

Türkiye’de Ekimi Yapılan Bazı Arpa Çeşitlerinin Erken Fide Evresinde Krom(VI) Toleransı Üzerine Bir Ön Çalışma

Mustafa Yıldız^a, Behiye Uruşak^a ve Hakan Terzi^a

^aAfyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 03200, Afyonkarahisar
e-posta: mustafa_yildizus@yahoo.com, behiyeurusak@hotmail.com ve biyolokum@yahoo.com

Geliş Tarihi: 06.06.2011;

Kabul Tarihi: 20.06.2011

Özet

Bu araştırmada, Türkiye’de ekimi yapılan sekiz arpa (*Hordeum vulgare* L.) çeşidinin heksavalent kroma [Cr(VI)] karşı toleransı erken fide evresinde hidroponik kültür ortamında incelenmiştir. Sekiz arpa çeşidinin (Angora, Avcı-2002, Aydanhanım, Başgül, Bülbül-89, Orza-96, Tarm-92 ve Zeynelağa) gövde ve kök büyümesi üzerine farklı Cr(VI) konsantrasyonlarının (0, 75, 150 ve 225 µM) etkisi belirlenmiştir. Cr(VI) konsantrasyonunun artışına bağlı olarak arpa çeşitlerinin gövde ve kök uzunlukları, taze ve kuru ağırlıkları genellikle önemli düzeyde azalmıştır ($P<0.05$). Kuru ağırlığın bir sonucu olarak belirlenen Cr(VI) tolerans indeksi (%) en güvenilir kriter olarak değerlendirilmiştir. Cr(VI) tolerans indeksine göre en toleranslı arpa çeşidi Zeynelağa, en hassas arpa çeşidi ise Orza-96 olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arpa; Cr(VI); Büyüme; Tolerans

A Preliminary Study on Chromium(VI) Tolerance at Early Seedling Stage of Some Barley Cultivars Grown in Turkey

Abstract

In this research, hexavalent chromium [Cr(VI)] tolerance of eight barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars grown in Turkey was investigated at early seedling stage in hydroponic culture. The effect of different Cr(VI) concentrations (0, 75, 150 and 225 µM) on shoot and root growth of eight barley cultivars (Angora, Avcı-2002, Aydanhanım, Başgül, Bülbül-89, Orza-96, Tarm-92 and Zeynelağa) was determined. In general, the lengths, fresh and dry weights of shoots and roots of barley cultivars were significantly decreased with an increase in Cr(VI) concentrations ($P<0.05$). Cr(VI) tolerance index (%) determined as a result of dry weights was evaluated as the most reliable criterion. The most Cr-tolerant barley cultivar, Zeynelağa, and the most Cr-sensitive barley cultivar, Orza-96, were determined according to Cr(VI) tolerance index.

Key Words: Barley; Cr(VI); Growth; Tolerance

1. Giriş

Krom (Cr), dünyada en fazla bulunan yedinci elementtir (Cervantes vd., 2001). Kromun trivalent [kromik formu; Cr(III) veya Cr^{+3}] ve heksavalent [kromat formu; Cr(VI) veya Cr^{+6}] olarak adlandırılan çeşitli fitotoksik formları

bulunmaktadır. Cr(VI), en toksik form olup; kromat (CrO_4^{-2}) veya dikromat ($Cr_2O_7^{-2}$) oksianyonları şeklinde genellikle oksijen ile ilişkili olarak oluşmaktadır. Oldukça toksik olan Cr; membran zararlarına, organellerde yapısal değişimlere, metabolik aktivitede bozulmalara ve büyümede inhibisyona neden olmaktadır

(Kimbrough vd., 1999). Krom toksisitesinin domates, mısır (Toppi vd., 2002), arpa (Ali vd., 2004), fasulye (Hussain vd., 2006), çeltik (Panda, 2007), ekmeçlik buğday (Sharma vd., 1995; Subrahmanyam, 2008; Dey vd., 2009), bezelye (Pandey vd., 2009b) gibi birçok kültür bitkisinde, metabolizmayı etkileyerek büyümede inhibisyona neden olduğu bildirilmiştir.

Cr stresi, kök hücrelerinde plazmolize ve solmaya neden olarak bitki köklerini etkileyebilmektedir (McGrath, 1995). Yüksek krom konsantrasyonlarında kök büyümesindeki inhibisyon, besin ortamında kromun varlığında kökler tarafından suyun yeteri kadar alınamamasından kaynaklanmaktadır (Barcelo vd., 1986). Krom stresinin neden olduğu kök büyümesindeki inhibisyon kök hücrelerinin bölünmesi ve uzamasındaki inhibisyondan veya hücre döngüsünün uzamasından kaynaklanabilmektedir (Shanker vd., 2005). Bununla birlikte, kök hücrelerinin büyümesindeki inhibisyonun fotosentetik oran üzerine kromun primer etkisi olarak düşünülmektedir (Panda and Choudhury, 2005). Bitkilerde yüksek verim kuru ağırlık bakımından biyokütle üretiminde bir artıştır (Bishnoi vd., 1993). Krom, kloroplast ve mitokondrinin yapı ve işlevlerinde oksidatif zarara yol açarak kuru ağırlık üretimi üzerinde dolaylı bir etkiye sahiptir (Dixit vd., 2002; Subrahmanyam, 2008).

Bu çalışmada, Türkiye’de ekimi yapılan ve farklı Cr(VI) konsantrasyonlarına (0, 75, 150 ve 225 µM) maruz bırakılan sekiz arpa (*Hordeum vulgare* L.) çeşidinin erken fide evresinde Cr(VI) stresine karşı toleranslarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve metot

2.1 Çimlenme ve bitki yetiştirme koşulları

Bu çalışmada, Türkiye’de ekimi yapılan bazı arpa (*Hordeum vulgare* L.) çeşitlerine (Angora, Avcı-2002, Aydanhanım, Başgül, Bülbül-89,

Orza-96, Tarm-92, Zeynelağa) ait tohumların yüzey sterilizasyonu %5’lik sodyum hipokloritte (NaOCl) 15 dakika süreyle yapılmış ve 3 kez distile sudan geçirilmiştir. Steril edilen tohumlar 3 saat distile suda şişirildikten sonra kontrollü iklim kabininde ($25\pm 1^{\circ}\text{C}$, %60 nem), içerisinde distile su ile ıslatılmış iki kat filtre kağıdı bulunan çimlendirme kaplarında 3 gün süreyle karanlıkta çimlendirilmiştir. Bu süre sonunda, yaklaşık aynı koleoptil ve kök uzunluğuna sahip olan etiyole fideler hidroponik kültür ortamına transfer edilmiştir. Hidroponik kültür ortamında kullanılacak Cr(VI) konsantrasyonları ön denemeler sonucunda belirlenmiştir. Buna göre, en yüksek Cr(VI) konsantrasyonu (225 µM) değeri, fide büyümesinin önemli düzeyde inhibisyona uğradığı; fakat daha sonraki analizler için örneklemelerin yapılabileceği seviyede fide gelişiminin gözlemlendiği konsantrasyon değeri olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, düşük Cr(VI) konsantrasyonu (75 µM) değeri ise kontrol grubundan önemli düzeyde büyüme farklılığı gösteren fide gelişiminin gözlemlendiği konsantrasyon değeri olarak seçilmiştir. Bu iki konsantrasyon değeri arasında olacak şekilde 150 µM Cr(VI) konsantrasyonu da çalışmaya dahil edilmiştir. Hekzavalent krom [Cr(VI)] konsantrasyonları, ½ Hewitt besin çözeltisi ile hazırlanmış 75, 150 ve 225 µM potasyum dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) ile sağlanmıştır. Besin çözeltisinin pH’ı 0.1 N KOH kullanılarak 6.5’e ayarlanmış ve besin çözeltisi her iki günde bir yenilenmiştir. Hidroponik sisteme transfer edilen 3 günlük etiyole fideler, 25°C ’de ve 12 sa fotoperiyotta yaklaşık 13.000 lüks ışık şiddetinde (F15W/840, Cool White De Luxe, 950 lümen, 8 adet Sylvania Luxline Plus flüoresan lamba) 7 gün daha büyütülmüştür.

2.2 Büyüme deneyleri ve krom(VI) toleransının belirlenmesi

Üç-günlük etiyole fideler, farklı Cr(VI) konsantrasyonlarına (75, 150 ve 225 µM) 7 gün maruz bırakıldıktan sonra gövde (kök ile gövdenin

birleştiği noktadan ilk yaprağın ucuna kadar) ve en uzun embriyonal kök (kök ile gövdenin birleştiği noktadan en uzun embriyonal kökün ucuna kadar) uzunlukları ölçülmüştür. Uzunlukları ölçülen fidelerin toplam gövde ve embriyonal kök taze ağırlıkları (TA) belirlendikten sonra, 80°C'lik etüvde 48 sa süreyle kurutulmuş ve bu süre sonunda kuru ağırlıkları (KA) alınmıştır.

Erken fide evresinde, arpa çeşitlerinin Cr(VI) toleransı bakımından genotipik çeşitliliği belirlemek için gövde ve kök kuru ağırlığının bir fonksiyonu olarak tolerans indeksi (%) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Bağcı vd., 2003):

$$\text{Tolerans indeksi (\%)} = \left[\frac{(\text{Gövde ve kök KA})_{\text{Cr(VI)}}}{(\text{Gövde ve kök KA})_{\text{kontrol}}} \right] \times 100$$

Her bir Cr(VI) konsantrasyonunda 8 arpa çeşidi için hesaplanan tolerans indeksi (%) değerleri, en düşüğe (1 puan) en yükseğe (8 puan) doğru puanlandırılmıştır (Ayhan vd., 2007). Daha sonra, her bir arpa çeşidi için tüm konsantrasyonlardaki puanlar toplanmış ve toplam puanlar dikkate alınarak 8 arpa çeşidi Cr(VI) toleransları bakımından sınıflandırılmıştır.

2.3 İstatistiksel Analizler

Denemeler, tesadüf parselleri çeşitler × Cr(VI) konsantrasyonları faktöriyel düzeninde gerçekleştirilmiştir. Büyüme deneyleri, için yapılan denemeler rasgele deneme deseninde 3 tekrarlı olacak şekilde düzenlenmiştir. Elde edilen verilerin istatistiksel varyans analizleri SPSS (versiyon 15.0) paket programı kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen verilere ait ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki farklılıklar Duncan Çoklu Karşılaştırma testi kullanılarak belirlenmiştir ($P < 0.05$).

3. Bulgular

3.1 Arpa çeşitlerinin gövde ve kök büyümesi üzerine krom stresinin etkisi

Arpa çeşitlerinin gövde ve kök uzunlukları, taze ve kuru ağırlıkları üzerine çeşit ve Cr(VI) ana faktör etkileri ve bu faktörlere ait etkileşimler (çeşit×krom) önemli düzeyde bulunmuştur ($P < 0.001$) (Çizelge 1-3).

Erken fide evresindeki arpa çeşitlerinin gövde ve kök uzunlukları Cr(VI) konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak genellikle önemli düzeyde ($P < 0.05$) azalmıştır (Çizelge 1). Arpa çeşitlerinin gövde ve kök uzunluklarındaki büyüme inhibisyonu kontrole göre tüm Cr(VI) konsantrasyonlarında %50'nin altında belirlenmiştir. Cr(VI) stresinde arpa çeşitlerinin gövde uzunluklarındaki büyüme inhibisyonu %0.3-19.7 (75 µM), %14.7-40.1 (150 µM) ve %31.1-47.9 (225 µM) aralığında değişmiştir (Çizelge 1). Bununla birlikte, kök uzunluklarındaki büyüme inhibisyonu %15.8-42.2 (75 µM), %26.1-46.4 (150 µM) ve %30.5-49.5 (225 µM) aralığında saptanmıştır (Çizelge 1).

Erken fide evresindeki arpa çeşitlerinin gövde ve kök taze ağırlıkları Cr(VI) konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak genellikle önemli düzeyde ($P < 0.05$) azalmıştır (Çizelge 2). Arpa çeşitlerinin gövde taze ağırlıklarındaki azalma kontrole göre tüm Cr(VI) konsantrasyonlarında %11.9-68.8 aralığında belirlenmiştir. Cr(VI) stresinde arpa çeşitlerinin gövde taze ağırlıklarındaki azalma %11.9-41.5 (75 µM), %37.2-54.7 (150 µM) ve %52.4-68.8 (225 µM) aralığında değişmiştir (Çizelge 2). Bununla birlikte, arpa çeşitlerinin kök taze ağırlıklarındaki azalma kontrole göre tüm Cr(VI) konsantrasyonlarında %3.1-66.2 aralığında belirlenmiştir. Arpa çeşitlerinin kök taze ağırlıklarındaki azalma ise %3.1-33.7 (75 µM), %6.3-54.5 (150 µM) ve %22.1-66.2 (225 µM) aralığında saptanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 1. Erken fide evresindeki 8 arpa çeşidinin gövde ve kök uzunlukları üzerine Cr(VI) stresinin etkisi

Arpa çeşidi	Cr(VI) (μ M)	Gövde uzunluğu (cm bitki ⁻¹)	Kök uzunluğu (cm bitki ⁻¹)
Angora	0	23.2 ± 0.34 a	10.1 ± 0.13 a
	75	18.6 ± 0.30 b	8.0 ± 0.11 b
	150	13.9 ± 0.26 c	7.0 ± 0.13 c
	225	12.1 ± 0.30 d	7.0 ± 0.12 c
Avcı-2002	0	18.8 ± 0.21 a	9.9 ± 0.11 a
	75	16.2 ± 0.20 b	7.8 ± 0.19 b
	150	14.7 ± 0.20 c	6.8 ± 0.15 c
	225	12.1 ± 0.27 d	6.4 ± 0.12 d
Aydanhanım	0	18.7 ± 0.25 a	12.2 ± 0.26 a
	75	16.6 ± 0.26 b	7.0 ± 0.11 b
	150	14.4 ± 0.27 c	6.5 ± 0.13 c
	225	11.3 ± 0.22 d	6.1 ± 0.11 c
Başgül	0	22.9 ± 0.28 a	11.0 ± 0.18 a
	75	22.0 ± 0.37 a	7.9 ± 0.14 b
	150	18.2 ± 0.28 b	6.3 ± 0.12 c
	225	14.1 ± 0.39 c	5.9 ± 0.09 d
Bülbül-89	0	18.5 ± 0.15 a	8.4 ± 0.10 a
	75	18.4 ± 0.24 a	7.1 ± 0.21 b
	150	15.7 ± 0.29 b	6.2 ± 0.19 c
	225	12.7 ± 0.23 c	5.6 ± 0.17 d
Orza-96	0	21.3 ± 0.15 a	10.4 ± 0.20 a
	75	19.7 ± 0.21 b	7.5 ± 0.09 b
	150	14.9 ± 0.29 c	6.7 ± 0.13 c
	225	11.9 ± 0.24 d	6.3 ± 0.11 d
Tarm-92	0	20.1 ± 0.22 a	11.1 ± 0.28 a
	75	18.2 ± 0.32 b	8.0 ± 0.09 b
	150	14.9 ± 0.43 c	7.5 ± 0.14 c
	225	11.1 ± 0.35 d	7.2 ± 0.10 c
Zeynelağa	0	19.7 ± 0.26 a	11.5 ± 0.21 a
	75	18.9 ± 0.27 b	8.0 ± 0.15 b
	150	16.0 ± 0.14 c	7.3 ± 0.09 c
	225	13.0 ± 0.15 d	6.9 ± 0.13 c
<i>Ana etkiler ortalaması</i>			
Angora		17.0 ± 0.42 b	8.02 ± 0.13 ab
Avcı-2002		15.4 ± 0.25 cd	7.71 ± 0.15 bc
Aydanhanım		15.3 ± 0.28 d	7.96 ± 0.24 ab
Başgül		19.3 ± 0.36 a	7.77 ± 0.20 b
Bülbül-89		16.3 ± 0.24 bc	6.84 ± 0.13 d
Orza-96		17.0 ± 0.36 b	7.72 ± 0.16 bc
Tarm-92		16.1 ± 0.35 bcd	8.46 ± 0.17 a
Zeynelağa		16.9 ± 0.26 b	8.45 ± 0.18 a
	0	20.2 ± 0.13 a	10.4 ± 0.09 a
	75	18.5 ± 0.13 b	7.7 ± 0.05 b
	150	15.3 ± 0.12 c	6.7 ± 0.05 c
	225	12.3 ± 0.11 d	6.3 ± 0.05 d
<i>P değerleri</i>			
Çeşit (Ç)		<0.001	<0.001
Krom (K)		<0.001	<0.001
Ç × K		<0.001	<0.001

^{a-d}; Bir kritere ait kolondaki farklı harfler, istatistiksel olarak ortalamalar arasındaki önemli farklılıkları göstermektedir ($P < 0.05$). Her bir değer, üç tekrarlı 12 fidenin ($n = 36$) ortalamasıdır. Standart hata (\pm SH).

Çizelge 2. Erken fide evresindeki 8 arpa çeşidinin gövde ve kök taze ağırlıkları üzerine Cr(VI) stresinin etkisi

Arpa çeşidi	Cr(VI) (μ M)	Gövde taze ağırlığı (g)	Kök taze ağırlığı (g)
Angora	0	3.12 ± 0.08 a	1.32 ± 0.01 a
	75	2.35 ± 0.07 b	1.21 ± 0.05 b
	150	1.62 ± 0.11 c	0.78 ± 0.03 c
	225	1.48 ± 0.04 c	0.75 ± 0.02 c
Avcı-2002	0	2.86 ± 0.04 a	0.98 ± 0.02 a
	75	1.67 ± 0.03 b	0.78 ± 0.01 b
	150	1.45 ± 0.04 c	0.67 ± 0.01 c
	225	1.16 ± 0.04 d	0.56 ± 0.01 d
Aydanhanım	0	3.29 ± 0.09 a	1.18 ± 0.03 a
	75	2.10 ± 0.04 b	0.87 ± 0.02 b
	150	1.71 ± 0.02 c	0.73 ± 0.01 c
	225	1.44 ± 0.03 d	0.65 ± 0.02 d
Başgül	0	3.65 ± 0.12 a	1.11 ± 0.04 a
	75	2.90 ± 0.09 b	0.91 ± 0.03 b
	150	2.04 ± 0.09 c	0.79 ± 0.03 c
	225	1.61 ± 0.04 d	0.59 ± 0.02 d
Bülbül-89	0	2.97 ± 0.14 a	1.46 ± 0.05 a
	75	2.62 ± 0.03 b	0.97 ± 0.07 b
	150	1.86 ± 0.04 c	0.66 ± 0.10 c
	225	1.37 ± 0.01 d	0.49 ± 0.03 d
Orza-96	0	3.69 ± 0.11 a	1.45 ± 0.02 a
	75	2.70 ± 0.06 b	1.06 ± 0.03 b
	150	1.69 ± 0.08 c	0.71 ± 0.04 c
	225	1.15 ± 0.01 d	0.58 ± 0.02 d
Tarm-92	0	3.26 ± 0.12 a	1.00 ± 0.06 a
	75	2.17 ± 0.08 b	0.88 ± 0.03 b
	150	1.48 ± 0.06 c	0.68 ± 0.04 c
	225	1.07 ± 0.10 d	0.60 ± 0.02 d
Zeynelağa	0	3.73 ± 0.08 a	0.98 ± 0.04 a
	75	2.83 ± 0.04 b	0.95 ± 0.05 a
	150	2.14 ± 0.03 c	0.92 ± 0.03 a
	225	1.67 ± 0.04 d	0.77 ± 0.02 b
<i>Ana etkiler ortalaması</i>			
Angora		2.14 ± 0.20 b	1.01 ± 0.08 a
Avcı-2002		1.78 ± 0.20 ab	0.75 ± 0.05 b
Aydanhanım		2.13 ± 0.21 ab	0.86 ± 0.06 ab
Başgül		2.55 ± 0.24 a	0.85 ± 0.06 ab
Bülbül-89		2.20 ± 0.19 ab	0.90 ± 0.11 ab
Orza-96		2.31 ± 0.29 ab	0.95 ± 0.10 ab
Tarm-92		2.00 ± 0.25 ab	0.79 ± 0.05 ab
Zeynelağa		2.59 ± 0.23 a	0.91 ± 0.03 ab
	0	3.23 ± 0.08 a	1.17 ± 0.04 a
	75	2.42 ± 0.08 b	0.97 ± 0.03 b
	150	1.76 ± 0.05 c	0.76 ± 0.02 c
	225	1.37 ± 0.04 d	0.64 ± 0.02 d
<i>P değerleri</i>			
Çeşit (Ç)		<0.001	<0.001
Krom (K)		<0.001	<0.001
Ç × K		<0.001	<0.001

^{a-d}; Bir kritere ait kolondaki farklı harfler, istatistiksel olarak ortalamalar arasındaki önemli farklılıkları göstermektedir ($P < 0.05$). Her bir değer, her tekrarda 12 fidenin örneklediği üç tekrarın ortalamasıdır. Standart hata (\pm SH).

Çizelge 3. Erken fide evresindeki 8 arpa çeşidinin gövde ve kök kuru ağırlıkları üzerine Cr(VI) stresinin etkisi

Arpa çeşidi	Cr(VI) (μ M)	Gövde kuru ağırlığı (mg)	Kök kuru ağırlığı (mg)
Angora	0	313.7 \pm 6.8 a	79.3 \pm 1.2 a
	75	272.3 \pm 10.1 b	86.7 \pm 4.6 a
	150	211.7 \pm 12.5 c	63.3 \pm 4.7 b
	225	189.7 \pm 5.0 c	60.7 \pm 1.2 b
Avcı-2002	0	267.7 \pm 8.4 a	76.3 \pm 2.7 a
	75	199.0 \pm 6.2 b	72.7 \pm 1.8 a
	150	202.0 \pm 13.1 b	68.0 \pm 1.5 b
	225	177.7 \pm 7.4 b	55.3 \pm 0.9 c
Aydanhanım	0	310.7 \pm 14.3 a	91.3 \pm 1.8 a
	75	236.7 \pm 4.5 b	75.3 \pm 1.8 b
	150	235.3 \pm 2.7 b	73.3 \pm 2.2 b
	225	220.3 \pm 5.0 b	68.7 \pm 2.3 b
Başgül	0	359.0 \pm 9.9 a	89.7 \pm 1.9 a
	75	309.7 \pm 7.9 b	83.7 \pm 2.9 a
	150	248.7 \pm 7.8 c	73.3 \pm 2.8 b
	225	226.3 \pm 7.4 d	58.7 \pm 2.7 c
Bülbül-89	0	376.7 \pm 20.8 a	105.3 \pm 4.1 a
	75	366.0 \pm 9.2 a	92.7 \pm 3.5 b
	150	281.3 \pm 2.4 b	64.7 \pm 1.3 c
	225	241.5 \pm 5.3 c	50.5 \pm 1.3 d
Orza-96	0	440.7 \pm 13.3 a	105.7 \pm 1.2 a
	75	354.0 \pm 7.1 b	95.0 \pm 1.7 b
	150	259.7 \pm 7.8 c	72.0 \pm 3.6 c
	225	220.3 \pm 6.4 d	62.3 \pm 1.8 d
Tarm-92	0	332.7 \pm 9.3 a	84.7 \pm 3.2 a
	75	261.7 \pm 11.6 b	82.3 \pm 2.0 a
	150	223.0 \pm 9.5 c	69.0 \pm 5.0 b
	225	186.0 \pm 6.4 d	56.0 \pm 3.1 c
Zeynelağa	0	327.7 \pm 2.2 a	86.3 \pm 2.3 a
	75	288.3 \pm 4.5 b	90.3 \pm 4.1 a
	150	257.3 \pm 2.3 c	82.3 \pm 1.8 a
	225	228.0 \pm 7.0 d	69.3 \pm 2.8 b
<i>Ana etkiler ortalaması</i>			
Angora		246.8 \pm 15.3 cb	72.5 \pm 3.6 ab
Avcı-2002		211.6 \pm 10.9 c	68.1 \pm 2.5 b
Aydanhanım		250.8 \pm 11.1 cb	77.2 \pm 2.7 ab
Başgül		285.9 \pm 16.1 ab	76.3 \pm 3.7 ab
Bülbül-89		316.4 \pm 17.9 a	78.3 \pm 6.7 ab
Orza-96		318.7 \pm 26.1 a	83.8 \pm 5.3 a
Tarm-92		250.8 \pm 16.9 bc	73.0 \pm 3.8 ab
Zeynelağa		275.3 \pm 11.3 ab	82.1 \pm 2.7 a
	0	332.6 \pm 10.6 a	87.9 \pm 2.3 a
	75	286.0 \pm 10.0 b	85.1 \pm 1.6 a
	150	241.9 \pm 5.4 c	70.9 \pm 1.3 b
	225	211.5 \pm 4.4 d	60.8 \pm 1.3 c
<i>P değerleri</i>			
Çeşit (C)		<0.001	<0.001
Krom (K)		<0.001	<0.001
Ç \times K		<0.001	<0.001

^{a-d}; Bir kritere ait kolondaki farklı harfler, istatistiksel olarak ortalamalar arasındaki önemli farklılıkları göstermektedir ($P < 0.05$). Her bir değer, her tekrarda 12 fidenin örneklediği üç tekrarı ortalamasıdır. Standart hata (\pm SH).

Erken fide evresindeki arpa çeşitlerinin gövde ve kök kuru ağırlıkları Cr(VI) konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak genellikle önemli düzeyde ($P < 0.05$) azalmıştır (Çizelge 3). Arpa çeşitlerinin gövde kuru ağırlıklarındaki azalma kontrole göre tüm Cr(VI) konsantrasyonlarında %2.8-50.0 aralığında belirlenmiştir. Cr(VI) stresinde arpa çeşitlerinin gövde kuru ağırlıklarındaki azalma %2.8-23.8 (75 μ M), %21.5-41.1 (150 μ M) ve %29.1-50.0 (225 μ M) aralığında değişmiştir (Çizelge 3). Bununla birlikte, arpa çeşitlerinin kök kuru ağırlıklarındaki azalma kontrole göre tüm Cr(VI) konsantrasyonlarında %2.8-52.1 aralığında belirlenmiştir. Arpa kök kuru ağırlıklarındaki azalma ise %2.8-17.5 (75 μ M), %4.6-38.6 (150 μ M) ve %19.7-52.1 (225 μ M) aralığında saptanmıştır (Çizelge 3).

3.2 Krom(VI) stresine maruz kalan arpa çeşitlerinde tolerans sınıflandırması

Bu çalışmada, Cr(VI) stresine en toleranslı ve en hassas arpa çeşidinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, her bir arpa çeşidine ait konsantrasyonlardaki gövde ve kök kuru ağırlıkları için tolerans indeksi (%) değerleri hesaplanmıştır. Her bir konsantrasyon için hesaplanan tolerans indeksi değerleri arpa çeşitleri arasında puanlandırılmıştır. Buna göre, tolerans indeksi değeri en düşük olan arpa çeşidine 1 puan, en yüksek olan arpa çeşidine 8 puan ve diğer çeşitlere de 2 ila 7 arasında puan verilerek değerlendirilmiştir (Çizelge 4). Her bir çeşidin gövde ve köküne ait tüm krom konsantrasyonlarında aldığı puanlar toplanmıştır. Toplam puanlara göre arpa çeşitlerinin Cr(VI) toleransındaki genotipik farklılıklar ortaya konulmuştur. Bu bağlamda, tolerans indeksi temel alınarak yapılan Cr(VI) toleransı sınıflandırılmasında en toleranslı arpa çeşidi Zeynelağa (45 puan), en hassas arpa çeşidi ise Orza-96 (13 puan) olarak saptanmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 4. Farklı Cr(VI) konsantrasyonlarına maruz bırakılan 8 arpa çeşidinin kuru ağırlık temelinde belirlenen tolerans indeksi (%) değerleri ve puanları

Arpa Çeşitleri	Gövde			Kök			Toplam puan
	Tolerans indeksi (%)			Tolerans indeksi (%)			
	75 µM	150 µM	225 µM	75 µM	150 µM	225 µM	
Angora	86.8 (6)*	67.5 (3)	60.5 (3)	109.2 (8)	79.8 (3)	76.5 (7)	30
Avcı-2002	74.4 (1)	75.5 (6)	66.4 (6)	95.2 (5)	89.1 (7)	72.5 (5)	30
Aydanhanım	76.2 (2)	75.8 (7)	70.9 (8)	82.5 (1)	80.3 (4)	75.2 (6)	28
Başgül	86.3 (5)	69.3 (4)	63.1 (4)	93.3 (4)	81.8 (6)	65.4 (3)	26
Bülbül-89	97.2 (8)	74.7 (5)	64.1 (5)	88.0 (2)	61.4 (1)	47.9 (1)	22
Orza-96	80.3 (4)	58.9 (1)	50.0 (1)	89.9 (3)	68.1 (2)	59.0 (2)	13**
Tarm-92	78.7 (3)	67.0 (2)	55.9 (2)	97.2 (6)	81.5 (5)	66.1 (4)	22
Zeynelağa	88.0 (7)	78.5 (8)	69.6 (7)	104.6 (7)	95.4 (8)	80.3 (8)	45**

* Parantez içindeki sayılar tolerans indeksi (%) değerlerine göre verilen puanlardır.

** En yüksek puan en az zararı, en düşük puan ise en fazla zararı ifade etmektedir.

4. Tartışma

Bitki büyüme ve gelişimi için gerekli bir element olmayan krom (Cr), yaygın endüstriyel kullanımından dolayı önemli bir çevresel kirleticidir (Shanker vd., 2005). Çevrede her yerde bulunan Cr, doğal olarak oluşan topraklarda 10 ila 50 mg kg⁻¹ konsantrasyonlarda bulunabilmektedir (Zayed and Terry, 2003). Mikromolar aralıktaki Cr(VI) stresi, şiddetli fitotoksik semptomlara neden olabilmektedir (Panda and Parta, 1997; Panda and Choudhury 2005).

Bitkilerde Cr toksisitesinin, bu elementin türüne ve besin ortamındaki konsantrasyonuna bağlı olduğu belirtilmiştir (Vernay vd., 2008). Bitki büyümesi, içsel ve dışsal büyüme faktörlerini oluşturan genotip ve çevrenin bir fonksiyonu olarak düşünülmektedir (Shanker vd., 2005). Birçok çalışmada, farklı konsantrasyonlarda uygulanan Cr(VI)'un bitki büyümesinde inhibisyona neden olduğu rapor edilmiştir (Samantaray, 2002; Panda, 2007; Vernay vd., 2008; Gupta vd., 2009). Mevcut çalışmada, sekiz arpa çeşidinin (Angora, Avcı-2002, Aydanhanım, Başgül, Bülbül-89, Orza-96, Tarm-92, Zeynelağa) fide gelişimi üzerine Cr(VI) stresinin etkilerinin belirlenmesinin yanı sıra Cr(VI) stresine en hassas ve en toleranslı arpa çeşidinin belirlenmesi

amaçlanmıştır. Bu amaçla, arpa çeşitlerine ait üç günlük etiyole fideler 75, 150 ve 225 µM Cr(VI) konsantrasyonlarına 7 gün süreyle maruz bırakılmıştır. Bu süre sonunda, de-etiyole arpa fidelerinin gövde ve kök uzunlukları ile taze ve kuru ağırlıkları Cr(VI) konsantrasyonunun artmasıyla genellikle önemli düzeyde ($P<0.05$) azalmıştır. Cr(VI) stresi, gövde uzunluğuna göre kök uzunluğunu genellikle daha fazla olumsuz etkilemiştir. Tüm arpa çeşitlerinde, kontrole göre Cr(VI) konsantrasyonlarında gövde uzunlukları %0.3-47.9 aralığında, kök uzunlukları ise %15.8-49.5 aralığında azalma göstermiştir. Krom stresine bağlı olarak büyümedeki inhibisyon ve gövde dokusuna göre kök dokusunun daha fazla hassasiyeti *Miscanthus sinensis*, *Sorghum bicolor*, *Triticum aestivum*, *Vigna radiata* ve *Spinacea oleracea* gibi bitki türlerinde belirlenmiştir (Shanker and Pathmanabhan, 2004; Arduini vd., 2006; Gopal vd., 2009). Bununla birlikte, farklı Cr(VI) konsantrasyonlarının (50-200 µM) *Brassica juncea* bitkilerinin gövde uzunluğunu etkilemediği; fakat kök uzunluğunun yalnızca 200 µM Cr(VI) konsantrasyonunda önemli düzeyde azaldığı bildirilmiştir (Diwan vd., 2010). Besin ortamı ve toksik elementler ile direkt etkileşim içinde olan köklerin genel olarak daha duyarlı olduğu belirtilmiştir (Hagemeyer, 1999). Kök büyümesindeki azalmanın su ve besin

elementlerinin alınımının yavaşlamasına neden olduğu ve bu durumun tüm bitki büyümesini inhibe ettiği belirtilmiştir (Vernay vd., 2008). Bununla birlikte, köklerde yüksek seviyelerde ağır metal birikimi ve/veya herhangi bir ağır metal translokasyon mekanizmasının olmamasından dolayı köklerde ağır metal miktarı artmakta ve kök büyümesi azalmaktadır (Lu vd., 2004).

Hekzavalent kromun gövde ve kök taze ve kuru ağırlıkları üzerine olan olumsuz etkisi çeltik (Panda, 2007), buğday (Subrahmanyam, 2008), *Datura innoxia* (Vernay vd., 2008), bezelye (Pandey vd., 2009a, b), domates (Henriques, 2010) ve arpa (Ali vd., 2011) gibi bitki türlerinde de belirlenmiştir. Araştırmamızda, arpa çeşitlerinin gövde ve kök taze ve kuru ağırlıkları Cr(VI) konsantrasyonunun artmasıyla genellikle önemli düzeyde azalmıştır. Gupta vd. (2009), Cr(VI) stresinin *Brassica juncea* bitkilerinin gövde taze ağırlığında önemli düzeyde bir azalmaya, buna karşın araştırma sonuçlarımıza zıt olarak Cr(VI) stresinin gövde kuru ağırlığında önemli düzeyde bir artışa neden olduğunu bildirmişlerdir. Bezelye bitkilerinde 20 µM Cr(VI) uygulaması gövde ve kök kuru ağırlıklarında önemli bir etkiye neden olmadığı, ancak 200 µM gibi yüksek Cr(VI) uygulamasının kuru ağırlıklarda önemli inhibisyona neden olduğu bildirilmiştir (Dixit vd., 2002; Pandey vd., 2009a).

Mevcut araştırmada, Cr(VI) stresi tüm arpa çeşitlerinin köküne göre gövde taze ve kuru ağırlıklarını genellikle daha fazla olumsuz etkilemiştir. Sonuçlarımıza zıt olarak, Vernay vd. (2008), *Datura innoxia* bitkisinde kök kuru ağırlığının gövde kuru ağırlığından daha fazla etkilendiğini bildirmiştir. Kök büyümesindeki bu inhibisyon durumu, fotosentetik oran üzerine metal iyonlarının primer etkisi olarak değerlendirilmiştir (Panda and Patra, 1997; Panda and Choudhury 2005). Bununla birlikte, mevcut çalışmadan farklı olarak süreye bağlı Cr(VI) stresi çalışmasında, ağır metallerle toleranslı *Lolium perenne* L. bitkisinde, 15 günlük uygulama sonunda sadece 500 µM, 45 gün sonunda ise tüm

Cr(VI) uygulamalarında toplam kuru ağırlıkta inhibisyonun gözlemlendiği belirtilmiştir (Vernay vd., 2007). Krom stresine bağlı olarak gövde ve kökün taze ve kuru ağırlık üretimindeki azalmanın doku geçirgenliğindeki artış, hücre bölünmesindeki inhibisyona bağlı olarak büyümedeki azalma veya farklı bitki dokularındaki Cr birikiminden kaynaklanabildiği bildirilmiştir (Dube vd., 2003; Diwan vd., 2010). Bazı araştırmacılar, krom stresinin kloroplast ve mitokondrinin yapı veya işlevlerinde neden olduğu oksidatif zarar sonucu, kuru ağırlık üretiminin olumsuz etkilendiğini bildirmişlerdir (Dixit vd., 2002; Subrahmanyam, 2008).

Potansiyel olarak toksik metallerin varlığında büyümenin sürdürülmesi, birçok mekanizmayı kapsayan “ağır metal toleransı” olarak ifade edilmektedir (Clemens, 2006). Bu nedenle, araştırmamızda Cr(VI) stresine toleranslı ve hassas arpa çeşitlerinin belirlenmesinde büyüme parametreleri değerlendirilmiştir. Diwan vd. (2010), kök büyümesini ağır metal toleransının sınıflandırılmasında önemli bir parametre olarak değerlendirmişlerdir. Rout vd. (1997), farklı Cr(VI) konsantrasyonlarına maruz bırakılan 8 mung fasulyesi (*Vigna radiata* L.) genotipini gövde ve kök uzunluklarındaki inhibisyonlar temel alınarak hesaplanan tolerans indeksi (%) değerlerine göre sınıflandırmıştır. Kroma toleransta farklılık gösteren Cr-hassas mung fasulyesi (*Vigna radiata* L.) çeşitlerinde (PDM-54 ve Sujata) Cr(VI) stresine bağlı olarak gövde ve/veya kök uzunluklarındaki azalmanın, Cr-toleranslı çeşitlere (TARM-22 ve K-851) göre daha fazla olduğu bildirilmiştir (Rout vd., 1997; Samantaray, 2002). Diğer taraftan, Bağcı vd. (2003), strese maruz kalan bir türe ait bazı çeşitlerin daha uzun gövde ve köklere sahip olmalarına karşın yeteri kadar kuru ağırlık üretmediklerini, bazı çeşitlerin ise nispeten daha kısa kök ve gövdeye sahip olmalarına karşın daha iyi şekilde kuru ağırlık ürettiklerini ve bu nedenle toleranslı ve hassas çeşitlerin seleksiyonunda kuru ağırlığın kullanılmasının daha uygun bir kriter

olacağını ileri sürmüşlerdir. Benzer olarak bulgularımız ışığında da, Cr(VI) stresinden sadece kök dokusunun değil, aynı zamanda gövde dokusunun da olumsuz etkilenmesi nedeniyle gövde ve kök kuru ağırlıklarının birlikte değerlendirilmesinin daha uygun olduğu görülmektedir. Bu nedenle, araştırmamızda Cr(VI) stresine maruz bırakılan 8 arpa çeşidinin gövde ve kök kuru ağırlıklarındaki inhibisyonlar temel alınarak tolerans indeksi (%) değerleri hesaplanmış ve 8 arpa çeşidi Cr(VI) stresine toleransları bakımından sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma temelinde, çalışılan mevcut arpa çeşitleri arasında Cr(VI) stresine en toleranslı arpa çeşidi Zeynelağa, en hassas arpa çeşidi ise Orza-96 olarak belirlenmiştir. En yüksek Cr(VI) konsantrasyonunda (225 µM), Cr-toleranslı Zeynelağa arpa çeşidinde gövde ve kök kuru ağırlığındaki azalmalar sırasıyla yaklaşık %30 ve 20 olarak belirlenmiştir. Cr-hassas Orza-96 arpa çeşidinde ise bu değerler sırasıyla %50 ve 41 olarak saptanmıştır. Diwan vd. (2010), farklı Cr(VI) konsantrasyonlarının (50-200 µM) *Vigna radiata* bitkisinin taze ve kuru ağırlıklarını azalttığını, *Brassica juncea* bitkisinde ise önemli bir etkiye neden olmadığını bildirmişlerdir. Bu nedenle, *B. juncea* türünü *V. radiata* türüne göre nispeten Cr(VI)'a daha toleranslı genotip olarak değerlendirmişlerdir.

5. Sonuç

Bu araştırmada, Cr(VI) stresine maruz bırakılan arpa çeşitlerinin gövde ve kök kuru ağırlıkları temelinde belirlenen toleransları önemli farklılıklar göstermiştir. Bu sonuçlara göre belirlenen toleranslı ve hassas genotipler, daha sonraki aşamalarda yapılacak olan biyokimyasal ve moleküler çalışmalar için kullanılması uygun olacaktır.

Katkı belirtme

Bu çalışma, bilim uzmanlığı tezinden üretilmiş olup; 10.FENED.14 nolu proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Ali, N.A., Ater, M., Sunahara, G.I. ve 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, 363–374.
- Ali, S., Bai, P., Zeng, F., Cai, S., Shamsi, I.H., Qiu, B., Wu, F. ve Zhang, G., 2011. The Ecotoxicological and Interactive Effects of Chromium and Aluminum on Growth, Oxidative Damage and Antioxidant Enzymes on Two Barley Genotypes Differing in Al Tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 70, 185–191.
- Arduini, I., Masoni, A. ve Ercoli, L., 2006. Effects of High Chromium Applications on *Miscanthus* During The Period of Maximum Growth. *Environmental and Experimental Botany*, 58, 234–243.
- Ayhan, B., Ekmekçi, Y. ve Tanyolaç, D., 2007. Erken Fide Evresindeki Bazı Mısır Çeşitlerinin Ağır Metal (Kadmiyum ve Kurşun) Stresine Karşı Dayanıklılığının Araştırılması. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(2), 411–422.
- Bağcı, S.A., Ekiz, H. ve Yılmaz, A., 2003. Determination of The Salt Tolerance of Some Barley Genotypes and The Characteristics Affecting Tolerance. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27, 253–260.
- Barcelo, J., Poschenrieder, C. ve Gunse, B., 1986. Water Relations of Chromium VI Treated Bush Bean Plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Contender) under both Normal and Water Stress Conditions. *Journal of Experimental Botany*, 37, 178–187.
- Bishnoi, N.R., Chugh, L.K. ve Sawhney, S.K., 1993. Effect of Chromium on Photosynthesis, Respiration and Nitrogen Fixation in Pea (*Pisum sativum* L.) Seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 142, 25–30.
- Cervantes, C., Garcia, J.C., Devars, S., Corona, F.G., Tavera, H.L., Torres-Guzman, J.C. ve Moreno-Sanchez, R., 2001. Interactions of Chromium with

- Microorganisms and Plants. FEMS Microbiology Reviews, 25, 335–247.
- Clemens, S., 2006. Toxic Metal Accumulation, Responses to Exposure and Mechanisms of Tolerance in Plants. Biochimie, 88, 1707–1719.
- Dey, S.K., Jena, P.P. ve Kundu, S., 2009. Antioxidative Efficiency of *Triticum aestivum* L. Exposed to Chromium stress. Journal of Environmental Biology, 30, 539–544.
- Dixit, V., Pandey, V. ve Shyam, R., 2002. Chromium Ions Inactivate Electron Transport and Enhance Superoxide Generation *in vivo* in Pea (*Pisum sativum* L. cv. Azad) Root Mitochondria. Plant, Cell and Environment, 25, 687– 690.
- Diwan, H., Khan, I., Ahmad, A. ve Iqbal, M., 2010. Induction of Phytochelatins and Antioxidant Defence System in *Brassica juncea* and *Vigna radiata* in Response to Chromium Treatments. Plant Growth Regulation, 61, 97–107.
- Dube, B.K., Tewari, K., Chatterjee, J. ve Chatterjee, C., 2003. Excess Chromium Alters Uptake and Translocation of Certain Nutrients in *Citrullus*. Chemosphere, 53, 1147-1153.
- Gopal, R., Rizvi, A.H. ve Nautiyal, N., 2009. Chromium Alters Iron Nutrition and Water Relations of Spinach. Journal of Plant Nutrition, 32, 1551–1559.
- Gupta, S., Srivastava, S. ve Saradhi, P.P., 2009. Chromium Increases Photosystem 2 Activity in *Brassica juncea*. Biologia Plantarum, 53, 100–104.
- Hagemeyer, J., 1999. Structural and Ultrastructural Changes in Heavy Metal Exposed Plants. In: Prasad M.N.V., Hagemeyer, J. (Eds.). Heavy Metal Stress in Plants: From Molecules to Ecosystems, Springer, Berlin, 157–181.
- Henriques, F.S., 2010. Changes in Biomass and Photosynthetic Parameters of Tomato Plants Exposed to Trivalent and Hexavalent Chromium. Biologia Plantarum, 54, 583–586.
- Hussain, M., Ahmad, M.S.A. ve Kausar, A., 2006. Effect of Lead and Chromium on Growth, Photosynthetic Pigments and Yield Components in Mash Bean [*Vigna mungo* (L.) Hepper]. Pakistan Journal of Botany, 38, 1389–1396.
- Kimbrough, D.E., Cohen, Y., Winer, A.M., Creelam, L. ve Mabuni, C., 1999. A Critical Assessment of Chromium in the Environment. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 29, 1–46.
- Lu, X., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P. ve Hompok, K., 2004. Removal of Cadmium and Zinc by Water Hyacinth, *Eichhornia crassipes*. Science Asia, 30, 93–103
- McGrath, S.P., 1995. Chromium and Nickel. In: Alloway, B.J. (Ed.), Heavy Metal in Soils, Second Ed. Chapman and Hall, Great Britain, 152–178.
- Panda, S.K. ve Parta, H.K., 1997. Physiology of Chromium Toxicity in Plants-A Review”, Plant Physiology and Biochemistry, 24, 10–17.
- Panda, S.K. ve Choudhury, S., 2005. Chromium Stress in Plants. Brazilian Journal of Plant Physiology, 17, 95–102.
- Panda, S.K., 2007. Chromium–Mediated Oxidative Stress and Ultrastructural Changes in Root Cells of Developing Rice Seedlings. Journal of Plant Physiology, 164, 1419–1428.
- Pandey, V., Dixit, V. ve Shyam, R., 2009a. Chromium (VI) Induced Changes in Growth and Root Plasma Membrane Redox Activities in Pea Plants. Protoplasma, 235, 49–55.
- Pandey, V., Dixit, V. ve Shyam, R., 2009b. Chromium Effect on ROS Generation and Detoxification in Pea (*Pisum sativum*) Leaf Chloroplasts. Protoplasma, 236, 85–95.
- Rout, G.R., Samantaray, S. ve Das, P., 1997. Differential Chromium Tolerance Among Eight Mung Bean Cultivars Grown in Nutrient Culture. Journal of Plant Nutrition, 20, 341–347.
- Samantaray, S., 2002. Biochemical Responses of Cr–Tolerant and Cr–Sensitive Mung Bean Cultivars Grown on Varying Levels of Chromium. Chemosphere, 47, 1065–1072.
- Shanker, A.K. ve Pathmanabhan, G., 2004. Speciation Dependent Antioxidative Response in Roots and Leaves of Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench cv. CO27) under Cr(III) and Cr(VI) Stress. Plant and Soil, 265, 141–151.
- Shanker, A.K., Cervantes, C., Loza–Tavera, H. ve Avudainayagam, S., 2005. Chromium Toxicity in Plants. Environment International, 31, 739–753.
- Sharma, D.C., Chatterjee, C. ve Sharma, C.P., 1995. Chromium Accumulation and Its Effects on Wheat

- (*Triticum aestivum* L. cv. Dh2204) Metabolism. Plant Science, 111, 145–151.
- Subrahmanyam, D., 2008. Effects of Chromium Toxicity on Leaf Photosynthetic Characteristics and Oxidative Changes in Wheat (*Triticum aestivum* L.). Photosynthetica, 46, 339–345.
- Toppi, L.S.D., Fossati, F., Musetti, R., Mikerezi, I. ve Favali, M.A., 2002. Effects of Hexavalent Chromium on Maize, Tomato and Cauliflower Plants. Journal of Plant Nutrition, 25, 701–717.
- Vernay, P., Gauthier–Moussard, C. ve Hitmi, A., 2007. Interaction of Bioaccumulation of Heavy Metal Chromium with Water Relation, Mineral Nutrition and Photosynthesis in Developed Leaves of *Lolium perenne* L. Chemosphere, 68, 1563–1575.
- Vernay, P., Gauthier–Moussard, C., Jean, L., Bordas, F., Faure, O., Ledoigt, G. ve Hitmi, A., 2008. Effect of Chromium Species on Phytochemical and Physiological Parameters in *Datura innoxia*. Chemosphere, 72, 763–771.
- Zayed, A.M. ve Terry, N., 2003. Chromium in the Environment: Factors Affecting Biological Remediation. Plant and Soil, 249, 139–156.