

T.C.  
Niğde Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Biyoloji Anabilim Dalı

AĞIR METALLERİN (KURŞUN, ÇİNKO, BAKIR VE KADMIYUM) BAZI  
KARAYOSUNU TÜRLERİNİN KLOROFİL İÇERİĞİ ÜZERİNE ETKİSİ



T.C.  
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

AĞIR METALLERİN (KURŞUN, ÇİNKO, BAKIR VE KADMİYUM) BAZI  
KARAYOSUNU TÜRLERİNİN KLOROFİL İÇERİĞİ ÜZERİNE ETKİSİ

Tuba YILMAZ


Yüksek Lisans Tezi

Danışman  
Doç. Dr. Tülay EZER


Temmuz 2015

**Tuba YILMAZ** tarafından **Doç. Dr. Tülay EZER** danışmanlığında hazırlanan “**AĞIR METALLERİN (KURŞUN, ÇİNKO, BAKIR ve KADMIYUM) BAZI KARAYOSUNU TÜRLERİNİN KLOROFİL İÇERİĞİ ÜZERİNE ETKİSİ**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Biyoloji** Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

  
Başkan : Doç. Dr. Tülay EZER, Niğde Üniversitesi

  
Üye : Yrd. Doç. Dr. Cemil İşlek, Niğde Üniversitesi

  
Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehtap TEKŞEN, Aksaray Üniversitesi

  
Üye : Yrd. Doç. Dr. Bengü TÜRKYILMAZ ÜNAL, Niğde Üniversitesi

  
Üye : Doç. Dr. Recep KARA, Niğde Üniversitesi

**ONAY:**

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından .... / .... / 20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun .... / .... / 20.... tarih ve ..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

..... / ..... / 20...

**Doç. Dr. Murat BARUT**  
**MÜDÜR**

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

  
TUBA YILMAZ

## ÖZET

### AĞIR METALLERİN (KURŞUN, ÇİNKO, BAKIR ve KADMİYUM) BAZI KARAYOSUNU TÜRLERİNİN KLOROFİL İÇERİĞİ ÜZERİNE ETKİSİ

YILMAZ, TUBA

Niğde Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Tülay EZER

İkinci Danışman : Yrd. Doç. Dr. Cemil İŞLEK

Temmuz 2015, 59 sayfa

Bu çalışmada, ağır metallerin (kurşun, çinko, bakır ve kadmiyum) bazı karayosunu türlerinin klorofil içeriği üzerine etkisi araştırılmıştır. Doğal habitatından toplanan karayosunu örnekleri (*Bryum schleicheri* D.C, *Palustriella decipiens* (De Not.) Ochyra, *Palustriella falcata* (Brid.) Hedenäs, *Plagiomnium undulatum* (Hedw.) T.J.Kop, ve *Cinclidotus pachylomoides* Bizot) belirli sürelerde (15' ve 30') ağır metal çözeltilerine ( $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{CdSO}_4$ ,  $\text{ZnSO}_4$  ve  $\text{PbSO}_4$ ) maruz bırakılmış ve klorofil değerleri analiz edilmiştir. Kontrol grubuna göre klorofil değerlerine bakıldığında *Bryum schleicheri* türünün klorofil-a miktarında en çok azalmaya neden olan ağır metalin Pb olduğu tespit edilirken, klorofil-b, klorofil a/b, toplam klorofil ve karotenoid değerlerinde en fazla değişime neden olan ağır metalin Cu olduğu saptanmıştır. Ayrıca, *Palustriella decipiens*, *P. falcata* ve *Plagiomnium undulatum* türlerinin klorofil a, klorofil b, klorofil a/b, toplam klorofil ve karotenoid değerlerinde önemli azalma ve artmalara neden olan ağır metalin Cu olduğu belirlenmiştir. *Cinclidotus pachylomoides* türünde ise fotosentetik pigment değerlerinin değişimi üzerine etkili olan ağır metaller Cd ve Pb olmuştur. Çalışma sonucunda ağır metal konsantrasyonlarından en çok etkilenen türün *Cinclidotus pachylomoides* olduğu tespit edilmiştir.

*Anahtar Kelimeler:* Ağır metal, karayosunu, klorofil-a, klorofil-b, klorofil a/b, toplam klorofil, karotenoid

## SUMMARY

### THE EFFECT OF HEAVY METALS (LEAD, ZINC, COPPER AND CADMIUM) ON THE CHLOROPHYLL CONTENT OF SOME MOSSES

YILMAZ, TUBA

Niğde University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Biology

Supervisor : Associate Professor Dr. Tülay EZER

Co-Advisor : Asistant Professor Dr. Cemil İŞLEK

July 2015, 59 pages

In this study, the effect search of heavy metals (lead, zinc, copper and cadmium) on the chlorophyll content of some mosses. Moss samples (*Bryum schleicheri* D.C, *Palustriella decipiens* (De Not.) Ochyra, *Palustriella falcata* (Brid.) Hedenäs, *Plagiomnium undulatum* (Hedw.) T.J.Kop, ve *Cinclidotus pachylomoides* Bizot), collected from natural habitats, were treated with heavy metal solutions (CuSO<sub>4</sub>, CdSO<sub>4</sub>, ZnSO<sub>4</sub> and PbSO<sub>4</sub>) at certain period of times (15' and 30') and values of the chlorophyll analyzed. When the chlorophyll values compared to the control group, while Pb heavy metals were the more destructive effect on chlorophyll-a, Cu heavy metals caused the more variations on chlorophyll-b, chlorophyll a/b, total chlorophyll and carotenoid of *Bryum schleicheri*. Also, Cu heavy metals caused important decrease and increase on value of chlorophyll-a, chlorophyll-b, chlorophyll a/b, total chlorophyll and carotenoid of *Palustriella decipiens*, *P. falcata* and *Plagiomnium undulatum*. The metals Cd and Pb were the most effective on values of photosynthetic pigment of *Cinclidotus pachylomoides*. As a result of the study, *Cinclidotus pachylomoides* was the most affected moss species by heavy methal solutions.

*Keywords:* Heavy metal, moss, chlorophyll a, chlorophyll b, chlorophyll a/b, total chlorophyll, carotenoid

## ÖN SÖZ

Bu yüksek lisans çalışmasında ağır metallerin (kurşun, çinko, bakır ve kadmiyum) bazı karayosunu türlerinin (*Bryum schleicheri*, *Palustriella decipiens*, *Palustriella falcata*, *Plagiomnium undulatum* ve *Cinclidotus pachylomoides*) klorofil içeriği üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla karayosunu örneklerinin doğal yayılış gösterdiği habitatlardan yapılan arazi çalışmalarıyla toplanmış ve laboratuarda teşhisleri yapılmıştır. Teşhis edilen örnekler distile su ile yıkanıp kurutularak 15' ve 30' sürelerde ağır metal konsantrasyonları uygulanmış ve pigment değerlerine (klorofil a, klorofil b, klorofil a/b, total klorofil ve karotenoid) bakılmıştır.

Bu çalışmada, araştırma konusunun belirlenmesinde, gerekli literatürlere ulaşmamda, arazi çalışmalarında, teşhislerin yapılmasında, bilgi birikimi ve önerileri ile bana yol gösteren ve her türlü desteğini sağlayan saygıdeğer hocam Sayın Doç. Dr. Tülay EZER'e, laboratuvar çalışmalarında, grafiklerin oluşturulmasında ve grafiklerin yorumlanmasında her zaman yanımda olan değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Cemil İŞLEK'e, istatistiklerin yapılmasında, grafiklerin oluşturulmasında ve yorumlanmasında her zaman yardımcı olan değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Bengü TÜRKYILMAZ ÜNAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tezin hazırlanması sırasında her zaman yanımda olan arkadaşım Adil DEDEÇAM'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, bu noktaya gelmemde büyük emekleri olan aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bu çalışma, Niğde Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi FEB 2013/33 nolu proje tarafından desteklenmektedir. Projeye destek sağlayan Niğde Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine katkılarından dolayı teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	vi
SUMMARY .....	vii
ÖN SÖZ .....	viii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ .....	xvii
SİMGE VE KISALTMALAR .....	xviii
BÖLÜM I GİRİŞ .....	1
1.1 Amaç ve Kapsam .....	1
1.2 Briyofitlerin Genel Özellikleri .....	1
1.3 Briyofit Pigment İçerikleri .....	7
1.3.1 Fotosentetik pigmentler .....	7
1.3.2 Briyofitlerde klorofil .....	7
1.3.3 Briyofitlerde karotenoid .....	7
1.4 Bazı Ağır Metallerin Genel Özellikleri .....	8
1.4.1 Çinko (Zn) .....	8
1.4.2 Bakır (Cu) .....	8
1.4.3 Kurşun (Pb) .....	9
1.4.4 Kadmiyum (Cd) .....	10
1.5 Ağır Metallerin Zararları .....	12
1.6 Literatür Özeti .....	14
BÖLÜM II MATERYAL VE METOT .....	19

2.1 Materyal .....	19
2.2 Metod .....	20
2.2.1 Örneklerin toplanması .....	20
2.2.2 Örneklerin hazırlanması ve teşhis edilmesi .....	20
2.2.3 Örneklerin temizlenmesi .....	20
2.2.4 Ağır metal uygulamaları .....	21
2.2.5 Klorofil ve karotenoid pigmentlerin ekstraksiyonu .....	22
2.2.6 Klorofil ve karotenoid pigmentlerinin belirlenmesi .....	23
2.2.7. İstatistik analizler .....	24
BÖLÜM III BULGULAR VE TARTIŞMA .....	25
3.1 <i>Bryum schleicheri</i> Bitkisine Ait Fotosentetik Pigment Miktarları .....	25
3.2 <i>Palustriella decipiens</i> Bitkisine Ait Fotosentetik Pigment Miktarları .....	32
3.3 <i>Palustriella falcata</i> Bitkisine Ait Fotosentetik Pigment Miktarları .....	38
3.4 <i>Plagiomnium undulatum</i> Bitkisine Ait Fotosentetik Pigment Miktarları .....	44
3.5 <i>Cinclidotus pachylomoides</i> Bitkisine Ait Fotosentetik Pigment Miktarları .....	50
3.6 Tartışma .....	56
BÖLÜM IV SONUÇ .....	59
KAYNAKLAR .....	60
ÖZGEÇMİŞ .....	70
TEZ ÇALIŞMASINDAN ÜRETİLEN ESERLER (MAKALE, BİLDİRİ, POSTER, VB.) .....	71

## ÇİZELGELER DİZİNİ

- Çizelge 3.1.** Farklı Konsantrasyonlar ve Sürelerde Uygulanan Ağır Metallerin *Bryum schleicheri* Bitkisinde Fotosentetik Pigment Miktarı Üzerine Etkileri ( $\pm$  SE)..... 26
- Çizelge 3.2.** Farklı konsantrasyon ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Palustriella decipiens* bitkisinde fotosentetik pigment miktarları üzerine etkileri ( $\pm$  SE).  
..... 32
- Çizelge 3.3.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Palustriella falcata* bitkisinde fotosentetik pigment miktarları üzerine etkileri ( $\pm$  SE).  
..... 38
- Çizelge 3.4.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Plagiomnium undulatum* bitkisinde fotosentetik pigment miktarları üzerine etkileri ( $\pm$  SE). ..... 44
- Çizelge 3.5** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Cinclidotus pachylomoides* bitkisinde fotosentetik pigment miktarları üzerine etkileri ( $\pm$  SE)..... 50

## ŞEKİLLER DİZİNİ

- Şekil 1.1.** Karayosunlarının hayat döngüsü (Hazer,2010; Ertek, 2013)..... 3
- Şekil 3.1.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Bryum schleicheri*'nin klorofil a üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f: $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , ı:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ . ..... 27
- Şekil 3.2.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Bryum schleicheri*'nin klorofil b üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f: $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , ı:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ ..... 28
- Şekil 3.3.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Bryum schleicheri*'nin klorofil a/b üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f: $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , ı:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ . ..... 29
- Şekil 3.4.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Bryum schleicheri*'nin toplam klorofil üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f: $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , ı:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ . ..... 30
- Şekil 3.5.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Bryum schleicheri*'nin karotenoid üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f: $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , ı:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ . ..... 31

- Şekil 3.6.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Palustriella decipiens*'in klorofil a üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f:  $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , ı:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ ..... 33
- Şekil 3.7.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Palustriella decipiens*'in klorofil b üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f:  $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , ı:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ ..... 34
- Şekil 3.8.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Palustriella decipiens*'in klorofil a/b üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f:  $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , ı:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ ..... 35
- Şekil 3.9.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Palustriella decipiens*'in klorofil a/b üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f:  $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , ı:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ . M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ ..... 36
- Şekil 3.10.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Palustriella decipiens*'in karotenoid üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f:  $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , ı:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ ..... 37
- Şekil 3.11.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Palustriella falcata*'nin klorofil a üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f:  $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , ı:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ ..... 39

**Şekil 3.12.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Palustriella falcata*'nin klorofil b üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f:  $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , ı:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ . ..... 40

**Şekil 3.13.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Palustriella falcata*'nin klorofil b üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f:  $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , ı:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ . ..... 41

**Şekil 3.14.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Palustriella falcata*'nin toplam klorofil üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f:  $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , ı:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ . ..... 42

**Şekil 3.15.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Palustriella falcata*'nin karotenoid üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f:  $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , ı:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ . ..... 43

**Şekil 3.16.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Plagiomnium undulatum*'un klorofil a üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f:  $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , ı:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ . ..... 45

**Şekil 3.17.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Plagiomnium undulatum*'un klorofil b üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f:  $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , ı:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ . ..... 46

**Şekil 3.18.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Plagiomnium undulatum*'un klorofil a/b üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M

CuSO<sub>4</sub>, c: 10<sup>-3</sup> M CuSO<sub>4</sub>, d: 10<sup>-4</sup> M CuSO<sub>4</sub>, e: 10<sup>-2</sup> M CdSO<sub>4</sub>, f:10<sup>-3</sup> M CdSO<sub>4</sub>, g: 10<sup>-4</sup> M CdSO<sub>4</sub>, h: 10<sup>-2</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, ı: 10<sup>-3</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, j: 10<sup>-4</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, k: 10<sup>-2</sup> M PbSO<sub>4</sub>, l: 10<sup>-3</sup> M PbSO<sub>4</sub>, m: 10<sup>-4</sup> M PbSO<sub>4</sub>. ..... 47

**Şekil 3.19.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Plagiomnium undulatum*'un toplam klorofil üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b: 10<sup>-2</sup> M CuSO<sub>4</sub>, c: 10<sup>-3</sup> M CuSO<sub>4</sub>, d: 10<sup>-4</sup> M CuSO<sub>4</sub>, e: 10<sup>-2</sup> M CdSO<sub>4</sub>, f:10<sup>-3</sup> M CdSO<sub>4</sub>, g: 10<sup>-4</sup> M CdSO<sub>4</sub>, h: 10<sup>-2</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, ı: 10<sup>-3</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, j: 10<sup>-4</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, k: 10<sup>-2</sup> M PbSO<sub>4</sub>, l: 10<sup>-3</sup> M PbSO<sub>4</sub>, m: 10<sup>-4</sup> M PbSO<sub>4</sub>. ..... 48

**Şekil 3.20.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Plagiomnium undulatum*'un karotenoid üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b: 10<sup>-2</sup> M CuSO<sub>4</sub>, c: 10<sup>-3</sup> M CuSO<sub>4</sub>, d: 10<sup>-4</sup> M CuSO<sub>4</sub>, e: 10<sup>-2</sup> M CdSO<sub>4</sub>, f:10<sup>-3</sup> M CdSO<sub>4</sub>, g: 10<sup>-4</sup> M CdSO<sub>4</sub>, h: 10<sup>-2</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, ı: 10<sup>-3</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, j: 10<sup>-4</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, k: 10<sup>-2</sup> M PbSO<sub>4</sub>, l: 10<sup>-3</sup> M PbSO<sub>4</sub>, m: 10<sup>-4</sup> M PbSO<sub>4</sub>. ..... 49

**Şekil 3.21.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Cinclidotus pachylomoides*'in klorofil a üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b: 10<sup>-2</sup> M CuSO<sub>4</sub>, c: 10<sup>-3</sup> M CuSO<sub>4</sub>, d: 10<sup>-4</sup> M CuSO<sub>4</sub>, e: 10<sup>-2</sup> M CdSO<sub>4</sub>, f:10<sup>-3</sup> M CdSO<sub>4</sub>, g: 10<sup>-4</sup> M CdSO<sub>4</sub>, h: 10<sup>-2</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, ı: 10<sup>-3</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, j: 10<sup>-4</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, k: 10<sup>-2</sup> M PbSO<sub>4</sub>, l: 10<sup>-3</sup> M PbSO<sub>4</sub>, m: 10<sup>-4</sup> M PbSO<sub>4</sub>. ..... 51

**Şekil 3.22.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Cinclidotus pachylomoides*'in klorofil b üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b: 10<sup>-2</sup> M CuSO<sub>4</sub>, c: 10<sup>-3</sup> M CuSO<sub>4</sub>, d: 10<sup>-4</sup> M CuSO<sub>4</sub>, e: 10<sup>-2</sup> M CdSO<sub>4</sub>, f:10<sup>-3</sup> M CdSO<sub>4</sub>, g: 10<sup>-4</sup> M CdSO<sub>4</sub>, h: 10<sup>-2</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, ı: 10<sup>-3</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, j: 10<sup>-4</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, k: 10<sup>-2</sup> M PbSO<sub>4</sub>, l: 10<sup>-3</sup> M PbSO<sub>4</sub>, m: 10<sup>-4</sup> M PbSO<sub>4</sub>. ..... 52

**Şekil 3.23.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Cinclidotus pachylomoides*'in klorofil a/b üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b: 10<sup>-2</sup> M CuSO<sub>4</sub>, c: 10<sup>-3</sup> M CuSO<sub>4</sub>, d: 10<sup>-4</sup> M CuSO<sub>4</sub>, e: 10<sup>-2</sup> M CdSO<sub>4</sub>, f:10<sup>-3</sup> M CdSO<sub>4</sub>, g: 10<sup>-4</sup> M CdSO<sub>4</sub>, h: 10<sup>-2</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, ı: 10<sup>-3</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, j: 10<sup>-4</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, k: 10<sup>-2</sup> M PbSO<sub>4</sub>, l: 10<sup>-3</sup> M PbSO<sub>4</sub>, m: 10<sup>-4</sup> M PbSO<sub>4</sub>. ..... 53

**Şekil 3.24.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Cinclidotus pachylomoides*'in toplam klorofil üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b: 10<sup>-2</sup> M CuSO<sub>4</sub>, c: 10<sup>-3</sup> M CuSO<sub>4</sub>, d: 10<sup>-4</sup> M CuSO<sub>4</sub>, e: 10<sup>-2</sup> M CdSO<sub>4</sub>, f:10<sup>-3</sup>

M CdSO<sub>4</sub>, g: 10<sup>-4</sup> M CdSO<sub>4</sub>, h: 10<sup>-2</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, ı: 10<sup>-3</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, j: 10<sup>-4</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, k: 10<sup>-2</sup> M PbSO<sub>4</sub>, l: 10<sup>-3</sup> M PbSO<sub>4</sub>, m: 10<sup>-4</sup> M PbSO<sub>4</sub>. ..... 54

**Şekil 3.25.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Cinclidotus pachylomoides* 'in karotenoid üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b: 10<sup>-2</sup> M CuSO<sub>4</sub>, c: 10<sup>-3</sup> M CuSO<sub>4</sub>, d: 10<sup>-4</sup> M CuSO<sub>4</sub>, e: 10<sup>-2</sup> M CdSO<sub>4</sub>, f:10<sup>-3</sup> M CdSO<sub>4</sub>, g: 10<sup>-4</sup> M CdSO<sub>4</sub>, h: 10<sup>-2</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, ı: 10<sup>-3</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, j: 10<sup>-4</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, k: 10<sup>-2</sup> M PbSO<sub>4</sub>, l: 10<sup>-3</sup> M PbSO<sub>4</sub>, m: 10<sup>-4</sup> M PbSO<sub>4</sub>. ..... 55



## FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

<b>Fotoğraf 2.1.</b> Temizlikten Sonra Kurymaya Bırakılan Örnekler .....	20
<b>Fotoğraf 2.2.</b> Tartılan Örneklerin Cam Kavonza Alınması .....	21
<b>Fotoğraf 2. 3.</b> Örneklerin Aseton İle Homojenize Edilmesi .....	22
<b>Fotoğraf 2.4.</b> Filtre Kağıdı Kullanılarak örneklerin Süzülmesi .....	22
<b>Fotoğraf 2.5.</b> Süzülen Örneklerin Streç Film İle Kaplanması .....	23
<b>Fotoğraf 2.6.</b> Elde Edilen Ekstraksiyonda Absorbans Değerleri Jenway 6505 U.V. Spektrofotometresinde Ölçülmesi .....	24

## SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
$\text{mgg}^{-1}$	Miligram/gram
$\text{mg/kg}$	Miligram/kilogram
$\text{g/cm}^3$	Gram/santimetreküp
$\text{mg/l}$	Miligram/litre
$\text{mg}$	Miligram
$\mu\text{g}$	Mikrogram
$\text{mm}$	Milimetre
$\text{ml}$	Mililitre
$\text{nm}$	Nanometre
$\text{cm}$	Santimetre
$\text{g}$	Gram
$\text{M}$	Molar
$\%$	Yüzde
'	Dakika
$n$	Haploit
$2n$	Diploit

**Kısaltmalar****Açıklama**

EPA	Çevre Koruma Teşkilatı
Cd	Kadmiyum
Cu	Bakır
Hg	Civa
Zn	Çinko
Pb	Kurşun
Fe	Demir
Mn	Manganez
Ni	Nikel
Va	Vanadyum
Ag	Gümüş
As	Arsenik
U.V.	Ultra Viyole
vb.	Vebenzeri
Vd.	Vediğerleri
Kl a	Klorofil a
Kl b	Klorofil b
Toplam kl	Toplam klorofil
CuSO <sub>4</sub>	Bakır Sülfat
CdSO <sub>4</sub>	Kadmiyum Sülfat

$ZnSO_4$

Çinko Sülfat

$PbSO_4$

Kurşun Sülfat

$CuCO_3$

Bakır karbonat

# BÖLÜM I

## GİRİŞ

### 1.1 Amaç ve Kapsam

### 1.2 Briyofitlerin Genel Özellikleri

Erken Paleozoik dönem, karasal organizmaların çeşitliliği açısından dünya tarihinde heyecan verici bir dönem olmuştur. Fotosentetik organizmalar yüksek karbondioksit seviyelerine adapte olmuşlar, ortaya çıkan karasal organizmaların ultraviyole ışınlarından korunması güçleşmiş ve buna karşı bir dizi yeni morfolojik özellikler geliştirmişlerdir (Shaw vd., 2011; Can, 2011).

Günümüzde karasal ekosistemin önemli bileşenlerinden olan briyofitlerin de bu dönemde olduğu varsayılmaktadır. Su hayatından karasal habitatlara geçişte öncü olan bu bitkiler, dünyadaki biyolojik çeşitliliğin oluşmasında çok büyük bir öneme sahiptirler. Evrimsel açıdan alglerden ve mantarlardan daha yüksek, eğrelti ve çiçekli bitkilerden daha ilkel bir seviyede bulunurlar (Abay ve Kamer, 2010).

Hepaticopsida (Ciğerotları), Anthocerotopsida (Boynuzlu ciğerotları) ve Bryopsida (Karayosunları) olmak üzere üç sınıfa ayrılan briyofitler son yıllarda yapılan çalışmalarda, Bryobiotina alt alemi içerisinde Marchantiophyta (Ciğerotları), Bryophyta (Karayosunları) ve Anthocerotophyta (Boynuzlu ciğerotları) olarak üç bölüm şeklinde sınıflandırılmaktadır (Schofield, 2001; Can, 2011).

Küçük boyutlarıyla fazla göze çarpmayan ve genellikle birçok botanikçi tarafından ihmal edilmiş olan bu bitkiler, dünya üzerinde tohumlu bitkilerden daha fazla yayılış alanına sahiplerdir (Cangül, 2010).

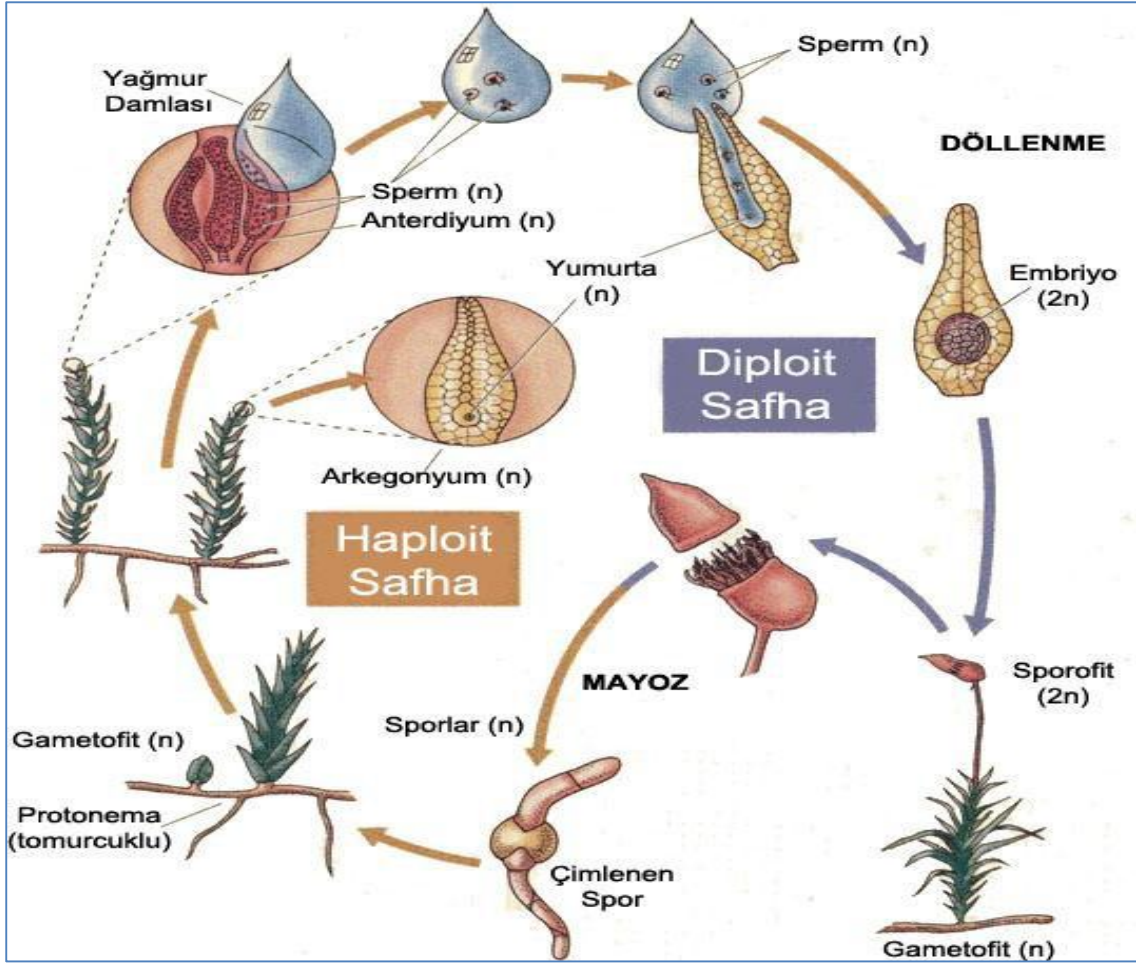
Karayosunları, morfolojik olarak ikiye ayrılırlar. Bunlardan akrokarp karayosunları dik olarak büyürler, dallanma çoğunlukla yoktur veya çok az dallanma gösterirler. Ayrıca sporofitleri gametofitlerinin uç kısımlarında gelişir. Pleurokarplar olarak adlandırılan diğer grup ise gametofitleri akrokarpın aksine, substrata paralel büyüyerek yığınlar oluşturur. Sporofitleri gametofitlerine dik olarak çıkan pleurokarp karayosunları, daha çok nemli yerleri tercih ederler. Akrokarp karayosunları tek yıllık veya çok yıllık olabilmelerine rağmen, pleurokarp karayosunları daima çok yıllıktır. Akrokarp

karayosunlarının boyları genellikle birkaç cm civarında olup, hakim büyüme formları küçük yastık ve yumaklarken (=cushion, turf), pleurokarp karayosunlarında, halı oluşturan (=mat), saçaksı (=weft), kuyruksu (=tail), sarkıcı (=pendant), yelpazemsi (=fan) gibi formlar sıkça rastlananlardır (Magdefrau, 1983; Kırmacı, 2007).

Döllenmelerinde mutlak suya gereksinim duyan, bunun yanı sıra karasal yaşama da uyum sağlamış olan briyofitler bitkiler aleminin *Amphibia*'ları (iki yaşamlılar) olarak da nitelendirilmektedir. Kendilerine özgü biyokimyasal yapıları ve biyolojik özellikleri sebebiyle yaşamlarını oldukça farklı çevresel koşullar altında sürdürebilirler. Bitkiler aleminin diğer üyeleri gibi klorofil a, b, ksantofil ve karoten ihtiva ederler, hücre çeperleri ise selüloz içermektedir (Ezer, 2008).

İyi gelişmiş iletim dokuları olmadığından gerçek kök, gövde ve yaprakları da yoktur. Kök benzeri yapılar olan rizoidleri vardır. Rizoidlerin asıl görevi ortama tutunmayı sağlamaktır. Karayosunları rizoidleriyle sadece buldukları ortama tutundukları için ihtiyaçları olan suyu kendilerini çevreleyen sudan sağlarlar. Yani Poiklohydrous bitkilerdir. Bu özellikleri bu bitkilerin çevrelerinden doğrudan etkilenmelerine neden olmaktadır (Schofield, 2001). Dolayısı ile bu bitkiler biyoindikatör bitkilerdir. Bu özelliklerinden dolayı, sanayinin yoğun olduğu bölgelerde ve büyük şehirler civarında hava kirlenme seviyesinin bir göstergesi olarak karayosunları büyük değer taşımaktadır. Belirli elementlerin bu bitkilerden analizi ile kirlenme seviyesi ortaya çıkarılabilmekte ve bu biyolojik haritalara göre kentlerde yeni imar alanları açılmaktadır.

Briyofitler çeşitli habitatlarda gelişim gösterebilmektedirler. Örneğin; toprak üzerinde (terrikol, epigeik), kayalar üzerinde (epilitik, saksikol), ağaç kabukları üzerinde (epifitik, kortikol), diğer bitkilerin yaprakları üzerinde (epifil), Çürümüş ağaç kütükleri üzerinde (epiksilous), insan yapımı habitatlarda (kiremit vs.) ve su içinde (submerged) yaşayabilirler (Ezer, 2008).



Şekil 1.1. Karayosunlarının hayat döngüsü (Hazer,2010; Ertek, 2013)

Briyofitlerde diğer bütün kara bitkilerinde olduğu gibi gametofitik ve sporofitik döller arasında birbirini takip eden düzenli bir değişim olayı vardır. Karayosunlarında eşeyli üreme oogami iledir ve daima heterofazik (=antitetik) döl almaşı görülür. Canlıların hayatında morfolojik bakımdan birbirine benzemeyen (karayosunlarında olduğu gibi) eşeyli bir döl ile eşeysiz bir dölün düzenli bir şekilde birbirini takip etmesine olayına döl almaşı (=döl değişimi) adı verilir. Görülen en tipik şeklide karayosunlarında olduğu gibi haploid gametofitle diploid sporofit arasındaki almaştır ve heterofazik döl almaşı adını alır. Haploit (n) gametofiti, diploit (2n) sporofit takip etmektedir. Doğal ortamlarında yeşil olarak göze çarpan kısımları gametofittir. Gametofitler ortama dip kısımlarından çıkan rizoidlerle tutunurlar. Rizoidler diğer briyofitlerde tek hücreli iken, karayosunlarında çok hücreli iplikli yapıdadır. Gametofitin gövde kısmı vasküler sistemden ve diğer bazı özelliklerden yoksun olduğundan caulid (kaulid), yapraklar gerçek bir yaprağın özellikleri taşımadığından dolayı da phyllidia (fillitler) olarak adlandırılmıştır. Gametofit üzerinde yer alan gametangiumlarda erkek ve dişi gametler

üretir. Erkek gametler, diğer düşük organizasyonlu bitki gruplarındaki gibi dişi gameti döllenmek için suya bağımlıdır. Yağmur suları veya üzerlerinden akan su içerisinde hareket eden kamçılı erkek gamet, dişi gameti döller. Döllenme arkegonium içerisinde olur, oluşan zigot gelişerek sporofiti verecektir. Sporofit gelişerek, arkegoniumu enine ikiye ayırır ve arkegoniumun üst kısmı ile yükselir.

Arkegoniumun sporofitin üzerinde kalan kısmına kaliptra adı verilir ve sporofit olgunlaştığında düşer. Olgun bir sporofit, gametofitten minerallerin ve suyun alındığı ayak, yukarı doğru uzayan seta (=kapsül sapı), kapsül ve kapsülü örten kaliptradan oluşur.

Sporangiyumlarda oluşan spor ana hücreleri ( $2n$ ) mayoz bölünme geçirerek sporları ( $n$ ) oluşturur. Oluşan sporlar farklı karayosunu gruplarında değişik dağılım mekanizmaları gösterir. Fakat karayosunların çoğunda, kapsülden sporların dağılmasında, kapsülün uç kısmındaki operkulum (=kapsül kapağı), operkulum altındaki peristom dişleri (=kapsül dişleri) ve annulus (=kapsül kapağı ile kapsülün birleşme noktasındaki dairesel kısır doku) rol oynamaktadır. Genelde olgunlaşan sporlar kurak dönemlerde ortama dağılırlar. Sporlar düştükleri ortamlarda şartlar olgunlaştığında çimlenerek ipliksi protonemayı oluşturur. Protonema da gelişerek gametofiti verir (Richardson, 1981; Hazer, 2010). Gametoforlar gamet üretmedikleri zaman ise; sıklıkla görülebilen 7 değişik vejetatif üreme yöntemlerine başvururlar. Bunlardan en çok kullanılanı gemmae (=gemma) adı verilen bir veya birkaç hücreden oluşan üretken yapılardır. Genellikle talluslu briyofitlerde özelleşmiş gemma çanaklarından üretilmekle birlikte, yapraklı karayosunlarında gametofitin herhangi bir yerinden üretilebilirler. Bunlar gametofitten düştükten sonra yeni bir protonema üreterek, bazende doğrudan doğruya yeni gametofit bitkiyi oluşturabilirler. Ayrıca gametofitler kurak şartlarda kurduğunda ise izole olmuş gametofit parçalarından tamamiyle yeni bir gametofit bitkiyi de üretebilme özelliğine sahiptirler (Schofield, 2001; Hazer, 2010; Ertek, 2013).

Briyofitlerin en geniş grubunu oluşturan yapraklı karayosunlarının en önemli karakteristik özelliği, birçok türün higroskopik (su çeken) karakterli peristom dişlerine sahip olmasıdır. Bu dişler, sporların olgunlaştıktan sonra etrafa dağılmasını kontrol etmeye yaramaktadır (Cangül, 2010; Can, 2011).



Gametofitleri daima yapraklıdır ve üzerinde sapsız yapraklar bulunan gövde benzeri bir yapıdır. Yapraklar genellikle 3 sıralı ya da daha fazla, radial olarak dizilmiştir. Yapraklar genellikle tek tabakalı olup, çoğunlukla orta kısmında kosta (orta damar) adı verilen, çok tabakalı bir yapı bulundurlar. Gametofit genellikle çok yıllıktır ve tek bir apikal hücreden gelişim gösterir, üzerinde anteridium ve arkegoniumları taşır. Arkegonium ve Anteridiumlar arasında çok hücreli verimsiz filamentler (parafiz) bulunur. Sporofit kısa ömürlüdür ve tek yıllıktır. Sporofit gelişim boyunca kaliptra ile korunur. Sporangium örtüsü çok tabakalıdır ve stoma içerir. Stomalar sporların gaz alışverişini sağlar (Glime, 2011; Can, 2011).

Yaklaşık 8500 türle temsil edilen ciğerotlarının (Marchantiophyta) iriliği 0,5 mm'den küçük ince, yapraksı filamentlerden 20 cm den geniş talluslara kadar değişiklik gösterir. İsimlerini 16–17. yüzyılda gametofitlerinin loblu yapılarından dolayı benzetildikleri ciğerden almışlardır. Ciğerotları çoğunlukla gemma adı verilen yapılarla ve fragmentasyonla eşeysiz olarak ürerler. Morfolojik olarak, yapraksı ve talluslu ciğerotları olmak üzere iki gruba ayrılırlar. İlkinde gametofit yassı çok yıllık ve genellikle dikotom dallanmıştır. Tallusun üst yüzeyinde hava odacıkları bulunur. Arkegoniumlar, arkegonioforların semsiye biçimli alt kısmında bulunurken, anteridyumlar disk şekilli anteridifor şapkasının üst kısmındaki odacıklarda bulunur. İkinci gruptakiler ise yapraklı bir gövdeye sahiptir ve ciğerotlarının % 85'ini oluştururlar. Karayosunlarına benzerler, fakat daha nemli ortamları tercih ederler. Çoğu karayosunu ışımsal simetri gösterirken, bunlar bilateral simetri gösterirler. Yaprakları 3 sıra, sapsız, tek hücre kalınlığında ve orta damarsızdır ve rizoidler daima tek hücrelidir. Sporofitlerinde stoma yoktur ve gametofite biraz şişkin bir ayakla bağlanırlar. Kapsülün iç kısmında sporların dağılımına yardımcı olan ölü hücrelerden oluşmuş elater adı verilen yapılara sahiptirler (Shaw ve Goffinet, 2000; Kırmacı, 2007).

Boynuzsu ciğerotları (Anthocerotophyta), briyofitler arasında en az tür içeren bölümdür. 6 cins ile 100 kadar tür içerir. En yaygın olanı ılıman bölge cinsi Anthoceros'tur. Dünya üzerinde oldukça farklı habitatlarda (çöller, dere kenarları, tahrip edilmiş alanlar vb.) bulunan geniş yayılışlı oldukça yaygın bir grup olmasına rağmen, çoğu insan onların varlığından habersizdir. Birçok türü, oldukça küçük mavi-yeşil yamalar halinde bulunur. Fakat bazı tropik türler ağaçların ve toprağın üzerinde geniş alanlar kaplayabilirler. Kendilerine özgü morfolojilerinden dolayı, orijinleri ve ilişkileri

hakkında değişik görüşler vardır. Sporofit, tabanındaki bir grup hücrenin ardışık olarak bölünmesiyle meydana gelir. Bu bazal meristemden devamlı büyüme bitkiler aleminde tektir. Yassı ve koyu yeşil gametofitleri diğer briyofitlerden daha basittir. Her fotosentetik hücre, tek ve iri bir kloroplast içerir. Yeşil alglerde olduğu gibi, her kloroplastta prenooid adı verilen ve nişasta depo eden bir kısım bulunur. Dorsal-ventral basıktır ve ciğerotlarını andırır. Birçok türü tek eşeylidir. Ciğerotlarına benzeyen bir veya daha fazla anteridyum tallusun üst kısmında örtülü odacıklarda bulunurken, arkegoniumlar sıralar halinde yüzeyin altında bulunur. Gametofitlerindeki boşluklarda bitkinin azot ihtiyacını karşılayan Nostoc türleri bulunur. Sporofitleri diğer briyofitlerden farklı incelmış uçlara sahip, uzun, yeşil iplikler halindedir. Belirgin bir epidermisleri olmamakla beraber, gametofit tallusu stoma benzeri yapılara sahiptir. Sporofit olgunlaştıktan sonra, uç kısmından yarılarak boynuz seklini alır. Fotosentetik ve sporlar salınana değin canlı kalabilir. Briyofitlerde grlen bu yarı bağımlılık, botanikçiler tarafından yüksek bitki sporofitlerinin tam bağımsızlığına doğru bir adım olarak algılanır (Doyle, 1970; Richardson, 1981; Shaw ve Goffinet, 2000; Kırmacı, 2007).

Karayosunları atmosferik karbon döngüsünde yağmur ormanlarından daha fazla işleve sahiptirler. Yıl boyunca yakalamış oldukları karbon miktarının neredeyse atmosferik karbon miktarına eşit olduğu tahmin edilmektedir (Clymo, 1998).

Karayosunları, orman ekosisteminin ayrılmaz bir parçasıdır. Karayosunu olmayan doğal ve sağlıklı bir orman düşünülemez. Çünkü karayosunları kendi kuru ağırlıklarının 12 katı kadar su tuttuklarından, orman zemininin nemli kalmasını sağlarlar. Üzerlerine dşen diğer bitki tohumlarının çimlenmesine yardımcı olarak, orman varlığının devamını sağlamaktadırlar. Fakat çok fazla kalın bir tabaka haline gelen karayosunları üzerindeki tohumlar, kök sistemlerini toprakla buluşturmadan kurak bir dönem geçirirlerse bu onun ölümüne de sebep olabilmektedir. Yine de orman yangınlarından sonra ilk istilacı türler olduklarından ortama yerleşirler ve diğer bitkilerin yaşayabileceği uygun alanlar oluştururlar. Havalandırmaya yatkınlıkları ve elastikiyetleri nedeniyle, orman toprağının kalitesini yükseltirler. Ayrıca mineral depo etmeleri, hayvanlar için besin kaynağı olmaları, birçok böcek türü için barınak ve yumurtlama ortamı oluşturmaları açısından da önemlidirler. Yine karayosunlarının açık

alanlarda toprak erozyonunu önlemede önemli görev üstlendikleri kanıtlanmıştır (Schofield, 2001; Ertek, 2013).

Briyofitlerin, birçok insan tarafından tam anlamıyla bilinmemekle birlikte son yıllarda artan bir şekilde farmakolojik ürünlerde, çiçekçilik sektöründe, biyoindikatör olarak, ev süslemelerinde ve endüstriyel alanda çok çeşitli kullanım alanları mevcuttur.

### **1.3 Briyofit Pigment İçerikleri**

#### **1.3.1 Fotosentetik pigmentler**

Bir pigment, ışık soğurabilen herhangi bir maddedir. Çoğu pigmentler sadece görünür ışığın belirli dalga boylarını soğurabilirler ve soğuramadıklarını ise geri yansıtırlar (Işık, 2008). Başta klorofil olmak üzere, karotenoid ve anten pigmentleri gibi birçok fotosentetik pigment vardır. Karayosunlarında da vasküler bitkiler ve yeşil alglerde olduğu gibi fotosentetik pigmentler ve anten pigmentleri (klorofil a ve klorofil b) kloroplast içerisinde bulunmaktadır.

#### **1.3.2 Briyofitlerde klorofil**

Genel olarak briyofitlerde klorofil konsantrasyonu vasküler bitkiler ile karşılaştırıldığında oldukça düşük olmasına rağmen büyüme ve fotosentez olayı vasküler bitkiler ile paralellik göstermektedir. Güneşli ve açık habitatlarda yayılış gösteren briyofitler dahil hemen hemen tüm briyofitler klorofil içeriği bakımından gölge bitkilerinin karakteristiğini taşımaktadır. Karotenoidler, ışığın absorbe edilerek klorofil-a'ya aktarılması, ışık ve oksijen streslerine karşı klorofillerin parçalanmasını (fotooksidasyon) önlemekte görev yapmaktadır (Ezer vd., 2010).

#### **1.3.3 Briyofitlerde karotenoid**

Karotenoidler bitki ve hayvanlar için gerekli olup pigment grubu içerisinde önemli bir yer tutarlar. Karotenoidler ağır metal ve diğer stres durumlarında açığa çıkan superoksit ve serbest oksijen radikallerinin zararlarından hücreyi koruyarak antioksidan olarak görev yaparlar (Kırbağ, 2007).

## **1.4 Bazı Ağır Metallerin Genel Özellikleri**

Bu çalışmada kullanılan çinko (Zn), bakır (Cu), kurşun (Pb) ve kadmiyum (Cd) ağır metallerinin genel özellikleri aşağıda verilmiştir.

### **1.4.1 Çinko (Zn)**

Çinko, insan ve hayvanlarda olduğu gibi bitkilerde de çok çeşitli ve önemli metabolik işlevlere sahiptir. Protein ve karbonhidrat sentezine katılmasının yanı sıra, enzim aktivasyonu, fotosentez, solunum ve biyolojik membran stabilitesi üzerine etkileri nedeniyle üretilen ürün miktarı ve kalitesini direkt olarak etkilemektedir (Rout ve Das, 2003; Öktüren ve Sönmez, 2007). Endüstride metal kaplama ve alaşımlarda kullanılan önemli bir elementtir. Ayrıca; mürekkep, kopya kâğıtları, kozmetik, boya, lastik, muşamba, maden sanayi gibi pek çok sanayide kullanılır.

Çinko, yoğun endüstri alanlarından bırakılan atık sularla, kanalizasyon sularıyla ve asit yağmurları aracılığıyla toprağa ulaşmaktadır (Vaillant vd., 2005; Öktüren ve Sönmez, 2007). Çinko toksisitesinde bitkilerin kök ve sürgün büyümesi azalır, kökler inceler, genç yapraklar kıvrılır ve kloroz görülür, hücre büyümesi ve uzaması engellenir, hücre organelleri parçalanır ve klorofil sentezi azalır (Rout ve Das, 2003; Öktüren ve Sönmez, 2007).

Yüksek dozlardaki çinkonun klorofil sentezini etkilemesinin nedeni olarak yeterli demir bulunması halinde bile bitkinin bundan yararlanmasını engellemesi ve klorofilin merkezinde bulunan magnezyumun yerine geçmesi gösterilmektedir (Van Assche ve Clijsters, 1990; Öktüren ve Sönmez, 2007).

### **1.4.2 Bakır (Cu)**

Bakır bitki bünyesinde enzim aktivasyonu, karbonhidrat ve lipid metabolizmasında yer alması nedeniyle önemli bir elementtir (Kacar ve Katkat, 2006; Öktüren ve Sönmez, 2007). Bakır kirliliği insan aktivitesi sonucu oluşan emisyon ve atmosferik depositler, pestisid kullanımı, kanalizasyon atıklarının gübre olarak değerlendirilmesi, kömür ve maden yataklarından kaynaklanmaktadır. Toprakta 100 mg/kg, bitki kuru maddesinde ise 15-30 mg/kg'dan fazla bakır toksik etkilidir. Bakır toksisitesi genellikle bitki kök sistemlerinde açığa çıkar ve bitki bünyesinde protein sentezi, fotosentez, solunum, iyon

alımı ve hücre membran stabilitesi gibi bazı fizyolojik olayların bozulmasına neden olur (Sosse vd., 2004; Öktüren ve Sönmez, 2007).

Bakır çok değişik alanlarda kullanılır. Yüzeysel sularda bakır 1.0 mg/L'nin altında bile su bitkilerine zehirli etki yapabilir. Bağcılıkta, pestisit olarak ve zaman zaman alglerin yok edilmesi için bakır tuzları kullanılabilir. Bazı balıklar için 1 mg/L konsantrasyonda bile toksik olabilir (Samsunlu, 1999; Artan, 2007).

Bakır'ın insanda beyin, deri, karaciğer, pankreas ve kalp kasında birikmesi sonucu "Wilson Hastalığına" sebep olduğu belirlenmiştir. EPA'nın verilerine göre bakır konsantrasyonu atık sularda 1,3 mg/L üzerinde olmamalıdır. İstenilen bu değerde bakırı tutabilmek için çok yüksek arıtım teknolojisi gerekmektedir. Bakır, kirliliğe Cu<sup>2+</sup> iyonları, hidroliz ürünleri CuCO<sub>3</sub> veya organik kompleksleri şeklinde bulunur (Zajic, 1971; Patterson, 1977; Artan, 2007).

Bakır, üstün fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Bakırın kullanıldığı sektörler; elektrik ve elektronik sanayi, inşaat sanayi, ulaşım sanayi, endüstriyel ekipman yapımı, kimya sanayi, kuyumculuk, boya sanayi ve turistik eşya yapımı şeklinde tanımlanabilir.

#### **1.4.3 Kurşun (Pb)**

Kurşun insan faaliyetleri ile ekolojik sisteme önemli derecede zarar veren ilk metal olma özelliği taşımaktadır. Kurşun atmosfere metal veya bileşik olarak yayıldığından ve her durumda toksik özellik taşıdığından (Çalışma ortamında izin verilen sınır 0,1 mg/m<sup>3</sup>) çevresel kirlilik yaratan en önemli ağır metaldir (Kahvecioğlu, 2006).

Kurşun birçok ülkede çok geniş kullanım alanına sahiptir. Madencilik ve işleme prosesleri ve elde edilen ürünlerin kullanılması sonucunda çevre kirliliğine neden olmaktadır. Dolayısıyla kurşun, havada, yiyeceklerde, suda, toprakta, tozlarda mevcuttur. Kurşun, çevrede çoğunlukla inorganik formda bulunur. Fakat kurşunlu benzin kullanımından ve metil kurşun bileşiklerini meydana getirmek için kullanılan doğal alkinasyon proseslerinden az miktarda organik kurşun ortaya çıkmaktadır. Her ne kadar daha yüksek düzeylerde de tespit edilmişse de bunlar çoğunlukla endüstriyel kirlenme sonucunda oluşmuştur ve bazı doğal mekanizmalar seviyeyi kontrol altında tutmaktadır (Harrison, 1985; Artan, 2007).

Biyosfere insan faaliyetlerine bağlı olarak önemli oranda yayılan kurşun, günümüzden 4000-5000 yıl öncesinde, antik uygarlıklar tarafından gümüş üretimi esnasında yan ürün olarak keşfedilmiş ve tarih boyunca kurşun üretimi ve kullanımı giderek artış göstermiştir. Kurşun, Roma İmparatorluğunda su borularında, su saklama haznelerinde kullanılmıştır ve günümüz bilim adamları ve tarihçiler bu kullanım şeklinin Roma İmparatorluğunun sonunu hazırladığı görüşünü ortaya atmaktadırlar. Kurşun zehirlenmesi sonucu, yönetici sınıfının düşünme kapasitesinin düşmesi, doğum oranlarındaki azalış ve kısalan yaşam süresinin bu çöküşün temelini oluşturduğu iddia edilmektedir (Kahvecioğlu, 2006).

#### **1.4.4 Kadmiyum (Cd)**

En toksik çevresel kirleticilerden olan kadmiyum, düşük konsantrasyonlarda bile biyolojik sistemler üzerinde son derece zararlı bir etkiye sahiptir. Kadmiyum'un çevre kirliliği görölen denizlerde canlı vücuduna alınarak birikmekte olduğu ve değişik seviyelerde toksik etkiler yarattığı tespit edilmiştir. (Ho vd., 2002; Artan, 2007), Gökkuşadı alabalığında kadmiyum birikimi ve biyolojik etkilerini araştırmışlardır. Bu araştırma sonucunda kadmiyumun alabalıklarda en fazla karaciğer, böbreklerde ve solungaçlarında biriktiğini tespit edilmiştir.

Kadmiyum, çinko üretimine eşlik eden metal olarak üretilmiştir. Çinko üretiminde ortaya çıkıncaya kadar havaya, yiyeceklere ve suya doğal süreçlerle önemli miktarlarda karışmamıştır. Ancak günümüzde kadmiyum da çevre kirliliğine sebep olan ağır metaller arasında yerini almıştır. Günümüzde kadmiyum endüstriyel olarak nikel/kadmiyum pillerde, korozyona karşı özellikle denizel koşullara dayanımı nedeniyle gemi sanayinde çeliklerin kaplanmasında, boya sanayinde, PVC stabilizatörü olarak, alaşımlarda ve elektronik sanayinde kullanılır.

Kadmiyumun yıllık doğaya yayılım miktarı 25,000–30,000 tondur ve bunun 4,000–13,000 tonu insan faaliyetlerine bağlı olarak ortaya çıkar. Avrupa üzerinde kadmiyum yayılımını görölmektedir. İnsan yaşamını etkileyen önemli kadmiyum kaynakları; sigara dumanı, rafine edilmiş yiyecek maddeleri, su boruları, kahve, çay, kömür yakılması, kabuklu deniz ürünleri, tohum aşamasında kullanılan gübreler ve endüstriyel üretim aşamalarında oluşun baca gazlarıdır. Endüstriyel olarak kadmiyum zehirlenmesi kaynak yapımı esnasında kullanılan alaşım bileşimleri, elektrokimyasal kaplamalar, kadmiyum

içeren boyalar ve kadmiyumlu piller nedeniyledir. Kadmiyum önemli miktarda gümüş kaynaklarda ve sprey boyalarda da kullanılmaktadır (Kahvecioğlu vd., 2006).

Kadmiyum ve çinko yerkürede bir arada ve benzer yapılarda bulunurlar. Bu iki metal insan vücudunda da benzer strüktürel ve fonksiyonel özellikler göstermektedirler. Kadmiyum, önemli enzim ve organ fonksiyonlarında çinkonun yerini alabilmektedir ve bu fonksiyonların gerekli şekilde gerçekleşmesini engellemektedir. Zn ve Cd'nin vücut içindeki oranları Cd zehirlenmesi Zn yetersizliğiyle arttığından çok önemlidir. Tahılların rafinasyon işlemi bu oranı düşürmekte ve dolayısıyla Zn eksikliği ve Cd zehirlenmesi fazla rafine edilmiş tahıl ve unların tüketimiyle artış göstermektedir. Kadmiyum diğer ağır metallerle içinde suda çözünme özelliği en yüksek olan elementtir. Bu nedenle doğada yayılım hızı yüksektir ve insan yaşamı için gerekli elementlerden değildir. Suda çözünebilir özelliğinden dolayı Cd<sup>+2</sup> halinde bitki ve deniz canlıları tarafından biyolojik sistemlere alınır ve akümüle olma özelliğine sahiptir. İnsan vücudundaki Cd seviyesi ilerleyen yaşla beraber artış gösterir ve genellikle 50'li yaşlarda maksimum seviyesine ulaştıktan sonra azalmaya başlar. Yeni doğmuş bebeklerde hiç kadmiyum bulunmaz ve kadmiyum, kurşun ve cıvanın aksine plasenta ya da kan yoluyla anne karnındaki bebeğe geçmemektedir. Normal olarak vücudumuzda 40 mg'a kadar kadmiyum bulunabilmektedir ve günlük olarak da 40 µg'a kadar kadmiyum vücuttan atılabilir. Bu seviyeler, kadmiyumun çoğunu topraktan yani yiyecekler yoluyla alması nedeniyle bölgelere göre değişiklik gösterebilmektedir. Yiyecekler yoluyla alınan kadmiyumun yanı sıra su boruları yoluyla, sigara dumanı ve endüstriyel metal üretimi sonucu çıkan fabrika atıkları da diğer önemli kadmiyum kaynaklarıdır. Endüstri bölgelerinde havadaki kadmiyum oranı kırsal alanlara oranla çok daha yüksektir (Kahvecioğlu vd., 2006).

Kadmiyum vücutta % 20 lik gibi bir oranla çok iyi absorbe edilemiyor olsa bile, bu diğer birçok metale kıyasla oldukça yüksek bir orandır. Kadmiyum içeriği 0,01 mg/m<sup>3</sup> havanın 14 günden daha fazla solunması durumunda kronik akciğer rahatsızlıkları ve böbrek yetmezliği ortaya çıkar. Çünkü kadmiyum ve bileşikleri genellikle böbrekler ve karaciğerde birikirler ve ilerleyen yaşlarla böbreklerdeki birikim yüksek tansiyona da sebep olabilmektedir. Kısa süreli olarak 0,05 mg/kg kadmiyum alınımı mide rahatsızlıklarına neden olurken, uzun süreli (>14 gün) 0,005 mg/kg/gün dozu böbrek ve kemiklerde önemli problemlere neden olmaktadır.

Kadmiyumdan kaynaklanan akut zehirlenmede öncelikle halsizlik, baş ağrısı, ateş, terleme, kaslarda gerilme ve ağrıya beraber kusmayla 24 saat içinde ortaya çıkar ve 3. gün en şiddetli belirtileri göstererek 1 hafta içinde yeni bir yüklemeye sözkonusu değil ise kaybolmaya başlar. Kronik kadmiyum zehirlenmesinde ortaya çıkan en önemli etki özellikle akciğer ve prostat kanseridir. Kronik zehirlenme böbrek hasarı ile ortaya çıkar ve idrarda düşük molekülü protein görülür. Aşırı dozda kadmiyum alınımı (60-480 µg/g böbrek) böbrekler üzerinde tahrip edici etkinin ortaya çıkmasına yol açar ve etki kuşlarda dahil olmak üzere tüm canlılarda görülmektedir. Kadmiyum zehirlenmesine bağlı olarak kemik erimesi ve buna bağlı hastalıklarda görülür. Diğer taraftan kansızlık, dişlerin dökülmesi ve koku duyumunun yitirilmesi de önemli etkilerdir (Kahvecioğlu vd., 2006).

### **1.5 Ağır Metallerin Zararları**

Ekosistemin ağır metallerle kirlenmesi ve çevreye yaptığı zararlar, çok önemli güncel sorunlar haline gelmiştir. Özgül ağırlıkları 5 ve bu değerin üzerinde olan metaller, ağır metal olarak nitelenmekte (Ag, As, Cd, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Zn gibi) ve bunların toprakta çok yönlü zararlara neden olduğu bilinmektedir. Ağır metallerin toprakta normalin üzerinde birikmeleri, toprak kültürleri ve besin zinciriyle diğer canlılar için çok tehlikeli sonuçlar doğurabilmektedir. Bu büyük tehlike insanlar tarafından fark edildiğinden, ağır metaller ile ilgili çalışmalar son 30 yıl içinde büyük bir hız kazanmıştır. Bilim adamlarına göre antropojenik kaynaklı olarak atmosferden diğer ekosistemlere dağılan arsenik (22 bin ton), kadmiyum (70 bin ton), kurşun (400 bin ton), bakır (56 bin ton) ve çinko (214 bin ton) civarında olduğu ifade edilmektedir. Bunlardan birinci gruptakiler madencilik yoluyla dünya üzerine yayıldıklarından, aslında insan eliyle biyojeokimyasal döngülere sokuldukları için bunlarda antropojenik kaynaklıdır. İkinci gruptakilerin bunlardan farkı, maden cevherinin endüstride işlenmesi sırasında, tarımsal mineral gübrelerin kullanılması ve atık maddeler yoluyla atmosferden ekosistemlere yine insan eliyle yayılmasıdır (Çepel, 1997).

Günümüzde toprakta ağır metal kirliliği önemli çevresel problemlerden birisidir. Ağır metallerin toprakta birikmesinin sadece toprak verimliliği ve ekosistem fonksiyonları üzerinde değil aynı zamanda besin zinciri yoluyla havyan ve insan sağlığı üzerinde de önemli etkileri vardır. Bitki bünyesine ulaşan ağır metaller bitkilerin fizyolojik aktivitelerini engellemekte, verimliliklerini azaltmakta ve ölümlerine neden olmakta



dolayısıyla ürün kalite ve miktarının azalmasına yol açmaktadırlar. Bitkilerin ağır metal toksisitesine karşı toleransları bitki türüne, element türüne, strese maruz kalma süresine ve strese maruz kalan doku veya organın yapısına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle ağır metalin tür ve miktarı, yayırlılığı, zararın şiddeti ve türü ayrıca zarar oluşum sürecinin bilinmesi bitkilerin gelişimi ve canlılığı açısından oldukça önemlidir (Öktüren ve Sönmez, 2007).

Son zamanlarda ağır metal tanımı ile kimyasal maddelerin ekolojik sisteme verdikleri zarar genelleştirilerek gazete haberlerinde sık sık ağır metallerin, çevresel problemlere neden olduklarını yer almaya başlamıştır. Bunun nedeni çevresel problemler söz konusu olduğunda “ağır metal” tanımı sanki çok tanımlı ve kesin bir grupmuş gibi bu kavramın çok sık “nispeten yüksek yoğunluğa sahip ve düşük konsantrasyonlarda bile toksik veya zehirleyici olan metal” olarak kullanılmasıdır. Bu yaygın kanıya, ağır metallerin belirli bir zaman aralığında canlı organizmada diğer metallere kıyasla akümülyasyonunun fazla olması ve bunun sonucu negatif etkinin giderek artması yol açmaktadır. Gerçekte ağır metal tanımı fiziksel özellik açısından yoğunluğu 5 g/cm<sup>3</sup> ten daha yüksek olan metaller için kullanılır. Bu gruba kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, nikel, cıva ve çinko olmak üzere 60 tan fazla metal dahildir. Bu elementler doğaları gereği yer kürede genellikle karbonat, oksit, silikat ve sülfür halinde stabil bileşik olarak veya silikatlar içinde hapis olarak bulunurlar. Her ne kadar metallerin yoğunluk değeri üzerinden hareketle ekolojik sistem üzerindeki etkileri tanımlanmaya/gruplandırılmaya çalışılıyorsa da gerçekte metallerin yoğunluk değerleri onların biyolojik etkilerini tanımlamaktan çok uzaktır (Kahvecioğlu vd., 2006).

Çevre kirliliği yaratan kirleticiler içinde en tehlikelilerinden olan ağır metal kirlenmesinin önüne geçmek için, endüstriyel kuruluşların atık suları fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle arıtılabilir. Bunlardan fiziksel arıtmada çöktürme ve flotasyon işlemleriyle çökebilen veya yüzebilen tanecikler ayrılmakta; kimyasal arıtmada çözülmüş veya kolloidal boyuttaki tanecikler pıhtılaştırılıp yumaklaştırılarak çökebilir hale getirilmekte; biyolojik arıtmada ise çözülmüş maddeler kısmen biyolojik kütlelerin bir araya gelerek oluşturduğu kolay çökebilen yumaklara, kısmen de mikroorganizmaların enerji ihtiyaçları için yaptıkları solunum sırasında çıkan gazlara ve diğer stabilize olmuş son ürünlere dönüşmektedir. Bazı bitkiler metalleri yüksek oranda biriktirebilirler. Diğer bitkilerden en az yüz kat daha fazla miktarda bir ya da

birden fazla metali, hiçbir zarar görmeden biriktirebilen bu tip bitkilere hiperakümülatör (metal biriktirici) bitkiler denilmektedir. Günümüzde metalleri yüksek oranda biriktirebilmelerinden dolayı metal biriktiricilerin yüksek düzeyde metal içeren toprak ve suların iyileştirilmesinde kullanılmasına yönelik çalışmalar giderek önem kazanmaktadır (Artan, 2007).

Ağır metallerin ekolojik sistemde yayılımları dikkate alındığında doğal çevrimlerden daha çok özellikle endüstrileşmiş bölgelerde insanın neden olduğu etkiler nedeniyle çevreye yayılımı söz konusu olduğu görülmektedir. Sürekli ve kullanıma bağlı kirlenmenin yanı sıra irili ve ufaklı kazalar sonucu da ağır metallerin çevreye yayılımı önemli miktarlara ulaşabilmektedir. Ağır metallerin çevreye yayılımında etken olan en önemli endüstriyel faaliyetler, metalik madenlerin üretimi başta olmak üzere çimento üretimi, demir çelik sanayi, termik santraller, cam üretimi, çöp ve atık çamur yakma tesisleridir. Endüstriyel faaliyetler sonucu ortaya çıkan ağır metaller, toprağa ve buradan bitkiler ve besin zinciri yoluyla da hayvanlara ve insanlara ulaşırlar ve aynı zamanda sanayinin yoğun olduğu bölgelerde hayvan ve insanlar tarafından havadan aerosol olarak veya toz halinde solunabilmektedir (<http://www.metalurji.org.tr>).

## **1.6 Literatür Özeti**

Ağır metalin tanımı daha çok çevresel problemler olduğunda ortaya çıkmakta ve nispeten yüksek yoğunluğa sahip ve düşük konsantrasyonlarda bile toksik veya zehirleyici olan metal olarak tarif edilmektedir. Bu grubun içine kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, nikel, civa ve çinko olmak üzere 60'tan fazla metal girmektedir (Kahvecioğlu vd., 2006). Ağır metallerin toksisite derecesi; metalin konsantrasyonuna, bulunuş formuna (metal, iyon, organik bileşik..vs), fertlere, türlere, etki süresine, bulunduğu yere vb. gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Okcu, vd., 2009). Metaller doğal olarak meydana gelir ve bazıları küresel ekosistemlerin gerçek parçalarıdır (Raven vd., 1999). Ağır metal kirliliği dünya üzerinde pek çok yerde biyosferi etkilemektedir (Cunnigham vd., 1997; Raskin ve Ensley, 2000; Meagher, 2000).

Metal zararından etkilenme derecesi, bitkinin türüne, maruz kalınan metalin çeşidine ve derişimine bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Bazı bitkiler metalleri yüksek oranda biriktirebilirler. Diğer bitkilerden en az yüz kat daha fazla miktarda bir ya da

birden fazla metali, hiçbir zarar görmeden biriktirebilen bu tip bitkilere hiperakümülatör (metal biriktirici) bitkiler denilmektedir (Ayhan vd., 2006).

Kurşun (Pb), insan faaliyetleri ile ekolojik sisteme en önemli zararı veren ilk metal olma özelliği taşımaktadır. Kurşun atmosfere metal veya bileşik olarak yayıldığından ve her durumda toksik özellik taşıdığından çevresel kirlilik yaratan en önemli ağır metaldir (Saygıdeğer, 1995; Karademir ve Toker, 1995). Kurşun kirliliği olan ortamlarda kurşun, kısmen yaprakların stomalarıyla bitki bünyesine alınmakta ancak büyük bir kısmı yüzeysel olarak yapışıp kalmaktadır (Deniz, 2010).

Bakır, çeşitli alanlarda kullanılan bir materyal olduğu için bu elementin oluşturduğu kirliliğin pek çok kaynağı mevcuttur. Bu elementin proseslerde veya paketlemelerde kullanılması ürünleri kirletebilir ve çevreye zarar verebilir (Nuhoğlu vd., 2002).

Ağır metallere biri olan kadmiyum, günümüzde çeşitli kullanım alanlarıyla ve çevre kirliliğindeki önemli rolü ile gündeme gelmiş oldukça toksik bir metaldir. Kadmiyum nispeten nadir bir elementtir ve doğada saf olarak bulunmaz. Önemli bir kirlitici olmasının nedeni çok düşük dozlarda bile toksik olması ve biyolojik yarılanma ömrünün uzun olmasıdır (Goyer, 1991; Lyons-Alcantara vd., 1996).

Akuatik karayosunları su ekosisteminde önemli rol oynamaktadırlar, çünkü onlar bazı canlılar için birincil üreticilerdir (Bowden, 1999). Fotosentetik dokular ağır metal streslerine karşı korunmasızdırlar, bitkilerin metabolik aktiviteleri ağır metallere etkilenmektedir (Tyler, 1990; Yurukova vd., 1996). Metaller ve toksik maddelerin aşırı olması biyolojik sisteme zarar vermekte ekosistemin dengesini bozmaktadır çünkü bu maddeler organizmalarda birikerek organizmalarda toksik etki yaratmakta hatta organizmaların ölümüne neden olmaktadır.

Metal kirliliklerin bitkilerde kimyasal, biyolojik ve fizyolojik etkilerine bakmak için karasal ve sucul bitkiler kullanılmıştır (Ayeni vd., 2010).

Ağır metal kirlilikleri özellikle bitkilere zarar vermektedir. Ağır metallere kloroplast ve mitokondri organellerine zarar verdiği ve fotosentetik pigmentleri azalttığı görülmüştür (Barcelo ve Porschenrieder, 1989,1990).

Karayosunlarının özel morfolojik ve fizyolojik özelliklerinden dolayı ağır metal girişine ve ayrıca da çevresel izlemeye son derece uygun oldukları ispatlanmıştır (Brown ve

Buck 1985; Tyler, 1990; Sawidis vd., 1993; Wolterbeek vd., 1995; Markert vd., 1996; Zechmeister, 1998; Fernandez vd., 2002; Shakya, vd., 2004; Samecka-Cymerman, vd., 2005; Shakya vd., 2007). Metalin tutulması temel olarak parçacıkların hapsedilmesi, anyonların aktif olarak alınması, katyonların pasif olarak adsorpsiyonu ve iyon alışverişi ile gerçekleşmektedir (Puckett, 1988). Karayosunlarda ki bir takım fonksiyonel gruplar hücre duvarlarında metal iyonlarını bağlayabilmektedir (Tyler, 1990). Ağır metallerin toksik etkisi protein sentezi, solunum, fotosentez, mineral besin ve zar yapısı gibi tüm bitki gruplarında meydana gelen bitki hücre faaliyetlerinin büyük çoğunluğunu etkilemektedir (Azeez ve Banerjee 1986; Tyler, 1990). Karayosunlarının hücre duvarlarında likenlerde olduğu gibi katyonların değiştirilebilir formda bağlandığı negatif yüklü anyonik alanlar bulunmaktadır.

Metal organik bileşiklerinin ve dokuların yüksek katyon alışveriş katsayısı yosunlar tarafından ağır metallerin emilimine neden olan esas koşullardır (Tyler, 1970).

Bazı metaller düşük konsantrasyonda bile yüksek toksik etki yaratmaktadır (Wu, vd., 2009). Yüksek ağır metal konsantrasyonları strese neden olduğu klorofil ve karotenoid değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir (Chen ve Djuric, 2001).

Ağır metallerin çevreye yayılmasına neden olan etmenlerin başında endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtların egzozları, maden yatakları ve işletmeleri, volkanik faaliyetler, tarımda kullanılan gübre ve ilaçlar ile kentsel atıklar gelmektedir (Stresty ve Madhava Rao, 1999).

Metallerin bitkilerin vejetatif organlarını önemli derecelerde etkilediği birçok çalışmada tespit edilmiştir. Fakat metal kirliliği sadece vejetatif organları değil, aynı zamanda generatif organları da etkilemektedir (Zheljazkov ve Nielsen, 1996).

Bütün karayosunları ve likenlerin biyolojik indikatörlerin en iyisi oldukları tespit edilmiştir (Murkherjee ve Nuorteva, 1984).

Abaigar ve Nunez-Olivera, (1998), tarafından yapılan bir çalışmada sucul karayosunlarının olumsuz çevre koşullarına özellikle ağır metal kirliliğine rağmen başarılı bir şekilde gölün derinliklerinde, nehirlerde ve akarsularda yayılış gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Dunand vd., (2002), Bakır toksisitesinin hıyar bitkisindeki fotosentez oranı üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada 0 ve 10 µg/g Cu uygulanmıştır. Hıyar yapraklarının bakır stresine karşı oluşturdukları tepkiler büyüme dönemine göre değişmiştir. Fotosentezin olgun yapraklarda kontrole göre % 52, genç yapraklarda ise % 27 oranında azaldığı belirlenmiş olup, fotosentez oranının olgun yapraklarda daha fazla azalmasının nedeni olarak; olgun yapraklardaki stomal hareket ve dolayısıyla CO<sub>2</sub> asimilasyonun daha fazla azalması gösterilmiştir.

Fatoba vd., (2008), ise *Barbula lambarenensis*'in ağır metallere karşı toleranslı olduğunu tespit etmişlerdir.

Gecheva ve Yurukova, (2008), akuatik karayosunu *Fontinalis antipyretica*'nın pigment oranları (klorofil-a ve b) üzerine ağır metallerin (bakır, kadmiyum ve kurşun) etkisi araştırılmıştır.

Kakulu, (1993), yapmış olduğu bir çalışmada *Polytrichum junipericum* ve *Azadrachta indica* türlerinde ağır metal kirliliklerini incelemiştir.

Parmar vd., (2002), yaptıkları bir çalışmada *Phaseolus vulgaris* L. fidelerine 0,05 -0,4 mM civa uygulandığı zaman klorofil içeriğinin azaldığını bildirmişlerdir.

Prasad, (1987), yapmış olduğu çalışmada *Phaseolus vulgaris* L. fideleri farklı konsantrasyonlarda kurşun ve civa ağır metallerine maruz bırakıldığında total klorofil miktarının azaldığı ve bu azalmanın enzimlerin inaktive olması ile ilişkili olmasından dolayı olduğu rapor edilmiştir.

Lopez ve Carballeira, (1993), İspanya da Eume nehrinde ve Galicia'dan toplanan *Fontinalis antipyretica* Hedw., *Rhynchostegium riparioides* Hedw., *Fissidens polyphyllus* Wils. ve *Scapania undulata* L., karayosunlarında metal (Cu, Cd, Zn, Pb, Ni, Mn ve Fe) birikimlerinin pigment streslerine neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Manios vd. (2003), yaptıkları çalışmada iletim demetli bir bitki türü olan *Typha latifolia*'da ağır metal birikimlerinin klorofil konsantrasyonu üzerine etkisini incelemişlerdir.

Ralph, (1997)'de yaptığı bir çalışmada *Halophila ovalis* türünün fotosentetik pigment konsantrasyonu üzerine ağır metallerin etkisini araştırmıştır.

Saxena ve Saiful-Arfeen, (2009), yaptıkları çalışmada *Racomitrium crispulum* bitkisi üzerine bakır ve kadmiyum metalleri uygulamışlar ve bu metallerin bitkideki fotosentez, antioksidans değerleri ve verimlilik üzerine etkisini araştırmışlardır.

Shakya vd., (2007), yaptıkları çalışmada Katmandu vadisinde bakır (Cu), çinko (Zn) ve kurşun (Pb) gibi ağır metallerin iki karayosunu *Thuidium delicatulum* (L.) Mitt. ve *T. sparsifolium* (Mitt.) ile bir ciğerotu türü olan *Ptychanthus striatus* (Lehm ve Linderb)'un klorofil içeriğine olan etkisini araştırmışlardır. Bakır birikimi karayosunlarında ve ciğerotunda klorofil-a, klorofil-b ve toplam klorofil açısından önemli düzeyde inhibisyon etki göstermiştir. Çinko ve kurşun birikmesinden sonra her iki *Thuidium* türünün klorofil içeriğinde bir azalma söz konusu olurken, ciğerotu türünde ciddi bir artış meydana geldiği görülmüştür.

Vaillant vd., (2005), Artan çinko dozlarının (kontrol, 1 mM, 2.5 mM ve 5 mM) klorofil sentez, miktar ve dağılımı üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada Solanacea familyasının herbaceous türlerinden biri olan *Datura* bitkisinin farklı varyeteleri (*Datura innoxia*, *Datura metel*, *Datura sanguinea* ve *Datura tatula*) kullanılmıştır. Çalışmada çinkonun toksik etkisinin türlere bağlı olarak değiştiği, 5 mM çinko dozu uygulanan bitkilerde klorofil içeriğinin *D. innoxia* % 32, *D. sanguinea* % 84, *D. metel* % 89 ve *D. tatula*'da % 83 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Yıldız vd., (2011), bir liken türü olan *Pseudevernia furfuracea*'de ağır metalin klorofil miktarını düşürdüğünü tespit etmişlerdir.

## BÖLÜM II

### MATERYAL VE METOT

#### 2.1 Materyal

Bu çalışmada kullanılan bitkisel materyali, *Bryum schleicheri*, *Palustriella decipiens*, *Palustriella falcata*, *Plagiomnium undulatum* ve *Cinclidotus pachylomoides* karayosunu türleri oluşturmakta olup örneklerin toplandığı lokalite ve habitatlara ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

#### *Bryum schleicheri* DC

**Türün toplandığı lokalite bilgileri:** Adana, Pozantı, Mazmılı Dağı, 37°40'292" K, 35°34'223" D, Toprak üzeri, Nemli, 1980m, 25.05.2013.

#### *Palustriella decipiens* (De Not.) Ochyra

**Türün toplandığı lokalite bilgileri:** Kayseri, Yahyalı, Kapuzbaşı Takım Şelaleleri (Elif Şelalesi), 37°46'530" K, 35°23'220" D, Kaya üzeri, Islak, 692m, 04.07.2013.

#### *Palustriella falcata* (Brid.) Hedenäs

**Türün toplandığı lokalite bilgileri:** Kayseri, Yahyalı, Kapuzbaşı Takım Şelaleleri (Elif Şelalesi), 37°46'530" K, 35°23'220" D, Kaya üzeri, Islak, 692m, 31.03.2012.

#### *Plagiomnium undulatum* (Hedw.) T.J.Kop

**Türün toplandığı lokalite bilgileri:** Kayseri, Yahyalı, Kapuzbaşı Takım Şelaleleri (Elif Şelalesi), 37°46'540" K, 35°23'255" D, Kayaları örten toprak üzeri, Islak, 766m, 15.10.2011.

#### *Cinclidotus pachylomoides* Bizot

**Türün toplandığı lokalite bilgileri:** Niğde, Çamardı, 37°55'053" K, 35°08'033" D, Kaya üzeri, Islak, 1685m, 23.06.2013.

## 2.2 Metod

### 2.2.1 Örneklerin toplanması

Çalışmanın ilk aşamasında, briyofit örnekleri doğal ortamlarındaki farklı habitatlardan çeşitli kazıyıcı aletlerin yardımıyla doğal görünümleri bozulmadan toplanmıştır. Toplanan örnekler, içerisinde lokalite ve habitat özelliklerinin yazılı olduğu bir etiket ile birlikte toplama torbalarına koyulmuştur.

### 2.2.2 Örneklerin hazırlanması ve teşhis edilmesi

Araziden toplanan örnekler laboratuvar ortamında, kağıt üzerine serilerek kurutulmak suretiyle birkaç gün bekletilmiştir. Kuruyan örnekler çeşitli flora eserlerinden (Pedrotti, 2001; Smith, 2004; Pedrotti, 2006) faydalanılarak teşhis edilmiş ve deneylerde kullanılmak üzere kutulanmıştır.

### 2.2.3 Örneklerin temizlenmesi

Teşhis edilen örnekler üzerindeki taş, toprak ve yabancı otlar öncelikle mekanik olarak temizlenmiştir. Temizlenen örnekler musluk suyu ile iyice yıkanmış ve sonrasında bir süre distile su içerisinde bekletilmiştir. Buradan çıkarılan örnekler birkaç gün kurumaya bırakılmıştır (Fotoğraf 2.1). Kuruyan örnekler bir kaba alınıp laboratuvar da deney aşamasına geçilmiştir.



**Fotoğraf 2.1.** Temizlikten sonra kurumaya bırakılan örnekler



#### 2.2.4 Ağır metal uygulamaları

Ağır metal uygulamaları için ilk olarak hassas terazide 0,1 g olacak şekilde örnekler tartılmıştır. Tartılan örnekler daha sonra cam kavanozlara alınmıştır (Fotoğraf 2.2). Çalışmada  $10^{-2}$ - $10^{-4}$  M arasında değişen ağır metallerin [CuSO<sub>4</sub>, CdSO<sub>4</sub>, ZnSO<sub>4</sub> ve PbSO<sub>4</sub>] sulu çözeltileri kullanılmış olup ayrıca distile su ile de kontrol grupları oluşturulmuştur.

Hazırlanan ağır metal çözeltileri önceden tartılmış ve cam kavanozlara koyulmuş olan 0,1g karayosunu örneklerinin üzerine uygulanmıştır. Yine kontrol grupları için de aynı şekilde saf su uygulanmıştır. Örnekler ağır metal çözeltilerinde 15 dk ve 30 dk olmak üzere iki farklı sürede bekletilmek suretiyle pigment konsantrasyonlarındaki değişim tespit edilmiştir.



**Fotoğraf 2.2.** Tartılan örneklerin cam kavanoza alınması

### 2.2.5 Klorofil ve karotenoid pigmentlerin ekstraksiyonu

Örneklerin klorofil ve karotenoid konsantrasyonu Arnon (1949) metoduna göre belirlenmiştir. 15 dk ve 30 dk olmak üzere iki farklı sürede metal uygulanmış olan 0,1g'lık örnekler % 80'lik 15 ml (hacim/hacim) aseton ile homojenize edilmiş (Fotoğraf 2.3) ve whatman no:1 filtre kağıdından süzölmüştür (Fotoğraf 2.4). Daha sonra süzölen örnekler Fotoğraf 2.5'de göröldüğü gibi deney tüplerine alınarak ağızları streç film ile kapatılmıştır.



**Fotoğraf 2. 3.** Örneklerin aseton ile homojenize edilmesi



**Fotoğraf 2.4.** Filtre kağıdı kullanılarak örneklerin süzölmesi



**Fotoğraf 2.5.** Süzülen örneklerin streç film ile kaplanması

### **2.2.6 Klorofil ve karotenoid pigmentlerinin belirlenmesi**

Elde edilen ekstraksiyonda absorbans değerleri Jenway U.V. spektrofotometresinde (Fotoğraf 2.6) (CE 5502 UV spectrophotometer) 652 nm’de toplam klorofil, 663 nm’de klorofil a, 645 nm’de klorofil b ve 470 nm’de karotenoid ölçülmüştür. Hesaplamalar Lichtenthaler ve Wellburn (1983) tarafından aşağıda verilen formüllere göre yapılmıştır (A: ölçülen absorbans değeri).

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

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

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

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



**Fotoğraf 2.6.** Elde edilen ekstraksiyonda absorbans değerleri jenway 6505 u.v. spektrofotometresinde ölçülmesi

### **2.2.7. İstatistik analizler**

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

## BÖLÜM III

### BULGULAR VE TARTIŞMA

Ölçümü yapılan her bir briyofit türüne ait klorofil ve karotenoid değerleri istatistik olarak Tukey (SPSS 16.0 One-Way Anova) testine göre  $p<0.05$  seviyesinde analiz edilerek aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

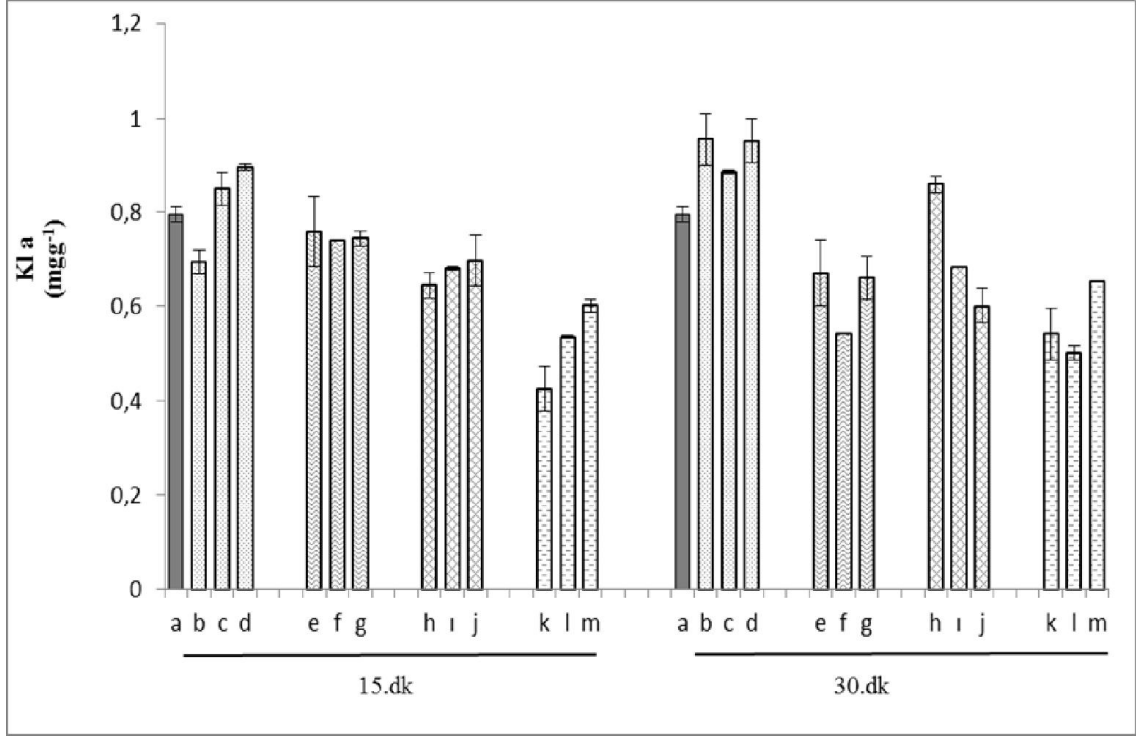
#### **3.1 *Bryum schleicheri* Bitkisine Ait Fotosentetik Pigment Miktarları**

Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Bryum schleicheri* türüne ait fotosentetik pigment miktarları üzerine etkileri Çizelge 3.1' de gösterilmiştir. Her kolonda farklı harfler bulunmaktadır. Kontrol grupları a harfi ile gösterilmiş olup kontrole göre farklılık göstermeyenler a harfi ile kontrole göre farklılık gösterenler ise b harfi ile ifade edilmektedir.

**Çizelge 3.1.** Farklı Konsantrasyonlar ve Sürelerde Uygulanan Ağır Metallerin *Bryum schleicheri* Bitkisinde Fotosentetik Pigment Miktarı Üzerine Etkileri ( $\pm$  SE).

Grup	K <sub>1a</sub> (mg ml <sup>-1</sup> )	K <sub>1b</sub> (mg ml <sup>-1</sup> )	K <sub>1a/b</sub> (mg ml <sup>-1</sup> )	Toplam K <sub>1</sub> (mg ml <sup>-1</sup> )	Karotenoid (mg ml <sup>-1</sup> )
Kontrol	0.794 $\pm$ 0.015a	0.308 $\pm$ 0.024a	2.442 $\pm$ 0.043a	1.275 $\pm$ 0.022a	0.354 $\pm$ 0.004a
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 15 dk	0.693 $\pm$ 0.026a	0.592 $\pm$ 0.026b	1.147 $\pm$ 0.048b	1.785 $\pm$ 0.050b	0.318 $\pm$ 0.026a
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 30 dk	0.955 $\pm$ 0.056b	0.858 $\pm$ 0.031b	1.072 $\pm$ 0.011b	2.650 $\pm$ 0.042b	0.432 $\pm$ 0.025b
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 15 dk	0.849 $\pm$ 0.035a	0.471 $\pm$ 0.017b	1.599 $\pm$ 0.065b	1.718 $\pm$ 0.078b	0.405 $\pm$ 0.006b
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 30 dk	0.885 $\pm$ 0.003a	0.584 $\pm$ 0.010b	1.564 $\pm$ 0.017b	1.690 $\pm$ 0.050b	0.417 $\pm$ 0.015b
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 15 dk	0.896 $\pm$ 0.007a	0.439 $\pm$ 0.008b	2.046 $\pm$ 0.051b	1.607 $\pm$ 0.053b	0.451 $\pm$ 0.004b
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 30 dk	0.952 $\pm$ 0.048b	0.484 $\pm$ 0.026b	1.965 $\pm$ 0.067b	1.624 $\pm$ 0.012b	0.485 $\pm$ 0.008b
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 15 dk	0.757 $\pm$ 0.073a	0.400 $\pm$ 0.010b	1.787 $\pm$ 0.029b	1.382 $\pm$ 0.031a	0.365 $\pm$ 0.012a
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 30 dk	0.669 $\pm$ 0.070b	0.329 $\pm$ 0.013a	1.902 $\pm$ 0.028b	1.118 $\pm$ 0.050b	0.326 $\pm$ 0.007a
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 15 dk	0.737 $\pm$ 0.001a	0.387 $\pm$ 0.011b	1.926 $\pm$ 0.084b	1.326 $\pm$ 0.003a	0.373 $\pm$ 0.002a
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 30 dk	0.541 $\pm$ 0.001b	0.325 $\pm$ 0.011a	1.635 $\pm$ 0.020b	1.010 $\pm$ 0.018b	0.312 $\pm$ 0.011b
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 15 dk	0.742 $\pm$ 0.016a	0.422 $\pm$ 0.007b	1.754 $\pm$ 0.013b	1.399 $\pm$ 0.079a	0.407 $\pm$ 0.013b
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 30 dk	0.660 $\pm$ 0.046b	0.435 $\pm$ 0.010b	1.650 $\pm$ 0.007b	1.237 $\pm$ 0.032a	0.355 $\pm$ 0.021a
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 15dk	0.644 $\pm$ 0.027b	0.329 $\pm$ 0.009a	1.925 $\pm$ 0.068b	1.146 $\pm$ 0.034a	0.307 $\pm$ 0.017b
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 30dk	0.858 $\pm$ 0.019a	0.421 $\pm$ 0.025b	2.053 $\pm$ 0.075b	1.469 $\pm$ 0.075b	0.361 $\pm$ 0.011a
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 15dk	0.681 $\pm$ 0.004a	0.368 $\pm$ 0.008b	1.868 $\pm$ 0.017b	1.225 $\pm$ 0.023a	0.337 $\pm$ 0.002a
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 30dk	0.684 $\pm$ 0.001a	0.375 $\pm$ 0.008b	1.841 $\pm$ 0.043b	1.242 $\pm$ 0.023a	0.339 $\pm$ 0.002a
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 15dk	0.696 $\pm$ 0.055a	0.331 $\pm$ 0.002a	1.999 $\pm$ 0.096b	1.288 $\pm$ 0.031a	0.350 $\pm$ 0.009a
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 30dk	0.599 $\pm$ 0.037b	0.317 $\pm$ 0.011a	1.825 $\pm$ 0.050b	1.174 $\pm$ 0.034a	0.331 $\pm$ 0.015a
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 15dk	0.426 $\pm$ 0.047b	0.247 $\pm$ 0.005b	1.999 $\pm$ 0.021b	0.806 $\pm$ 0.022b	0.262 $\pm$ 0.017b
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 30dk	0.541 $\pm$ 0.054b	0.235 $\pm$ 0.011b	2.243 $\pm$ 0.106a	0.980 $\pm$ 0.034b	0.274 $\pm$ 0.008b
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 15dk	0.534 $\pm$ 0.003b	0.227 $\pm$ 0.013b	2.395 $\pm$ 0.085a	0.897 $\pm$ 0.029b	0.264 $\pm$ 0.007b
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 30dk	0.501 $\pm$ 0.014b	0.182 $\pm$ 0.015b	2.475 $\pm$ 0.041a	0.786 $\pm$ 0.026b	0.240 $\pm$ 0.012b
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 15dk	0.600 $\pm$ 0.012b	0.298 $\pm$ 0.011a	2.074 $\pm$ 0.081b	1.071 $\pm$ 0.179b	0.345 $\pm$ 0.002a
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 30dk	0.652 $\pm$ 0.031b	0.319 $\pm$ 0.002a	2.145 $\pm$ 0.079b	1.118 $\pm$ 0.060b	0.337 $\pm$ 0.010a

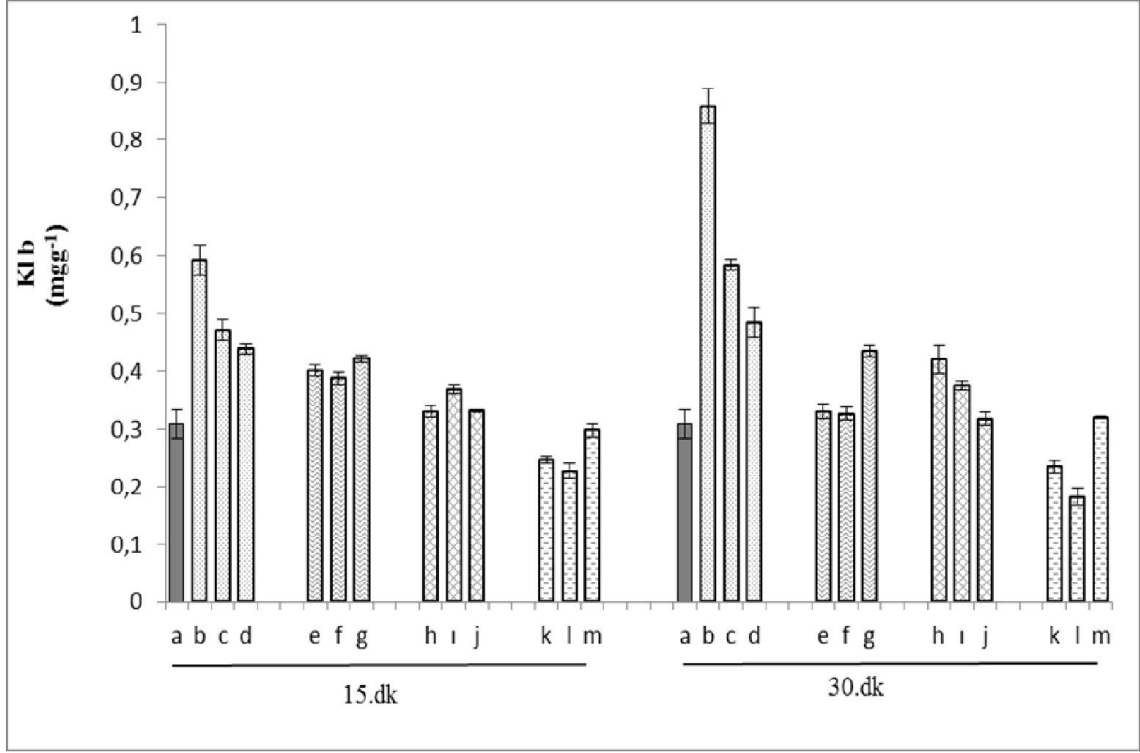
Sonuçlar istatistik olarak Tukey (SPSS 16.0 One-Way Anova ) testine göre p<0.05 seviyesinde analiz edilmiştir. Her kolonda farklı harfler önemlilik derecesinde farklılığı göstermektedir.



**Şekil 3.1.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Bryum schleicheri*'nin klorofil a üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f:  $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , i:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ .

*Bryum schleicheri*'nin klorofil a değerlerine bakıldığında kontrole göre en yüksek azalma  $\text{PbSO}_4$   $10^{-2}$  M 15' sürede saptanmış ve klorofil a miktarı  $0,794 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $0,426 \text{ mgg}^{-1}$ 'a düşmüştür.  $\text{CuSO}_4$ 'a bakıldığında kontrole göre en büyük farklılık  $10^{-2}$  M 30' da olmuş ve klorofil a miktarı  $0,794 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $0,955 \text{ mgg}^{-1}$ 'a yükselmiştir.  $\text{CdSO}_4$  ağır metali uygulandığında en önemli değişiklik  $10^{-3}$  M 30 dakikasında saptanmış ve klorofil a miktarı kontrol grubuna göre  $0,794 \text{ mgg}^{-1}$ ' dan  $0,541 \text{ mgg}^{-1}$ ' a düşmüştür.  $\text{ZnSO}_4$  uygulamasında ise klorofil a da en büyük farklılık  $10^{-4}$  M 30' meydana gelmiş, klorofil a miktarı kontrole göre  $0,794 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $0,599 \text{ mgg}^{-1}$ 'a azalmıştır (Şekil 3.1).

*Bryum schleicheri*'de klorofil a değerlerinde  $\text{CuSO}_4$  uygulamasında kontrol grubuna göre  $10^{-2}$  M ve  $10^{-4}$  M 30' sürelerde istatistiksel açıdan önemlilik derecesinde ( $p < 0.05$ ) artış saptanırken,  $\text{CdSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 30' sürelerde,  $\text{ZnSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M, 15' ve  $10^{-4}$  M 30' sürelerde,  $\text{PbSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve 30' sürelerde kontrol grubuna göre istatistiksel açıdan önemlilik derecesinde ( $p < 0.05$ ) azalma olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 3.1).

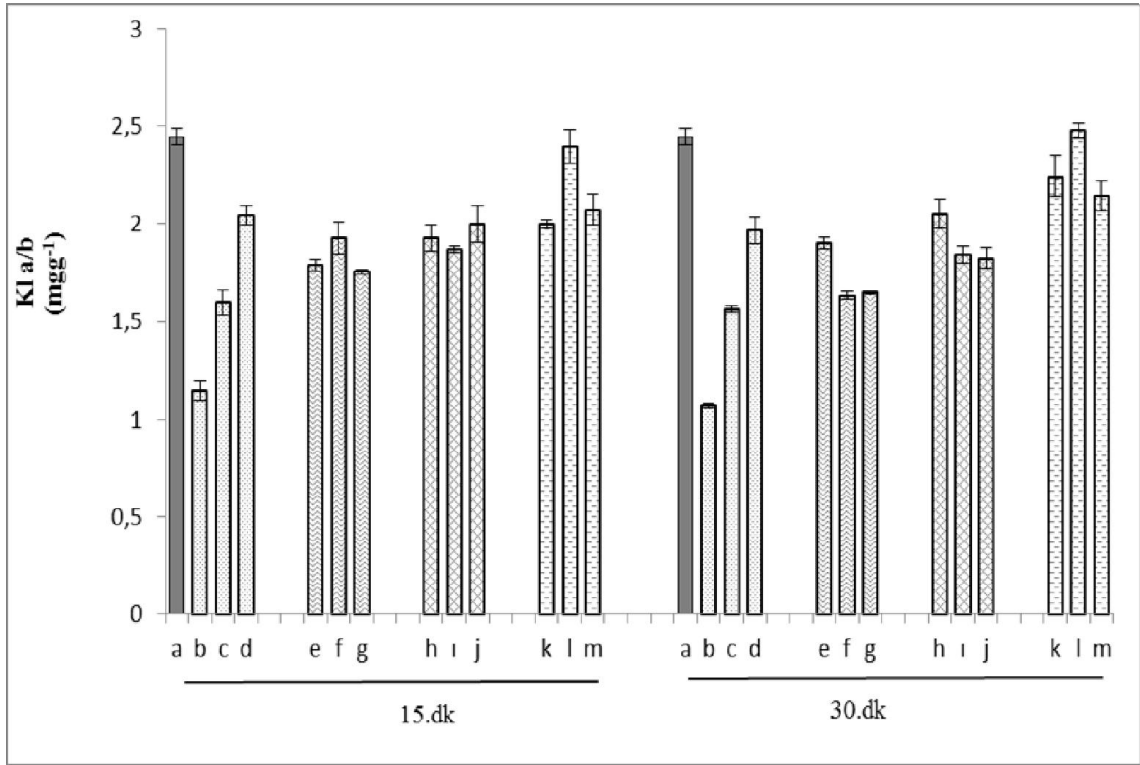


**Şekil 3.2.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Bryum schleicheri*'nin klorofil b üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f:  $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , i:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ .

*Bryum schleicheri* türünün klorofil b değerlerine bakıldığında  $\text{CuSO}_4$ 'da en büyük farklılık  $10^{-2}$  M 30' da olmuş ve kontrole göre  $0,308 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $0,858 \text{ mgg}^{-1}$ 'a artış belirlenmiştir. Aynı şekilde  $\text{CdSO}_4$  ve  $\text{ZnSO}_4$ 'da kontrole göre artış olmuş,  $\text{CdSO}_4$ 'da  $10^{-4}$  M 30' da  $0,308 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $0,435 \text{ mgg}^{-1}$ 'a,  $\text{ZnSO}_4$ 'da  $10^{-2}$  M 30' da  $0,308 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $0,421 \text{ mgg}^{-1}$ 'a arttığı belirlenmiştir.  $\text{PbSO}_4$  uygulamasına bakıldığında kontrole göre azalma olmuş, en çok azalma  $10^{-3}$  M 30' da  $0,308 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $0,182 \text{ mgg}^{-1}$ 'a gerçekleşmiştir (Şekil 3.2).

*Bryum schleicheri*'de klorofil b değerlerinde  $\text{CuSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve 30' sürelerde,  $\text{CdSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve  $10^{-4}$  M 30' sürelerde,  $\text{ZnSO}_4$  uygulamasında  $10^{-3}$  M 15' ve  $10^{-2}$  M ve  $10^{-3}$  M 30' sürelerde kontrol grubuna göre istatistiksel açıdan önemlilik derecesinde ( $p < 0.05$ ) artış tespit edilmiştir. Fakat  $\text{PbSO}_4$  uygulamasında kontrol grubuna göre  $10^{-2}$  M ve  $10^{-3}$  M 15' ve 30' sürelerde istatistiksel açıdan önemlilik derecesinde ( $p < 0.05$ ) azalma görülmüştür (Çizelge 3.1).

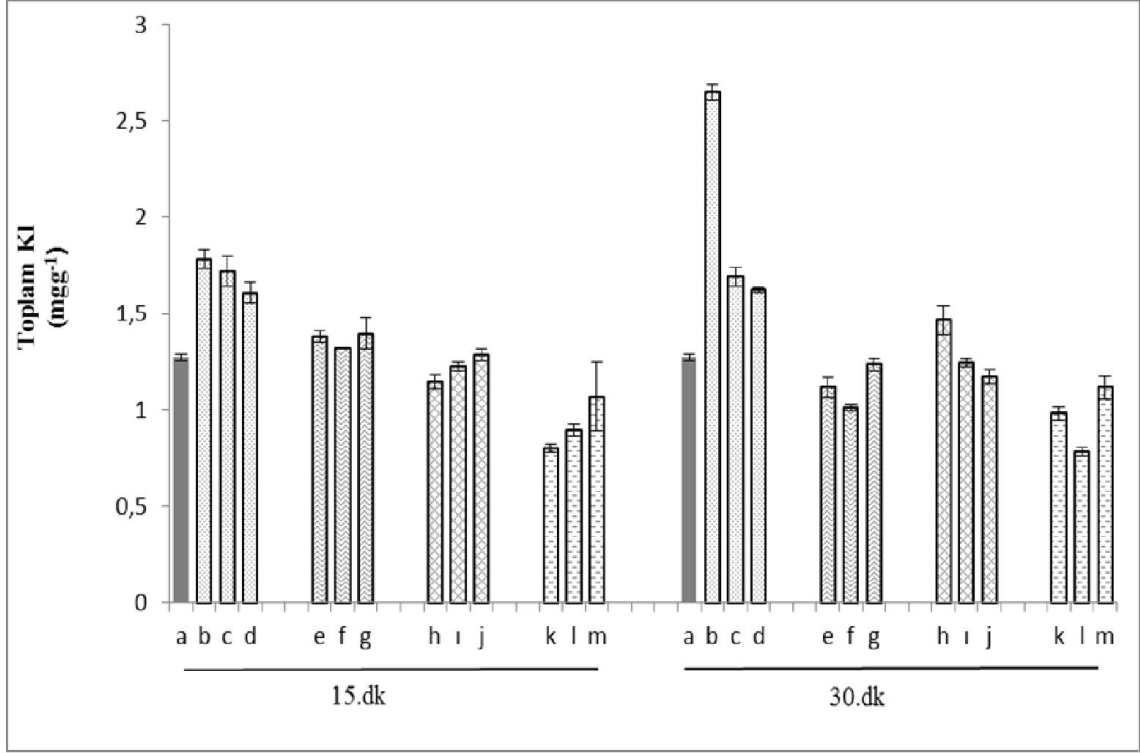




**Şekil 3.3.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Bryum schleicheri*'nin klorofil a/b üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b: 10<sup>-2</sup> M CuSO<sub>4</sub>, c: 10<sup>-3</sup> M CuSO<sub>4</sub>, d: 10<sup>-4</sup> M CuSO<sub>4</sub>, e: 10<sup>-2</sup> M CdSO<sub>4</sub>, f: 10<sup>-3</sup> M CdSO<sub>4</sub>, g: 10<sup>-4</sup> M CdSO<sub>4</sub>, h: 10<sup>-2</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, i: 10<sup>-3</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, j: 10<sup>-4</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, k: 10<sup>-2</sup> M PbSO<sub>4</sub>, l: 10<sup>-3</sup> M PbSO<sub>4</sub>, m: 10<sup>-4</sup> M PbSO<sub>4</sub>.

*Bryum schleicheri*'de klorofil a/b değerlerine bakıldığında genel olarak tüm metallerde ve sürelerde kontrol grubuna göre azalmalar olmuştur. CuSO<sub>4</sub>'da 10<sup>-2</sup> M 30' da klorofil a/b oranı 2,442 mgg<sup>-1</sup> dan 1,072 mgg<sup>-1</sup>'a düşmüş, CdSO<sub>4</sub>'da 10<sup>-3</sup> M 30' olmuş ve 2,442 mgg<sup>-1</sup> dan 1,635 mgg<sup>-1</sup>'a, ZnSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-4</sup> M 30' da klorofil a/b miktarı 2,442 mgg<sup>-1</sup> dan 1,825 mgg<sup>-1</sup>'a, PbSO<sub>4</sub> uygulamasında ise en çok azalma 10<sup>-2</sup> M 15' da olmuş ve klorofil a/b miktarının kontrol grubuna göre 2,442 mgg<sup>-1</sup> dan 1,999 mgg<sup>-1</sup>'a düştüğü saptanmıştır (Şekil 3.3).

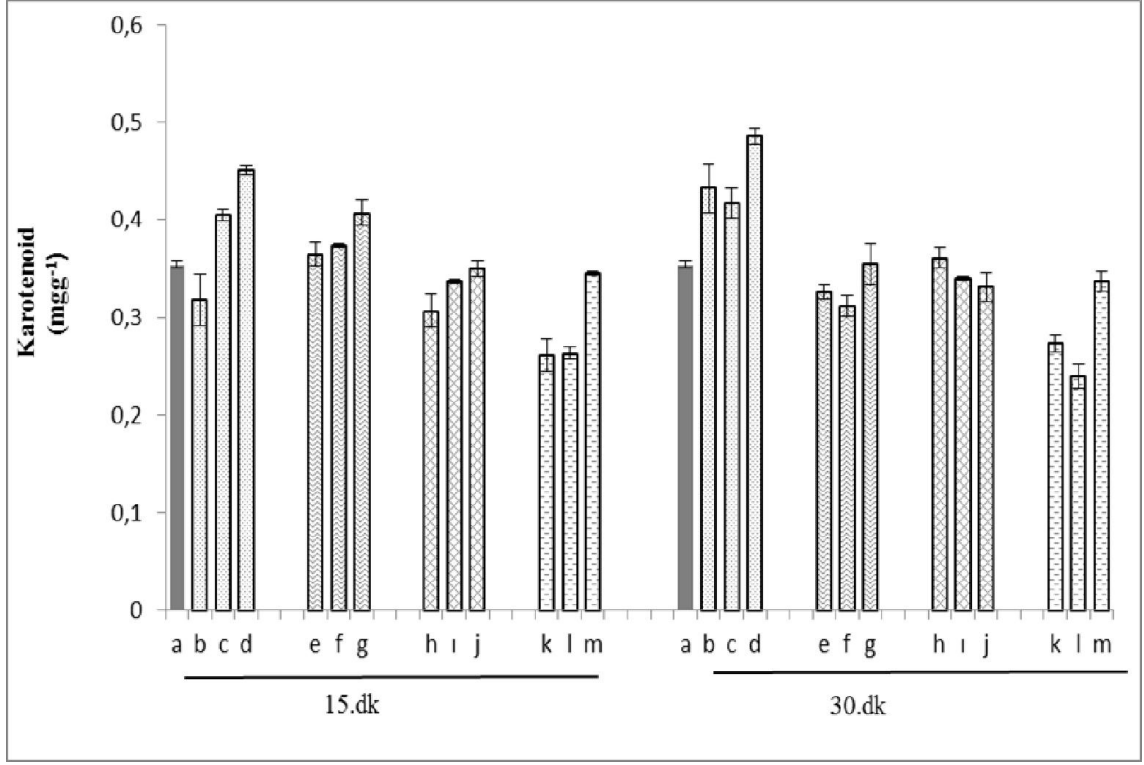
*Bryum schleicheri*'de klorofil a/b değerlerinde CuSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 15' ve 30' sürelerde, CdSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 15' ve 30' sürelerde, ZnSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 15' ve 30' sürelerde ve PbSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M, ve 10<sup>-4</sup> M 15' ve 10<sup>-4</sup> M 30' sürelerde kontrol grubuna göre istatistiksel açıdan önemlilik derecesinde (p<0.05) azalma saptanmıştır (Çizelge 3.1).



**Şekil 3.4.** Farklı konsatrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Bryum schleicheri*'nin toplam klorofil üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f:  $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , i:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ .

*Bryum schleicheri* örneğinin toplam klorofil değerlerine bakıldığında  $\text{CuSO}_4$  ve  $\text{ZnSO}_4$   $10^{-2}$  M 30 dakikasında kontrole göre artış meydana gelmiş ve  $\text{CuSO}_4$ 'te  $1,275 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $2,650 \text{ mgg}^{-1}$ 'a yükselmiş,  $\text{ZnSO}_4$  uygulamasına bakıldığında toplam klorofil miktarının  $1,275 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $1,469 \text{ mgg}^{-1}$ 'a arttığı tespit edilmiştir.  $\text{PbSO}_4$  ve  $\text{CdSO}_4$  uygulamalarında kontrole göre toplam klorofil miktarında azalma olup  $\text{PbSO}_4$   $1,275 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $0,786 \text{ mgg}^{-1}$ 'a,  $\text{CdSO}_4$  ağır metalinde ise toplam klorofil miktarı  $1,275 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $1,010 \text{ mgg}^{-1}$ 'a düşmüştür (Şekil 3.4).

*Bryum schleicheri*'de toplam klorofil değerlerinde  $\text{CuSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve 30' sürelerde ve  $\text{ZnSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M 30' da kontrol grubuna göre istatistiksel açıdan önemlilik derecesinde ( $p < 0.05$ ) artış olduğu saptanırken,  $\text{CdSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M ve  $10^{-3}$  M 30' sürelerde ve  $\text{PbSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve 30' sürelerde kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde ( $p < 0.05$ ) azalma olduğu görülmüştür (Çizelge 3.1).



**Şekil 3.5.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Bryum schleicheri*'nin karotenoid üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b: 10<sup>-2</sup> M CuSO<sub>4</sub>, c: 10<sup>-3</sup> M CuSO<sub>4</sub>, d: 10<sup>-4</sup> M CuSO<sub>4</sub>, e: 10<sup>-2</sup> M CdSO<sub>4</sub>, f: 10<sup>-3</sup> M CdSO<sub>4</sub>, g: 10<sup>-4</sup> M CdSO<sub>4</sub>, h: 10<sup>-2</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, i: 10<sup>-3</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, j: 10<sup>-4</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, k: 10<sup>-2</sup> M PbSO<sub>4</sub>, l: 10<sup>-3</sup> M PbSO<sub>4</sub>, m: 10<sup>-4</sup> M PbSO<sub>4</sub>.

*Bryum schleicheri*'nin CuSO<sub>4</sub> 10<sup>-4</sup> M 30 dakikasında karotenoid miktarı kontrol grubuna göre 0,354 mgg<sup>-1</sup> dan 0,485 mgg<sup>-1</sup>'a artış göstermiştir. Aynı şekilde CdSO<sub>4</sub> ağır metalinde de karotenoid değerinde artış olmuş ve 10<sup>-4</sup> M 30' da 0,354 mgg<sup>-1</sup> dan 0,407 mgg<sup>-1</sup>'a çıkmıştır. ZnSO<sub>4</sub> ve PbSO<sub>4</sub> uygulamalarına bakıldığında ise kontrole göre ZnSO<sub>4</sub> 0,354 mgg<sup>-1</sup> dan 0,307 mgg<sup>-1</sup>'a düşerken, PbSO<sub>4</sub> 10<sup>-3</sup> M 30 dakikasında 0,354 mgg<sup>-1</sup> dan 0,240 mgg<sup>-1</sup>'a düştüğü görülmüştür (Şekil 3.5).

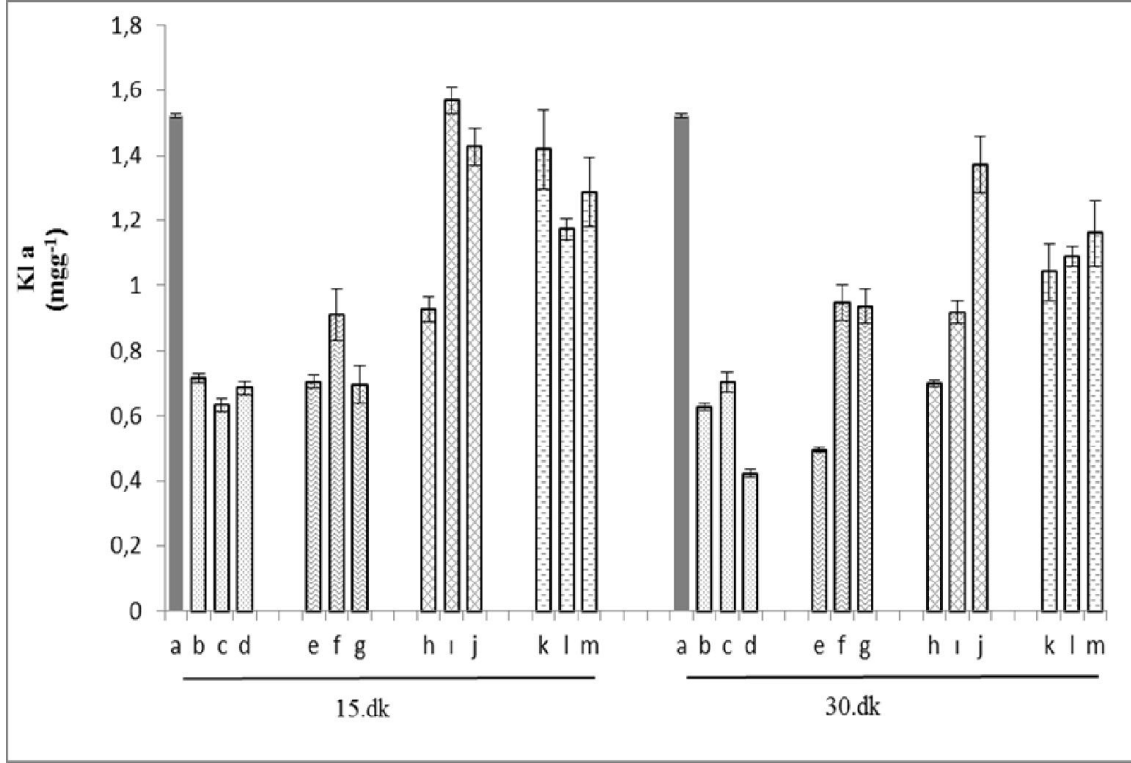
*Bryum schleicheri*'de karotenoid değerlerinde CuSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 15' ve 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 30' sürelerde kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde (p<0.05) artış meydana gelirken, CdSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-4</sup> M 15' süresinde, önemlilik derecesinde (p<0.05) artış, 10<sup>-3</sup> M 30' süresinde ise önemlilik derecesinde (p<0.05) azalma saptanmıştır. Bunun yanısıra, ZnSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M 15' da ve PbSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M ve 10<sup>-3</sup> M 15' ve 30' sürelerde kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde (p<0.05) azalış görülmüştür (Çizelge 3.1).

### 3.2 *Palustriella decipiens* Bitkisine Ait Fotosentetik Pigment Miktarları

**Çizelge 3.2.** Farklı konsantrasyon ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Palustriella decipiens* bitkisinde fotosentetik pigment miktarları üzerine etkileri ( $\pm$  SE).

Grup	Kla (mg ml <sup>-1</sup> )	Klb (mg ml <sup>-1</sup> )	Kla/b (mg ml <sup>-1</sup> )	Toplam Kl (mg ml <sup>-1</sup> )	Karotenoid (mg ml <sup>-1</sup> )
Kontrol	1.522 $\pm$ 0.007a	0.895 $\pm$ 0.013a	1.701 $\pm$ 0.018a	2.863 $\pm$ 0.017a	0.727 $\pm$ 0.004a
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 15 dk	0.715 $\pm$ 0.015b	0.346 $\pm$ 0.008b	2.280 $\pm$ 0.366a	1.325 $\pm$ 0.031b	0.268 $\pm$ 0.022b
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 30 dk	0.627 $\pm$ 0.011b	0.393 $\pm$ 0.037b	1.612 $\pm$ 0.180a	1.219 $\pm$ 0.023b	0.296 $\pm$ 0.007b
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 15 dk	0.632 $\pm$ 0.022b	0.214 $\pm$ 0.007b	3.288 $\pm$ 0.506b	1.105 $\pm$ 0.073b	0.195 $\pm$ 0.003b
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 30 dk	0.704 $\pm$ 0.030b	0.216 $\pm$ 0.012b	3.486 $\pm$ 0.373b	1.240 $\pm$ 0.045b	0.266 $\pm$ 0.018b
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 15 dk	0.687 $\pm$ 0.019b	0.130 $\pm$ 0.008b	5.132 $\pm$ 0.140b	1.175 $\pm$ 0.025b	0.232 $\pm$ 0.005b
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 30 dk	0.421 $\pm$ 0.012b	0.035 $\pm$ 0.004b	4.729 $\pm$ 0.030b	0.639 $\pm$ 0.023b	0.165 $\pm$ 0.019b
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 15 dk	0.705 $\pm$ 0.019b	0.405 $\pm$ 0.033b	1.836 $\pm$ 0.136a	1.426 $\pm$ 0.036b	0.359 $\pm$ 0.030b
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 30 dk	0.492 $\pm$ 0.008b	0.188 $\pm$ 0.007b	2.827 $\pm$ 0.414b	0.801 $\pm$ 0.025b	0.249 $\pm$ 0.018b
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 15 dk	0.910 $\pm$ 0.078b	0.474 $\pm$ 0.042b	1.944 $\pm$ 0.040a	1.299 $\pm$ 0.131b	0.385 $\pm$ 0.040b
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 30 dk	0.946 $\pm$ 0.054b	0.384 $\pm$ 0.016b	2.542 $\pm$ 0.181b	1.634 $\pm$ 0.095b	0.505 $\pm$ 0.012b
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 15 dk	0.696 $\pm$ 0.056b	0.347 $\pm$ 0.032b	1.944 $\pm$ 0.112a	1.546 $\pm$ 0.089b	0.456 $\pm$ 0.033b
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 30 dk	0.935 $\pm$ 0.053b	0.448 $\pm$ 0.022b	2.060 $\pm$ 0.049b	1.888 $\pm$ 0.098b	0.551 $\pm$ 0.032b
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 15dk	0.927 $\pm$ 0.039b	0.582 $\pm$ 0.026b	1.617 $\pm$ 0.045a	1.780 $\pm$ 0.084b	0.475 $\pm$ 0.021b
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 30dk	0.700 $\pm$ 0.010b	0.440 $\pm$ 0.015b	1.594 $\pm$ 0.075a	1.364 $\pm$ 0.019b	0.379 $\pm$ 0.013b
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 15dk	1.569 $\pm$ 0.040a	0.975 $\pm$ 0.015b	1.608 $\pm$ 0.042a	3.041 $\pm$ 0.054a	0.833 $\pm$ 0.009b
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 30dk	0.918 $\pm$ 0.035b	0.557 $\pm$ 0.015b	1.721 $\pm$ 0.034a	1.796 $\pm$ 0.054b	0.531 $\pm$ 0.009b
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 15dk	1.427 $\pm$ 0.057a	0.655 $\pm$ 0.038b	2.711 $\pm$ 0.059b	1.707 $\pm$ 0.267b	0.677 $\pm$ 0.036a
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 30dk	1.372 $\pm$ 0.087a	0.693 $\pm$ 0.037b	1.679 $\pm$ 0.076a	2.669 $\pm$ 0.161a	0.797 $\pm$ 0.027a
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 15dk	1.418 $\pm$ 0.123a	1.120 $\pm$ 0.002b	1.615 $\pm$ 0.164a	3.383 $\pm$ 0.303b	0.981 $\pm$ 0.029b
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 30dk	1.041 $\pm$ 0.086b	0.428 $\pm$ 0.029b	1.892 $\pm$ 0.125a	1.910 $\pm$ 0.164b	0.417 $\pm$ 0.024b
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 15dk	1.172 $\pm$ 0.033b	0.683 $\pm$ 0.012b	1.716 $\pm$ 0.021a	2.198 $\pm$ 0.055b	0.584 $\pm$ 0.003b
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 30dk	1.089 $\pm$ 0.031b	0.593 $\pm$ 0.037b	1.756 $\pm$ 0.114a	1.977 $\pm$ 0.119b	0.548 $\pm$ 0.013b
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 15dk	1.409 $\pm$ 0.109b	0.616 $\pm$ 0.027b	1.821 $\pm$ 0.139a	2.423 $\pm$ 0.123a	0.737 $\pm$ 0.048a
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 30dk	1.161 $\pm$ 0.100b	0.787 $\pm$ 0.021b	1.557 $\pm$ 0.085a	2.305 $\pm$ 0.159b	0.646 $\pm$ 0.038b

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

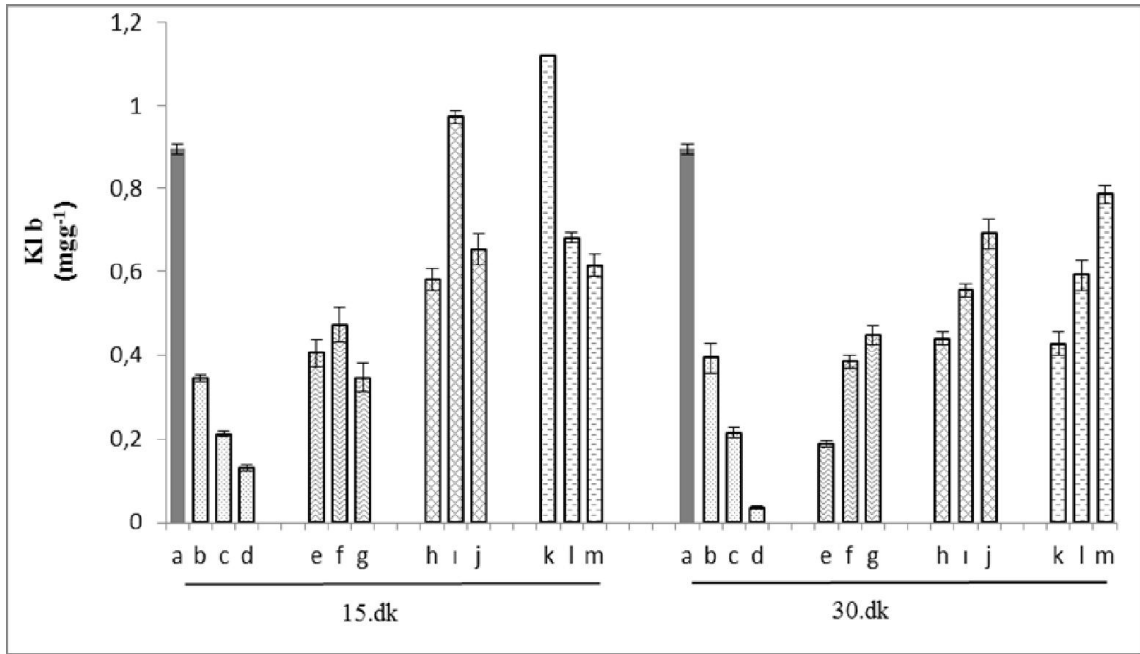


**Şekil 3.6.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Palustriella decipiens*'in klorofil a üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f:  $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , i:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ .

*Palustriella decipiens* türünün klorofil a değerlerine bakıldığında  $\text{ZnSO}_4$   $10^{-3}$  M 15 dakika sürede hariç diğer tüm konsantrasyonlarda ve sürelerde kontrol grubuna göre azalma olmuş,  $\text{CuSO}_4$ 'da en çok azalma  $10^{-4}$  M 30' da  $1,522 \text{ mg g}^{-1}$  dan  $0,421 \text{ mg g}^{-1}$ 'a,  $\text{CdSO}_4$ 'da  $10^{-2}$  M 30' da olmuş ve  $1,522 \text{ mg g}^{-1}$  dan  $0,492 \text{ mg g}^{-1}$ 'a ,  $\text{ZnSO}_4$   $10^{-2}$  M 30' uygulamasında  $1,522 \text{ mg g}^{-1}$  dan  $0,700 \text{ mg g}^{-1}$ 'a,  $\text{PbSO}_4$ 'da ise klorofil a miktarında kontrole göre en fazla azalma  $10^{-2}$  M 30' da olmuş ve klorofil a miktarı  $1,522 \text{ mg g}^{-1}$  dan  $1,041 \text{ mg g}^{-1}$ 'a düştüğü tespit edilmiştir (Şekil 3.6).

*Palustriella decipiens*'in klorofil a değerlerinde  $\text{CuSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve 30' sürelerde,  $\text{CdSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve 30' sürelerde,  $\text{ZnSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M ve  $10^{-3}$  M 30' sürelerde ve  $\text{PbSO}_4$  uygulamasında  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 30' sürelerde kontrol

grubuna göre istatistiksel olarak önemlilik derecesinde ( $p<0.05$ ) azalmalar olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.2).

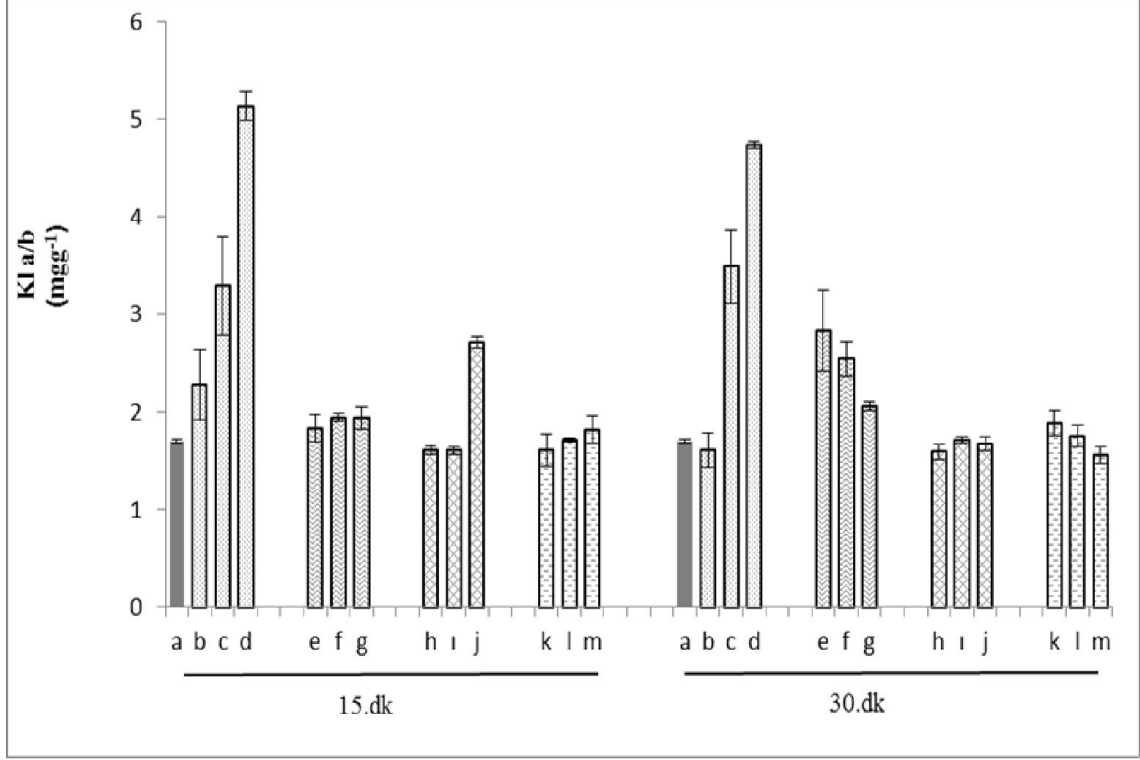


**Şekil 3.7.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Palustriella decipiens*'in klorofil b üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b: 10<sup>-2</sup> M CuSO<sub>4</sub>, c: 10<sup>-3</sup> M CuSO<sub>4</sub>, d: 10<sup>-4</sup> M CuSO<sub>4</sub>, e: 10<sup>-2</sup> M CdSO<sub>4</sub>, f: 10<sup>-3</sup> M CdSO<sub>4</sub>, g: 10<sup>-4</sup> M CdSO<sub>4</sub>, h: 10<sup>-2</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, i: 10<sup>-3</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, j: 10<sup>-4</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, k: 10<sup>-2</sup> M PbSO<sub>4</sub>, l: 10<sup>-3</sup> M PbSO<sub>4</sub>, m: 10<sup>-4</sup> M PbSO<sub>4</sub>.

*Palustriella decipiens*'in klorofil b değerlerine bakıldığında kontrole göre artma ve azalmalar meydana gelmiştir. CuSO<sub>4</sub>'ün inhibisyon etki ettiği görülmekte ve klorofil b değeri kontrole göre 10<sup>-4</sup> M 30' da 0,895 mgg<sup>-1</sup> dan 0,035 mgg<sup>-1</sup>'a, CdSO<sub>4</sub> uygulamasına bakıldığında klorofil b miktarı 10<sup>-4</sup> M 15dakika sürede 0,895 mgg<sup>-1</sup> dan 0,347 mgg<sup>-1</sup>'a düşmüştür. ZnSO<sub>4</sub>'da kontrole göre en çok azalma 10<sup>-2</sup> M 30 dakikada 0,895 mgg<sup>-1</sup> dan 0,440 mgg<sup>-1</sup>'a olmuştur, PbSO<sub>4</sub> uygulamasında ise 10<sup>-2</sup> M 30' da kontrole göre klorofil b miktarında yarıdan fazla azalma olmuş ve klorofil b değerinin 0,895 mgg<sup>-1</sup> dan 0,428 mgg<sup>-1</sup>'a düştüğü saptanmıştır (Şekil 3.7).

*Palustriella decipiens*'in klorofil b değerlerinde CuSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 15' ve 30' sürelerde CdSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 15' ve 30' sürelerde, ZnSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-4</sup> M 15' ve 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 30' sürelerde kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemlilik derecesinde ( $p<0.05$ ) azalma olduğu görülürken, 15'inci dakikanın 10<sup>-3</sup> M'ında ise kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde ( $p<0.05$ ) artış olduğu belirlenmiştir. Yine *Palustriella*

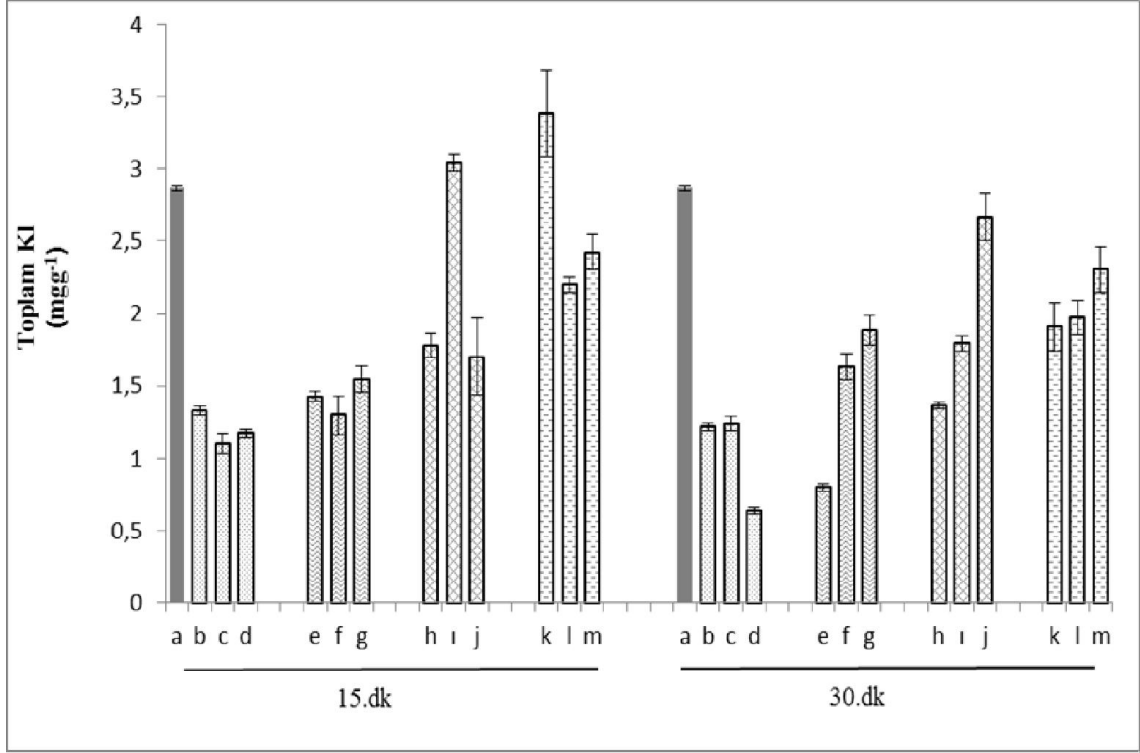
*decipiens*'in klorofil b değerlerinde PbSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M'in 15' kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde (p<0.05) artış olduğu, 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 15' ve 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 30' sürelerde ise kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemlilik derecesinde (p<0.05) azalma olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 3.2).



**Şekil 3.8.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Palustriella decipiens*'in klorofil a/b üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b: 10<sup>-2</sup> M CuSO<sub>4</sub>, c: 10<sup>-3</sup> M CuSO<sub>4</sub>, d: 10<sup>-4</sup> M CuSO<sub>4</sub>, e: 10<sup>-2</sup> M CdSO<sub>4</sub>, f: 10<sup>-3</sup> M CdSO<sub>4</sub>, g: 10<sup>-4</sup> M CdSO<sub>4</sub>, h: 10<sup>-2</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, i: 10<sup>-3</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, j: 10<sup>-4</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, k: 10<sup>-2</sup> M PbSO<sub>4</sub>, l: 10<sup>-3</sup> M PbSO<sub>4</sub>, m: 10<sup>-4</sup> M PbSO<sub>4</sub>.

*Palustriella decipiens*'in klorofil a/b oranına bakıldığında en büyük farklılık CuSO<sub>4</sub>'da olmuş ve klorofil a/b oranı kontrole göre 10<sup>-4</sup> M 15 dakika sürede 1,701 mg g<sup>-1</sup> dan 5,132 mg g<sup>-1</sup> artmıştır. CdSO<sub>4</sub> en çok farklılık 10<sup>-2</sup> M 30' olmuş ve klorofil a/ b oranı 1,701 mg g<sup>-1</sup> dan 2,827 mg g<sup>-1</sup> artmış, ZnSO<sub>4</sub> ise tek farklılık 10<sup>-4</sup> M 15' olmuş ve klorofil a/ b oranı kontrole göre 1,701 mg g<sup>-1</sup> dan 2,711 mg g<sup>-1</sup> yükselmiştir. PbSO<sub>4</sub> bakıldığında ise kontrole göre herhangi bir farklılık yoktur (Şekil 3.8).

*Palustriella decipiens*'in klorofil a/b değerlerinde CuSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 15' ve 30' sürelerde, CdSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 30' sürelerde, ZnSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-4</sup> M 15dakika sürede ve PbSO<sub>4</sub> uygulaması dışındaki tüm süre ve konsantrasyonlarda kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde (p<0.05) bir artış saptanmıştır (Çizelge 3.2).

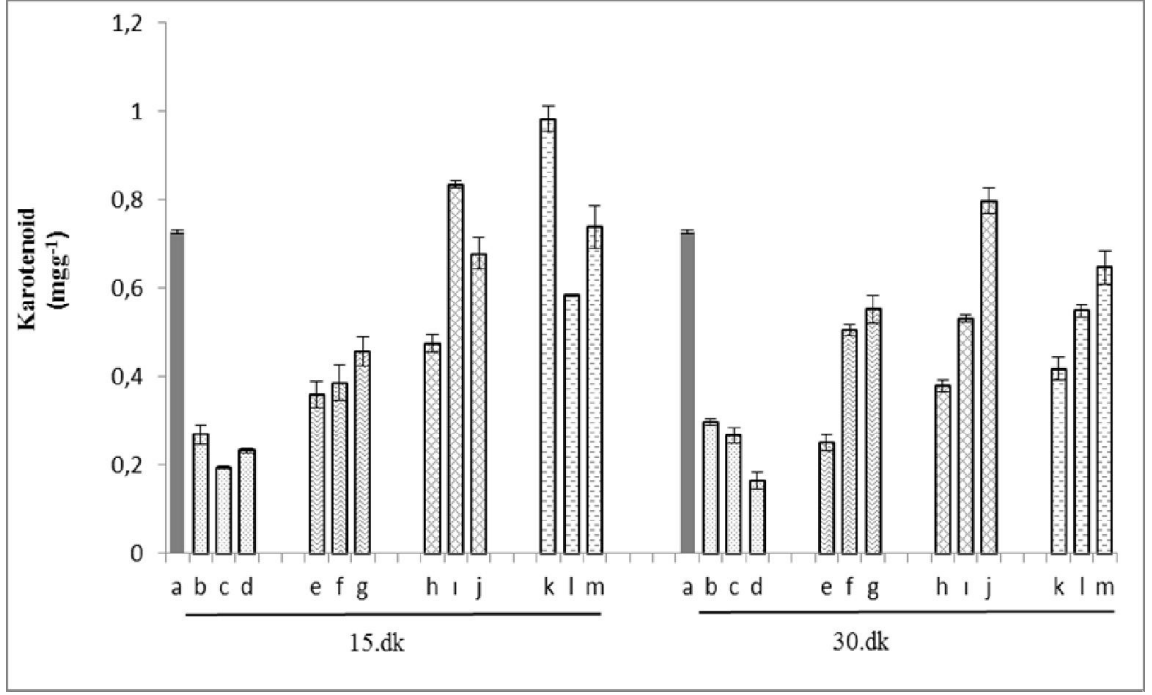


**Şekil 3.9.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Palustriella decipiens*'in klorofil a/b üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b: 10<sup>-2</sup> M CuSO<sub>4</sub>, c: 10<sup>-3</sup> M CuSO<sub>4</sub>, d: 10<sup>-4</sup> M CuSO<sub>4</sub>, e: 10<sup>-2</sup> M CdSO<sub>4</sub>, f: 10<sup>-3</sup> M CdSO<sub>4</sub>, g: 10<sup>-4</sup> M CdSO<sub>4</sub>, h: 10<sup>-2</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, i: 10<sup>-3</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, j: 10<sup>-4</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, k: 10<sup>-2</sup> M PbSO<sub>4</sub>, l: 10<sup>-3</sup> M PbSO<sub>4</sub>, m: 10<sup>-4</sup> M PbSO<sub>4</sub>.

*Palustriella decipiens* örneğinin toplam klorofil değerlerinde CuSO<sub>4</sub> ve CdSO<sub>4</sub> azalmalar olmuş ve kontrole göre sırasıyla CuSO<sub>4</sub>'da 10<sup>-4</sup> M 30' da 2,863 mgg<sup>-1</sup> dan 0,639 mgg<sup>-1</sup>'a, CdSO<sub>4</sub> 10<sup>-2</sup> M 30 dakika sürede 2,863 mgg<sup>-1</sup> dan 0,801 mgg<sup>-1</sup>'a azalış göstermiştir. ZnSO<sub>4</sub> ve PbSO<sub>4</sub> uygulamalarına bakıldığında toplam klorofil değerlerinde kontrole göre artma ve azalmalar olmuş ve ZnSO<sub>4</sub> en çok farklılık 10<sup>-2</sup> M 30' da 2,863 mgg<sup>-1</sup> dan 1,364 mgg<sup>-1</sup>'a, PbSO<sub>4</sub>'da aynı şekilde 10<sup>-2</sup> M 30' da 2,863 mgg<sup>-1</sup> dan 1,910 mgg<sup>-1</sup>'a düştüğü saptanmıştır (Şekil 3.9).

*Palustriella decipiens*'in toplam klorofil değerlerinde CuSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 15' ve 30' sürelerde, CdSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 15' ve 30' sürelerde, ZnSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 15' ve 10<sup>-2</sup> M ve 10<sup>-3</sup> M 30' sürelerde ve PbSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M 15' artış, 10<sup>-3</sup> M 15' ve 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 30' sürelerde kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde (p<0.05) azalış meydana gelmiştir (Çizelge 3.2).





**Şekil 3.10.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Palustriella decipiens*'in karotenoid üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b: 10<sup>-2</sup> M CuSO<sub>4</sub>, c: 10<sup>-3</sup> M CuSO<sub>4</sub>, d: 10<sup>-4</sup> M CuSO<sub>4</sub>, e: 10<sup>-2</sup> M CdSO<sub>4</sub>, f: 10<sup>-3</sup> M CdSO<sub>4</sub>, g: 10<sup>-4</sup> M CdSO<sub>4</sub>, h: 10<sup>-2</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, i: 10<sup>-3</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, j: 10<sup>-4</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, k: 10<sup>-2</sup> M PbSO<sub>4</sub>, l: 10<sup>-3</sup> M PbSO<sub>4</sub>, m: 10<sup>-4</sup> M PbSO<sub>4</sub>.

*Palustriella decipiens*'in karotenoid değerlerine bakıldığında CdSO<sub>4</sub>, ZnSO<sub>4</sub> ve PbSO<sub>4</sub> uygulamalarında 10<sup>-2</sup> M 30' da önemli azalmalar olmuş ve CdSO<sub>4</sub> grubunda kontrole göre karotenoid miktarları 0,727 mgg<sup>-1</sup> dan 0,249 mgg<sup>-1</sup>'a, ZnSO<sub>4</sub> grubunda 0,727 mgg<sup>-1</sup> dan 0,379 mgg<sup>-1</sup>'a ve PbSO<sub>4</sub> grubunda 0,727 mgg<sup>-1</sup> dan 0,417 mgg<sup>-1</sup>'a düştüğü belirlenmiştir. CuSO<sub>4</sub> ağırmetalinde ise 10<sup>-4</sup> M 30 dakikasında önemli azalma olmuş ve karotenoid miktarı 0,727 mgg<sup>-1</sup> dan 0,165 mgg<sup>-1</sup>'a düşmüştür (Şekil 3.10).

*Palustriella decipiens*'in karotenoid değerlerinde CuSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 15' ve 30' sürelerde ve CdSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 15' ve 30' sürelerde, kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde (p<0.05) azalma olduğu belirlenirken, ZnSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-3</sup> M 15' da önemlilik derecesinde (p<0.05) artış, 10<sup>-2</sup> M 15' ve 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M 30' sürelerde kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde (p<0.05) azalma olduğu görülmüştür. Yine *Palustriella decipiens*'in karotenoid değerlerinde PbSO<sub>4</sub> uygulamasında kontrol grubuna göre 10<sup>-2</sup> M 15' da önemlilik derecesinde (p<0.05) artış olurken, 10<sup>-3</sup> M 15' ve 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M 10<sup>-4</sup> M 30' sürelerde

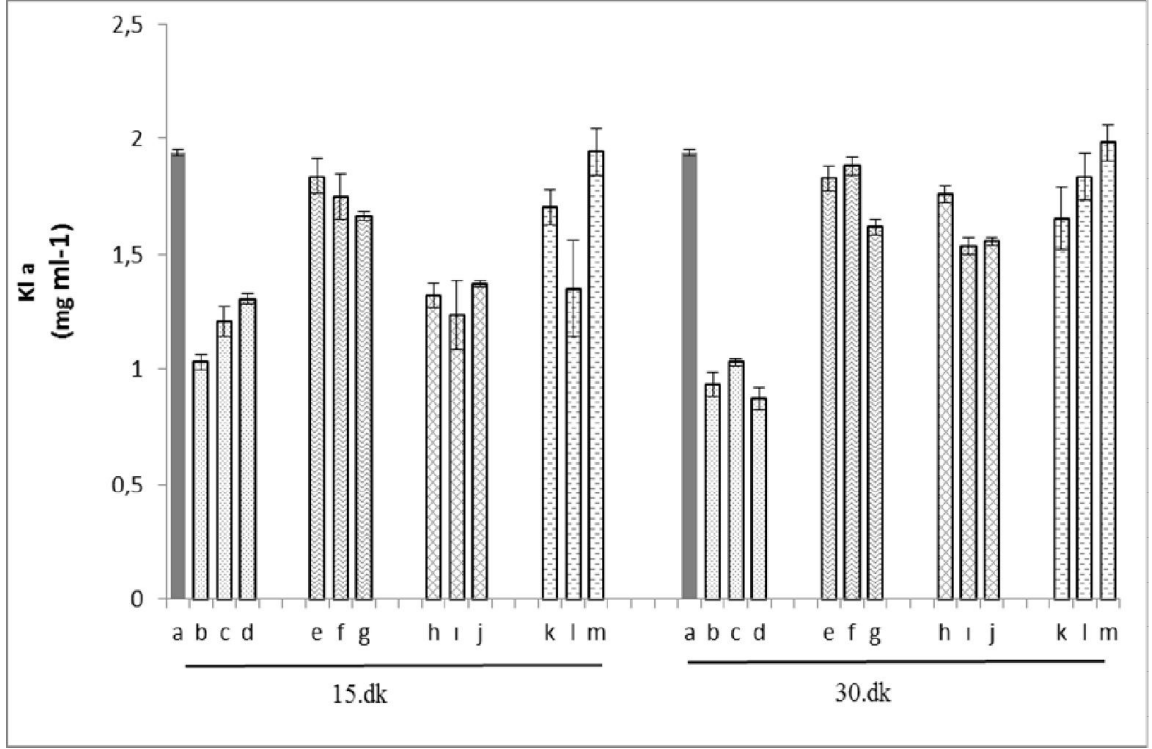
kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde ( $p<0.05$ ) azalma meydana gelmiştir (Çizelge 3.2).

### 3.3 *Palustriella falcata* Bitkisine Ait Fotosentetik Pigment Miktarları

**Çizelge 3.3.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Palustriella falcata* bitkisinde fotosentetik pigment miktarları üzerine etkileri ( $\pm$  SE).

Grup	KIa (mg ml <sup>-1</sup> )	KIb (mg ml <sup>-1</sup> )	KIa/b (mg ml <sup>-1</sup> )	Toplam KI (mg ml <sup>-1</sup> )	Karotenoid (mg ml <sup>-1</sup> )
Kontrol	1.937±0.014a	1.003±0.019a	1.931±0.023a	3.488±0.028a	0.921±0.005a
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 15 dk	1.030±0.036b	0.245±0.009b	3.842±0.088b	1.643±0.086b	0.349±0.020b
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 30 dk	0.935±0.051b	0.384±0.037b	2.637±0.101b	1.525±0.018b	0.394±0.026b
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 15 dk	1.209±0.065b	0.549±0.008b	2.332±0.140b	2.016±0.048b	0.547±0.027b
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 30 dk	1.031±0.017b	0.386±0.021b	2.676±0.113b	1.540±0.040b	0.495±0.016b
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 15 dk	1.307±0.021b	0.510±0.013b	2.565±0.030b	2.050±0.050b	0.562±0.001b
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 30 dk	0.873±0.049b	0.262±0.035b	3.504±0.021b	1.329±0.045b	0.345±0.017b
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 15 dk	1.837±0.076a	0.979±0.047a	1.921±0.077a	2.928±0.142b	0.763±0.048b
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 30 dk	1.829±0.055a	0.886±0.035a	1.892±0.054a	3.047±0.122a	0.809±0.027a
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 15 dk	1.750±0.097a	1.107±0.051a	1.819±0.070a	3.167±0.192a	0.828±0.060a
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 30 dk	1.882±0.039a	0.952±0.079a	1.975±0.191a	3.053±0.095a	0.897±0.008a
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 15 dk	1.666±0.020b	0.903±0.024a	1.845±0.041a	3.056±0.065a	0.801±0.009a
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 30 dk	1.618±0.035b	0.901±0.047a	1.859±0.071a	2.939±0.070b	0.837±0.023b
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 15dk	1.320±0.051b	0.637±0.017b	2.108±0.067a	2.010±0.081b	0.561±0.021b
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 30dk	1.758±0.036a	0.898±0.022a	1.957±0.083a	3.106±0.017a	0.843±0.038a
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 15dk	1.235±0.147b	0.610±0.068b	2.047±0.064a	2.611±0.220b	0.600±0.066b
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 30dk	1.534±0.036b	0.718±0.068b	2.117±0.046a	2.669±0.220b	0.764±0.066b
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 15dk	1.370±0.015b	0.618±0.025b	2.207±0.089b	2.367±0.111b	0.663±0.009b
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 30dk	1.555±0.016b	0.757±0.022b	2.053±0.041a	2.717±0.037b	0.760±0.026b
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 15dk	1.703±0.077a	0.689±0.029b	2.183±0.080b	2.552±0.128b	0.836±0.034b
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 30dk	1.654±0.133b	0.776±0.066b	2.133±0.011b	2.830±0.228b	0.819±0.080b
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 15dk	1.351±0.207b	0.874±0.105a	2.053±0.029b	3.125±0.395a	0.645±0.128a
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 30dk	1.836±0.100a	0.937±0.054a	1.985±0.045b	3.267±0.176a	0.794±0.041a
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 15dk	1.943±0.100a	0.962±0.040a	2.020±0.041b	3.640±0.031a	0.962±0.071a
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 30dk	1.984±0.079a	0.994±0.020a	1.996±0.103b	3.497±0.073a	0.984±0.030a

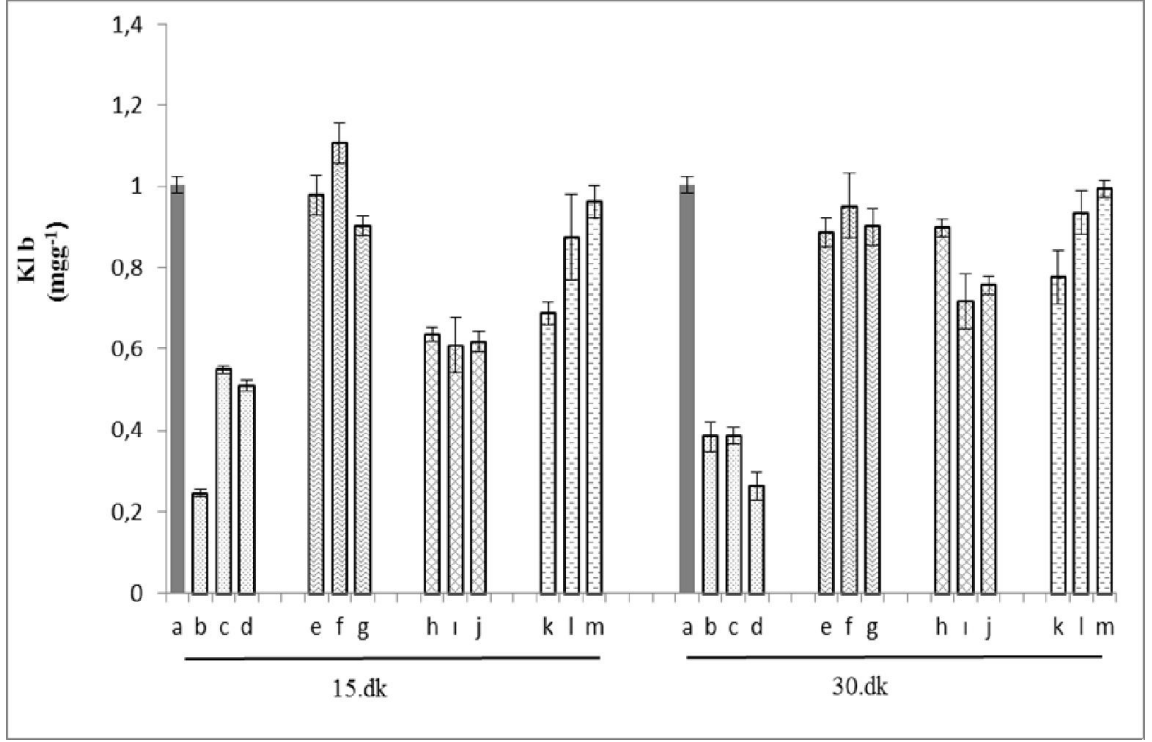
Sonuçlar istatistik olarak Tukey (SPSS 16.0 One-Way Anova ) testine göre  $p<0.05$  seviyesinde analiz edilmiştir. Her kolonda farklı harfler önemlilik derecesinde farklılığı göstermektedir.



**Şekil 3.11.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Palustriella falcata*'nin klorofil a üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b: 10<sup>-2</sup> M CuSO<sub>4</sub>, c: 10<sup>-3</sup> M CuSO<sub>4</sub>, d: 10<sup>-4</sup> M CuSO<sub>4</sub>, e: 10<sup>-2</sup> M CdSO<sub>4</sub>, f: 10<sup>-3</sup> M CdSO<sub>4</sub>, g: 10<sup>-4</sup> M CdSO<sub>4</sub>, h: 10<sup>-2</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, i: 10<sup>-3</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, j: 10<sup>-4</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, k: 10<sup>-2</sup> M PbSO<sub>4</sub>, l: 10<sup>-3</sup> M PbSO<sub>4</sub>, m: 10<sup>-4</sup> M PbSO<sub>4</sub>.

*Palustriella falcata*'nin klorofil a değerlerine bakıldığında CuSO<sub>4</sub> ve CdSO<sub>4</sub> 10<sup>-4</sup> M 30' sürelerde azalmalar olmuş ve CuSO<sub>4</sub> kontrole göre klorofil a değeri, 1,937 mgg<sup>-1</sup> dan 0,873 mgg<sup>-1</sup>'a, CdSO<sub>4</sub> 1,937 mgg<sup>-1</sup> dan 1,618 mgg<sup>-1</sup>'a düşmüş, ZnSO<sub>4</sub> ve PbSO<sub>4</sub> ise 10<sup>-3</sup> M 15' da kontrole grubuna göre klorofil a miktarları ZnSO<sub>4</sub> 1,937 mgg<sup>-1</sup> dan 1,235 mgg<sup>-1</sup>'a, PbSO<sub>4</sub> 1,937 mgg<sup>-1</sup> dan 1,351 mgg<sup>-1</sup>'a azalmıştır (Şekil 3.11).

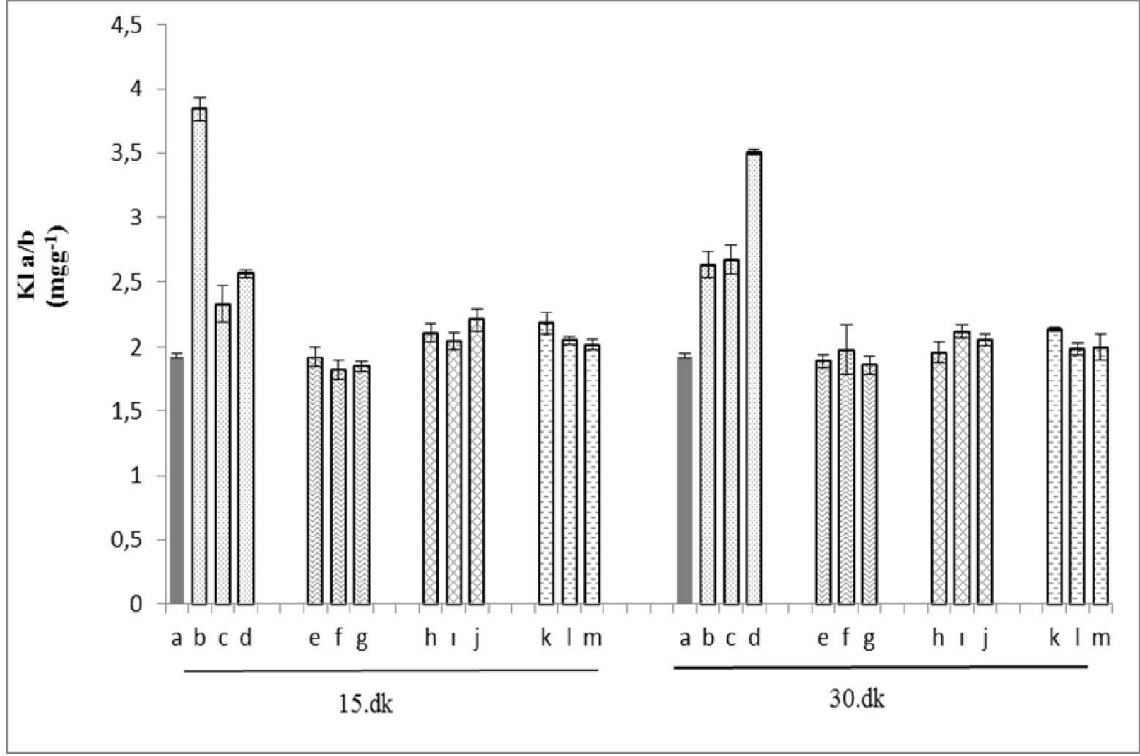
*Palustriella falcata*'nin klorofil a değerlerinde CuSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 15' ve 30' sürelerde, CdSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-4</sup> M 15' ve 30' sürelerde, ZnSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 15' ve 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 30' sürelerde ve PbSO<sub>4</sub> 10<sup>-3</sup> M 15' ve 10<sup>-2</sup> M 30' sürelerde kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde (p<0.05) azalış tespit edilmiştir. (Çizelge 3.3).



**Şekil 3.12.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Palustriella falcata*'nin klorofil b üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b: 10<sup>-2</sup> M CuSO<sub>4</sub>, c: 10<sup>-3</sup> M CuSO<sub>4</sub>, d: 10<sup>-4</sup> M CuSO<sub>4</sub>, e: 10<sup>-2</sup> M CdSO<sub>4</sub>, f: 10<sup>-3</sup> M CdSO<sub>4</sub>, g: 10<sup>-4</sup> M CdSO<sub>4</sub>, h: 10<sup>-2</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, i: 10<sup>-3</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, j: 10<sup>-4</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, k: 10<sup>-2</sup> M PbSO<sub>4</sub>, l: 10<sup>-3</sup> M PbSO<sub>4</sub>, m: 10<sup>-4</sup> M PbSO<sub>4</sub>.

*Palustriella falcata* örneğinin klorofil b değerlerine bakıldığında CdSO<sub>4</sub> uygulamasında önemli farklılıklar görülmezken, CuSO<sub>4</sub> ve PbSO<sub>4</sub> uygulamalarında 10<sup>-2</sup> M 15' da kontrole göre klorofil b değerlerinde CuSO<sub>4</sub> 1,003 mgg<sup>-1</sup> dan 0,245 mgg<sup>-1</sup>'a, PbSO<sub>4</sub> 1,003 mgg<sup>-1</sup> dan 0,689 mgg<sup>-1</sup>'a düşmüştür. ZnSO<sub>4</sub>'a bakıldığında ise 10<sup>-3</sup> M 15' da kontrole göre klorofil b miktarının 1,003 mgg<sup>-1</sup> dan 0,610 mgg<sup>-1</sup>'a azaldığı saptanmıştır (Şekil 3.12).

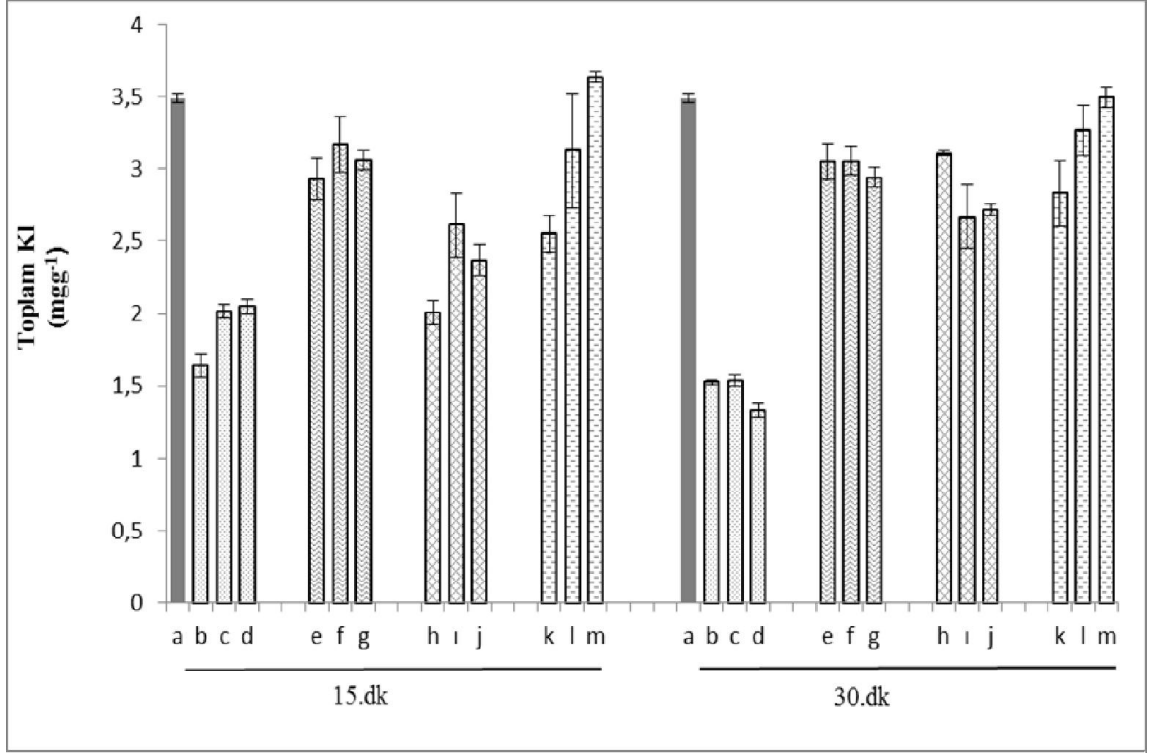
*Palustriella falcata*'nin klorofil b değerlerinde CuSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 15' ve 30' sürelerde, ZnSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 15' ve 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 30' sürelerde ve PbSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M 15' ve 30' sürelerde önemlilik derecesinde (p<0.05) bir azalış görülürken, CdSO<sub>4</sub> uygulamasında kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde (p<0.05) bir farklılık görülmemiştir (Çizelge 3.3).



**Şekil 3.13.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Palustriella falcata*'nin klorofil b üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f:  $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , i:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ .

*Palustriella falcata* türünün klorofil a/b değerlerine bakıldığında kontrole göre önemli farklılıklar  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{ZnSO}_4$  ve  $\text{PbSO}_4$  olmuştur.  $\text{CuSO}_4$  kontrole göre klorofil a/b miktarı  $10^{-2}$  M 15' da  $1,931 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $3,842 \text{ mgg}^{-1}$ 'a artış göstermiştir.  $\text{ZnSO}_4$  uygulamasında tek farklılık  $10^{-4}$  M 15' da olmuş ve klorofil a/b miktarı  $1,931 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $2,207 \text{ mgg}^{-1}$ 'a yükselmiş,  $\text{PbSO}_4$  grubuna bakıldığında ise kontrole göre klorofil a/b değeri  $10^{-2}$  M 15' sürede  $1,931 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $2,183 \text{ mgg}^{-1}$ 'a artış göstermiştir (Şekil 3.13).

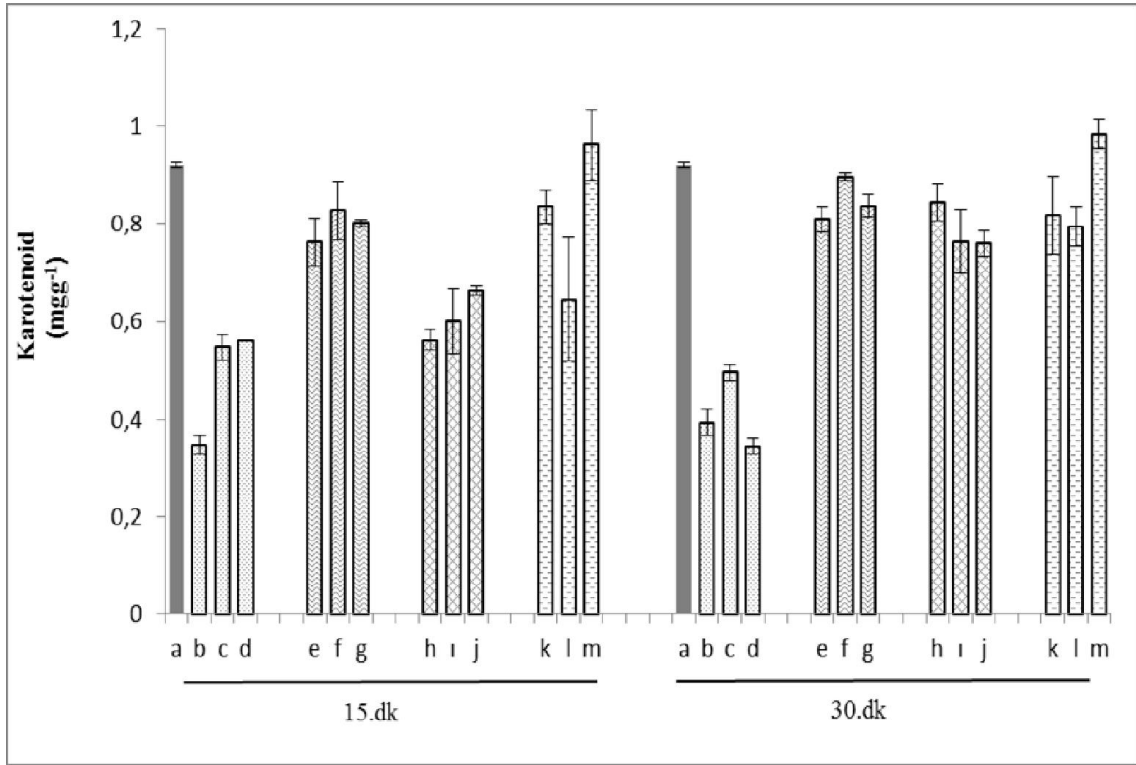
*Palustriella falcata*'nin klorofil a/b değerlerinde  $\text{CuSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve 30' sürelerde,  $\text{ZnSO}_4$  uygulamasında  $10^{-4}$  M 15' sürelerde ve  $\text{PbSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve 30' sürelerde önemlilik derecesinde ( $p < 0.05$ ) artış olduğu saptanmıştır. Fakat *Palustriella falcata*'nin klorofil a/b değerlerinde  $\text{CdSO}_4$  uygulamasında kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde ( $p < 0.05$ ) bir farklılık görülmemiştir ( Çizelge 3.3).



**Şekil 3.14.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Palustriella falcata*'nin toplam klorofil üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b: 10<sup>-2</sup> M CuSO<sub>4</sub>, c: 10<sup>-3</sup> M CuSO<sub>4</sub>, d: 10<sup>-4</sup> M CuSO<sub>4</sub>, e: 10<sup>-2</sup> M CdSO<sub>4</sub>, f: 10<sup>-3</sup> M CdSO<sub>4</sub>, g: 10<sup>-4</sup> M CdSO<sub>4</sub>, h: 10<sup>-2</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, i: 10<sup>-3</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, j: 10<sup>-4</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, k: 10<sup>-2</sup> M PbSO<sub>4</sub>, l: 10<sup>-3</sup> M PbSO<sub>4</sub>, m: 10<sup>-4</sup> M PbSO<sub>4</sub>.

*Palustriella falcata*'nin toplam klorofil değerlerine bakıldığında tüm konsantrasyon ve sürelerde kontrol grubuna göre azalmalar olmuş en çok inhibisyon etki gösteren metalin ise Cu olduğu saptanmıştır. CuSO<sub>4</sub> 10<sup>-4</sup> M 30' da 3,488 mgg<sup>-1</sup> dan 1,329 mgg<sup>-1</sup>'a düşmüştür. CdSO<sub>4</sub> ve ZnSO<sub>4</sub> uygulamalarında kontrol grubuna göre en fazla azalma 10<sup>-2</sup> M 15' da olmuş, CdSO<sub>4</sub>'da 3,488 mgg<sup>-1</sup> dan 2,928 mgg<sup>-1</sup>'a, ZnSO<sub>4</sub>'da 3,488 mgg<sup>-1</sup> dan 2,010 mgg<sup>-1</sup>'a düştüğü belirlenmiştir. Aynı şekilde PbSO<sub>4</sub>'da en fazla azalma 10<sup>-2</sup> M 15' da olmuş ve toplam klorofil miktarının 3,488 mgg<sup>-1</sup> dan 2,552 mgg<sup>-1</sup>'a düştüğü saptanmıştır (Şekil 3.14).

*Palustriella falcata*'nin toplam klorofil değerlerinde CuSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 15' ve 30' sürelerde, CdSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M 15' ve 10<sup>-4</sup> M 30' sürelerde, ZnSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 15' ve 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 30' sürelerde azalış olduğu saptanmıştır. Yine *Palustriella falcata*'nin toplam klorofil değerlerinde PbSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M, 15' ve 30' sürelerde kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde (p<0.05) azalış görülmüştür (Çizelge 3.3).



**Şekil 3.15.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Palustriella falcata*'nin karotenoid üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f:  $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , i:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ .

*Palustriella falcata* türünün karotenoid değerlerine bakıldığında en çok inhibisyon etki gösterenin yine  $\text{CuSO}_4$  olduğu görülmektedir.  $\text{CuSO}_4$   $10^{-4}$  M 30' uygulamasında karotenoid miktarının kontrole göre  $0,921 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $0,345 \text{ mgg}^{-1}$ 'a azaldığı tespit edilmiştir.  $\text{CdSO}_4$  ve  $\text{ZnSO}_4$  uygulamalarında kontrol grubuna göre en fazla azalma yine  $10^{-2}$  M 15 dakika sürede olmuş  $\text{CdSO}_4$   $0,921 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $0,763 \text{ mgg}^{-1}$ 'a,  $\text{ZnSO}_4$  'da  $0,921 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $0,561 \text{ mgg}^{-1}$ 'a düşmüştür.  $\text{PbSO}_4$  uygulamasına bakıldığında ise  $10^{-2}$  M 30'  $0,921 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $0,819 \text{ mgg}^{-1}$ 'a azalış olmuştur (Şekil 3.15).

*Palustriella falcata* 'nın karotenoid değerlerinde  $\text{CuSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve 30' sürelerde,  $\text{CdSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M 15' ve  $10^{-4}$  M 30' sürelerde,  $\text{ZnSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 30' sürelerde ve  $\text{PbSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M, 15' ve 30' sürelerde kontrol grubuna göre azalma olduğu görülmüştür (Çizelge 3.3)

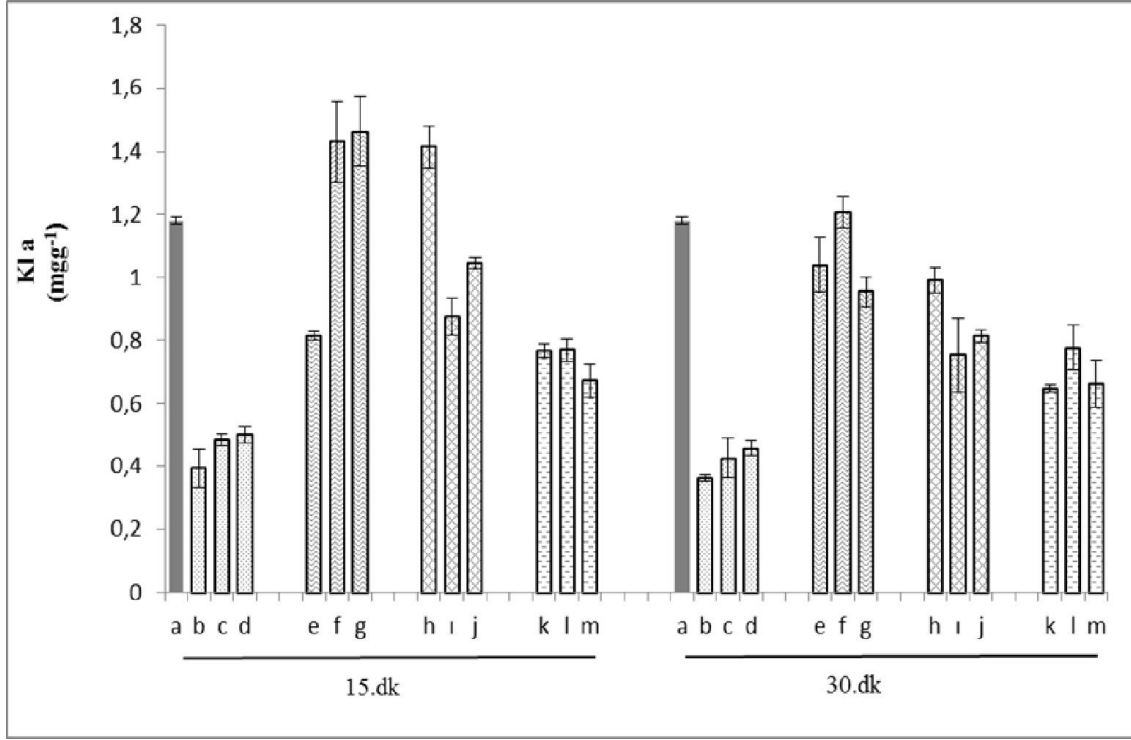
### 3.4 *Plagiomnium undulatum* Bitkisine Ait Fotosentetik Pigment Miktarları

**Çizelge 3.4.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Plagiomnium undulatum* bitkisinde fotosentetik pigment miktarları üzerine etkileri ( $\pm$  SE).

Grup	Kla (mg ml <sup>-1</sup> )	Klb (mg ml <sup>-1</sup> )	Kla/b (mg ml <sup>-1</sup> )	Toplam Kl (mg ml <sup>-1</sup> )	Karotenoid (mg ml <sup>-1</sup> )
Kontrol	1.181±0.012 a	0.730±0.018a	1.617±0.027a	2.296±0.024a	0.628±0.002a
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 15 dk	0.393±0.061b	0.118±0.046b	1.640±0.225a	0.840±0.084b	0.201±0.015b
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 30 dk	0.361±0.009b	0.116±0.004b	3.084±0.083b	0.586±0.052b	0.121±0.018b
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 15 dk	0.483±0.018b	0.164±0.018b	3.204±0.161b	0.728±0.006b	0.212±0.004b
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 30 dk	0.426±0.064b	0.155±0.003b	3.902±0.039b	0.584±0.072b	0.238±0.028b
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 15 dk	0.499±0.027b	0.172±0.007b	2.814±0.114b	0.688±0.061b	0.236±0.009b
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 30 dk	0.457±0.024b	0.090±0.009b	4.034±0.472b	0.628±0.051b	0.203±0.017b
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 15 dk	0.813±0.014b	0.543±0.035b	1.498±0.072a	1.674±0.056b	0.543±0.006a
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 30 dk	1.040±0.087a	0.924±0.064b	1.374±0.085a	2.113±0.195a	0.791±0.066b
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 15 dk	1.430±0.126b	0.838±0.095a	1.413±0.054a	2.505±0.281a	0.742±0.052b
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 30 dk	1.208±0.050a	0.837±0.044a	1.440±0.017a	2.152±0.134a	0.684±0.019a
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 15 dk	1.464±0.109b	0.851±0.075a	1.429±0.053a	2.522±0.220a	0.892±0.062b
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 30 dk	0.954±0.047b	0.750±0.050a	1.471±0.059a	2.263±0.117a	0.607±0.025a
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 15dk	1.414±0.067b	1.063±0.038b	1.338±0.023a	2.652±0.128a	0.839±0.028b
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 30dk	0.990±0.041b	0.699±0.020a	1.417±0.055a	2.055±0.067a	0.585±0.009a
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 15dk	0.876±0.059b	0.603±0.065a	1.379±0.099a	2.283±0.226a	0.725±0.069a
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 30dk	0.753±0.118b	0.714±0.065a	1.425±0.072a	1.585±0.226b	0.650±0.069a
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 15dk	1.046±0.017a	0.719±0.037a	1.455±0.053a	2.139±0.075a	0.692±0.020a
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 30dk	0.812±0.019b	0.573±0.038b	1.420±0.065a	1.713±0.069b	0.558±0.014a
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 15dk	0.768±0.022b	0.476±0.009b	1.546±0.074a	1.518±0.092b	0.497±0.024b
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 30dk	0.646±0.013b	0.436±0.008b	1.481±0.024a	1.323±0.023b	0.481±0.020b
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 15dk	0.770±0.035b	0.485±0.008b	1.588±0.084a	1.446±0.039b	0.481±0.001b
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 30dk	0.775±0.071b	0.394±0.021b	1.569±0.132a	1.324±0.206b	0.517±0.042b
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 15dk	0.673±0.052b	0.570±0.037b	1.373±0.095a	1.442±0.061b	0.452±0.026b
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 30dk	0.662±0.074b	0.598±0.048a	1.404±0.066a	1.346±0.134b	0.468±0.034b



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

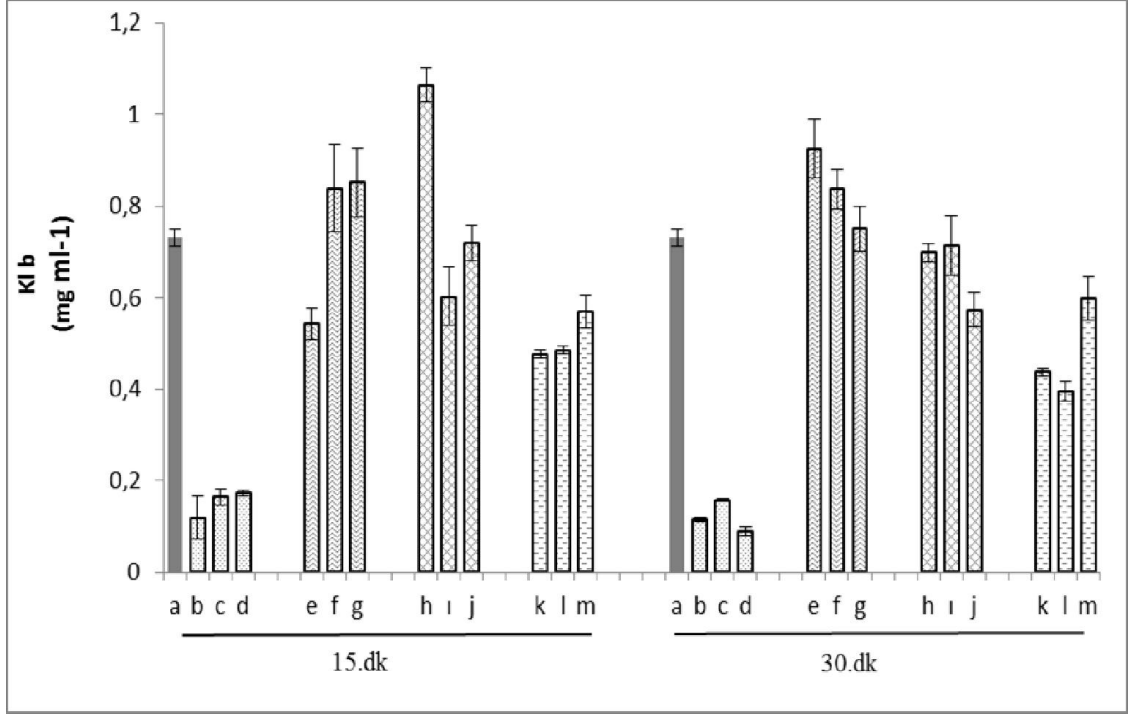


**Şekil 3.16.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Plagiomnium undulatum*'un klorofil a üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M CuSO<sub>4</sub>, c:  $10^{-3}$  M CuSO<sub>4</sub>, d:  $10^{-4}$  M CuSO<sub>4</sub>, e:  $10^{-2}$  M CdSO<sub>4</sub>, f:  $10^{-3}$  M CdSO<sub>4</sub>, g:  $10^{-4}$  M CdSO<sub>4</sub>, h:  $10^{-2}$  M ZnSO<sub>4</sub>, i:  $10^{-3}$  M ZnSO<sub>4</sub>, j:  $10^{-4}$  M ZnSO<sub>4</sub>, k:  $10^{-2}$  M PbSO<sub>4</sub>, l:  $10^{-3}$  M PbSO<sub>4</sub>, m:  $10^{-4}$  M PbSO<sub>4</sub>.

*Plagiomnium undulatum* türünün klorofil a değerlerine bakıldığında CdSO<sub>4</sub>  $10^{-4}$  M 15' ve ZnSO<sub>4</sub>  $10^{-2}$  M 15' uygulamaları hariç diğer tüm konsantrasyon ve sürelerde kontrole göre azalmalar olduğu saptanmış ve klorofil a miktarı CdSO<sub>4</sub>'da  $1,181 \text{ mg g}^{-1}$  dan  $1,464 \text{ mg g}^{-1}$ 'a, ZnSO<sub>4</sub>'da  $1,181 \text{ mg g}^{-1}$  dan  $1,414 \text{ mg g}^{-1}$ 'a yükselmiştir. CuSO<sub>4</sub> ve PbSO<sub>4</sub> uygulamalarında  $10^{-2}$  M 30' kontrol grubuna göre klorofil a değerlerinde azalmalar olmuş, CuSO<sub>4</sub>  $1,181 \text{ mg g}^{-1}$  dan  $0,361 \text{ mg g}^{-1}$ 'a, PbSO<sub>4</sub>'da  $1,181 \text{ mg g}^{-1}$  dan  $0,646 \text{ mg g}^{-1}$ 'a düşmüştür (Şekil 3.16).

*Plagiomnium undulatum*'un klorofil a değerlerinde CuSO<sub>4</sub> uygulamasında ve PbSO<sub>4</sub> uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve 30' sürelerde kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde ( $p < 0.05$ ) azalma saptanırken, CdSO<sub>4</sub> uygulamasında  $10^{-2}$  M ve  $10^{-4}$  M 30' sürelerde ve ZnSO<sub>4</sub> uygulamasında  $10^{-3}$  M 15' ve  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M,  $10^{-4}$  M 30' sürelerde kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde ( $p < 0.05$ ) azalma belirlenmiştir.

Yine *Plagiomnium undulatum* 'un klorofil a değerlerinde  $\text{CdSO}_4$  uygulamasında  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' sürelerde ve  $\text{ZnSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M 15' da kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde ( $p < 0.05$ ) artış meydana gelmiştir (Çizelge 3.4).

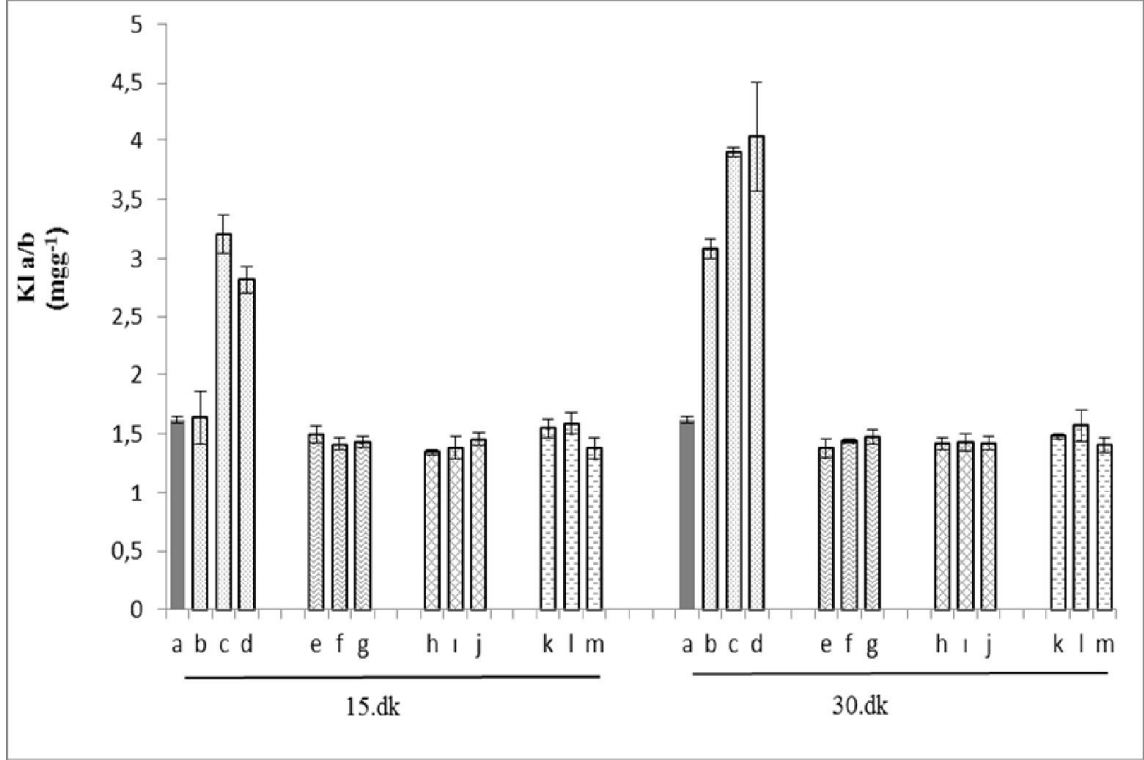


**Şekil 3.17.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Plagiomnium undulatum* 'un klorofil b üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f:  $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , i:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ .

*Plagiomnium undulatum* 'un klorofil b değerlerine bakıldığında yine en çok etkiyi  $\text{CuSO}_4$  göstermiş ve klorofil b miktarının kontrole göre  $10^{-4}$  M 30 dakika sürede  $0,730 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $0,090 \text{ mgg}^{-1}$ 'a azaldığı belirlenmiştir.  $\text{CdSO}_4$ ,  $\text{ZnSO}_4$  ve  $\text{PbSO}_4$  uygulamalarında da kontrole göre klorofil b miktarında farklılıklar meydana gelmiş,  $\text{CdSO}_4$   $10^{-2}$  M 15'da  $0,730 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $0,543 \text{ mgg}^{-1}$ 'a düşmüş,  $\text{ZnSO}_4$ 'da  $10^{-2}$  M 15' da  $0,730 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $1,063 \text{ mgg}^{-1}$ 'a artmış,  $\text{PbSO}_4$ 'da ise klorofil b miktarının kontrol grubuna göre  $10^{-3}$  M 30 dakika sürede  $0,730 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $0,394 \text{ mgg}^{-1}$ 'a azaldığı saptanmıştır (Şekil 3.17).

*Plagiomnium undulatum* 'un klorofil b değerlerinde  $\text{CuSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve 30' sürelerde kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde ( $p < 0.05$ ) azalma olduğu görülmüştür. Bununla birlikte *Plagiomnium undulatum* 'un klorofil b değerlerinde  $\text{CdSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M 15 dakika sürede,  $\text{ZnSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M 15 dakika sürede,  $\text{PbSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M 15 dakika sürede kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde ( $p < 0.05$ ) artış meydana gelmiştir.

<sup>4</sup> M 30 dakika sürede ve PbSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M, 10<sup>-4</sup> M 15' ve 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M 30' sürelerde de kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde (p<0.05) azalış meydana gelirken, CdSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M 30 dakika sürede ve ZnSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M 15' da kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde (p<0.05) artış tespit edilmiştir (Çizelge 3.4).

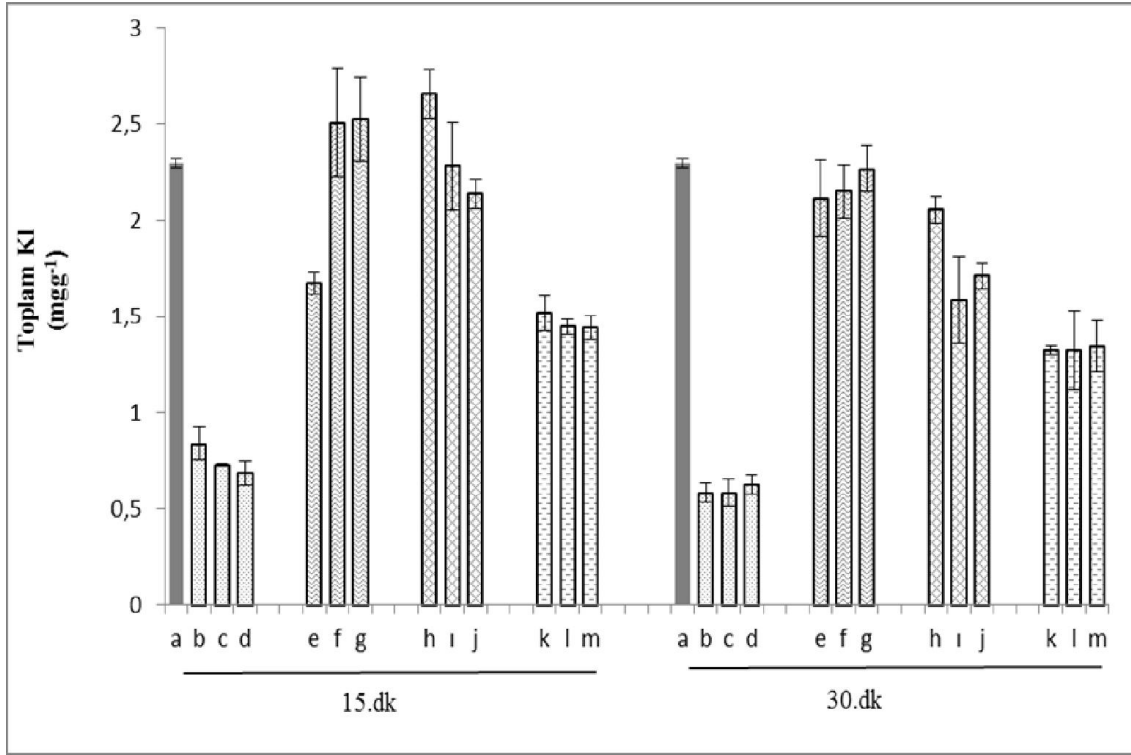


**Şekil 3.18.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Plagiomnium undulatum*'un klorofil a/b üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b: 10<sup>-2</sup> M CuSO<sub>4</sub>, c: 10<sup>-3</sup> M CuSO<sub>4</sub>, d: 10<sup>-4</sup> M CuSO<sub>4</sub>, e: 10<sup>-2</sup> M CdSO<sub>4</sub>, f: 10<sup>-3</sup> M CdSO<sub>4</sub>, g: 10<sup>-4</sup> M CdSO<sub>4</sub>, h: 10<sup>-2</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, i: 10<sup>-3</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, j: 10<sup>-4</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, k: 10<sup>-2</sup> M PbSO<sub>4</sub>, l: 10<sup>-3</sup> M PbSO<sub>4</sub>, m: 10<sup>-4</sup> M PbSO<sub>4</sub>.

*Plagiomnium undulatum* örneğinin klorofil a/b değerlerine bakıldığında tek farklılık CuSO<sub>4</sub> uygulamasında olmuş ve kontrol grubuna göre klorofil a/b miktarı 10<sup>-4</sup> M 30 dakika sürede 1,617 mg g<sup>-1</sup> dan 4,034 mg g<sup>-1</sup>'a yükselmiştir. Diğer uygulamaların tüm konsantrasyon ve sürelerinde klorofil a/b değerlerinde kontrol grubuna göre herhangi bir farklılık tespit edilmemiştir (Şekil 3.18).

*Plagiomnium undulatum*'un klorofil a/b değerlerinde CuSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-3</sup> M, 10<sup>-4</sup> M 15' ve 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 30' sürelerde kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde (p<0.05) artış tespit edilirken, *Plagiomnium undulatum*'un klorofil a/b değerlerinde CdSO<sub>4</sub> uygulamasında, ZnSO<sub>4</sub> uygulamasında ve PbSO<sub>4</sub> uygulamasında

kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde ( $p<0.05$ ) bir farklılık görülmemiştir (Çizelge 3.4).

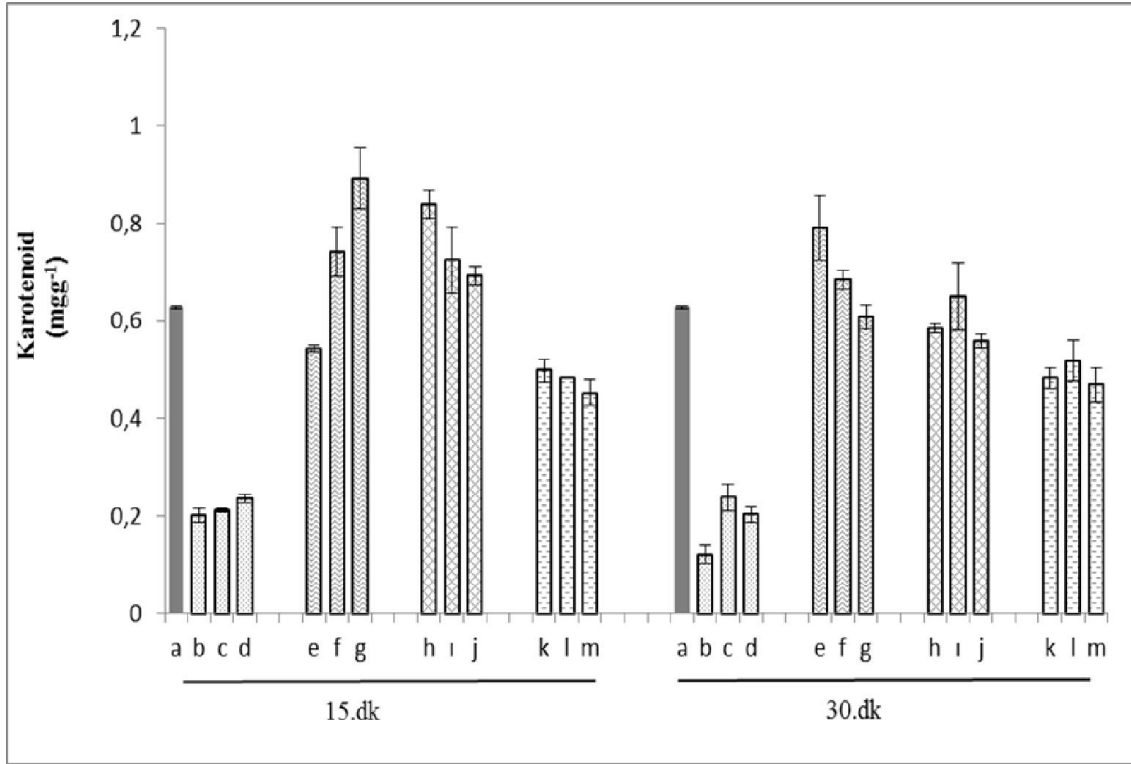


**Şekil 3.19.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Plagiomnium undulatum*'un toplam klorofil üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b: 10<sup>-2</sup> M CuSO<sub>4</sub>, c: 10<sup>-3</sup> M CuSO<sub>4</sub>, d: 10<sup>-4</sup> M CuSO<sub>4</sub>, e: 10<sup>-2</sup> M CdSO<sub>4</sub>, f: 10<sup>-3</sup> M CdSO<sub>4</sub>, g: 10<sup>-4</sup> M CdSO<sub>4</sub>, h: 10<sup>-2</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, i: 10<sup>-3</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, j: 10<sup>-4</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, k: 10<sup>-2</sup> M PbSO<sub>4</sub>, l: 10<sup>-3</sup> M PbSO<sub>4</sub>, m: 10<sup>-4</sup> M PbSO<sub>4</sub>.

*Plagiomnium undulatum*'un toplam klorofil değerlerine bakıldığında en fazla inhibisyon etkiyi CuSO<sub>4</sub> göstermiş, kontrole göre toplam klorofil miktarında 10<sup>-3</sup> M 30' da 2,296 mgg-1 dan 0,584 mgg-1'a azalmıştır. CdSO<sub>4</sub> 10<sup>-2</sup> M 15' uygulamasında toplam klorofil miktarının 2,296 mgg-1 dan 1,674 mgg-1'a, ZnSO<sub>4</sub> 10<sup>-3</sup> M 30' uygulamasında toplam klorofil miktarının 2,296 mgg-1 dan 1,585 mgg-1'a, PbSO<sub>4</sub> uygulamasında ise 10<sup>-2</sup> M 30 dakika sürede kontrole göre toplam klorofil miktarının 2,296 mgg-1 dan 1,323 mgg-1'a düştüğü belirlenmiştir (Şekil 3.19).

*Plagiomnium undulatum*'un toplam klorofil değerlerinde CuSO<sub>4</sub> uygulamasında ve PbSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M, 10<sup>-4</sup> M 15' ve 30' sürelerde kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemlilik derecesinde ( $p<0.05$ ) azalma olduğu görülmüştür. Yine *Plagiomnium undulatum*'un toplam klorofil değerlerinde CdSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M 15 dakika sürede ve ZnSO<sub>4</sub> uygulamasında ise 10<sup>-3</sup> M ve 10<sup>-4</sup> M 30 dakika

sürede kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde ( $p<0.05$ ) azalış meydana gelmiştir (Çizelge 3.4).



**Şekil 3.20.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Plagiomnium undulatum*'un karotenoid üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b: 10<sup>-2</sup> M CuSO<sub>4</sub>, c: 10<sup>-3</sup> M CuSO<sub>4</sub>, d: 10<sup>-4</sup> M CuSO<sub>4</sub>, e: 10<sup>-2</sup> M CdSO<sub>4</sub>, f: 10<sup>-3</sup> M CdSO<sub>4</sub>, g: 10<sup>-4</sup> M CdSO<sub>4</sub>, h: 10<sup>-2</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, i: 10<sup>-3</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, j: 10<sup>-4</sup> M ZnSO<sub>4</sub>, k: 10<sup>-2</sup> M PbSO<sub>4</sub>, l: 10<sup>-3</sup> M PbSO<sub>4</sub>, m: 10<sup>-4</sup> M PbSO<sub>4</sub>.

*Plagiomnium undulatum* örneğinin karotenoid değerlerine bakıldığında kontrole göre tek farklılık ZnSO<sub>4</sub> uygulamasında olmuş ve karotenoid miktarı 10<sup>-2</sup> M 15' da 0,628 mgg-1 dan 0,839 mgg-1'a yükselmiştir. CuSO<sub>4</sub> uygulamasında kontrole göre karotenoid miktarı 10<sup>-2</sup> M 30' da 0,628 mgg-1 dan 0,121 mgg-1'a azalmış, CdSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-4</sup> M 15' da karotenoid miktarı 0,628 mgg-1 dan 0,892 mgg-1'a yükselmiştir. PbSO<sub>4</sub> uygulamasına bakıldığında ise kontrole göre karotenoid miktarı 10<sup>-4</sup> M 15' da 0,628 mgg-1 dan 0,452 mgg-1'a düştüğü saptanmıştır (Şekil 3.20).

*Plagiomnium undulatum*'un karotenoid değerlerinde PbSO<sub>4</sub> uygulamasında ve CuSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-3</sup> M, 10<sup>-4</sup> M 15' ve 30' sürelerde kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde ( $p<0.05$ ) azalma saptanırken, *Plagiomnium undulatum*'un karotenoid değerlerinde CdSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-3</sup> M, 10<sup>-4</sup> M 15' ve 10<sup>-2</sup> M 30'

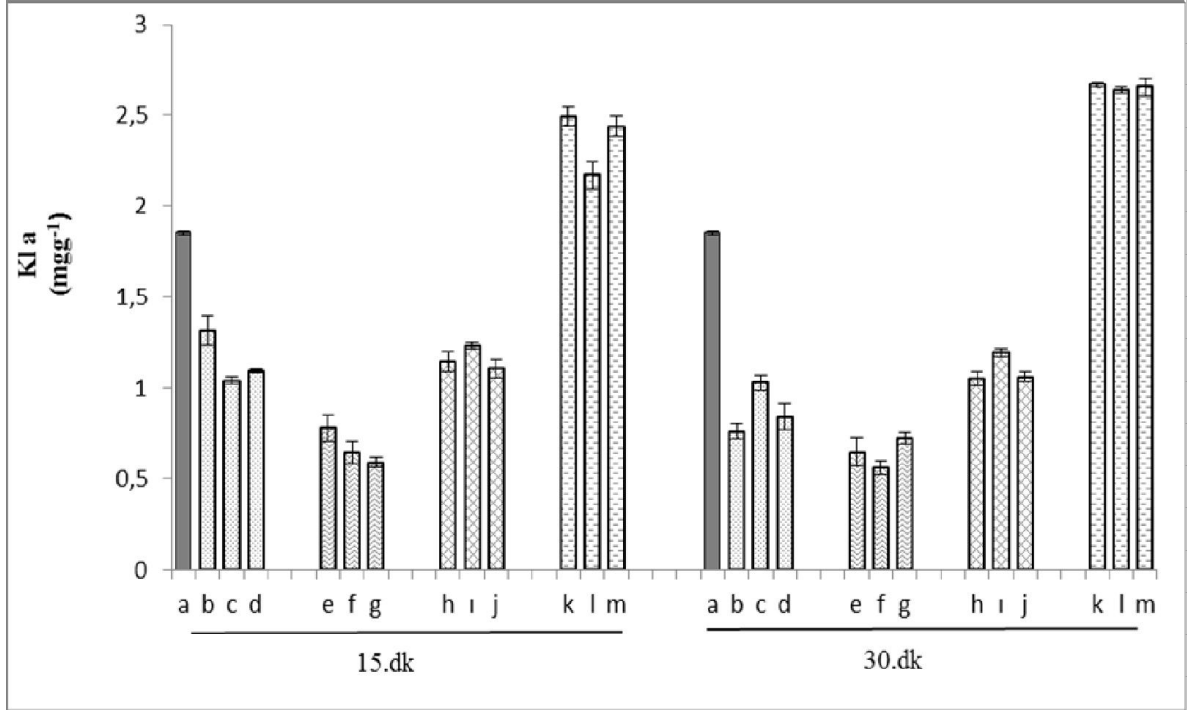
sürelerde ve ZnSO<sub>4</sub> uygulamasında 10<sup>-2</sup> M 15' da sürelerde kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde (p<0.05) artış olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.4).

### 3.5 *Cinclidotus pachylomoides* Bitkisine Ait Fotosentetik Pigment Miktarları

**Çizelge 3.5** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Cinclidotus pachylomoides* bitkisinde fotosentetik pigment miktarları üzerine etkileri (± SE).

Grup	Kla (mg ml <sup>-1</sup> )	Klb (mg ml <sup>-1</sup> )	Kla/b (mg ml <sup>-1</sup> )	Toplam Kl (mg ml <sup>-1</sup> )	Karotenoid (mg ml <sup>-1</sup> )
Kontrol	1.852±0.011a	0.791±0.016a	2.342±0.047a	3.051±0.034a	1.205±0.003a
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 15 dk	1.316±0.079b	0.614±0.022b	2.140±0.052a	2.188±0.103b	0.792±0.047b
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 30 dk	0.760±0.042b	0.351±0.027b	2.171±0.060a	1.262±0.058b	0.541±0.030b
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 15 dk	1.043±0.019b	0.425±0.024b	2.554±0.048a	1.650±0.006b	0.720±0.012b
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 30 dk	1.030±0.044b	0.464±0.019b	2.220±0.011a	1.673±0.066b	0.705±0.018b
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 15 dk	1.098±0.010b	0.465±0.009b	2.360±0.047a	1.742±0.023b	0.727±0.023b
CuSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 30 dk	0.840±0.074b	0.336±0.020b	2.506±0.075a	1.321±0.131b	0.616±0.054b
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 15 dk	0.780±0.072b	0.405±0.026b	2.355±0.094a	1.532±0.120b	0.696±0.041b
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 30 dk	0.648±0.079b	0.185±0.020b	3.501±0.048b	0.937±0.109b	0.501±0.057b
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 15 dk	0.645±0.059b	0.197±0.027b	3.050±0.106b	0.951±0.095b	0.505±0.034b
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 30 dk	0.562±0.037b	0.128±0.011b	4.254±0.097b	0.775±0.046b	0.451±0.008b
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 15 dk	0.591±0.026b	0.162±0.005b	3.757±0.091b	0.843±0.031b	0.463±0.019b
CdSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 30 dk	0.723±0.034b	0.260±0.002b	3.431±0.090b	1.062±0.061b	0.553±0.027b
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 15dk	1.147±0.055b	0.603±0.017b	2.150±0.089b	1.846±0.078b	0.843±0.037b
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 30dk	1.056±0.040b	0.409±0.012b	2.192±0.062a	1.752±0.084b	0.707±0.030b
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 15dk	1.230±0.015b	0.565±0.018b	2.176±0.096a	2.028±0.014b	0.843±0.026b
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 30dk	1.193±0.021b	0.539±0.018b	2.162±0.093a	1.902±0.014b	0.772±0.026b
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 15dk	1.107±0.048b	0.472±0.002b	2.346±0.095a	1.969±0.095b	0.763±0.023b
ZnSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 30dk	1.063±0.030b	0.449±0.031b	2.280±0.035a	1.668±0.120b	0.744±0.025b
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 15dk	2.490±0.052b	1.293±0.022b	1.926±0.027b	4.470±0.074b	1.479±0.008b
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-2</sup> 30dk	2.666±0.013b	1.344±0.016 b	1.983±0.029b	4.741±0.018b	1.565±0.038b
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 15dk	2.174±0.077b	0.989±0.041b	2.200±0.025a	3.644±0.139b	1.338±0.049b
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-3</sup> 30dk	2.634±0.016b	1.303±0.015b	2.079±0.090b	4.548±0.106b	1.569±0.003b
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 15dk	2.439±0.054b	1.290±0.028b	2.017±0.093b	4.322±0.062b	1.450±0.035b
PbSO <sub>4</sub> 10 <sup>-4</sup> 30dk	2.652±0.052b	1.382±0.052b	1.982±0.114b	4.379±0.142b	1.553±0.047b

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

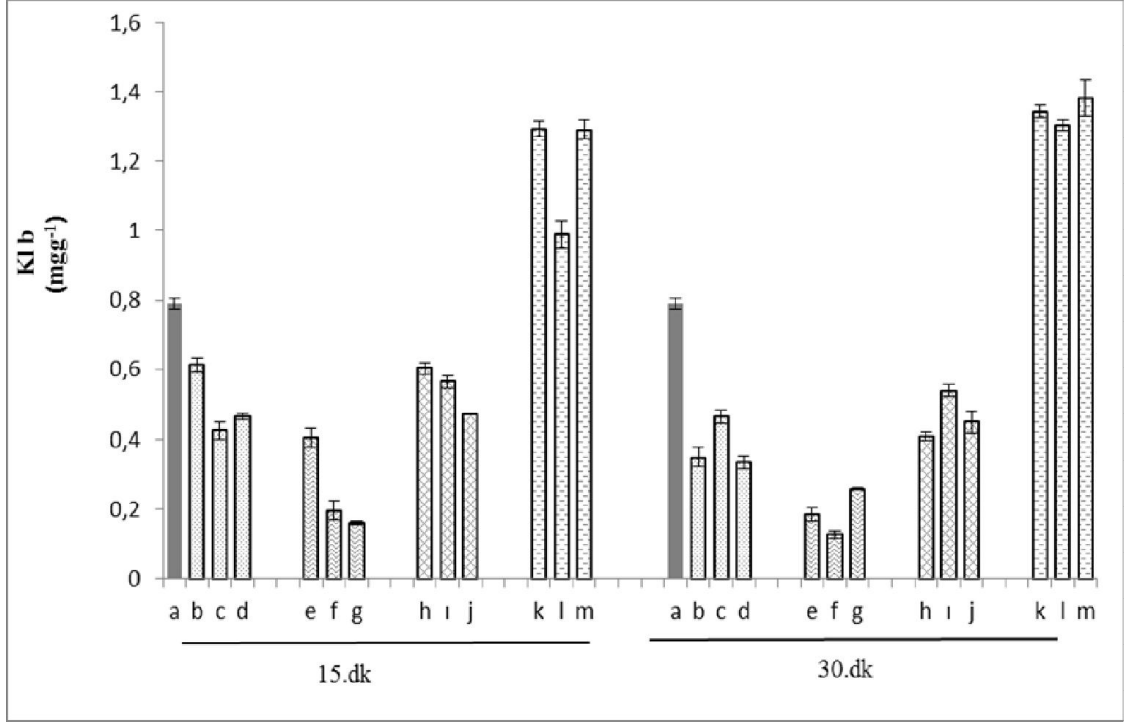


**Şekil 3.21.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Cinclidotus pachylomoides*'in klorofil a üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f:  $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , i:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ .

*Cinclidotus pachylomoides*'in klorofil a değerlerine bakıldığında  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{CdSO}_4$  ve  $\text{ZnSO}_4$  uygulamalarında kontrole göre klorofil a miktarında azalma olurken,  $\text{PbSO}_4$  uygulamasında artış olmuştur.  $\text{CuSO}_4$  ve  $\text{ZnSO}_4$  da en çok azalma  $10^{-2}$  M 30 dakika sürede olmuş ve kontrole göre klorofil a miktarının  $\text{CuSO}_4$ 'da  $1,852 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $0,760 \text{ mgg}^{-1}$ 'a,  $\text{ZnSO}_4$ 'da  $1,852 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $1,056 \text{ mgg}^{-1}$ 'a azaldığı saptanmıştır.  $\text{CdSO}_4$ 'da kontrole göre klorofil a miktarı  $10^{-4}$  M 15' da  $1,852 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $0,591 \text{ mgg}^{-1}$ 'a düşmüştür.  $\text{PbSO}_4$  uygulamasına bakıldığında tüm konsantrasyon ve sürelerde artış meydana gelmiş, klorofil a miktarının  $10^{-2}$  M 30' da  $1,852 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $2,666 \text{ mgg}^{-1}$ 'a yükseldiği görülmüştür (Şekil 3.21).

*Cinclidotus pachylomoides*'in klorofil a değerlerinde  $\text{CuSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve 30' sürelerde,  $\text{CdSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve 30' sürelerde ve  $\text{ZnSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve 30' sürelerde

kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemlilik derecesinde ( $p<0.05$ ) azalma olmuştur. Bununla beraber *Cinclidotus pachylomoides*'in klorofil a değerlerinde  $PbSO_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve 30' sürelerde kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde ( $p<0.05$ ) artış olduğu görülmüştür(Çizelge 3.5).



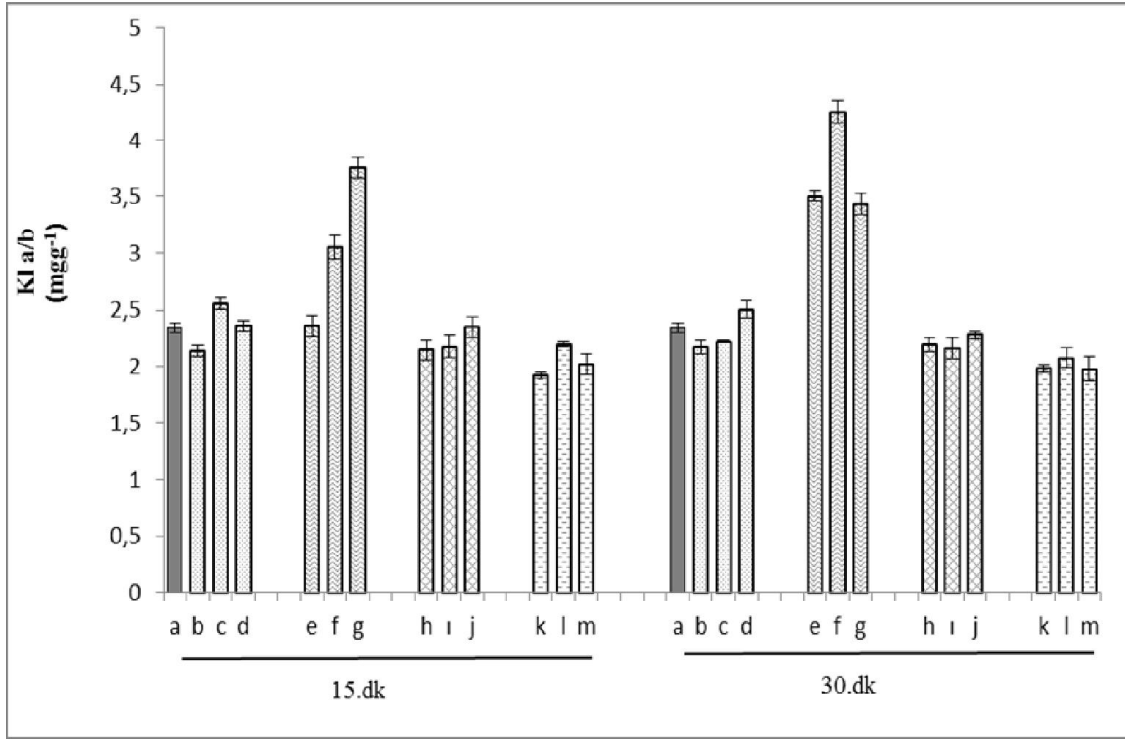
**Şekil 3.22.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Cinclidotus pachylomoides*'in klorofil b üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M CuSO<sub>4</sub>, c:  $10^{-3}$  M CuSO<sub>4</sub>, d:  $10^{-4}$  M CuSO<sub>4</sub>, e:  $10^{-2}$  M CdSO<sub>4</sub>, f:  $10^{-3}$  M CdSO<sub>4</sub>, g:  $10^{-4}$  M CdSO<sub>4</sub>, h:  $10^{-2}$  M ZnSO<sub>4</sub>, i:  $10^{-3}$  M ZnSO<sub>4</sub>, j:  $10^{-4}$  M ZnSO<sub>4</sub>, k:  $10^{-2}$  M PbSO<sub>4</sub>, l:  $10^{-3}$  M PbSO<sub>4</sub>, m:  $10^{-4}$  M PbSO<sub>4</sub>.

*Cinclidotus pachylomoides* örneğinin klorofil b değerlerine bakıldığında klorofil a değerlerinde olduğu gibi CuSO<sub>4</sub>, CdSO<sub>4</sub> ve ZnSO<sub>4</sub> uygulamalarında kontrole göre tüm konsantrasyon ve sürelerde azalma olmuştur. Klorofil b miktarı kontrole göre CuSO<sub>4</sub>'da  $10^{-4}$  M 30 dakika sürede  $0,791 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $0,336 \text{ mgg}^{-1}$ 'a, CdSO<sub>4</sub>'da  $10^{-3}$  M 30' da  $0,791 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $0,128 \text{ mgg}^{-1}$ 'a , ZnSO<sub>4</sub>'da  $10^{-2}$  M 30' da  $0,791 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $0,409 \text{ mgg}^{-1}$ 'a düşmüştür. PbSO<sub>4</sub> uygulamasında diğer ağır metal konsantrasyonlarından farklı olarak  $10^{-4}$  M 30' da  $0,791 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $1,382 \text{ mgg}^{-1}$ 'a arttığı görülmüştür (Şekil 3.22).

*Cinclidotus pachylomoides*'in klorofil b değerlerinde PbSO<sub>4</sub> uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve 30' sürelerde kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemlilik derecesinde ( $p<0.05$ ) artış tespit edilirken, *Cinclidotus pachylomoides*'in klorofil b değerlerinde CuSO<sub>4</sub> uygulamasında, CdSO<sub>4</sub> uygulamasında ve ZnSO<sub>4</sub> uygulamasında



$10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve 30' sürelerde kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde ( $p < 0.05$ ) azalış meydana gelmiştir (Çizelge 3.5).

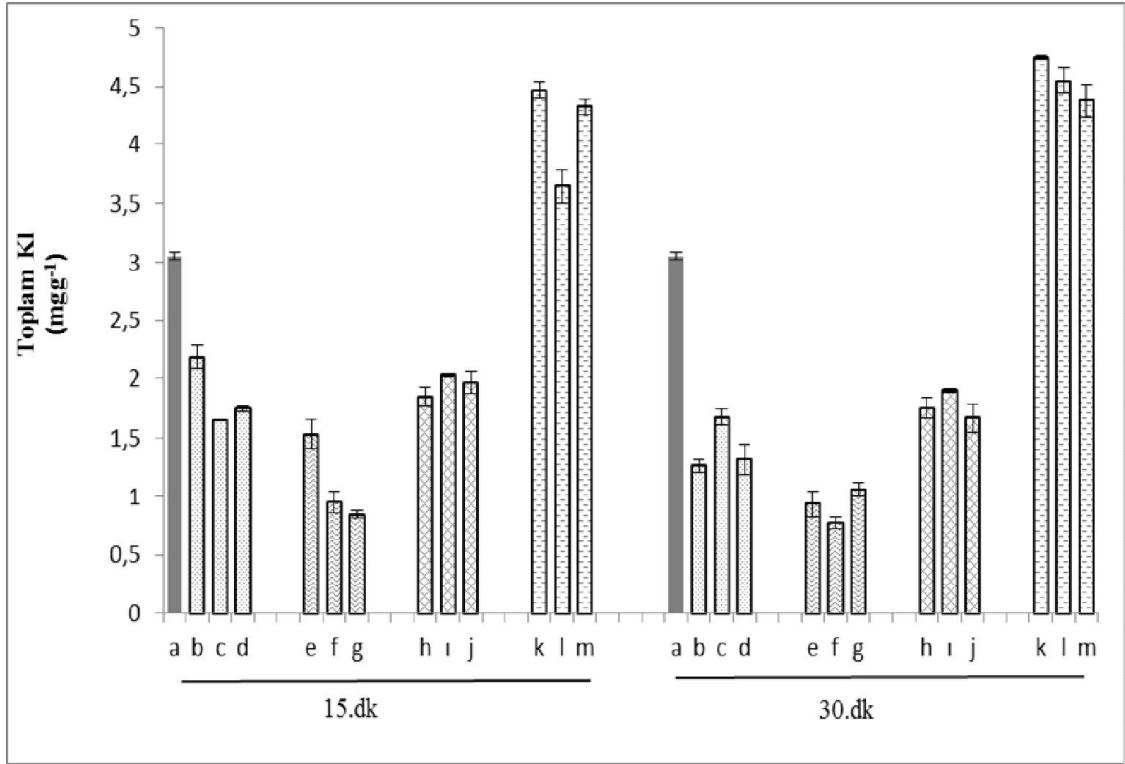


**Şekil 3.23.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Cinclidotus pachylomoides*'in klorofil a/b üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f:  $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , i:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ .

*Cinclidotus pachylomoides* türünün klorofil a/b oranına bakıldığında kontrole göre  $\text{CdSO}_4$   $10^{-3}$  M 30' da  $2,342 \text{ mgg}^{-1}$ 'dan  $4,254 \text{ mgg}^{-1}$ 'a arttığı,  $\text{ZnSO}_4$   $10^{-2}$  M 15' da  $2,342 \text{ mgg}^{-1}$ 'dan  $2,150 \text{ mgg}^{-1}$ 'a azaldığı,  $\text{PbSO}_4$   $10^{-2}$  M 15' da  $2,342 \text{ mgg}^{-1}$ 'dan  $1,926 \text{ mgg}^{-1}$ 'a azaldığı saptanmıştır.  $\text{CuSO}_4$  uygulamasında ise kontrole göre klorofil a/b oranında bir değişiklik olmamıştır (Şekil 3.23).

*Cinclidotus pachylomoides*'in klorofil a/b değerlerinde  $\text{CuSO}_4$  uygulamasında 15' ve 30' sürelerde kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde ( $p < 0.05$ ) bir farklılık görülmezken, *Cinclidotus pachylomoides*'in klorofil a/b değerlerinde  $\text{CdSO}_4$  uygulamasında göre  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 30' sürelerde kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde ( $p < 0.05$ ) artış saptanmıştır. Yine *Cinclidotus pachylomoides*'in klorofil a/b değerlerinde  $\text{ZnSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M 15 dakika sürede ve  $\text{PbSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve 30' sürelerde

kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde ( $p<0.05$ ) azalma meydana gelmiştir (Çizelge 3.5).

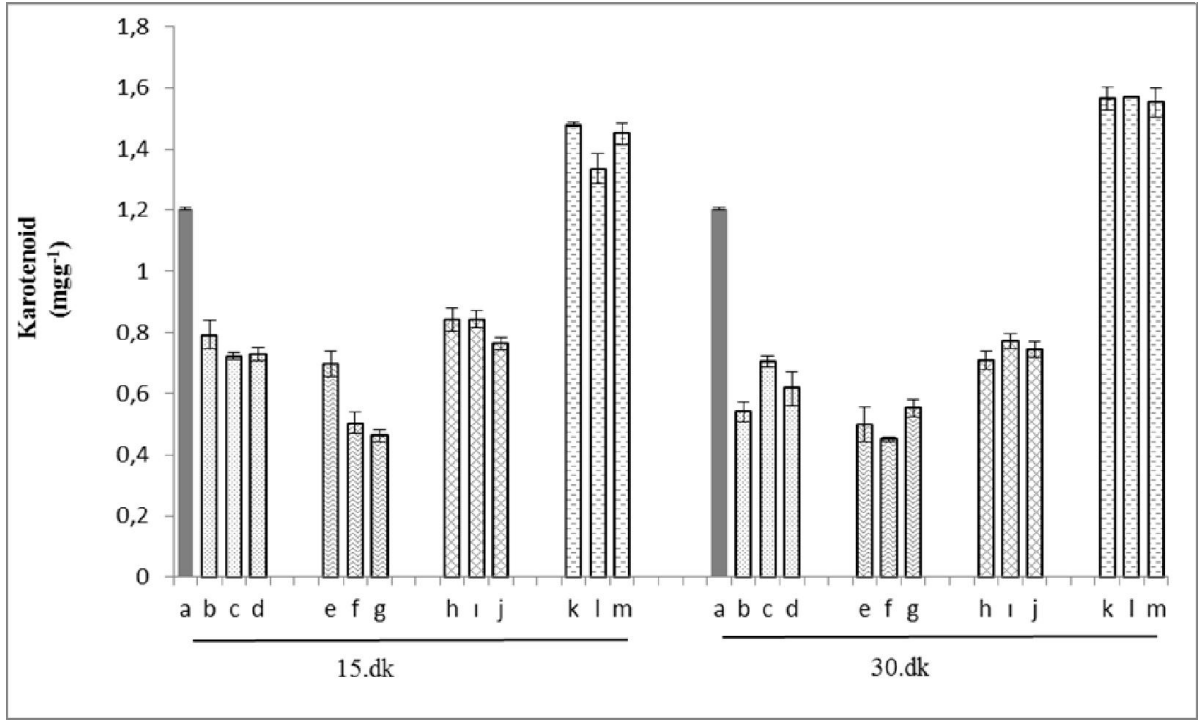


**Şekil 3.24.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Cinclidotus pachylomoides*'in toplam klorofil üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f:  $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , i:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ .

*Cinclidotus pachylomoides*'in toplam klorofil değerlerine bakıldığında tüm metal konsantrasyonlarında ve sürelerde kontrole göre farklılıklar meydana gelmiştir.  $\text{PbSO}_4$   $10^{-2}$  M 30' sürede  $3,051 \text{ mg g}^{-1}$  dan  $4,741 \text{ mg g}^{-1}$ 'a yükseldiği,  $\text{CuSO}_4$   $10^{-2}$  M 30' sürede  $3,051 \text{ mg g}^{-1}$  dan  $1,262 \text{ mg g}^{-1}$ 'a,  $\text{CdSO}_4$   $10^{-3}$  M 30' sürede  $3,051 \text{ mg g}^{-1}$  dan  $0,775 \text{ mg g}^{-1}$ 'da ve  $\text{ZnSO}_4$   $10^{-2}$  M 30' sürede  $3,051 \text{ mg g}^{-1}$  dan  $1,752 \text{ mg g}^{-1}$ 'a azaldığı saptanmıştır (Şekil 3.24).

*Cinclidotus pachylomoides*'in toplam klorofil değerlerinde  $\text{CuSO}_4$  uygulamasında ve  $\text{CdSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve 30' sürelerde kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemlilik derecesinde ( $p<0.05$ ) azalış tespit edilmiştir. Yine *Cinclidotus pachylomoides*'in toplam klorofil değerlerinde  $\text{ZnSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve 30' sürelerde kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde ( $p<0.05$ ) azalma olurken,  $\text{PbSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve 30'

sürelerde kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde ( $p<0.05$ ) artış görülmüştür (Çizelge 3.5).



**Şekil 3.25.** Farklı konsantrasyonlar ve sürelerde uygulanan ağır metallerin *Cinclidotus pachylomoides*'in karotenoid üzerindeki etkileri. a: Kontrol grubu, b:  $10^{-2}$  M  $\text{CuSO}_4$ , c:  $10^{-3}$  M  $\text{CuSO}_4$ , d:  $10^{-4}$  M  $\text{CuSO}_4$ , e:  $10^{-2}$  M  $\text{CdSO}_4$ , f:  $10^{-3}$  M  $\text{CdSO}_4$ , g:  $10^{-4}$  M  $\text{CdSO}_4$ , h:  $10^{-2}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , i:  $10^{-3}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , j:  $10^{-4}$  M  $\text{ZnSO}_4$ , k:  $10^{-2}$  M  $\text{PbSO}_4$ , l:  $10^{-3}$  M  $\text{PbSO}_4$ , m:  $10^{-4}$  M  $\text{PbSO}_4$ .

*Cinclidotus pachylomoides*'in karotenoid değerlerinin  $\text{PbSO}_4$  hariç tüm ağır metal konsantrasyonlarında ve sürelerinde kontrole göre azaldığı tespit edilmiştir.  $\text{CuSO}_4$  ve  $\text{ZnSO}_4$   $10^{-2}$  M 30' da azalma olmuş ve  $\text{CuSO}_4$ 'da  $1,205 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $0,541 \text{ mgg}^{-1}$ 'a ,  $\text{ZnSO}_4$ 'da  $1,205 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $0,707 \text{ mgg}^{-1}$ 'a düştüğü görülmüştür.  $\text{CdSO}_4$   $10^{-3}$  M 30' sürede  $1,205 \text{ mgg}^{-1}$ 'dan  $0,451 \text{ mgg}^{-1}$ 'a azalma saptanmıştır.  $\text{PbSO}_4$  bakıldığında ise  $10^{-3}$  M 30' sürede  $1,205 \text{ mgg}^{-1}$  dan  $1,569 \text{ mgg}^{-1}$ 'a yükselmiştir (Şekil 3.25).

*Cinclidotus pachylomoides*'in karotenoid değerlerinde  $\text{CuSO}_4$  uygulamasında,  $\text{CdSO}_4$  uygulamasında ve  $\text{ZnSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve 30' sürelerde kontrol grubuna göre önemlilik derecesinde ( $p<0.05$ ) azalış olduğu saptanırken,  $\text{PbSO}_4$  uygulamasında  $10^{-2}$  M,  $10^{-3}$  M ve  $10^{-4}$  M 15' ve 30' sürelerde kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemlilik derecesinde ( $p<0.05$ ) artış olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.5).

### 3.6 Tartışma

Literatür araştırmamıza göre ağır metallerin (kurşun, çinko, bakır ve kadmiyum) bazı karayosunu türlerinin (*Bryum schleicheri*, *Palustriella decipiens*, *Palustriella falcata*, *Plagiomnium undulatum* ve *Cinclidotus pachylomoides*) klorofil içeriği üzerine etkisi ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Backor ve Vaczi (2002), yaptıkları çalışmayla liken türü olan *Trebouxia erici* bakır uygulamasının klorofil a miktarını azalttığını göstermişlerdir. Tez çalışmasında elde ettiğimiz değerlerle benzer olup *Bryum schleicheri* türü hariç diğer türlerde (*Palustriella decipiens*, *Palustriella falcata*, *Plagiomnium undulatum* ve *Cinclidotus pachylomoides*) bakır uygulamasının klorofil a miktarını azalttığı tespit edilmiştir. Yüksek bakır konsantrasyonlarının oksidatif hasarı aktive ettiği ve hücre zarı özelliklerini lipit peroksidasyon yoluyla değiştirdiği bilinmektedir öyle ki bu klorofil üretiminde yer alan enzimler üzerindeki inhibisyon etkisini ortaya koymaktadır (Shakya vd., 2007).

Tremper, (2004), *Rhytidiadelphus squarrosus* karayosunu türünde bakır, çinko ve kurşun ağır metalleri uygulamış ve klorofil a miktarına bakmıştır. Sonuç olarak klorofil a miktarında azalma olduğunu saptamıştır. Klorofil a ile ilgili elde ettiğimiz sonuçlar bu çalışmayla benzerlik göstermekte olup, *Bryum schleicheri* türünün bakır hariç diğer ağır metallerinin klorofil a miktarını azalttığı, *Palustriella decipiens* ve *Palustriella falcata* türlerinde ise tüm ağır metallerin klorofil a miktarını azalttığı tespit edilmiştir. *Plagiomnium undulatum* türünde çinko uygulamasının  $10^{-2}$  M 15' hariç diğer konsantrasyonlarında ve diğer ağır metallerin (bakır, kurşun) tüm konsantrasyon ve sürelerinde kontrole göre klorofil a miktarında azalma meydana gelmiştir. *Cinclidotus pachylomoides* türünde ise kurşun hariç yine diğer ağır metallerin tüm konsantrasyon ve sürelerinde kontrole göre klorofil a değerinde azalma saptanmıştır. Bunun sebebi ağır metallerin karayosunlarının biyokimyasal ve fizyolojik mekanizmalarına yıkıcı etki göstermesinden kaynaklanabilir (Fatoba vd., 2008).

Zengin (2007), yapmış olduğu bir çalışmada *Phaseolus vulgaris* fasulye bitkisinde kurşun, kadmiyum, bakır ve civa ağır metalleri uygulamış ve pigment değerlerine bakmıştır. Çalışmanın sonucunda karotenoid dışındaki tüm pigment değerlerinde (klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil) önemli derecede azalma olduğunu belirlemiştir. Bizim yaptığımız çalışmada *Bryum schleicheri* türünde bakır uygulaması hariç diğer

ağır metal uygulamalarında kontrole göre klorofil a ve karotenoid değerlerinde azalma meydana gelirken, klorofil b ve toplam klorofil değerlerinde kurşun uygulamasının klorofil değerlerini azalttığı saptanmıştır. *Palustriella decipiens* türüne bakıldığında kurşun uygulamasının  $10^{-2}$  M 15 dakika süresi hariç diğer ağır metal uygulamalarının tüm konsantrasyon ve sürelerinde klorofil değerlerinde ve karotenoid miktarında azalma meydana gelmiştir. *Palustriella falcata* türüne bakıldığında yine ağır metal uygulamalarının klorofil değerlerini ve karotenoid miktarını genel olarak azalttığı belirlenmiştir. *Plagiomnium undulatum* türünde ise kadmiyum hariç diğer ağır metal (bakır ve kurşun) uygulamalarında klorofil değerlerinde (klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil) ve karotenoid miktarında azalma meydana gelmiştir. *Cinclidotus pachylomoides* türünde kurşun hariç diğer ağır metal uygulamalarında kontrole göre klorofil değerlerinde ve karotenoid miktarında azalma saptanmıştır. Ağır metal konsantrasyonları ile klorofil miktarındaki azalmaların nedenini klorofil yıkımının artması veya sentezinin engellemesi şeklinde belirtilen olaylar ile açıklamak olanak dahilindedir (Zengin, 2007).

Shakya vd., (2007), Katmandu vadisinden topladıkları karayosunu türlerine *Thuidium delicatulum* (L.) Mitt, *Thuidium sparsifolium* (Mitt.) Jaeg., ve ciğerotu olan *Ptychanthus striatus* (Lehm. ve Linderb.)  $10^{-2}$  M ve  $10^{-10}$  M arasında değişen konsantrasyonlarda ağır metal (bakır, çinko ve kurşun) uygulamışlar ve klorofil içeriği üzerine etkisini araştırmışlardır. Bakır birikimi karayosunlarında ve ciğerotunda klorofil-a, klorofil-b ve toplam klorofil açısından önemli düzeyde inhibisyon etki gösterdiğini saptamışlardır. Çinko ve kurşun birikmesinden sonra her iki *Thuidium* türünün klorofil içeriğinde önemsiz bir azalma olurken, ciğerotunda ciddi bir artış meydana geldiğini belirtmişlerdir. Türlerle bakıldığında *Thuidium sparsifolium* da en fazla klorofil a miktarının azaldığını, *Thuidium delicatulum* klorofil b ve toplam klorofil miktarının azaldığını ve *Ptychanthus striatus* ciğerotunda bütün klorofil konsantrasyonlarının önemsiz düzeyde azaldığını tespit etmişlerdir. Bizim yaptığımız çalışma ve yukarıdaki çalışma birbirine benzer olup her iki çalışmada da en fazla etkili olan ağır metalin bakır olduğu saptanmıştır. Bunun sebebi klorofil biyosentezinin engellenmesi olabilir (Shakya vd., 2007).

Fatoba vd., (2008), karayosunu türü olan *Barbula lambarenensis*'e ağır metal (vanadyum, kadmiyum, demir, bakır ve kurşun) uygulamışlar ve klorofil değerlerine

bakmışlardır. Çalışma sonucunda klorofil a'ya inhibitör etki eden ağır metalin sırasıyla Va>Cd>Fe>Cu>Pb, klorofil b'ye etki eden metalin sırasıyla Cd>Fe>Va>Pb>Cu ve total klorofile etki eden ağır metalin sırasıyla Cd>Va>Fe>Pb>Cu olduğunu belirlemişlerdir. Genel olarak ağır metallere bakıldığında en fazla inhibitor etki gösteren ağır metalin kadmiyum olduğu saptanmıştır. Yaptığımız tez çalışmasında kadmiyum ağır metalinden klorofil içeriği yönünden en fazla etkilenen türün *Cinclidotus pachylomoides* olduğu belirlenmiştir.

Koç vd., (2009), yaptıkları çalışmada bitkisel materyal olarak Kahramanmaraş-Acı (*Capsicum annuum* cv. Kahramanmaraş-Acı) biber çeşidi kullanmışlar ve *Capsicum annuum* türüne CuSO<sub>4</sub> ağır metali uygulayarak toplam klorofil miktarına bakmışlardır. Sonuç olarak kontrol grubuna göre toplam klorofil miktarının azaldığını tespit etmişlerdir. Bizim yapmış olduğumuz çalışma yukarıdaki çalışma ile benzer bir çalışma olup CuSO<sub>4</sub> ağır metalinin *Palustriella decipiens*, *Palustriella falcata*, *Plagiomnium undulatum* ve *Cinclidotus pachylomoides* türlerinin toplam klorofil miktarında azaltıcı etki gösterdiği saptanmıştır. Bunun sebebi ağır metal stresine bağlı olarak klorofil içeriğinde görülen azalma, klorofil biyosentez yolunda iş gören enzimlerin ağır metaller tarafından engellenmesinin bir sonucu olabilir (Kırbağ ve Munzuroğlu 2006; Koç vd., 2009).

Saxena vd., (2009), *Racomitrium crispulum* karayosunu türünde belirli zamanlarda ve belirli konsantrasyonlarda bakır (Cu) ve kadmiyum (Cd) uygulamışlar ve çalışma sonucunda klorofil b miktarının azaldığını saptamışlardır. Yaptığımız çalışmada *Palustriella decipiens* ve *Cinclidotus pachylomoides* türlerinde bakır ve kadmiyum uygulamalarında klorofil b değerlerinde önemlilik derecesinde (p<0.05) azalma meydana gelmiştir.

## BÖLÜM IV

### SONUÇ

Bu yüksek lisans çalışmasında ağır metallerin (kurşun, çinko, bakır ve kadmiyum) bazı karayosunu türlerinin (*Bryum schleicheri*, *Palustriella decipiens*, *Palustriella falcata*, *Plagiomnium undulatum* ve *Cinclidotus pachylomoides*) klorofil içeriği üzerine etkisi araştırılmıştır. Yapılan bu çalışmada doğal habitatlarından toplanan briyofit örneklerinin laboratuarda teşhisleri yapılmıştır. Teşhis edilen örnekler distile su ile yıkanıp kurutulularak 15' ve 30' sürelerde ağır metal konsantrasyonlarına maruz bırakılarak pigment değerlerine (klorofil a, klorofil b, klorofil a/b, toplam klorofil ve karotenoid) bakılmıştır. Genel olarak tüm türlerin ağır metal çözeltilerinden etkilendikleri ve kontrol grubuna göre klorofil değerlerinin istatistiksel olarak önemlilik derecesinde ( $p<0.05$ ) değiştiği tespit edilmiştir.

Türlere bakıldığında *Cinclidotus pachylomoides* türüne en çok inhibitör etki gösteren ağır metal çözeltisinin  $CdSO_4$  olduğu, *Bryum schleicheri* türünde ise en fazla inhibitör etki gösteren ağır metal çözeltilerinin  $CuSO_4$  ve  $PbSO_4$  olduğu saptanmıştır. Diğer türlerde ise (*Palustriella decipiens*, *Palustriella falcata* ve *Plagiomnium undulatum*) etkili olan ağır metal  $CuSO_4$  olduğu tespit edilmiştir.

Genel olarak ağır metal uygulamalarına bakıldığında ise en fazla etki eden ağır metalin  $CuSO_4$  olduğu belirlenmiştir.

Ağır metallerin karayosunlarının klorofil ve karotenoid pigmentleri üzerine etkisi ile ilgili yapılan çalışmalar sınırlı düzeydedir. Bu konuda daha fazla fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeyde çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Elde edilen sonuçlar bu konuda yapılacak çalışmalara kaynak oluşturacak niteliktedir.

## KAYNAKLAR

Abay, G. ve Kamer, D., Biyoçeşitliliğimizin Az Bilinen Bileşenleri “Briyofitler”, **III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi Kitapçığı**, AÇÜ, Artvin, 3, 1115-1125, 2010.

Alloway, B.J. and Ayres, D.C., “Chemical Principles of Environmental Pollution” **Blackie Academic & Professional**, Glasgow, UK. 1993.

Andra, S.S., Sarkar, D. and Makris, K.C., “Mullens CP, Sahi SV, Bach SBH, Synthesis of phytochelatins in vetiver grass upon lead exposure in the presence of phosphorus,” **Plant Soil**. 326, 171-185, 2010.

Arnon, D.I., “Copper enzymes in isolated chloroplasts Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*” **Journal of Plant Physiology**, 24, 1-15, 1949.

Artan, R. O., “Ağır Metal İçeren Atık Suların İleri Arıtımında Su Mercimeği ( Lemna Sp.) Bitkisinin Kullanılması” Yüksek Lisans Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana, 2007.

Ayhan, B., Ekmekçi, Y. ve Tanyolaç, D., “Bitkilerde Ağır Metal Zararları ve Korunma Mekanizmaları”, **Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi**, Cilt/Vol.,7, 1, 1-16 2006.

Ayeni, O.O., Ndakidemi, P.A., Snyman, R.G. and Odendaal, J.P., “Chemical, biological and physiological indicators of metal pollution in wetlands” **Scientific Research and Essays Vol. 5(15)**, 1938-1949, 2010.

Azeez, P.A. and Banerjee, D.K., “Effect of copper and cadmium on carbon assimilation and uptake of metals by algae” **Toxicol Environ Chem.**, 12, 77–87, 1986.



Backor, M. and Vaczi, P., “Copper tolerance in the lichen photobiont *Trebouxia erici* (Chlorophyta)” *Environ Exp Bot.*, 48(1), 11–20, 2002.

Banaszak, A., LaJeunesse, T. and Trench, R., “The synthesis of Mycosporine–like amino acids (MAAs) by cultured, symbiotic dinoflagellates” *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 249, 219-233, 2000.

Barcelo, J. and Poschenrieder, Ch., “Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados” *Investigación y Ciencia*, 54-63, 1989.

Barcelo, J. and Poschenrieder, Ch., “Plant water relations as affected by heavy metal stress: a review” *Journal of Plant Nutrition* 13, 1-37, 1990.

Bowden, W.b., “Roles of bryophytes in stream ecosystems” *Journal North American Benthological Society*, v.18, 2, 151-184, 1999.

Brown, DH. and Buck, GW., “The cellular location of metals in two bryophytes and a lichen” *Cryptogam Bryol Lichenol*, 6, 279–2867, 1985.

Can, S.M., Melendiz Dağı Briyofit Florasının Araştırılması (NiğDE), Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, 2011.

Cangül, C., Kaplandede Dağı'nın Bryofit Florası (Düzce), Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, 2010.

Cunningham, S.D., Shann, J.R., Crowley, D.E. and Anderson, T.A., “Phytoremediation of Contaminated Water and Soil. Phytoremediation of Soil and Water Contaminants”, *American Chemical Society*, Washington, D.C., 2-17, 1997.

Chen, G. and Djuric, Z., “Carotenoids are degraded by free radicals but do not affect lipid peroxidation in unilamellar liposomes under different oxygen tensions” *FEBS Letters*, 505, 151-154, 2001.

Clymo, R. S., “*Sphagnum*, the peatland carbon economy, and climate change”, *Bryol. in twenty-first century*, 361-368, 1998.

Çepel, N., “Toprak Kirliliği Erozyon ve Çevreye Verdiği Zararlar”, *TEMA Vakfı Yayınları*, İstanbul, s. 111, 1997.

Deniz, M., “Termik Santral Kaynaklı Hava Kirliliğinin Bitkilerdeki Mineral Beslenme ve Antioksidatif Savunma Mekanizmasına Etkisi” Doktora Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana, 2010.

Doyle T., W., The Biology of Higher Cryptogams. **The Macmillian Company Collier-Macmillian Lmt.** London, 90 (4), 163, 1970.

Dunand, V.F., Epron, D., Sossé, A.B. and Badot, P.M., “Effects of copper on growth and on photosynthesis of mature and expanding leaves in cucumber plants”, **Plant Science**, 163, 53-58, 2002.

Ertek, A., Mazmıllı Dağının Briyofit Florası (ADANA), Yüksek Lisans Tezi, **Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Niğde, 2013.

Ezer, T., Güney Amanos Dağları (Musa Dağı) Briyofit Florası ve Epifitik Briyofit Vejetasyonunun Araştırılması, Doktora Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana, 2008.

Ezer, T., Kara, R. ve Demir, İ., “ Bazı Akuatik ve Akuatik Olmayan Bryofitlerin Pigment Konsantrasyonlarının Karşılaştırılması; Klorofil a/b ve Toplam Karotenoid”, **Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi**, Niğde, 3 (2), 181-183, 2010.

Fatoba, P.O. and Udoh, E.G., “Effects of Some Heavy Metals on Chlorophyll Accumulation in *Barbula lambarenensis*” **Ethnobotanical leaflets** 12, 776-83, 2008.

Fernandez, JA., Ederra, A., Nunez, E., Martinez-Abaigar, J., Infante, M. and Heras, P., “Biomonitoring of metal deposition in northern Spain by moss analysis” **Sci Total Environment** 300, 115–127, 2002.

Gecheva, G.M. and Yurukova, L.D., “Chlorophyll Response of aquatik moss *Fontinalis antipyretica* Hedw. To Cu, Cd and Pb contamination ex situ” **Proceedings of the Anniversary Scientific Conference of Ecology**, 293-299, 2008.

Goyer, R. A., “Toxic effects of metals. In: Caserett and Doull’s Toxicology” **The Basic Science of Poisons (Eds. Amdur M. O., Doull, J., Klaassen, C. D.) Pergamon Press**, New York, 1032, 1991.

Glime, J., Bryophyte ecology, vol. 1, Michigan technological university (mtu),

botanical society of America (bsa), international association of bryologists (iab), published online at, <http://www.bryoecol.mtu.edu/>, 2011.

Harrison, M.R. and Johnson, R.W., " Deposition Fluxes of lead: Cadmium, Copper and Polynuclear Aromatic Hydrocarbon (PAH) on The Verges of a Major Highway", *The Sci. of The Total Environ.*, 121-135, 1985.

Hazer, Y., Son Literatür ve Herbarium Verilerine Göre Türkiye Karayosunlarının Floristik Dağılımı ve Elektronik Veri Tabanının Oluşturulması, Doktora Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, 2010.

Ho, Y. S., Porter, J. F. and McKay, "Equilibrium Isotherm Studies for The Sorption of Divalent Metal Ions onto Peat: Copper, Nickel and Lead Single Component Systems", *Water, Air, and Soil Pollution*, 1, 2002.

Işık, K., "Bitki Biyolojisi" 2. Baskı, *Palme Yayıncılık*, Ankara, s. 497, 2008.

Kacar, B ve Katkat, V., Bitki Besleme. *Nobel Yayın.* s. 849, 2006.

Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S., "Metallerin Çevresel Etkileri" (erişim adresi: [www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136\\_4753.pdf](http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf)), 2006.

Kakulu, S.E., "Biological monitoring of atmospheric trace metal deposition in North-Eastern Nigeria", *Environment Monitoring and Assessment*, 28, 137- 143, 1993.

Karademir, M. ve Toker, M.C., "Ankara'nın bazı kavşaklarında yetişen çim ve bitkilerde

egzoz gazlarından gelen kurşun birikimi" *II.Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi*, Ankara, 699-711, 1995.

Kaznina, N.M., Laidinen, G.F., Titov, A.F. And Talanov, A.V., "Effect of lead on the photosynthetic apparatus of annual grasses" *Izv. Akad. Nauk Ser. Biol.*, 2, 184-188, 2005.

Kırbağ, Z.F. ve Munzuroğlu, Ö., "Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) Fidelerinin Toplam Çözünebilir Protein, Prolin ve Klorofil Miktarları Üzerine Civa Klorürün

(HgCl<sub>2</sub>) Etkileri”, Fırat Üniversitesi, *Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18 (1), 25-30, 2006.

Kırmacı, M., Denizli Dağları (Babadağ, Honaz dağı) Briyofit Florası Doktora Tezi, *Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Aydın, 2007.

Koç, E., İşlek, C. ve Üstün, A.S., “Biber ( *Capsicum annuum* L. cv. Kahramanmaraş-Acı ) Fidelerinde Bakır Sülfatın (CuSO<sub>4</sub> ) Fenilalanin Amonyum Liyaz (PAL) Enzim Aktivitesi, Fenolik Maddeler ve Toplam Klorofil Üzerine Etkisi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi*,

*Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13-2, 128-131, 2009.

Lichtenthaler, H. and Wellburn, AR., “Determination of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents” *Biochemical Society Transactions* 603, 591-593, 1983.

Liphadzi, MS. and Kirkham, MB., “Heavy-metal displacement in chelated-treated soil with sludge during phytoremediation” *J. Plant. Nut. Soil Sci.*, 169(6), 737-744, 2006.

Lopez, J. and Carballeira, A., “Metal accumulation and pigment stress of aquatic bryophytes from the river Eume, Galicia (NW Spain)”, *Asociacion Española de Limnologia*, Madrid. Spain *Limnetica* 9, 1-9, 1993.

Lyons-Alcantara, M., Tarazona, J.V. and Mothersill, C., “The differential effect of cadmium exposure on the growth and survival of primary and established cells from fish and mammals”, *Cell Biol. and Toxicol.*, 12, 29-38, 1996.

Magdefrau, K., “Life-forms of Bryophytes”. *Bryophyte ecology*, London, New York, 45-58, 1983.

Markert, B., Herpin, U., Siewers, U., Berlekamp, J. and Lieth, H., “The German heavy metal survey by means of mosses”, *Sci Total Environment*, 182, 159–168, 1996.

Martinez-Abaigar, M.J. and Nunez-Olivera, E., “Ecophysiology of photosynthetic pigments in aquatic bryophytes” *British Bryological Society*, 18, 277-292, 1998.

Meagher, R.B., “Phytoremediation of Toxic elemental and organic pollutants”. *C.Op.In Plant Biol.*, 3, 153-162, 2000.

Murkherjee, A. and Nuorteva, C., “Relation between industrialization and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal”. *Canadian Journal of Botany*, 48, 1480-14, 1984.

Nagel, K., Adelmeier, U. and Voigt, J., “Sub cellular distribution of cadmium in the unicellular green alga *Chlamydomonas reinhardtii*”. *J. Plant. Physiol.*, 149, 86-90, 1996.

Nuhoglu, Y., Malkoç, E., Gürses, A. ve Canpolat, N., “Removal of Cu(II) from aqueous solution by *Ulothrix zonata*”, *Bioresource Technology* 85,3, 331-333, 2002.

Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A.M. and Pehlivan, M., “Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri” *Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü*, Erzurum, *Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi*, Iğdır, 14-26, 2009.

Öktüren, A.F. ve Sönmez, S., “Ağır Metal Toksikitesinin Bitki Metabolizması Üzerine Etkileri”, *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü*, Antalya, 2007.

Parmar, N.G., Vithalani, S.D. and Chanda, S.V., Alteration in growth and peroxidase activity by heavy metals in *Phaseolus seedlings* *Acta Physiol. Plant.*, 24 (1), 89-95, 2002.

Patterson, J. W., Allen H.E. and Scala J.J., “Carbonate Precipitation of Heavy Metals Pollutions”, *J. Water Poll. Control. Foo.*, 49, 2397-2410, 1977.

Pedrotti, C.C., “Flora dei muschi d’Italia, Sphagnopsida, Andreaopsida, Bryopsida (I parte)”, Roma, Antonia Delfino Editore, *Medicina Science*, 1-817, 2001.

Pedrotti, C.C., “Flora dei muschi d’Italia, Bryopsida (II parte)”, Roma, Antonia Delfino Editore, *Medicina Science*, 827-1235, 2006.

Prasad, D.D.K. and Prasad, A.R.K., “Effect of Lead and Mercury on Chlorophyll Synthesis in Mung Bean Seedlings”, *Phytochemistry (Oxf)*. 26, 881-884, 1987.

Puckett, K.J., “Bryophytes and lichens as monitors of metal deposition. In: Nash TH, Wirth V (eds) Lichens, bryophytes and air quality”, *J Cramer*, Berlin, 231-268, 1988.

Ralph, P.J., “Stress physiology of *Halophila ovalis* (R. Br.) Hook f. using chlorophyll fluorescence”, *Ph.D. thesis, Department of Environmental Biology and Horticulture, University of Technology*, Sydney, 1997.

Raskin, I. and Ensley (Ed), “Phytoimediaitan of toxic metals: using plants to clean up to enviroment”, *John Wiley and Sons*, N. York, 303, 2000.

Raven, J.A., Evans, M.C.W. and Korb, R.E., “The role of trace metals in photosynthetic electron transport in O<sub>2</sub>- evolving organisms”, *Photosynth. Res.* 60, 111-49, 1999.

Richardson, D. H. S., “The Biology of Mosses”, *Blackwell Scientific Publications*, London, 215, 1981.

Rout, G.R. and Das, P., “Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism”, *I.Zinc. Agronomie* 23, 3-11, 2003.

Samecka-Cymerman, A., Kolon, K., Kempers, A., Jansen, J. and Boonen, B., “Bioaccumulation of elements in bryophytes from Serra da Estrela, Portugal, and Veluwezoom, the Netherlands”. *Environ Sci Pollut Res* 12(2), 71–79, 2005.

Samsunlu, A., Çevre Mühendisliği Kimyası, *Sam-Çevre Teknolojileri Merkezi Yayını*, İstanbul, s. 394, 1999.

Saygıdeğer, S., “*Lycopersicum esculentum* L. Bitkisinin çimlenmesi ve gelişimi üzerine kurşunun etkileri” *2. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi*. Ankara, 588-597, 1995.

Sawidis, T., Zachariadis, G., Stratis, J. and Ladoukakis, E., “Mosses as biological indicators for monitoring of heavy metal pollution” *Fresenius Environ Bull* 2, 193-199, 1993.

Saxena, D.K. and Md. Saiful-Arfeen, “Effect of Cu and Cd on Oxidative Enzymes and Chlorophyll Content of Moss *Racomitrium crispulum*” *Physiol. Mol. Biol.*

*Plants*. 54(4), 365-374, 2009.

Schofield, W. B., "Introduction to Bryology", *The Blackburn Press*, Caldwell, 431, 2001.

Shakya, K., Chettri, MK. and Sawidis, T., "Appraisal of some mosses for biomonitoring air borne heavy metals in Kathmandu valley". *Ecoprint* 2(1), 35-49, 2004.

Shakya, K., Chettri, MK. and Sawidis, T., "Impact of Heavy Metals (Copper, Zinc, and Lead) on the Chlorophyll Content of Some Mosses" *Arch Environ Contam Toxicol* 54, 412-421, 2008.

Shaw, A. J. and Goffinet, B., Bryophyte Biology. *Cambridge University Press*, 2000.

Shaw, A. J., Szövényi, P. and Shaw, B., Bryophyte diversity and evolution: Windows into the early evolution of land plants, *American Journal of Botany*, 98, 352-369, 2011.

SMITH, A. J. E., The Moss Flora of Britain and Ireland. (Second Edition) *Cambridge Univ. Press*, 2004.

Sossé, B.A., Genet, P., Dunand-Vinit, F., Toussaint, L.M., Epron, D and Badot, P.M., "Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus*) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents", *Plant Science*, 166, 1213-1218, 2004.

Stresty, T.V.S. and Madhava, Rao, K.V., "Ultrastructural alterations in response to zinc and nickel stress in the root cell of pigeonpea" *Environ Exp Bot.*, 41, 3-13, 1999.

Tremper, AH., Agneta, M., Burton, S. and Higgs, DEB., "Field and laboratory exposures of two moss species to low level metal pollution", *J Atom Chem* 49(1-3), 111-120, 2004.

Tyler, G., "Moss analysis A method for surveying heavy metal deposition". In: *England HM, Berry WT (eds) Proceedings of the Second International Clean Air*

*Congress.Academic*, NewYork, NY, 1970.

Tyler, G., “Bryophytes and heavy metals” a literature review, *Botanical Journal of the Linnean Society*, 104, 231-253, 1990.

Vaillant, N., Monnet, F., Hitmi, A., Sallanon, H. and Coudret, A., “Comparative study of responses in four *Datura* species to a zinc stress”, *Chemosphere*, 59, 1005-1013, 2005.

Van Assche, F.V. and Clijsters, H., “Effects of metals on enzyme activity in plants”, *Plant Cell Environ.* 13, 95-206, 1990.

Wolterbeek, H., Kuik, P., Verburg, TG., Herpin, U., Markert, B. and Thoni, L., “Moss interspecies comparisons in trace element concentrations”. *Environ Monit Assess* 35, 263-286, 1995.

Wu, T.M., Hsu, Y.T. and Lee, T.M., “Effects of cadmium on the regulation of antioxidant enzyme activity, gene expression, and antioxidant defenses in the marine macroalga *Ulva fasciat*”, *Bot. Studies*, 50, 25-34, 2009.

Yildiz, A., Aksoy, A., Akbulut, G., Demirezen, D., Islek, C., Altuner, EM. ve Duman, F., “Correlation Between Chlorophyll Degradation and the Amount of Heavy Metals Found in Pseudevernia Furfuracea in Kayseri (Turkey)” *Ekoloji*, 20 (78), 82-88, 2011.

Yurukova, L., Ganeva, A. and Damyanova, A., “Aquatic bryophytes as bioconcentrators of macro- and microelements”. In: *Observatoire de montagne de Moussala, OM2, (Eds. J.P. Calbonnel, J.N. Stamenov)*, Sofia, 4, 127-136, 1996.

Yurukova, L., Damyanova, A., Ivanov, K. and Janminchev, V., “Bioaccumulation capacity of *Fontinalis antipyretica* from Musalenska Bistrica River, Rila Mountain”. In: *Observatoire de montagne de Moussala-OM2, (Eds. J.P. Calbonnel, J.N. Stamenov)*, Sofia, 6, 77-86, 1997.

Zajic J.E., Water Pollution Cont., *Marcel Dekar Inc.* USA, 389-401, 1971.

Zechmeister, H.G., “Annual growth of four pleurocarpous moss species and their applicability for biomonitoring heavy metals”, *Environmental Monit Assess*, 52,



441-451, 1998.

Zengin, K.F., Fasulye Fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike) Pigment Değeriği Üzerine Bazı Ağır Metallerin Etkileri, ***KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi***, 10(2), 2007.

Zheljazkov, V.D. and Nielsen, N.E., “Effect of Heavy Metals on Peppermint and Commint” ***Plant and Soil***, 178 (1), 59-66, 1996.

[http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136\\_4753.pdf](http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf).

## ÖZGEÇMİŞ

Tuba YILMAZ 15.02.1990 tarihinde NİĞDE/ Bor'da doğdu. İlköğretimini Bor Bağdüz İlköğretim okulunda, ortaöğretimini Bor Mahmut Özenç İlköğretim okulunda, Lise öğretimini Bor Şehit Nuri Pamir lisesinde tamamladı. 2008 yılında girdiği Niğde Üniversitesi Biyoloji Bölümü'nden Haziran 2012'de mezun oldu. 2012 öğretim yılında Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı.

**TEZ ÇALIŞMASINDAN ÜRETİLEN ESERLER (MAKALE, BİLDİRİ,  
POSTER, VB.)**

Bu tez çalışmasından 1 (bir) adet ulusal poster bildirisi üretilmiştir. Üretilen bu çalışma aşağıda sunulmuştur.

Ezer, T., Yılmaz, T., İşlek, C., Kara, R., Bakır (Cu) ve Kadmiyumun (Cd) *Bryum schleicheri*'nin Pigment İçeriği Üzerine Etkisi, 22. Ulusal Biyoloji Kongresi, 23-27 Haziran, Eskişehir, 2014.