

## Bir Ekmeklik Buğday Çeşidinde (*Triticum aestivum* L. cv. Ceyhan 99) Krom Stresine Karşı Fulvik Asitin Etkileri

Adnan AKÇİN<sup>1\*</sup>

**ÖZET:** Bu çalışmada ekmeklik buğdayda krom stresine karşı fulvik asitin (FA) fotosentetik pigment ve malondialdehid (MDA) içeriği üzerine etkileri araştırıldı. Bitki materyali olarak Amasya iline bağlı Suluova ilçesinde yetişen ekmeklik buğday çeşidi Ceyhan 99 kullanıldı. Buğday bitkileri çimlendikten sonra saksılara aktarılarak, laboratuvarında 18/6 saat ışık/karanlık rejimi altında yetiştirildi. Buğday fideleri iki gruba ayrılarak birinci gruba 0.10, 0.20, 0.30, 0.50 mM krom çözeltisi, ikinci gruba ise aynı konsantrasyonlarda krom çözeltisi ve 1.5 mg L<sup>-1</sup> FA çözeltisi uygulandı. Yapılan çalışmada krom stresi uygulamasına bağlı olarak klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid içeriğinde yalnızca krom uygulanan grupta, FA+krom uygulanan gruba göre azalma tespit edilmiştir. Buna karşın yalnızca krom uygulanan grupta, FA+krom uygulanan gruba göre Klorofil a b<sup>-1</sup> oranı ve MDA içeriğinde artış belirlenmiştir. Bu çalışma FA'nin buğday bitkilerinde krom stresine karşı önemli bir role sahip olduğunu göstermektedir. Elde edilen verilere göre, buğday bitkilerine FA uygulamasının kromun zararlı etkilerini azaltabileceği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Ağır metal, fotosentetik pigment, karotenoid, klorofil, malondialdehid

## The Effects of Fulvic Acid Against on Chromium Stress in a Bread Wheat Variety (*Triticum aestivum* L. cv. Ceyhan 99)

**ABSTRACT:** In this study, effects of fulvic acid (FA) on photosynthetic pigment and malondialdehyde (MDA) content against chromium stress were investigated in Ceyhan 99, a bread wheat variety. As a plant material, a kind of bread wheat (Ceyhan 99) which is grown in Suluova, Amasya was used. After the wheat plants were germinated, they were transferred to a pot and grown under the light/dark regime for 18/6 hours at the laboratory. The wheat seedlings was divided into two groups and the first group was treated with 0.10, 0.20, 0.30, 0.50 mM chromium solution, the second group in the same concentrations with chromium solution and 1.5 mg L<sup>-1</sup> FA solution. In this study chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoid content were found to be decreased in the chromium-treated group compared to FA + chromium treated group depending on the chromium stress application. However, only Chlorophyll a b<sup>-1</sup> ratio and MDA content were increased in chromium treated group compared to FA + chromium treated group. This study shows that FA has an important role against chromium stress in wheat plants. According to the obtained data, it was observed that the application of FA to wheat plants could reduce the harmful effects of chromium.

**Keywords:** Heavy metal, photosynthetic pigment, carotenoid, chlorophyll, malondialdehyde

<sup>1</sup> Adnan AKÇİN (Orcid ID: 0000-0001-7767-6613), Amasya Üniversitesi, Suluova Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Tohumculuk Programı, Suluova, Amasya, Türkiye

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Adnan AKÇİN, e-mail: adnanakcin@amasya.edu.tr

Bu çalışma Edirne XIII. Uluslararası Katılımlı Ekoloji ve Çevre Kongresinde sözlü sunum olarak sunulmuş ve kongre kitabında özet olarak basılmıştır.

## GİRİŞ

Tarım arazilerinin ağır metaller ile kontaminasyonu dünya çapında önemli bir sorundur (Farid ve ark., 2013; Sharma ve Pandey, 2014). Ağır metaller içinde krom (Cr), mahsüllerde ciddi problemlere neden olmaktadır. Bu problem özellikle gelişmekte olan ülkelerde görülmektedir. Kromun toprakta aşırı birikiminin başlıca nedeni antropojenik olup, bunlar madencilik, endüstriyel atıklar, atıksu arıtma çamuru, gübre ve pestisit kullanımınıdır. Doğal olaylara ise volkanik patlamalar ve hava şartları nedeniyle ana materyallerin parçalanması örnek olarak verilmektedir (Nagajyoti ve ark., 2010). Bitkilerde Cr toksisitesi için en önemli belirtiler, tohum çimlenmesi ve büyümenin azalması, enzimatik aktivitelerin engellenmesi, fotosentezin bozulması ve oksidatif dengesizliği kapsar. Bu olumsuz etkiler besin alımını etkiler, kökler zarar görür ve sonuçta bitkiler ölür (Ali ve ark., 2011a; Gill ve ark., 2015, Ertani ve ark., 2017).

Krom ağır metalinin trivalent olan kromik ( $Cr^{+3}$ ) formu ve heksavalent olan kromat ( $Cr^{+6}$ ) formu bitkiler için toksiktir. Heksavalent krom, kromun en çok toksik olan formudur (Kimbrough ve ark., 1999). Vajpayee ve ark., (2001) krom stresine maruz kalan bitkilerde hidroksil radikali ve hidrojen peroksit gibi reaktif oksijen türlerinin (ROT) oluşarak lipitler, proteinler ve DNA gibi biyomoleküllerde oksidatif hasara sebep olabileceğini bildirmektedirler. Artan metal toksisitesine cevap olarak bitkiler ROT' lara karşı antioksidant ürünler üreterek kendi savunma mekanizmalarıyla karşı koyarlar (Ali ve ark., 2013). Bununla birlikte Cr stresi altında bitki büyümesi azalır ve bitki türlerine bağlı olarak bitkilerde fizyokimyasal ve yapısal değişiklikler tetiklenir (Ali ve ark., 2011b; Gill ve ark., 2015).

Değişik çalışmalar ağır metallerin bitkilerde klorofil içeriği üzerine olumsuz etkilere sahip olduğunu göstermektedir. Krom

toksitesinin fotosentetik pigmentlerde ve antioksidant enzimlerin aktivitelerinde hasarlara neden olduğu bilinmektedir (Choudhury ve Panda, 2005; Ali ve ark., 2011c). Ayrıca ağır metaller,  $\delta$ -levulinik asit dehidrogenaz ve protoklorofilid redüktaz enzimlerini inhibe ederek klorofil sentezinin enzimatik bir adımını doğrudan engellediği bildirilmektedir (Van Assche ve Clijsters, 1990). Ouzounidou (1995), ağır metallerin klorofil sentezini engellediğini bildirmektedir. Metallerin tilakoit zarlarla etkileşimiyle fonksiyonel ve yapısal hasarlar meydana gelmektedir (Krupa ve Bazynski, 1995).

Lipid peroksidasyonu, hücre membranı üzerinde ROT etkisiyle meydana gelir. Hücre membranı hasarına neden olan lipit peroksidasyonu birkaç reaksiyon basamağından sonra malondialdehide (MDA) dönüşür (Koyro, 2006). Bunun gibi sitotoksik aldehytlar DNA ve proteinlerde ciddi hasarlara yol açmaktadır. Sonuçta MDA varlığı, lipit peroksidasyon için bir indeks olarak kabul edilmekte ve yüksek miktarda MDA içeriği aşırı lipit peroksidasyonu olduğunu göstermektedir (Panda ve Choudhury, 2005). Karotenoidlerin, reaktif oksijen türleriyle reaksiyona girerek lipitlerin peroksidasyonunu engellediği bilinmektedir (Conn, 1991; Panda ve Choudhury, 2005).

Toprağın organik içeriğini, yapısının büyük bir kısmını humik ve fulvik asitin oluşturduğu humus maddesi oluşturur (Schnitzer, 1982). Humik maddeler organik maddenin temel bileşenidir ve çoğunlukla toplam organik maddenin %60 ile %70'ini teşkil etmektedir (Schnitzer ve Khan, 1972). Humik maddeler toprağın kimyasal ve biyolojik özelliklerini kontrol için verimli toprağın özelliklerinin anahtar bileşeni olarak bilinir (Nardi ve ark., 2005; Trevisan, 2009). Fulvik asit, humik asitten daha düşük moleküler ağırlığa sahip olmasına rağmen, daha yüksek oksijen oranına sahiptir (Wang ve ark., 2006).

Ülkemizde buğday üretimi tarımsal faaliyetlerin önemli bir kısmını kapsamaktadır. Çok sayıda farklı buğday çeşitleri Anadolu'da yaygın olarak yetiştirilmektedir. Buğday dünya çapında ana gıda maddesi olarak insanların temel enerji ve protein ihtiyacını karşılamaktadır. Ülkemizde ekili alanların %50'sini tahıllar, bu ekim alanlarının neredeyse %70'ini de buğday oluşturmaktadır (Güleç, 2010). Diğer ürünlerle karşılaştırıldığında buğdayın krom toksisitesine oldukça duyarlı olduğu bilinmektedir (Diwan ve ark., 2012). Dünyada artan nüfus nedeniyle buğday ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bu talebi karşılamamanın bir yolu da, toksik metalleri kapsayan biyotik ve abiyotik çevresel streslere dayanıklı buğday çeşitlerinin yetiştirilmesidir (Ali ve ark., 2015).

Bu araştırmanın başlıca amacı, krom stresi şartlarında fulvik asit uygulamasının bir ekmeklik buğday çeşidi olan Ceyhan 99'da krom stresine karşı fulvik asitin fotosentetik pigment ve MDA içeriği üzerine etkilerinin belirlenmesidir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Bitki Materyali

Çalışmamızda bitki materyali olarak bir ekmeklik buğday olan *Triticum aestivum* L. cv. Ceyhan 99 çeşidi kullanılmıştır. Buğday bitkileri çimlendikten sonra içerisinde tarla toprağı: kum (1:1) karışımı bulunan saksılara aktarılmış ve bir iklimlendirme odasında 22 °C'de, 18/6 saat ışık/karanlık rejimi uygulanmıştır. Kontrol grubu dışında buğday fideleri iki gruba ayrılmıştır. Birinci gruba 1.5 mg L<sup>-1</sup> FA yanında Cr, ikinci gruba yalnızca Cr ilave edilmiştir. Krom miktarları 0.10, 0.20, 0.30 ve 0.50 mM olarak uygulanmıştır. Bütün gruplara Hoagland besin çözeltisi eklenmiştir (Ali ve ark., 2015). Saksı denemelerine 28 gün süreyle devam edilmiştir.

### Pigment İçeriği

Klorofil a, b, toplam klorofil ve toplam karotenoid miktarı tayini için buğday bitkilerinin üst yapraklarından 200 mg alınarak 2 ml %100 aseton içinde ezilerek ekstre edilmiştir. Yönteme uygun olarak hazırlanan ekstraktların sırasıyla 654, 662, 652 ve 470 nm dalga boylarındaki maksimum absorpsiyon değerleri ışık spektrofotometresi (Termo Helios  $\gamma$ ) ile ölçülmüştür. Pigment miktarları, Lichtenthaler ve Wellburn (1983) tarafından aşağıda verilen eşitliklerin kullanılmasıyla hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} \text{Klorofil a (Kla)} &= (11.75X_{A_{662}} - 2.35X_{A_{645}}) \times 10 / 200 \text{ mg TA} \\ \text{Klorofil b (Klb)} &= (18.61X_{A_{645}} - 3.96X_{A_{662}}) \times 10 / 200 \text{ mg TA} \\ \text{Toplam klorofil} &= A_{652} \times 27.8 \times 10 / 200 \text{ mg TA} \\ \text{Toplam karotenoid} &= (1000X_{A_{470}} - 2.27X_{Kl a} - 81.4X_{Kl b} / 227) \times 10 / 200 \text{ mg TA} \end{aligned}$$

### Malondialdehid İçeriği

Buğday bitkisinin üst yapraklarından alınan 0,5 g yaprak parçaları Heath ve Packer (1968)'e göre işleme tabi tutulmuş ve sulu fazın absorbansları sırasıyla 450, 532 ve 600 nm de ışık spektrofotometresi (Termo Helios  $\gamma$ ) ile ölçülmüştür.

Malondialdehid içeriği aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\text{Konsantrasyon } (\mu\text{mol L}^{-1}) = 6.45 \times (A_{532} - A_{600}) - 0.56 \times A_{450}$$

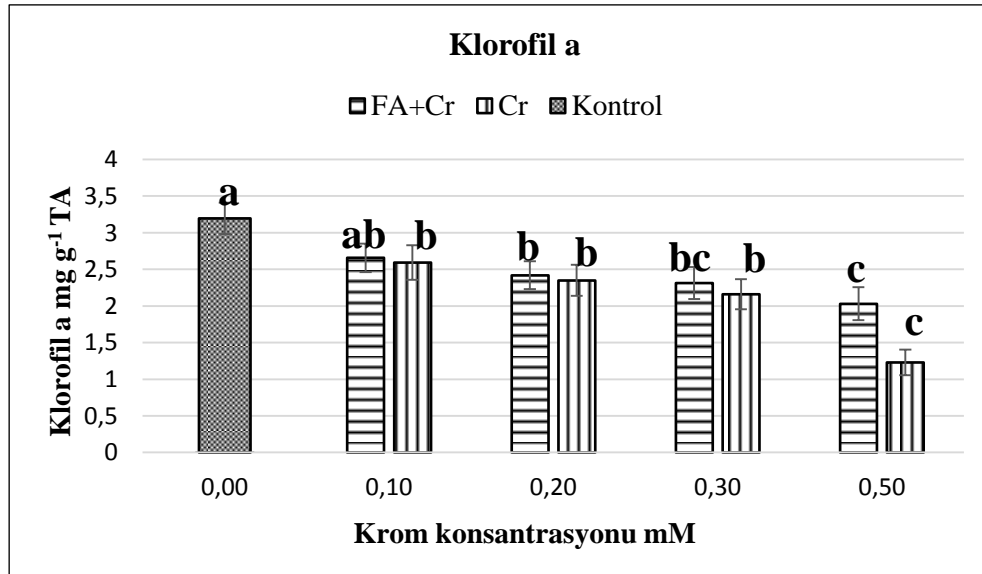
### Sonuçların İstatistiksel Değerlendirilmesi

Çalışmada denemeler üç tekrarlı olarak yapılmıştır. Hesaplama kullanılan verilerin ortalaması; üç tekrarın ortalaması  $\pm$  standart sapma şeklinde verilmiştir. Grafiklerde farklı harflerle ifade edilen değerler arasındaki farklılık, P<0.05 düzeyinde istatistiksel olarak önemlidir. Çalışma sonuçlarının değerlendirilmesinde SPSS paket programı (versiyon 10.0) ile Tukey testi uygulanmıştır.

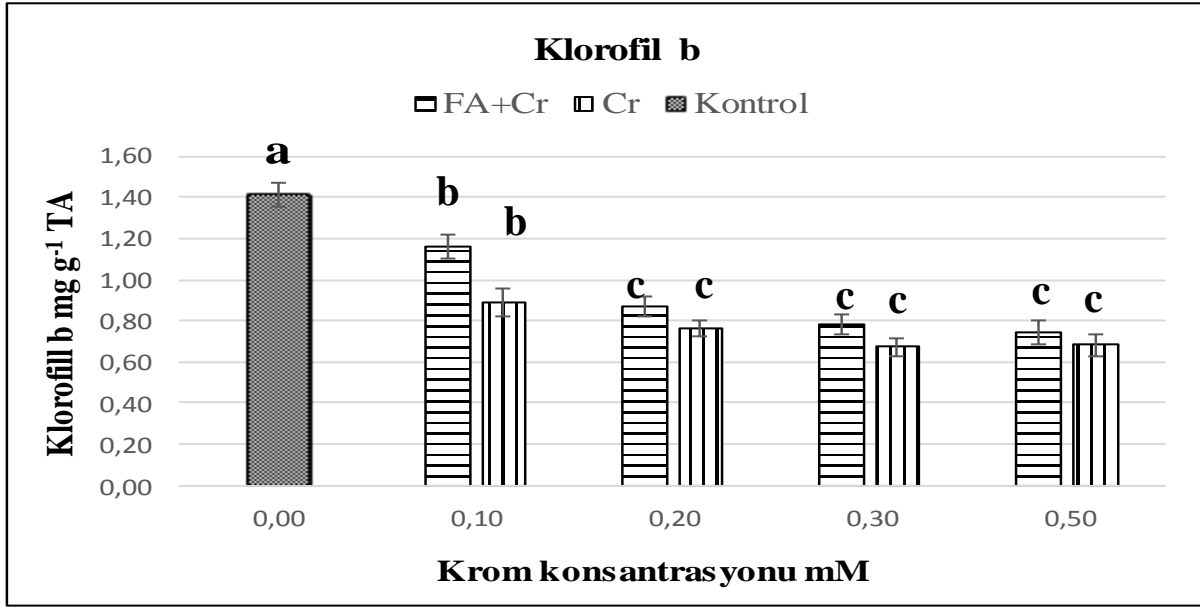
## BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Ceyhan 99 ekmeklik buğday çeşidinde krom stresinin azaltılmasında FA' in etkisi araştırıldı. Fotosentetik pigmentlerde ve karotenoid içeriğinde FA uygulanmayan gruplarda önemli azalmalar tespit edildi. Bu durumu Verma ve Dubey, (2003) ağır metal stresinin, kloroplast ultra yapısını bozması, klorofil biyosentezini ve elektron transport sisteminde Calvin döngüsünde enzim aktivitelerinde azalma ile açıklamaktadır. Bununla birlikte fotosentezin zarar görmesi sonucu oluşan foto inhibisyon ve oksidasyon, geri dönüşlü veya geri dönüşümsüz olabilir (Kono ve Terashima, 2014). Fotosentezdeki pigment içerikleri yüksek metal varlığı ile azalır (Cambrollé ve ark., 2011). Düşük fotosentetik potansiyel, klorofil biyosentezini azaltan veya bozunmasını hızlandıran fazla metallerin

olumsuzluğundan kaynaklanabilir (Marques ve Nascimento, 2013). Çalışma sonunda elde edilen verilere göre Ceyhan 99 ekmeklik buğday çeşidinde krom konsantrasyonunun artışına bağlı olarak klorofil a değerleri kontrol grubuyla kıyaslandığında hem FA+Cr uygulanan grupta, hem de krom uygulanan grupta azalma göstermiştir. Bitkideki klorofil a konsantrasyonundaki azalma uygulanan krom konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak azalmış ve bu azalma yalnızca krom uygulanan grupta, FA+Cr uygulanan gruba göre daha fazla olmuştur. Bu azalma 0.5 mM konsantrasyonda daha dikkat çekicidir (Şekil 1). Sharma ve ark. (1995), buğday bitkilerine (*Triticum aestivum* L. cv. HD 2204) krom uygulamasında, kontrol grubuna göre klorofil a seviyesinde azalma olduğunu belirtmiştir.



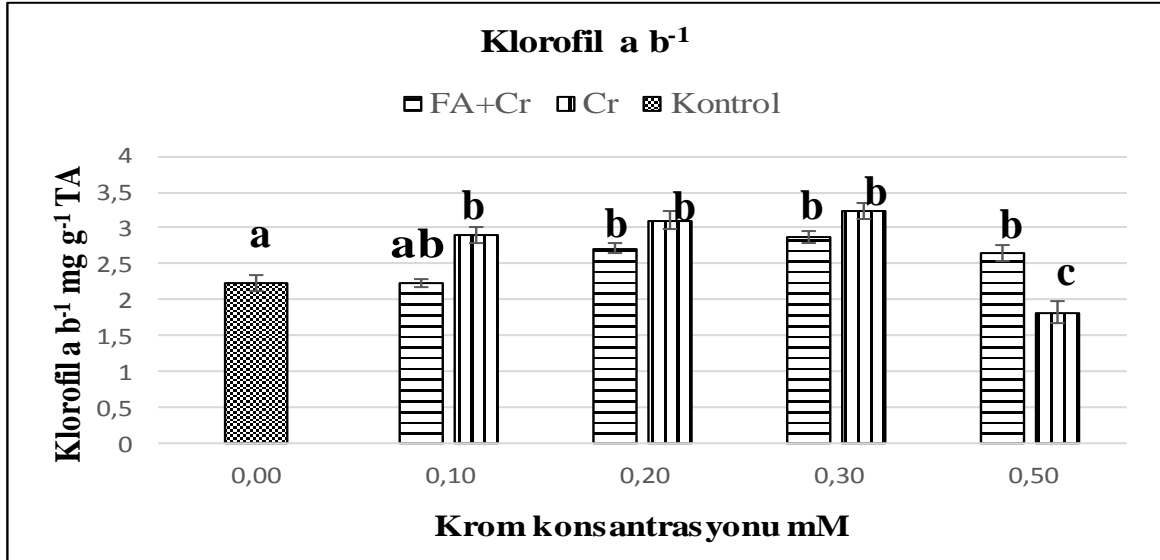
Şekil 1. Artan krom konsantrasyonunda FA+Cr ve Cr gruplarında klorofil a değişimi



Şekil 2. Artan krom konsantrasyonunda FA+Cr ve Cr gruplarında klorofil b değışimi

Lamhamdi ve ark. (2013)'da, buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Achar) ve ıspanakta (*Spinacia oleracea* L. var. Ge' ant d'hiver) kurşun ağır metali uygulamalarında, klorofil a

değerlerinde kontrol grubuna göre azalma tespit etmişlerdir. Çalışma sonucumuzda klorofil a değerlerinde krom uygulanan bütün gruplarda azalma olmuştur.



Şekil 3. Artan krom konsantrasyonunda FA+Cr ve Cr gruplarında klorofil a b<sup>-1</sup> değışimi

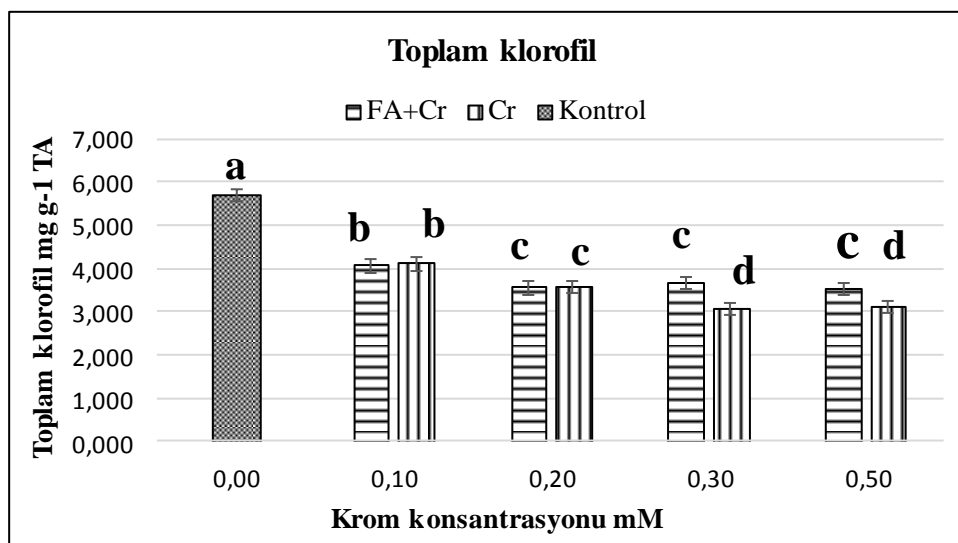
Çalışma sonunda elde edilen verilere göre Ceyhan 99 buğday çeşidinde klorofil b bakımından kontrol grubuyla karşılaştırıldığında FA+Cr grubu ile Cr uygulanan grupta azalma olmuştur (Şekil 2). Artan krom uygulamasında klorofil b kontrol grubuna kıyasla 0.10 mM'da azalırken 0.20 ile 0.50 mM konsantrasyonlarda değişmemiştir. Sharma ve ark. (1995) krom uygulanan buğday (*Triticum aestivum* L. cv. HD 2204) bitkilerinde klorofil b değerlerinde kontrol grubuna göre azalma olduğunu bildirmektedir. Çalışmamızda klorofil b'de meydana gelen azalma krom uygulanan bütün gruplarda meydana gelmiştir.

Krom stresi uygulamasına bağlı olarak, Ceyhan 99 çeşidinde klorofil a b<sup>-1</sup> oranının artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Konsantrasyonun 0.50 olduğu grupta azalma göstermiştir (Şekil 3).

Krom konsantrasyonunun 0.50 mM olarak uygulandığı grupta, klorofil a b<sup>-1</sup> oranı azalmıştır. Bu azalma 0.50 mM krom uygulanan grupta klorofil a değerinin, klorofil b değerine göre daha fazla azalmasına bağlıdır. Klorofil b'nin klorofil a'ya göre daha fazla azaldığı gruplarda Klorofil a b<sup>-1</sup> oranı artmaktadır (Şekil

3). Zengin ve Munzuroğlu (2005) ise, ağır metallerin klorofil a b<sup>-1</sup> oranında artışa neden olduğunu ifade etmektedir. Kadmiyum uygulamasının ise, Bolal 2973 buğday çeşidinde klorofil a b<sup>-1</sup> oranında önemli bir artışa sebep olduğu, ancak artan kadmiyum seviyelerinin her iki buğday çeşidinde de kontrolle kıyaslandığında klorofil a b<sup>-1</sup> oranını azalttığı bildirilmiştir. Sagardoy ve ark. (2009), şekerpancarında (*Beta vulgaris* L.) çinko stresi uygulamasında klorofil a b<sup>-1</sup> oranında artış olduğunu, ancak en yüksek konsantrasyonda azalma eğilimi olduğunu bildirmektedirler. Sıcaklık faktörüne bağlı olarak, Gerek 79 buğday çeşidinde klorofil a b<sup>-1</sup> oranındaki değişimiyle ilgili bir çalışma yapan Öncel ve ark. (2000), yüksek sıcaklık uygulamasında klorofil a b<sup>-1</sup> oranında azalma tespit etmişlerdir.

Toplam klorofil içeriği, kontrol grubuyla karşılaştırıldığında krom seviyesindeki artışa bağlı olarak azalma göstermektedir. FA+Cr ile yalnızca Cr uygulanan grup karşılaştırıldığında, toplam klorofil açısından azalmanın Cr grubunda daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 4).

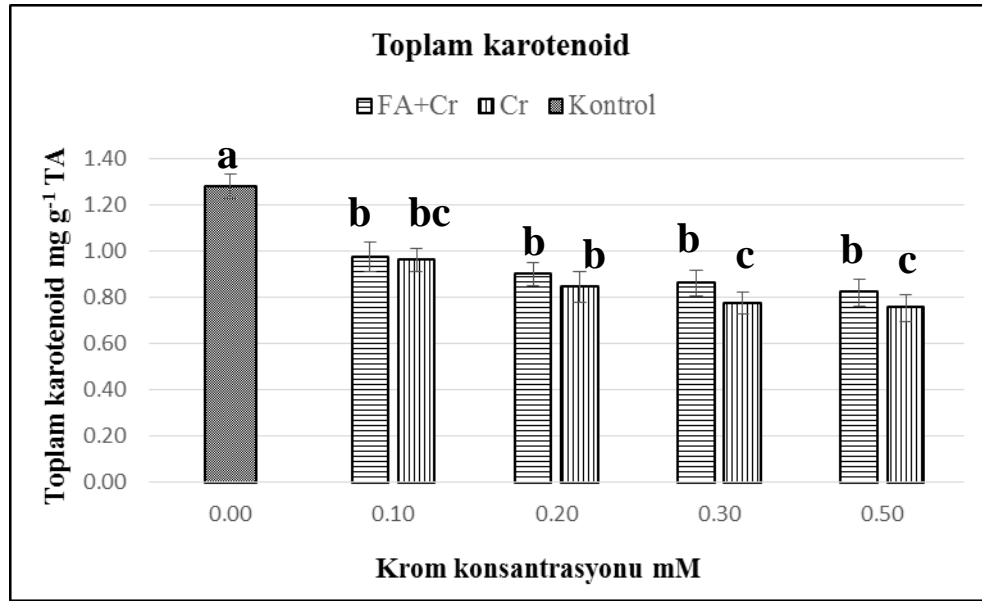


Şekil 4. Artan krom konsantrasyonunda FA+Cr ve Cr gruplarında toplam klorofil değişimi

Çalışmamızda toplam klorofil içeriği krom seviyesinin artışına bağlı olarak azalma göstermektedir. Ali ve ark. (2015), benzer şekilde buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkilerinde artan miktarlarda krom uygulamasına bağlı olarak toplam klorofilin de azaldığını rapor etmişlerdir. Chanatachon ve ark. (2002) yüksek kurşun seviyelerinde güve otunda (*Vetiver* sp.) toplam klorofil içeriğinde azalma olduğunu ifade etmişlerdir. Lamhamdi ve ark. (2013) buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkilerinde artan konsantrasyonlarda kurşun uygulamalarında toplam klorofil oranında

kontrol grubuna oranla azalma olduğunu bildirmektedirler.

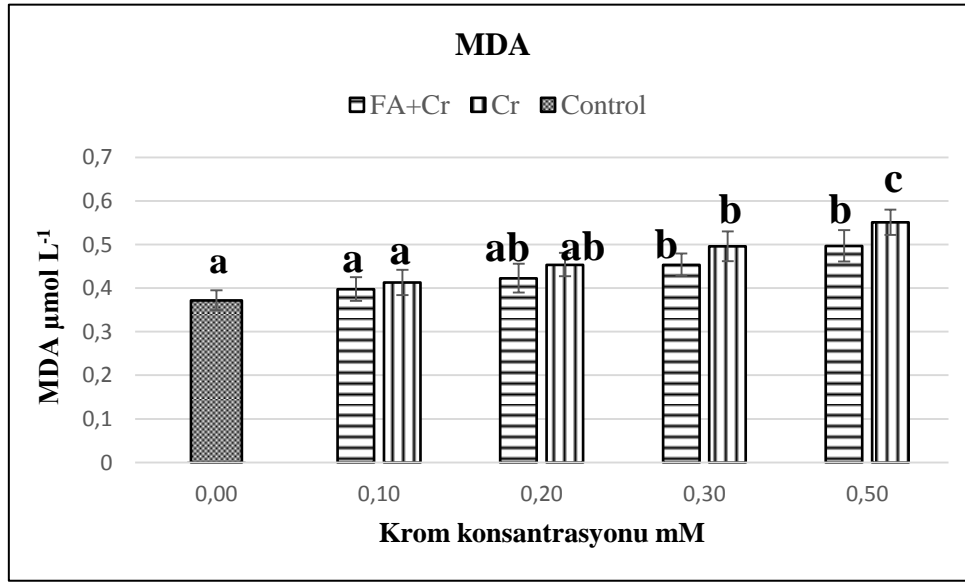
Klorofil-a, klorofil-b, toplam klorofil ve karotenoidlerde krom kaynaklı azalma iyi bilinmektedir (Mishra ve Tripathi, 2009; Sharma ve ark., 2016). Buğday bitkilerinde artan krom seviyelerine bağlı olarak krom uygulanan gruplar kontrolle karşılaştırıldığında toplam karotenoid miktarında azalma olmuştur. Yalnızca krom uygulanan grupta toplam karotenoid miktarı daha fazla azalma göstermiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Artan krom konsantrasyonunda FA+Cr ve Cr gruplarında toplam karotenoid değişimi

Çalışmada uygulanan krom miktarındaki artışla birlikte toplam karotenoid içeriğinde azalma olmuştur. Toplam karotenoid miktarı kontrolle kıyaslandığında FA+Cr grubuna göre yalnızca krom uygulanan grupta daha fazla azalma tespit edilmiştir. Sinha ve ark. (2005) *Spirodella polyrhiza* ve *Vallisneria spiralis* gibi sucul bitki türlerinde ve *Brassica juncea*'da düşük krom uygulamalarında toplam karotenoidlerin yükseldiğini buna karşın yüksek krom uygulamalarında ise azaldığını belirtmektedir. Nichols ve ark. (2000) kromun

*Salvinia minima* etkileri üzerine yaptıkları çalışmada karotenoidlerin içeriğinin önemli derecede azaldığını belirtmektedirler. FA uygulaması krom stresi altında Ceyhan 99 çeşidine klorofil ve karotenoid içeriğinin artması bakımından olumlu etki yapmıştır. Fotosentetik pigment içeriğinin artışı kromun bitki tarafından alınması ve taşınmasını azaltan FA uygulanmasına bağlı olabilir (Ali ve ark., 2018). Shahid ve ark. (2012), ROT üretiminde ve kloroplast hasarını önlemede, FA uygulamanın önemine dikkat çekmiştir.



Şekil 6. Artan krom konsantrasyonunda FA+Cr ve Cr gruplarında MDA değişimi

Krom, buğday yapraklarındaki membranlara oksidatif stresten kaynaklanan lipid peroksidasyon seviyesini arttırmıştır (Panda ve Chaudhury 2005). Bu çalışmada, Ceyhan 99 çeşidine uygulanan artan seviyelerdeki krom miktarıyla birlikte MDA içeriği kontrol grubuna göre artış göstermektedir. Bu artış FA+Cr grubuna göre, yalnızca krom uygulanan grupta daha yüksek olmuştur (Şekil 6). MDA'nın bu özelliği klorofil a b<sup>-1</sup> oranı ile benzerlik göstermektedir. Buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkilerinde kromun miktarına ve uygulama süresine bağlı olarak önemli derecede MDA içeriği artmaktadır (Subrahmanyam, 2008). Çinko Pedrezuela arpasında, krom metali ise Albares buğdayında kontrole oranla MDA içeriğinde artışa neden olmuştur (Gonzales ve ark., 2017). Çalışmamızda kontrole karşılaştırıldığında MDA içeriğinde artış görülmüştür. Bu artış FA+Cr uygulamasına oranla yalnızca krom uygulanan grupta daha fazladır.

## SONUÇ

FA'nın kromun toksik etkilerinden klorofil pigmentlerini ve karotenoidleri koruduğunu söyleyebiliriz. Elde edilen verilere göre, bitkilerde FA gibi humik bileşiklerin lipid peroksidasyonu önlemenin yanı sıra, antioksidant enzimlerin aktivitelerini ve savunma kapasitelerini artırarak büyüme ve gelişmeyi teşvik ettiğini düşünmekteyiz.

Cr stresine karşı FA düşük konsantrasyonlarda etkili olmakta buna karşın konsantrasyon arttıkça metal stresini önlemede etkisi azalmaktadır. Toprağın önemli bileşenlerini oluşturan humik asit (HA) ve Fulvik asit (FA) gibi bileşenlerin uzun zaman süreçlerinde oluştuğu bilinciyle metal kirlenmesine ve erozyona karşı ciddi önlemler alınmalıdır. Aksi takdirde verimli ve sağlıklı ürünlerin maliyetleri ciddi boyutlara ulaşabilir.



**KAYNAKLAR**

- Ali S, Bai P, Zeng F, Cai S, Shamsi IH, Qiu B, Wua F, Zhanga G, 2011a. 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.
- Ali S, Zeng F, Cai S, Qiu B, Zhang GP, 2011b. The interaction of salinity and chromium the influence of barley growth and oxidative stress. *Plant Soil Environment*, 57: 153-159.
- Ali S, Bai P, Zeng F, Cai S, Shamsi IH, Qiu B, Wu F, Zhang G, 2011c. 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.
- Ali S, Farooq MA, Jahangir MM, Abbas F, Bharwana SA, Zhang GP, 2013. Effect of chromium and nitrogen form on photosynthesis and anti-oxidative system in barley. *Biologia Plantarum*, 57: 785-791.
- Ali S, Bharwana SA, Rizwan M, Farid M, Kanwal S, Ali Q, Khan MD, 2015. Fulvic acid mediates chromium (Cr) tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) through lowering of Cr uptake and improved antioxidant defense system. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(14): 10601-10609.
- Ali E, Hussain N, Shamsi IH, Jabeen Z, Siddiqui MH, Jiang LX, 2018. Role of jasmonic acid in improving tolerance of rapeseed (*Brassica napus* L.) to Cd toxicity. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B*, 19 (2): 130-146.
- Cambrollé J, Mateos-Naranjo E, Redondo-Gómez S, Luque T, Figueroa ME, 2011. Growth, reproductive and photosynthetic responses to copper in the yellow-horned poppy, *Glaucium flavum* Crantz. *Environmental and Experimental Botany*, 71:57-64.
- Chanatachon S, Kruatrachue M, Pokethitiyook P, Tantanararit S, Upatham S, Soontjornsarathool V, 2002. Phytoextraction of lead from contaminated soil by vetiver grass (*Vetiver* sp.). 17th World Congress of Soil Science, Paper no. 2308, Bangkok, August 14-21, 2002.
- Choudhury S, Panda SK, 2005. Toxic effect, oxidative stress and ultrastructural changes in moss *taxitheelium nepalense* (schwaegr.) broth. under lead and chromium toxicity. *Water Air & Soil Pollution*, 167: 73-90.
- Conn PF, Schalch W, Truscott G, 1991. The singlet oxygen and carotenoid interaction. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 11: 41-47.
- Diwan H, Ahmad A, Iqbal M, 2012. Characterization of chromium toxicity in food crops and their role in phytoremediation. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 3: 159.
- Ertani A, Mietto A, Borin M, Nardi S, 2017. Chromium in Agricultural Soils and Crops: A Review. *Water Air & Soil Pollution*, 228 (5) 190.
- Farid M, Ali S, Shakoor MB, Bharwana SA, Rizvi H, Ehsan S, Tauqeer HM, Iftikhar U, Hannan F, 2013. EDTA assisted phytoremediation of cadmium, lead and zinc. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4: 2833-2846.
- Gill RA, Zang L, Ali B, Farooq MA, Cui P, Yang S, Zhou W, 2015. Chromium-induced physiochemical and ultrastructural changes in four cultivars of *Brassica napus* L. *Chemosphere*, 120:154-164.
- Gonzalez A, Gil-díaz MM, Pinilla P, Lobo MC, 2017. Impact of Cr and Zn on growth, biochemical and physiological parameters, and metal accumulation by wheat and barley plants. *Water Air Soil Pollution*, 228:419.
- Güleç TE, Sönmezoğlu ÖA, Yıldırım, A, 2010. Makarnalık buğdaylarda kalite ve kaliteyi etkileyen faktörler. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(1): 113-120.

- Heath RL, Packer L, 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125: 189-198.
- Kimbrough DE, Cohen Y, Winer AM, Creelman L, Mabuni C, 1999. A Critical Assessment of Chromium in the Environment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 29: 1-46.
- Kono M, Terashima I, 2014. Long-term and short-term responses of the photosynthetic electron transport to fluctuating light. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 137:89-99.
- Koyro HW, 2006. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago cronopus* (L.). *Environmental and Experimental Botany*, 56: 136-146.
- Krupa Z, Bazyński T, 1995. Some aspects of heavy metal toxicity towards photosynthetic apparatus-direct and indirect effects on light and dark reactions. *Acta Physiologiae Plantarum*, 17: 177-190.
- Lamhamdi M, El Galiou O, Bakrim A, Novoa-Munoz JC, Arias-Est evez M, Aarab A, Lafont R, 2013. Effect of lead stress on mineral content and growth of wheat (*Triticum aestivum*) and spinach (*Spinacia oleracea*) seedlings. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 20: 29-36.
- Lichtenthaler H, Wellburn AR, 1983. Determination of toplam carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transaction*, 603: 591-593.
- Marques MC, do Nascimento CWA, 2013. Analysis of chlorophyll fluorescence spectra for the monitoring of Cd toxicity in a bioenergy crop (*Jatropha curcas*). *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 127:88-93
- Mishra VK, Tripathi B, 2009. Accumulation of chromium and zinc from aqueous solutions using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Journal of Hazardous Materials*, 164, 1059-1063.
- Nagajyoti PC, Lee KD, Sreekanth TVM, 2010. Heavy metals occurrence and toxicity for plants: a Review. *International Journal of Environmental Bioremediation, Biodegradation*, 8: 199-216.
- Nardi S, Pizzeghello D, Provenzano MR, Cilenti A, Sturaro A, Rella R, Vianello A, 2005. Chemical characteristics and biological activity of organic substances extracted from soils by root exudates. *Soil Science Society of America Journal*, 69: 2012-2019.
- Nichols PB, Couch JD, Al-Hamdani SH, 2000. Selected physiological responses of *Salvinia minima* to different chromium concentrations. *Aquatic Botany*, 68: 313-9.
- Ouzounidou G, 1995. Cu-ions mediated changes in growth, chlorophyll and other ion contents in a Cu-tolerant *Koeleria splendens*. *Biologia Plantarum*, 37: 71-79.
- Öncel I, Keleş Y, Üstün AS, 2000. Interactive effects of temperature and heavy metal stress on the growth and some biochemical compounds in wheat seedlings. *Environmental Pollution*, 107: 315-320.
- Panda SK, Choudhury S, 2005. Chromium Stress in Plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 17: 95-102.
- Sagardoy R, Morale F, Lopez-Millan AF, Abadia A, Abadia J, 2009. Effects of zinc toxicity on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants grown in hydroponics. *Plant Biology*, 11(3): 339-350.
- Schnitzer M, 1982. Organic Matter Characterization, 581-594. In: *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Micro-biological Properties* (Eds. A.L. Page, R.H. Miller & D.R. Keeney). Madison, 1143 pp.
- Shahid M, Duma C, Silvestre J, Pinelli E, 2012. Effect of fulvic acids on lead-induced oxidative stress to metal sensitive *Vicia faba* L. plant. *Biology and Fertility of Soils*, 48, 689-697.

- Sharma DC, Chatterjee C, Sharma CP, 1995. Chromium accumulation and its effects on wheat (*Triticum aestivum* L. cv. HD2204) metabolism. *Plant Science*, 111:145–151.
- Sharma P, Pandey S, 2014. Status of phytoremediation in world scenario. *International Journal of Environmental Bioremediation, Biodegradation*, 2: 178–191.
- Sharma P, Kumar A, Bhardwaj R, 2016. Plant steroidal hormone epibrassinolide regulate-Heavy metal stress tolerance in *Oryza sativa* L. by modulating antioxidant defense expression. *Environmental and Experimental Botany*, 122, 1-9.
- Sinha S, Saxena R, Singh S, 2005. Chromium Induced Lipid Peroxidation in The Plants of *Pistia Stratiotes* L., Role of Antioxidants and Antioxidant Enzymes. *Chemosphere*, 58: 595-604.
- SPSS, 1999. *Statistical Package for the Social Sciences*, SPSS version 10.0. Chicago.
- Subrahmanyam D, 2008. Effects of chromium toxicity on leaf photosynthetic characteristics and oxidative changes in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Photosynthetica*, 46 (3): 339-345.
- Trevisan S, Pizzeghello D, Ruperti B, Francioso O, Sassi A, Palme K, Quaggiotti S, Nardi S, 2009. Humic substances induce lateral root formation and expression of the early auxin-responsive IAA19 gene and DR5 synthetic element in *Arabidopsis*. *Plant Biology*, 12: 604-614.
- Vajpayee P, Rai UN, Ali MB, Tripathi RD, Yadav V, Sinha S, Singh SN, 2001. Chromium Induced Physiological Changes in *Vallisneria spiralis* L. and Its Role in Phytoremediation of Tannery Effluent. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 67: 246-256.
- Van Assche F, Clijsters H, 1990. Effect of metals on enzyme activity in plants. *Plant Cell Environment*, 13: 195–206.
- Verma S, Dubey R, 2003, Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. *Plant Science*, 164:645–655.
- Wang G, Su MY, Chen YH, Lin FF, Luo D, Gao SF, 2006. Transfer characteristics of cadmium and lead from soil to the edible parts of six vegetable species in southeastern China. *Environmental Pollution*, 144(1): 127-35.
- Zengin KF, Munzuroğlu Ö, 2005. Fasulye Fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L.Strike) Klorofil ve Karotenoid Miktarı Üzerine Bazı Ağır Metallerin (Ni<sup>+2</sup>, Co<sup>+2</sup>, Cr<sup>+3</sup>, Zn<sup>+2</sup>) Etkileri. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1): 164-172.