



Impact of heavy metals (zinc and lead) on the photosynthetic pigment contents of *Bryum schleicheri* and *Plagiomnium undulatum* (Bryophyta)

Tülay EZER^{*1}, Tuba YILMAZ¹, Cemil İŞLEK², Bengü TÜRKYILMAZ ÜNAL²

¹Niğde Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Niğde, Türkiye

²Niğde Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoteknoloji Bölümü, Niğde, Turkey

Abstract

Bryophytes is one of the important components of terrestrial ecosystems and widely used as biomonitoring is very important in the formation of the world's biodiversity. In this study, zinc and lead effects on photosynthetic pigment content of *Bryum schleicheri* and *Plagiomnium undulatum* species of heavy metals were investigated. Bryophytes species were determined utilizing a variety of flora works. 15 and 30 minutes between 10^{-2} - 10^{-4} M ZnSO₄ and PbSO₄ aqueous solutions treated on 0.1 g sample. Chlorophyll and carotenoid amount is determined to the Arnon method. Consequently, zinc and lead heavy metals have been found to affect the photosynthetic pigment amounts of *Bryum schleicheri* and *Plagiomnium undulatum* species. Lead heavy metal appears to be more effective in both species.

Key words: carotenoid, chlorophyll, mosses, PbSO₄, ZnSO₄

----- * -----

Ağır metallerin (çinko ve kurşun) *Bryum schleicheri* and *Plagiomnium undulatum* (Bryophyta)'un fotosentetik pigment miktarları üzerine etkisi

Özet

Karasal ekosistemin önemli bileşenlerinden olan ve biyomonitör olarak yaygın şekilde kullanılan briyofitler dünyadaki biyolojik çeşitliliğin oluşmasında çok önemlidir. Bu çalışmada çinko ve kurşun ağır metallerinin *Bryum schleicheri* ve *Plagiomnium undulatum* türlerinin fotosentetik pigment içeriği üzerine etkileri araştırılmıştır. Briyofit türleri çeşitli flora eserlerinden faydalanılarak tespit edilmiştir. 0,1 g örnek üzerine 15 ve 30 dakika 10^{-2} - 10^{-4} M arasında ZnSO₄ ve PbSO₄ sulu çözeltileri uygulanmıştır. Arnon metoduna göre klorofil ve karotenoid miktarları belirlenmiştir. Sonuç olarak çinko ve kurşun ağır metallerinin *Bryum schleicheri* ve *Plagiomnium undulatum* türlerinde fotosentetik pigment miktarlarını etkilediği tespit edilmiştir. Her iki türde de kurşun ağır metalinin etkisinin daha fazla olduğu görülmektedir.

Anahtar kelimeler: karayosunu, karotenoid, klorofil, PbSO₄, ZnSO₄

1. Giriş

Günümüzde karasal ekosistemin önemli bileşenlerinden olan, evrimsel açıdan alg ve mantarlardan daha yüksek, eğrelti ve çiçekli bitkilerden daha ilkel seviyede bulunan briyofitler dünyadaki biyolojik çeşitliliğin oluşmasında çok önemlidir. Ancak küçük boyutlarıyla fazla göze çarpmayan ve genellikle birçok botanikçi tarafından ihmal edilmiş olan bu bitkiler, yeryüzünde tohumlu bitkilerden daha fazla yayılış alanına sahiptirler (Schofield, 2001).

Briyofitlerde klorofil konsantrasyonu vasküler bitkilere nazaran oldukça düşük seviyelerde olmasına rağmen, büyüme ve fotosentez olayı vasküler bitkiler ile paralellik göstermektedir. Hemen hemen tüm briyofitler klorofil içeriği bakımından gölge bitkilerinin karakteristiğini taşımaktadır. Ağır metaller genellikle insan faaliyetleri sonucu ortaya çıkan yaygın çevresel kirleticilerdir. Özgül ağırlıkları 5 ve üzerinde olan metaller, ağır metal olarak nitelenmekte (Ag, As, Cd, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Zn gibi) ve bunların gerek toprakta ve gerekse su ve atmosferde çok yönlü zararlara neden

* Corresponding author / Haberleşmeden sorumlu yazar: Tel.: +903882254037; Fax.: +903882250180; E-mail: tezer@nigde.edu.tr

olduğu (Çepel, 1997), bitkilerin değişik yaşam evrelerini etkilediği bilinmektedir. Bu etki ortamdaki konsantrasyonun artışına bağlı olarak, çoğu zaman tohumun çimlenmesi ve bitki gelişmesini engelleme yönünde olmaktadır (Yücel ve Yücel, 2013).

Briyofitler özellikle atmosferik biyomonitörler olarak yaygın şekilde kullanılmaktadırlar. Ağır metaller büyümede düşüş olmaksızın bazı briyofitler tarafından hücreler arası boşluklarda biriktirilmekte olsa da bitkinin toleransına bağlı olarak fotosentetik pigment konsantrasyonları ve canlılıkları etkilenmektedir (Fernandez ve Carballeira, 2002; Saxena vd., 2008). Briyofitlerin özellikle düşük pH'da klorofil miktarlarının azaldığı bilinmektedir (Garty vd., 1992).

Bu çalışmada çinko ve kurşun ağır metallerinin *B. schleicheri* ve *P. undulatum* türlerinin fotosentetik pigment içeriği üzerine etkileri araştırılmış olup ileride bu konuda yapılacak çalışmalara kaynak teşkil etmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Çalışmanın materyalini *B. schleicheri* ve *P. undulatum* türleri oluşturmakta olup türlere ait lokalite bilgileri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Türler için ait lokalite verileri

| Tür | Lokalite | GPS Koordinatları | Yükseklik (m) |
|---|--|------------------------------|---------------|
| <i>Bryum schleicheri</i> DC | Adana, Pozantı, Mazmılı Dağı | 37°40'292" K 35°34'223" D | 1980 |
| <i>Plagiomnium undulatum</i> (Hedw.) T.J.Kop | Kayseri, Yahyalı, Kapuzbaşı Takım Şelaleleri (Güney Şelalesi) | 37°46'540" K 35°23'255" D | 766 |

2.2. Yöntem

Briyofit örnekleri doğal ortamlarındaki habitatlardan toplanmış olup çeşitli flora eserlerinden (Cortini Pedrotti, 2001; 2006; Smith, 2004) faydalanılarak teşhis edilmiştir. Teşhis edilen örnekler üzerindeki taş, toprak ve yabancı otlar öncelikle mekanik olarak temizlenmiş, temizlenen örnekler musluk suyu ile ve sonrasında distile su ile yıkanarak kurumaya bırakılmıştır.

Ağır metal uygulamaları için 0,1g örnek tartılarak cam kavanoza alınmıştır. 0,1g karayosunu örneklerinin üzerine 10^{-2} - 10^{-4} M arasında değişen ağır metallerin [$ZnSO_4$ ve $PbSO_4$] sulu çözeltileri uygulanmış, kontrol grubu için ise distile su kullanılmıştır. Örnekler ağır metal çözeltilerinde 15' ve 30' olmak üzere iki farklı sürede bekletilmek suretiyle pigment konsantrasyonlarındaki değişim tespit edilmiştir.

Örneklerin klorofil ve karotenoid konsantrasyonu Arnon (1949) metoduna göre belirlenmiştir. 15' ve 30' olmak üzere iki farklı sürede metal uygulanmış olan 0,1g'lık örnekler %80'lik 15 ml (hacim/hacim) aseton ile homojenize edilmiş ve whatman no:1 filtre kağıdından süzümüştür. Deney tüplerine alınan ekstraktlarda Jenway U.V. spektrofotometresinde (CE 5502 UV) 652 nm'de toplam klorofil, 663 nm'de klorofil-a, 645 nm'de klorofil-b ve 470 nm'de karotenoid absorbans değerleri ölçülmüştür. Hesaplamalar Lichtenthaler ve Wellburn (1983) tarafından aşağıda verilen formüllere göre yapılmıştır (A: ölçülen absorbans değeri).

Toplam klorofil = $A_{652} \times 27.8 / \text{mg örnek ağırlığı}$

Klorofil-a (K1 a) = $(11.75 \times A_{663} - 2.35 \times A_{645}) \times 20 / \text{mg örnek ağırlığı}$

Klorofil-b (K1 b) = $(18.61 \times A_{645} - 3.96 \times A_{663}) \times 20 / \text{mg örnek ağırlığı}$

Karotenoid = $((1000 \times A_{470} - 2.27 \times K1 a - 81.4 \times K1 b) / 227) \times 20 / \text{mg örnek ağırlığı}$

İstatistik analizler SPSS 16.0 One-Way Anova Tukey (1954) testine göre $p < 0.05$ seviyesinde yapılmıştır. Örnekler üç tekrarlı çalışılmış olup standart sapma değerleri \pm olarak gösterilmiştir.

3. Bulgular

Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan Zn ve Pb ağır metallerinin *B. schleicheri* ve *P. undulatum* türlerine ait klorofil miktarları üzerine etkileri Tablo 2 ve Şekil 1'de gösterilmiştir.

Sonuçlar istatistik olarak Tukey (SPSS 16.0 One-Way Anova) testine göre $p < 0.05$ seviyesinde analiz edilmiş olup her kolonda farklı harfler önemlilik derecesinde farklılığı göstermektedir.

B. schleicheri'nin klorofil-a değerlerinde kontrole göre en yüksek azalmalar $PbSO_4$ uygulamasında 10^{-2} M 15' da ($0,794 \text{ mg.mL}^{-1}$ dan $0,426 \text{ mg.mL}^{-1}$ 'a) belirlenirken, $ZnSO_4$ uygulamasında ise 10^{-4} M 30' da ($0,794 \text{ mg.mL}^{-1}$ dan $0,599 \text{ mg.mL}^{-1}$ 'a) saptanmıştır. Her iki azalma da istatistiksel açıdan önemlilik derecesindedir ($p < 0.05$). *P. undulatum* türünde ise çinko uygulamasının 10^{-2} M 15' hariç tüm konsantrasyonları ve süreleri ile kurşun ağır metalinin tüm konsantrasyon ve sürelerinde kontrole göre klorofil-a miktarında azalmalar meydana gelmiştir. $ZnSO_4$ 10^{-4} M 15' haricindeki tüm artış ve azalmalar istatistiki açıdan önemlidir ($p < 0.05$) (Tablo 2).

Tablo 2. Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan Zn ve Pb ağır metallerinin *B. schleicheri* ve *P. undulatum* bitkilerinde klorofil-a ve klorofil-b miktarları ile klorofil a/b üzerine etkileri (\pm SE)

| Tür | Grup | Klorofil-a (mg.mL ⁻¹) | Klorofil-b (mg.mL ⁻¹) | Klorofil a/b |
|------------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| <i>Bryum schleicheri</i> | Kontrol | 0.794 \pm 0.015x | 0.308 \pm 0.024x | 2.442 \pm 0.043x |
| | ZnSO ₄ 10 ⁻⁴ 15' | 0.696 \pm 0.055x | 0.331 \pm 0.002x | 1.999 \pm 0.096y |
| | ZnSO ₄ 10 ⁻⁴ 30' | 0.599 \pm 0.037y | 0.317 \pm 0.011x | 1.825 \pm 0.050y |
| | ZnSO ₄ 10 ⁻³ 15' | 0.681 \pm 0.004x | 0.368 \pm 0.008y | 1.868 \pm 0.017y |
| | ZnSO ₄ 10 ⁻³ 30' | 0.684 \pm 0.001x | 0.375 \pm 0.008y | 1.841 \pm 0.043y |
| | ZnSO ₄ 10 ⁻² 15' | 0.644 \pm 0.027y | 0.329 \pm 0.009x | 1.925 \pm 0.068y |
| | ZnSO ₄ 10 ⁻² 30' | 0.858 \pm 0.019x | 0.421 \pm 0.025y | 2.053 \pm 0.075y |
| | PbSO ₄ 10 ⁻⁴ 15' | 0.600 \pm 0.012y | 0.298 \pm 0.011x | 2.074 \pm 0.081y |
| | PbSO ₄ 10 ⁻⁴ 30' | 0.652 \pm 0.031y | 0.319 \pm 0.002x | 2.145 \pm 0.079y |
| | PbSO ₄ 10 ⁻³ 15' | 0.534 \pm 0.003y | 0.227 \pm 0.013y | 2.395 \pm 0.085x |
| | PbSO ₄ 10 ⁻³ 30' | 0.501 \pm 0.014y | 0.182 \pm 0.015y | 2.475 \pm 0.041x |
| | PbSO ₄ 10 ⁻² 15' | 0.426 \pm 0.047y | 0.247 \pm 0.005y | 1.999 \pm 0.021y |
| | PbSO ₄ 10 ⁻² 30' | 0.541 \pm 0.054y | 0.235 \pm 0.011y | 2.243 \pm 0.106x |
| <i>Plagiomnium undulatum</i> | Kontrol | 1.181 \pm 0.012x | 0.730 \pm 0.018x | 1.617 \pm 0.027x |
| | ZnSO ₄ 10 ⁻⁴ 15' | 1.046 \pm 0.017x | 0.719 \pm 0.037x | 1.455 \pm 0.053x |
| | ZnSO ₄ 10 ⁻⁴ 30' | 0.812 \pm 0.019y | 0.573 \pm 0.038y | 1.420 \pm 0.065x |
| | ZnSO ₄ 10 ⁻³ 15' | 0.876 \pm 0.059y | 0.603 \pm 0.065x | 1.379 \pm 0.099x |
| | ZnSO ₄ 10 ⁻³ 30' | 0.753 \pm 0.118y | 0.714 \pm 0.065x | 1.425 \pm 0.072x |
| | ZnSO ₄ 10 ⁻² 15' | 1.414 \pm 0.067y | 1.063 \pm 0.038y | 1.338 \pm 0.023x |
| | ZnSO ₄ 10 ⁻² 30' | 0.990 \pm 0.041y | 0.699 \pm 0.020x | 1.417 \pm 0.055x |
| | PbSO ₄ 10 ⁻⁴ 15' | 0.673 \pm 0.052y | 0.570 \pm 0.037y | 1.373 \pm 0.095x |
| | PbSO ₄ 10 ⁻⁴ 30' | 0.662 \pm 0.074y | 0.598 \pm 0.048x | 1.404 \pm 0.066x |
| | PbSO ₄ 10 ⁻³ 15' | 0.770 \pm 0.035y | 0.485 \pm 0.008y | 1.588 \pm 0.084x |
| | PbSO ₄ 10 ⁻³ 30' | 0.775 \pm 0.071y | 0.394 \pm 0.021y | 1.569 \pm 0.132x |
| | PbSO ₄ 10 ⁻² 15' | 0.768 \pm 0.022y | 0.476 \pm 0.009y | 1.546 \pm 0.074x |
| | PbSO ₄ 10 ⁻² 30' | 0.646 \pm 0.013y | 0.436 \pm 0.008y | 1.481 \pm 0.024x |

Yapılan literatür taramaları sonucunda çinko ve kurşun ağır metallerinin *B. schleicheri* ve *P. undulatum* türlerinin fotosentetik pigment içeriği üzerine etkisi ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Tremper vd., (2004), bakır, çinko ve kurşun ağır metalleri uyguladığı *Rhytidiadelphus squarrosus* türünde klorofil-a miktarının azaldığını tespit etmiştir. Bu sonuç elde ettiğimiz veriler ile benzerlik göstermekte olup klorofil-a miktarındaki azalmanın ağır metallerin karayosunlarının biyokimyasal ve fizyolojik mekanizmaları üzerine yıkıcı etkisinden kaynaklandığı söylenebilir (Fatoba vd., 2008). *B. schleicheri* türünün klorofil-b değerinde ZnSO₄'da kontrole göre artışlar meydana gelmiş, en yüksek artış % 36,69 ile 10⁻² M ve 30' da saptanmıştır (p<0.05). PbSO₄ uygulamasında ise kontrole göre azalmalar görülmüş, en fazla azalma % 59,09 ile 10⁻³ M ve 30' da tespit edilmiştir (p<0.05) (Tablo 2).

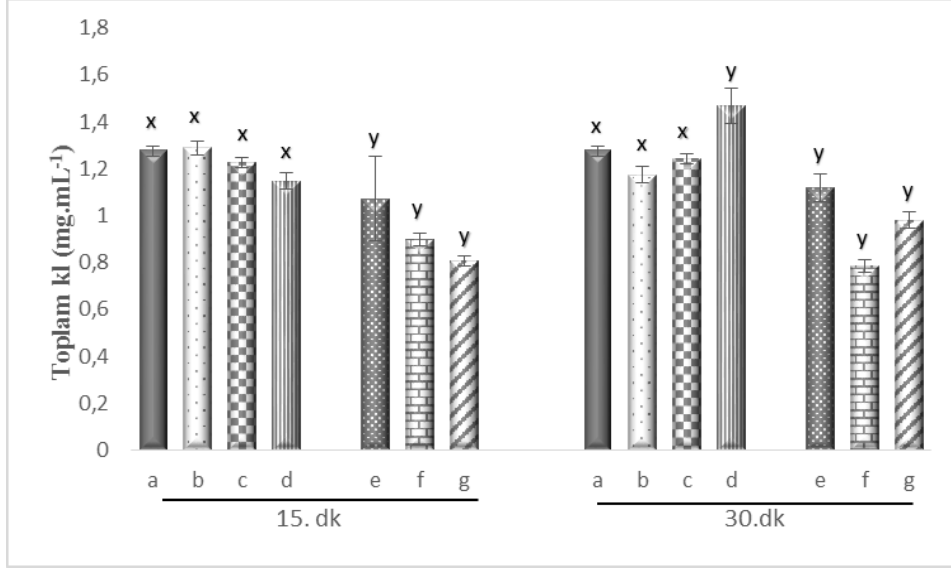
P. undulatum türünün klorofil-b miktarında ZnSO₄ ve PbSO₄ uygulamalarında kontrole göre farklılıklar meydana gelmiş olup azalma yönünden en fazla zarar ZnSO₄ 10⁻⁴ M 30' (% 21,51) ve PbSO₄ 10⁻³ M 30' (% 46,03) uygulamalarında ortaya çıkmıştır (p<0.05) (Tablo 2).

Metal stresinde klorofil b genellikle yükselmektedir. Çünkü metaller klorofil a'nın klorofil b'ye dönüşümüne neden olmaktadır (Chettri vd., 1998). Klorofil a içeriğindeki azalma ağır metal toksisitesinin yaygın bir semptomudur denebilir.

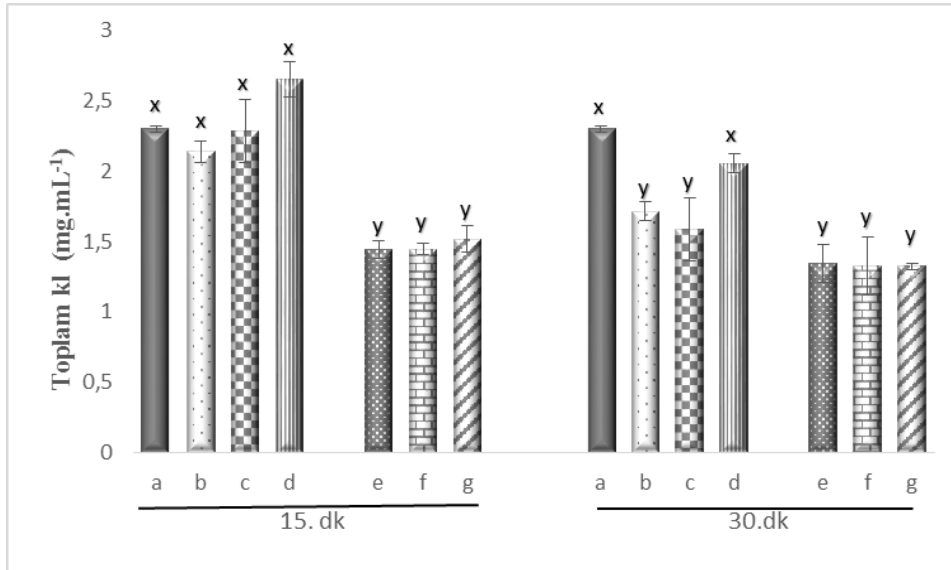
Klorofil a/b oranlarında *B. schleicheri*'de PbSO₄ 10⁻³ M 30' hariç tüm metal konsantrasyonları ve sürelerinde kontrol grubuna göre azalmalar meydana gelmiştir. Klorofil a/b oranı ZnSO₄ uygulamasında 10⁻⁴ M 30' da ve PbSO₄ uygulamasında 10⁻² M 15' da en fazla azalmayı göstermiştir (p<0.05). *P. undulatum*'da ise kontrol grubuna göre azalmalar meydana gelmiş, fakat istatistik açıdan önemlilik derecesinde bir farklılık tespit edilmemiştir (Tablo 2). Chettri vd., (1998) tarafından liken türleri üzerinde yapılan çalışmada, klorofil a/b oranında *Cladonia convoluta*'da Pb ve Zn uygulamaları %10-15 azalmaya neden olurken, *C. rangiformis*'te Zn önemli bir etki göstermemiş buna karşın Pb ise hafif bir artışa neden olmuştur. Bu durum çalışma verilerimizle benzerlik göstermekte olup çinko ve kurşun özellikle klorofil a/b oranında likenlerde olduğu gibi karayosunlarında da azalmaya neden olmuştur.

Bu çalışmada uygulama gruplarında klorofil a/b oranının azalmasının en önemli nedeni klorofil a miktarının azalmasıdır. Klorofil a/b oranındaki azalma tipik olarak yaşlanma sırasında meydana gelir (Dean vd., 1993). Bu durum fotosistem II'yi içeren grana lamelleriyle karşılaştırıldığında, fotosistem I ve klorofil a'nın büyük kısmını içeren kloroplast stroma lamellerinin önceki yapısını daha fazla kaybetmesiyle açıklanabilir (Bricker ve Newman, 1982).

B. schleicheri türünün toplam klorofil miktarlarına bakıldığında ZnSO₄ 10⁻² M 30 dakikasında kontrole göre artış meydana gelmiş ve bu artışın istatistik açıdan önemlilik derecesinde olduğu saptanmıştır. PbSO₄ uygulamasında ise 10⁻² M, 10⁻³ M ve 10⁻⁴ M 15' ve 30' sürelerde kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde (p<0.05) azalmalar olduğu görülmüş, en önemli azalmanın 10⁻³ M 30 dakikada (%38,35) meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 1). *P. undulatum*'da ise en dikkat çekici azalmaların ZnSO₄ 10⁻³ M 30' uygulamasında ve PbSO₄ 10⁻² M 30' uygulamasında olduğu saptanmıştır (p<0.05) (Şekil 2).

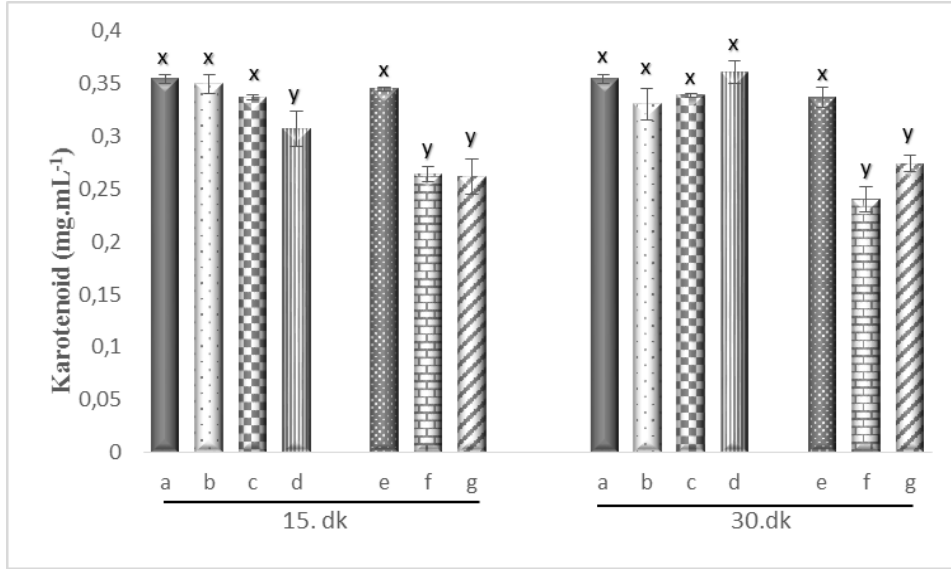


Şekil 1. Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan Zn ve Pb ağır metallerinin *B. schleicheri*'nin toplam klorofil miktarı üzerindeki etkisi. a: kontrol grubu, b: 10^{-4} M $ZnSO_4$ uyg., c: 10^{-3} M $ZnSO_4$ uyg., d: 10^{-2} M $ZnSO_4$ uyg., e: 10^{-4} M $PbSO_4$ uyg., f: 10^{-3} M $PbSO_4$ uyg., g: 10^{-2} M $PbSO_4$ uyg., Her sütunda farklı harfler önemlilik derecesinde farklılığı göstermektedir $p < 0.05$ (Tukey test)

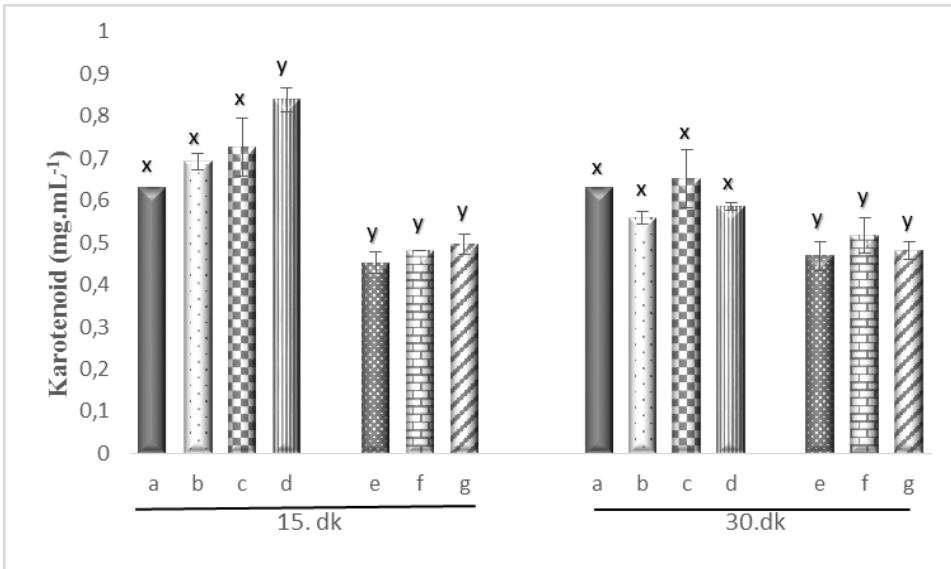


Şekil 2. Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan Zn ve Pb ağır metallerinin *P. undulatum*'ün karotenoid miktarı üzerindeki etkisi. a: kontrol grubu, b: 10^{-4} M $ZnSO_4$ uyg., c: 10^{-3} M $ZnSO_4$ uyg., d: 10^{-2} M $ZnSO_4$ uyg., e: 10^{-4} M $PbSO_4$ uyg., f: 10^{-3} M $PbSO_4$ uyg., g: 10^{-2} M $ZnSO_4$ uyg. Her sütunda farklı harfler önemlilik derecesinde farklılığı göstermektedir $p < 0.05$ (Tukey test)

Ağır metallerin yüksek konsantrasyonlarının vasküler bitkilerde (Pätsikkä vd., 2002), briyofitlerde (Brown ve Wells, 1990; Guschina ve Harwood, 2002) ve likenlerde (Chettri vd., 1998) membran zararlanması, iyon sızıntısı ve klorofil miktarında azalmalara neden olduğu bilinmektedir. Shakya vd., (2008) tarafından yapılan çalışmada karayosunu *Thuidium delicatulum* (L.) Mitt, *T. sparsifolium* (Mitt.) Jaeg., ve çiğerothu *Ptychanthus striatus* (Lehm. ve Linderb.) türlerine 10^{-2} M ve 10^{-10} M arasında değişen konsantrasyonlarda bakır, çinko ve kurşun ağır metalleri uygulanmış ve klorofil içeriği üzerine etkileri araştırılmıştır. Çinko ve kurşun birikmesinden sonra her iki *Thuidium* türünün klorofil içeriğinde önemsiz bir azalma olurken, çiğerotunda önemlilik derecesinde bir artış meydana geldiği görülmüştür. Ağır metal konsantrasyonlarına maruz kalan bitkilerde klorofil miktarındaki azalmaların nedenini klorofil yıkımının artması veya sentezinin engellemesi ile açıklanabilir. *B. schleicheri*'de karotenoid miktarı $ZnSO_4$ 10^{-2} M 15' uygulamasında (%13,28) ve $PbSO_4$ 10^{-3} M 30' uygulamasında (%32,20) kontrol grubuna en önemli azalmaları ($p < 0.05$) göstermiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan Zn ve Pb ağır metallerinin *B. schleicheri*'nin karotenoid miktarı üzerindeki etkisi. a: kontrol grubu, b: 10⁻⁴ M ZnSO₄ uyg., c: 10⁻³ M ZnSO₄ uyg., d: 10⁻² M ZnSO₄ uyg., e: 10⁻⁴ M PbSO₄ uyg., f: 10⁻³ M PbSO₄ uyg., g: 10⁻² M PbSO₄ uyg., Her sütunda farklı harfler önemlilik derecesinde farklılığı göstermektedir p<0.05 (Tukey test)



Şekil 4. Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan Zn ve Pb ağır metallerinin *P. undulatum*'un karotenoid miktarı üzerindeki etkisi. a: kontrol grubu, b: 10⁻⁴ M ZnSO₄ uyg., c: 10⁻³ M ZnSO₄ uyg., d: 10⁻² M ZnSO₄ uyg., e: 10⁻⁴ M PbSO₄ uyg., f: 10⁻³ M PbSO₄ uyg., g: 10⁻² M ZnSO₄ uyg. Her sütunda farklı harfler önemlilik derecesinde farklılığı göstermektedir p<0.05 (Tukey test)

P. undulatum'un karotenoid değerlerinde PbSO₄ uygulamasında 10⁻⁴ M, 10⁻³ M, 10⁻² M 15' ve 30' sürelerde kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde (p<0.05) azalma saptanırken ZnSO₄ uygulamasında 10⁻² M 15' sürede kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde (p<0.05) artış olduğu belirlenmiştir (Şekil 2). PbSO₄ uygulamasında karotenoid miktarı 10⁻⁴ M 15' sürede 0,628 mg.mL⁻¹ den 0,452 mg.mL⁻¹' ye en önemli azalmayı göstermiş, ZnSO₄ uygulamasında ise 10⁻² M 15' sürede 0,628 mg.mL⁻¹'den 0,839 mg.mL⁻¹'ye artmıştır (Şekil 4).

Karotenoidler ağır metal stresi ve birçok dejeneratif stresten korunmada antioksidan olarak görev yapmaktadır (Syta vd., 2013). Ancak ağır metaller bitkilerdeki klorofiller kadar karotenoidleri de etkiler (Ghnaya vd., 2009). Farklı bitkiler ve bitki kısımları ağır metallerin birikimine karşı fotosentetik pigment sentezinde farklı tepkiler gösterebilir. Örneğin, klorofil ve karotenoid içeriğini azaltabilirler (Shakya vd., 2008) ya da ROS üretimiyle ilişkili olarak karotenoid gibi molekül ağırlığı düşük bileşiklerin sentezini teşvik edebilirler (Kumar vd., 2012).

Ağır metal uygulamalarında toplam klorofil içeriği hem karayosunlarında hem de ciğerotlarında (Cu, Zn, Pb) azalmıştır. Azalmanın nedeni klorofil biyosentezindeki inhibisyon olabilir (Krupa vd., 1996; Kastori vd. 1998).

Sonuç olarak çinko ve kurşun ağır metallerinin *B. schleicheri* ve *P. undulatum* karayosunu türlerinde fotosentetik pigment miktarlarını etkilediği saptanmıştır. Klorofil a miktarındaki azalmalar ve karotenoid miktarındaki artmalar stres göstergesidir. Her iki türde de kurşun ağır metalinin etkisinin daha fazla olduğu görülmektedir. Özellikle kısa süreli ağır metal stresi altında *P. undulatum* türünün antioksidan özellik taşıyan karotenoid miktarını artırarak, *B. schleicheri* türüne oranla daha fazla dayanıklılık gösterdiği söylenebilir.

Teşekkür

Bu çalışmaya sağladığı maddi desteğinden dolayı Niğde Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (FEB2013/33) teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Journal of Plant Physiology, 24: 1-15,1949.
- Bricker, T.M., Newman, D.W., 1982. Changes in the chlorophyll-proteins and electron transport activities of soybean cotyledon chloroplasts during senescence. Photosynthesis 16:239-244.
- Brown, D.H., Wells, J.M. 1990. Physiological effects of heavy metals on the moss *Rhytidiadelphus squarrosus*. Annals Botany 66: 641-647.
- Chettri, M.K., Cook, C.M., Vardaka, E., Sawidis, T., Lanaras, T. 1998. The effect of Cu, Zn and Pb on the chlorophyll content of the lichens *Cladonia convoluta* and *Cladonia rangiformis*. Environmental and Experimental Botany, 39(1): 1-10.
- Cortini Pedrotti, C. 2001. Flora dei muschi d'Italia, Sphagnopsida, Andreaopsida, Bryopsida (I parte). Roma, Antonia Delfino Editore, Medicina Science, 1-817p.
- Cortini Pedrotti, C. 2006. Flora dei muschi d'Italia, Bryopsida (II parte). Roma, Antonia Delfino Editore, Medicina Science, 827-1235p.
- Çepel, N. 1997. Toprak Kirliliği Erozyon ve Çevreye Verdiği Zararlar. TEMA Vakfı Yayınları, İstanbul, 111s.
- Dean, M.A., Letner, C.A., Eley, J.H., 1993. Effect of autumn foliar senescence on chlorophyll a:b ratio and respiratory enzymes of *Populus tremuloides*. Bulletin of the Torrey Botanical Club 120: 269-274.
- Fatoba, P.O., Udoh Emem, G. 2008. Effects of Some Heavy Metals on Chlorophyll Accumulation in *Barbula lambarenensis*. Ethnobotanical Leaflets 12: 776-830.
- Fernandez, J.A., Carballeira, A. 2002. Biomonitoring of metal deposition in Galicia (NW Spain) with mosses: factors affecting bioconcentration. Chemosphere, 2(46): 535–542.
- Ghnaya, A.B., Charles, G., Hourmant, A., Hamida, J.B., Branchard, M. 2009. Physiological behavior of four rapeseed cultivar (*Brassica napus* L.) submitted to metal stress. Comptes Rendus Biologies, 332: 363–370.
- Guschina, I.A., Harwood, J.L. 2002. Lipid metabolism in the moss *Rhytidiadelphus squarrosus* (Hedw.) Warnst. from lead-contaminated and non-contaminated populations. Journal of Experimental Botany 53: 455-463.
- Kastori, R., Plesnicar, M., Sakac Z., Pankovic, D., Arsenijevic, Maksimovic, I. 1998. Effect of Pb excess on sunflower growth and photosynthesis. J Plant Nutri 21: 75–85.
- Krupa, Z., Baranowska, M., Orzoł, D. 1996. Can anthocyanins be considered as heavy metal stress indicator in higher plants? Acta Physiol Plantarum 18:147–151.
- Kumar, A., Prasad, M.N.V., Sytar, O. 2012. Lead toxicity, defense strategies and associated indicative biomarkers in *Talinum triangulare* grown hydroponically. Chemosphere 89: 1056–1165.
- Lichtenthaler, H., Wellburn, A.R. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions, 603: 591–593.
- Pätsikkä, E., Aro, E.-M., Tyystjärvi, E. 2001. Mechanism of copper-enhanced photoinhibition in thylakoid membranes. Physiologia Plantarum 113(1): 142-150.
- Saxena, D.K., Singh, S., Srivastava, K. 2008. Metal precipitation in Garhwal hill area (India): Estimation based on native moss analysis. Aerosol and Air Quality Research, 8: 94–111.
- Shakya K, Chettri, M.K., Sawidis, T. 2008. Impact of heavy metals (copper, zinc and lead) on the chlorophyll content of some mosses. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 54: 412–421.
- Schofield, W.B. 2001. Introduction to Bryology. The Blackburn Press. 431 p.
- Smith, A.J.E. 2004. The Moss Flora of Britain and Ireland. (Second Edition) Cambridge Univ. Pres.
- Sytar, O., Kumar, A., Latowski, D., Kuczynska, P., Strzałka, K., Prasad, M.N.V. 2013. Heavy metal-induced oxidative damage, defense reactions, and detoxification mechanisms in plants. Acta Physiologiae Plantarum, 35(4): 985-999.
- Tremper, A.H., Agneta, M., Burton, S., Higgs, D.E.B. 2004. Field and laboratory exposures of two moss species to low level metal pollution. J Atom Chem 49(1–3): 111–120.
- Tukey J.W. 1954. Some selected quick and easy methods of statistical analysis. Trans. of New York Acad. Sci. 88-97.
- Yücel, M., Yücel, E. 2013. On the ecotoxicological effects of heavy metal pollution of industrial origin determination of wheat varieties. Biological Diversity and Conservation, 6/3: 6-11.

(Received for publication 29 February 2016; The date of publication 15 August 2016)