

**Article Arrival Date**

18.05.2020

**Article Type**

Research Article

**Article Published Date**

12.06.2020

**Doi Number:** <http://dx.doi.org/10.38063/ejons.253>

## HUMİK ASİT VE SİTRİK ASİT UYGULAMALARININ KROM İLE KİRLENMİŞ TOPRAKLARDA BİBERİYE (*Rosmarinus Officinalis*) BİTKİSİNİN FİTOREMEDİASYONU

**Abdullah EREN**

Artuklu Üniversitesi, Kızıltepe MYO, Organik Tarım Bölümü, Mardin/Türkiye  
abdullaheren@artuklu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1187-7978

### ÖZET

Bu çalışmada, krom (Cr) ile kirlenmiş olan topraklarda, sitrik asit (0.005 mM) ve humik asit (%2) uygulamaları ile topraklarda çok yıllık biberiye (*Rosmarinus officinalis*) bitkisi yetiştirilerek topraklardaki Cr metalinin temizleyebilme yetenekleri araştırılmıştır. Sera koşullarında, deneme toprağına; 0, 50, 100, 150 ve 200 mg Cr kg<sup>-1</sup> Cr(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> formunda ve 0.005 mM sitrik asit (S.A.) (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>) ile % 2 humik asit (H.A.) uygulanarak 1 ay süre ile kontrollü koşullarda inkübasyona bırakılmıştır. Krom ile kirlenmiş topraklarda biberiye bitkisi 45 gün, 3 tekerrürlü ve faktöriyel deneme desenine göre uygulanmıştır. Bitkilerde başta biyokütle üretimi olmak üzere, Cr konsantrasyonu, Cr içeriği, bazı makro [azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K)] ve mikro [demir (Fe), çinko (Zn), mangan (Mn) ve bakır (Cu)] besin elementi konsantrasyonları ölçülmüştür. Analizler sonucunda toprağına S.A. ve H.A. uygulamaları ile bitkilerde Cr alımı kontrol uygulamalarına (0 mg Cr kg<sup>-1</sup>) göre artış olduğu (Cr + H.A. > Cr + S.A. > Cr) belirlenmiştir. Farklı dozlardaki Cr uygulamaları sonucunda, S.A. ve H.A. uygulaması yapılmayan Cr denemesinde biberiye bitkisinde en yüksek Cr içeriği 150 mg Cr kg<sup>-1</sup> saksılarda 75.0 µg Cr bitki<sup>-1</sup>, sitrik asit uygulaması yapılan 100 mg Cr kg<sup>-1</sup> + S.A. saksılarda 89.6 µg Cr bitki<sup>-1</sup> ve humik asit uygulaması yapılan 100 mg Cr kg<sup>-1</sup> + H.A. saksılarda ise 93.3 µg Cr bitki<sup>-1</sup> elde edilmiştir.

387

**Anahtar kelimeler:** Toprak kirliliği, krom, sitrik asit, humik asit, *Rosmarinus officinalis*

## PHYTOREMEDIATION OF HUMIC ACID AND CITRIC ACID APPLICATIONS OF ROSEMARY (*Rosmarinus Officinalis*) PLANT IN CHROMED SOILS

### ABSTRACT

In this study, the ability to clean Cr metal in the soil was investigated by cultivating perennial rosemary (*Rosmarinus officinalis*) plants in soils contaminated with chromium (Cr) through citric acid (0.005 mM) and humic acid (2%) applications. In the greenhouse conditions; 0, 50, 100, 150 and 200 mg Cr kg<sup>-1</sup> Cr(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> form and 0.005 mM citric acid (C.A.) (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>) and 2% humic acid (H.A.) were applied to the the test soil for incubation for 1 month under controlled conditions. In the soil contaminated with chromium, the rosemary plant was applied for 45 days according to 3 repetitive and factorial experimental patterns. In plants, biomass production being in the first place; Cr concentration, Cr content, some macro [nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K)] and micro [iron (Fe), zinc (Zn), manganese (Mn) and copper (Cu)] nutrient concentrations were measured. After the analysis, it was determined that together with C.A. and H.A. applications, Cr intake has increased in plants compared to control (0 mg Cr kg<sup>-1</sup>) groups (Cr + H.A. > Cr + C.A. > Cr). As a result of Cr applications in different doses, in the Cr trial without C.A. and H.A.

application, the highest Cr content in the rosemary plant is 150 mg in Cr kg<sup>-1</sup> pots, 75.0 µg Cr plant<sup>-1</sup> in citric acid application 100 mg Cr kg<sup>-1</sup> + C.A. pots 93.3 µg Cr plant<sup>-1</sup> was obtained in 89.6 µg Cr plant<sup>-1</sup> and humic acid application 100 mg Cr kg<sup>-1</sup> + H.A. pots.

**Key words:** Soil pollution, chromium, citric acid, humic acid, *Rosmarinus officinalis*

## 1. GİRİŞ

Günümüzde topraklar ağır metal kirliliği nedeniyle önemli çevresel problemlerin başında yer almaktadır. Ağır metaller çeşitli metal işleme, çelik kaplama, boyama, tekstil, nükleer sektörlerin faaliyetleri, pestisit, inorganik gübre kullanımı ve boya sanayisi gibi birçok endüstriyel faaliyetler nedeniyle, toprak ve yeraltı sularını kirletmektedir (Shanker ve ark., 2005; Gupta ve ark., 2009). Ayrıca, doğal yollarla da, toprak erozyonu, volkanik aktiviteler ve atmosferik partiküller nedeni ile kirlilik meydana gelebilmektedir (Gürel ve ark., 2018).

Ağır metallerin toprakta birikmesi, toprak verimliliği ve ekosistem fonksiyonları dışında, besin zinciri yoluyla insan ve hayvan sağlığı üzerinde de önemli etkileri vardır. Bitki bünyesine ulaşan ağır metaller bitkilerin fizyolojik aktivitelerini engellemekte, üründe kalite ve miktarının azalmasına neden olmaktadır (Asri ve Sönmez 2006; Dağhan ve ark., 2010; Ali ve ark., 2011; Amin ve ark., 2014).

Krom fitotoksitesi özellikle, tohum çimlenmesi, fide gelişimini inhibe etme, fotosentetik pigmentlerde bozulma, antioksidant enzimlerin aktivitesi, su ve besin dengesini olumsuz etkilemektedir (Yıldız ve ark., 2011; Akçin, 2019). Krom (Cr), kurşun (Pb), cıva (Hg) ve kadmiyum (Cd) gibi bazı ağır metaller, yüksek konsantrasyonlarda bitki gelişimini olumsuz etkilemektedir (Najafian ve ark., 2012). Krom, yeryüzünde en çok bulunan yedinci elementtir (Chandra ve ark., 1997; Cervantes ve ark., 2001). Bitkilerde kuru maddede, >100 mg kg<sup>-1</sup> üzerinde Cr bulunması bitkiler için toksik etki göstermektedir (Özbek ve ark., 1995).

Biyolojik yöntemlerden fitoremediasyon, toprak kirliliğine neden olan metalin, bitki kökleri yolu ile alınarak bitkinin yeşil aksamına taşınması ve biriktirmesidir. Fitoremediasyon yöntemi diğer yöntemlere (fiziksel ve kimyasal) göre daha ucuz, çevre dostu ve kolay uygulanabilir bir yöntem olmasından dolayı tercih edilmektedir (Dağhan 2016).

Bu araştırmanın amacı, toprak kültürü ortamında seralarda kurulan saksılarda, Cr metalinin 5 farklı dozu (0, 50, 100, 150 ve 200 mg kg<sup>-1</sup>) ile beraber sitrik asit (0.005 mM) ve humik asit (% 2) uygulanan saksılarda yetiştirilen biberiye bitkisinin fitoremediasyon kapasitesini belirlemektir. Ayrıca artan Cr uygulamalarının biberiye bitkisinin, biyomas üretimi, Cr konsantrasyonu, Cr içeriği, makro ve mikro besin elementine etkisini ortaya koymaktır.

## 2. MATERYAL ve YÖNTEM

### 2.1. Bitki Materyali

Denemede bitki materyali olarak biberiye (*Rosmarinus officinalis*) bitkisi kullanılmıştır. İğne uçlu, küçük yapraklı olan bu bitki *Lamiaceae* ailesindedir. Yaklaşık 1-2 m boylanabilen bitki, kışın yapraklarını dökmeyen kâfur ya da okalıptüs kokusu gibi güçlü bir aromaya sahiptir (Çoban ve Patır 2010). Biberiye bitkisi çelik alma yöntemi ile 3 ay süre ile köklendirildikten sonra saksılara ekimi yapılmıştır.

### 2.2. Toprak Materyali

Saksı denemesinde kullanılan toprağın pH'sı hafif alkalın (7.52) yapıya sahip olan ve Jackson (1967) tarafından belirtildiği şekilde 0-30 cm derinlikten alınmıştır. Mardin ili, Artuklu ilçesi sınırları içerisinde yer alan araziden alınan toprak örneği kurutulduktan sonra 4 mm'lik elekten geçirilmiş ve

saksılara doldurulmuştur. Mardin büyükşehir belediyesine bağlı seralarda yürütülen deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları; bünye, killi-tınlı (Bouyoucus, 1952), Tuz % 18 (Soil Survey Staff, 1951), Kireç ( $\text{CaCO}_3$ ) % 8.2 (Loeppert ve ark., 1996), Organik madde % 2.02 (Kacar, 1995), Tarla Kapasitesi % 29.4 (Alpaslan ve ark., 1998), Toplam N % 1.08 (Bremner ve Mulvaney, 1982), Alınabilir P 12.6  $\text{P}_2\text{O}_5$  (Olsen, 1954), Alınabilir K % 80.1  $\text{K}_2\text{O}$  (Richards, 1954) ve DTPA ile ekstrakte edilebilir Cr, Mn, Zn, Fe, Cu sırası ile 0.270, 4.24, 58.7, 6.15, 20.7  $\text{mg kg}^{-1}$  Lindsay ve Norvell (1978)'e göre belirlenmiştir.

### 2.3. Yöntem

Deneme, (3 tekerrür x 3 uygulama (Cr, Cr + S.A. ve Cr + H.A.) x 5 doz) 45 adet saksıda, faktöriyel deneme desenine göre kurulmuştur. Deneme sonunda bitkiler toprak yüzeyinin yaklaşık 1 cm üzerinden hasat edilip saf suyla yıkanarak, kurutma dolabında 65 °C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Daha sonra bitkilerin kuru ağırlıkları alınarak bitki analizleri için öğütülmüştür. Deneme sonuçları tüm bitki olarak değerlendirilmiştir. Öğütülen bitki örnekleri nitrik asit ( $\text{HNO}_3$ ) ile mikro dalga fırında (MarsXpress CEM) çözünürleştirilerek, Cr, P, K, Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonları, İndüktif Eşleşmiş Plazma-Atomik Emisyon Spektrometre (ICP-AES) cihazında ölçülmüştür.

### 2.4. Verilerin değerlendirilmesi

Deneme sonucunda elde edilen veriler SPSS 22.0 istatistiksel analiz programı kullanılarak ve Bek (1986)'e göre Duncan testi uygulanarak gruplandırılmıştır.

## 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Artan Cr uygulamalarının biberiye bitkisinde kuru ağırlık, Cr konsantrasyonu ve Cr içeriğine ait varyans analiz sonuçlarına göre  $p \leq 0.01$  düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Artan Cr dozlarına bağlı olarak, kuru ağırlık miktarı en düşük 1.53  $\text{g bitki}^{-1}$  ile 200  $\text{mg Cr kg}^{-1}$  + S.A uygulamalarından, en yüksek 3.28  $\text{g bitki}^{-1}$  ise kontrol (0  $\text{mg Cr kg}^{-1}$ ) + S.A uygulamalarından, Cr konsantrasyonuna etkisi 0.31-47.0  $\text{mg kg}^{-1}$  arasında değişmiş olup, en düşük kontrol (0  $\text{mg Cr kg}^{-1}$ ) uygulamalarından, en yüksek 150  $\text{mg Cr kg}^{-1}$  + H.A uygulamalarından, bitkilerde Cr içeriğine bakıldığında ise 0.80-93.3  $\mu\text{g bitki}^{-1}$  arasında olduğu ve en yüksek 93.3  $\mu\text{g bitki}^{-1}$  ile 100  $\text{mg Cr kg}^{-1}$  + H.A uygulamalarından elde edilmiştir (Çizelge 1). Skeffington ve ark. (1976) tarafından, 100  $\mu\text{M Cr(III)}$ 'e maruz bırakılan arpa bitkisinin biyokütle birikiminde % 40'lık bir azalma, Cr(VI) konsantrasyonunda ise sürgün ve kökte % 70 ile % 90'lık bir azalmaya neden olduğu bildirilmiştir. Artan dozlarda Cr uygulanan ve arpa bitkisi yetiştirilen topraklarda, bitki kök ve sürgünlerde Cr alımında artışa neden olmuştur (Ali ve ark., 2004). Etilen diammin tetraasetik asit (EDTA) uygulaması yapılan topraklarda Cr metalinin bitkiler tarafından alımı artmaktadır (Adiloğlu ve ark., 2015; Göker, 2019). Toprağa uygulanan, EDTA, sitrik, tartarik ve humik asit gibi düzenleyicilerin, bitkilerde ağır metal alımında artışa neden olmaktadır (Eren, 2019a; Eren, 2019b).

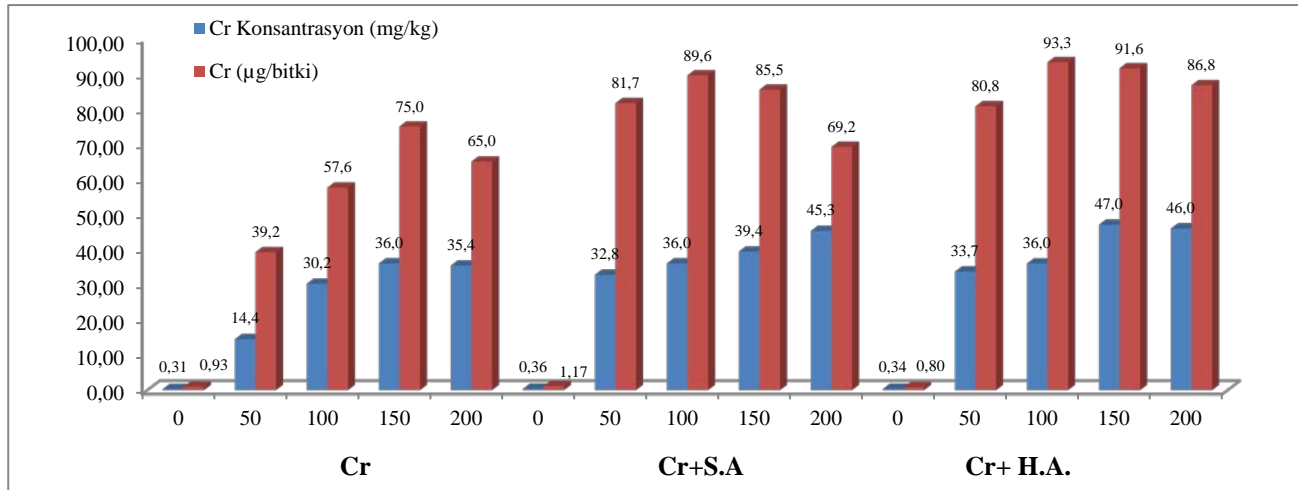
**Çizelge 1.** Krom uygulamalarının biberiye bitkisinde kuru ağırlık, Cr konsantrasyonu ve Cr içerikleri üzerine etkisi

Bitki	Uygulama	Doz (mg Cr kg <sup>-1</sup> )	Kuru Ağırlık (g bitki <sup>-1</sup> )	Cr (mg kg <sup>-1</sup> )	Cr İçeriği (µg bitki <sup>-1</sup> )
Biberiye ( <i>Rosmarinus officinalis</i> )	Cr	0	2.96 b	0.31 f	0.93 h
		50	2.72 bc	14.4 e	39.2 g
		100	1.91 gh	30.2 d	57.6 f
		150	2.08 f-h	36.0 c	75.0 de
		200	1.84 h	35.4 c	65.0 ef
	Cr + S.A. (0.005 mM)	0	3.28 a	0.36 f	1.17 h
		50	2.50 cd	32.8 cd	81.7 b-d
		100	2.49 cd	36.0 c	89.6 a-c
		150	2.17 e-g	39.4 b	85.5 a-c
		200	1.53 ı	45.3 a	69.2 e
	Cr + H.A. (% 2)	0	2.37 d-f	0.34 f	0.80 h
		50	2.40 de	33.7 c	80.8 cd
		100	2.60 cd	36.0 c	93.3 a
		150	1.95 gh	47.0 a	91.6 ab
		200	1.90 gh	46.0 a	86.8 a-c
F			30.7**	311.72**	144.1**

390

(\*\*) p&lt;0.01 hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

Krom uygulamalarının biberiye bitkisindeki Cr (mg kg<sup>-1</sup>) konsantrasyonu ve Cr içerikleri (µg bitki<sup>-1</sup>) üzerine etkisi Şekil 1'de verilmiştir.

**Şekil 1.** Krom uygulamalarının biberiye bitkisindeki Cr konsantrasyonu ve Cr içerikleri üzerine etkisi

Farklı dozlarda Cr uygulamalarının biberiye bitkisinde N, P ve K konsantrasyonlarına ait varyans analiz sonuçlarına göre  $p \leq 0.01$  düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Krom uygulamalarının N üzerine etkisi, en düşük  $1.85 \text{ g kg}^{-1}$  ve en yüksek  $3.79 \text{ g kg}^{-1}$ , P üzerine etkisi ise en düşük  $28.3 \text{ mg kg}^{-1}$  ve en yüksek  $58.1 \text{ mg kg}^{-1}$  konsantrasyonları elde edilmiştir. Azot ve P konsantrasyonlarının en düşük  $200 \text{ mg Cr kg}^{-1} + \text{S.A.}$  uygulamalarından, en yüksek değerler ise Cr uygulaması yapılmayan kontrol ( $0 \text{ mg Cr kg}^{-1}$ ) + H.A. uygulamalarından elde edilmiştir. Krom uygulamalarının K konsantrasyonuna etkisi,  $764\text{-}1182 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında değişim göstermiş, en düşük  $200 \text{ mg Cr kg}^{-1} + \text{H.A.}$  uygulamalarından, en yüksek kontrol ( $0 \text{ mg Cr kg}^{-1}$ ) + S.A. uygulamalarından elde edilmiştir. Azot, P ve K konsantrasyonları Cr metalinin artan dozlarına karşı azalma göstermiştir (Çizelge 2). Topraklardaki Cr metalinin varlığı nedeniyle bitkilerde N alımı ve asimilasyonunu olumsuz etki ettiğinden, protein azotunda azalmaya neden olmaktadır (Sharma ve ark.,1995; Kumar ve Joshi 2008; Gangwar ve Singh, 2011; Sangwan ve ark., 2014). Vajpayee ve ark. (1999), *Nelumbo nucifera* bitkisinde Cr (50 ve  $200 \mu\text{M}$ ) dozlarının, protein üzerine etkisinin nitrat redüktazda azalmaya neden olduğunu belirtmiştir. Topraklarda Cr dozlarının ( $10$  ve  $40 \text{ mg kg}^{-1}$ ) artması ile *brassica juncea* bitkisinin sürgün sisteminde N, P, K ve Fe konsantrasyonlarını azalttığını Ghani, (2011) belirtmiştir. Mısır bitkisinde yapılan başka bir araştırmada, EDTA uygulamaları ile birlikte bitkilerde P, K, Ca, Mg ve S konsantrasyonlarında azalma olduğu belirlenmiştir (Göker, 2019).

**Çizelge 2.** Krom uygulamalarının biberiye bitkisinde N, P ve K konsantrasyonları üzerine etkisi

Bitki	Uygulama	Doz ( $\text{mg Cr kg}^{-1}$ )	N ( $\text{g kg}^{-1}$ )	P ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	K ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
Biberiye ( <i>Rosmarinus officinalis</i> )	Cr	0	3.31 b	54.7 ab	1014 bc
		50	2.24 e	44.9 cd	1001 b-d
		100	2.33 de	44.3 cd	947 c-e
		150	2.55 de	33.9 ef	934 de
		200	2.25 e	32.7 ef	898 ef
	Cr + S.A. (0.005 mM)	0	3.22 b	56.2 a	1182 a
		50	3.06 b	48.8 a-d	946 c-e
		100	3.05 b	52.4 a-c	853 fg
		150	2.66 cd	41.2 de	813 gh
		200	1.85 f	28.3 f	778 h
	Cr + H.A. (% 2)	0	3.79 a	58.1 a	1030 b
		50	3.19 b	46.1 b-d	993 b-d
		100	2.38 de	43.7 cd	830 f-h
		150	2.94 bc	43.7 cd	948 c-e
		200	2.32 de	29.8 f	764 h
F		23.7**	11.8**	28.2**	

(\*\*)  $p \leq 0.01$  hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli

Krom uygulamalarının biberiye bitkisinde Fe, Zn, Mn ve Cu konsantrasyonlarına ait varyans analiz sonuçlarına göre  $p \leq 0.01$  düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Artan dozlarda Cr'nin, Fe üzerine etkisi  $36.5-66.0 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında değişim göstermiş olup, en düşük konsantrasyon  $200 \text{ mg Cr kg}^{-1} + \text{H.A.}$  ve en yüksek konsantrasyon ise kontrol ( $0 \text{ mg Cr kg}^{-1}$ ) + S.A. uygulamalarından, Zn üzerine etkisi,  $0.51-0.87 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında değişim göstermiş olup, en düşük konsantrasyon  $200 \text{ mg Cr kg}^{-1} + \text{S.A.}$  ve en yüksek ise  $50 \text{ mg Cr kg}^{-1} + \text{H.A.}$  uygulamalarından, Mn üzerine etkisi,  $2.60-5.41 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında değişim göstermiş olup, en düşük konsantrasyon  $200 \text{ mg Cr kg}^{-1}$  uygulamalarından, en yüksek ise kontrol ( $0 \text{ mg Cr kg}^{-1}$ ) + H.A. uygulamalarından, Cu üzerine etkisi,  $0.33-0.61 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında değişim göstermiş olup, en düşük konsantrasyon  $200 \text{ mg Cr kg}^{-1} + \text{S.A.}$  ve  $200 \text{ mg Cr kg}^{-1} + \text{H.A.}$  uygulamalarından, en yüksek ise kontrol ( $0 \text{ mg Cr kg}^{-1}$ ) + H.A. uygulamalarından elde edilmiştir (Çizelge 3). Santana ve ark. (2012), *Genipa americana* L. fidelerinde artan Cr dozlarının ( $15$  ve  $30 \text{ mg Cr}^{+3} \text{ L}^{-1}$ ), Fe konsantrasyonlarını azalttığını belirtmiştir. *Brassica oleracea* L. var. Botrytis cv. Maghi bitkisinde yapılan araştırmada, Cr  $0.5 \text{ mM}$  uygulamalarının, bitkilerde Fe, Zn, Mn ve Cu üzerine etkisi, kontrol bitkilerine göre azalmaya neden olmuştur (Chatterjee ve Chatterjee, 2000).

**Çizelge 3.** Krom uygulamalarının biberiye bitkisinde Fe, Zn, Mn ve Cu konsantrasyonları üzerine etkisi

Bitki	Uygulama	Doz ( $\text{mg Cr kg}^{-1}$ )	Fe	Zn	Mn	Cu
			(mg kg <sup>-1</sup> )			
Biberiye ( <i>Rosmarinus officinalis</i> )	Cr	0	61.5 ab	0.77 a-d	4.45 bc	0.58 ab
		50	55.4 b-d	0.66 c-e	3.38 e-g	0.50 bc
		100	54.6 b-d	0.65 c-e	2.89 gh	0.44 c-e
		150	49.6 c-e	0.62 de	3.19 gh	0.42 c-f
		200	42.6 ef	0.61 de	2.60 h	0.39 e-g
	Cr + S.A. (0.005 mM)	0	66.0 a	0.85 ab	4.97 ab	0.58 ab
		50	61.1 ab	0.68 b-e	4.17 c	0.48 cd
		100	58.5 a-c	0.83 a-c	3.93 c-e	0.41 d-g
		150	50.9 c-e	0.53 e	3.83 c-f	0.38 e-g
		200	46.4 de	0.51 e	3.26 fg	0.33 g
Cr + H.A. (% 2)	0	65.6 a	0.82 a-c	5.41 a	0.61 a	
	50	44.2 ef	0.87 a	4.40 bc	0.45c-e	
	100	55.2 b-d	0.64 de	3.45 d-g	0.38 e-g	
	150	57.3 a-c	0.75 a-d	4.03 cd	0.35 fg	
	200	36.5 f	0.56 e	3.01 gh	0.33 g	
F		11.3**	4.96**	20.3**	13.9**	

(\*\*)  $p \leq 0.01$  hata sınırları içinde istatistiksel olarak önemli



#### 4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu araştırmada toprağa uygulanan farklı Cr (0, 50, 100, 150 ve 200 mg kg<sup>-1</sup>) dozları ile birlikte, 0.005 mM sitrik asit ve % 2 humik asit uygulamaları ile yetiştirilen biberiye bitkisinin gelişimi sonucu, bütün uygulamalarda (Cr, Cr + S.A ve Cr + H.A.) bitkilerin biyokütle ağırlığında genel olarak azalmaya neden olduğu, bitkilerdeki Cr içeriğinin en yüksek H.A. varlığında ve 100 mg Cr kg<sup>-1</sup> uygulamasında 93.3 µg bitki<sup>-1</sup> Cr akümüle ettiği belirlenmiştir. Ağır metallerle kirlenmiş alanlarda fitoremediasyon yöntemi ile birlikte toprağa uygulanan organik asitlerin yardımı ile bitkilerin topraktan daha fazla ağır metal biriktirdiği belirlenmiştir. Kısa sürede yetiştirilen (45 gün) biberiye bitkisinin, daha uzun süreli yetiştirme koşullarının denenmesi sonucu Cr ile kirlenmiş alanlarda fitoremediasyon yönteminde kullanılabilir bitkiler arasında yer alacağı düşünülmektedir.

#### KAYNAKLAR

- Adiloğlu, S., Adiloğlu, A., Açıkgöz, F.E., Yeniaras, T., ve Solmaz, Y. 2015. Labada (*Rumex Patientia* L.) bitkisinin fitoremediasyonda kullanım kapasitesinin araştırılması. NKUBAP.00.24.AR.14.03, Araştırma Projesi, Namık Kemal Üniversitesi.
- Akçın, A. 2019. Bir ekmeklik buğday çeşidinde (*triticum aestivum* L. cv. ceyhan 99) krom stresine karşı fulvik asitin etkileri. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(2): 655-665.
- Ali, N.A., Ater, M., Sunahara, G.I., and Robidoux, P.Y. 2004. Phytotoxicity and bioaccumulation of copper and chromium using barley (*Hordeum vulgare* L.) in spiked artificial and natural forest soils. Ecotoxicology and environmental safety, 57(3): 363-374.
- Ali, S., Zeng, F., Qiu, L. and Zhang, G. 2011. The effect of chromium and aluminum on growth, root morphology, photosynthetic parameters and transpiration of the two barley cultivars. Biologia Plantarum, 55(2): 291-296.
- Alpaslan, M., Güneş, A. ve İnal, A. 1998. Deneme Tekniği. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayın No:1502, 455s.
- Amin, H., Arain, B.A., Amin, F. and Surhio, M.A. 2014. Analysis of growth response and tolerance index of *Glycine max* (L.) Merr. under hexavalent chromium stress. Advancements in Life Sciences, 1(4): 231-241.
- Asri, F.Ö. ve Sönmez, S. 2006. Ağır metal toksisitesinin bitki metabolizması üzerine etkileri. Derim, 23(2): 36-45.
- Bek, Y. 1986. Araştırma ve Deneme Metotları. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Ders Notu, Yayın No: 92, Adana.
- Bouyoucos, G.J. 1951. A recalibration of hydrometer for making mechanical analysis of soils. Agronomy Journal, 43(9): 434-438.
- Bremner, J.M. and Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen-Total 1. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methodsofsoilan2), pp.595-624.
- Cervantes, C., Campos-García, J., Devars, S., Gutiérrez-Corona, F., Loza-Tavera, H., Torres-Guzmán, J.C. and Moreno-Sánchez, R. 2001. Interactions of chromium with microorganisms and plants. FEMS microbiology reviews, 25(3): 335-347.
- Chandra, P., Sinha, S. and Rai, U.N. 1997. Bioremediation of chromium from water and soil by vascular aquatic plants. American Chemical Society, pp. 274-282.
- Chatterjee, J. and Chatterjee, C. 2000. Phytotoxicity of cobalt, chromium and copper in cauliflower. Environmental pollution, 109(1): 69-74.

- Çoban, Ö.E. ve Patır, B. 2010. Antioksidan etkili bazı bitki ve baharatların gıdalarda kullanımı. Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 5(2): 7-19.
- Daghan, H., Arslan, M., Uygur, V., Koleli, N., and Eren, A. 2010. The cadmium phytoextraction efficiency of ScMTII gene bearing transgenic tobacco plant. Biotechnology & Biotechnological Equipment, 24(3): 1974-1978.
- Dağhan, H. 2016. *Tagetes patula* L. bitkisinin fitoremediasyon amaçlı kullanım potansiyelinin su kültürü koşullarında araştırılması. Toprak Su Dergisi, 5(2): 25-31.
- Eren, A. 2019a. Phytoextraction of nickel contaminated soil with citric acid and humic acid treatments using rosemary (*Rosmarinus officinalis*) plant. International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources, 19(4): 89-94.
- Eren, A. 2019b. Use of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) plant in phytoextraction of cadmium contaminated soil through citric acid and humic acid treatments. International conference on agriculture, animal science and rural development-III, 1013-1028.
- Gangwar, S. and Singh, V.P. 2011. Indole acetic acid differently changes growth and nitrogen metabolism in *Pisum sativum* L. seedlings under chromium (VI) phytotoxicity: implication of oxidative stress. Scientia horticulturae. 129(2): 321-328.
- Ghani, A. 2011. Effect of chromium toxicity on growth, chlorophyll and some mineral nutrients of *brassica juncea* L. Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, H. Botany, 2(1): 9-15.
- Göker, M. 2019. Topraklarda krom ağır metalinin mısır (*zea mays* L.) bitkisi kullanılarak fitoremediasyon tekniği ile giderilmesi, Yüksek lisans tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- Gupta, S., Srivastava, S. and Saradhi, P.P. 2009. Chromium increases photosystem 2 activity in *Brassica juncea*. Biologia plantarum. 53(1): 100-104.
- Gürel, N.O., Çavuşoğlu, K. ve Yalçın, E. 2018. *Allium cepa* L.'da krom ( $K_2Cr_2O_7$ )'un toksik etkilerinin araştırılması. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 7(3): 146-158.
- Jackson, M.L. 1967. Soil Chemical Analysis. Prentice Hall of India Private Limited. New Delhi.
- Kacar, B. 1995. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri, III. Toprak Analizleri. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları No: 3, Ankara, 704s.
- Kumar, S. and Joshi, U.N. 2008. Nitrogen metabolism as affected by hexavalent chromium in sorghum (*Sorghum bicolor* L.). Environmental and Experimental Botany, 64(2): 135-144.
- Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil science society of America journal, 42(3): 421-428.
- Loeppert, R.H. and Suarez, D.L. 1996. Carbonate and gypsum. In Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods, 437-474. Edited by D.L. Sparks. Madison, Wisconsin, USA.
- Najafian, M., Kafilzadeh, F., Azad, H.N. and Tahery, Y. 2012. Toxicity of chromium (Cr) on growth. Ions and 6 Some Biochemical Parameters of *Brassica napus* L. World Applied Sciences Journal, 16(8): 1104-1109.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US Department of Agriculture Circular No: 939, Washinton, pp. 1-19.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M ve Kaptan, H. 1995. Toprak Bilimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fak. Genel Yayın No: 73 Ders Kitapları Yayın No:16, ADANA.
- Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United States Department of Agriculture Handbook 60, 94.



- Sangwan, P., Kumar, V. and Joshi, U.N. 2014. Effect of chromium(VI) toxicity on enzymes of nitrogen metabolism in clusterbean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). Enzyme Research. 2014, 1-9.
- Santana, K.B., de Almeida, A.A.F., Souza, V.L., Mangabeira, P.A., Silva, D.D.C., Gomes, F. P., ... and Loguercio, L.L. 2012. Physiological analyses of *Genipa americana* L. reveals a tree with ability as phytostabilizer and rhizofilterer of chromium ions for phytoremediation of polluted watersheds. Environmental and experimental botany, 80, 35-42.
- Shanker, A.K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H. and Avudainayagam, S. 2005. Chromium toxicity in plants. Environment international, 31(5): 739-753.
- Sharma, D.C., Chatterjee, C. and Sharma, C.P. 1995. Chromium accumulation and its effects on wheat (*Triticum aestivum* L. cv. HD 2204) metabolism. Plant Science, 111(2): 145-151.
- Skeffington, R.A., Shewry, P.R. and Peterson, P.J. 1976. Chromium uptake and transport in barley seedlings (*Hordeum vulgare* L.). Planta, 132(3): 209-214.
- Soil Survey Staff, 1951. Soil Survey Manual. U.S. Department of Agriculture, Handbook No, 18. U.S Government Print Office. Washington.
- Vajpayee, P., Sharma, S.C., Tripathi, R.D., Rai, U.N. and Yunus, M. 1999. Bioaccumulation of chromium and toxicity to photosynthetic pigments, nitrate reductase activity and protein content of *Nelumbo nucifera* Gaertn. Chemosphere, 39, 2159-2169.
- Yıldız, M., Terzi, H., ve Uruşak, B. 2011. Bitkilerde krom toksisitesi ve hücresel cevaplar. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 27(2): 163-176.