yıllar arasında toprakta kalan krom (Cr) konsantrasyonunda ise birinci yıl (2017 yılı) 5.88 mg kg^{-1} Cr iken ikinci yıl (2018 yılı) 8.68 mg kg^{-1} Cr olarak belirlenmiştir. Doz x yıl interaksyonunda toprakta kalan krom (Cr) konsantrasyonunda en az Cr ikinci yılda da 0.04 mg kg^{-1} ile kontrol grubunda belirlenirken, en fazla ikinci yıl 13.06 mg kg^{-1} Cr ile 120 mg kg^{-1} Cr uygulamasında belirlenmiştir.

Tablo 6. Cr dozlarının toprakta kalan krom (mg kg^{-1} Cr) üzerine etkisine ait ortalamalar

Dozlar mg kg^{-1} Cr	Toprakta Kalan Cr (mg kg^{-1} Cr)		
	2017 yılı	2018 yılı	Ortalama (2017 ve 2018)
0	0.05 ± 0.02 d**	0.04 ± 0.01 d	0.05 d**
15	6.01 ± 0.09 c	7.63 ± 1.30 c	6.82 c
30	6.02 ± 0.71 c	9.83 ± 0.69 b	7.92 c
60	6.26 ± 0.34 c	12.85 ± 1.38 a	9.55 b
120	11.04 ± 1.81 b	13.06 ± 0.93 a	12.05 a
Ortalama	5.88 b**	8.68 a	DK: %13.18
LSD _(0,05)	Yıl: 0.74	Doz: 1.16	Yıl x Doz: 1.65

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$ ve öd: önemli değil, LSD testine göre farklı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden farklıdır, DK: Değişim Katsayısı



Şekil 7. Cr dozlarının toprakta kalan krom (mg kg^{-1} Cr) miktarı üzerine etkisine ait değişim grafiği

Krom uygulamaları artan dozlarda toprağa uygulanmış ve bitki bünyesine transfer olmasına rağmen toprakta hala bitki tarafından alınabilir Cr miktarları kalmıştır ve bu miktarlar uygulama dozlarına paralel olarak artış göstermiştir. Bitkilerdeki Cr içeriği, esas olarak toprakların çözünür Cr içeriği tarafından kontrol edilir. Çoğu toprak, önemli miktarda Cr içerir, ancak bitkiler için kullanılabilirliği oldukça sınırlıdır. Ancak toprağa Cr ilavesi bitkilerin Cr içeriğini etkiler ve bitkiler tarafından Cr alım hızı çeşitli toprak ve bitki faktörlerine bağlıdır. Başta serpantin veya kromit yataklarının olduğu bölgelerden gelenler olmak üzere birçok bitki, %0.3 veya %3.4'e kadar Cr biriktirebilir (Mertz ve ark., 1974; Kabata- Pendias, 2011).

4.Sonuç

Krom (Cr) biber bitkisi tarafından topraktan alınmış ve bitkinin toprak üstü organlarına transfer olmuştur. İki yılın ortalamasında Cr en fazla köklerde, en az meyve etinde akümüle olmuştur (kök>gövde>yaprak> tohum>meyve eti). Biber bitkisinin tüketilen kısmı olan meyve eti ve tohuma Cr transferi en düşük uygulama olan 15 mg kg⁻¹ dozunda dahi gerçekleşmiş ve meyve eti ve tohumda biriken konsantrasyon Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından izin verilen sınır değerin üzerinde bulunmuştur. Bitkiler tarafından alınan ağır metal konsantrasyonu birçok faktörle birlikte büyük ölçüde toprak pH'sına bağlıdır ve pH düştükçe alınabilir metal riski artmaktadır. Bu çalışmanın toprak pH'sı hafif alkali sınıfında yer almasına rağmen Cr bitkide hem birikmiş hem de tüketilen kısımlara aktarılmıştır. Kromla kontamine olmuş alanlarda toprak pH'sı ve diğer faktörlerde göz önüne alınarak bu ve daha düşük pH'lı bulaşık alanlarda biber bitkisi yetiştiriciliği önerilmemektedir.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit katkıda bulduklarını, makalenin yayına hazır son

halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Açıklama

Bu çalışma Hava Şeyma İNCİ'nin Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bahçe Bitkileri Anabilim Dalında hazırlanmış olduğu doktora tezinden üretilmiştir.

Kaynaklar

- Ahmed, F., Fakhruddin, A.N.M., Fardous, Z., Chowdhury, M.A.Z., Rahman, M. M., Kabir, M.M., 2021. Accumulation and translocation of chromium (Cr) and lead (Pb) in Chilli plants (*Capsicum annuum* L.) grown on artificially contaminated soil. *Nature Environment & Pollution Technology*, 20(1).
- Antonious, G.F., 2016. Distribution of seven heavy metals among hot pepper plant parts. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 51(5): 309-315.
- Aytop, Y., Akbay, C., 2018. Baharatlık kırmızı biber (maraş biberi) üretiminin ekonomik analizi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 5(4): 455-464.
- Bukhari, S.A.H., Wang, R., Wang, W., Ahmed, I.M., Zheng, W., Cao, F., 2016. Genotype-dependent effect of exogenous 24-epibrassinolide on chromium-induced changes in ultrastructure and physicochemical traits in tobacco seedlings. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(18): 18229-18238.

- Choudhary, S.P., Kanwar, M., Bhardwaj, R., Gupta, B.D., Gupta, R.K., 2011. Epibrassinolide ameliorates Cr (VI) stress via influencing the levels of indole-3-acetic acid, abscisic acid, polyamines and antioxidant system of radish seedlings. *Chemosphere*, 84(5): 592-600.
- Christou, A., Georgiadou, E.C., Zissimos, A.M., Christoforou, I.C., Christofi, C., Neocleous, D., Fotopoulos, V., 2021. Uptake of hexavalent chromium by tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants and mediated effects on their physiology and productivity, along with fruit quality and safety. *Environmental and Experimental Botany*, 189: 104564.
- FAOSTAT, 2020. Food and agriculture organization of the United Nations. FAOSTAT Statistics Database (Erişim Tarihi: 09.05.2022).
- Fendorf, S., La Force, M.J., Li, G., 2004. Temporal changes in soil partitioning and bioaccessibility of arsenic, chromium, and lead. *Journal of Environmental Quality*, 33(6): 2049-2055.
- Gill, R.A., Zang, L., Ali, B., Farooq, M.A., Cui, P., Yang, S., Zhou, W., 2015. Chromium-induced physio-chemical and ultrastructural changes in four cultivars of *Brassica napus* L. *Chemosphere*, 120: 154-164.
- Golovatyj, S.E., Bogatyreva, E.N., 1999. Effect of levels of chromium content in a soil on its distribution in organs of corn plants. *Soil Research and Use of Fertilizers*, 197-204.
- Gropper, S.S., Smith, J.L., 2012. Advanced nutrition and human metabolism. Cengage Learning.
- Howe, J.A., Loeppert, R.H., DeRose, V.J., Hunter, D.B., Bertsch, P.M., 2003. Localization and speciation of chromium in subterranean clover using XRF, XANES, and EPR spectroscopy. *Environmental Science & Technology*, 37(18): 4091-4097.
- Hua, Y., Clark, S., Ren, J., Sreejayan, N., 2012. Molecular mechanisms of chromium in alleviating insulin resistance. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 23(4): 313-319.
- Kabata-Pendias, A., 2011. Trace elements in soils and plants. 4th edn CRC Press. Boca Raton.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal Şireli, G., Güven, A., Timur, S.İ., 2003. Metallerin çevresel etkileri I. *Tmmob Metalurji Mühendisleri Odası Metalurji Dergisi*, 136: 47-53.
- Karimah, S., Saefumillah, A., Maimulyanti, A., 2021. Bioavailability of chromium in spiked soil by sequential extraction and its absorption in *Amaranthus hybridus*. In *AECon 2020: Proceedings of The 6th Asia-Pacific Education And Science Conference*, 19-20 December, Purwokerto, Indonesia pp. 195.
- Lindsay, W.L., Norvell, W., 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3): 421-428.
- Mertz, W., Angino, E.E., Cannon, H.L., Hambidge, K.M., Voors, A.W., 1974. Chromium in geochemistry and the environment.
- Mikuła, W., Indeka, L., 1997. Heavy metals in allotment gardens close to an oil refinery in Płock. *Water, Air, and Soil Pollution*, 96(1): 61-71.
- Moral, R., Pedreno, J.N., Gomez, I., Mataix, J., 1995. Effects of chromium on the nutrient element content and morphology of tomato. *Journal of Plant Nutrition*, 18(4): 815-822.

- Nunes, R.R., Pigatin, L.B.F., Oliveira, T.S., Bontempi, R.M., Rezende, M.O.O., 2018. Vermicomposted tannery wastes in the organic cultivation of sweet pepper: growth, nutritive value and production. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 7(4): 313-324.
- Shanker, A.K., Djanaguiraman, M., Venkateswarlu, B., 2009. Chromium interactions in plants: current status and future strategies. *Metallomics*, 1(5): 375-383.
- Sharma, A., Kapoor, D., Wang, J., Shahzad, B., Kumar, V., Bali, A.S., Yan, D., 2020. Chromium bioaccumulation and its impacts on plants: an overview. *Plants*, 9(1): 100.
- Thampi, P.S.S., 2003. A glimpse of the world trade in Capsicum. Capsicum: the genus Capsicum. Taylor and Francis, London, 16-24.
- Tiwari, K.K., Dwivedi, S., Singh, N.K., Rai, U. N., Tripathi, R.D., 2009. Chromium (VI) induced phytotoxicity and oxidative stress in pea (*Pisum sativum* L.): biochemical changes and translocation of essential nutrients. *Journal of Environmental Biology*, 30(3): 389-394.
- Trebolazabala, J., Maguregui, M., Morillas, H., García-Fernandez, Z., de Diego, A., Madariaga, J.M., 2017. Uptake of metals by tomato plants (*Solanum lycopersicum*) and distribution inside the plant: field experiments in Biscay (Basque Country). *Journal of Food Composition and Analysis*, 59: 161-169.
- TÜİK, 2021. Türkiye İstatistik Kurumu. (Erişim tarihi 09.05.2022).
- Vernay, P., Gauthier-Moussard, C., Jean, L., Bordas, F., Faure, O., Ledoigt, G., Hitmi, A., 2008. Effect of chromium species on phytochemical and physiological parameters in *Datura innoxia*. *Chemosphere*, 72(5): 763-771.
- WHO (World Health Organization). 1996. Trace elements in human nutrition and health. World Health Organization.
- Zayed, A., Lytle, C.M., Qian, J.H., Terry, N., 1998. Chromium accumulation, translocation and chemical speciation in vegetable crops. *Planta*, 206(2): 293-299.
- Zeng, F., Qiu, B., Ali, S., Zhang, G., 2010. Genotypic differences in nutrient uptake and accumulation in rice under chromium stress. *Journal of Plant Nutrition*, 33(4): 518-528.
- Zengin, F.K., 2006. Fasulye fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike) kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine nikel (Ni^{+2}) ve krom'un (Cr^{+3}) etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 16(1): 49-56.

Atıf Şekli

İnci, H.Ş., Akıncı, S., 2023. Kırmızıbiberde Bitki Organları Arasında Krom (Cr) Elementinin Birikim ve Dağılımının İncelenmesi. *ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi*, 7(3): 558-571.
DOI: <https://doi.org/10.18016/10.5281/zenodo.8307845>.

To Cite

İnci, H.Ş., Akıncı, S., 2023. Investigation of Accumulation and Distribution of Chromium (Cr) Element Among Plant Organs in Red Pepper. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 7(3): 558-571.
DOI: <https://doi.org/10.18016/10.5281/zenodo.8307845>.