



***IN VITRO* KOŞULLARDA ÇOĞALTILAN BAZI SU BİTKİLERİNİN
FİTOREMEDİASYON POTANSİYELLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Muhammet DOĞAN

Doktora Tezi

Biyoloji Anabilim Dalı

Hidrobiyoloji Programı

Prof. Dr. Mehmet KARATAŞ

Temmuz - 2017

**T.C.
KARAMANOĞLU MEHMETBEY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

***IN VITRO* KOŞULLARDA ÇOĞALTILAN BAZI SU BİTKİLERİNİN
FİTOREMEDİASYON POTANSİYELLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Muhammet DOĞAN

Anabilim Dalı: BİYOLOJİ

Programı: HİDROBİYOLOJİ

Tez Danıőmanı: Prof. Dr. Mehmet KARATAŞ

KARAMAN-2017

TEZ ONAYI

Muhammet DOĞAN tarafından hazırlanan “*In Vitro* Koşullarda Çoğaltılan Bazı Su Bitkilerinin Fitoremediasyon Potansiyellerinin Araştırılması” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : **Prof. Dr. Mehmet KARATAŞ**

Jüri Üyeleri

İmza:

Prof. Dr. Mehmet KARATAŞ
(Necmettin Erbakan Üniversitesi
Fen Fakültesi Biyoteknoloji Bölümü)

Prof. Dr. Hasan Hüseyin ATAR
(Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Su Ürünleri Mühendisliği Bölümü)

Doç. Dr. Muhammad AASIM
(Necmettin Erbakan Üniversitesi
Fen Fakültesi Biyoteknoloji Bölümü)

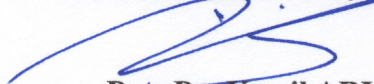
Doç. Dr. Gökhan SADI
(Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi
Kamil Özdağ Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü)

Yrd. Doç. Dr. Buğrahan EMSEN
(Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi
Kamil Özdağ Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü)



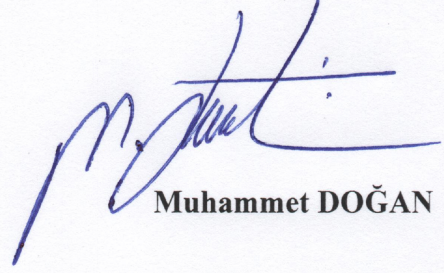
Tez Savunma Tarihi: 04/07/2017

Yukarıdaki sonucu onaylarım.


Doç. Dr. Kamil ARI
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdığı yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.



Muhammet DOĞAN

ÖZET

Doktora Tezi

IN VITRO KOŞULLARDA ÇOĞALTILAN BAZI SU BİTKİLERİNİN FİTOREMEDİASYON POTANSİYELLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Muhammet DOĞAN

**Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Mehmet KARATAŞ

Temmuz, 2017, 209 sayfa

Bu çalışmanın amacı, *in vitro* koşullarda çoğaltılan akuatik bitkiler olan *Ceratophyllum demersum* L. ve *Pogostemon erectus* (Dalzell) Kuntze'un fitoremediasyon potansiyellerini araştırmaktır. *In vitro* sürgün rejenerasyonu için sürgün ucu ve boğum eksplantları, farklı konsantrasyonlarda Benzilaminopurin (BAP), Thidazuron (TDZ) ve Kinetin (KIN)'i tek veya Naftalin asetik asit (NAA) ile içeren agarla katılaştırılmış ya da sıvı Murashige ve Skoog (MS) besin ortamında kültüre alınmıştır. Ayrıca her iki bitkinin sürgün ucu eksplantları kırmızı:mavi LED ışıklarının farklı kombinasyonları (4K:1M, 3K:1M, 2K:1M, 1K:1M) ve kırmızı, mavi, beyaz LED ve beyaz flouresan (kontrol) ışıkları altında inkübe edilmiş ve *in vitro* bitki rejenerasyonu için en etkili ışık çeşidi 2K:1M LED ışıklar olarak tespit edilmiştir. *C. demersum* ve *P. erectus*'un dış koşullara adaptasyonundan sonra bitkiler, farklı konsantrasyonlarda ve sürelerde (1, 3 ve 5 gün) kadmiyum (Cd) için $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ 'a, krom (Cr) için $Cr(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ 'a ve kurşun (Pb) için $Pb(NO_3)_2$ 'a maruz bırakılmış, ardından bitkilerin metal içerikleri, biyokonsantrasyon faktörü (BKF), taze ve kuru ağırlıkları, fotosentetik pigment içerikleri (klorofil *a* ve *b*, toplam klorofil ve karotenoit), protein seviyeleri ve lipid peroksidasyonları (Malondialdehit-MDA içerikleri) analiz edilmiştir. Her iki türün ağır metal akümülyasyonlarının solüsyondaki metal konsantrasyonu ve uygulama süresinin artmasıyla yükseldiği tespit edilmiştir. Fotosentetik pigment ve protein içerikleri kontrol ile karşılaştırıldığında metal konsantrasyonu ve maruz kalma periyodunun artması ile azalırken, MDA seviyeleri kontrol ile karşılaştırıldığında artmıştır. Bu sonuçlar, metal birikim yeteneklerinden dolayı *C. demersum* ve *P. erectus*'un Cd, Cr ve Pb ile kirlenmiş su ortamlarının remediasyonu için etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, Akümülyasyon, *Ceratophyllum demersum*, *Pogostemon erectus*, Sürgün rejenerasyonu

ABSTRACT

PhD. Thesis

INVESTIGATION OF PHYTOREMEDIATION POTENTIALS OF SOME *IN VITRO* PROPAGATED AQUATIC PLANTS

Muhammet DOĞAN

Karamanoğlu Mehmetbey University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biology

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet KARATAŞ

July, 2017, 209 pages

The aim of the present study was to investigate of phytoremediation potentials of *in vitro* propagated aquatic plants, *Ceratophyllum demersum* L. and *Pogostemon erectus* (Dalzell) Kuntze. Shoot tip and nodal explants were cultured on agar solidified or liquid Murashige and Skoog (MS) medium containing different concentrations of Benzylaminopurine (BAP), Thidazuron (TDZ) and Kinetin (KIN) with or without Naphthaleneacetic acid (NAA) for *in vitro* shoot regeneration. Beside, shoot tip explants of both plants were incubated under different combinations of Red:Blue LEDs (4R:1B, 3R:1B, 2R:1B, 1R:1B) or alone red, blue, and white LEDs and white fluorescent lights (control) and the most efficient type of light for *in vitro* plant regeneration was determined as 2R:1B LED light. After adaptation of *C. demersum* and *P. erectus* to external conditions, the plants were exposed to Cd(NO₃)₂.4H₂O for Cd, Cr(NO₃)₃.9H₂O for Cr, Pb(NO₃)₂ for Pb at different concentrations and durations (1, 3 and 5 days), then the metal contents, bioconcentration factors (BCF), fresh and dry weights, photosynthetic pigment contents (chlorophyll *a* and *b*, total chlorophyll and carotenoid), protein levels and lipid peroxidations (Malondialdehyde-MDA contents) of the plants were analyzed. It was determined that heavy metal accumulations of both species increased with increasing of exposure time and metal concentration in the solution. While contents of photosynthetic pigment and protein decreased with increasing of metal concentration and exposure period in comparison with control, MDA levels increased compared to control. These results suggest that due to metal accumulation capabilities, *C. demersum* and *P. erectus* can be effectively used for remediation of aquatic environments contaminated with Cd, Cr and Pb.

Keywords: Heavy metal, Accumulation, *Ceratophyllum demersum*, *Pogostemon erectus*, Shoot regeneration

ÖN SÖZ

Doktora tez çalışmamın başından sonuna kadar mesleki bilgi, tecrübe ve yardımları ile her türlü desteği veren, engin bilgileriyle beni yönlendiren ve özellikle böylesi önemli bir konuda doktora tezi yapmamı sağlayan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet KARATAŞ'a (Necmettin Erbakan Üniversitesi, Biyoteknoloji Bölümü), çalışmamın her aşamasında yardım ve desteğini gördüğüm, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım tez izleme komitemdeki jüri üyelerimden Sayın Doç. Dr. Muhammad AASIM'a (Necmettin Erbakan Üniversitesi, Biyoteknoloji Bölümü) ve bilgi, yardım ve hoşgörüsüyle hertürlü desteği veren Sayın Yrd. Doç. Dr. Allah BAKHSH'a (Ömer Halisdemir Üniversitesi, Tarımsal Genetik Mühendisliği Bölümü) sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarım ve tez yazım aşamasında göstermiş olduğu katkı ve yardımlarından dolayı Sayın Yrd. Doç. Dr. Buğrahan EMSEN'e (Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Biyoloji Bölümü), ağır metal analizlerindeki yardımlarından dolayı Sayın Uzman Hacer Sibel KARAPINAR'a (Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi - BİLTEM) ve tüm laboratuvar arkadaşlarıma doğrudan veya dolaylı katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Büyük fedakarlıklar göstererek eğitimimi gerçekleştirmemi sağlayan, beni bugünlere getiren, maddi ve manevi olarak hep yanımda olan çok değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarım boyunca göstermiş olduğu sabır, hoşgörü ve desteklerinden ve bana olan inancından dolayı sevgili eşim Emine ÇİÇEK DOĞAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Muhammet DOĞAN

Temmuz, 2017

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖN SÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ÖZETLERİ	6
2.1. Kuramsal Temeller	6
2.1.1. Bitki Doku Kültürü ile Üretim.....	6
2.1.2. Su Bitkilerinin Üretiminde LED Işık Sistemlerinin Önemi.....	7
2.1.3. Ağır Metaller ve Özellikleri.....	7
2.1.4. Fitoremediasyon ve Fitoremediasyon Çeşitleri	9
2.2. Kaynak Araştırması	12
2.2.1. Su Bitkilerinde Bitki Doku Kültürü Çalışmaları	12
2.2.2. Su Bitkilerinin <i>In Vitro</i> Çoğaltımda LED'lerin Kullanımı.....	15
2.2.3. Su Bitkilerinde Fitoremediasyon Çalışmaları.....	16
3. MATERYAL ve METOT	25
3.1. Deneme Yeri.....	25
3.2. Bitki Materyali	25
3.3. Besin Ortamlarının Hazırlanması ve Kültür Koşulları	26
3.4. Bitki Büyüme Düzenleyicilerinin Hazırlanması ve Saklama Koşulları	26
3.5. <i>P. erectus</i> için Doku Kültürü Çalışmaları.....	28
3.5.1. Eksplant Yüzey Sterilizasyonu	28
3.5.2. Eksplant İzolasyonu ve Kültürü.....	28
3.5.3. Rejenere Sürgünlerinin Köklendirilmesi	28
3.6. <i>C. demersum</i> için Doku Kültürü Çalışmaları.....	28
3.7. Farklı LED Işık Ortamlarında Bitkilerin Sürgün Rejenerasyonu	29

3.8. Adaptasyon	29
3.9. Fitoremediasyon Çalışmaları	30
3.9.1. <i>In Vitro</i> Üretilen Bitkilerin Deneye Hazırlanması	30
3.9.2. Stok Çözeltilerin Hazırlanması	30
3.9.3. Doz Belirleme Çalışması	30
3.9.4. Fitoremediasyon için Sıcaklık ve pH Belirlenmesi	32
3.9.5. Bitkilerin Muamele Ortamı ve Deney Düzeneği	32
3.9.6. Bitki Örneklerinin Alımı ve Analizi	33
3.10. Farklı Işık Ortamlarının Atık Sulardaki Kadmiyum, Krom ve Kurşunun Uzaklaştırılmasına Etkileri	35
3.11. Fizyolojik ve Biyokimyasal Parametrelerin Değerlendirilmesi.....	35
3.11.1. Biyokonsantrasyon Faktörünün (BKF) Hesaplanması	35
3.11.2. Taze ve Kuru Ağırlık Miktarının Ölçülmesi.....	36
3.11.3. Fotosentetik Pigment Analizi.....	36
3.11.4. Protein Analizi	37
3.11.5. Lipit Peroksidasyonunun Belirlenmesi.....	37
3.12. İstatistiksel Analizler	37
4.1. <i>P. erectus</i> için Doku Kültürü Çalışmaları.....	38
4.1.1. <i>P. erectus</i> 'un Yüzey Sterilizasyon Çalışmaları	38
4.1.2. Farklı KIN-NAA Dozlarının <i>P. erectus</i> 'un Sürgün Ucu ve Boğum Eksplantlarından Sürgün Rejenerasyonu	41
4.1.3. Farklı TDZ-NAA Dozlarının <i>P. erectus</i> 'un Sürgün Ucu ve Boğum Eksplantlarından Sürgün Rejenerasyonu	44
4.1.4. Farklı BAP-NAA Dozlarının <i>P. erectus</i> 'un Sürgün Ucu ve Boğum Eksplantlarından Sürgün Rejenerasyonu	47
4.1.5. Farklı LED Işık Ortamlarında <i>P. erectus</i> 'un Sürgün Ucu Eksplantlarından Sürgün Rejenerasyonu	50
4.1.6. <i>P. erectus</i> 'un <i>In Vitro</i> Köklendirilmesi	55
4.1.7. <i>P. erectus</i> 'un Dış Koşullara Adaptasyonu.....	57
4.2. <i>C. demersum</i> için Doku Kültürü Çalışmaları.....	57
4.2.1. Farklı LED Işık Ortamlarında <i>C. demersum</i> 'un Sürgün Ucu Eksplantlarından Sürgün Rejenerasyonu	57
4.3. <i>C. demersum</i> ve <i>P. erectus</i> için Fitoremediasyon Çalışmaları	62

4.3.1. Cd, Cr ve Pb için Uygun Doz Belirlenmesi.....	62
4.3.2. Fitoremediasyon için Sıcaklık Belirlenmesi.....	68
4.3.3. Fitoremediasyon için pH Belirlenmesi.....	70
4.3.4. <i>C. demersum</i> ile İlgili Fitoremediasyon Çalışmaları.....	72
4.3.5. <i>P. erectus</i> ile İlgili Fitoremediasyon Çalışmaları.....	75
4.4. Biyokonsantrasyon Faktörü (BKF).....	78
4.4.1. <i>C. demersum</i> 'un Biyokonsantrasyon Faktörü.....	78
4.4.2. <i>P. erectus</i> Biyokonsantrasyon Faktörü.....	81
4.5. Taze ve Kuru Ağırlık Miktarı.....	84
4.5.1. <i>C. demersum</i> için Taze ve Kuru Ağırlık Miktarı.....	84
4.5.2. <i>P. erectus</i> için Taze ve Kuru Ağırlık Miktarı.....	90
4.6. Fotosentetik Pigment Tayini.....	97
4.6.1. <i>C. demersum</i> Fotosentetik Pigment İçerikleri.....	97
4.6.2. <i>P. erectus</i> Fotosentetik Pigment İçerikleri.....	107
4.7. Protein İçeriği.....	116
4.7.1. <i>C. demersum</i> 'un Protein İçerikleri.....	116
4.7.2. <i>P. erectus</i> 'un Protein İçerikleri.....	119
4.8. Lipit Peroksidasyonunun Belirlenmesi.....	122
4.8.1. <i>C. demersum</i> 'un Lipit Peroksidasyonunun Belirlenmesi.....	122
4.8.2. <i>P. erectus</i> 'un Lipit Peroksidasyonunun Belirlenmesi.....	125
4.9. Farklı Işık Ortamlarının Fitoremediasyon Üzerine Etkileri.....	128
4.9.1. Bitkilerin Ağır Metal Akümüasyonu.....	128
4.9.2. Suda Kalan Ağır Metal Miktarları.....	136
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	145
6. KAYNAKLAR	165
EKLER	182
EK 1.....	183
EK 2.....	184
EK 3.....	185
EK 4.....	186
EK 5.....	187
EK 6.....	188
EK 7.....	189

EK 8	190
EK 9	191
EK 10	192
EK 11	193
EK 12	194
EK 13	195
EK 14	196
EK 15	197
EK 16	198
EK 17	199
EK 18	200
ÖZGEÇMİŞ	201

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 : Su bitkileri tarafından uzaklaştırılan bazı metaller	2
Çizelge 1.2 : Doğal sularda bulunan bazı toksik metallerin sebep olduğu potansiyel insan sağlığı problemleri	3
Çizelge 1.3 : Temel endüstrilerden atılan metal türleri	3
Çizelge 1.4 : Atık suların arıtımında kullanılan yöntemler	4
Çizelge 3.1 : Murashige ve Skoog (1962) ortamında bulunan maddeler ve konsantrasyonları	27
Çizelge 3.2 : Denemelerde kullanılan büyüme düzenleyicilerinin çözücüleri, stok oranı, sterilizasyon yöntemleri ve saklama koşulları	27
Çizelge 3.3 : <i>In vitro</i> sürgün rejenerasyonu için kullanılan farklı ışık ortamları.....	29
Çizelge 3.4 : Cd, Cr ve Pb için doz belirleme çalışmasında uygulanan konsantrasyonlar	31
Çizelge 3.5 : Farklı sıcaklık ve pH çalışmalarında <i>C.demersum</i> ve <i>P. erectus</i> 'a uygulanan metal konsantrasyonları	32
Çizelge 3.6 : <i>C.demersum</i> ve <i>P. erectus</i> 'a uygulanan metal konsantrasyonları .	33
Çizelge 3.7 : Perkin Elmer PinAAcle 900T AAS'da okunan elementlerin dalga boyu, slit aralığı, akım şiddeti ve okuma sayısı	33
Çizelge 4.1 : Farklı konsantrasyonlarda uygulanan çamaşır suyunun <i>P. erectus</i> 'un yüzey sterilizasyonuna ve eksplant gelişimine etkisi .	38
Çizelge 4.2 : Farklı konsantrasyonlarda uygulanan hidrojen peroksitin <i>P. erectus</i> 'un yüzey sterilizasyonuna ve eksplant gelişimine etkisi	40
Çizelge 4.3 : Farklı KIN-NAA dozlarının <i>P. erectus</i> 'un sürgün ucu ve boğum eksplantlarından sürgün rejenerasyonuna ait varyans analizi	42
Çizelge 4.4 : Farklı KIN-NAA dozlarının <i>P. erectus</i> 'un sürgün ucu ve boğum eksplantlarında sürgün rejenerasyonuna etkisi	43
Çizelge 4.5 : Farklı TDZ-NAA dozlarının <i>P. erectus</i> 'un sürgün ucu ve boğum eksplantlarından sürgün rejenerasyonuna ait varyans analizi	45

Çizelge 4.6 :	Farklı TDZ-NAA dozlarının <i>P. erectus</i> 'un sürgün ucu ve boğum eksplantlarında sürgün rejenerasyonuna etkisi	46
Çizelge 4.7 :	Farklı BAP-NAA dozlarının <i>P. erectus</i> 'un sürgün ucu ve boğum eksplantlarından sürgün rejenerasyonuna ait varyans analizi	48
Çizelge 4.8 :	Farklı BAP-NAA dozlarının <i>P. erectus</i> 'un sürgün ucu ve boğum eksplantlarında sürgün rejenerasyonuna etkisi	49
Çizelge 4.9 :	Farklı BAP ve ışık ortamlarının <i>P. erectus</i> 'un sürgün ucu eksplantlarından sürgün rejenerasyonuna ait varyans analizi	51
Çizelge 4.10 :	Farklı BAP ve ışık ortamlarının <i>P. erectus</i> 'un sürgün ucu eksplantlarından sürgün rejenerasyonuna etkisi	52
Çizelge 4.11 :	Farklı IAA, IBA ve NAA dozlarının <i>P. erectus</i> sürgünlerinin <i>in vitro</i> köklendirilmesine ait varyans analizi	55
Çizelge 4.12 :	Farklı IAA, IBA ve NAA dozlarının <i>P. erectus</i> sürgünlerinin <i>in vitro</i> köklendirilmesi üzerine etkisi	56
Çizelge 4.13 :	Farklı BAP ve ışık ortamlarının <i>C. demersum</i> 'un sürgün ucu eksplantlarından sürgün rejenerasyon yüzdesine ait varyans analizi	58
Çizelge 4.14 :	Farklı BAP ve ışık ortamlarının <i>C. demersum</i> 'un sürgün ucu eksplantlarından sürgün rejenerasyonuna etkisi	60
Çizelge 4.15 :	Cd, Cr ve Pb uygulanmış <i>C. demersum</i> 'un EC değerleri	64
Çizelge 4.16 :	Cd, Cr ve Pb uygulanmış <i>P. erectus</i> 'un EC değerleri	66
Çizelge 4.17 :	Farklı sıcaklıklarda Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>C. demersum</i> 'un metal birikimine ait varyans analizi	68
Çizelge 4.18 :	Farklı sıcaklıklarda Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>C. demersum</i> 'un metal birikimi	68
Çizelge 4.19 :	Farklı sıcaklıklarda Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>P. erectus</i> 'un metal birikimine ait varyans analizi	69
Çizelge 4.20 :	Farklı sıcaklıklarda Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>P. erectus</i> 'un metal birikimi	69
Çizelge 4.21 :	Farklı pH'larda Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>P. erectus</i> 'un metal birikimine ait varyans analizi	70
Çizelge 4.22 :	Farklı pH'larda Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>C. demersum</i> 'un metal birikimi	71

Çizelge 4.23 : Farklı pH'larda Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>P. erectus</i> 'un metal birikimine ait varyans analizi	71
Çizelge 4.24 : Farklı pH'larda Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>P. erectus</i> 'un metal birikimi	72
Çizelge 4.25 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>C. demersum</i> 'un ağır metal birikimine ait varyans analizi	72
Çizelge 4.26 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>P. erectus</i> 'un ağır metal birikimine ait varyans analizi	75
Çizelge 4.27 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>C. demersum</i> 'un biyokonsantrasyon faktörü (BKF)'ne ait varyans analizi	78
Çizelge 4.28 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>P. erectus</i> 'un biyokonsantrasyon faktörü (BKF)'ne ait varyans analizi	81
Çizelge 4.29 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>C. demersum</i> 'un taze ağırlıklarına ait varyans analizi	84
Çizelge 4.30 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>C. demersum</i> 'un kuru ağırlıklarına ait varyans analizi	87
Çizelge 4.31 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>P. erectus</i> 'un taze ağırlıklarına ait varyans analizi	91
Çizelge 4.32 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>P. erectus</i> 'un kuru ağırlıklarına ait varyans analizi	94
Çizelge 4.33 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd uygulanan <i>C. demersum</i> 'un fotosentetik pigment içeriğine ait varyans analizi .	97
Çizelge 4.34 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cr uygulanan <i>C. demersum</i> 'un fotosentetik pigment içeriğine ait varyans analizi	100
Çizelge 4.35 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Pb uygulanan <i>C. demersum</i> 'un fotosentetik pigment içeriğine ait varyans analizi	103
Çizelge 4.36 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd uygulanan <i>P. erectus</i> 'un fotosentetik pigment içeriğine ait varyans analizi	107
Çizelge 4.37 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cr uygulanan <i>P. erectus</i> 'un fotosentetik pigment içeriğine ait varyans analizi	110
Çizelge 4.38 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Pb uygulanan <i>P. erectus</i> 'un fotosentetik pigment içeriğine ait varyans analizi	113

Çizelge 4.39 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>C. demersum</i> 'un protein içeriklerine ait varyans analizi	116
Çizelge 4.40 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>P. erectus</i> 'un protein içeriklerine ait varyans analizi	119
Çizelge 4.41 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>C. demersum</i> 'un MDA içeriklerine ait varyans analizi	122
Çizelge 4.42 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>P. erectus</i> 'un MDA içeriklerine ait varyans analizi	125
Çizelge 4.43 : Farklı ışık ortamları altındaki <i>C. demersum</i> 'un Cd miktarına ait varyans analizi	128
Çizelge 4.44 : Farklı ışık ortamları altındaki <i>C. demersum</i> 'un Cr miktarına ait varyans analizi	129
Çizelge 4.45 : Farklı ışık ortamları altındaki <i>C. demersum</i> 'un Pb miktarına ait varyans analizi	131
Çizelge 4.46 : Farklı ışık ortamları altındaki <i>P. erectus</i> 'un Cd miktarına ait varyans analizi	132
Çizelge 4.47 : Farklı ışık ortamları altındaki <i>P. erectus</i> 'un Cr miktarına ait varyans analizi	133
Çizelge 4.48 : Farklı ışık ortamları altındaki <i>P. erectus</i> 'un Pb miktarına ait varyans analizi	134
Çizelge 4.49 : Farklı ışık ortamları altında <i>C. demersum</i> uygulanmış atık sudaki Cd miktarına ait varyans analiz	136
Çizelge 4.50 : Farklı ışık ortamları altında <i>C. demersum</i> uygulanmış atık sudaki Cr miktarına ait varyans analizi	137
Çizelge 4.51 : Farklı ışık ortamları altında <i>C. demersum</i> uygulanmış atıksudaki Pb miktarına ait varyans analizi	139
Çizelge 4.52 : Farklı ışık ortamları altında <i>P. erectus</i> uygulanmış atıksudaki Cd miktarına ait varyans analizi	140
Çizelge 4.53 : Farklı ışık ortamları altında <i>P. erectus</i> uygulanmış atıksudaki Cr miktarına ait varyans analizi	142
Çizelge 4.54 : Farklı ışık ortamları altında <i>P. erectus</i> uygulanmış atıksudaki Pb miktarına ait varyans analizi	143

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 : SINEO MDS-10 mikrodalga fırınına yerleştirilen örnekler	34
Şekil 3.2 : Ağır metal analizinde kullanılan Perkin Elmer PinAAcle 900T AAS cihazı	34
Şekil 3.3 : Etüvde kurumaya bırakılan bitkiler	36
Şekil 3.4 : Spektrofotometrik ölçümlerin yapıldığı cihaz (Thermo Fisher Scientific, Multiskan Go)	36
Şekil 4.1 : %30'luk çamaşır suyunun uygulandığı ortamda <i>P. erectus</i> 'un yüzey sterilizasyonu	39
Şekil 4.2 : %10'luk hidrojen peroksit uygulandığı ortamda <i>P. erectus</i> 'un yüzey sterilizasyonu	41
Şekil 4.3 : 1 mg/L KIN ve 0,25 mg/L NAA dozlarının <i>P. erectus</i> 'un boğum eksplantlarından sürgün rejenerasyonu	42
Şekil 4.4 : 0,25 mg/L TDZ ve 0,25 mg/L NAA dozlarının <i>P. erectus</i> 'un boğum eksplantlarından sürgün rejenerasyonu	45
Şekil 4.5 : 0,25 mg/L BAP dozlarının <i>P. erectus</i> 'un sürgün ucu eksplantlarından sürgün rejenerasyonu	48
Şekil 4.6 : 2K:1M LED ışık ortamı altında <i>P. erectus</i> 'un sürgün ucu eksplantlarından sürgün rejenerasyonu	55
Şekil 4.7 : <i>P. erectus</i> rejenere sürgünlerinin <i>in vitro</i> koşullarda köklendirilmesi ve akvaryuma adaptasyonu	57
Şekil 4.8 : 2K:1M LED ışık ortamı altında <i>C. demersum</i> 'un sürgün ucu eksplantlarından sürgün rejenerasyonu	62
Şekil 4.9 : Ağır metal uygulamasından etkilenen <i>C. demersum</i>	65
Şekil 4.10 : Ağır metal uygulamasından etkilenen <i>P. erectus</i>	67
Şekil 4.11 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>C. demersum</i> 'un ağır metal miktarları	74
Şekil 4.12 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>P. erectus</i> 'un ağır metal miktarları	76

Şekil 4.13 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>C. demersum</i> 'un biyokonsantrasyon faktörü (BKF)	80
Şekil 4.14 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>P. erectus</i> 'un biyokonsantrasyon faktörü (BKF)	82
Şekil 4.15 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>C. demersum</i> 'un taze ağırlıkları	86
Şekil 4.16 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>C. demersum</i> 'un kuru ağırlıkları	89
Şekil 4.17 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>P. erectus</i> 'un taze ağırlıkları	92
Şekil 4.18 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>P. erectus</i> 'un kuru ağırlıkları	95
Şekil 4.19 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd uygulanan <i>C. demersum</i> 'un fotosentetik pigment içerikleri	99
Şekil 4.20 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cr uygulanan <i>C. demersum</i> 'un fotosentetik pigment içerikleri	102
Şekil 4.21 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Pb uygulanan <i>C. demersum</i> 'un fotosentetik pigment içerikleri	106
Şekil 4.22 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd uygulanan <i>P. erectus</i> 'un fotosentetik pigment içerikleri	109
Şekil 4.23 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cr uygulanan <i>P. erectus</i> 'un fotosentetik pigment içerikleri	112
Şekil 4.24 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Pb uygulanan <i>P. erectus</i> 'un fotosentetik pigment içerikleri	115
Şekil 4.25 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>C. demersum</i> 'un protein içerikleri	118
Şekil 4.26 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>P. erectus</i> 'un protein içerikleri	121
Şekil 4.27 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>C. demersum</i> 'un MDA içerikleri	124
Şekil 4.28 : Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan <i>P. erectus</i> 'un MDA içerikleri	127

Şekil 4.29 : Farklı ışık ortamları altındaki <i>C. demersum</i> 'un Cd miktarı	129
Şekil 4.30 : Farklı ışık ortamları altındaki <i>C. demersum</i> 'un Cr miktarı	130
Şekil 4.31 : Farklı ışık ortamları altındaki <i>C. demersum</i> 'un Pb miktarı	131
Şekil 4.32 : Farklı ışık ortamları altındaki <i>P. erectus</i> 'un Cd miktarı	132
Şekil 4.33 : Farklı ışık ortamları altındaki <i>P. erectus</i> 'un Cr miktarı	134
Şekil 4.34 : Farklı ışık ortamları altındaki <i>P. erectus</i> 'un Pb miktarı	135
Şekil 4.35 : Farklı ışık ortamları altında <i>C. demersum</i> uygulanmış atıksudaki Cd miktarı	137
Şekil 4.36 : Farklı ışık ortamları altında <i>C. demersum</i> uygulanmış atıksudaki Cr miktarı	138
Şekil 4.37 : Farklı ışık ortamları altında <i>C. demersum</i> uygulanmış atıksudaki Pb miktarı	139
Şekil 4.38 : Farklı ışık ortamları altında <i>P. erectus</i> uygulanmış atık sudaki Cd miktarı	141
Şekil 4.39 : Farklı ışık ortamları altında <i>P. erectus</i> uygulanmış atıksudaki Cr miktarı	142
Şekil 4.40 : Farklı ışık ortamları altında <i>P. erectus</i> uygulanmış atık sudaki Pb miktarı	144

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

g, mg, µg
cm, mm, nm
°C
mA, W
nmol
Cd
Cd(NO₃)₂·4H₂O
Cr
Cr(NO₃)₃·9H₂O
HCl
HNO₃
H₂O₂
HgCl₂
H₂SO₄
L, ml, µM, M
NaOCl
NaOH
Pb
Pb(NO₃)₂

Kısaltmalar

AAS
BAP
BKF
2,4-D
EC
IBA
IAA
B, K, M, F
k.a, t.a
KIN
K.O.
LED
MB
MDA
MS
MSO
NAA
S.D.
TBA
TCA
TDZ
V.K.

Açıklamalar

Gram, Miligram, Mikrogram
Santimetre, Milimetre, Nanometre
Derece
Miliamper, Watt
Nanomol
Kadmiyum
Kadmiyum Nitrat Tetrahidrat
Krom
Krom (III) Nitrat Nonahidrat
Hidroklorik Asit
Nitrik Asit
Hidrojen Peroskit
Civa Klorit
Sülfirik Asit
Litre, Mililitre, Mikro Molar, Molar
Sodyum Hipoklorit
Sodyum Hidroksit
Kurşun
Kurşın (II) Nitrat

Açıklamalar

Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre
6-Benzilaminopurin
Biyokonsantrasyon Faktörü
2, 4-Diklorofenoksi Asetik Asit
Etkili Konsantrasyon
Indol-3-Butirik Asit
Indol-3-Asetik Asit
Beyaz LED, Kırmızı LED, Mavi LED, Beyaz
Flouresan
Kuru Ağırlık, Taze Ağırlık
Kinetin
Kareler Ortalaması
Light Emitting Diode, Işık Yayan Diyot
Metal belirlenemedi
Malondialdehit
Murashige ve Skoog Temel Besin Ortamı
Hormonsuz Murashige ve Skoog Besin Ortamı
Naftalin Asetik Asit
Serbestlik Derecesi
Tiobarbütirik Asit
Trikloro Asetik Asit
Thidazuron (Fenil-3-1,2,3-thidiazol-5-il) üre
Varyasyon Kaynakları

1. GİRİŞ

Su bitkileri ile ağır metallerin su ortamlarından uzaklaştırılması etkili, ucuz, çevre dostu ve kolay uygulanabilen bir yöntemdir (Ustaoğlu ve ark., 2015). Su bitkileri, su ortamında bulunan metal iyonlarını ve toksinleri bünyelerine alarak biyolojik filtre görevi görürler. Ayrıca su bitkileri ortamdaki azot ve fosfor gibi besin iyonlarının ve metallerin konsantrasyonunu azaltabilmekte ve su ortamının kontrolü için kullanılabilir. Birçok serbest yüzen, emers (su üstüne çıkan) ve submers (su altı) su bitkilerinin ağır metalleri biriktirdiği bildirilmiştir (Çizelge 1.1). Submers bitkiler biyomaslarında daha fazla oranda ağır metal akümüle edebildiklerinden, su ortamındaki ağır metal kirliliğinin uzaklaştırılmasında daha faydalıdır. Çok düşük oranlardaki ağır metalleri bile biriktirme yeteneklerinden dolayı su bitkileri, kirliliklerin izlenmesinde indikatör olarak da kullanılabilir (Thiebaut, 2009).

Ağır metaller, besin zinciri yoluyla insan sağlığı üzerinde olumsuz etki göstermekte ve çevrede yüksek kalıcılık özelliği nedeniyle ekolojik açıdan ciddi tehlikeler oluşturmaktadır (Mishra ve ark., 2006). Ağır metallerin düşük konsantrasyonları bile insan sağlığı üzerinde toksik ve zehir etkisi (Çizelge 1.2) gösterebilir (Arora ve ark., 2008; Memon ve Schröder, 2009; Yousefi ve ark., 2016; Zheng ve ark., 2016). Organik kirlenici maddelerin aksine ağır metaller, biyolojik olarak parçalanamaz ve canlı organizmalarda birikme eğilimindedir. Birçok ağır metal iyonlarının toksik ve kanserojen olduğu bildirilmiştir. Çinko, bakır, nikel, cıva, kadmiyum, kurşun ve krom gibi ağır metalleri içeren endüstri atıksuları çevre için oldukça kaygı vericidir (Fu ve Wang, 2011).

Ağır metaller insanlar üzerinde olduğu kadar bitkiler içinde toksik etkiler gösterir. Bitkilerin ağır metale birincil tepkisi, reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretilmesidir. Hücreler içerisinde oluşan aşırı ROS, hücrel amino asitlerin, proteinlerin, membran lipidlerinin ve DNA'nın oksidasyonu ve modifikasyonuna neden olabilir. Ayrıca büyümede yavaşlama, kloroz, fotosentez inhibisyonu ve ölüme neden olabilir (Yadav, 2010).

Çizelge 1.1. Su bitkileri tarafından uzaklaştırılan bazı metaller (Thiebaut (2009)'dan değiştirilerek alınmıştır)

Serbest yüzen su bitkileri	Metaller
<i>Eichhornia crassipes</i>	Pb, Cr, Cu, Cd, Zn, Mn, Ag
<i>Ludwigia sp,</i>	Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Hg
<i>Salvinia herzogii</i>	Cr, Cd
<i>Pistia stratiotes</i>	Cd, Hg, Cr
<i>Azolla spp,</i>	Hg, Cr
<i>Lemna minor</i>	Ni, Cd, Zn, Al
<i>Lemna spp,</i>	Pb
Submers (su altı) su bitkileri	Metaller
<i>Hydrilla verticillata</i>	Cu, Cd
<i>Elodea canadensis</i>	Cd, Pb, Cu, Ni, Cr, Co, Cu, Mn, Al, Zn
<i>Elodea nuttallii</i>	Cd, Pb, Cu, Zn
<i>Ceratophyllum demersum</i>	Ni, Cr, Co, Zn, Mn, Pb, Cd, Hg, Fe
<i>Myriophyllum sp,</i>	Cu, Zn, Pb, Cd, Ni
<i>Groenlandia densa</i>	Cd, Cu
<i>Potamogeton spp,</i>	Pb, Zn, Cu, Cd, Mn, Ni
<i>Potamogeton natans</i>	Zn, Cu, Cd, Mn, Ni
<i>Potamogeton lucens</i>	Pb, Zn, Cr, Cu, Ni, Cd, Mn
<i>Potamogeton pectinatus</i>	Cd, Pb, Cr, Ni, Zn, Cu, Mn
<i>Hydrophila polysperma</i>	Cu, Zn, Pb, Cd, Ni
<i>Hydromistia stolonifera</i>	Cd
<i>Ipomea aquatica</i>	Hg
Emers (su üstüne çıkan) su bitkileri	Metaller
<i>Typha latifolia</i>	Ni, Cr, Co, Zn, Mn, Pb, Cd, Hg, Fe
<i>Typha angustifolia</i>	Cd, Pb, Ni, Zn, Cu
<i>Phragmites australis</i>	Ni, Cr, Co, Zn, Mn, Pb, Cd, Hg, Fe

Gelişmekte olan ülkelerde metal kaplama tesisleri, madencilik faaliyetleri, gübre endüstrisi, deri işleme, kağıt sanayi, pil üretimi gibi endüstriyel faaliyetlerin hızla artması ile birlikte ağır metallerin çevreye yayılımı giderek artmaktadır (Fu ve Wang, 2011). Çizelge 1.3'te de görüldüğü gibi Cd, Cr ve Pb metalleri endüstriler ve antropojenik faaliyetler sonucu çevreye en fazla yayılım gösteren toksik elementler arasındadır. Demir-çelik sanayi, termik santraller ve gübre sanayi oldukça fazla çeşitte ağır metalin yayılmasına neden olarak su ortamının kirlenmesine sebep olmaktadır.

Çizelge 1.2. Doğal sularda bulunan bazı toksik metallerin sebep olduğu potansiyel insan sağlığı problemleri (Dodds ve Whiles, 2010'dan değiştirilerek alınmıştır.)

Metal	Kimyasal Sembolü	Akut Zehirlenmeye Karşı Bazı Tepkiler	Bazı Kronik Etkiler
Civa	Hg	10 gün içinde ölüm, Şiddetli bulantı, Karın ağrısı, Kanlı ishal, Böbrek hasarı	Diş kaybı, Böbrek hasarı, Kas titremesi, Spazm, Depresyon, Sinirlilik, Doğum kusurları
Kurşun	Pb	İştahsızlık, Kusma, Halsizlik, Çarpıntı, Beyin hasarı	Kilo kaybı, Halsizlik, Anemi
Kadmium	Cd		Kanser, Boğaz kuruluğu, Baş ağrısı, Kusma
Selenyum	Se		Sinirlilik, Depresyon, Karaciğer hasarı (Bu düşük miktarda esansiyel bir elementtir fakat daha fazla konsantrasyonlarda toksiktir)
Talyum	Tl	Bulantı, Kusma, İshal, Ekstremitelerde karıncalanma ve ağrı, Halsizlik, Koma, Koma, Çarpıntı, Ölüm	
Nikel	Ni		Kanser, Deri iltihabı, Bulantı, Kusma, İshal,
Gümüş	Ag		Mavimsi cilt rengi, Cilt ve mukoza membranı tahrişi
Manganez	Mn		Bitkinlik, Uykusuzluk, Halsizlik, Duygu bozukluğu, Felç
Krom	Cr		Kanser, Deri ve Solunum rahatsızlıkları, Böbrek rahatsızlığı
Baryum	Ba	Aşırı Kusma, Şiddetli ishal, Titreme, Ölüm	

Çizelge 1.3. Temel endüstrilerden atılan metal türleri (Okcu ve ark., 2009)

Endüstriler	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Sn	Zn
Kağıt Endüstrisi	-	+	+	+	+	+	-	-
Petro kimya	+	+	-	+	+	-	+	+
Klor-alkali Üretimi	+	+	-	+	+	-	+	+
Gübre Sanayi	+	+	+	+	+	+	-	+
Demir-Çelik San	+	+	+	+	+	+	+	+
Enerji Üretimi (Termik)	+	+	+	+	+	+	+	+

Su kirliliğinin ve atık suların arıtımında biyolojik, kimyasal ve fiziksel birçok metot kullanılmaktadır (Çizelge 1.4). Biyolojik arıtma yöntemleri arasında bulunan fitoremediasyon diğer arıtım tekniklerine göre güncel, düşük maliyetli, etkili, çevre dostu ve *in situ* uygulanabilir bir tekniktir ve ağır metal sorunu için en önemli çözümlerin başında gelmektedir. Fitoremediasyon, temelde bitkiler kullanılarak ortamdaki kirliliklerin konsantrasyonlarını ve toksik etkilerini azaltmak anlamına gelmekte olup bu yöntem ile ağır metaller, radyonüklidler ve organik kirlilikler (polinükleer aromatik hidrokarbonlar, poliklorlu bifeniller ve pestisitler gibi) uzaklaştırılmaktadır (Ali ve ark., 2013a; Favas ve ark., 2014; Padmavathiamma ve ark., 2014).

Çizelge 1.4. Atık suların arıtımında kullanılan yöntemler (Anonim, 2011 (Milli Eğitim Bakanlığı); Hamutoğlu ve ark., 2012)

Biyolojik	Kimyasal	Fiziksel
Biyolojik filtre	Koagülasyon	Izgaralar
Aktif çamur ve modifikasyonlar	Floklaştırma	Dengeleme havuzları
Stabilizasyon modifikasyonlar	İyon değiştiriciler	Kum tutucular
Anaerobik sistem	Klorlama	Çökeltme tankları
Biyosorpsiyon, Adsorpsiyon ve Fitoremediasyon	Ozonlama	Filtrasyon havuzları

Ekonomik açıdan değerlendirildiğinde fitoremediasyonun faydaları: (i) riski sınırlandırması (fitostabilizasyon), (ii) nikel, talyum ve altın gibi piyasada değerli metallerin fitoekstrasyonu, (iii) dayanıklı arazi yönetimi; fitoekstrasyon ile arazi kalitesi artırılarak yüksek piyasa ürünlerin daha sonraki ekimine olanak sağlanır. Fitoremediasyon kimyasal arıtmalara alternatif “yeşil ıslah” olarak genel kamuoyunda oldukça ilgi görmektedir (Ali ve ark., 2013a).

Bu tez çalışmasının amaçları;

- *Pogostemon erectus* (Dalzell) Kuntze’un doku kültürü teknikleri ile hızlı ve çoklu üretimini gerçekleştirmek.
- Farklı LED (ışık yayan diyotlar) ışık sistemlerinin *Ceratophyllum demersum* L. ve *P. erectus*'un *in vitro* üretimi üzerine etkilerini belirlemek.

- *In vitro* koşullarda üretilen *C. demersum* ve *P. erectus* bitkilerinin kadmiyum (Cd), krom (Cr) ve kurşun (Pb) için fitoremediasyon kapasitelerini araştırmak.
- Farklı LED ışık sistemlerinin atıksudaki Cd, Cr ve Pb ağır metallerinin *C. demersum* ve *P. erectus* tarafından akümülasyonu ve uzaklaştırılması üzerine etkilerini araştırmak.



2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Kuramsal Temeller

2.1.1. Bitki Doku Kültürü ile Üretim

Bitki doku kültürü, ana bitkiden izole edilen bitki parçalarının steril koşullar altında yapay bir besin ortamında büyütülmesi olarak tanımlanmıştır. Bu teknik esas olarak bitki hücresinin totipotensi özelliğine bağlıdır. Totipotensi, tek bir hücrenin hücre bölünmeleriyle tüm genomu oluşturma yeteneğidir (Neumann ve ark., 2009; Hussain ve ark., 2012).

Bitki doku kültürü ortamı bir bitkinin normal olarak gelişebilmesi ve büyümesi için gerekli tüm besinleri içermelidir. Bu besin ortamı temelde; makrobesinler, mikrobesinler, vitaminler, diğer organik bileşenler, bitki büyüme düzenleyicileri, karbon kaynağı ve bazı jelleştirme ajanlarından (katılaştırma durumlarında) oluşmaktadır (Murashige ve Skoog, 1962). Birçok bitki türünün *in vitro* üretiminde en fazla kullanılan besin ortamı Murashige ve Skoog (MS) besin ortamıdır. Besin ortamının pH'ı bitki büyüme düzenleyicilerin aktivitelerini ve bitkilerin büyümesini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle besin ortamının pH'ı 5,4-5,8 arasında ayarlanmaktadır. Ayrıca besin ortamlarında bitki parçaları (eksplant), bitki büyüme düzenleyicileri ve azot kaynakları da sürgün rejenerasyonu için oldukça önemlidir. Oksinler, sitokinler ve giberellinler en yaygın kullanılan bitki büyüme düzenleyicileridir. Kullanılacak hormonun çeşiti ve konsantrasyonu kültüre alınacak bitkinin türüne, eksplant çeşidine ve deneyin amacına bağlı olarak değişebilir (Hussain ve ark., 2012). Ayrıca eksplant çeşidinin (sürgün ucu, boğum, boğum arası, yaprak vd.) doğru seçilmesi doku kültürünün başarısı üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Bu nedenle doku kültüründe kullanılacak eksplant çeşidi, başlatılacak kültür çeşidine, önerilen kültürün amacına ve kullanılan bitki türüne bağlı olarak değişebilir (George ve ark., 2008).

Doku kültürü çalışmalarının ilk ve en önemli aşamalarından biri sterilizasyondur. Kültür çalışmalarına başlamadan önce besin ortamının, çalışma ortamının ve bitki materyalinin steril edilmesi gerekmektedir. Besin ortamı, şeker ve diğer organik ve inorganik besin

maddeleri açısından zengin olduğu için mantar ve bakteri gibi mikroorganizmaların çoğalmasını da destekler. Besin ortamı içerisindeki mikroorganizmalar, bitki dokularından daha hızlı çoğalarak bitkilerin üzerini sarar ve onların ölümüne sebep olurlar. Bu nedenle, kültür ortamının sterilizasyonunun sağlanması çok önemlidir (Bhojwani ve Dantu, 2013).

2.1.2. Su Bitkilerinin Üretiminde LED Işık Sistemlerinin Önemi

Işık yayan diyotlar (LED), yarı iletkenlerin benzersiz bir tipidir ve yayılan ışığın dalga boyu (rengi) yarı iletken malzeme özelliklerine bağlıdır (Olle ve Viršilė, 2013). LED'ler istenen yönde yüksek düzeyde ışık yayabildikleri gibi spesifik renkte ışık da yayabilirler. Bitki üretiminde kullanılan diğer ışık kaynaklarında istenmeyen renkler filtrelenir ki bu durum boşa enerji harcamasına neden olur. LED ışıklarda ise herhangi bir filtreleme olmaksızın saf renkte ışıklar üretilir (Dănilă ve Lucache, 2013). Bu nedenle geleneksel aydınlatma sistemlerine göre daha fazla teknik avantajlara sahip LED ışık kaynakları, su bitkilerinin üretimi için oldukça önemli bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. Fakat LED ışık sistemleri ile su bitkilerinin üretimi konusundaki çalışmalar oldukça sınırlıdır. Su bitkileri ile ilgili yapılan çalışmalara örnek olarak *Bacopa monnieri* (Linn) Wettst (Dazkırılı, 2015; Karatas ve ark., 2016), *Hygrophila polysperma* [Roxb.] T. Anderson (Karatas ve ark., 2014a) ve *C. demersum* (Karatas ve ark., 2014b) verilebilir.

2.1.3. Ağır Metaller ve Özellikleri

Kadmiyum (Cd) ile İlgili Genel Bilgiler

Yüzyıl başlarında toksikolojik açıdan problem oluşturacağı pek tahmin edilmeyen kadmiyum, son yıllarda endüstriyel kullanıma paralel olarak, kurşun, civa gibi ekotoksikolojik yönden önem kazanmıştır (Kayhan, 2006). Özellikle madencilik, metal döküm ve rafine işlemleri, fosil yakıtların kullanılması, belediye atıklarının yakılması (özellikle Cd içeren batarya ve plastikler), fosfatlı gübre üretimi, elektrik ve elektronik atıklar gibi antropojenik ve endüstriyel faaliyetler ile doğal sınırlarından daha fazla oranda Cd çevreye yayılmaktadır. Bu durum canlılar için büyük bir risk oluşturmaktadır

(Cuypers ve ark., 2010; WHO, 2010). Kadmiyumun böbreklerde birikmesi, düşük ağırlıklı proteinlerin atılımına neden olan renal tübüler disfonksiyona yol açabilir ki bu durum genellikle geri dönüşümsüzdür. Yüksek Cd alımı böbrek taşı oluşumuna ve kalsiyum metabolizmasının bozulmasına sebep olabileceği gibi osteoporozda da sebep olabilir. Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) Cd ve Cd bileşiklerini kanserojen olarak sınıflandırmıştır (WHO, 2010).

Cd, su bitkilerinde büyümenin yavaşlaması, klorozis, kök uçlarının kahverengileşmesi ve ölüm gibi ciddi zararlara neden olmaktadır. Özellikle bitki için önemli besin elementlerinin alımı, besinlerin kökten sürgün uçlarına taşınması ve klorofil biyosentezine engel olabilmektedir (Benavides ve ark., 2005; Nagajyoti ve ark., 2010).

Krom (Cr) ile İlgili Genel Bilgiler

Krom (Cr) seramik, tuğla, kereste, kağıt ve kimyasal üretim işlemlerinde kullanıldığı gibi hayvan derilerinin tabaklanması, ahşap koruma, galvinizleme, su korozyonunun önlenmesi işlemlerinde ve ayrıca cam, boya ve metalurji sanayinde kullanılmaktadır. Kromun bu denli geniş kullanımının sonucu, kromdan kaynaklanan çevre kirliliği artmış ve giderek de artan bir endişe kaynağı haline gelmiştir (Zayed ve Terry, 2003; Costa ve Klein, 2006; Oliveira, 2012).

Canlı sistemlerinde bulunan toksik ve mutajenik metal iyonu olan Cr, insan sağlığı üzerine ciddi zararlara neden olmaktadır. Uzun periyotlarda Cr uygulamasında karaciğer ve böbrekler zarar görebileceği gibi kan dolaşım sistemi ve solunum sistemi de büyük zarar görebilir. Kısa süre ve düşük oranda Cr uygulamasında ise mide ve deri rahatsızlığı görülebilmektedir. Cr daha çok sulu ortamlarda birikerek çoğalır. Bu durum Cr ile kirlenmiş ortamdaki su canlılarının tüketimi ile kroma maruz kalınabileceğini göstermektedir (Yüce, 2011). Kişinin genetik yatkınlığına bağlı olarak Cr, farklı organlarda kansere yol açabilmektedir ve en temel kanserojen etkisi akciğerler üzerinde gözlenmiştir (Costa ve Klein, 2006). Ayrıca Cr toksisitesi su bitkilerinde fotosentez, mineral alımı ve solunum gibi önemli metabolik ve fizyolojik olayları etkileyerek bitkinin büyüme ve gelişimi engellemektedir. Tohumların çimlenme sürecini değiştirmekte veya tohum çimlenmesini durdurmaktadır. Cr uygulaması bitkilerdeki

enzimleri doğrudan etkilemekte veya reaktif oksijen türleri ile oksidatif strese neden olabilmektedir (Shanker ve ark., 2005; Yıldız ve ark., 2011).

Kurşun (Pb) ile İlgili Genel Bilgiler

Kurşun (Pb) su ortamı ve toprakta en tehlikeli çevre kirleticileri arasında yer almaktadır. Pb doğal ayrışma süreçlerinin yanı sıra otomobil eksoz dumanları, sanayi ve maden atıkları, Pb cevherinin işlenmesi ve kurşunca zengin belediye atık sularının deşarjı ile çevreye yayılmaktadır. Ayrıca metal kaplama, boya sanayi, benzin katkıları, gübreleme, böcek ilacı kullanımı ile de yayılım göstermektedir. Endüstrinin bulunduğu bölgelerde Pb ve Pb'li bileşiklerin konsantrasyonu önemli artış göstermektedir (Sharma ve Dubey, 2005). Bu bileşikler insan vücudunda ciddi sorunlara sebep olan Pb, yiyeceklerin sindirimi ve solunum yoluyla insan vücudunda birikebilir. Özellikle en önemli toksisitesi teratojenik etkidir. Oksijen ve karbondioksit taşınımında görevli hemoglobin sentezini engelleyebilir. Böbrek ve eklemlerde, kardiyovasküler sistem ve üreme sistemlerinde fonksiyonel bozukluklara sebep olabileceği ifade edilmiştir. Toksik belirtileri arasında anemi, uykusuzluk, baş ağrısı, baş dönmesi, sinirlilik, kas zayıflığı, halüsinasyon ve böbrek hasarı bulunmaktadır (Duruibe ve ark., 2007; Fu ve Wang, 2011).

Pb insanlarda olduğu kadar su bitkileri üzerinde de ciddi toksik etkiler göstermektedir. Pb bitkilerde kök sisteminin gelişimine zarar vermekte, bitkinin bodur kalmasına ve kloroza sebep olmaktadır. Pb toksisitesi enzim aktivitesinin engellenmesine, hormonal durum bozukluğuna, membran geçirgenliğinde dengesizliğe, dışarıdan mineral alımının azalmasına ve su dengesinin bozulmasına sebebiyet verebildiği ifade edilmiştir. Yüksek Pb uygulaması ise bitkinin ölmesine yol açabilmektedir (Sharma ve Dubey, 2005).

2.1.4. Fitoremediasyon ve Fitoremediasyon Çeşitleri

Fitoremediasyon, kirlenmiş alanların temizlenmesinde bitkilerin kullanıldığı birçok teknik ve uygulamaları içeren teknolojilere verilen bir addır. Diğer bir ifade ile fitoremediasyon çevreden toksik maddelerin izolasyonu, parçalanması ya da uzaklaştırılması amacıyla bitkilerin (ağaçlar, çalılar, otlar ve su bitkileri) kullanımını

olarak anlaşılabilir. Sucul alanların iyileştirilmesinde bu teknikten oldukça yararlanılmaktadır ve kullanılan bitkilere örnek olarak *C. demersum* (Chen ve ark., 2015), *Lemna gibba* L. (Verma ve Suthar, 2015), *Azolla pinnata* (Shafi ve ark., 2015), *Phragmites australis* ve *Typha latifolia* (Kumari ve Tripathi, 2015), *Eichhornia crassipes* (Li ve ark., 2016), *Potamogeton pusillus* L. ve *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc. (Harguinteguy ve ark., 2016) verilebilir.

Fitoremediasyon yöntemi özel ekipmanlara ihtiyaç duyulmadan kirli alanların temizlenmesine imkan verdiği için son yıllarda yaygınlaşan bir teknoloji haline gelmiştir (Vanlı ve Yazgan, 2006). Fitoremediasyon çeşitleri aşağıda sıralanmıştır.

Fitoekstraksiyon

Fitoekstraksiyon canlı bitkiler tarafından toprak, yer altı suyu ve yüzey suyundan kontaminantların uzaklaştırılmasıdır. Bu yöntemde, bitki genellikle kontaminantı yapraklarında ve sürgünlerinde birikir (biyoakümülyasyon) ve bitkinin hasad edilmesiyle de kirletici ortamdan uzaklaştırılır (Susarla ve ark., 2002; Singh ve ark., 2012). Degredasyon mekanizmasından farklı olarak bu teknik, metallerin bitkiden izole edilerek geri dönüşümüne olanak verir (firomadencilik) (EPA, 2000). Fitoekstraksiyon yönteminde kullanılan bazı su bitkileri *Potamogeton natans* (Fritioff ve Greger, 2006) ve *Polygonum thunbergii* (Kim ve ark., 2003).

Fitodegradasyon

Bu yöntem aynı zamanda fitotransformasyon olarak da adlandırılır. Fitodegradasyon kompleks organik moleküllerin bitki içinde basit moleküllere parçalanması ya da bu moleküllerin birleştirilmesini içeren bir süreçtir (Etim, 2012). Bazı organik kontaminantlar bitki tarafından absorbe edilir ve enzimler aracılığıyla parçalanmaktadır (Newman ve Reynolds, 2004; Akpor ve Muchie, 2010). Bitki hücresi içindeki nitroredüktaz (nitroaromatik bileşiklerin parçalanması), dehalojenaz (klorlu solventler ve pestisitlerin parçalanması) ve lakkazlar (anilinler parçalanması) gibi enzimler tarafından mineralize edilir ya da parçalanarak metabolize edilebilir.

Fitostabilizasyon

Fitostabilizasyon topraktaki kontaminantların kök tarafından absorblanması ve akümülyasyonu, kök yüzeyinde adsorbsiyonu ya da kök bölgesinde presipite edilmesi aracılığıyla immobilize edilmesidir. Bu teknik rüzgar, sel ve erezyon gibi etkenlerde kontaminantların başka alanlara taşınmasını engellemektedir (Padmavathiamma ve Li, 2007; EPA, 2000). Fitostabilizasyon genellikle toprak, sediment, ve çamurların iyileştirilmesinde kullanılmaktadır. Bu çalışmalar doğrultusunda Cd, Hg, Pb, Cr ve Cu gibi metaller ile kontamine olmuş topraklar, bitkiler kullanılarak etkin şekilde ıslah edilebilmiştir (EPA, 2000).

Fitovolatilizasyon

Bu yöntemde bitkiler tarafından alınan kirleticilerin, bitki tarafından buhar ya da gaz fazına geçirilerek toprak ya da su ortamından uzaklaşması olarak tanımlanmaktadır. As, Hg ve Se gibi metaller atmosferde gaz halinde de bulunurlar. Bitkiler bu metalleri topraktan absorblayarak biyolojik olarak gaz formuna dönüştürür ve atmosfere verebilir (Padmavathiamma ve Li, 2007). Kontaminantlar kökten yapraklara kadar bitkinin vaskuler sistemi boyunca ilerlerken modifiye hale gelebilir. Bu sayede kontaminantlar bitkiyi çevreyelen hava içerisinde buharlaşır veya uçucu hale gelir (Shukla ve ark., 2010) ve su buharı ile de bitki yapraklarından transpire edilebilir (Etim, 2012).

Rizodegradasyon

Bitkinin kök bölgesi ve topraktaki mikrobiyal aktivite aracılığıyla topraktaki organik kirleticilerin parçalanması sürecidir. Rizodegradasyon aynı zamanda bitki destekli bozunum, bitki destekli biyoremediasyon, bitki destekli *in situ* biyodegradasyon ve geliştirilmiş rizosfer biyodegradasyonu olarak da bilinir. Kök atıkları, bitkiler tarafından üretilen ve bitki köklerinden salınan bileşiklerdir. Bunlar şekerler, amino asitler, organik asitler, yağ asitleri, steroller, büyüme faktörleri, nükleotitler, flavonoidler, enzimler ve diğer bileşikler içerir. Kök bölgesindeki mikrobiyal populasyon bu atıkları enerji ve karbon kaynağı olarak kullanır ve bu atıkların varlığı ile populasyon artış gösterir. Bu

durum, topraktaki organik kontaminantların biyodegradasyonunu sağlayabilmektedir (EPA, 2000).

Rizofiltrasyon

Akuatik ve karasal alandaki kontaminantların bitki köklerinde absorblanması ve presipite edilmesi için kullanılan bir metottur. Kontaminantlar ya bitkinin kök yüzeyi üzerine absorbe edilir ya da bitki kökleri tarafından emilir. Rizofiltrasyon için gelişmiş bir kök sistemi oldukça önemlidir. Genellikle yer altı sularının remediasyonunda tercih edilmektedir (Shukla ve ark., 2010). Rizofiltrasyon endüstri ve tarımsal atıklar ve asitli maden drenajlarının karıştığı bölgelerin remediasyonu için kullanılmaktadır. Pb, Cd, Cu, Ni, Zn ve Cr'un uzaklaştırılmasında kullanılabilir (EPA, 2000; Ghosh ve Singh, 2005).

2.2. Kaynak Araştırması

2.2.1. Su Bitkilerinde Bitki Doku Kültürü Çalışmaları

Herath ve ark. (2008), Sri Lanka'nın endemik ve tehlike altındaki *Cryptocoryne beckettii* ve *Cryptocoryne bogneri* için etkili *in vitro* çoğaltım protokolü oluşturmuşlardır. Bitkilerin rizom eksplantları 2-10 mg/L BAP içeren MS ortamında ve 2-10 mg/L BAP + 0,1 mg/L IAA eklenmiş MS ortamına aktarılmıştır. Maksimum sürgün sayısı 5,0 mg/L BAP + 0,1 mg/L IAA içeren MS ortamında *C.beckettii* için 43,0 adet ve *C. bogneri* için 51,8 adet olarak saptanmıştır. Sadece BAP içeren MS ortamında ise en fazla sürgün sayısı *C.beckettii* için 16,8 adet ve *C. bogneri* için 13,4 adet olarak elde edilmiştir. Genel olarak her iki bitkinin üretimi için de BAP + IAA kombinasyonu, BAP'in tek kullanıldığı kültür ortamından daha etkili bulunmuştur.

Shahzad ve ark. (2011), *in vitro* çoğaltım amacıyla *Veronica anagallis-aquatica* L.'nin nodal eksplantlarını farklı oranlarda (0,1-5,0 µM) BAP, Kin ve 2-iP içeren agarla katılaştırılmış MS besin ortamına aktarmışlardır. Bunun yanında 0,1-5,0 µM BAP içeren sıvı MS besin ortamında kültüre almışlardır. Maksimum eksplant başına sürgün sayısını $43,7 \pm 1,85$ adet ve en uzun sürgünleri $5,0 \pm 0,25$ cm olarak 0,5 µM BAP içeren agarla katılaştırılmış MS besin ortamında elde edilmiştir. *In vitro* çoğaltım ortamında

elde edilen sürgünler, kök oluşumu için 0,1-2,0 µM IBA ve NAA içeren MS ve ½ MS besin ortamlarına transfer edilmiştir. Maksimum *in vitro* kökler 0,5 µM NAA içeren MS ve ½ MS besin ortamlarında elde edilmiştir. *In vitro* koşullarda elde edilen bitkiler dış koşullara başarıyla adapte edilmiştir (%80).

Karataş ve ark. (2013a), *B. monnieri* L.'nin adventif sürgün rejenerasyonunu sağlamak için yaprak ve 1. 2. 3. boğumarası eksplantlarını BAP ve NAA'in farklı konsantrasyonlarını içeren MS besin ortamına aktarmışlardır. Tüm kültür ortamlarında kallus ve sürgün oluşumları tespit edilmiştir. Eksplant başına maksimum sürgünler 0,25 mg/L BAP + 0,25 mg/L NAA içeren MS besin ortamında ve yaprak, 1. 2. ve 3. boğumarası eksplantlarında sırasıyla 21,77 adet, 21,89 adet, 21,22 adet ve 23,11 adet olarak elde edilmiştir. Yüksek oranda kullanılan NAA, sürgün rejenerasyonunu inhibe ettiği bildirilmiştir. Boğumarası eksplantlara kıyasla daha uzun sürgünler yaprak eksplantlarında tespit edilmiştir. Rejenere sürgünler IBA içeren MS ortamında köklendirildikten sonra başarıyla su ortamına alıştırılmıştır.

Karataş ve ark. (2013b), *H. polysperma*'nın *in vitro* koşullarda mikroçoğaltımı için yaprak eksplantlarını 0,10-1,60 mg/L Kin ve 0,10-1,60 mg/L TDZ hormonlarını ayrı ayrı içeren MS ortamında ve 0,10 mg/L IBA ile kombinasyonunu içeren MS ortamında kültüre almışlardır. Birinci haftada tüm ortamlarda direk adventif sürgünlerin çıktığı tespit edilmiştir. Sürgün rejenerasyon yüzdesi, ortalama eksplant başına sürgün sayısı ve sürgün uzunluğu 0,10 mg/L IBA içeren KIN ve TDZ ortamında artış göstermiştir. En fazla sürgünler 16,33 ve 20,55 adet olarak sırasıyla 0,80 mg/L KIN + 0,10 mg/L IBA ve 0,10 mg/L TDZ + 0,10 mg/L IBA eklenmiş kültür ortamında elde edilmiştir. Elde edilen bitkiler 0,20-1,00 mg/L IBA içeren MS besin ortamında köklendirilmiş ve su içeren akvaryum ortamında canlılıklarını sürdürmüştür.

Ünal (2013), gerçekleştirdiği çalışmasında *Cryptocoryne wendtii*'nin *in vitro* koşullarda çoğaltımı için prosedür geliştirmiştir. Bitkinin sürgün ucu eksplantları BAP ve IBA'nın farklı kombinasyonlarını içeren MS besin ortamında kültüre alınmıştır. İlk alt kültür sonunda, 4 mg/L BAP ve 1 mg/L IBA içeren kültür ortamında eksplant başına sürgün sayısı 7,2 adet olarak elde edilirken, ikinci alt kültürde toplam sürgün sayısı 725 adet olarak tespit edilmiştir. Ardından rejenere sürgünler için *in vitro* köklendirme çalışması

yürütülmüş olup, en yüksek köklenme yüzdesi %95,3 olarak 1 mg/L IBA içeren MS ortamında elde edilmiştir. Köklenen bitkilerin akvaryum ortamına %100 adaptasyonu sağlanmıştır.

Das ve Borua (2014), *Alternanthera sessilis* L.'nin *in vitro* sürgün rejenerasyonu için etkili bir protokol geliştirmek için çalışma yürütmüşlerdir. *A. sessilis*'in boğumarası eksplantları kültüre alınmış ve 0,5 ve 1,0 mg/L 2,4-D eklenmiş ortamda kallus oluşumu bildirilmiştir. Ardından bu kalluslar alınarak farklı oranlarda BAP (0,5-1,5 mg/L), Adenin sülfat (0,5-1,5 mg/L), TDZ (0,5-1,5 mg/L), BAP (0,5-1,5 mg/L) + Adenin sülfat (0,5-1,5 mg/L) ve BAP (0,5-1,5 mg/L) + KIN (0,5-1,5 mg/L) içeren MS ortamına aktarılmıştır. En uzun sürgünler (9,3 cm) ve maksimum eksplant başına sürgün sayısı (124,47 adet) 1,0 mg/L BAP + 1,0 mg/L adenin sülfat eklenmiş kültür ortamında elde edilmiştir. En erken ve en fazla kök oluşumu ½ oranında kullanılan MS besin ortamında tespit edilmiştir.

Karataş ve ark. (2014b), *C. demersum*'un *in vitro* sürgün rejenerasyonu için kültüre almışlardır. *C. demersum*'un sürgün ucu 1. ve 2. koltukaltı meristem eksplantları 0,05 - 0,80 mg/L BAP içeren agarla katılaştırılmış MS ve sıvı MS besin ortamında kültüre alınmıştır. Her iki kültür koşullarında da kallus oluşumu tespit edilmemiştir. İlk sürgün oluşumları sıvı kültür ortamında daha erken çıkarken, katı sürgün ortamında daha geç çıkmıştır. Sıvı ve agarla katılaştırılmış kültür ortamlarında en yüksek sürgün rejenerasyonu 0,05 mg/L BAP içeren MS besin ortamında ve tüm eksplantlarda elde edilmiştir. Eksplantlar karşılaştırıldığında 2. koltukaltı meristem eksplantları daha fazla sayıda sürgün vermiş olup, bu sayılar agarla katılaştırılmış MS besin ortamında 16,75 adet ve sıvı MS besin ortamında 204,33 adet olarak belirlenmiştir.

Barpete ve ark. (2015), *Hemianthus callitrichoides* 'Cuba' bitkisinin *in vitro* koşullara hızlı ve çoklu üretimi için bitkinin apikal sürgün eksplantlarını 2iP, BAP, TDZ ve GA₃ içeren MS besin ortamında kültüre almışlardır. Bitki büyüme düzenleyicileri, sürgün yığını şeklinde bitkilerin çapını, alanını ve taze ağırlığını önemli derecede etkilemiştir. Maksimum çap (3,06 cm), alan (6,12 cm) ve taze ağırlık (2.85 g) 0,50 mg/L BAP içeren MS ortamında elde edilmiştir. Rejenere sürgünler büyüme düzenleyici içermeyen MS

ortamında köklendirilmiş ve tüm bitkiler başarılı şekilde akvaryumlara koşullarında büyüme ve gelişmeye devam etmiştir.

Khvatkov ve ark. (2015), *Wolffia arrhiza*'nın doku kültürü tekniklerinden yararlanarak kallus oluşumu, kallus büyümesi ve bitki rejenerasyonu ile üretimi için sistem geliştirmişlerdir. Kallus oluşumu, glukoz, mannitol ve sorbitol içeren Schenk & Hildebrandt (SH) besin ortamında ve iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, explantlar 5,0 mg/L 2,4-D ve 0,5 mg/L BAP içeren kültür ortamında 16 hafta boyunca bekletilmiştir. İkinci aşamada, BAP yerine 12,5 mg/L Pikloram eklenmiş ve 4 hafta boyunca kültüre alınmıştır. Oluşan kalluslar nispeten düşük oranda Pikloram (4 mg/L) içeren kültür ortamında yaklaşık bir yıl boyunca muhafaza edilmiş ya da büyüme düzenleyici içermeyen SH besin ortamına transfer edilerek tam rejenere bitkilerin elde edilmesinde kullanılmıştır.

Yu ve ark. (2015), *Nelumbo nucifera*'nın *in vitro* koşullarda etkili ve sürdürülebilir üretimi için üretim sistemi geliştirmişlerdir. *N. nucifera*'nın sürgün apikal mersitemleri BAP ve NAA'nin değişen oranlarını ihtiva eden MS besin ortamında dört hafta boyunca bekletmişlerdir. En fazla eksplant başına sürgün sayısını (21,33 adet) 2,22 µM BAP içeren MS besin ortamında, ardından ise 2,22 µM BAP + 0,54 µM NAA içeren MS besin ortamında (20,0 adet) elde etmiştir. Çoğaltım ortamından elde edilen sürgünler, IBA, NAA ve sukroz içeren kültür ortamlarında köklendirmeye alınmıştır. Dört hafta sonunda 0,54 µM NAA ve 30 g/L sukroz içeren kültür ortamında %100 kök oluşumu elde edilmiştir. Köklendirilen rejenere bitkilerin daha sonra dış koşullara uyumu başarılmıştır (%97,33).

2.2.2. Su Bitkilerinin *In Vitro* Çoğaltımda LED'lerin Kullanımı

Dazkırılı (2015), *in vitro* koşullarda *B. monnieri* (Linn) Wettst'nin çoklu üretimi için sürgün ucu ile tam, alt ve üst yarım yaprak eksplantlarını 0,25, 0,50 ve 1,0 mg/L BAP içeren MS ortamında ve farklı LED ışık kombinasyonlarında kültüre almıştır. LED ışık olarak kırmızı (K) ve mavi (M) LED ışıklarının farklı kombinasyonları (4K:1M, 3K:1M, 2K:1M ve 1K:1M) ve beyaz LED ışık kullanılmıştır. Yapılan tüm kültür çalışmalarında %100 sürgün rejenerasyonu tespit edilmiştir. Maksimum eksplant başına

sürgün sayısı, sürgün ucu eksplantlarında ve 1K:1M LED ışık altında, minimum eksplant başına sürgün sayısı beyaz LED ışık altında belirlenmiştir. Sürgün ucu ve yarım alt lamina eksplantlarında elde edilen en fazla sürgünler 1,0 mg/L BAP içeren MS besin ortamında elde edilmiştir. Tüm eksplantlarda en yüksek sürgün uzunluğu 0,25 mg/L BAP içeren kültür ortamında elde edilmiştir. Yapak eksplantlarında en fazla sürgünler beyaz LED ışık altında ve 0,25 mg/L BAP içeren kültür ortamında bulunmuştur. Tam ve üst yarım yaprak eksplantından en uzun sürgünler 0,25 mg/L BAP içeren MS ortamında ve 1K:1M LED ışık altında elde edilirken, alt yarım yaprak ve sürgün ucu eksplantlarında ise 0,50 mg/L BAP içeren MS ortamında ve 1K:1M LED ışık altında elde edilmiştir. Rejenere sürgünler IBA (0,25-1,00 mg/L) içeren MS ortamında köklendirildikten sonra akvaryum koşullarına alıştırılmıştır.

Karatas ve ark. (2016), *B. monnieri*'nin doku kültürü teknikleri üretimi için farklı LED ışıkların etkilerini araştırmışlardır. Bitkinin tam yaprak ve yaprağın üst ve alt kısımları farklı BAP (0,25-1,0 mg/L) ile desteklenen MS ortamında inkübe edilmiştir. Eksplantlar beyaz LED ve kırmızı ve mavi LED ışıkların 4:1, 3:1, 2:1 ve 1:1 oranlarında kültüre alınmıştır. Daha fazla sürgün sayısı elde etmek için farklı BAP konsantrasyonlarının önemli olduğu görülmüştür. Ortalama sürgün uzunlukları en fazla 0,25 mg/L BAP içeren MS ortamında ve 1K:1M LED ışıkları arlında elde edilmiştir. Tüm eksplantlarda beyaz LED ışıklar sürgün sayısı bakımından daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Eksplant başına sürgün sayısı sırasıyla 9,67-24,0 (tam yaprak), 6,33-25,92 (yaprakların alt yarısı) ve 7,33-27,33 (yaprak üst yarısı) arasında değişmiştir. Sürgün uzunluğu ise 0,94-1,90 cm (tam yaprak), 0,70-2,11 cm (yaprağın alt yarısı) ve 0,93-1,83 cm (yaprağın üst yarısı) arasında değişmiştir. Elde edilen sürgünler dış koşullarda canlılıklarını sürdürmüştür.

2.2.3. Su Bitkilerinde Fitoremediasyon Çalışmaları

Keskinan ve ark. (2003), *Myriophyllum spicatum*'un Pb, Zn ve Cu metallerini biriktirme karakteristikleri üzerine bir çalışma yapılmıştır. Alınan veriler, *M. spicatum*'un Pb, Zn ve Cu'yu uzaklaştırma yeteneğinin olduğunu göstermiştir. Maksimum adsorpsiyon kapasiteleri Cu(II) için 10,37 mg/g, Zn(II) için 15,59 mg/g ve Pb(II) için 46,49 mg/g olarak tespit edilmiştir.

Keser (2005), *Nasturtium officinale* R. Br.'yi laboratuvar şartlarında 14 gün boyunca farklı Pb derişimlerinin etkisine (0, 25, 50, 100, 200, 250 ve 500 ppm) mazur bırakmıştır. *N. officinale*'nin gövde ve yapraklarındaki Pb miktarlarının uygulanan metal miktarıyla arttığı görülmüştür. *N.officinale*'nin yüksek Pb derişimlerinde kök gelişimi gerilemiş, yaprak ayaları küçülmüş, nod mesafeleri kısalmış ve yapraklarda klorozis ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak bitki gelişimi Pb derişimlerine ve etki süresine bağlı olarak önemli derecede yavaşlamıştır. Kurşunun yüksek derişimlerinde *N. officinale* yapraklarında fotosentetik pigment miktarlarında önemli bir azalma görülürken, düşük derişimlerinde ise artışlar gözlenmiştir. Dokularda Pb derişimi uygulama miktarıyla artmıştır.

Uysal ve Taner (2009), *Lemna minor*'u farklı Pb konsantrasyonu (0,1-1,0 mg/L) varlığında, farklı pH (4,5-8,0) ve sıcaklıklarda (15-35 °C) bulunan su ortamında 168 saat boyunca kurşuna maruz bırakmışlardır. Kurşunun en düşük oranda absorpsiyonu pH 4,5'te ve 30 °C'de elde edilmiştir. En yüksek kurşun birikimi 10,0 mg/L Pb ortamından 8,622 mg Pb/g olarak pH 5'te ve 30 °C'de elde edilirken, en düşük birikim 0,1 mg/L ortamından 0,291 mg Pb/g olarak 15 °C'de elde edilmiştir. Bitkideki Pb birikimi 50 mg/L'ye kadar artış gösterirken, 50-100 mg/L arasında ise önemli bir farkın olmadığı ifade edilmiştir.

Singh ve ark. (2010), *Najas indica*'nın Pb akümülyasyon potansiyelini araştırmak için içerisinde 1-100 µM Pb bulunan ortamlarda 1, 2, 7 ve 14 gün boyunca bitkiler bekletilmiştir. Bitkilerde ağır metal dozuna bağlı olarak Pb miktarının artığı bildirilmiştir. Bitkilerin Pb alımı başlangıçta hızlı olurken, zamanla azalmıştır. Yüzde Pb birikimi 100 µM Pb uygulamasının 1. gününde yaklaşık %34, 2. gününde %68, 4. gününde %92 ve 7. gününde toplam 3554 µg/g k.a olarak tespit edilmiştir. Toplam klorofil içeriği 10 µM Pb konsantrasyonuna ve 4. güne kadar artış gösterirken, daha yüksek Pb konsantrasyonunda azalış göstermiştir. Maksimum indüksiyon (%4) 1. günde ve 1 µM Pb konsantrasyonunda, maksimum azalış (%7) 7. günde 100 µM Pb konsantrasyonunda saptanmıştır. Lipit peroksidasyonu için MDA içeriği ölçülmüştür. Kontrole kıyasla en fazla artış (%174) en uzun uygulama süresinde ve en yüksek Pb konsantrasyonunda elde edilmiştir. Protein içeriği ise 1 µM Pb uygulamasında ve 4.

güne kadar artış gösterirken, Pb konsantrasyonunun artışına bağlı olarak azalış göstermiştir.

Foroughi ve ark. (2011), *C. demersum*'un tarım ve sanayi alanlarındaki atık suların geri dönüşümünü sağlayarak tekrar kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Denemeler, 18 gün süre ile Khorasgan Üniversitesi alanında ve havalandırma kullanılmadan gerçekleştirmiştir. Çalışmalarda işlenmemiş belediye atık suyu ve işlenmiş belediye atık suyu kullanılmış ve Fe, Zn, Mn, Ni, Pb ve Cd değerleri ölçülmüştür. İşlenmiş atıksudaki metallerin ortalama uzaklaştırma verimi Fe %40, Zn %47,50, Mn %90,82, Ni %96,55, Pb %100 ve Cd %100 olarak belirlenmiştir. İşlenmemiş atıksuda ise Fe %67,50, Zn %37,50, Mn %94,21, Ni %94,21, Pb %100 ve Cd %97,77 olarak saptanmıştır.

Özkoç (2011), Gala Gölü'deki ağır metal kirliliğinin su mercimeği (*L. minor*) bitkisi ile giderimini laboratuvar koşullarında araştırmıştır. Uygulamalı çalışmalar 100 ml ve 500 ml hacimde ve bitkili (Kontrol 1) ve bitkisiz (Kontrol 2) olmak üzere iki kontrol grubu kullanılarak kesikli olarak yürütülmüştür. Cd, Cu, Pb ve Ni ağır metalleri için değerlendirmeler yapılmıştır. 100 ml'lik bitkili test ve Kontrol 1 reaktörlerinde deşarj kanalından alınan su numunesinde arıtım etkinlikleri Cd için %78, Cu için %87 ve Pb için %90 olarak tespit edilmiştir. Bitkisiz olan Kontrol 2 reaktöründe ise Cd için %53, Cu için %52 ve Pb için %60 olarak tespit edilmiştir. 500 ml'lik bitkili test ve Kontrol 1 reaktörlerinde deşarj kanalından alınan su numunesinde ise Cd için %85, Cu için %92 ve Pb için %96 olarak, bitkisiz Kontrol 2 reaktöründe ise Cd için %59, Cu için %54 ve Pb için %64 olarak bulunmuştur. Deşarj kanalı su numunesinde Nikel kirliliği tespit edilmemiştir. Gala Gölü'nden alınan su numunesinde ise sadece Pb kirliliği tespit edilmiş olup, bitkili test ve Kontrol 1 reaktörlerinde kurşun giderim verimi 100 ml için %80 ve 500 ml için %91, Kontrol 2 (bitkisiz) reaktörlerinde ise 100 ml için %58 ve 500 ml için %67 olarak tespit edilmiştir.

Abdallah (2012), *C. demersum* ve *Lemna gibba* ile toksik Pb ve Cr metallerinin su ortamından uzaklaştırılması için çalışma yapmıştır. Her bir metal için dört farklı konsantrasyon hazırlanarak, bitkiler yerleştirilmiş ve ardından 2, 4, 6, 9 ve 12 gün sonra bitkiler hasat edilmiştir. 12 gün boyunca ortamdaki Cr %95'e kadar, Pb ise %84'e kadar

giderilmiştir. Cr ve Pb'in uzaklaştırılması için *L. gibba*'nın *C. demersum*'dan daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Chorom ve ark. (2012), *C. demersum*'u kullanarak su ortamından nikelin uzaklaştırılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bitki dört farklı nikel konsantrasyonuna (0, 1, 2, 4 ve 6 mg/L) 14 gün boyunca maruz bırakılmıştır. Maksimum uzaklaştırma verimliliği %50 olarak 6 mg/L'deki metal konsantrasyonundaki ortamda elde edilmiştir. Maksimum biyolojik konsantrasyon faktörü 388,65 ve maksimum alım endeksi 5,05 mg olarak 6 mg/L'de saptanmıştır. Maksimum biyokütle üretim endeksi (3,6 g/gün) 0 mg/L kirlilik konsantrasyonunda ve minimum biyokütle üretim endeksi (1,27 g/gün) 6 mg/L kirlilik konsantrasyonunda bulunmuştur. Sonuçlara dayanarak, *C. demersum*'un endüstriyel atıksularından nikelin fitoremediasyonunda kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Fawzy ve ark. (2012), Nil nehrinde doğal olarak yetişen *Echinochloa pyramidalis* (Lam.) Hitchc. & Chase, *E. crassipes* (Mart.) Solms-Laub, *Myriophyllum spicatum* L., *C. demersum*, *P. australis* (Cav.) Trin. ex Steud ve *Typha domingensis* (Pers.) Poir. ex Steud bitkilerinin Cd, Cu, Pb ve Zn konsantrasyonunu araştırmışlardır. Bitkilerde biriken ve suda bulunan ağır metal konsantrasyonları $Zn > Cu > Pb > Cd$ olarak sıralanmıştır. Çalışılan bitkilerin ağır metal akümülyasyon kapasiteleri sırasıyla *C. demersum* > *E. crassipes* > *M. spicatum* > *E. pyramidalis* > *T. domingensis* > *P. australis* olarak tespit edilmiştir. Bitkilerde genel olarak Cu ve Zn köklerde daha fazla birikirken, Pb ise yapraklarda daha fazla birikmiştir. Cd da ise *M. spicatum* dışında en fazla yapraklarda birikim saptanmıştır.

VahdatiRaad ve Khara (2012), *C. demersum* ve *Hyrocotyle ranocloides*'in Cd ve Pb ağır metallerinin absorpsiyon yeteneği üzerine bir çalışma yapmışlardır. Ortalama Pb konsantrasyonu *C. demersum*'da 53,11 ppm, *H. ranocloides*'de 77,80 ppm olarak bulunurken, ortalama Cd konsantrasyonu *C. demersum*'da 4,46 ppm, *H. ranocloides*'de ise 6,28 ppm olarak tespit edilmiştir. Her iki bitki türünde de Pb konsantrasyonu kadmiyuma göre daha fazla birikmiştir.

Andresen ve ark. (2013), Almanya’da bulunan oligotropik bir gölde su altı bitkilerinin ağır metallere verdikleri tepkileri incelemiştir. Bitki olarak *C. demersum* kullanılmış ve ışık-sıcaklık gibi doğal çevresel koşullar sağlanarak altı hafta boyunca kültüre almışlardır. Denemelerde Cd (3 nM) ve Ni (300 nM) ağır metalleri ayrı ayrı veya kombinasyon şeklinde yumuşak su ortamında uygulanmıştır. Yumuşak sularda fosfat sınırlamasıyla (75 nM) toksisite daha da artırılmıştır. İncelenen gölde, yüksek su sertliği metal konsantrasyonlarının toksisitesini sınırlamıştır. Bu sonuçlar, şimdiye kadar tahmin edilenden çok daha fazla durumlarda ağır metallerin sinerjik etkilerini değiştirebileceğini ortaya koymuştur.

Delmail ve ark. (2013), *Myriophyllum alterniflorum*’un *in vitro* koşullarda üretimi ve ardından ağır metallere kirlenmiş su bölgelerinin iyileştirilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bir bölgenin ağır metal kirliliğinden arındırılmasında en etkili yöntem biyokütlenin fazla olmasıdır ve bunun içinde en etkili yöntem mikroçoğaltımdır. Nehir ekosisteminde mikroçoğaltım ile üretilen bitkilerin kullanıldığı bu çalışma bir ilk olma özelliği taşımaktadır. *M. alterniflorum*’un Cd ve Cu biyoabsorpsiyon kapasitesinin yüksek olduğu görülmüştür. Bu çalışma biyoteknolojik çalışmalar ile üretilen bitkilerin fitoremediasyon çalışmalarında etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Matache ve ark. (2013), *Potamogeton pectinatus*, *Potamogeton lucens*, *Potamogeton perfoliatus* ve *C. demersum*’un Cu, Cd, Pb ve Zn ağır metallerini biriktirme yeteneklerini araştırmışlardır. En yüksek ağır metal içeriği *C. demersum* için belirlenmiş olup, Cd için 3,52 µg/g, Cu için 22,71 µg/g, Pb için 20,06 µg/g ve Zn için 104,23 µg/g olarak tespit edilmiştir. *Potamogeton* türleri arasında ise en yüksek ağır metal oranları *P. perfoliatus*’da Cd için 1,88 µg/g, Cu için 13,14 µg/g, Pb için 13,32 µg/g ve Zn için 57,96 µg/g olarak bulunmuştur.

El-Khatib ve ark. (2014), *C. demersum* ve *M. spicatum*’un ağır metal biyoakümülyasyon potansiyellerini incelemek için farklı Pb konsantrasyonları (25, 50, 75 mg/L) eklenmiş hidroponik ortama 1-7 gün boyunca bekletmişlerdir. Her iki bitki türünde de kontrole kıyasla önemli oranda Pb artışı gözlenmiştir. Kurşunun en yüksek birikim değeri *C. demersum*’da ve 164,26 mg/g k.a olarak kaydedilirken, en fazla metal birikimi ise 91,72 mg/g k.a olarak 1. günün sonunda elde edilmiştir. 7. gün sonunda 75 mg/L Pb içeren

ortamdaki bitkilerin fotosentetik pigmentlerinde belirgin azalmalar belirlenirken, yaprakların parçalanması ve korozyon gibi morfolojik belirtiler tespit edilmiştir. Sonuçlardan her iki bitki türünün de yüksek oranda metal biriktirme kapasitesine sahip olduğunu ve kurşunca kirli sularda güvenilir biyomarker olarak kullanılabileceğini ifade edilmiştir.

Al-Ubaidy ve Rasheed (2015), *C. demersum*'u kullanarak su ortamından kadmiyumun uzaklaştırılması ile ilgili çalışma yürütmüşlerdir. İki ay boyunca doğal koşullarda büyütüldükten sonra bitkiler 3,714 ve 4,952 mg/L konsantrasyonlarında kadmiyuma 3, 6, 9 gün boyunca maruz bırakılmıştır. Bitkilerin hızlı bir şekilde kadmiyumu absorbe ettiği ve zamanla da absorbe edilen Cd miktarında artış görüldüğü tespit edilmiştir. En yüksek ağır metal akümüasyonu 9. günde 3,714 mg/L Cd uygulanmasında 1,53 mg/L ve 4,952 mg/L Cd uygulanmasında 1,089 mg/L olarak belirlenmiştir.

Chen ve ark. (2015), *C. demersum*'u kurşunun farklı konsantrasyonlarında (5-80 µM) 7, 14 ve 21 gün boyunca maruz bırakarak, bitkinin biyoakümüasyon potansiyelini araştırmışlardır. Pb akümüasyonu, uygulanan Pb konsantrasyonuna bağlı olarak artış göstermiş ve maksimum akümüasyon 4016,4 mg/kg k.a. olarak tespit edilmiştir. Pb stresi ile bitki biyokütlesinde ve protein içeriğinde anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir. Malondialdehit (MDA) düzeyleri 20 µM'nin altındaki kurşun konsantrasyonlarında önemli ölçüde artış göstermiştir.

Harguinteguy ve ark. (2015), Ni, Pb ve Zn metallerinin su ortamından fitoremediasyonu için *M. aquaticum* ve *Egeria densa* bitkilerini bu metallerin artan konsantrasyonlarına (Ni: 0,05-10 mg/L, Pb: 0,05-15 mg/L, Zn: 0,15-20 mg/L) 7 gün boyunca maruz bırakmışlardır. Her iki tür kıyaslandığında *E. densa*'ya kıyasla *M. aquaticum* bitkisinin Pb ve Zn metallerini daha fazla biriktirme kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle Ni, Pb ya da Zn ile kirlenmiş suların fitoremediasyonu için *M. aquaticum*, *E. densa*'dan daha uygun olacağı önerilmiştir.

Karahasan ve Özbucak (2015), Ordu İli'nde Melet, Turnasuyu ve Akçaova akarsularında yayılış gösteren *T. latifolia* L.'dan Haziran, Ağustos ve Ekim aylarında örnekler alarak, bitkideki ağır metal (Cu, Zn, Fe, Cd, Pb, Mn) ve makro element

miktarını (N, P, K, Ca, Mg, Na) tespit etmek istemişlerdir. Çıkan sonuçlara göre bitki kısımlarının ağır metal ve makro element miktarları gövde için $N > P > K > Na > Ca > Mg > Zn > Fe > Mn > Pb > Cd > Cu$, kök için, $N > P > K > Ca > Mg > Fe > Na > Mn > Zn > Pb > Cd > Cu$, yaprak için, $N > P > K > Ca > Mg > Na > Mn > Zn > Fe > Pb > Cd > Cu$ ve rizom için $N > P > K > Ca > Mg > Na > Fe > Zn > Mn > Pb > Cd > Cu$ şeklinde sıralanmıştır.

Kumari ve Tripathi (2015), *P. australis* ve *T. latifolia*'yı kullanarak 5 atık su istasyonundan alınan atık sudaki ağır metallerin uzaklaştırılması için deneme kurmuşlardır. Sonuçlar Cu, Cd, Cr, Ni, Fe, Pb ve Zn metallerinin uzaklaştırılmasında *P. australis*'in *T. latifolia*'dan daha uygun olduğunu göstermiştir. Ayrıca her iki bitkinin aynı zamanda uygulanmasıyla ağır metaller daha etkin uzaklaştırılabilmektedir. Bu değerler Cu için $78,0 \pm 1,2$, Cd için $60,0 \pm 1,2$, Cr için $68,1 \pm 0,4$, Ni için $73,8 \pm 0,6$, Fe için $80,1 \pm 0,3$, Pb için $61,0 \pm 1,2$ ve Zn için $61,0 \pm 1,2$ ' e kadar tespit edilmiştir.

Salman ve ark. (2015), Co, Cu, Cd, Pb ve Fe ağır metallerinin *P. australis*, *P. pectinatus* ve *C. demersum* bitkilerinin kök, sürgün ve yapraklarındaki akümülyasyonunu ve sudaki değerlerini ölçmüşlerdir. Çalışılan ağır metallerin sudaki çözünmüş ve parçacık halindeki konsantrasyonları sırasıyla Fe için 76-137,75 $\mu\text{g/L}$ ve 582-749,5 $\mu\text{g/g}$; Cu için 0,91-2,21 $\mu\text{g/L}$ ve 12,02-17,33 $\mu\text{g/g}$; Cd için 1,54-4,30 $\mu\text{g/L}$ ve 9,74-12,6 $\mu\text{g/g}$; Co için 0,85-2,66 $\mu\text{g/L}$ ve 0,00-0,41 $\mu\text{g/g}$; Pb için 4,83-7,92 $\mu\text{g/L}$ ve 0,41-0,7 arasında değişmiştir. En fazla ağır metal konsantrasyonu su altı bitkilerinde ve bitkilerin yapraklarında saptanmıştır.

Shafi ve ark. (2015), *Azolla pinnata*'nın ağır metal akümülyasyonu için çalışma yürütmüşlerdir. *A. pinnata* 4 mg/L konsantrasyonlarındaki (Cu) CuSO_4 , (Pb) PbNO_3 , (Cr) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, (Cd) CdNO_3 ve (Zn) ZnSO_4 ağır metallerine 10 gün boyunca laboratuvar koşullarında maruz bırakılmıştır. 10 gün sonra atomik absorpsiyon spektrofotometre ile ölçülen ağır metal konsantrasyonları Cu için (0,90 ppm), Pb (0,42 ppm), Cr (0,27 ppm), Cd (0,042 ppm) and Zn (2,1 ppm) olarak ve $Zn > Cu > Pb > Cr > Cd$ olarak tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışmada, *A. pinnata*'nın yüksek miktarda biyoakümülyasyon kapasitesine sahip olduğu ve göl ekosisteminde fitoremediasyon amacıyla kullanılabileceği önerilmiştir.

Verma ve Suthar (2015), farklı pH seviyelerindeki su ortamında (5, 7 ve 9), Pb ve kadmiyumun farklı konsantrasyonlarına (2, 5 ve 10 mg/L) maruz bırakılan *L. gibba*'nın arıtım potansiyelini araştırmışlardır. Pb ağır metali %60,1 (2 mg/L ve pH 9) ile %98,1 (10 mg/L ve 7 pH) arasında, Cd ağır metali %41,6 (10 mg/L ve pH 9) ile %84,8 (2 mg/L ve pH 7) arasında bulunmuştur. Metal uzaklaştırılmasında en uygun pH 7 olarak görülmüştür. Biyokonsantrasyon faktörü Pb için 403-738 k.a ve Cd için 445-616 k.a. arasında değişmiştir.

Ahmad ve ark. (2016), Kashmir Himalayan Ramsar bölgesindeki *C. demersum* ve *P. natans* bitkilerinin ağır metal akümülyasyon potansiyellerini araştırmışlardır. *P. natans*'daki farklı metallerin birikimi Al> Mn> Pb> Cu> Zn> Ni> Co> Cr> Cd olarak belirlenirken ve *C. demersum*'daki metal birikimleri Al> Mn> Zn> Co> Cu> Pb> Cr> Ni> Cd olarak belirlenmiştir. *C. demersum*'da en yüksek biyokonsantrasyon faktörü (BKF) Co (3616) ve Mn (3589) için elde edilirken, *P. natans* için en yüksek BKF Cd (1027) için elde edilmiştir. Genel olarak bu bitkilerin, Co, Mn ve Cd ile kontamine olmuş alanların iyileştirilmesi için önemli olabileceği belirtilmiştir.

Harguinteguy ve ark. (2016), *M. aquaticum* ve *P. pusillus* türlerinin ağır metaller ile kirlenmiş su ortamında biyoindikatör türler olarak değerlendirilmesi üzerine çalışma yürütmüşlerdir. Bu amaçla bitkilerin yapraklarından Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn akümülyasyonunu ve bu ağır metallerin kirlilikle ilişkilerini belirlemeye çalışmışlardır. Ctlamochita nehrindeki (Arjantin) yüzey suyundan, sedimentten ve bitkiden örnekler alınmıştır. Nehir ortamında özellikle Cu, Pb ve Zn'nin yüksek seviyede bulunduğu tespit edilmiştir. *P. pusillus*'da Co, Cu, Ni ve Zn'nin yüksek akümülyasyonu, bu ağır metallerin sedimentteki konsantrasyonlarıyla ilişkili bulunurken, *M. aquaticum*'da Co, Cu, Mn ve Zn'nin akümülyasyonu sudaki konsantrasyonlarla ilişkili olduğu saptanmıştır. Her iki türünde yüksek ağır metal biriktirme yeteneğine sahip olduğu bulunmuştur.

Mufarrege ve ark. (2016), *T. domingensis* tarafından yüksek konsantrasyonlarda Cr (III)'un birikimi, uzaklaştırma verimi ve toleransı üzerine su ortamındaki besinlerin etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla bitkiler 200 mg/L ve 600 mg/L Cr; 200 mg/L Cr + 50 mg/L P + 50 mg/L N; 600 mg/L Cr + 50 mg/L P + 50 mg/L N; Metal veya besin ilaveleri olmaksızın (kontrol 1); 50 mg/L P + 50 mg/L N metal ilavesi olmaksızın

(kontrol 2) ortamlarına aktarılmıştır. Besin ilavesi, incelenen iki konsantrasyon için de kromun uzaklaştırılmasını etkilememiştir. En yüksek Cr konsantrasyonu köklerde elde edilmiştir. Cr metalleri büyüme inhibisyonuna ve klorofil konsantrasyonunda düşüşe neden olmuştur.

Parzych ve ark. (2016), Supia nehrinde (Polonya) bulunan *Glyceria maxima*, *P. australis*, *T. latifolia* ve *Phalaris arundinacea* bitkilerinin yaprak ve rizomlarındaki Zn, Fe, Mn, Ni ve Cu içeriği üzerine araştırma yapmışlardır. Zn, Fe, Mn, Ni ve Cu içeriği bitki türüne ve bitki dokusuna bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Test edilen bitkiler Mn hariç genellikle bitkinin rizomlarında birikmiştir. *T. latifolia* çoğunlukla Zn ve Ni biriktirenken, *G. maxima* Mn ve Fe metallerini biriktirmiştir. Bitkilerin absorbe ettikleri miktarlar ve absorbe ettikleri dokular sırasıyla Mn > Fe > Zn > Ni > Cu yapraklar ve Fe > Mn > Zn > Ni > Cu rizomlar olarak açıklanmıştır.

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Deneme Yeri

Bu çalışma, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Kamil Özdağ Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Biyoteknoloji ve Hidrobiyoloji Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Ağır metal analizleri ise Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi - BİLTEM'de yapılmıştır.

3.2. Bitki Materyali

Çalışmada bitki materyali olarak kullanılan *C. demersum* L. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Kamil Özdağ Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü'nden temin edilmiştir. *C. demersum*, Ceratophyllaceae familyasına ait tamamen su altında yaşayan çok yıllık bir su bitkisidir (Bakacak, 2010). Durgun ya da yavaş akan sularda yetişir. Gövdeleri 15 cm'den uzundur. Yapraklar koyu yeşil, 6-16 mm uzunlukta, 1-2 kez çatallanmış, sert yapıda, segmenler linear, dentikulattır. Meyve 4-5 x 2-2,5 mm, uçtaki diken 4-6 mm, tabana yakın olan yanal dikenler hafifçe geriye doğru kıvrık ve 2-3 mm uzunlukta (Seçmen ve Leblebici, 1997). Koyu yeşilden açık yeşile kadar değişen renklerde olabilen çatallı yapıdaki yaprakları, gövde üzerinde halkasal dizilmişlerdir. Bu halkalar, gövde ucuna doğru sıklaşarak tilki kuyruğu görünümünü aldıklarından sucul ortamda tilki kuyruğu olarak da bilinirler (Bakacak, 2010). Kökleri bulunmaz fakat bazı modifiye yapıları sayesinde (rizoid) suyun dip kısımlarına tutunabilirler (Cook, 1996; Arber, 2010).

Tez kapsamındaki diğer bitki olan *P. erectus* Karaman ilindeki akvaryumculardan temin edilmiştir. Lamiaceae familyasının bir üyesi olan *P. erectus* Hindistan'a ait bir su bitkisidir ve diğer *Pogostemon* türlerinden oldukça farklıdır. pH'ın 5-7 ve sıcaklığın ise 18-30 °C olduğu su ortamında yetişebilir. Açık yeşil renkli ince yaprakları gövde üzerinde yoğun bir şekilde büyür. *P. erectus*'un üst gövde kısmı özellikle çam yapraklarını anımsatır. Mor renkli çiçekleri ile oldukça dikkat çekicidir. Stamenleri üzerinde gözle görülür tüyler vardır. *P. erectus* tuzlu bölgelerde de yaşabilmektedir. Ayrıca daha farklı bölgelere de adaptasyon sağlayabilecek bir bitkidir. Büyüme

koşullarındaki küçük farklılıklar bitkinin yaprak şekillerinde ve kalınlığında farklılıklara sebep olabilmektedir. Akvaryumlarda orta alan veya arka plan bitkisi olarak dikilir ve oldukça güzel bir görünüm oluşturur. Sadece büyük akvaryumlarda ön plan bitkisi olarak kullanılır. Son yıllarda özellikle Amerika ve Avrupa'da akvaryumlarda yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Anonim, 2016).

3.3. Besin Ortamlarının Hazırlanması ve Kültür Koşulları

Denemelerde Murashige ve Skoog, (1962) (MS) mineral tuz ve vitaminleri ile (Çizelge 3.1) %3 sükröz (Duchefa) eklenmiş ve %0,65'lik agar (Duchefa) ile jelleştirilen temel besin ortamı kullanılmıştır. Denemelerde bitki büyüme düzenleyici olarak değişen konsantrasyon veya kombinasyonlarda sitokininler olarak Benzilaminopurin (BAP), Thidazuron (TDZ) ve Kinetin (KIN) ve oksin olarak Naftalin asetik asit (NAA) kullanılmıştır. Kültür ortamının hazırlanmasında ultra saf su kullanılmıştır. 1N HCl ve 1N NaOH yardımı ile kültür ortamının pH'sı $5,7\pm 0,1$ 'e ayarlanmış ve ardından atmosfer basıncı 1,2 ve sıcaklığı 120 °C olan otoklavda 20 dk süre ile sterilizasyon işlemi uygulanmıştır. Denemelerde eksplantlar, beyaz florasan ışık ve/veya LED ışıklar (Light Emitting Diode - Işık Yayan Diyot) altında $24\pm 1^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta ve 16 saat ışık fotoperiyodunda kültüre alınmıştır.

3.4. Bitki Büyüme Düzenleyicilerinin Hazırlanması ve Saklama Koşulları

Çalışılan bitki büyüme düzenleyicileri, Çizelge 3.2'de gösterilen çözücülerle çözülmüş ve ardından 1 mg/ml oranında stok solüsyonları hazırlanmıştır. Hazırlanan stok solüsyonları uygun sıcaklıklarda ($+4^{\circ}\text{C}$ veya -20°C) saklanmıştır. Büyüme düzenleyicilerinden bazıları (BAP, TDZ, NAA vb.) otoklavda steril edilmeden, bazıları (Kinetin ve IBA vb.) ise otoklavda steril edildikten sonra MS ortamlara ilave edilmiştir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.1. Murashige ve Skoog (1962) ortamında bulunan maddeler ve konsantrasyonları

Ortamda Bulunan Maddeler		Konsantrasyon (mg/L)
<i>Makro Elementler</i>	NH ₄ NO ₃	1650,000
	KNO ₃	1900,000
	CaCl ₂ .2H ₂ O	440,000
	MgSO ₄ .7H ₂ O	370,000
	KH ₂ PO ₄	170,000
<i>Mikro Elementler</i>	KI	0,830
	H ₃ BO ₃	6,200
	MnSO ₄ .4H ₂ O	22,300
	ZnSO ₄ .7H ₂ O	8,600
	Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0,250
	FeSO ₄ .7H ₂ O	27,850
	CoCl ₂ .6H ₂ O	0,025
	CuSO ₄ .5H ₂ O	0,025
	Na ₂ EDTA.2H ₂ O	37,250
<i>Vitaminler</i>	Myo-Inositol	100,000
	Nicotinic Acid	0,500
	Pyrotinic Acid	0,500
	Thiamine-HCl	0,100
	Glycine	2,000

Çizelge 3.2. Denemelerde kullanılan büyüme düzenleyicilerinin çözücüleri, stok oranı, sterilizasyon yöntemleri ve saklama koşulları

Bitki büyüme düzenleyicileri	Çözücü	Stok oranı (mg/ml)	Sterilizasyon yöntemleri	Saklama koşulları (°C)
Oksinler				
IAA	1N NaOH	1/1	Filtre	- 20
IBA	1N NaOH	1/1	Filtre	- 20
NAA	1 N NaOH	1/1	Otoklav	+4
Sitokininler				
TDZ	DMSO	1/1	Otoklav	+4
BAP	1N NaOH	1/1	Otoklav	+4
KIN	1N NaOH	1/1	Filtre	- 20

3.5. *P. erectus* için Doku Kültürü Çalışmaları

3.5.1. Eksplant Yüzey Sterilizasyonu

Bitki, yüzey sterilizasyonundan önce üzerindeki kalıntıları uzaklaştırmak için 30 dakika akan çeşme suyunun altında tutulmuştur. Bitkilerin üst gövdelerinden kesilen yaklaşık 3-5 cm'lik parçalar %5, %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında ticari çamaşır suyu (%5 NaClO - ACE) ile 5'er dk ve %4, %8, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında hidrojen peroksit (%35 H₂O₂ - Merck) ile 10'ar dk yüzey sterilizasyonuna tabi tutulmuştur. Bitkiler steril saf su ile 3 defa ve 5 dk boyunca durulanmış ve ardından sürgün ucu ve boğum eksplantları izole edilerek, hormonsuz MS (MSO) besin ortamına aktarılmıştır.

3.5.2. Eksplant İzolasyonu ve Kültürü

Yüzey sterilizasyonundan sonra steril bitkilerden izole edilen sürgün ucu ve boğum eksplantları (sürgün ucundan sonraki ilk boğum) *in vitro* sürgün rejenerasyonu için değişik oranlarda büyüme düzenleyiciler (BAP, KIN, TDZ vb.) içeren MS ortamlarına aktarılmıştır. Bütün doku kültürü çalışmaları steril kabin içerisinde aseptik koşullarda gerçekleştirilmiştir.

3.5.3. Rejenere Sürgünlerinin Köklendirilmesi

Rejenere sürgünlerden yaklaşık 3-4 cm uzunluklarında kesilen üst gövde parçaları, *in vitro* köklendirme çalışması için farklı oranlarda (0,25, 0,50, 0,75 ve 1,00 mg/L) Indol-3-Asetik Asit (IAA), Indol-3-Butirik Asit (IBA) ve NAA içeren MS besin ortamlarının bulunduğu steril Magenta GA⁷® kaplarında dört hafta boyunca kültüre alınmıştır.

3.6. *C. demersum* için Doku Kültürü Çalışmaları

C. demersum'un yüzey sterilizasyonu daha önce Doğan (2013)'nın yaptığı çalışmada sağlanmış ve *in vitro* çoğaltım için etkili eksplant çeşidi ve hormon oranı da belirlenmiştir. Bu nedenle *C. demersum* ile ilgili *in vitro* üretim çalışmaları, farklı LED

ışıkları altında bitkinin çoklu üretiminin araştırılması ve fitoremediasyon çalışmaları için gerekli bitkilerin çoklu üretilmesi amaçlarıyla yapılmıştır.

3.7. Farklı LED Işık Ortamlarında Bitkilerin Sürgün Rejenerasyonu

Bu denemede, çoklu sürgün rejenerasyonu için en etkili ışık ortamının tespit edilmesi amacıyla *C. demersum* ve *P. erectus* bitkilerinin sürgün ucu eksplantları farklı konsantrasyonlarda BAP içeren MS ortamında ve farklı LED ışıkları ve flouresan ışık altında sekiz hafta boyunca kültüre alınmıştır. Kullanılan LED ışıklar; beyaz, kırmızı, mavi LED ışıklarının tek kullanıldığı ve kırmızı-mavi LED ışıklarının farklı oranlarındaki kombinasyonlarıdır (Çizelge 3.3). Ayrıca çalışmada beyaz flouresan ışık da kullanılmıştır. Kültür koşulları 24±1 °C sıcaklıkta ve 16 saat ışık fotoperiyodunda yürütülmüştür.

Çizelge 3.3. *In vitro* sürgün rejenerasyonu için kullanılan farklı ışık ortamları

Işık Ortamları	Kısaltmalar
4 Kırmızı LED :1 Mavi LED	4K:1M LED
3 Kırmızı LED :1 Mavi LED	3K:1M LED
2 Kırmızı LED :1 Mavi LED	2K:1M LED
1 Kırmızı LED :1 Mavi LED	1K:1M LED
Beyaz LED	B LED
Kırmızı LED	K LED
Mavi LED	M LED
Beyaz Flouresan Işık	F LED

Beyaz (B); Kırmızı (K); Mavi (M); Beyaz Flouresan (F)

3.8. Adaptasyon

In vitro koşullarda üretilen bitkiler üzerindeki besin ortamı kalıntıları çeşme suyu ile dikkatlice uzaklaştırıldıktan sonra dış koşullara adaptasyon için akvaryum ortamına aktarılmıştır. Akvaryum tabanına 3-4 cm yüksekliğinde dere kumu yerleştirilmiş olup, 23°C sıcaklık ayarlı termostat ve 16 saat fotoperityodunda aydınlatma kullanılmıştır.

3.9. Fitoremediasyon Çalışmaları

3.9.1. *In Vitro* Üretilen Bitkilerin Deneye Hazırlanması

Fitoremediasyon çalışmalarında kullanılan *C. demersum*'un *in vitro* üretimi, bitkinin sürgün ucu eksplantlarının 0,40 mg/L BAP içeren sıvı MS besin ortamında sekiz hafta süre ile 2K:1M LED ışıklar altında kültüre alınmasıyla elde edilirken, *P. erectus*'un *in vitro* üretimi ise bitkinin sürgün ucu eksplantlarının 0,25 mg/L BAP içeren MS besin ortamında sekiz hafta süre ile 2K:1M LED ışık aydınlatma altında kültüre alınmasıyla elde edilmiştir. *In vitro* üretilen bitkilerin üzerindeki besin ortamı uzaklaştırıldıktan sonra %10'luk Hoagland besin çözeltisi (Hoagland ve Arnon, 1950) içeren su bulunan kaplar içerisine yerleştirilmiştir. Ardından bitki bulunan kaplar, iklimlendirme dolabında iki hafta süre ile dış ortama alıştırılmıştır. İklimlendirme kabini, 24°C sıcaklık, %80 bağıl nem ve 16 saat flouresan aydınlatma olacak şekilde kurulmuştur.

3.9.2. Stok Çözeltilerin Hazırlanması

Fitoremediasyon deneylerinde ağır metal olarak kadmiyum (Cd) krom (Cr) ve kurşun (Pb) kullanılmıştır. Cd için $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ (Sigma), Cr için $Cr(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ (Sigma) ve Pb için $Pb(NO_3)_2$ (Sigma) kimyasalları kullanılmıştır. Çözeltiler hazırlanmadan önce her bir ağır metal uygulaması için 1000 mg/L'lik stok solüsyonlar oluşturulmuş ve diğer derişimler bu stok çözeltiden seyreltilerek hazırlanmıştır. Çözeltilerin hazırlanmasında kimyaca inert ve yeterli büyüklükteki cam materyaller kullanılmıştır. Tüm materyaller kullanılmadan önce %5'lik NaClO ve ardından %10'luk nitrik asit (HNO_3) ile temizlenmiş ve 3 kez ultra saf su ile durulanmıştır. Fitoremediasyon çalışmalarında %10 Hoagland besin çözeltisinden 1000 ml'lik stoklar hazırlanmış ve su ortamlarına litreye %10 ölçüsünde kullanılmıştır.

3.9.3. Doz Belirleme Çalışması

Denemelerde kullanılan her bir ağır metal için uygulama dozları medyan etkili konsantrasyon (EC_{50}) baz alınarak belirlenmiştir. Bu bağlamda her iki bitki türünden yaklaşık 5-6 cm uzunluğunda 20 adet bitki Cd, Cr ve Pb'nin farklı konsantrasyonlarında 5 gün süre ile bekletilmiştir. Bu denemeler sonucunda bitkilerde meydana gelen renk

değişimi, solma, yumuşama ve ölüm gibi morfolojik değişiklikler tespit edilmiştir. EC₅₀ değeri EPA Probit Analiz Program (Used For Calculating LC/EC Values) Version 1.5 ile analiz edilmiştir.

Doz belirleme çalışmaları 400 ml'lik beherglaslarda ve her bir doz 3 tekrarlı olacak şekilde uygulanmıştır. Ayrıca deneyin yapıldığı şekil ve şartlarla birlikte kontrol amaçlı olarak ağır metal içermeyen su ortamına da deney ortamı ile aynı sayıda bitki konulmuştur. Bu denemeler sonucunda *C. demersum* ve *P. erectus* için fitoremediasyon çalışmalarında uygulanacak ağır metal konsantrasyonları Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Tüm yapılan çalışmalarda ultra saf su kullanılmıştır. Kullanılan malzemeler deney öncesinde %5'lik NaClO ortamında bekletilmiş, sonrasında %10'luk HNO₃'ten geçirilmiş ve saf su ile 3 kez durularak sterilize edilmiştir. Çalışmalarda kimyaca inert malzemeler kullanılmıştır.

Çizelge 3.4. Cd, Cr ve Pb için doz belirleme çalışmasında uygulanan konsantrasyonlar

<i>C. demersum</i>			<i>P. erectus</i>		
Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Pb (mg/L)
0,01	0,1	1	0,01	0,01	0,01
0,1	0,2	10	0,1	0,1	0,1
0,2	0,5	30	0,5	0,5	0,5
0,5	1	50	1	1	1
1	2	70	2	2	2
2	4	90	4	4	4
4	8	110	8	8	8
8	16	130	16	16	16
16	32	150	32	32	32
32	64	170	64	64	64

3.9.4. Fitoremediasyon için Sıcaklık ve pH Belirlenmesi

Fitoremediasyon çalışmalarında sıcaklık ve pH önemli bir faktör olup (Hamutoğlu ve ark., 2012), ağır metallerin bitki tarafından uzaklaştırılması için optimum sıcaklık ve pH aralığı belirlenmiştir. Sıcaklık çalışmaları iklimlendirme kabininde gerçekleştirilmiş olup, sıcaklık uygulamaları her iki bitki türü için 20, 25 ve 30 °C’de gerçekleştirilmiştir. Kabinin bağıl nemi %80, 16 saat aydınlık 8 saat karanlık olacak şekilde ayarlanmıştır. pH çalışmaları için kaplar içerisine suyun pH’ı 5, 6, 7, 8 ve 9 olarak ayarlanmıştır. Su ortamının pH’ının ayarlanmasında 1 N NaOH ve 1 N HCl kullanılmıştır. Çalışmalarında kullanılan ağır metal konsantrasyonları Çizelge 3.5’de verilmiştir. 400 ml su içeren beherglaslar içerisine 5 g bitki (yaklaşık 5-6 cm) ve %10’luk Hoagland besin çözeltisi eklenmiştir. Denemeler 3 gün süresince ve 3 tekrarlı olacak şekilde yürütülmüştür. Cd, Cr ve Pb tayini için örneklerin analizi Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre (AAS) cihazında (Perkin Elmer, PinAAcle 900T) okutulmuştur.

Çizelge 3.5. Farklı sıcaklık ve pH çalışmalarında *C.demersum* ve *P. erectus*'a uygulanan metal konsantrasyonları

<i>C. demersum</i>			<i>P. erectus</i>		
Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Pb (mg/L)
1	6	50	0,4	0,8	0,8

3.9.5. Bitkilerin Muamele Ortamı ve Deney Düzenegi

Deney düzenekleri tüm ağır metaller için (Cd, Cr ve Pb) oluşturulmuştur. Fitoremediasyon çalışmalarında kullanılan ağır metal konsantrasyonları EC₅₀ değeri baz alınarak belirlenmiş ve Çizelge 3.6’da verilmiştir. 400 ml su içeren beherglaslar içerisine 5 g bitki (yaklaşık 5-6 cm) ve %10’luk Hoagland besin çözeltisi eklenmiştir (pH:7). Bitkiler ağır metal içeren su ortamlarında 1, 3 ve 5 gün süre ile bekletilmiştir. Ayrıca bitkiler kontrol amaçlı ağır metal eklenmemiş su ortamına aktarılmıştır. Deneyler, 25°C sıcaklık, %80 bağıl nem, 16 saat aydınlık 8 saat karanlık olacak şekilde ayarlanmış iklimlendirme dolabında ve 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür.

Çizelge 3.6. *C.demersum* ve *P. erectus*' a uygulanan metal konsantrasyonları

<i>C. demersum</i>			<i>P. erectus</i>		
Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Pb (mg/L)
0 (kontrol)	0 (kontrol)	0 (kontrol)	0 (kontrol)	0 (kontrol)	0 (kontrol)
0,5	3	25	0,2	0,4	0,4
1	6	50	0,4	0,8	0,8
1,5	9	75	0,8	1,6	1,6
2	12	100	1,6	3,2	3,2

3.9.6. Bitki Örneklerinin Alımı ve Analizi

Laboratuvarda belirlenen koşullar altında 1, 3 ve 5 gün boyunca Cd, Cr ve Pb etkisine bırakılan bitki örnekleri bu süreler sonunda ortamlarından çıkarılmıştır. Bitkilerin kaba filtre kağıdı ile suları alındıktan sonra taze ağırlıkları tartılmış ve etüve (70°C) yerleştirilerek 4 gün süresince kurutulmuştur. Ardından 10 ml %65'lik HNO₃ (Merck) eklenerek, SINEO MDS-10 model mikrodalga (Microwave Chemistry Technology, Çin; Şekil 3.1) fırında çözülmüştür. Çözündürme koşulları 1200 W (ramp 15 dk) 180°C ve bekleme süresi 15 dk olarak ayarlanmıştır. Çözme işleminin ardından örnekler tüplere konularak Whatman no:42 filtre kağıdından süzölmüş ve ultra saf su ile 50 ml'ye tamamlanmıştır. Bitkilerdeki Cd, Cr ve Pb tayini için örnekler AAS cihazında okutulmuştur (Şekil 3.2). Cd, Cr ve Pb varlığının doğruluğu ve kontrolü için sertifikalı referans materyal (SRM, NIST 1547) kullanılmıştır. AAS her bir örneği 3 okumanın ortalamasını verecek şekilde ayarlanmıştır. Kullanılan element ölçümlerinin dalga boyu (nm), slit aralığı (nm), akım şiddeti (mA) ve okuma sayısı (n) Çizelge 3.7'de gösterilmiştir. Cihazın stabilitesini değerlendirmek için her 10 örnekte bir standart okuması yapılmıştır.

Çizelge 3.7. Perkin Elmer PinAAcle 900T AAS'da okunan elementlerin dalga boyu, slit aralığı, akım şiddeti ve okuma sayısı (Perkin-Elmer, 1996)

Elementler	Dalga boyu (nm)	Slit aralığı (nm)	Akım şiddeti (mA)	Okuma sayısı (n)
Kadmiyum (Cd)	228,80	0,7	230	3
Krom (Cr)	357,87	0,7	25	3
Kurşun (Pb)	283,31	0,7	440	3



Şekil 3.1. SINEO MDS-10 mikrodalga fırınına yerleştirilen örnekler



Şekil 3.2. Ağır metal analizinde kullanılan Perkin Elmer PinAAcle 900T AAS cihazı

3.10. Farklı Işık Ortamlarının Atık Sulardaki Kadmiyum, Krom ve Kurşunun Uzaklaştırılmasına Etkileri

Karaman ili (Türkiye) organize sanayi bölgesinden alınan atık su numuneleri AAS ile analiz edilerek içerisindeki Cd, Cr ve Pb miktarları belirlenmiştir. *In vitro* koşullarda üretilen bitkilerden 5 g alınarak (yaklaşık 5-6 cm) 400 ml sanayi atık suyu bulunan beherglaslara yerleştirilmiş ve farklı ışık ortamı (Çizelge 3.3) altında 1 gün boyunca bekletilmiştir. Tüm uygulamalar 3 tekrarlı yürütülmüştür. Ardından bitki ve su ortamının ağır metal içerikleri analiz edilmiştir. Bitkinin analize hazırlanması ve analizi yukarıda belirtilen (3.9.6) yöntemine göre yapılmıştır.

Su örneklerinin analize hazırlanması ise Üçüncü (2011)'nün uyguladığı yöntemine yapılmıştır. Su örnekleri, sterilize edilmiş cam pipet yardımıyla 10 ml çekilerek, sterilize edilmiş cam beherlere alınmıştır. Daha sonra beherlere alınan örnekler Whatman no:42 filtre kağıdından süzülerek steril falcon tüplerine boşaltılmıştır. Her bir falcon tüpü içindeki örneklerin pH'ı HNO₃ damlatılarak 2'ye düşürülmüş ve kapakları kapatılmıştır. Bu işlemler 3 tekrarlı yapılmış olup, ardından AAS ile okutma gerçekleştirilmiştir.

3.11. Fizyolojik ve Biyokimyasal Parametrelerin Değerlendirilmesi

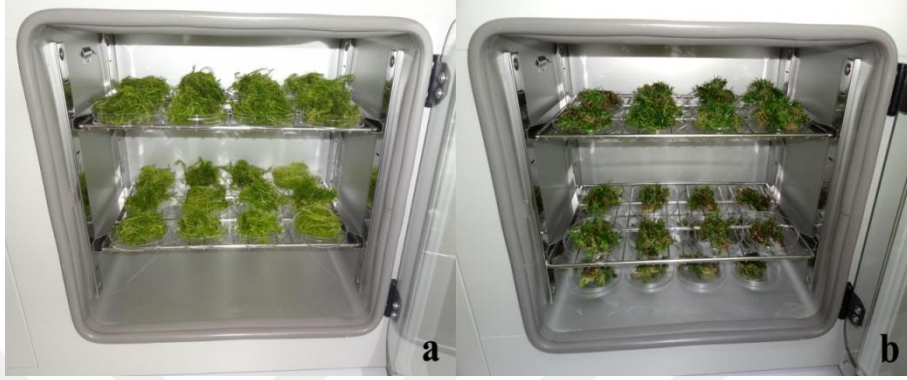
3.11.1. Biyokonsantrasyon Faktörünün (BKF) Hesaplanması

Biyokonsantrasyon faktörü (BKF) fitoremediasyon çalışmalarında kullanılan bitkilerdeki ağır metal derişiminin, uygulanan ağır metal derişimlerine bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Fitoremediasyon için kullanılan bitkilerin, Cd, Cr ve Pb ağır metal uygulamalarından sonra BKF oranı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır (Zayed ve ark., 1998).

BKF = Fitoremediasyondan sonra alınan bitkilerdeki ağır metal konsantrasyonu (mg/kg) / başlangıçta su ortamına eklenen metal konsantrasyonu (mg/L).

3.11.2. Taze ve Kuru Ağırlık Miktarının Ölçülmesi

Farklı sürelerde ve konsantrasyonlarda ağır metal içeren ortamlardaki bitkiler ve kontrol grubu bitkileri tartılarak taze ağırlıkları alındıktan sonra 70 °C etüvde (Şekil 3.3) 4 gün süresince bekletilmiş ve ardından tartılarak kuru ağırlıkları tespit edilmiştir.



Şekil 3.3. Etüvde kurumaya bırakılan bitkiler (a) *C. demersum* (b) *P. erectus*

3.11.3. Fotosentetik Pigment Analizi

Yıkılmış taze bitki örnekleri (100 mg) 5 ml %80'lik asetonla homojenize edilmiştir. Daha sonra ekstraktın son hacimi 10 ml olacak şekilde %80'lik (v/v) asetonla tamamlanmış ve 3000 rpm'de 5 dk santrifüj edilmiştir. Klorofil *a* için 663 nm, klorofil *b* için 646 nm ve karotenoit için 470 nm'de spektrofotometrede (Thermo Fisher Scientific, Multiskan Go) asetona karşı absorpsiyon değerleri okunmuştur (Şekil 3.4). Klorofil *a*, klorofil *b* ve karotenoit hesaplamaları Lichtenthaler ve Wellburn (1983)'e göre yapılmıştır. Toplam klorofil içeriği klorofil *a* + klorofil *b* olarak verilmiştir.



Şekil 3.4. Spektrofotometrik ölçümlerin yapıldığı cihaz (Thermo Fisher Scientific, Multiskan Go)

3.11.4. Protein Analizi

Protein analizi Lowry ve ark. (1951)'nin saptadıkları yöntemle göre yapılmıştır. 0,5 g taze bitki materyali 5 ml 0,1 M fosfor tamponunda (pH 7.4) homojenize edildikten sonra 12.000 rpm'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Süpernatanttan 0,3 ml alınarak, üzerine 3 ml C çözeltisi ilave edilmiş (C çözeltisi 100:1 oranında A ve B çözeltilerinden oluşturulmuştur. A çözeltisi: %2 Na₂CO₃, %0,4 NaOH ve %0,16 g Na-K tartarat; B çözeltisi: %4 Cu₂SO₄.5H₂O) ve 15 dakika oda sıcaklığında bekletilmiştir. Sonra 0,3 ml Folin-Ciocalteu ayırıcı eklenerek 30 dk oda sıcaklığında bekletilmiş ve absorbans 750 nm dalga boyunda okutulmuştur. Aynı işlem 0,3 ml saf su kullanılarak tanık için de uygulanmıştır. Standart eğri çizimi için de aynı yöntem farklı derişimlerde hazırlanan sığır serum albumin çözeltileri kullanılarak yapılmıştır.

3.11.5. Lipit Peroksidasyonunun Belirlenmesi

Lipit peroksidasyonu Heath ve Packer (1968)'a göre ve malondialdehit (MDA) konsantrasyonu ölçülerek belirlenmiştir. Bitki örnekleri 0,5 g alınarak 5 ml %0,1'lik trikloro asetik asit (TCA) içerisinde homojenize edilmiştir. Homojenat 10.000 rpm'de 5 dk santrifüj edildikten sonra elde edilen süpernatantın 1 ml'sine 4 ml %20 TCA içerisinde hazırlanmış %0,5'lik tiobarbitirik asit (TBA) ilave edilmiştir. Hazırlanan karışım 95°C 30 dk ısıtıldıktan sonra hızlı bir şekilde buz içerisinde soğutulmuştur. 10.000 rpm'de 15 dakika santrifüj edildikten sonra süpernatantların absorbansı 532 ve 600 nm'de spektrofotometrede okutulmuştur. Spesifik olmayan absorbsiyon için 600 nm'de okunan değer 532 nm'de okunan değerden çıkarılmış ve aktivite hesaplanmıştır.

3.12. İstatistiksel Analizler

Tüm denemeler tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuştur. Doku kültürü çalışmaları 6 tekerrürlü (n=6), fitoremediasyon çalışmaları ise 3 tekerrürlü (n=3) olarak yürütülmüştür. EC₅₀ değeri EPA Probit Analiz Program (Used For Calculating LC/EC Values) Version 1.5 ile analiz edilmiştir. Elde edilen veriler SPSS 21 for Windows (Statistical Package for the Social Sciences version 21.0, IBM Corporation, Armonk, NY, USA) programı ile analiz edilmiş ve Post Hoc testleri için de Duncan testleri uygulanmıştır.

4. BULGULAR

4.1. *P. erectus* için Doku Kültürü Çalışmaları

4.1.1. *P. erectus*'un Yüzey Sterilizasyon Çalışmaları

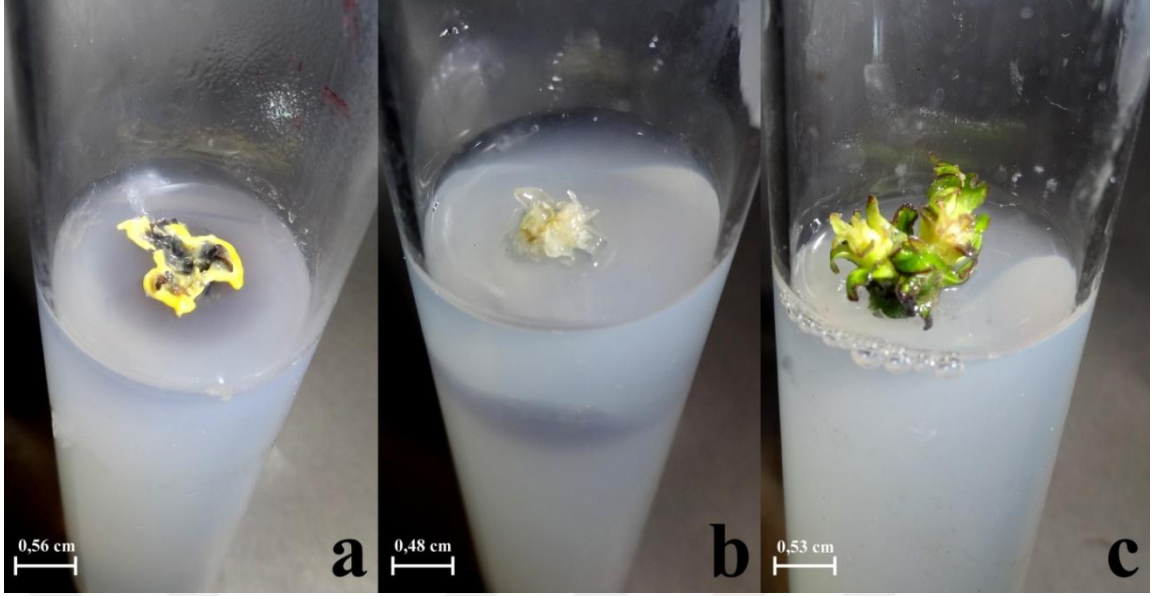
Bitkilerin yüzey sterilizasyonu işlemi uygulanmadan önce 30 dakika akan çeşme suyunun altında tutulmuştur. Ardından bitkiler farklı sürelerde ve konsantrasyonlarda ticari çamaşır suyu (%5 NaOCl) veya hidrojen peroksit (% 35'lik H₂O₂) ile muamele edilmiştir.

Çamaşır Suyu ile Yüzey Sterilizasyonu

P. erectus'un yüzey sterilizasyonu için üst gövdeden 3-5 cm uzunluklarında kesilen parçalar %5, %10, %20, %30, %40 ve %50 ticari çamaşır suyu (%5 NaOCl) ile 5 dk muamele edilmiştir (Çizelge 4.1). 5 dk süreyle 3 kez durulama işlemi uygulandıktan sonra sürgün ucu ve boğum eksplantları izole edilerek, hormon içermeyene MS (MSO) besin ortamına aktarılmıştır. Beşinci günde eksplantlar üzerinde bakteriyel ve fungal bulaşıklar gözlenmeye başlanmıştır (Şekil 4.1 a). İki hafta sonunda bulaşık oranları (%), steril ve ölen eksplant oranı (%) ve steril ve sağlam eksplant oranı (%) için veriler alınmıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Farklı konsantrasyonlarda uygulanan çamaşır suyunun *P. erectus*'un yüzey sterilizasyonuna ve eksplant gelişimine etkisi

Çamaşır Suyu (NaOCl)	Eksplantlar					
	Sürgün ucu			1. Boğum		
%	Bulaşık Oran (%)	Steril ve Ölen Eksplant Oran (%)	Steril ve Canlı Eksplant Oran (%)	Bulaşık Oran (%)	Steril ve Ölen Eksplant Oran (%)	Steril ve Canlı Eksplant Oran (%)
5	100	0	0	100	0	0
10	95	0	5	100	0	0
20	75	10	15	85	5	10
30	55	25	20	70	15	15
40	50	35	15	55	30	15
50	40	55	5	50	40	10



Şekil 4.1. %30'luk çamaşır suyunun uygulandığı ortamda *P. erectus*'un yüzey sterilizasyonu. (a) eksplant etrafında bakteriyel kontaminasyon (b) beyazlaşan eksplant ve (c) steril-sağlam sürgün ucu eksplantı

Genel olarak ortamlarda bakteriyel kontaminasyonlar daha fazla gözlenmiştir (Şekil 4.1 a). Yüksek oranda kullanılan çamaşır suyu bitkilerin steril olmasını sağlarken, eksplantları da beyazlaştırarak (ağartarak) ölmesine neden olmuştur (Şekil 4.1 b). Düşük oranda kullanılan çamaşır suyunda ise yoğun bakteriyel kontaminasyonlar gözlenmiştir. Ayrıca sürgün ucu eksplantlarında, boğum eksplantlarına göre daha az kontaminasyon tespit edilmiştir. Çamaşır suyunun parçalayıcı (beyazlatıcı) özelliği ise sürgün ucu eksplantlarını, boğum eksplantlarından daha fazla etkilemiştir.

P. erectus'un yüzey sterilizasyonu çalışmasında en fazla steril ve canlı sürgün ucu eksplantlar (%20) çamaşır suyunun %30 oranında uygulandığında elde edilmiştir (Şekil 4.1 c). Boğum eksplantlarında ise en fazla steril ve canlı eksplant oranı (%15) çamaşır suyunun %30 ve %40 oranında uygulandığı eksplantlarda elde edilmiştir. Buradan elde edilen eksplantlar çoğaltım çalışmaları için kullanılmıştır.

Hidrojen Peroksit ile Yüzey Sterilizasyonu

Bu çalışmada hidrojen peroksitin (H_2O_2) *P. erectus*'un yüzey sterilizasyonu ve eksplant gelişimi üzerine etkisi araştırılmıştır. Öncelikle bitkiden 3-5 cm uzunluklarında kesilen üst gövde parçaları %4-25 oranlarında hidrojen peroksit ile 10 dk muamele edilmiştir

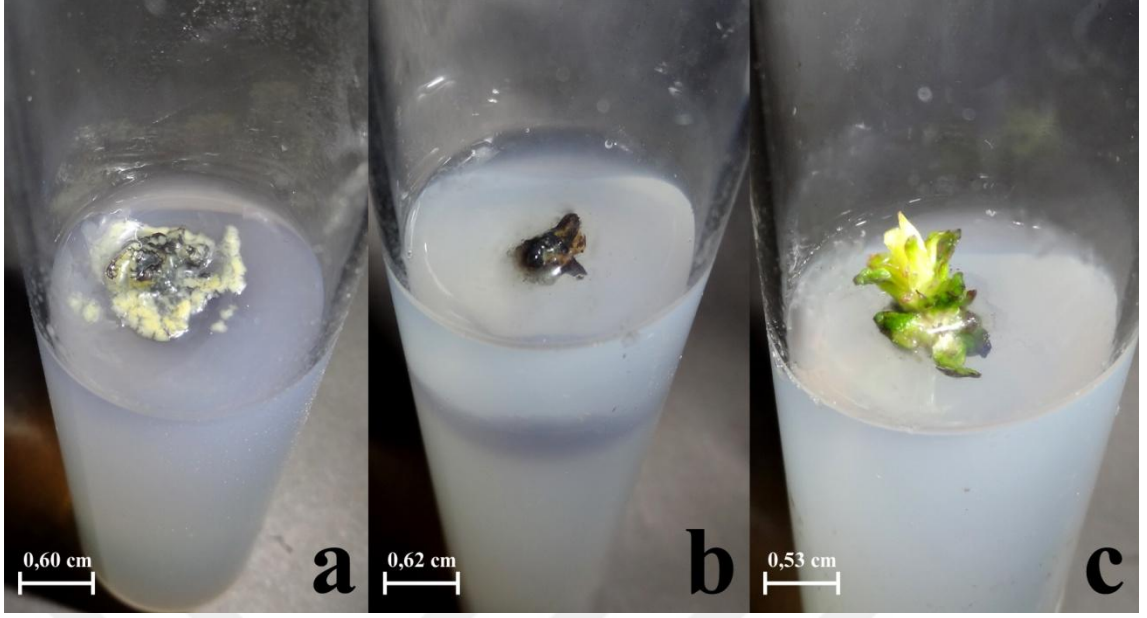
(Çizelge 4.2). Ardından 3 kez 5'er dk durulama işlemi yapılmış ve sürgün ucu ve boğum eksplantları hormon içermeyen MSO ortamına aktarılmıştır. Dördüncü günde eksplantlar üzerinde bakteriyel kontaminasyonlar belirmeye başlamıştır. İki hafta sonunda deneme sonlandırılarak bulaşık oranları (%), steril ve ölen eksplant oranı (%) ve steril ve sağlam eksplant oranı (%) verileri belirlenmiştir (Çizelge 4.2).

Çamaşır suyunun uygulandığı eksplantlarda görüldüğü gibi, hidrojen peroksitin uygulandığı eksplantlarda da çoğunlukla bakteriyel kontaminasyonlar görülmüştür (Şekil 4.2 a). Yüksek oranda kullanılan hidrojen peroksitin eksplantları kahverengileştirerek veya siyahlaştırarak ölmesine neden olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.2 b). Genel olarak bulaşık oranı sürgün ucu eksplantlarında boğum eksplantlara göre daha az tespit edilirken, steril ve canlı eksplant oranı (Şekil 4.2 c) ise daha fazla tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2. Farklı konsantrasyonlarda uygulanan hidrojen peroksitin *P. erectus*'un yüzey sterilizasyonuna ve eksplant gelişimine etkisi

Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂)	Eksplantlar					
	Sürgün ucu			1. Boğum		
%	Bulaşık Oranı (%)	Steril ve Ölen Eksplant Oranı (%)	Steril ve Canlı Eksplant Oranı (%)	Bulaşık Oranı (%)	Steril ve Ölen Eksplant Oranı (%)	Steril ve Canlı Eksplant Oranı (%)
4	90	5	5	100	0	0
8	90	0	10	90	0	10
10	70	5	25	80	10	10
15	65	25	10	75	10	15
20	55	30	15	60	35	5
25	35	55	10	45	50	5

En fazla steril ve canlı eksplant oranı %10'luk hidrojen peroksit konsantrasyonundaki sürgün ucu eksplantlarında %25 olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.2). Boğum eksplantlarında ise en fazla steril ve canlı eksplant oranı (%15) hidrojen peroksitin %15 oranında uygulandığı eksplantlardan elde edilmiştir. Buradan elde edilen steril ve canlı eksplantlar MSO ortamlarında çoğaltılarak, ardından çoklu üretim çalışmalarında kullanılmıştır.



Şekil 4.2. %10'luk hidrojen peroksit uygulandığı ortamda *P. erectus*'un yüzey sterilizasyonu. (a) eksplant üzerinde bakteriyel kontaminasyon (b) kahverengileşen eksplant ve (c) steril-sağlam sürgün ucu eksplantı

4.1.2. Farklı KIN-NAA Dozlarının *P. erectus*'un Sürgün Ucu ve Boğum Eksplantlarından Sürgün Rejenerasyonu

Bu denemede, *in vitro* koşullarda *P. erectus*'un steril sürgün ucu ve boğum eksplantları sürgün rejenerasyonu için KIN ve KIN+NAA içeren MS besin ortamlarında sekiz hafta boyunca kültüre alınmıştır. Ayrıca kontrol amaçlı hormonsuz MS (MSO) ortamında da çalışmalar yürütülmüştür. İlk sürgün oluşumları yedinci günde belirmeye başlamış ve kültürün dördüncü haftasında (Şekil 4.3 a) çoklu sürgün oluşumları belirgin şekilde gözlenmiştir. *In vitro* çoğaltım çalışmalarında eksplantlar üzerinde herhangi bir kallus oluşumuna rastlanmamıştır. Sekiz hafta sonra (Şekil 4.3 b) sürgün rejenerasyon yüzdesi %, eksplant başına sürgün sayısı (adet) ve sürgün uzunluğu (cm) verileri için varyans analizi uygulanmıştır (Çizelge 4.3).



Şekil 4.3. 1 mg/L KIN ve 0,25 mg/L NAA dozlarının *P. erectus*'un boğum eksplantlarından sürgün rejenerasyonu; dört (a) ve sekiz hafta (b) sonunda sürgün rejenerasyonu

Çizelge 4.3. Farklı KIN-NAA dozlarının *P. erectus*'un sürgün ucu ve boğum eksplantlarından sürgün rejenerasyonuna ait varyans analizi

V.K.	S.D.	Sürgün Rejenerasyon Yüzdesi (%)		Eksplant Başına Sürgün Sayısı (adet)		Sürgün Uzunluğu (cm)	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Sürgün ucu							
Ortam	10	1015,96	6,62**	82,22	12,02**	4,05	362,19**
Hata	22	153,56	-	6,84	-	0,01	-
Genel Toplam	32	-	-	-	-	-	-
** $p < 0,01$ düzeyinde önemli							
Boğum							
Ortam	10	1416,69	15,13**	133,42	18,84**	3,54	161,85**
Hata	22	93,65	-	7,08	-	0,02	-
Genel Toplam	32	-	-	-	-	-	-
** $p < 0,01$ düzeyinde önemli							

Denemede kullanılan her iki çeşit eksplant için de sürgün rejenerasyon yüzdesi, eksplant başına sürgün sayısı ve sürgün uzunluğu bakımından ortamlar arasında istatistiksel olarak $p < 0,01$ seviyesinde önemli bir farklılık bulunmuştur. Bu farklılığın anlamlılık seviyesini tespit etmek için Duncan testi uygulanmış ve Çizelge 4.4.'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Farklı KIN-NAA dozlarının *P. erectus*'un sürgün ucu ve boğum eksplantlarında sürgün rejenerasyonuna etkisi

		Sürgün Rejenerasyon Yüzdesi (%)		Eksplant Başına Sürgün Sayısı (adet)		Sürgün Uzunluğu (cm)	
KIN (mg/L)	NAA (mg/L)	Sürgün ucu	Boğum	Sürgün ucu	Boğum	Sürgün ucu	Boğum
-	-	38,55 ^b	27,44 ^b	3,87 ^c	2,50 ^c	1,33 ^f	1,18 ^e
0,25	-	88,89 ^a	83,33 ^a	11,22 ^d	9,49 ^d	4,52 ^d	4,26 ^c
0,50	-	100,00 ^a	100,00 ^a	13,38 ^{cde}	14,44 ^{cd}	4,95 ^{cd}	4,34 ^c
0,75	-	100,00 ^a	100,00 ^a	18,11 ^{abcd}	20,27 ^{abc}	5,21 ^b	4,85 ^{ab}
1,00	-	100,00 ^a	100,00 ^a	19,27 ^{abc}	21,50 ^{ab}	5,64 ^a	4,97 ^{ab}
1,25	-	100,00 ^a	100,00 ^a	16,39 ^{abcde}	10,28 ^d	4,81 ^d	5,13 ^a
0,25	0,25	88,89 ^a	83,33 ^a	12,18 ^{de}	14,32 ^{cd}	4,15 ^e	3,83 ^d
0,50	0,25	100,00 ^a	94,44 ^a	15,33 ^{bcde}	15,38 ^{bcd}	4,22 ^e	4,16 ^{cd}
0,75	0,25	100,00 ^a	100,00 ^a	18,44 ^{abcd}	19,27 ^{abc}	4,47 ^d	4,27 ^c
1,00	0,25	100,00 ^a	100,00 ^a	22,61 ^a	24,44 ^a	5,14 ^{bc}	4,73 ^b
1,25	0,25	100,00 ^a	100,00 ^a	20,39 ^{ab}	23,16 ^a	5,34 ^b	4,82 ^{ab}

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $p < 0,01$ düzeyinde önemlidir.

Çizelge 4.4'de görüldüğü gibi sürgün rejenerasyon yüzdesi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,01$) ve sürgün ucu eksplantlarında %38,55-100,00 arasında ve boğum eksplantlarında %27,44-100,00 arasında değişmiştir. Boğum eksplantlarına kıyasla sürgün ucu eksplantlarının sürgün rejenerasyon yüzdesi daha yüksek çıkmıştır. Genel olarak MSO besin ortamı hariç diğer tüm ortamlarda yüksek sürgün rejenerasyonu elde edilmiştir. Genelde yüksek sürgün rejenerasyon oranına sahip olunmasına rağmen, düşük oranda kullanılan KIN ve KIN + NAA hormonları sürgün rejenerasyonu üzerinde nispeten olumsuz etki göstermiştir. Her iki eksplant çeşitinde de en yüksek sürgün rejenerasyon yüzdeleri (%100) kinetinin 0,50 - 1.25 mg/L olarak kullanıldığı kültür ortamlarında ve 0,75 - 1.25 mg/L KIN + 0,25 mg/L NAA içeren kültür ortamlarında tespit edilmiştir.

Sürgün ucu ve boğum eksplantlarının eksplant başına sürgün sayıları sırasıyla 3,87-22,61 adet ve 2,50-24,44 adet arasında belirlenmiştir (Çizelge 4.4). En fazla eksplant başına sürgün sayısı sürgün ucu (22,61 adet) ve boğum (24,44 adet) eksplantlarında, 1.00 mg/L KIN + 0,25 mg/L NAA içeren MS ortamda elde edilirken, en az sayıda sürgünler ise (MSO ortam hariç) her iki eksplant tipi için de 0,25 mg/L KIN içeren MS ortamda elde edilmiştir. Kinetinin tek olarak kullanıldığı MS besin ortamlarında en fazla sürgün sayıları her iki eksplant içinde 1.00 mg/L KIN içeren MS ortamında elde

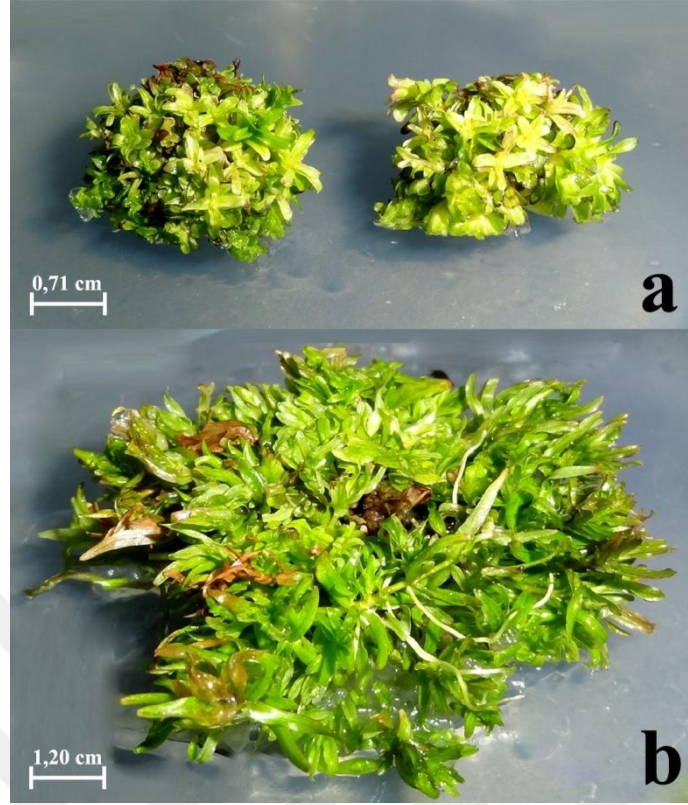
edilmiştir. Genel olarak sürgün sayısı üzerinde KIN + NAA kombinasyonunu, kinetinin tek kullanıldığı kültür ortamlarına göre daha etkili bulunmuştur.

Sürgün ucu ve boğum eksplantları sürgün uzunlukları bakımından istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde önemli bulunmuş ve sürgün ucu eksplantı için 1,33-5,64 cm ve boğum eksplantı için 1,18-5,13 cm arasında değişmiştir. En yüksek sürgün uzunlukları sürgün ucu eksplantı için 5,64 cm ile 1,00 mg/L KIN eklenmiş MS besin ortamında ve boğum eksplantı için 5,13 cm ile 1,25 mg/L KIN eklenmiş MS besin ortamında elde edilmiştir. KIN+NAA kombinasyonunda ise en yüksek sürgün uzunlukları her iki eksplant için 1,25 mg/L KIN + 0,25 mg/L NAA içeren MS ortamda kaydedilmiştir. MSO ortamına kıyasla en kısa sürgünler ise 0,25 mg/L KIN + 0,25 mg/L NAA içeren MS ortamda belirlenmiştir.

4.1.3. Farklı TDZ-NAA Dozlarının *P. erectus*'un Sürgün Ucu ve Boğum Eksplantlarından Sürgün Rejenerasyonu

P. erectus'un sürgün ucu ve boğum eksplantları *in vitro* mikroçoğaltım amacıyla TDZ ve TDZ + NAA kombinasyonunu içeren MS besin ortamında sekiz hafta boyunca kültüre alınmıştır. Sürgün ucu eksplantlarda yedinci günde sürgünler belirmeye başlarken, boğum eksplantında dokuzuncu günde sürgünler belirmeye başlamıştır. Kontrol grubu olarak eksplantlar hormonsuz MS besin ortamında da kültüre alınmıştır. Dört hafta sonunda (Şekil 4.4 a) çoklu sürgünler belirgin şekilde gözlenmiştir. Kültür ortamında herhangi bir kallus oluşmamıştır. Sekiz hafta sonra (Şekil 4.4 b) sürgün rejenerasyon yüzdesi (%), eksplant başına sürgün sayısı (adet) ve sürgün uzunluğu (cm) verileri alınarak varyans analizi yapılmıştır (Çizelge 4.5).

Sürgün ucu ve boğum eksplantlarında sürgün rejenerasyon yüzdesi, eksplant başına sürgün sayısı ve sürgün uzunluğu bakımından ortamlar arasında $p < 0,01$ seviyesinde anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir (Çizelge 4.5). Bu farklılığın anlamlılık seviyesini tespit etmek için Duncan testi uygulanmış ve Çizelge 4.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.4. 0,25 mg/L TDZ ve 0,25 mg/L NAA dozlarının *P. erectus*'un boğum eksplantlarından sürgün rejenerasyonu; dört (a) ve sekiz hafta (b) sonunda sürgün rejenerasyonu

Çizelge 4.5. Farklı TDZ-NAA dozlarının *P. erectus*'un sürgün ucu ve boğum eksplantlarından sürgün rejenerasyonuna ait varyans analizi

V.K.	S.D.	Sürgün Rejenerasyon Yüzdesi (%)		Eksplant Başına Sürgün Sayısı (adet)		Sürgün Uzunluğu (cm)	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Sürgün ucu							
Ortam	10	1649,97	19,60**	413,33	24,79**	0,52	59,58**
Hata	22	84,19	-	16,67	-	0,01	-
Genel Toplam	32	-	-	-	-	-	-
** $p < 0,01$ düzeyinde önemli							
Boğum							
Ortam	10	1378,88	9,63**	398,24	39,24**	0,67	201,87**
Hata	22	143,13	-	10,15	-	0,003	-
Genel Toplam	32	-	-	-	-	-	-
** $p < 0,01$ düzeyinde önemli							

Çizelge 4.6. Farklı TDZ-NAA dozlarının *P. erectus*'un sürgün ucu ve boğum eksplantlarında sürgün rejenerasyonuna etkisi

		Sürgün Rejenerasyon Yüzdesi (%)		Eksplant Başına Sürgün Sayısı (adet)		Sürgün Uzunluğu (cm)	
TDZ (mg/L)	NAA (mg/L)	Sürgün ucu	Boğum	Sürgün ucu	Boğum	Sürgün ucu	Boğum
-	-	33,33 ^d	27,77 ^e	2,00 ^e	2,50 ^f	0,95 ^e	1,06 ^g
0,25	-	100,00 ^a	100,00 ^a	40,16 ^a	36,22 ^{bc}	2,08 ^a	2,48 ^a
0,50	-	100,00 ^a	94,44 ^{ab}	35,88 ^{abc}	34,29 ^{bc}	2,12 ^a	2,17 ^b
0,75	-	77,77 ^{ab}	72,22 ^{abcd}	25,28 ^d	31,28 ^{cd}	1,38 ^{cd}	1,77 ^d
1,00	-	61,11 ^{bc}	66,66 ^{bcd}	23,18 ^d	24,29 ^{de}	1,17 ^{de}	1,20 ^f
1,25	-	50,00 ^{cd}	44,44 ^{de}	19,22 ^d	21,33 ^e	1,13 ^e	1,16 ^{fg}
0,25	0,25	100,00 ^a	83,33 ^{abc}	43,22 ^a	45,20 ^a	1,73 ^b	2,03 ^c
0,50	0,25	100,00 ^a	88,89 ^{abc}	38,33 ^{ab}	41,41 ^{ab}	1,53 ^{bc}	1,97 ^c
0,75	0,25	100,00 ^a	77,77 ^{abc}	29,05 ^{bcd}	34,35 ^{bc}	1,46 ^c	1,62 ^e
1,00	0,25	77,77 ^{ab}	72,22 ^{abcd}	27,51 ^{cd}	31,36 ^{cd}	1,08 ^e	1,56 ^e
1,25	0,25	72,22 ^b	61,11 ^{cd}	21,29 ^d	25,19 ^{de}	0,97 ^e	1,18 ^{fg}

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $p < 0,01$ düzeyinde önemlidir.

Çizelge 4.6'da görüldüğü gibi, sürgün rejenerasyon yüzdesi sürgün ucu eksplantında %33,33-100,00 ve boğum eksplantlarda ise %27,77-100,00 arasında değişmiştir. En yüksek sürgün rejenerasyon oranı (%100) sürgün ucu eksplantlarında TDZ'nin 0,25 ve 0,50 mg/L olarak kullanıldığı kültür ortamında ve 0,25-0,75 mg/L TDZ + 0,25 mg/L NAA kombinasyonlarının kullanıldığı kültür ortamlarında elde edilmiştir. Boğum eksplantlarında ise %100 sürgün rejenerasyon oranı sadece 0,25 mg/L TDZ içeren kültür ortamında belirlenmiştir. Kontrol grubuna (MSO) kıyasla en düşük sürgün rejenerasyon yüzdeleri sürgün ucu (%50,00) ve boğum (%44,44) eksplantlarında 1,25 mg/L TDZ içeren MS ortamında bulunmuştur. Sürgün ucu eksplantlarının, boğum eksplantlarına göre daha fazla sürgün rejenerasyon frekansına sahip olduğu görülmüştür.

Eksplant başına sürgün sayıları, sürgün ucu eksplantlarında 2,00-43,22 adet ve boğum eksplantlarında 2,50-45,20 adet arasında değişmiştir (Çizelge 4.6). En fazla eksplant başına sürgün sayısı sürgün ucu (43,22 adet) ve boğum (45,20 adet) eksplantlarında 0,25 mg/L TDZ + 0,25 mg/L NAA kombinasyonunu içeren MS ortamında tespit edilmiştir. TDZ'nin tek kullanıldığı MS ortamlarında ise en fazla sayıda sürgün her iki eksplant tipi için de 0,25 mg/L TDZ içeren MS ortamında saptanmıştır. Kontrol

grubuna kıyasla en düşük eksplant başına sürgün sayısı ise TDZ'nin en yüksek dozda kullanıldığı (1,25 mg/L) MS ortamında, sürgün ucu eksplantı için 19,22 adet ve boğum eksplantında 21,33 adet olarak belirlenmiştir. Kültür ortamında kullanılan TDZ oranının artması, eksplantlardan çıkan sürgün sayılarını azaltmıştır. TDZ+NAA kombinasyonunu içeren kültür ortamlarında boğum eksplantları, sürgün ucu eksplantlarına kıyasla daha fazla sürgün sayısını vermiştir.

Eksplantların sürgün uzunlukları analiz edildiğinde, sürgün uzunlukları sürgün ucu eksplantında 0,95-2,12 cm, boğum eksplantında ise 1,06-2,48 cm arasında değişmiştir (Çizelge 4.6). Sürgün ucu eksplantında en uzun sürünler 2,12 cm ile 0,50 mg/L TDZ içeren MS ortamında, ardından ise 2,08 cm ile 0,25 mg/L TDZ içeren MS ortamında bulunmuştur. Boğum eksplantında ise sürgün ucu eksplantlarından daha uzun sürgünler elde edilmiş olup, en yüksek sürgün uzunlukları 2,48 cm ile 0,25 mg/L TDZ içeren MS ortamında, ardından ise 2,17 cm ile 0,50 mg/L TDZ içeren MS ortamında belirlenmiştir. MSO ortamlarına kıyasla en kısa sürgünler sürgün ucu eksplantlarında (0,97 cm) 1,25 mg/L TDZ + 0,25 mg/L NAA içeren kültür ortamlarında tespit edilirken, boğum eksplantlarında (1,16 cm) 1,25 mg/L TDZ içeren kültür ortamlarında tespit edilmiştir. Kültür ortamlarında TDZ oranının artması sürgün uzamalarını olumsuz etkilemiştir.

4.1.4. Farklı BAP-NAA Dozlarının *P. erectus*'un Sürgün Ucu ve Boğum Eksplantlarından Sürgün Rejenerasyonu

In vitro sürgün rejenerasyonu için *P. erectus*'un sürgün ucu ve boğum eksplantları 0,25-1,25 mg/L BAP ve 0,25 mg/L NAA ile kombinasyonlarını içeren MS besin ortamında sekiz hafta boyunca kültüre alınmıştır. Ayrıca her iki eksplant tipi hormon içermeyen MS (MSO) besin ortamında kontrol grubu olarak kültüre alınmıştır. BAP'ın tek kullanıldığı kültür ortamlarında yedinci günde eksplantlar üzerinde direkt sürgün oluşumu başlangıcı tespit edilirken, BAP + NAA içeren kültür ortamlarında dokuzuncu günde gözlenmeye başlamıştır. Dördüncü haftada ise çoklu rejenere sürgünler belirgin şekilde gözlenmeye başlamıştır (Şekil 4.5 a). Sekizinci haftada deneme sonlandırılmış (Şekil 4.5 b) ve sürgün rejenerasyon yüzdesi (%), eksplant başına sürgün sayısı (adet) ve sürgün uzunluğu (cm) verileri alınarak varyans analizi uygulanmıştır (Çizelge 4.7).



Şekil 4.5. 0,25 mg/L BAP dozlarının *P. erectus*'un sürgün ucu eksplantlarından sürgün rejenerasyonu; dört (a) ve sekiz hafta (b) sonunda sürgün rejenerasyonu

Çizelge 4.7. Farklı BAP-NAA dozlarının *P. erectus*'un sürgün ucu ve boğum eksplantlarından sürgün rejenerasyonuna ait varyans analizi

V.K.	S.D.	Sürgün Rejenerasyon Yüzdesi (%)		Eksplant Başına Sürgün Sayısı (adet)		Sürgün Uzunluğu (cm)	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Sürgün ucu							
Ortam	10	986,67	19,53**	530,09	27,69**	1,02	90,68**
Hata	22	50,53	-	19,14	-	0,01	-
Genel Toplam	32	-	-	-	-	-	-
** $p < 0,01$ düzeyinde önemli							
Boğum							
Ortam	10	1446,33	17,18**	401,55	24,27**	0,79	49,78**
Hata	22	84,19	-	16,55	-	0,02	-
Genel Toplam	32	-	-	-	-	-	-
** $p < 0,01$ düzeyinde önemli							

Çizelgede 4.7'de görüldüğü gibi sürgün ucu ve boğum eksplantlarında sürgün rejenerasyon yüzdesi, eksplant başına sürgün sayısı ve sürgün uzunluğu bakımından ortamlar arasında istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde önemli farklılıklar bulunmuştur. Elde edilen verilerin anlamlılık seviyesini tespit etmek için Duncan testi uygulanmış ve Çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Farklı BAP-NAA dozlarının *P. erectus*'un sürgün ucu ve boğum eksplantlarında sürgün rejenerasyonuna etkisi

		Sürgün Rejenerasyon Yüzdesi (%)		Eksplant Başına Sürgün Sayısı (adet)		Sürgün Uzunluğu (cm)	
BAP (mg/L)	NAA (mg/L)	Sürgün ucu	Boğum	Sürgün ucu	Boğum	Sürgün ucu	Boğum
-	-	44,44 ^d	27,77 ^c	2,79 ^e	2,55 ^d	1,19 ^g	1,22 ^e
0,25	-	100,00 ^a	100,00 ^a	52,66 ^a	45,16 ^a	2,89 ^a	2,64 ^a
0,50	-	100,00 ^a	100,00 ^a	48,16 ^{ab}	42,33 ^a	2,65 ^{ab}	2,38 ^{ab}
0,75	-	100,00 ^a	100,00 ^a	43,22 ^{abc}	37,33 ^{ab}	2,36 ^c	1,82 ^c
1,00	-	94,44 ^{ab}	88,89 ^{ab}	38,29 ^{bc}	30,29 ^{bc}	1,52 ^{ef}	1,51 ^{de}
1,25	-	72,22 ^c	77,77 ^{ab}	35,38 ^{cd}	28,62 ^{bc}	1,33 ^{fg}	1,44 ^e
0,25	0,25	100,00 ^a	100,00 ^a	43,16 ^{abc}	38,22 ^{ab}	2,46 ^{bc}	2,67 ^a
0,50	0,25	100,00 ^a	100,00 ^a	39,49 ^{bc}	37,38 ^{ab}	2,23 ^c	2,53 ^{ab}
0,75	0,25	94,44 ^{ab}	88,89 ^{ab}	35,34 ^{cd}	31,32 ^{bc}	1,91 ^d	2,25 ^b
1,00	0,25	77,77 ^{bc}	83,33 ^{ab}	33,20 ^{cd}	29,67 ^{bc}	1,62 ^e	1,83 ^c
1,25	0,25	72,22 ^c	66,66 ^b	25,57 ^d	23,15 ^c	1,42 ^{efg}	1,77 ^{cd}

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $p < 0,01$ düzeyinde önemlidir

Kültür ortamlarında sürgün rejenerasyon yüzdesi sürgün ucu eksplantı için %44,44-100,00 arasında, boğum eksplantı için %27,77-100,00 arasında tespit edilmiştir (Çizelge 4.8). Her iki eksplant tipinde de %100 sürgün rejenerasyonları 0,25-0,75 mg/L BAP içeren MS ortamında ve 0,25 ve 50 mg/L BAP + 0,25 ng/L NAA kombinasyonlarını içeren MS ortamında elde edilmiştir. Kültür ortamlarında BAP konsantrasyonunun artması sürgün rejenerasyonu üzerine olumsuz etki yapmıştır. En düşük sürgün rejenerasyon yüzdesi her iki eksplant tipi için de hormon içermeyen MSO besin ortamında bulunmuştur.

Eksplant başına sürgün sayısı ile BAP-NAA ortamları arasında $p < 0,01$ seviyesinde anlamlı bir farklılık tespit edilmiş olup, sürgün ucu için 2,79-52,66 adet ve 2,55-45,16 adet arasında sürgünler elde edilmiştir (Çizelge 4.8). En fazla eksplant başına sürgün sayısı sürgün ucu eksplantı için 52,66 adet ve boğum eksplantı için 45,16 adet ile 0,25 mg/L BAP içeren MS ortamında kaydedilmiştir. BAP+NAA kombinasyonunu içeren MS ortamlarında en fazla sürgün sayıları sürgün ucu eksplantı ve boğum eksplantı için 0,25 mg/L BAP + 0,25 mg/L NAA içeren kültür ortamlarında elde edilmiştir. En az sayıda sürgünler ise hormon içermeyen MSO ortamında bulunmuştur. Her iki eksplant çeşidi uygulamasında da hormon miktarı arttıkça sürgün sayısının azalmış ve en az sayıda sürgünler 1,25 mg/L BAP ve 1,25 mg/L BAP + 0,25 mg/L NAA içeren MS

ortamlarında saptanmıştır. Ayrıca sürgün ucu eksplantları, boğum eksplantlarına kıyasla daha fazla sürgün sayısı vermiştir (Çizelge 4.8).

Farklı oranlarda BAP-NAA içeren MS ortamlarında sürgün uzunlukları, sürgün ucu ve boğum eksplantlarında sırasıyla 1,19-2,89 cm ve 1,22-2,67 cm arasında değişmiştir (Çizelge 4.8). En uzun sürgünler sürgün ucu eksplantlarında 2,89 cm ile 0,25 mg/L BAP içeren MS besin ortamında ve boğum eksplantlarında ise 2,67 cm ile 0,25 mg/L BAP + 0,25 mg/L NAA kombinasyonunu ihtiva eden MS besin ortamında elde edilmiştir. Kullanılan BAP konsantrasyonunun artması rejenere sürgünlerin uzaması üzerine olumsuz etki göstermiştir. Hormon içeren kültür ortamlarına kıyasla en kısa sürgünler BAP'ın en yüksek oranda kullanıldığı (1,25 mg/L) MS besin ortamında tespit edilmiştir.

4.1.5. Farklı LED Işık Ortamlarında *P. erectus*'un Sürgün Ucu Eksplantlarından Sürgün Rejenerasyonu

In vitro sürgün rejenerasyonu için *P. erectus*'dan alınan sürgün ucu eksplantları farklı LED ışık ve flouresan ışık altında sekiz hafta boyunca kültüre alınmıştır. Denemeler beyaz, kırmızı ve mavi LED ışıkların tek olarak ve kırmızı ve mavi LED ışıkların farklı oranlarda kombinasyonunun (4K:1M, 3K:1M, 2K:1M ve 1K:1M) bulunduğu MS besin ortamlarında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çalışmada beyaz flouresan ışık da kontrol olarak kullanılmıştır. Bu çalışmalarda, çoklu sürgün rejenerasyonu için en etkili ışık ortamının belirlenmesi amaçlanmıştır.

P. erectus'un sürgün ucu eksplantları 0,25, 0,50 ve 0,75 mg/L BAP içeren MS ortamında ve farklı ışık ortamları altında sekiz hafta boyunca kültüre alınmıştır. İlk aksillar sürgün oluşumları yedinci günde belirmeye başlamış ve ikinci haftada sürgün oluşumları daha net gözlenebilmiştir. Dördüncü haftada tüm ortamlarda çoklu sürgün oluşumları tespit edilmiştir. Kültür ortamlarındaki eksplantlarda herhangi bir kallus oluşumu gözlenmemiştir. Sekiz hafta sonunda ise deneme sonuçlandırılmış ve sürgün rejenerasyon yüzdesi, eksplant başına sürgün sayısı ve sürgün uzunluğu verileri için varyans analizi uygulanmıştır (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. Farklı BAP ve ışık ortamlarının *P. erectus*'un sürgün ucu eksplantlarından sürgün rejenerasyonuna ait varyans analizi

V.K.	S.D.	Sürgün Rejenerasyon Yüzdesi (%)		Eksplant Başına Sürgün Sayısı (adet)		Sürgün Uzunluğu (cm)	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Ortam	2	567,36	10,50**	1116,54	83,27**	1,71	186,52**
Işık	7	599,89	11,10**	265,90	19,83**	0,16	17,45**
Ortam x Işık	14	148,32	2,75**	8,55	0,64 ^{ös}	0,01	0,96 ^{ös}
Hata	48	54,03	-	13,41	-	0,01	-
Genel Toplam	71	-	-	-	-	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli, ^{ös} Önemsiz

Çizelge 4.9'da görüldüğü gibi BAP dozlarının sürgün rejenerasyon yüzdesi, eksplant başına sürgün sayısı ve sürgün uzunluğu üzerinde istatistiksel olarak $p < 0,01$ seviyesinde anlamlı farklılıkları tespit edilmiştir. Benzer şekilde farklı ışık uygulamaları ile sürgün rejenerasyon yüzdesi, eksplant başına sürgün sayısı ve sürgün uzunluğunda da $p < 0,01$ seviyesinde önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Buna karşın Ortam x Işık interaksyonu bakımından eksplant başına sürgün sayısı ve sürgün uzunluğu istatistiksel olarak önemsiz bulunurken, sürgün rejenerasyon yüzdesi $p < 0,01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Elde edilen verilerin anlamlılık seviyesini tespit etmek için Duncan testi uygulanmış ve Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10'da görüldüğü gibi 0,25-0,75 BAP mg/L içeren MS ortamında sürgün rejenerasyon yüzdeleri %86,80-96,53 arasında değişmiş olup, istatistiksel olarak önemli farklılıklar tespit edilememiştir. BAP konsantrasyonlarının artması sürgün rejenerasyonu üzerine negatif etki göstermiştir. En yüksek sürgün rejenerasyon değeri %96,53 ile 0,25 mg/L BAP içeren MS ortamında ve en düşük sürgün rejenerasyonu ise %86,80 ile 0,75 mg/L BAP içeren MS ortamında tespit edilmiştir. Farklı ışık ortamlarının sürgün ucu eksplantlarından sürgün rejenerasyonu üzerine etkileri incelenmiş ve sürgün rejenerasyon yüzdeleri %77,77-100,00 arasında değişmiştir. En yüksek rejenerasyon yüzdeleri (%100) 2K:1M, 1K:1M ve B LED ışık altındaki eksplantlarda belirlenmiştir. En düşük sürgün rejenerasyon frekansı %77,77 ile M LED ışık altında ve ardından %85,18 ile F ışık altında kaydedilmiştir. K ve M LED kombinasyonları kıyaslandığında, K LED ışık oranı arttıkça sürgün rejenerasyon frekansı azalmış ve en düşük değer %87,03 ile 4K:1M LED ışık altındaki eksplantlarda tespit edilmiştir.

Çizelge 4.10. Farklı BAP ve ışık ortamlarının *P. erectus*'un sürgün ucu eksplantlarından sürgün rejenerasyonuna etkisi

BAP (mg/L)	Işık	Sürgün Rejenerasyon Yüzdesi (%)	Eksplant Başına Sürgün Sayısı (adet)	Sürgün Uzunluğu (cm)
0,25	-	96,53 ^a	53,32 ^a	2,85 ^a
0,50	-	91,67 ^{ab}	45,94 ^b	2,61 ^b
0,75	-	86,80 ^b	39,70 ^c	2,32 ^c
-	4K:1M	87,03 ^{bc}	44,65 ^{cd}	2,54 ^{cd}
-	3K:1M	90,74 ^{ab}	48,58 ^{bc}	2,64 ^{bc}
-	2K:1M	100,00 ^a	53,70 ^a	2,78 ^a
-	1K:1M	100,00 ^a	52,00 ^{ab}	2,71 ^{ab}
-	B LED	100,00 ^a	46,59 ^{cd}	2,60 ^{bcd}
-	K LED	92,59 ^{ab}	42,69 ^d	2,49 ^d
-	M LED	77,77 ^c	36,38 ^e	2,35 ^e
-	F	85,18 ^{bc}	45,97 ^{cd}	2,64 ^{bc}
0,25	4K:1M	94,44 ^{ab}	52,29 ^{bcdef}	2,85 ^{abcd}
	3K:1M	100,00 ^a	58,22 ^{abc}	2,93 ^{abc}
	2K:1M	100,00 ^a	61,55 ^a	2,98 ^a
	1K:1M	100,00 ^a	59,33 ^{ab}	2,96 ^{ab}
	B LED	100,00 ^a	54,16 ^{abcd}	2,89 ^{abc}
	K LED	100,00 ^a	48,39 ^{defgh}	2,74 ^{bcd}
	M LED	77,77 ^{bc}	42,37 ^{ghijk}	2,56 ^{efgh}
	F	100,00 ^a	50,27 ^{cdefgh}	2,91 ^{abc}
0,50	4K:1M	88,89 ^{abc}	44,38 ^{efghijk}	2,52 ^{fghi}
	3K:1M	88,89 ^{abc}	46,25 ^{defghij}	2,61 ^{efg}
	2K:1M	100,00 ^a	53,22 ^{abcde}	2,79 ^{abcde}
	1K:1M	100,00 ^a	51,38 ^{bcdefg}	2,75 ^{abcdef}
	B LED	100,00 ^a	47,44 ^{defghi}	2,64 ^{defg}
	K LED	100,00 ^a	43,33 ^{fghijk}	2,51 ^{fghi}
	M LED	72,22 ^c	36,23 ^{kl}	2,32 ^{ijk}
	F	83,33 ^{abc}	45,27 ^{defghijk}	2,71 ^{cdef}
0,75	4K:1M	77,77 ^{bc}	37,28 ^{ijkl}	2,24 ^{jk}
	3K:1M	83,33 ^{abc}	41,26 ^{hijk}	2,37 ^{hijk}
	2K:1M	100,00 ^a	46,33 ^{defghij}	2,56 ^{efgh}
	1K:1M	100,00 ^a	45,28 ^{defghijk}	2,42 ^{ghij}
	B LED	100,00 ^a	38,16 ^{ijkl}	2,26 ^{jk}
	K LED	77,77 ^{bc}	36,35 ^{kl}	2,22 ^{jk}
	M LED	83,33 ^{abc}	30,53 ^l	2,17 ^k
	F	72,22 ^c	42,38 ^{ghijk}	2,30 ^{ijk}

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $p < 0,01$ düzeyinde önemlidir.
B: Beyaz LED; K: Kırmızı LED; M: Mavi LED; F: Beyaz Flouresan

Farklı BAP x ışık interaksyonu eksplantların sürgün rejenerasyon yüzdeleri üzerinde istatistiksel olarak önemli etkiler göstermiştir ($p < 0,01$). Sürgün rejenerasyon yüzdeleri 0,25 mg/L BAP içeren MS ortamında %77,77-100,00 arasında, 0,50 ve 0,75 mg/L BAP içeren MS ortamında %72,22-100,00 arasında değişmiştir. 0,25 mg/L BAP içeren ortamda %100 sürgün rejenerasyonu 3K:1M, 2K:1M, 1K:1M, B LED, K LED ve F ışıkları altında; 0,50 mg/L BAP içeren MS ortamında 2K:1M, 1K:1M, B LED ve K LED ışıkları altında; ve 0,75 mg/L BAP eklenmiş MS besin ortamında ise 2K:1M, 1K:1M ve B LED ışıkları altında elde edilmiştir. 0,25 ve 0,50 mg/L BAP içeren MS ortamında en düşük sürgün rejenerasyon yüzdesi M LED ışıkları altındaki eksplantlarda bulunurken, 0,75 mg/L BAP içeren MS ortamında ise F ışık altındaki eksplantlarda elde edilmiştir (Çizelge 4.10).

Farklı BAP konsantrasyonlarının eksplant başına sürgün sayısı üzerine önemli etkileri tespit edilmiştir ($p < 0,01$). Eksplant başına sürgün sayıları 39,70-53,32 adet arasında değişmiştir. BAP'ın düşük konsantrasyonlarda kullanılması eksplantların sürgün sayıları üzerinde olumlu etkiler göstermiş olup, en fazla eksplant başına sürgün sayısı 53,32 adet ile 0,25 mg/L BAP içeren MS ortamında belirlenmiştir. En düşük eksplant başına sürgün sayısı ise 39,70 adet ile 0,75 mg/L BAP içeren MS ortamında kaydedilmiştir. Farklı ışık ortamlarının *P. erectus*'un sürgün ucu eksplantları üzerine istatistiksel olarak önemli etkileri belirlenmiş ($p < 0,01$) ve sürgün sayıları 36,38-53,70 adet arasında değişmiştir. En fazla sayıda sürgünler 53,70 adet ile 2K:1M LED ışık altında, en az sayıda sürgünler ise 36,38 adet ile M LED ışık altında tespit edilmiştir. K ve M LED ışıkların kombinasyonunda en düşük sonuçlar 4K:1M LED ışık altındaki eksplantlarda elde edilmiştir. F ışık, M ve K LED ışıklarının tek kullanıldığı ortamlardaki eksplantlar üzerinde daha etkili bulunmuştur.

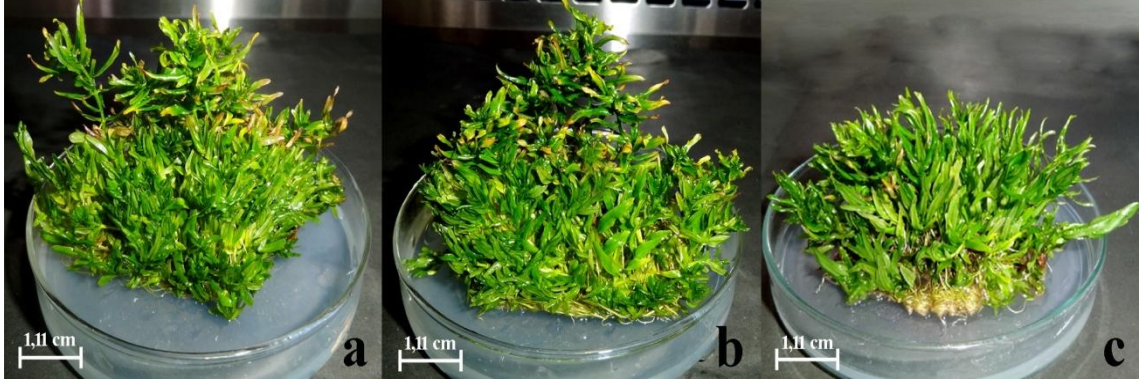
Eksplant başına sürgün sayısı bakımından her üç hormon oranı ile ışık ortamları istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde anlamlı bulunmuş ve eksplant başına sürgün sayısı 0,25 mg/L BAP eklenmiş kültür ortamında 42,37-61,55 adet, 0,50 mg/L BAP eklenmiş kültür ortamında 36,23-53,22 adet ve 0,75 mg/L BAP eklenmiş kültür ortamında ise 30,53-46,33 adet arasında belirlenmiştir (Çizelge 4.10). Her üç hormon oranında da en fazla sürgün sayısı K ve M LED ışıklarının kombinasyonu altındaki eksplantlardan elde edilmiştir. Sürgün sayısı bakımından en etkili LED ışık

kombinasyonu 2K:1M olarak tespit edilmiş olup, en fazla sürgün sayıları sırasıyla 0,25 mg/L BAP içeren MS besin ortamında 61,55 adet (Şekil 4.6 a), 0,50 mg/L BAP içeren MS besin ortamında 53,22 adet (Şekil 4.6 b) ve 0,75 mg/L BAP içeren MS besin ortamında 46,33 adet (Şekil 4.6 c) olarak bulunmuştur. Kültür ortamlarında kaydedilen en düşük sürgün sayıları ise M LED ışıkları altında elde edilmiş, ardından ise K LED ışıkları altında elde edilmiştir. Farklı ışık uygulamaları altındaki MS besin ortamlarına yerleştirilen eksplantların sürgün verme kapasiteleri kullanılan BAP seviyesinin artışıyla azalış göstermiştir.

BAP dozlarının sürgün uzunlukları üzerine etkileri incelenmiş ve istatistiksel olarak önemli farklılıklar tespit edilmiştir ($p < 0,01$). Kültür ortamlarında BAP konsantrasyonu artışı ile sürgün uzunlukları azalış göstermiştir. En uzun sürgünler 2,85 cm ile 0,25 mg/L BAP içeren MS ortamında elde edilirken, en kısa sürgünler 2,32 cm ile 0,75 mg/L BAP içeren MS ortamında elde edilmiştir. Farklı LED ve floüresan ışıkların sürgün uzunlukları üzerine önemli etkileri ($p < 0,01$) belirlenmiş ve sürgün uzunlukları 2,78-2,35 cm arasında değişmiştir. En uzun sürgünler 2,78 cm ile 2K:1M LED ışık altında elde edilmiştir. En kısa sürgünler ise 2,35 cm ile M LED ışık altında elde edilmiştir. M ve K LED ışıkların birlikte kullanıldığı ortamlarda en düşük sürgün uzunlukları ise 2,54 cm ile 4K:1M LED ışık altındaki eksplantlarda belirlenmiştir. Sürgün uzunluğu bakımından F ışık, LED'lerin tek kullanıldığı ortamlara kıyasla daha etkili bulunmuştur.

Kültür ortamında ışık x BAP dozlarının etkileşimi eksplantların sürgün uzunlukları üzerine önemli etkiler göstermiştir ($p < 0,01$). Sürgün uzunlukları 0,25, 0,50 ve 0,75 mg/L BAP içeren MS ortamında sırasıyla 2,56-2,98 cm, 2,32-2,79 cm ve 2,17-2,56 cm arasında değişmiştir (Çizelge 4.10). En uzun sürgünler her üç hormon oranında da 2K:1M ortamındaki eksplantlarda elde edilirken, en kısa sürgünler ise M LED ışık altındaki eksplantlarda elde edilmiştir. Ayrıca hormon oranları karşılaştırıldığında genel olarak en uzun sürgünler 0,25 mg/L BAP içeren MS ortamda (2,98 cm) ardından ise 0,50 mg/L BAP içeren MS ortamında (2,79 cm) bulunmuştur. Genel olarak her üç hormon oranında da K ve M LED ışık kombinasyonunun bulunduğu kültür ortamındaki eksplantlar daha uzun sürgünler vermiştir. Işıkların tek olarak kullanıldığı MS ortamlarında sürgün uzunluğu için en etkili ışıklar beyaz floüresan olarak tespit

edilmiştir. Ardından ise her üç hormon konsantrasyonu için de B LED > K LED > M LED olarak sıralanmıştır.



Şekil 4.6. 2K:1M LED ışık ortamı altında *P. erectus*'un sürgün ucu eksplantlarından sürgün rejenerasyonu; (a) 0,25 (b) 0,50 ve (c) 0,75 mg/L BAP içeren MS ortamında *P. erectus*'un sürgün ucu eksplantlarından sürgün rejenerasyonu

4.1.6. *P. erectus*'un *In Vitro* Köklendirilmesi

Bu çalışmada, rejenere *P. erectus* sürgünleri 3-4 cm uzunluğunda kesilerek farklı oranlarda (0,25, 0,50, 0,75 ve 1,00 mg/L) IAA, IBA ve NAA içeren MS ortamlarında dört hafta boyunca köklendirilmeye alınmıştır. En erken kök oluşumları IAA içeren MS ortamında sekizinci günde, IBA içeren MS ortamında onuncu günde ve NAA içeren MS ortamında onbeşinci günde bulunmuştur. Dört hafta sonunda (Şekil 4.7) kök oluşturma yüzdesi verileri alınarak varyans analizi uygulanmıştır (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. Farklı IAA, IBA ve NAA dozlarının *P. erectus* sürgünlerinin *in vitro* köklendirilmesine ait varyans analizi

V.K.	S.D.	Kök Oluşturma Yüzdesi (%)	
		K.O.	F
Oran	3	1283,56	83,14**
Hormon	2	7416,37	480,39**
Oran x Hormon	6	1283,56	83,14**
Hata	24	15,44	-
Genel Toplam	35	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli

Varyans analizinde görüldüğü gibi (Çizelge 4.11) kök oluşturma yüzdesi bakımından hormon oranları ve hormonlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmuştur ($p < 0,01$). Çizelge 4.12’de görüldüğü gibi, bu farklılıkların anlamlılık seviyesi Duncan testi ile tespit edilmiştir.

Çizelge 4.12. Farklı IAA, IBA ve NAA dozlarının *P. erectus* sürgünlerinin *in vitro* köklendirilmesi üzerine etkisi

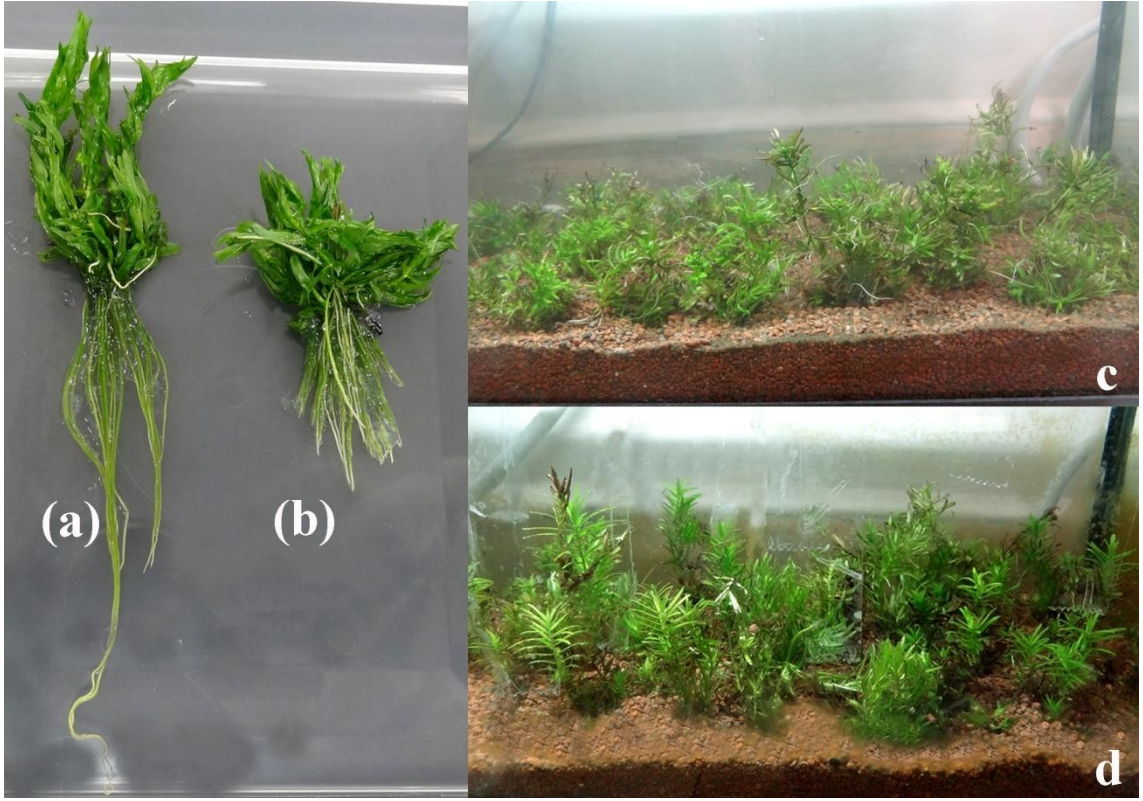
Oran (mg/L)	Oksin	Kök Oluşturma Yüzdesi (%)
0,25	-	100,00 ^a
0,50	-	90,74 ^b
0,75	-	77,78 ^c
1,0	-	74,07 ^c
-	IAA	100,00 ^a
-	IBA	100,00 ^a
-	NAA	56,94 ^b
0,25	IAA	100,00 ^a
	IBA	100,00 ^a
	NAA	100,00 ^a
0,50	IAA	100,00 ^a
	IBA	100,00 ^a
	NAA	72,22 ^b
0,75	IAA	100,00 ^a
	IBA	100,00 ^a
	NAA	33,33 ^c
1,0	IAA	100,00 ^a
	IBA	100,00 ^a
	NAA	22,22 ^d

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $p < 0,01$ düzeyinde önemlidir.

Köklendirme ortamlarında rejenere sürgünlerden %100 kök oluşumu IAA ve IBA içeren tüm MS ortamında tespit edilirken, NAA içeren MS ortamında ise sadece 0,25 mg/L NAA içeren MS ortamında elde edilmiştir (Çizelge 4.12). Genel olarak oksin hormonlarının uygulama dozları arttıkça sürgünlerin kök oluşturma yeteneği azalmıştır. Ayrıca kök oluşturma yüzdesi NAA konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak azalış göstermiş ve en düşük kök oluşturma yüzdesi %22,22 ile 1,00 mg/L NAA içeren MS ortamında belirlenmiştir.

4.1.7. *P. erectus*'un Dış Koşullara Adaptasyonu

In vitro koşullarda köklendirilen *P. erectus* üzerindeki besin ortamı çeşme suyu altında dikkatlice uzaklaştırılmıştır. Ardından içerisinde su bulunan akvaryuma dikilmiştir. İki hafta içinde bitkilerin yapraklarında ve boyunda hızlı uzamalar tespit edilmiştir (Şekil 4.7 c). Dört hafta sonunda (Şekil 4.7 d) bitkilerin su ortamına başarıyla adaptasyonu sağlanmıştır.



Şekil 4.7. *P. erectus* rejenera sürgünlerinin *in vitro* koşullarda köklendirilmesi ve akvaryuma adaptasyonu; (a) 0,25 mg/L IAA ve (b) 0,25 mg/L IBA içeren MS ortamında kök oluşumları ; akvaryuma adaptasyonu sağlanan *P. erectus*; (c) iki hafta (d) dört hafta sonundaki görünüşleri

4.2. *C. demersum* için Doku Kültürü Çalışmaları

4.2.1. Farklı LED Işık Ortamlarında *C. demersum*'un Sürgün Ucu Eksplantlarından Sürgün Rejenerasyonu

In vitro sürgün rejenerasyonu için *C. demersum*'un sürgün ucu eksplantları 0,50, 0,75 ve 1,00 mg/L BAP içeren sıvı MS ortamında ve farklı ışık ortamları altında sekiz hafta boyunca kültüre alınmıştır (Şekil 4.10). İlk sürgün oluşumları dokuzuncu günde kırmızı

ve mavi LED ışık kombinasyonu altındaki eksplantlarda gözlenmeye başlamıştır. Dördüncü haftada tüm ortamlarda çoklu sürgün oluşumları gözlenmeye başlamıştır. Kültür ortamlarındaki eksplantlarda herhangi bir kallus oluşumu gözlenmemiştir. Sekiz hafta sonunda ise deneme sonuçlandırılmış ve sürgün rejenerasyon yüzdesi, eksplant başına sürgün sayısı ve sürgün uzunluğu veriler alınarak varyans analizi uygulanmıştır (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Farklı BAP ve ışık ortamlarının *C. demersum*'un sürgün ucu eksplantlarından sürgün rejenerasyonuna ait varyans analizi

V.K.	S.D.	Sürgün Rejenerasyon Yüzdesi (%)		Eksplant Başına Sürgün Sayısı (adet)		Sürgün Uzunluğu (cm)	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Ortam	2	3,86	0,11 ^{ös}	13508,79	192,26**	27,85	3072,88**
Işık	7	237,64	6,84**	4162,06	59,24**	0,98	108,26**
Ortam x Işık	14	52,38	1,51 ^{ös}	381,84	5,43**	0,06	6,08**
Hata	48	34,74	-	70,26	-	0,01	-
Genel Toplam	71	-	-	-	-	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli, ^{ös} Önemsiz

BAP dozları bakımından sürgün rejenerasyon yüzdesi istatistiksel olarak önemsiz bulunurken, eksplant başına sürgün sayısı ve sürgün uzunluğu istatistiksel olarak $p < 0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Farklı ışık uygulamaları bakımından sürgün rejenerasyon yüzdesi, eksplant başına sürgün sayısı ve sürgün uzunluğu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,01$). Ortam x Işık etkileşimi bakımından sürgün rejenerasyon yüzdesi istatistiksel olarak önemsiz bulunurken, eksplant başına sürgün sayısı ve sürgün uzunluğu $p < 0,01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Bu farklılıkların anlamlılık seviyesini tespit etmek için Duncan testi yapılmıştır (Çizelge 4.13).

Farklı konsantrasyonlarda BAP (0,50-1,00 mg/L) içeren MS ortamındaki sürgün ucu eksplantlarının sürgün rejenerasyon yüzdeleri %96,99-97,22 arasında belirlenmiş olup, istatistiksel olarak önemli farklılıklar tespit edilememiştir (Çizelge 4.14). En yüksek sürgün rejenerasyon değeri %97,22 ile 0,50 ve 0,75 mg/L BAP içeren MS ortamında elde edilmiştir. Farklı ışık ortamlarının sürgün ucu eksplantlarından sürgün rejenerasyonu üzerine etkileri araştırılmış ve sürgün rejenerasyon yüzdeleri %85,18-

100,00 arasında kaydedilmiştir. En yüksek rejenerasyon yüzdeleri (%100) 3K:1M, 2K:1M, 1K:1M ve K LED ışık altındaki eksplantlarda tespit edilmiştir. Kırmızı ve mavi LED kombinasyonları kıyaslandığında sadece 4K:1M LED ışık altındaki eksplantlarda %100 sürgün rejenerasyonu elde edilmemiştir. En düşük sürgün rejenerasyon yüzdesi ise %85,18 ile mavi LED ışık altında ve ardından %94,44 ile F ışık altında elde edilmiştir.

Sürgün rejenerasyon frekansları üzerine farklı ışık x BAP'ın sinerjik etkileri etkileri incelenmiştir. Sürgün rejenerasyon yüzdesi 0,50 mg/L BAP içeren MS ortamında %88,87-100,00 arasında, 0,75 mg/L BAP içeren MS ortamında %77,77-100,00 arasında ve 1,00 mg/L BAP içeren MS ortamında %83,33-100,00 arasında değişmiştir (Çizelge 4.14). Tüm hormon oranlarında %100 sürgün rejenerasyon yüzdesi kırmızı ve mavi LED ışıkların 3:1, 2:1 ve 1:1 oranlarda uygulandığı ortamlarda ve K LED ışık altındaki ortamlarda elde edilmiştir. 0,75 mg/L BAP içeren MS ortamlarındaki eksplantlarda M LED ışık haricinde sürgün rejenerasyon yüzdesi %100 olarak belirlenmiştir. Genel olarak K ve M LED ışık kombinasyonunun kullanıldığı ortamlardaki eksplantlar, ışıkların tek olarak kullanıldığı ortamlara göre daha fazla sürgün rejenerasyon yüzdesine sahiptir. Buradan da anlaşılacağı üzere kırmızı ve mavi LED ışık kombinasyonu sürgün rejenerasyonu için oldukça etkilidir. En düşük sürgün rejenerasyon frekansı %77,77 ile M LED ışık altında 0,75 mg/L BAP içeren MS ortamında tespit edilmiştir (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14'de eksplant başına sürgün sayısı üzerine farklı BAP konsantrasyonlarının etkileri gösterilmiştir. En fazla eksplant başına sürgün sayısı 131,33 adet ile 0,50 mg/L BAP içeren MS ortamında ve ardından ise 107,78 adet ile 0,75 mg/L BAP içeren MS ortamında saptanmıştır. *C. demersum*'un sürgün ucu eksplantları üzerine farklı ışık uygulamalarının istatistiksel olarak önemli etkileri belirlenmiş ($p < 0,01$) ve sürgün sayıları 78,97-145,53 adet arasında değişmiştir. Maksimum eksplant başına sürgün sayısı 145,53 adet ile 2K:1M LED ışık altında, minimum eksplant başına sürgün sayısı ise 78,97 adet ile M LED ışık altında kaydedilmiştir. Işıkların tek kullanıldığı ortamlarda eksplant başına en fazla sürgünler 107,92 adet ile K LED ışık altında tespit edilmiştir. Sürgün sayısı üzerine beyaz floresan ışık, M LED ışıktan daha etkili bulunurken, diğer tüm ışık uygulamalarından daha etkisiz bulunmuştur.

Çizelge 4.14. Farklı BAP ve ışık ortamlarının *C. demersum*'un sürgün ucu eksplantlarından sürgün rejenerasyonuna etkisi

BAP (mg/L)	Işık	Sürgün Rejenerasyon Yüzdesi (%)	Eksplant Başına Sürgün Sayısı (adet)	Sürgün Uzunluğu (cm)
0,50	-	97,22 ^a	131,33 ^a	5,10 ^a
0,75	-	97,22 ^a	107,78 ^b	4,24 ^b
1,00	-	96,99 ^a	83,88 ^c	2,96 ^c
-	4K:1M	98,15 ^a	116,50 ^{bc}	4,16 ^{bc}
-	3K:1M	100,00 ^a	125,57 ^b	4,55 ^a
-	2K:1M	100,00 ^a	145,53 ^a	4,46 ^a
-	1K:1M	100,00 ^a	104,55 ^{de}	4,07 ^{cd}
-	B LED	98,15 ^a	94,61 ^{ef}	3,98 ^d
-	K LED	100,00 ^a	107,92 ^{cd}	4,21 ^b
-	M LED	85,18 ^b	78,97 ^g	3,53 ^f
-	F	94,44 ^a	87,64 ^{eg}	3,83 ^e
0,50	4K:1M	100,00 ^a	145,22 ^{bc}	5,14 ^{cd}
	3K:1M	100,00 ^a	165,05 ^a	5,62 ^a
	2K:1M	100,00 ^a	173,16 ^a	5,39 ^b
	1K:1M	100,00 ^a	125,11 ^{de}	4,99 ^{cde}
	B LED	94,44 ^{ab}	118,23 ^{def}	4,97 ^{de}
	K LED	100,00 ^a	130,28 ^{cd}	5,20 ^{bc}
	M LED	94,44 ^{ab}	87,38 ^{hijk}	4,63 ^{fg}
	F	88,87 ^{abc}	106,19 ^{efgh}	4,88 ^e
0,75	4K:1M	100,00 ^a	110,11 ^{defg}	4,18 ^h
	3K:1M	100,00 ^a	123,44 ^{de}	4,78 ^{ef}
	2K:1M	100,00 ^a	158,27 ^{ab}	4,52 ^g
	1K:1M	100,00 ^a	98,28 ^{efgh}	4,10 ^h
	B LED	100,00 ^a	91,33 ^{ghij}	4,07 ^h
	K LED	100,00 ^a	116,16 ^{def}	4,45 ^g
	M LED	77,77 ^c	81,32 ^{ijk}	3,75 ⁱ
	F	100,00 ^a	83,33 ^{ijk}	4,05 ^h
1,00	4K:1M	94,44 ^{ab}	94,18 ^{ghij}	3,17 ^{kl}
	3K:1M	100,00 ^a	88,22 ^{hijk}	3,26 ^k
	2K:1M	100,00 ^a	105,16 ^{efgh}	3,48 ^j
	1K:1M	100,00 ^a	90,27 ^{ghij}	3,12 ^{kl}
	B LED	100,00 ^a	74,27 ^{jk}	2,89 ^m
	K LED	100,00 ^a	77,33 ^{ijk}	2,99 ^{lm}
	M LED	83,33 ^{bc}	68,22 ^k	2,22 ^o
	F	94,44 ^{ab}	73,39 ^{jk}	2,56 ⁿ

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $p < 0,01$ düzeyinde önemlidir.
B: Beyaz LED; K: Kırmızı LED; M: Mavi LED; F: Beyaz Flouresan

Kültür ortamlarında eksplant başına sürgün sayısı üzerine BAP x ışık interaksyonu önemli etkiler göstermiştir ($p < 0,01$). 0,50, 0,75 ve 1,00 mg/L BAP içeren MS ortamlarında sürgün sayıları sırasıyla 87,38-173,16 adet, 81,32-158,27 adet ve 68,22-105,16 adet arasında değişmiştir (Çizelge 4.14). En fazla eksplant başına sürgün sayısı 2K:1M LED ışık ortamında, sırasıyla 0,50 mg/L BAP içeren MS ortamında 173,16 adet (Şekil 4.8 a), 0,75 mg/L BAP içeren MS ortamında 158,27 adet (Şekil 4.8 b) ve 1,00 mg/L BAP içeren MS ortamında 105,16 adet (Şekil 4.8 c) olarak bulunmuştur. En düşük sürgün sayıları ise M LED ışığın tek kullanıldığı ortamda 87,38, 81,32 ve 68,22 adet olarak sırasıyla 0,50, 0,75 ve 1,00 mg/L BAP içeren MS ortamlarında elde edilmiştir.

Farklı BAP konsantrasyonlarının sürgün uzunlukları üzerine istatistiksel olarak önemli etkileri tespit edilmiştir ($p < 0,01$). En yüksek sürgün uzunlukları 5,10 cm ile BAP'ın en düşük oranda (0,50 mg/L) kullanıldığı MS ortamlarındaki eksplantlarda bulunmuştur. En kısa sürgünler ise 2,96 cm ile 1,00 mg/L BAP içeren MS ortamında elde edilmiştir. 1,00 mg/L BAP kullanılan kültür ortamındaki eksplantların sürgün uzunlukları diğer hormon oranlarına kıyasla ciddi düşüş göstermiştir. Farklı ışıkların sürgün uzunlukları üzerine önemli etkileri ($p < 0,01$) belirlenmiş ve sürgün uzunlukları 3,53-4,55 cm arasında sıralanmıştır. En uzun sürgünler 4,55 cm ile 3K:1M LED ışık altında, ardından ise 4,46 cm ile 2K:1M LED ışık altındaki eksplantlarda belirlenmiştir. En kısa sürgünler ise 3,53 cm ile M LED ışık altında elde edilmiştir. Tek olarak kullanılan ışık ortamlarında en uzun sürgünler 4,21 cm ile K LED ışık altındaki eksplantlarda saptanmıştır.

Farklı ışık ortamları ve BAP konsantrasyonlarının interaksyonu, eksplantların sürgün uzunluklarını önemli derecede etkilemiştir ($p < 0,01$). Yapılan denemede, eksplantların sürgün uzunlukları 0,50 mg/L BAP eklenmiş kültür ortamında 4,63-5,62 cm, 0,75 mg/L BAP eklenmiş kültür ortamında 3,75-4,78 cm ve 1,00 mg/L BAP eklenmiş kültür ortamında 2,22-3,48 cm arasında elde edilmiştir (Çizelge 4.14). En uzun sürgünler 0,50 ve 0,75 mg/L BAP içeren MS ortamında 3K:1M oranındaki LED ışık altında sırasıyla 5,62 cm ve 4,78 cm, 1,00 mg/L BAP içeren MS ortamında 2K:1M oranındaki LED ışık altında 3,48 cm olarak bulunmuştur. En kısa sürgünler her üç hormon oranında da M LED ışık altında, ardından da F ışık altındaki ortamlarda belirlenmiştir (Çizelge 4.14).



Şekil 4.8. 2K:1M LED ışık ortamı altında *C. demersum*'un sürgün ucu eksplantlarından sürgün rejenerasyonu; (a) 0,50 (b) 0,75 ve (c) 1,00 mg/L BAP içeren MS ortamında *C. demersum*'un sürgün ucu eksplantlarından sürgün rejenerasyonu

4.3. *C. demersum* ve *P. erectus* için Fitoremediasyon Çalışmaları

4.3.1. Cd, Cr ve Pb için Uygun Doz Belirlenmesi

In vitro koşullarda çoklu üretimi gerçekleştirilen bitkilerin fitoremediasyon potansiyellerinin araştırılması için doz belirleme çalışması yürütülmüştür. Dış koşullara adaptasyonu sağlanan *C. demersum* ve *P. erectus*'dan yaklaşık 5 cm uzunluğunda 20 adet bitki alınarak Cd, Cr ve Pb'nin farklı konsantrasyonlarında 5 gün süre ile maruz bırakılmış ve EC₅₀ değeri EPA probit analiz metodu ile istatistiksel olarak tespit edilmiştir. Aynı zamanda ağır metal içermeyen su ortamına da bitkiler konularak kontrol grubu olarak kullanılmıştır. Denemede ağır metal olarak Cd için Cd(NO₃)₂.4H₂O, Cr için Cr(NO₃)₃.9H₂O ve Pb için Pb(NO₃)₂ kullanılmıştır.

C. demersum için EC₅₀ Değeri Belirlenmesi

C. demersum'un EC₅₀ değerinin belirlenmesi için bitkiler, 0,01-32 mg/L Cd, 0,1-64 mg/L Cr ve 1-170 mg/L Pb içeren su ortamlarına 5 gün süre ile aktarılmıştır. Sonuçlar istatistiksel olarak Probit Analizi ile değerlendirilmiştir (Çizelge 4.15).

Cd, Cr ve Pb uygulaması sonucu elde edilen EC₅₀ değeri sırasıyla 1,403 mg/L (1,018-1,864), 8,473 mg/L (6,198 - 11,667) ve 78,349 mg/L (49,622-112,981) olarak tespit edilmiştir. Her üç ağır metal uygulamaları da *C. demersum* üzerinde olumsuz etki

yaptığı ve bitkiyi strese sokarak bitkinin genel görünümünde değişimlere sebep olduğu görülmüştür. Düşük metal konsantrasyonları, bitkilerin yapraklarında kloroza sebep olmuştur. Uygulanan Cd konsantrasyonu arttıkça bitkilerde renk kayıpları, yaprak dökümü ve bitkinin bazı bölgelerinde yumuşamalar tespit edilmiştir (Şekil 4.9 b,c). Ortamdaki Cr konsantrasyonunun artması ise bitkilerde renk kayıplarının yanı sıra gövde ve yapraklarda bölgesel kahverengileşmelere sebep olmuştur (Şekil 4.9 e,f). Düşük oranda Pb etkisinde bitkilerde kontrole göre yapraklarda sararmalar, yaprak uçlarında ve yaprakların çıktığı meristematik bölgelerinde kahverengileşmeler tespit edilmiştir. Uygulanan Pb konsantrasyonu arttıkça bitkilerde renk kayıpları ve hatta ölümler olmuştur (Şekil 4.9 h,i).

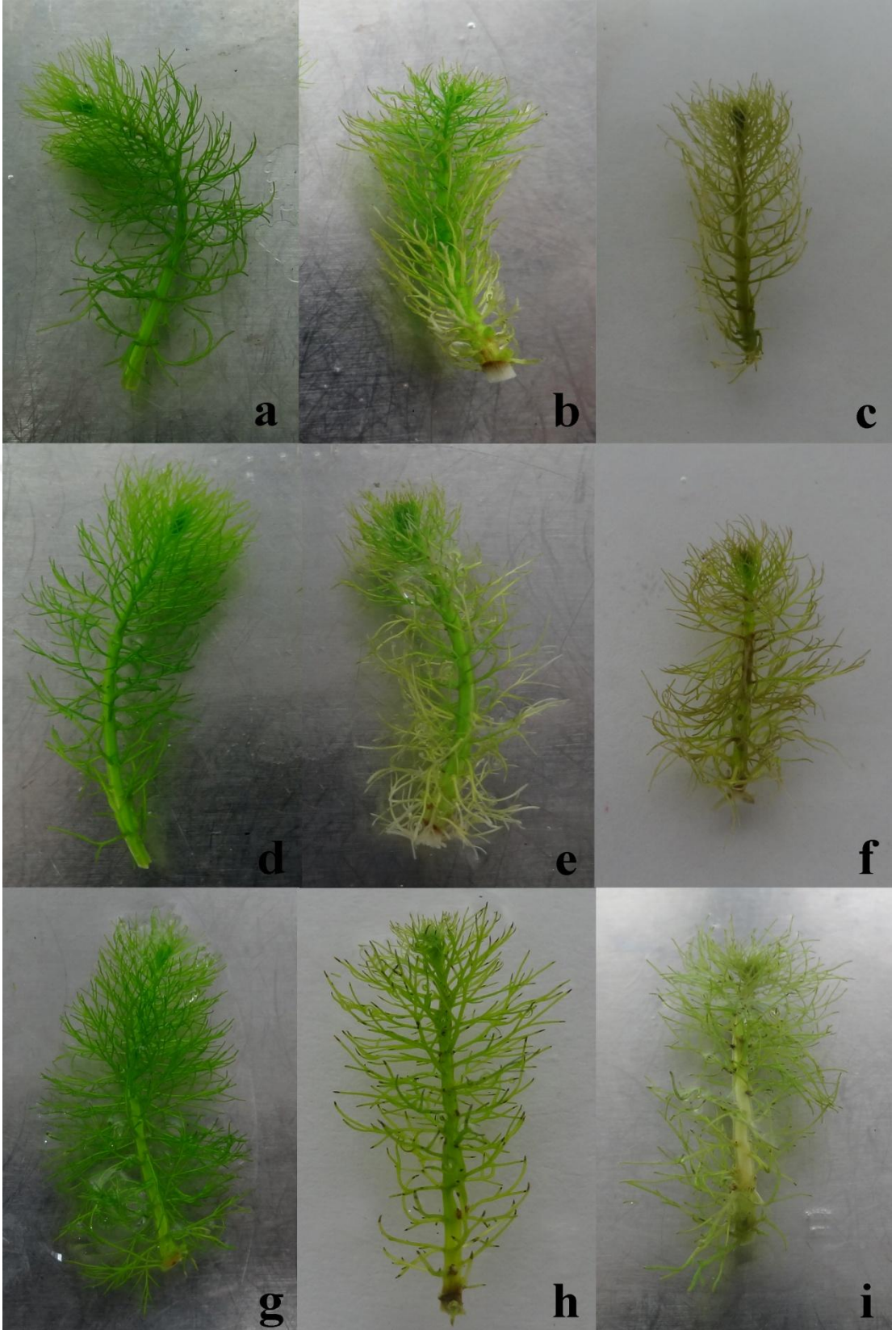
P. erectus için EC₅₀ Değeri Belirlenmesi

P. erectus'un EC₅₀ değerinin hesaplanması için bitkiler farklı konsantrasyonlarda 0,01-64 mg/L Cd, 0,01-64 mg/L Cr ve 0,01-64 mg/L Pb metallerini içeren su ortamında 5 gün süre ile bırakılmış ve sonuçlar Probit Analizi metodu ile değerlendirilmiş ve Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Farklı konsantrasyonlarda ağır metal konsantrasyonların maruz bırakılan bitkilerin EC₅₀ değerleri Cd için 0,879 mg/L (0,590 - 1,252), Cr için 1,120 mg/L (0,729 - 1,646) ve Pb için 1,727 mg/L (1,144 - 2,653) olarak bulunmuştur. Ağır metallerin bitki üzerinde toksik etkileri konsantrasyona bağlı olarak artış göstermiştir. Düşük konsantrasyonda ağır metal içeren ortamdaki bitkilerde kontrole göre yapraklarda kahverengileşmeler ve gövdede sararmalar belirlenmiştir. Uygulanan Cd konsantrasyonu arttıkça bitkilerde renk kayıpları (Şekil 4.10 b,c), yaprak dökümü, bitkinin bazı bölgelerinde yumuşamalar ve ölümler görülmüştür. Yüksek konsantrasyonlardaki Cr etkisinde bitkilerde özellikle kloroz (Şekil 4.10 e,f) gözlenmiştir. Düşük konsantrasyonlarda Pb uygulamasında yaprakların çıktığı meristematik bölgelerde koyu kahverengi ve siyah lekelenmeler tespit edilmiştir (Şekil 4.10 h,i). Uygulanan Pb konsantrasyonu arttıkça bitkilerde kloroz, yaprak dökümleri ve hatta ölümler gözlenmiştir.

Çizelge 4.15. Cd, Cr ve Pb uygulanmış *C. demersum*'un EC değerleri

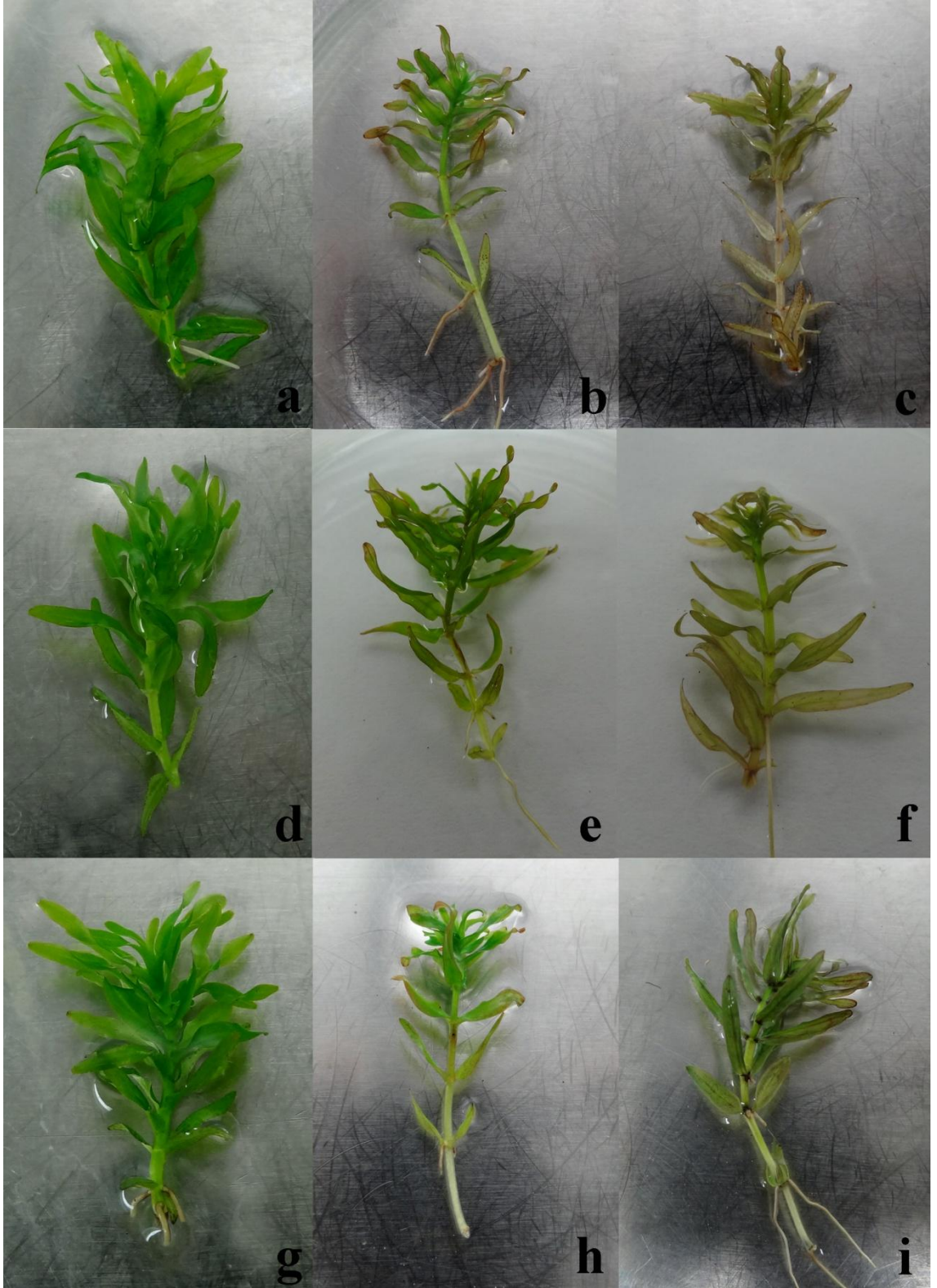
Nokta	Cd konsantrasyonu (mg/L)	% 95 güven sınırları	
		Alt sınır	Üst sınır
EC ₁	0,155	0,045	0,295
EC ₅	0,296	0,116	0,485
EC ₁₀	0,418	0,193	0,636
EC ₁₅	0,526	0,270	0,767
EC₅₀	1,403	1,018	1,864
EC ₈₅	3,738	2,688	6,468
EC ₉₀	4,713	3,261	9,005
EC ₉₅	6,645	4,300	14,845
EC ₉₉	12,656	7,112	38,509
Nokta	Cr konsantrasyonu (mg/L)	% 95 güven sınırları	
		Alt sınır	Üst sınır
EC ₁	0,749	0,203	1,458
EC ₅	1,525	0,587	2,523
EC ₁₀	2,227	1,026	3,406
EC ₁₅	2,876	1,488	4,193
EC₅₀	8,473	6,198	11,667
EC ₈₅	24,965	16,961	49,414
EC ₉₀	32,236	20,856	71,748
EC ₉₅	47,081	28,121	125,604
EC ₉₉	95,802	48,637	363,621
Nokta	Pb konsantrasyonu (mg/L)	% 95 güven sınırları	
		Alt sınır	Üst sınır
EC ₁	10,040	0,539	22,935
EC ₅	18,327	2,170	34,185
EC ₁₀	25,260	4,531	42,548
EC ₁₅	31,369	7,414	49,555
EC₅₀	78,349	49,622	112,981
EC ₈₅	195,693	130,201	657,064
EC ₉₀	243,013	152,477	1069,130
EC ₉₅	334,953	190,640	2222,805
EC ₉₉	611,441	285,215	8914,292



Şekil 4.9. Ağır metal uygulamasından etkilenen *C. demersum*; (a, d, g) ağır metal içermeyen ortamdaki bitkiler (kontrol grubu), düşük konsantrasyonlarda (b) Cd, (e) Cr ve (h) Pb uygulanmasından sonra bitkide meydana gelen değişimler, yüksek konsantrasyonlarda (c) Cd, (f) Cr ve (i) Pb uygulanmasından sonra bitkide meydana gelen değişimler

Çizelge 4.16. Cd, Cr ve Pb uygulanmış *P. erectus*'un EC değerleri

Nokta	Cd konsantrasyonu (mg/L)	% 95 güven sınırları	
		Alt sınır	Üst sınır
EC ₁	0,055	0,010	0,125
EC ₅	0,123	0,035	0,232
EC ₁₀	0,190	0,068	0,326
EC ₁₅	0,255	0,105	0,411
EC₅₀	0,879	0,590	1,252
EC ₈₅	3,026	1,986	6,359
EC ₉₀	4,055	2,521	9,802
EC ₉₅	6,255	3,551	18,824
EC ₉₉	14,105	6,626	65,202
Nokta	Cr konsantrasyonu (mg/L)	% 95 güven sınırları	
		Alt sınır	Üst sınır
EC ₁	0,038	0,006	0,098
EC ₅	0,102	0,027	0,210
EC ₁₀	0,174	0,058	0,319
EC ₁₅	0,248	0,096	0,425
EC₅₀	1,120	0,729	1,646
EC ₈₅	5,056	3,156	11,143
EC ₉₀	7,221	4,234	18,473
EC ₉₅	12,247	6,463	39,550
EC ₉₉	32,985	14,002	168,246
Nokta	Pb konsantrasyonu (mg/L)	% 95 güven sınırları	
		Alt sınır	Üst sınır
EC ₁	0,049	0,007	0,128
EC ₅	0,139	0,034	0,285
EC ₁₀	0,242	0,078	0,441
EC ₁₅	0,352	0,137	0,596
EC₅₀	1,727	1,144	2,653
EC ₈₅	8,466	4,887	23,127
EC ₉₀	12,330	6,590	40,365
EC ₉₅	21,525	10,167	92,987
EC ₉₉	61,203	22,576	451,770



Şekil 4.10. Ağır metal uygulamasından etkilenen *P. erectus*; (a, d, g) ağır metal içermeyen ortamdaki bitkiler (kontrol grubu), düşük konsantrasyonlarda (b) Cd, (e) Cr ve (h) Pb uygulanmasından sonra bitkide meydana gelen değişimler, yüksek konsantrasyonlarda (c) Cd, (f) Cr ve (i) Pb uygulanmasından sonra bitkide meydana gelen değişimler

4.3.2. Fitoremediasyon için Sıcaklık Belirlenmesi

C. demersum için Uygun Sıcaklık Belirlenmesi

Bu çalışmada *C. demersum* 1 mg/L Cd, 6 mg/L Cr ve 50 mg/L Pb'a 3 gün boyunca farklı sıcaklıklarda (20, 25 ve 30 °C) maruz bırakılmıştır. Bitki tarafından biriktirilen ağır metal değerleri için varyans analizi uygulanmıştır (Çizelge 4.17). Metal çeşidi tek başına istatistiksel olarak önemli bulunurken ($p < 0,01$), sıcaklık ve sıcaklık x metal interaksyonu istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Elde edilen verilerin önemlilik seviyesini tespit etmek için Duncan testi uygulanmıştır (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.17. Farklı sıcaklıklarda Cd, Cr ve Pb uygulanan *C. demersum*'un metal birikimine ait varyans analizi

V.K.	S.D.	K.O.	F
Sıcaklık	2	298937,03	1,94 ^{ös}
Metal	2	707479930,86	4581,11**
Sıcaklık x Metal	4	169250,51	1,10 ^{ös}
Hata	18	154434,31	-
Genel Toplam	26	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli ; ^{ös} Önemsiz

Çizelge 4.18. Farklı sıcaklıklarda Cd, Cr ve Pb uygulanan *C. demersum*'un metal birikimi

Sıcaklık (°C)	Ağır Metaller		
	Cd (mg/kg k.a)	Cr (mg/kg k.a)	Pb (mg/kg k.a)
20	1175,00 ^d	3131,50 ^c	16943,00 ^b
25	1292,50 ^d	3220,83 ^c	17783,33 ^a
30	1204,17 ^d	3177,50 ^c	17664,17 ^a

Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir ($n=3$). Farklı harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$).

Farklı sıcaklıklar altında *C. demersum* bitkilerinin Cd, Cr ve Pb biriktirme seviyeleri Çizelge 4.18'de verilmiştir. Cd uygulamasındaki sonuçlar, sıcaklığın etkisiyle istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gösterirken ($p < 0,05$), Cr ve Pb uygulaması istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar göstermemiştir. Genel olarak her üç sıcaklık uygulamasında da en yüksek akümülyasyon değerleri 25 °C'de belirlenmiş olup, Cd, Cr ve Pb için sırasıyla 1292,50 mg/kg k.a, 3220,83 mg/kg k.a ve 17783, mg/kg k.a olarak

tespit edilmiştir. Her üç metal uygulamasında da en düşük metal derişimleri 20°C’de Cd için 1175,00 mg/kg k.a, Cr için 3131,50 mg/kg k.a ve Pb için 16943,00 mg/kg k.a olarak belirlenmiştir.

P. erectus için Uygun Sıcaklık Belirlenmesi

P. erectus'un 20, 25 ve 30 °C sıcaklıklarda 3 gün boyunca Cd (0,4 mg/L), Cr (0,8 mg/L) ve Pb (0,8 mg/L) etkisindeki metal birikimi araştırılmış ve sonuçlar için varyans analizi uygulanmıştır (Çizelge 4.19). Metal birikimi bakımından sıcaklık ve sıcaklık x metal etkileşimi arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar tespit edilmezken, metal tek başına istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,01$). Elde edilen verilerin anlamlılık seviyesini tespit etmek için Duncan testi uygulanmış ve Çizelge 4.20’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.19. Farklı sıcaklıklarda Cd, Cr ve Pb uygulanan *P. erectus*'un metal birikimine ait varyans analizi

V.K.	S.D.	K.O.	F
Sıcaklık	2	22475,72	0,08 ^{ös}
Metal	1	2526448,89	8,41**
Sıcaklık x Metal	2	6012,53	0,02 ^{ös}
Hata	21	300536,89	-
Genel Toplam	26	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli ; ^{ös} Önemsiz

Çizelge 4.20. Farklı sıcaklıklarda Cd, Cr ve Pb uygulanan *P. erectus*'un metal birikimi

Sıcaklık (°C)	Ağır Metaller		
	Cd (mg/kg k.a)	Cr (mg/kg k.a)	Pb (mg/kg k.a)
20	574,17 ^e	1735,58 ^b	587,92 ^{de}
25	624,58 ^{cde}	1922,08 ^a	713,50 ^c
30	607,50 ^{de}	1864,58 ^a	682,25 ^{cd}

Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir ($n=3$). Farklı harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$).

P. erectus bitkisinin farklı sıcaklıklarda metal birikimleri incelenmiştir (Çizelge 4.20). Cd uygulamasındaki sonuçlar istatistiksel olarak anlamsız bulunurken, Cr ve Pb uygulamasındaki sonuçlar istatistiksel olarak $p < 0,05$ seviyesinde anlamlı bulunmuştur. 25 °C sıcaklıklarda bekletilen bitkiler diğer sıcaklıklardan daha fazla metal birikimine sebep olmuştur. En yüksek metal birikimleri Cd için 624,58 mg/kg k.a, Cr için 1922,08 mg/kg k.a ve Pb için 713,50 mg/kg k.a olarak elde edilmiştir. En düşük metal birikimi ise 20 °C sıcaklıklardaki bitkilerde Cd, Cr ve Pb için sırasıyla 574,17 mg/kg k.a, 1735,58 mg/kg k.a ve 587,92 mg/kg k.a olarak tespit edilmiştir. 30 °C’de tespit edilen metal birikimleri Cd, Cr ve Pb için sırası ile 607,50 mg/kg k.a, 1864,58 mg/kg k.a ve 682,25 mg/kg k.a’dır.

4.3.3. Fitoremediasyon için pH Belirlenmesi

C. demersum için Uygun pH Belirlenmesi

C. demersum farklı pH’larda (5-9) 1 mg/L Cd, 6 mg/L Cr ve 50 mg/L Pb etkisinde 3 gün boyunca bekletilmiş ve sonuçlar için varyans analizi uygulanmıştır (Çizelge 4.21). Metal birikimi bakımından pH, metal ve pH x metal interaksyonu istatistiksel olarak önemli farklılıklar göstermiştir ($p < 0,01$). Bu farklılıkların önem derecesini tespit etmek için Duncan testi uygulanmıştır (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.21. Farklı pH’larda Cd, Cr ve Pb uygulanan *P. erectus*’un metal birikimine ait varyans analizi

V.K.	S.D.	K.O.	F
pH	4	10283537,01	20,44**
Metal	2	907679252,67	1803,96**
pH x Metal	8	4738013,09	9,42**
Hata	30	503160,08	-
Genel Toplam	44	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli

Farklı pH’larda *C. demersum* bitkisinin metal birikim sonuçları Çizelge 4.22’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre her üç metal tipi içinde farklı pH uygulamaları istatistiksel olarak $p < 0,05$ seviyesinde anlamlı bulunmuştur. Cd, Cr ve Pb uygulamasında en yüksek metal birikimleri pH 7’de ele edilmiş olup sırası ile 1254,17

mg/kg k.a, 3253,33 mg/kg k.a ve 17720,83 mg/kg k.a olarak tespit edilmiştir. En düşük metal içeriği ise Cd uygulamasında 1084,58 mg/kg k.a olarak pH 9'da bulunurken, Cr ve Pb uygulamasında sırası ile 1623,75 mg/kg k.a ve 11754,17 mg/kg k.a olarak pH 5'de bulunmuştur.

Çizelge 4.22. Farklı pH'larda Cd, Cr ve Pb uygulanan *C. demersum*'un metal birikimi

pH	Ağır Metaller		
	Cd (mg/kg k.a)	Cr (mg/kg k.a)	Pb (mg/kg k.a)
5	1137,08 ^g	1623,75 ^g	11754,17 ^d
6	1171,25 ^g	1917,08 ^{fg}	13837,50 ^c
7	1254,17 ^g	3286,67 ^e	17720,83 ^a
8	1158,75 ^g	3037,25 ^{ef}	17058,33 ^{ab}
9	1084,58 ^g	2901,25 ^{ef}	16012,50 ^b

Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir ($n=3$). Aynı sütundaki farklı harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$).

P. erectus için Uygun pH Belirlenmesi

Bu çalışmada, *P. erectus* bitkileri içerisinde 0,4 mg/L Cd, 0,8 mg/L Cr ve 0,8 mg/L Pb bulunan ve pH'ları 5, 6, 7, 8 ve 9 olan su ortamlarına aktarılmış ve 3 gün boyunca beklenmiştir. Elde edilen sonuçlar için varyans analizi uygulanmıştır (Çizelge 4.23). Metal birikim seviyeleri bakımından pH ve pH x metal etkileşimi istatistiksel olarak önemsiz bulunurken, metal çeşitleri ise istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,01$). Bu farklılığın önem düzeyini tespit etmek için Duncan testi uygulanmıştır (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.23. Farklı pH'larda Cd, Cr ve Pb uygulanan *P. erectus*'un metal birikimine ait varyans analizi

V.K.	S.D.	K.O.	F
pH	4	29469,23	0,11 ^{ös}
Metal	1	3848548,01	13,89 ^{**}
pH x Metal	4	10727,75	0,04 ^{ös}
Hata	35	277038,64	-
Genel Toplam	44	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli ; ^{ös} Önemsiz

Çizelge 4.24. Farklı pH'larda Cd, Cr ve Pb uygulanan *P. erectus*'un metal birikimi

pH	Ağır Metaller		
	Cd (mg/kg k.a)	Cr (mg/kg k.a)	Pb (mg/kg k.a)
5	570,83 ^{ef}	1586,67 ^c	557,50 ^{ef}
6	625,08 ^{def}	1802,50 ^b	655,00 ^{de}
7	641,42 ^{def}	1906,25 ^a	715,58 ^d
8	587,75 ^{ef}	1832,50 ^{ab}	710,83 ^d
9	543,17 ^f	1769,17 ^b	604,17 ^{ef}

Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir ($n=3$). Farklı harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$).

Çizelge 4.24'de görüldüğü gibi farklı pH uygulamalarının bitkilerin metal birikimleri üzerine önemli etkileri ($p < 0,05$) olduğu görülmüştür. Cd, Cr ve Pb için en yüksek metal birikimleri pH 7'de sırası ile 641,42 mg/kg k.a, 1906,25 mg/kg k.a ve 715,58 mg/kg k.a olarak tespit edilirken, ardından ise sırası ile 625,08 mg/kg k.a, 1832,50 mg/kg k.a ve 710,83 mg/kg k.a olarak tespit edilmiştir. En düşük metal birikimleri ise Cd için pH 9'da 543,17 mg/kg k.a olarak, Cr ve Pb için pH 5'te sırası ile 1586,67 mg/kg k.a ve 557,50 mg/kg k.a olarak kaydedilmiştir. Genel olarak metal birikimi açısından Cd uygulamasında asidik ortam bazik ortama göre daha etkili olurken, Cr ve Pb uygulamasında ise bazik ortam asidik ortamdan daha etkin bulunmuştur.

4.3.4. *C. demersum* ile İlgili Fitoremediasyon Çalışmaları

C. demersum bitkisi farklı konsantrasyonlarda Cd (0,5-2 mg/L), Cr (3-12 mg/L) ve Pb (25-100 mg/L) etkisinde 1, 3 ve 5 gün süre ile muamele edilmiştir. Daha sonra bitkilerdeki metal içeriklerine ait varyans analizi sonuçları belirlenmiştir (Çizelge 4.25).

Çizelge 4.25. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *C. demersum*'un ağır metal birikimine ait varyans analizi

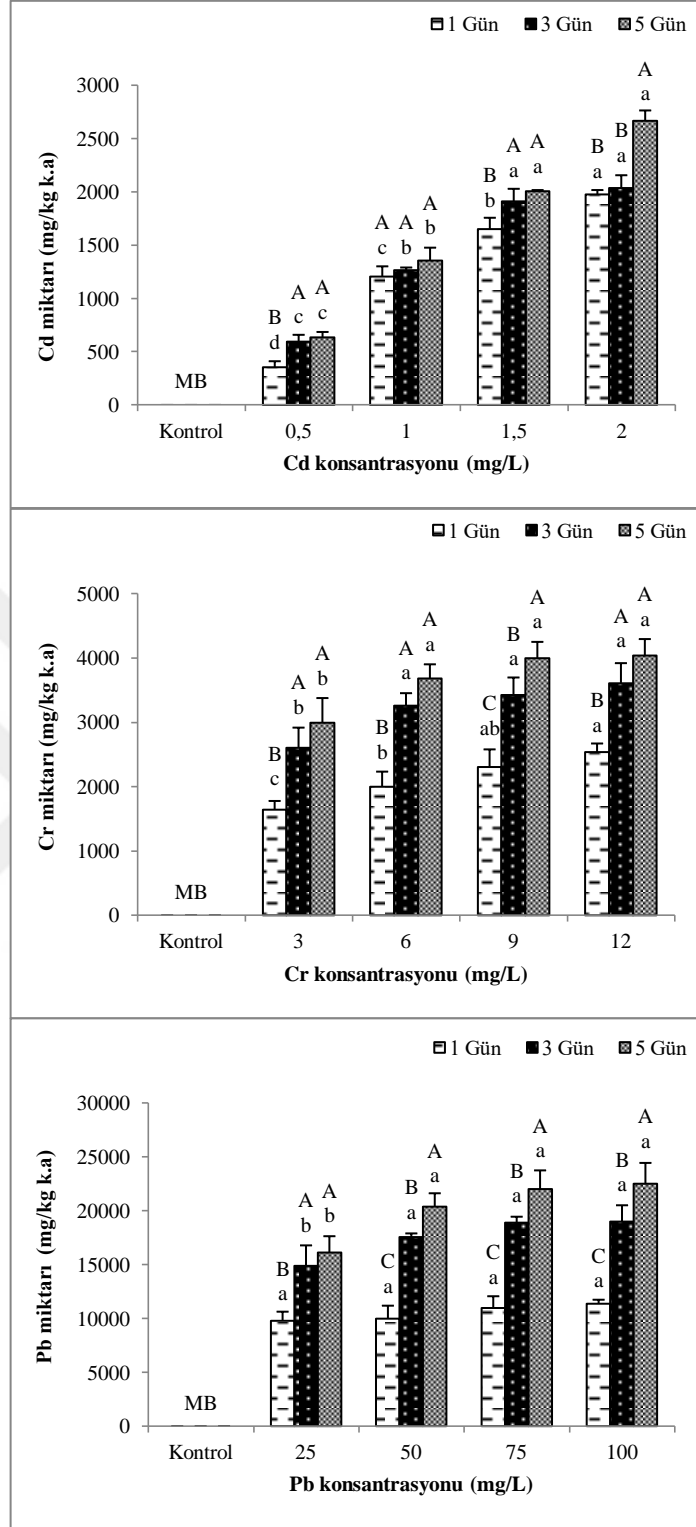
V.K.	S.D.	Cd		Cr		Pb	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Gün	2	332100,97	58,50**	6147912,03	115,40**	242624889,31	180,00**
Oran	4	7607279,39	1340,10**	17516999,76	328,80**	490833214,24	364,15**
Gün x Oran	8	74807,31	13,18**	402145,95	7,55**	18145840,17	13,46**
Hata	30	5676,67	-	53276,42	-	1347903,61	-
Genel Toplam	44	-	-	-	-	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli

Cd, Cr ve Pb uygulamalarında, bitkilerin metal içerikleri bakımından uygulama süresi ve konsantrasyonun istatistiksel olarak önemli etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir ($p < 0,01$). Ayrıca bitkideki ağır metal birikimi üzerine gün x oran etkileşimini de istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,01$). Elde edilen verilerin önem seviyesini tespit etmek için Duncan testi uygulanmış ve EK 1 ve Şekil 4.11’de verilmiştir.

En fazla Cd akümülayonu 2226,81 mg/kg k.a ile 2 mg/L Cd uygulanmış bitkilerde tespit edilmiştir. Günler kendi içinde kıyaslandığında ise en yüksek Cd birikimi 1333,75 mg/kg k.a ile 5 gün sonundaki bitkilerde tespit edilmiştir (EK 1). Cd uygulamasında bitkilerde en yüksek Cd miktarı 2668,33 mg/kg k.a ile 5 gün sonunda 2 mg/L Cd uygulamasında tespit edilmiştir (Şekil 4.11). 1 günlük Cd uygulamasında en yüksek Cd akümülayonu 1976,25 mg/kg k.a ile 2 mg/L Cd uygulamasında elde edilirken, 3 günlük Cd uygulamasında en yüksek Cd akümülayonu 2035,83 mg/kg k.a ile 2 mg/L Cd uygulamasında elde edilmiştir.

Bitkiye uygulanan Cr derişimleri kıyaslandığından maksimum Cr akümülayonu 3392,89 mg/kg k.a ile 12 mg/L Cr etkisindeki bitkilerde belirlenmiştir (EK 1). Uygulama süreleri bakımından ise en fazla Cr birikimi 2940,33 mg/kg k.a ile 5 gün sonundaki bitkilerde tespit edilmiştir. Bitkilerdeki Cr miktarları, uygulama zamanı ve konsantrasyona bağılı olarak değışmiş ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,05$). Ortamdaki Cr konsantrasyonu ve uygulama süresi arttıkça bitkide tespit edilen Cr miktarı da artış göstermiştir. 1, 3 ve 5 gün sonunda bitkide tespit edilen en yüksek Cr miktarı 12 mg/L Cr etkisinde sırasıyla 2533,67, 3609,17 ve 4035,83 mg/kg k.a’dır. En düşük Cr akümülayonları 3 mg/L Cr uygulamasında 1, 3 ve 5 gün sonunda sırasıyla 1642,75, 2604,25 ve 2996,67 mg/kg k.a olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.11. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *C. demersum*'un ağır metal miktarları. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı konsantrasyonlardaki aynı gün için farklı küçük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Aynı konsantrasyondaki farklı günler için farklı büyük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$). (MB: Metal Belirlenmedi)

Farklı konsantrasyon ve sürede Pb etkisindeki *C. demersum* bitkisinin biriktirdiği Pb miktarı değerlendirilmiştir (EK 1). Uygulanan Pb derişimi ve sürenin artışı ile birlikte bitkide biriken Pb miktarı da artış göstermiştir. Bitkiye uygulanan Pb oranları karşılaştırıldığında en yüksek Pb seviyesi 17627,50 mg/kg k.a ile 100 mg/L Pb uygulamasındaki bitkilerde belirlenmiştir. Uygulama süreleri karşılaştırıldığında ise en yüksek Pb birikimi 16211,00 mg/kg k.a ile 5 gün sonundaki bitkilerde tespit edilmiştir. 1 ve 3 günlük uygulama sürelerine kıyasla 5 günlük Pb uygulamasındaki bitkiler, daha fazla Pb akümüle etmiştir (Şekil 4.11). En fazla Pb miktarı 22504,17 mg/kg k.a ile 5 gün sonunda 100 mg/L Pb etkisindeki bitkilerde bulunmuştur. 1 ve 3 gün sonunda ise en fazla Pb miktarı sırasıyla 11356,67 mg/kg k.a ve 19021,67 mg/kg k.a ile 100 mg/L Pb uygulamasında elde edilmiştir.

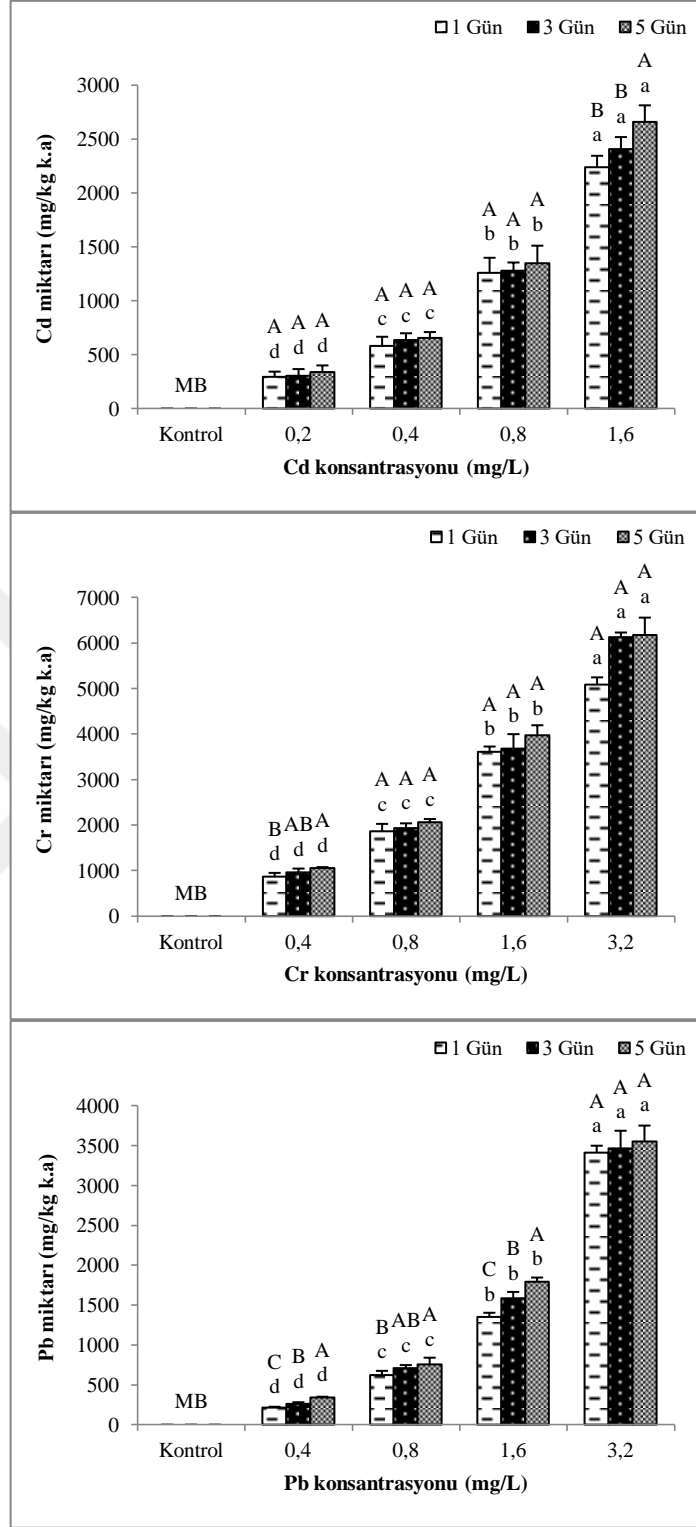
4.3.5. *P. erectus* ile İlgili Fitoremediasyon Çalışmaları

Farklı oranlarda Cd (0,2-1,6 mg/L), Cr (0,4-3,2 mg/L) ve Pb (0,4-3,2 mg/L) uygulamasında 1, 3 ve 5 gün süre ile bekletilen *P. erectus*'un biriktirdiği ağır metal seviyelerine ait varyans analizi Çizelge 4.26'da gösterilmiştir. *P. erectus* bitkisinde tespit edilen Cd ve Pb birikimi bakımından gün ve oran istatistiksel olarak $p < 0,01$ seviyesinde önemli bulunurken, gün x oran interaksyonu $p < 0,05$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Cr birikimi bakımından ise gün ve oranın tekli etkisi ve ayrıca gün x oran sinerjik etkisi istatistiksel olarak $p < 0,01$ seviyesinde anlamlı bulunmuştur. Verilerin anlamlılık seviyesi için Duncan testi kullanılmıştır (EK 2 ve Şekil 4.12).

Çizelge 4.26. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *P. erectus*'un ağır metal birikimine ait varyans analizi

V.K.	S.D	Cd		Cr		Pb	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Gün	2	59162,13	7,17**	533888,45	20,12**	106952,30	13,60**
Oran	4	8427834,85	1021,13**	48122387,07	1813,72**	17734428,30	2254,43**
Gün x Oran	8	22303,17	2,70*	194562,36	7,33**	20384,68	2,59*
Hata	30	8253,44	-	26532,46	-	7866,49	-
Genel Toplam	44	-	-	-	-	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli; * $p < 0,05$ düzeyinde önemli



Şekil 4.12. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *P. erectus*'un ağır metal miktarları. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı konsantrasyonlardaki aynı gün için farklı küçük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Aynı konsantrasyondaki farklı günler için farklı büyük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$). (MB: Metal Belirlenmedi)

Bitki tarafından alınan Cd miktarı, konsantrasyona ve süreye bağlı olarak değişmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Bitkiye uygulanan Cd konsantrasyonları karşılaştırıldığında en yüksek Cd seviyesi 2436,46 mg/kg k.a ile 1,6 mg/L Cd uygulanan bitkilerde elde edilmiştir (EK 2). Farklı süre uygulamalarında ise en fazla Cd akümülyasyonu 1000,75 mg/kg k.a ile 5 gün sonundaki bitkilerde saptanmıştır. Bitkinin maruz kaldığı ağır metal derişimi ve süresi arttıkça bitkide biriken Cd miktarı da artış göstermiştir (Şekil 4.12). En yüksek metal içeriği 1,6 mg/L Cd uygulanan ortamdaki bitkilerden elde edilmiş olup, sırasıyla 5 gün sonunda 2662,50 mg/kg k.a, 3 gün sonunda 2408,13 mg/kg k.a ve 1 gün sonunda 2238,75 mg/kg k.a olarak tespit edilmiştir.

Bitkiye uygulanan Cr konsantrasyonunun ve sürenin artışı ile bitkide tespit edilen Cr içeriği artış göstermiştir (EK 2). *P. erectus*'a uygulanan Cr derişimleri karşılaştırıldığında en yüksek Cr seviyesi 5800,00 mg/kg k.a ile 3,2 mg/L Cr uygulanan bitkilerde bulunmuştur. Farklı günlerde Cr etkisi değerlendirildiğinde ise en yüksek Cr birikimi 2654,13 mg/kg k.a ile 5 gün sonundaki bitkilerde belirlenmiştir. Uygulanan Cr konsantrasyonuna ve süreye bağlı olarak bitki tarafından alınan Cr içeriği istatistiksel olarak farklılık göstermiştir ($p < 0,05$). Bitkide tespit edilen en yüksek Cr miktarı 5 gün boyunca 3,2 mg/L kroma maruz bırakılan bitkilerde görülmüştür (6177,50 mg/kg k.a). 1 ve 3 gün uygulamasında da en yüksek Cr içeriği yine 3,2 mg/L Cr içeren ortamda sırasıyla 5087,50 mg/kg k.a ve 6135,00 mg/kg k.a olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.12).

Farklı Pb oranlarına maruz bırakılan *P. erectus*'un en yüksek Pb akümülyasyonu 3476,67 mg/kg k.a ile 3,2 mg/L Pb uygulamasındaki bitkilerde elde edilmiştir (EK 2). Uygulanan tüm Pb konsantrasyonları ele alındığında ise en yüksek Pb birikimi 1288,38 mg/kg k.a ile 5 gün sonundaki bitkilerde elde edilmiştir. Bitkinin maruz kaldığı ağır metal düzeyi ve uygulama süresinin artışıyla beraber, bitkide tespit edilen Pb içeriği de artmıştır ($p < 0,05$). En fazla Pb içeriği, her üç farklı uygulama süresinde de kurşunun en yüksek konsantrasyonda (3,2 mg/L) kullanıldığı ortamdaki bitkilerde bulunmuş olup sırasıyla 1 gün sonunda 3411,25 mg/kg k.a, 3 gün sonunda 3466,25 mg/kg k.a ve 5 gün sonunda 3552,50 mg/kg k.a olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.12). 3,2 mg/L Pb etkisindeki bitkiler, diğer Pb konsantrasyonundaki bitkilere göre oldukça fazla Pb biriktirmiştir.

4.4. Biyokonsantrasyon Faktörü (BKF)

4.4.1. *C. demersum*'un Biyokonsantrasyon Faktörü

1, 3 ve 5 gün süresince farklı konsantrasyonlarda Cd, Cr ve Pb etkisinde bırakılan *C. demersum*'daki BKF değerleri hesaplanmış ve varyans analizi uygulanmıştır (Çizelge 4.27). *C. demersum*'da BKF değerleri üzerine uygulama süresi ve konsantrasyonunun tekli ve birlikte etkisi belirlenmiştir. Cd ve Cr içerikleri bakımından gün, oran ve gün x oran interaksiyonu istatistiksel olarak $p < 0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Pb içerikleri bakımından gün ve oran $p < 0,01$ seviyesinde önemli bulunurken, gün x oran etkileşimi $p < 0,05$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Bu etkileşimin anlamlılık seviyesini tespit etmek için uygulanan Duncan testi sonuçları EK 3 ve Şekil 4.13'de verilmiştir.

Çizelge 4.27. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *C. demersum*'un biyokonsantrasyon faktörü (BKF)'ne ait varyans analizi

V.K.	S.D.	Cd		Cr		Pb	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Gün	2	317969,08	47,07**	216736,42	70,79**	105075,96	96,46**
Oran	3	96778,46	14,33**	476934,02	155,78**	237028,77	217,60**
Gün x Oran	6	44155,49	6,54**	16199,28	5,29**	3585,80	3,29*
Hata	24	6755,09	-	3061,60	-	1089,28	-
Genel Toplam	35	-	-	-	-	-	-

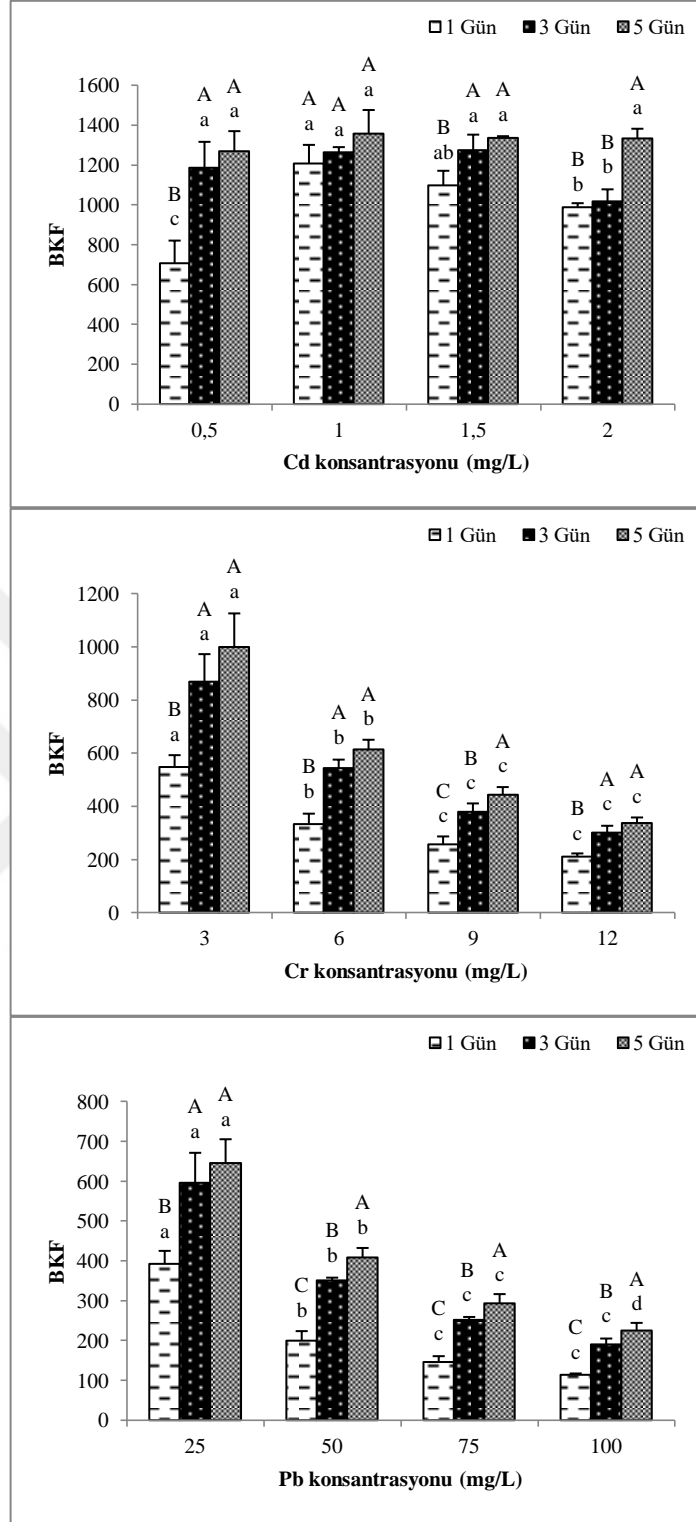
** $p < 0,01$ düzeyinde önemli; * $p < 0,05$ düzeyinde önemli

Tüm Cd konsantrasyonları kıyaslandığından en yüksek BKF değeri (1113,40 mg/kg k.a) 2 mg/L Cd uygulamasında tespit edilmiştir (EK 3). 5 gün uygulamasında hesaplanan BKF değerindeki farklılıklar istatistiksel olarak farklı bulunmazken, 1 ve 3 gün sonunda hesaplanan BKF arasında $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Şekil 4.13). 1 gün sonunda en yüksek BKF değeri 1207,50 ile 1 mg/L Cd içeren ortamda tespit edilirken, en düşük BKF değeri 708,33 ile 0,5 mg/L Cd uygulanan ortamda tespit edilmiştir. 3 gün sonunda en yüksek BKF değeri 1276,39 ile 1,5 mg/L Cd içeren ortamda, en düşük BKF ise 1017,92 ile 2 mg/L Cd ortamında elde edilmiştir. 5

gün sonunda en fazla BKF değeri 1357,92 ile 1 mg/L Cd içeren ortamda, en düşük BKF 1270,83 ile 0,5 mg/L Cd ortamında elde edilmiştir.

EK 3’de görüldüğü gibi Cr etkisindeki *C. demersum*'daki en yüksek BKF değeri 804,85 ile 3 mg/L Cr uygulamasındaki bitkilerde tespit edilmiştir. Farklı günler kendi içinde kıyaslandığında en yüksek BKF değeri 597,91 ile 5 gün sonundaki bitkilerde belirlenmiştir. BKF değerleri, uygulama süresi ve uygulanan Cr konsantrasyonuna bağlı olarak azalış göstermiştir. En yüksek BKF değeri 1, 3 ve 5 gün sonunda 3 mg/L Cr içeren ortamda sırası ile 547,58, 868,08 ve 998,89 olarak hesaplanmıştır. En düşük BKF değerleri ise 12 mg/L Cr içeren ortamda 1 gün sonunda 211,14, 3 gün sonunda 300,76 ve 5 gün sonunda 336,32 olarak tespit edilmiştir. Genel olarak en düşük BKF değerleri 1 gün uygulamasında, en yüksek BKF değerleri 5 gün uygulamasında hesaplanmıştır.

Farklı konsantrasyonlarda Pb uygulamalarında en yüksek BKF değeri 544,51 ile 25 mg/L Pb etkisindeki bitkilerde elde edilirken, en düşük BKF değeri ise 176,28 ile 100 mg/L Pb etkisindeki bitkilerde elde edilmiştir. Uygulama süreleri bakımından en yüksek BKF değeri 393,01 ile 5 gün sonundaki bitkilerde belirlenmiştir (EK 3). Artan Pb konsantrasyonu ve uygulama süresi ile birlikte hesaplanan BKF değerleri azalış göstermiş olup, BKF değerleri arasındaki değişim anlamlı bulunmuştur ($p < 0,05$). Tüm uygulama sürelerinde en yüksek BKF değerleri 25 mg/L Pb ortamında, en düşük BKF değerleri 100 mg/L Pb ortamında elde edilmiştir (Şekil 4.13). 1 gün sonunda hesaplanan en yüksek BKF değeri ise 392,20 ve en düşük BKF değeri 113,57 olarak bulunmuştur. 3 gün sonunda hesaplanan en yüksek BKF değeri 595,90 ile ve en düşük BKF değeri 190,22 olarak bulunmuştur. 5 gün sonunda hesaplanan en yüksek BKF değeri 645,43 ve en düşük BKF değeri 225,04 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.13. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *C. demersum*'un biyokonsantrasyon faktörü (BKF). Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı konsantrasyonlardaki aynı gün için farklı küçük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Aynı konsantrasyondaki farklı günler için farklı büyük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$).

4.4.2. *P. erectus* Biyokonsantrasyon Faktörü

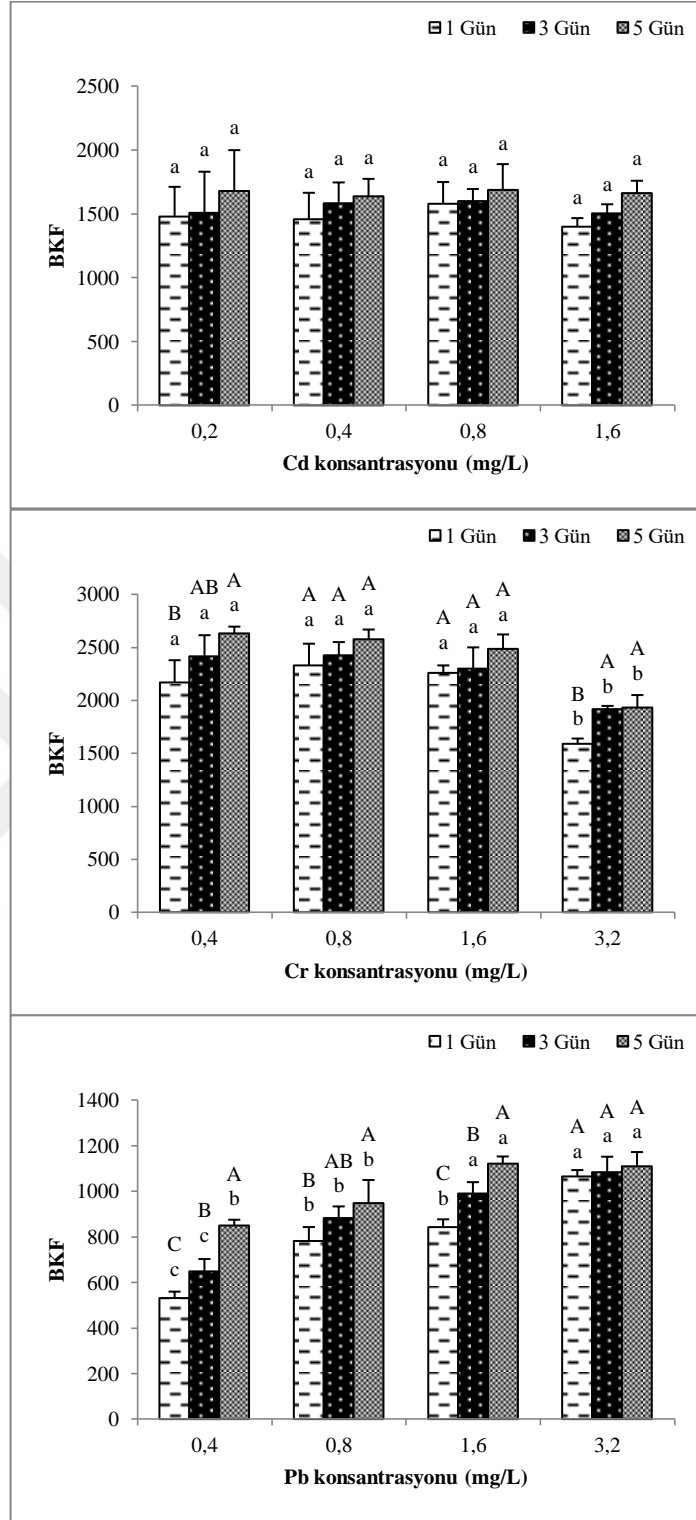
Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb toksisitesine maruz bırakılan *P. erectus*'un BKF değeri hesaplanmış ve varyans analizi uygulanmıştır (Çizelge 4.28). Cd uygulanan bitkilerin BKF değerleri bakımından gün, oran ve gün x oran etkileşimi istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir. Cr uygulanan bitkilerin BKF değerlerinde gün ve oran tek başına istatistiksel olarak önemli bulunmasına rağmen, gün x oran interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Pb uygulanan bitkilerin BKF değerleri bakımından gün ve oran tek başına istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,01$). Ayrıca gün x oran etkileşimi de istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,01$). Bu etkileşimin anlamlılık seviyesini tespit etmek için uygulanan Duncan testi sonuçları EK 4 ve Şekil 4.14'de verilmiştir.

Bitkinin maruz kaldığı Cd seviyeleri karşılaştırıldığında en yüksek BKF değeri 1622,14 ile 0,8 mg/L Cd etkisindeki bitkilerde elde edilirken, en düşük BKF değeri ise 1522,79 ile 1,6 mg/L Cd etkisindeki bitkilerde elde edilmiştir. Uygulama süreleri kıyaslandığında ise en yüksek BKF değeri 1667,58 ile 5 gün sonundaki bitkilerde saptanmıştır (EK 4).

Çizelge 4.28. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *P. erectus*'un biyokonsantrasyon faktörü (BKF)'ne ait varyans analizi

V.K.	S.D.	Cd		Cr		Pb	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Gün	2	108767,47	2,93 ^{ös}	306718,42	15,71**	121583,42	41,18**
Oran	3	15392,39	0,41 ^{ös}	788172,21	40,37**	278606,87	94,36**
Gün x Oran	6	5091,03	0,14 ^{ös}	18206,42	0,93 ^{ös}	11988,77	4,06**
Hata	24	37147,55	-	19523,83	-	2952,57	-
Genel Toplam	35	-	-	-	-	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli; ^{ös} Önemsiz



Şekil 4.14. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *P. erectus*'un biyokonsantrasyon faktörü (BKF). Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı konsantrasyonlardaki aynı gün için farklı küçük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Aynı konsantrasyondaki farklı günler için farklı büyük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$).

Süre x konsantrasyonun birlikte etkisinde ise en yüksek BKF değerleri 1, 3 ve 5 gün sonunda sırasıyla 1578,13, 1600,78 ve 1687,50 olarak 0,8 mg/L Cd konsantrasyonundaki bitkilerde bulunmuştur (EK 4). En düşük BKF değerleri ise 1 ve 3 günlük uygulamada 1,6 mg/L Cd ortamında sırasıyla 1399,22 ve 1505,88 olarak hesaplanmıştır. 5 günlük uygulamada ise en düşük BKF değeri 0,4 mg/L Cd ortamında 1637,50 olarak hesaplanmıştır. Genel olarak en yüksek BKF değerleri kadmiyuma 5 gün boyunca maruz kalan ortamda tespit edilmiştir (Şekil 4.14).

Cr etkisindeki bitkilerde maksimum BKF değeri 2442,87 ile 0,8 mg/L Cr etkisindeki bitkilerde elde edilirken, minimum BKF değeri ise 1812,50 ile 3,2 mg/L Cr etkisindeki bitkilerde elde edilmiştir. Farklı gün uygulamalarında ise maksimum BKF değeri 2406,13 ile 5 gün sonundaki bitkilerde tespit edilmiştir (EK 4). Tüm Cr konsantrasyonlarında en düşük BKF değerleri 1 günlük uygulamada, en yüksek BKF değerleri 5 günlük uygulamada kaydedilmiştir (Şekil 4.14). 1 ve 3 günlük uygulamada en yüksek BKF değerleri 0,8 mg/L Cr ortamında sırası ile 2328,13 ve 2424,22 olarak tespit edilmiştir. 5 gün sonunda ise en yüksek BKF değeri 0,4 mg/L Cr ortamında 2630,31 olarak hesaplanmıştır. En düşük BKF değerleri tüm uygulama sürelerinde de 3,2 mg/L Cr ortamında bulunmuştur.

Farklı Pb derişimleri altında *P. erectus*'da tespit edilen en yüksek BKF değeri 1086,46 ile 3,2 mg/L Pb etkisindeki bitkilerde elde edilirken, en düşük BKF değeri ise 676,04 ile 0,4 mg/L Pb etkisindeki bitkilerde elde edilmiştir (EK 4). Uygulama süreleri kıyaslandığında ise en yüksek BKF değeri 1006,58 ile 5 gün sonundaki bitkilerde tespit edilmiştir. Genel olarak Pb konsantrasyonu ve uygulanan süresinin artması BKF değerinin artışına yol açmıştır (Şekil 4.14). 1 ve 3 gün sonunda en yüksek BKF değerleri 3,2 mg/L Pb ortamında sırası ile 1066,02 ve 1083,20 olarak hesaplanmıştır. 5 gün sonunda ise en yüksek BKF değeri 1,6 mg/L Pb ortamında 1120,08 olarak hesaplanmıştır. 1, 3 ve 5 gün sonunda en düşük BKF değerleri 0,4 mg/L Pb ortamında sırası ile 531,56, 647,50 ve 849,06 olarak hesaplanmıştır.

4.5. Taze ve Kuru Ağırlık Miktarı

4.5.1. *C. demersum* için Taze ve Kuru Ağırlık Miktarı

Cd, Cr ve Pb ağır metallerinin farklı konsantrasyonlarına 1, 3 ve 5 gün boyunca maruz kalan bitkilerin taze ağırlıkları tartılmış ve varyans analizi uygulanmıştır (Çizelge 4.29). Cd uygulamasında bitkilerin taze ağırlıkları bakımından günler ($p < 0,01$) istatistiksel olarak önemli bulunurken, konsantrasyonun ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Buna karşın gün x oran etkileşimi de istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,01$). Cr uygulanan bitkilerin taze ağırlıkları değerlendirildiğinde günler istatistiksel olarak anlamlı bulunmazken, konsantrasyon ($p < 0,01$) istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Buna karşın gün x oran etkileşimi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p > 0,05$). Pb uygulamasında hem gün ($p < 0,01$) hem de oranın ($p < 0,01$) taze ağırlıkları üzerinde istatistiksel olarak önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Buna karşın gün x oran etkileşiminin taze ağırlıkları üzerine önemli düzeyde etkisi tespit edilememiştir ($p > 0,05$). Bu istatistiksel farklılıkların anlamlılık seviyesi Duncan testi kullanılarak tespit edilmiş ve EK 5 ve Şekil 4.15’de gösterilmiştir.

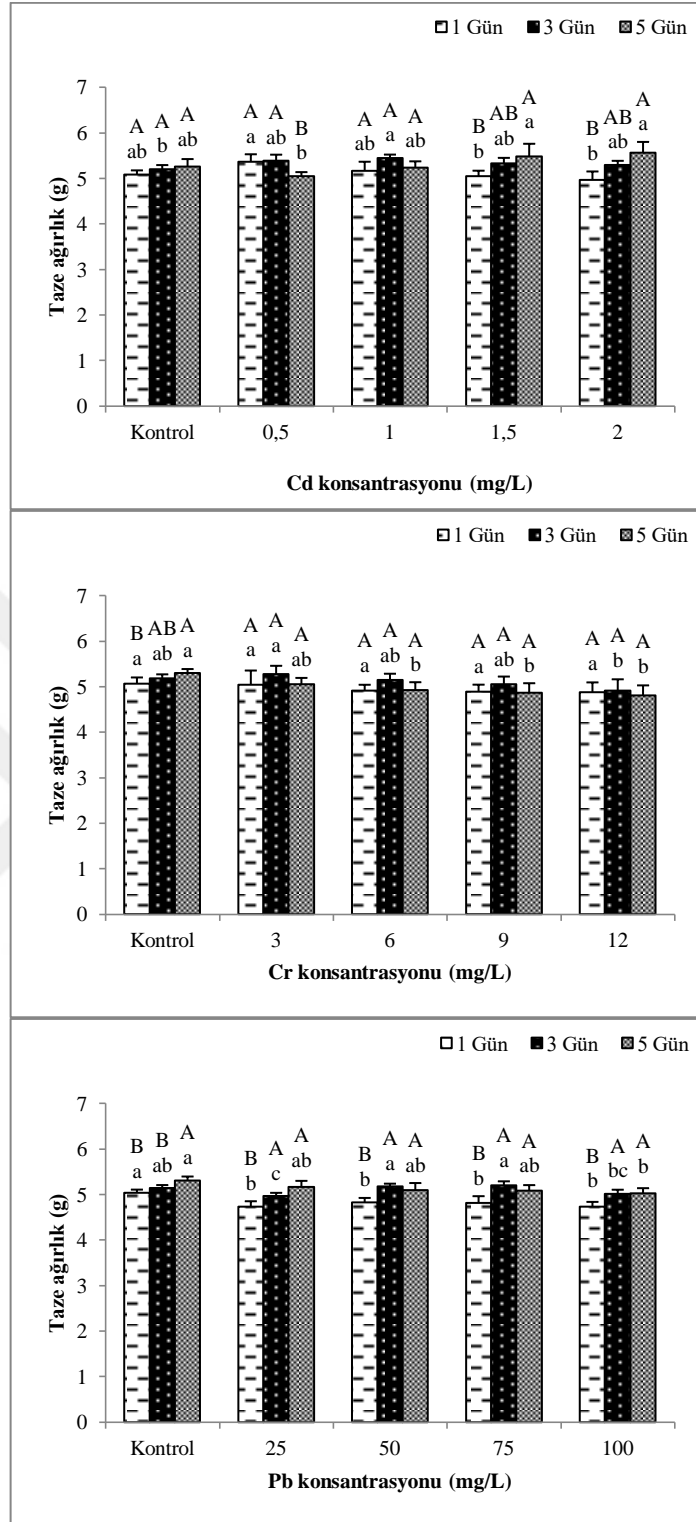
Çizelge 4.29. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *C. demersum*'un taze ağırlıklarına ait varyans analizi

V.K.	S.D.	Cd		Cr		Pb	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Gün	2	0,20	7,98**	0,10	2,86 ^{ös}	0,42	37,20**
Oran	4	0,02	0,67 ^{ös}	0,15	4,57**	0,08	6,97**
Gün x Oran	8	0,10	4,21**	0,02	0,59 ^{ös}	0,02	1,72 ^{ös}
Hata	30	0,03	-	0,03	-	0,01	-
Genel Toplam	44	-	-	-	-	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli; ^{ös} Önemsiz

Farklı konsantrasyonlarda Cd toksisitesi altında bırakılan bitkilerde en yüksek taze ağırlık değeri 5,29 g ile 1 ve 1,5 mg/L Cd altındaki bitkilerde elde edilmiştir (EK 5). Farklı günler değerlendirildiğinde en fazla taze ağırlık değeri 5,34 g ile 3 gün sonundaki bitkilerde belirlenmiştir. 1 gün sonunda kontrole kıyasla 0,5 mg/L Cd uygulamasında bitkinin taze ağırlıklarında artış tespit edilirken, bu konsantrasyondan daha fazla Cd uygulamasında ise azalma tespit edilmiştir (Şekil 4.15). 1 gün sonunda kontrole göre en fazla taze ağırlık %5,37 ile 0,5 mg/L Cd uygulamasında bulunmuştur. 3 gün sonunda tüm Cd uygulamalarında kontrole göre daha yüksek taze ağırlıklar kaydedilmiş olup, en yüksek taze ağırlık %4,54 ile 1 mg/L Cd uygulanan ortamdaki bitkilerden elde edilmiştir. 5 gün sonunda ise en yüksek taze ağırlık %5,83 ile 2 mg/L Cd uygulanan ortamdaki bitkilerden elde edilmiştir.

Tüm Cr konsantrasyonları kendi içinde değerlendirildiğinde en fazla taze ağırlık 5,18 g ile kontrol grubu bitkilerde ardından ise 5,12 g ile 3 mg/L Cr etkisi altındaki bitkilerde elde edilmiştir. Uygulama süreleri kıyaslandığında ise en yüksek taze ağırlık değeri 5.11 g ile 3 gün sonundaki bitkilerde tespit edilmiştir (EK 5). 1, 3 ve 5 gün sonunda bitkilerde artan Cr konsantrasyonuna bağlı olarak taze ağırlıklarında azalmalar tespit edilmiştir. 1 gün sonunda en yüksek taze ağırlık 5,07 g ile kontrol grubundaki bitkilerden elde edilirken, en düşük taze ağırlık 4,88 g ile 12 mg/L Cr uygulanan bitkilerden tespit edilmiştir (Şekil 4.15). 3 gün sonunda bitkilerin taze ağırlıklarında kontrole kıyasla ortamdaki bitkilerde sadece 3 mg/L Cr uygulanan %1,74 oranında artış olurken, 3 mg/L'den fazla uygulanan Cr konsantrasyonlarında ise taze ağırlıklar azalış göstermiştir. 5 gün sonunda artan Cr konsantrasyonuna bağlı olarak taze ağırlıklarında kontrole göre sırasıyla %4,54, %6,87, %8,00 ve %9,14 oranında azalışlar saptanmıştır.



Şekil 4.15. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *C. demersum*'un taze ağırlıkları. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama ± Standart sapma $n=3$). Farklı konsantrasyonlardaki aynı gün için farklı küçük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Aynı konsantrasyondaki farklı günler için farklı büyük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$).

Pb uygulamasındaki bitkilerin taze ağırlıkları üzerine tüm Pb derişimleri karşılaştırıldığında en yüksek taze ağırlık değeri 5,17 g ile kontrol grubu bitkilerde ardından ise 5,04 g ile 50 mg/L Pb etkisindeki bitkilerde elde edilmiştir (EK 5). Farklı günlerin etkileri değerlendirildiğinde en yüksek taze ağırlık değeri 5,14 g ile 5 gün sonundaki bitkilerde elde edilmiştir. 1 gün sonunda kontrole göre taze ağırlıklarda azalma görülürken, en fazla azalma 100 mg/L ve 25 mg/L Pb içeren su ortamındaki bitkilerde sırasıyla %6,27 ve %6,14 olarak bulunmuştur (Şekil 4.15). 3 gün sonunda bitkilerin taze ağırlıklarında kontrole göre 50 ve 75 mg/L Pb uygulamasında sırasıyla %0,71 ve %1,04 oranında artış olurken, 25 ve 100 mg/L Pb uygulamasında sırasıyla %3,50 ve %2,52 oranında azalış olmuştur. 5 gün sonunda artan Pb konsantrasyonuna bağlı olarak bitkilerin taze ağırlıklarında kontrole göre azalışlar belirlenirken, bu azalış oranları sırasıyla %2,70, %4,02, %4,27 ve %5,27 olarak tespit edilmiştir.

Cd, Cr ve Pb uygulanan *C. demersum* bitkilerinin kuru ağırlıklarında zamana ve konsantrasyona bağlı olarak istatistiksel farklılıklar tespit edilmiş ve varyans analizi yapılmıştır (Çizelge 4.30). Cd ve Pb uygulamasındaki bitkilerin kuru ağırlıkları bakımından süre ve konsantrasyon tek başına istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Ayrıca süre x konsantrasyon etkileşimi de istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,01$). Cr uygulamalarında ise kuru ağırlıklar bakımından oran istatistiksel olarak önemsiz bulunurken ($p > 0,05$), gün ve gün x oranın sinerjik etkileşimi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,01$). Bu etkileşimin anlamlılık seviyesini tespit etmek için uygulanan Duncan testi sonuçları EK 6 ve Şekil 4.16'da verilmiştir.

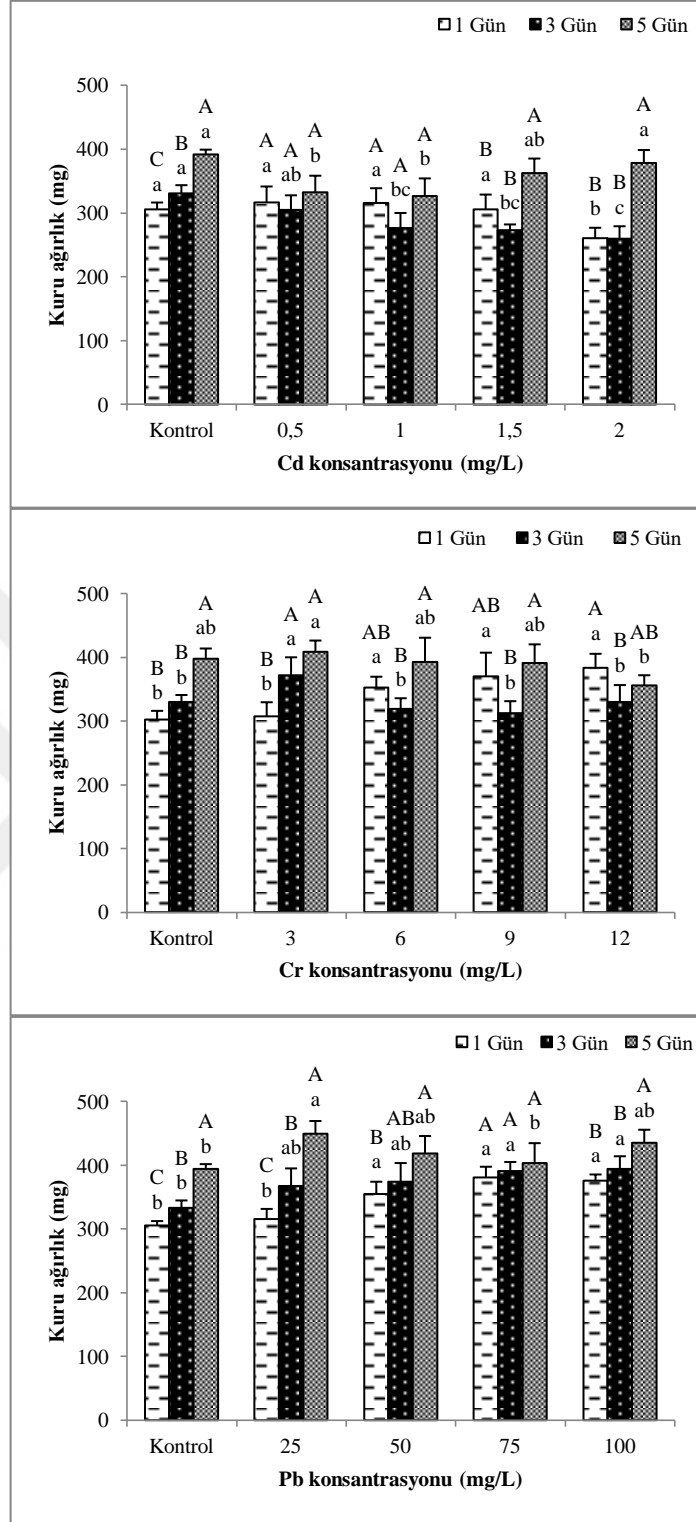
Çizelge 4.30. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *C. demersum*'un kuru ağırlıklarına ait varyans analizi

V.K.	S.D.	Cd		Cr		Pb	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Gün	2	20629,36	49,77**	13455,09	24,53**	20988,87	52,33**
Oran	4	2431,91	5,87**	462,70	0,84 ^{ös}	4262,78	10,63**
Gün x Oran	8	2020,99	4,88**	3197,78	5,83**	1288,23	3,21**
Hata	30	414,51	-	548,49	-	401,11	-
Genel Toplam	44	-	-	-	-	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli; ^{ös} Önemsiz

Kuru ağırlıkları üzerine 0,5-2,0 mg/L Cd konsantrasyonları uygulanmış ve en fazla kuru ağırlık 343,00 mg ile kontrol grubundaki bitkilerde ardından ise 317,89 mg ile 0,5 mg/L Cd etkisindeki bitkilerde tespit edilmiştir (EK 6). En düşük kuru ağırlık ise 300,0 mg ile 2 mg/L Cd uygulamasından elde edilmiştir. Bitkinin maruz kalma süreleri bakımından ise en yüksek kuru ağırlık 358,60 mg ile 5 gün sonundaki bitkilerde belirlenmiştir. 1 gün sonunda bitkilerin kuru ağırlıklarında, uygulanan Cd konsantrasyonuna bağlı olarak azalış kaydedilmiştir (Şekil 4.16). 1 gün sonunda en yüksek kuru ağırlık 316,67 mg ile 0,5 mg/L Cd uygulamasında tespit edilirken, en düşük kuru ağırlık ise 261,00 mg ile 2 mg/L Cd etkisinde tespit edilmiştir. 3 gün sonunda en yüksek kuru ağırlık 331,33 mg ile kontrol grubunda saptanmıştır. 5 gün sonunda en yüksek kuru ağırlık (392,00 mg) kontrol grubunda tespit edilmiş olup, 1 mg/L Cd toksisitesinde ise en az kuru ağırlık tespit edilmiştir.

C. demersum bitkisinin kuru ağırlıkları üzerine tüm Cr konsantrasyonları karşılaştırıldığında en yüksek kuru ağırlık değeri 362,56 mg ile 3 mg/L Cr etkisi altındaki bitkilerde elde edilirken, en düşük kuru ağırlık ise 343,22 mg ile kontrol grubu bitkilerde tespit edilmiştir (EK 6). Farklı günlerde kuru ağırlık üzerine kromun etkisi incelendiğinde en yüksek kuru ağırlık değeri 389,0 mg ile 5 gün sonundaki bitkilerde, en düşük kuru ağırlık ise 332,67 mg ile 3 gün sonundaki bitkilerde elde edilmiştir. 1 gün sonunda ortamdaki Cr konsantrasyonunun artışına bağlı olarak kuru ağırlıklarda artış olurken (Şekil 4.16), kontrole göre en yüksek kuru ağırlık artışı %26,90 ile 12 mg/L Cr uygulanan bitkilerde görülmüştür. 3 gün sonunda kontrole göre en fazla kuru ağırlık artışı %12,84 ile en az oranda Cr içeren (3 mg/L) ortamdaki bitkilerden elde edilirken, kuru ağırlıklarda kontrole göre en fazla azalış ise %5,26 ile 9 mg/L Cr içeren ortamdaki bitkilerden elde edilmiştir. 5 gün sonunda uygulanan Cr konsantrasyonunun artışına bağlı olarak kuru ağırlıklarda azalmalar belirlenmiştir. En fazla azalma %10,56 ile 12 mg/L Cr içeren ortamdaki bitkilerde görülmüştür.



Şekil 4.16. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *C. demersum*'un kuru ağırlıkları. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı konsantrasyonlardaki aynı gün için farklı küçük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Aynı konsantrasyondaki farklı günler için farklı büyük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$).

25-100 mg/L Pb stresi altında bitkilerin kuru ağırlıkları incelenmiş ve en fazla kuru ağırlık 401,89 mg ile 100 mg/L Pb etkisindeki bitkilerde, ardından ise 391,78 mg ile 75 mg/L Pb etkisindeki bitkilerde bulunmuştur (EK 6). Farklı günler bakımından kuru ağırlık miktarları değerlendirildiğinde en yüksek kuru ağırlık değeri 420,27 mg ile 5 gün sonundaki bitkilerde belirlenmiştir. 1 gün sonunda kontrol grubuna göre kuru ağırlıklarda artış kaydedilmiştir (Şekil 4.16). 3 gün sonunda uygulanan Pb konsantrasyonları ile kuru ağırlıklarda artışlar olurken, kontrole göre en fazla kuru ağırlık artışı %18,40 ile 100 mg/L Pb uygulamasında elde edilmiştir. En az kuru ağırlık artışı ise %10,30 ile 25 mg/L Pb uygulamasında elde edilmiştir. 5 gün sonunda kontrole kıyasla Pb uygulanan bitkilerde kuru ağırlıklar artış göstermiştir. En fazla kuru ağırlık artışı %14,04 ile 25 mg/L Pb içeren ortamdaki bitkilerinde elde edilirken, en düşük kuru ağırlık artışı ise 75 mg/L Pb içeren ortamdaki bitkilerde %2,42 olarak tespit edilmiştir.

4.5.2. *P. erectus* için Taze ve Kuru Ağırlık Miktarı

P. erectus bitkisi farklı konsantrasyonlarda Cd, Cr ve Pb içeren sulu ortamda 1, 3 ve 5 gün boyunca bekletilmiş ve bitkinin taze ağırlıkları ölçülmüş ve varyans analizi yapılmıştır (Çizelge 4.31). Cd ve Cr uygulamasında gün ve gün x oran interaksyonu taze ağırlıklar üzerinde önemli farklılıklar göstermezken, oran tek başına istatistiksel olarak önemli farklılık göstermiştir ($p < 0,01$). Pb uygulamasının taze ağırlıklıkları bakımından oran $p < 0,01$ seviyesinde istatistiksel olarak önemli bulunurken, gün ve gün x oran iteraksyonu $p < 0,05$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Bu farklılıkların önemlilik seviyesini tespit etmek için uygulanan Duncan testi sonuçları EK 7 ve Şekil 4.17'de verilmiştir.

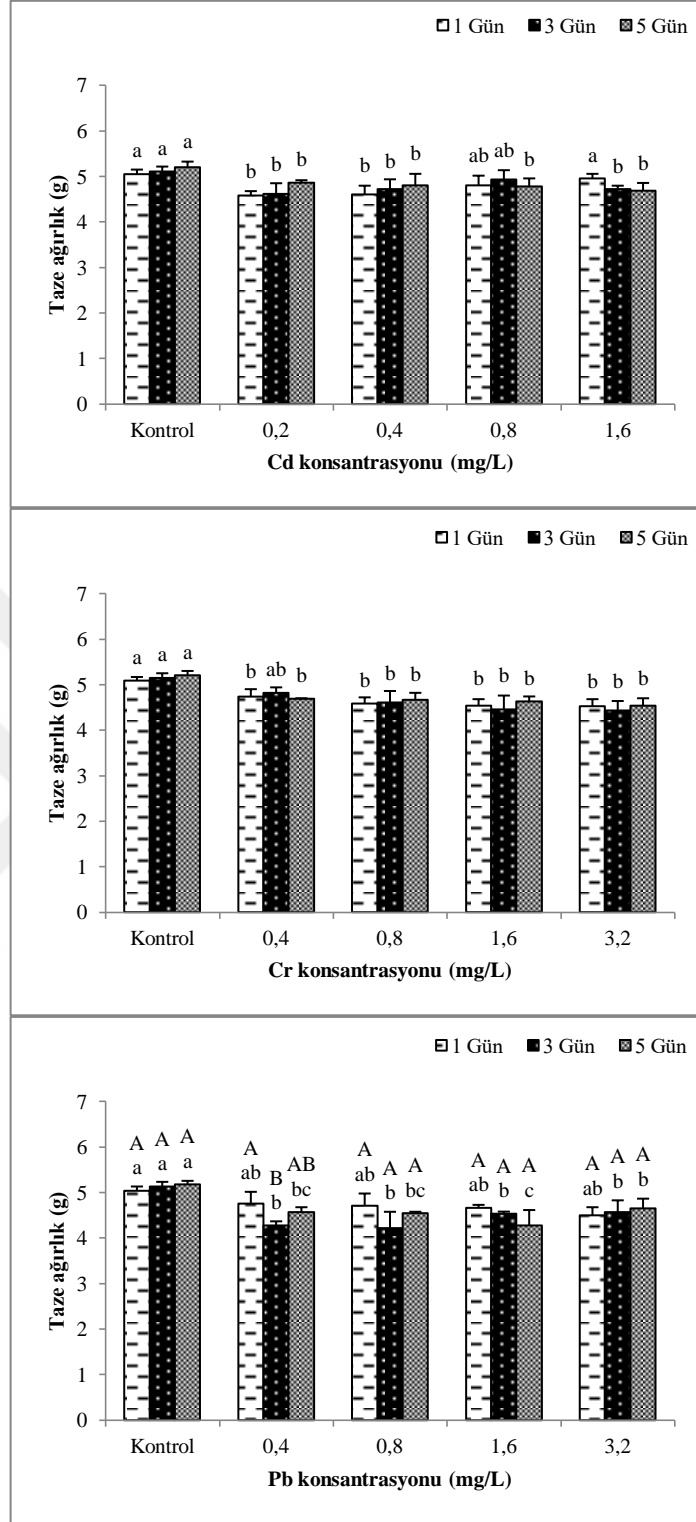
Farklı Cd konsantrasyonlarının (0,2-1,6 mg/L) *P. erectus* bitkisinin taze ağırlıkları üzerine etkisi karşılaştırıldığında, en yüksek taze ağırlık değeri 5,12 g ile kontrol grubu bitkilerde, ardından ise 4,84 g ile 0,8 mg/L Cd etkisindeki bitkilerde saptanmıştır (EK 7).

Çizelge 4.31. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *P. erectus*'un taze ağırlıklarına ait varyans analizi

V.K.	S.D.	Cd		Cr		Pb	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Gün	2	0,02	0,65 ^{ös}	0,01	0,53 ^{ös}	0,14	3,53*
Oran	4	0,27	9,87**	0,61	23,71**	0,64	16,72**
Gün x Oran	8	0,05	1,70 ^{ös}	0,01	0,46 ^{ös}	0,09	2,46*
Hata	30	0,03	-	0,03	-	0,04	-
Genel Toplam	44	-	-	-	-	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli; * $p < 0,05$ düzeyinde önemli ; ^{ös} Önemli

Farklı Cd konsantrasyonlarının (0,2-1,6 mg/L) *P. erectus* bitkisinin taze ağırlıkları üzerine etkisi karşılaştırıldığında, en yüksek taze ağırlık değeri 5,12 g ile kontrol grubu bitkilerde, ardından ise 4,84 g ile 0,8 mg/L Cd etkisindeki bitkilerde saptanmıştır (EK 7). Farklı günlerde Cd etkisi incelendiğinde maksimum taze ağırlık değeri 4,87 g ile 5 gün sonundaki bitkilerde belirlenmiştir. 1 gün sonunda en fazla taze ağırlık Cd içermeyen ortamda (kontrol) bulunan bitkilerden elde edilirken, en düşük taze ağırlık 4,59 g ile 0,2 mg/L Cd içeren ortamdaki bitkilerden elde edilmiştir (Şekil 4.17). Uygulanan Cd konsantrasyonuna bağlı olarak bitkilerin taze ağırlıklarında artmalar tespit edilmiştir. 3 gün sonunda en fazla taze ağırlık kontrol grubundaki bitkilerde, en az taze ağırlık 4,62 g ile 0,2 mg/L Cd içeren ortamdaki bitkilerden görülmüştür. 5 gün sonunda ise diğer günlerin aksine Cd konsantrasyonuna bağlı olarak taze ağırlıklarında azalmalar tespit edilmiş ve en yüksek taze ağırlık (kontrol haricinde) 4,87 g ile 0,2 mg/L Cd içeren ortamdaki bitkilerden elde edilmiştir.



Şekil 4.17. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *P. erectus*'un taze ağırlıkları. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama ± Standart sapma $n=3$). Farklı konsantrasyonlardaki aynı gün için farklı küçük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Aynı konsantrasyondaki farklı günler için farklı büyük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$).

Taze ağırlıkları üzerine tüm Cr derişimleri karşılaştırıldığında en yüksek taze ağırlık değeri 5,15 g ile kontrol grubu bitkilerde, ardından ise 4,75 g ile 0,4 mg/L Cr etkisindeki bitkilerde elde edilmiştir (EK 7). Farklı günler bakımından en yüksek taze ağırlık değeri 4,75 g ile 5 gün sonundaki bitkilerde tespit edilmiştir. Bitkinin taze ağırlıkları arasında $p < 0,05$ düzeyinde anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Tüm denemelerde en fazla taze ağırlık kontrol grubu bitkilerde tespit edilirken, uygulanan Cr konsantrasyonu bağlı olarak taze ağırlıklarda azalmalar saptanmıştır (Şekil 4.17). Kontrol haricinde en fazla taze ağırlık 3 gün sonunda 4,82 g ile 0,4 mg/L Cr uygulanan bitkilerde, en az taze ağırlık yine 3 gün sonunda 4,43 g ile 3,2 mg/L Cr uygulanan bitkilerde bulunmuştur. 1 ve 5 gün sonunda en yüksek taze ağırlıklar kontrolden sonra 0,4 mg/L Cr içeren ortamdaki bitkilerde sırası ile 4,74 g ve 4,69 g olarak tespit edilmiştir.

Tüm Pb derişimlerinin 1, 3 ve 5 günlük ortalamaları karşılaştırıldığında en yüksek taze ağırlık değeri 5,12 g ile kontrol grubu bitkilerde, ardından ise 4,58 g ile 3,2 mg/L Pb etkisindeki bitkilerde belirlenmiştir (EK 7). Uygulama süreleri kıyaslandığında ise en yüksek taze ağırlık değeri 4,74 g ile 1 gün sonundaki bitkilerde tespit edilmiştir. Tüm denemelerde en fazla taze ağırlıklar kontrol bitkilerinde saptanmıştır. 1 gün sonunda, uygulanan Pb oranına bağlı olarak bitkilerin taze ağırlıklarında azalmalar tespit edilmiştir. Kontrole kıyasla taze ağırlıkta en fazla azalma %10,71 ile 3,2 mg/L Pb içeren sulu ortamdaki bitkilerde görülmüştür. 3 gün sonunda ise 1. günün aksine kontrole kıyasla taze ağırlıkta en fazla düşüş %17,64 ile 0,8 mg/L Pb içeren ortamdaki bitkilerde, en yüksek taze ağırlık ise 4,57 g ile 3,2 mg/L Pb içeren ortamdaki bitkilerde tespit edilmiştir. 5 gün sonunda ağır metal uygulanan ortamlardaki bitkilerin taze ağırlığı 1,6 mg/L Pb uygulamasına kadar azalış gösterirken, 3,2 mg/L Pb uygulamasında artış göstermiştir (Şekil 4.17).

P. erectus bitkileri 1, 3 ve 5 gün boyunca farklı konsantrasyonlardaki Cd, Cr ve Pb uygulamasına maruz bırakılmış ve ardından kurutulularak kuru ağırlıkları hesaplanmıştır. Veriler öncelikle varyans analizine tabi tutulmuştur (Çizelge 4.32). Cd ve Cr etkisinde bırakılan bitkilerin kuru ağırlıkları üzerine gün istatistiksel olarak anlamlı bulunmazken, oran ($p < 0,05$) ve gün x oran etkileşimi ($p < 0,01$) istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Kuru ağırlıklar bakımından Pb uygulamaları değerlendirildiğinde gün ve

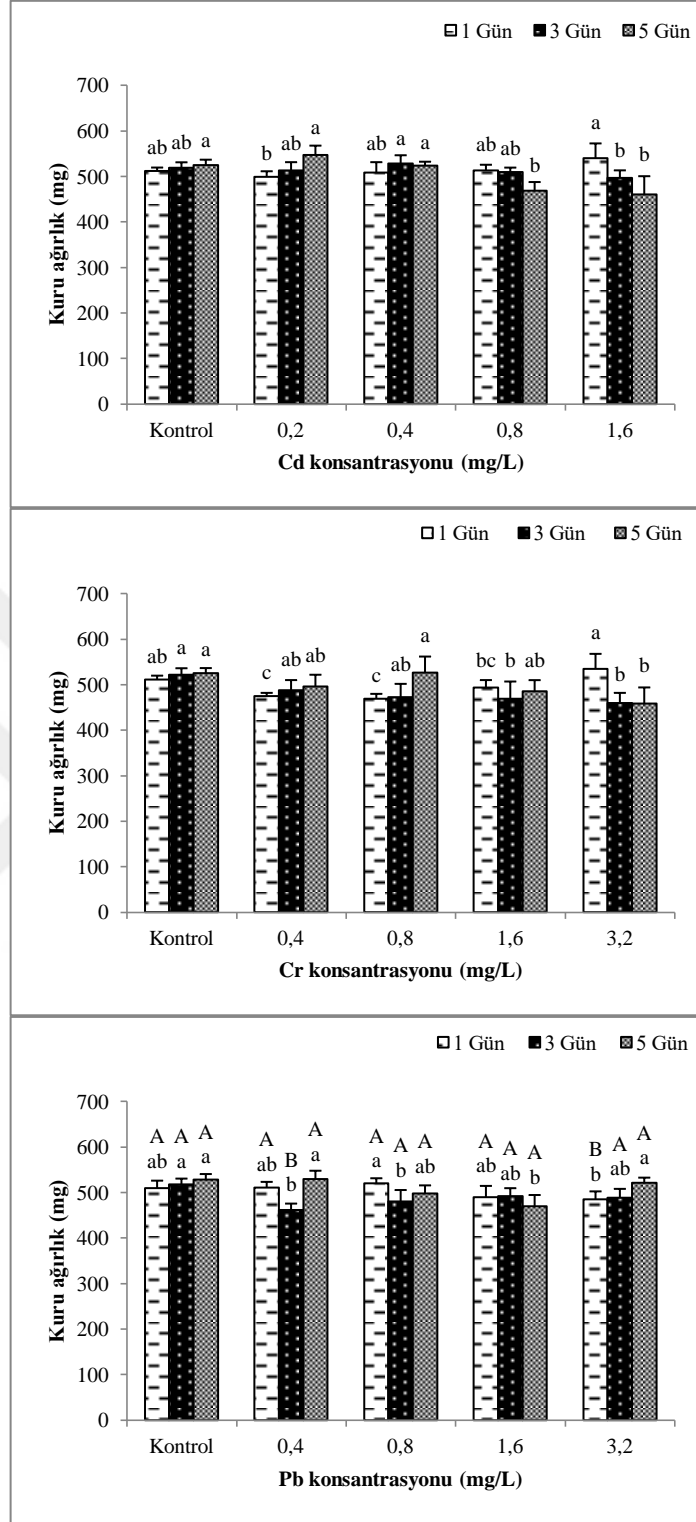
oran tek başına istatistiksel olarak anlamlı bulunurken ($p < 0,01$), gün x oran sinerjik etkisi de ($p < 0,01$) istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Elde edilen veriler için Duncan testi uygulanmış ve anlamlılık seviyesi tespit edilmiştir (EK 8 ve Şekil 4.18).

Çizelge 4.32. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *P. erectus*'un kuru ağırlıklarına ait varyans analizi

V.K.	S.D.	Cd		Cr		Pb	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Gün	2	432,29	1,17 ^{ös}	1180,87	1,98 ^{ös}	1800,56	5,72**
Oran	4	1213,81	3,28*	2071,56	3,48*	1350,33	4,29**
Gün x Oran	8	2106,59	5,70**	2156,67	3,62**	1249,42	3,97**
Hata	30	369,62	-	596,16	-	314,59	-
Genel Toplam	44	-	-	-	-	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli; * $p < 0,05$ düzeyinde önemli; ^{ös} Önemsiz

Bu denemede, kuru ağırlıkları üzerine farklı Cd konsantrasyonlarının etkileri değerlendirilmiş ve en yüksek kuru ağırlık değeri 520,44 mg ile 0,4 mg/L Cd etkisindeki bitkilerde tespit edilmiştir. 1, 3 ve 5 gün süresinde Cd toksisitesi altındaki bitkiler kıyaslandığında en yüksek kuru ağırlık değeri 515,00 mg ile 5 gün sonundaki bitkilerde saptanmıştır (EK 8). 1 gün sonunda 0,2 ve 0,4 mg/L Cd uygulanan bitkilerin kuru ağırlıkları kontrol grubuna göre sırasıyla %2,47 ve %0,72 düzeyinde azalış gösterirken, 0,8 ve 1,6 mg/L Cd uygulamasında bitkilerin kuru ağırlıkları sırasıyla %0,33 ve %5,47 düzeyinde artış göstermiştir (Şekil 4.18). 3 gün sonunda ağır metal içeren ortamlardaki bitkilerin kuru ağırlıklarında 0,4 mg/L'ye kadar artış görülürken, bu orandan daha yüksek Cd konsantrasyonlarına maruz kalan bitkilerin kuru ağırlıklarında azalmalar görülmüştür.



Şekil 4.18. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *P. erectus*'un kuru ağırlıkları. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama ± Standart sapma $n=3$). Farklı konsantrasyonlardaki aynı gün için farklı küçük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Aynı konsantrasyondaki farklı günler için farklı büyük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$).

0,4-3,2 mg/L Cr derişimlerine maruz bırakılan bitkilerin kuru ağırlıkları incelenmiş ve en yüksek kuru ağırlık değeri 519,11 mg ile kontrol grubu bitkilerde ardından ise 489,33 mg ile 0,8 mg/L Cr etkisindeki bitkilerde tespit edilmiştir. Cr etkisinde kalma süreleri kıyaslandığında ise en yüksek kuru ağırlık değeri 498,27 mg ile 5 gün sonundaki bitkilerde elde edilmiştir (EK 8). 1 gün sonunda en yüksek kuru ağırlık 534,33 mg ile 3,2 mg/L Cr uygulanan bitkilerden elde edilirken, en düşük kuru ağırlık 468,67 mg ile 0,8 mg/L Cr uygulanan bitkilerde elde edilmiştir. 3 gün sonunda en yüksek kuru ağırlık kontrol grubu bitkilerde, uygulanan Cr konsantrasyonuna bağılı olarak kuru ağırlıkta azalmalar tespit edilmiştir. Kontrole kıyasla kuru ağırlıkta en fazla azalma %11,89 ile 3,2 mg/L Cr uygulanan ortamdaki bitkilerden kaydedilmiştir. 5 gün sonunda en yüksek kuru ağırlık 526,67 mg ile 0,8 mg/L Cr içeren ortamdaki bitkilerden, ardından ise 525,33 mg ile kontrol grubu bitkilerde tespit edilmiştir. Kontrole kıyasla en fazla kuru ağırlık azalması %12,75 ile 3,2 mg/L Cr içeren ortamdaki bitkilerde bulunmuştur (Şekil 4.18).

Farklı Pb konsantrasyonlarının kuru ağırlıklar üzerine etkileri karşılaştırıldığında en yüksek kuru ağırlık değeri 518,78 mg ile kontrol grubu bitkilerde ardından ise 501,00 mg ile 0,4 mg/L Pb etkisindeki bitkilerde belirlenmiştir. Bitkilerin maruz kalma süreleri kıyaslandığında ise en yüksek kuru ağırlık değeri 509,67 mg ile 5 gün sonundaki bitkilerde tespit edilmiştir (EK 8). 1 gün sonunda kontrole göre 0,8 mg/L Pb uygulamasına kadar bitkilerin kuru ağırlıklarında artış olurken, bu orandan daha fazla Pb içeren ortamdaki bitkilerin kuru ağırlıklarında azalmalar olmuştur. En fazla kuru ağırlık artışı kontrole göre %2,03 artış ile 0,8 mg/L Pb uygulanan ortamdaki bitkilerde görülürken, kuru ağırlıkta en fazla düşüş %4,77 ile 3,2 mg/L Pb içeren ortamdaki bitkilerde görülmüştür. 3 gün sonunda en fazla kuru ağırlık kontrol grubu bitkilerden elde edilmiş olup, genel olarak uygulanan Pb konsantrasyonuna bağılı olarak kuru ağırlıklar artmıştır (Şekil 4.18). Kontrolde sonra en fazla kuru ağırlık 492,33 mg ile 1,6 mg/L Pb içeren ortamdaki bitkilerde tespit edilmiştir. 5 gün sonunda en fazla kuru ağırlık 529,67 mg ile 0,4 mg/L Pb uygulamasındaki bitkilerde, ardından ise 528,33 mg ile kontrol grubu bitkilerde belirlenmiştir.

4.6. Fotosentetik Pigment Tayini

4.6.1. *C. demersum* Fotosentetik Pigment İçerikleri

Cd Uygulanan C. demersum'un Fotosentetik Pigment İçerikleri

Farklı Cd derişimlerinin etkisinde 1, 3 ve 5 gün bekletilen *C. demersum*'un fotosentetik pigment içerikleri (klorofil *a*, klorofil *b*, toplam klorofil ve karotenoid) hesaplanmış ve varyans analizi uygulanmıştır (Çizelge 4.33). Klorofil *a*, klorofil *b*, toplam klorofil ve karotenoid içeriği bakımından gün ve oran tek başına istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,01$). Ayrıca gün x oranın sinerjik etkisi de istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,01$). Bu interaksyonunun anlamlılık seviyesini tespit etmek için Duncan testi uygulanmıştır (EK 9 ve Şekil 4.19).

Çizelge 4.33. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd uygulanan *C. demersum*'un fotosentetik pigment içeriğine ait varyans analizi

V.K.	S.D.	Klorofil <i>a</i> (mg/g t.a)		Klorofil <i>b</i> (mg/g t.a)	
		K.O.	F	K.O.	F
Gün	2	0,10	68,32**	0,02	55,66**
Oran	4	0,37	266,05**	0,03	105,19**
Gün x Oran	8	0,01	4,91**	0,002	6,41**
Hata	30	0,001	-	0,0003	-
Genel Toplam	44	-	-	-	-
V.K.	S.D.	Toplam klorofil (mg/g t.a)		Karotenoid (mg/g t.a)	
		K.O.	F	K.O.	F
Gün	2	0,20	74,56**	0,01	46,36**
Oran	4	0,61	231,35**	0,03	149,36**
Gün x Oran	8	0,01	5,21**	0,001	4,12**
Hata	30	0,003	-	0,0001	-
Genel Toplam	44	-	-	-	-

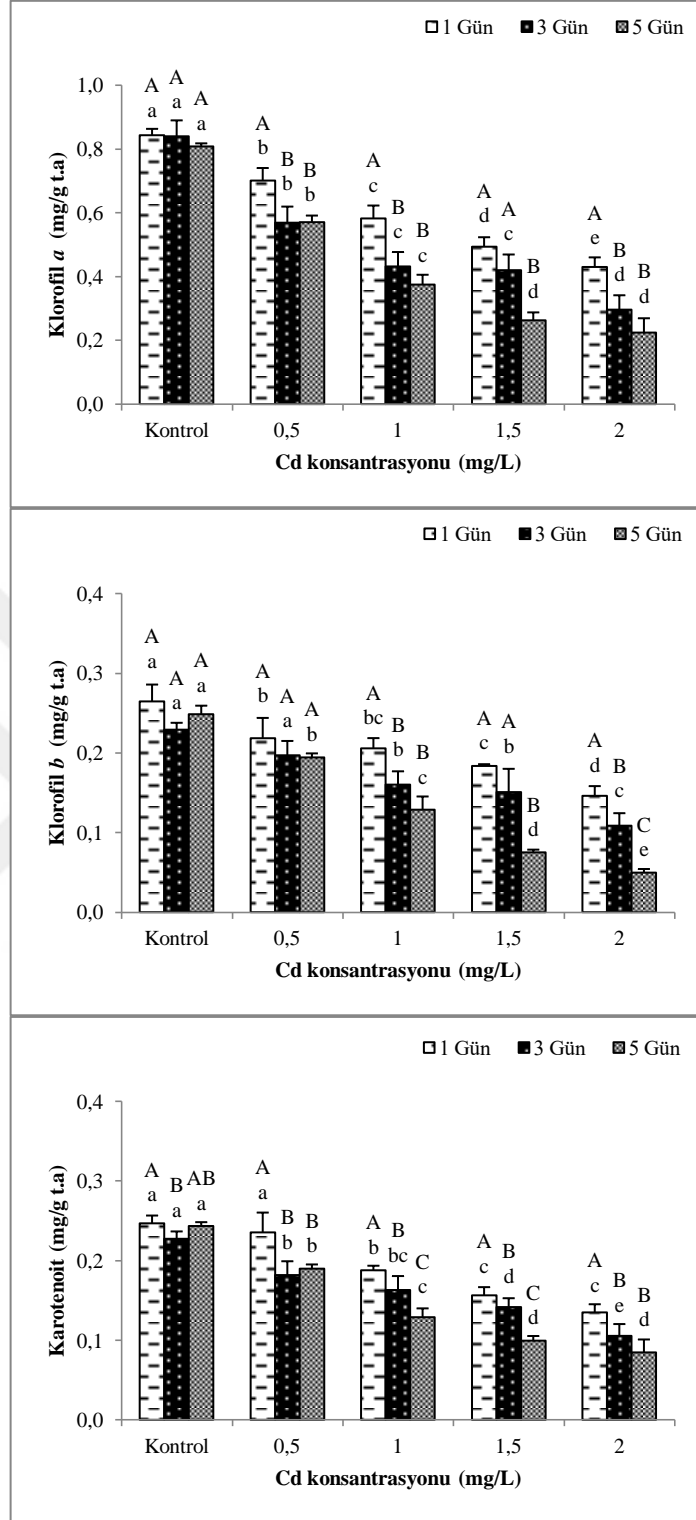
** $p < 0,01$ düzeyinde önemli

Uygulanan farklı Cd derişimleri bitkinin klorofil *a* içeriği üzerinde farklı etkiler göstermiş olup (EK 9), en yüksek klorofil *a* değeri 0,83 mg/g t.a ile kontrol grubu bitkilerde ardından ise 0,61 mg/g t.a ile 0,5 mg/L Cd toksisitesindeki bitkilerde

kaydedilmiştir. Kadmiyuma maruz kalma süreleri incelendiğinde en yüksek klorofil *a* değeri 0,61 mg/g t.a ile 1 gün sonundaki bitkilerde belirlenmiştir. Bulgularımıza göre uygulanan Cd konsantrasyonun ve uygulama süresinin artışının klorofil *a* içeriğini önemli derecede azalttığı görülmüştür ($p < 0,05$) (Şekil 4.19). Uygulama süreleri içerisinde en yüksek klorofil *a* miktarı 1 gün sonundaki bitkilerde elde edilmesine rağmen, kontrole göre 0,5, 1, 1,5 ve 2 mg/L Cd uygulamasında sırasıyla %16,93, %30,88, %41,49 ve %48,98 oranında azalış göstermiştir.

Cd derişimleri kendi içinde karşılaştırıldığında maksimum klorofil *b* değeri kontrol grubu bitkiler hariç 0,20 mg/g t.a ile 0,5 mg/L Cd toksisitesindeki bitkilerde elde edilmiştir. Uygulama süreleri kıyaslandığında ise en yüksek klorofil *b* değeri 0,20 mg/g t.a ile 1 gün sonundaki bitkilerde saptanmıştır (EK 9). Artan Cd konsantrasyonu ve uygulama süresi ile birlikte klorofil *b* miktarında azalmalar görülmüş ve klorofil *b* değerleri arasında $p < 0,05$ seviyesinde istatistiksel olarak farklar bulunmuştur. Cd toksisitesinin etkisindeki bitkilerde kontrole göre en yüksek klorofil *b* içeriğinde düşüş 5 gün sonunda 2 mg/L Cd uygulamasında görülmüştür (%80,14). 1 ve 3 gün uygulamasında da kontrole göre en yüksek klorofil *b* içeriği düşüşü 2 mg/L Cd ortamında sırasıyla %44,84 ve %52,47 olarak tespit edilmiştir. 1, 3 ve 5 gün sonunda klorofil *b* içeriğinde kontrole göre en az düşüş 0,5 mg/L Cd uygulamasında sırası ile %17,49, %14,04 ve %22,02 olarak tespit edilmiştir.

Bitkinin maruz kaldığı tüm Cd derişimleri bakımından en fazla karotenoit içeriği 0,24 mg/g t.a ile kontrol grubu bitkilerde ardından ise 0,20 mg/g t.a ile 0,5 mg/L Cd uygulamasındaki bitkilerde belirlenmiştir. Farklı günler bakımından ise en yüksek karotenoit içeriği değeri 0,19 mg/g t.a ile 1 gün sonundaki bitkilerde kaydedilmiştir (EK 9). Genel olarak uygulanan Cd derişimi ve uygulama süre arttıkça bitkideki karotenoit içeriği azalış göstermiş ve karotenoit değerleri $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Tüm Cd konsantrasyonlarında tespit edilen karotenoit içerikleri kontrole göre düşük bulunmuştur (Şekil 4.19). 1, 3 ve 5 gün sonunda kontrole göre en yüksek karotenoit düşüşü sırasıyla %45,18, %53,52 ve %65,26 ile 2 mg/L Cd ortamındaki bitkilerde belirlenmiştir. 1, 3 ve 5 gün sonunda kontrole göre en düşük karotenoit içerikleri ise sırasıyla %4,64, %19,89 ve %21,92 ile 0,5 mg/L Cd ortamındaki bitkilerde elde edilmiştir.



Şekil 4.19. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd uygulanan *C. demersum*'un fotosentetik pigment içerikleri. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı konsantrasyonlardaki aynı gün için farklı küçük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Aynı konsantrasyondaki farklı günler için farklı büyük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$).

Cr Uygulanan *C. demersum*'un Fotosentetik Pigment İçerikleri

Kromun farklı konsantrasyonlarında 1, 3 ve 5 gün boyunca bekletilen *C. demersum* bitkisinin fotosentetik pigment içerikleri belirlenerek, varyans analizi yapılmıştır (Çizelge 4.34). Klorofil *a*, klorofil *b*, toplam klorofil ve karotenoit içeriği bakımından gün ve oran tek başına $p < 0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar göstermiştir. Ayrıca gün x oranın interaksiyonu da istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,01$). Bu interaksiyonun anlamlılık seviyesini tespit etmek için sonuçlar Duncan testine tabi tutulmuş ve EK 10 ve Şekil 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.34. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cr uygulanan *C. demersum*'un fotosentetik pigment içeriğine ait varyans analizi

V.K.	S.D.	Klorofil <i>a</i> (mg/g t.a)		Klorofil <i>b</i> (mg/g t.a)	
		K.O.	F	K.O.	F
Gün	2	0,04	52,50**	0,02	74,30**
Oran	4	0,36	438,33**	0,04	185,43**
Gün x Oran	8	0,004	4,69**	0,002	9,43**
Hata	30	0,001	-	0,0002	-
Genel Toplam	44	-	-	-	-
V.K.	S.D.	Toplam klorofil (mg/g t.a)		Karotenoit (mg/g t.a)	
		K.O.	F	K.O.	F
Gün	2	0,11	65,93**	0,002	15,93**
Oran	4	0,63	377,03**	0,03	210,98**
Gün x Oran	8	0,01	5,38**	0,001	3,66**
Hata	30	0,002	-	0,001	-
Genel Toplam	44	-	-	-	-

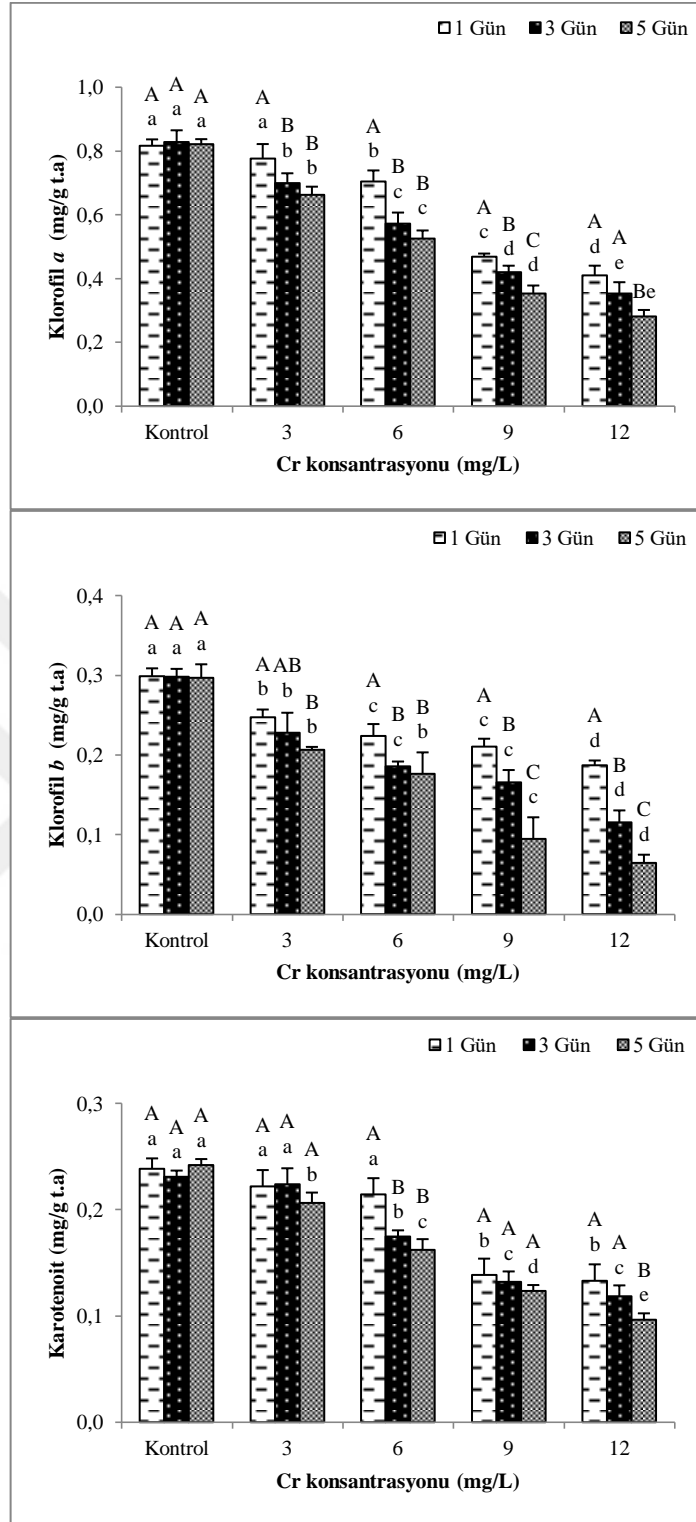
** $p < 0,01$ düzeyinde önemli

1, 3 ve 5 gün boyunca uygulanan Cr konsantrasyonları incelendiğinde en yüksek klorofil *a* içeriği 0,82 mg/g t.a ile kontrol grubu bitkilerde ardından ise 0,71 mg/g t.a ile 3 mg/L Cr etkisindeki bitkilerde tespit edilmiştir. Uygulama süreleri kıyaslandığında ise en yüksek klorofil *a* içeriği 0,64 mg/g t.a ile 1 gün sonundaki bitkilerde bulunmuştur (EK 10). Bitkilere uygulanan Cr konsantrasyonu ve uygulama süresi arttıkça klorofil *a* içeriği azalış göstermiştir. Cr uygulanan ortamlardaki bitkiler arasında en yüksek klorofil *a* içeriği 1 gün sonunda 0,78 mg/g t.a ile 3 mg/L Cr uygulanan ortamdaki

bitkilerde tespit edilmiş ve kontrole göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (Şekil 4.20). 3 ve 5 gün sonunda da yine en yüksek klorofil *a* içeriği 3 mg/L Cr içeren ortamdaki bitkilerden sırası ile 0,70 mg/g t.a ve 0,66 mg/g t.a olarak belirlenmiştir.

Klorofil *b* içeriği üzerine farklı Cr konsantrasyonları kıyaslanmış ve en fazla klorofil *b* içeriği 0,30 mg/g t.a ile kontrol grubu bitkilerde ardından ise 0,23 mg/g t.a ile 3 mg/L Cr uygulamasındaki bitkilerde saptanmıştır (EK 10). En düşük klorofil *b* içeriği ise 0,12 mg/g t.a ile 12 mg/L Cr içeren ortamdaki bitkilerde belirlenmiştir. Farklı günlerdeki klorofil *b* içerikleri incelendiğinde en fazla klorofil *b* içeriği 0,23 mg/g t.a ile 1 gün sonundaki bitkilerde görülmüştür (EK 10). Bitkiye uygulanan Cr konsantrasyonu ve uygulama süresi arttıkça bitkide tespit edilen klorofil *b* içeriği düşüş göstermiştir. 1, 3 ve 5 gün sonunda bitkilerde kontrole göre en yüksek klorofil *b* içeriğinde düşüşler sırasıyla %37,31, %61,40 ve %78,32 ile 12 mg/L Cr içeren ortamda tespit edilmiştir (Şekil 4.20). Kontrole göre en yüksek klorofil *b* içeriği ise 1, 3 ve 5 gün sonunda sırasıyla % 17,31, %23,57 ve %30,37 düşüş ile 3 mg/L Cr içeren ortamda görülmüştür.

Karotenoit içerikleri bakımından bitkinin maruz kaldığı Cr derişimleri incelenmiş ve karotenoit içerikleri 0,24-0,12 mg/g t.a arasında değişmiştir. En yüksek karotenoit içeriği ise kontrol grubundan sonra 0,22 mg/g t.a ile 3 mg/L Cr uygulamasındaki bitkilerde bulunmuştur (EK 10). Kroma maruz kalma süreleri bakımından farklı günler kıyaslandığında ise en yüksek karotenoit içeriği değeri 0,19 mg/g t.a ile 1 gün sonundaki bitkilerde tespit edilmiştir (EK 10). Genel olarak bitkilerin maruz kaldığı Cr konsantrasyonu ve uygulama süresi arttıkça bitkideki karotenoit içerikleri düşüş göstermiştir. 1 gün boyunca 3 ve 6 mg/L kroma maruz kalan bitkilerdeki karotenoit içerikleri ile kontrol grubu arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiş olup ($p < 0,05$), 9 ve 12 mg/L Cr uygulamasında bitkilerdeki karotenoit içerikleri önemli derecede düşüş göstermiştir ($p < 0,05$) (Şekil 4.20). Cr uygulamasındaki bitkilerde kontrole göre en yüksek karotenoit içeriği düşüşü 1 gün sonunda %44,05, 3 gün sonunda %48,58 ve 5 gün sonunda %60,03 ile 12 mg/L Cr içeren ortamdaki bitkilerde bulunmuştur.



Şekil 4.20. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cr uygulanan *C. demersum*'un fotosentetik pigment içerikleri. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı konsantrasyonlardaki aynı gün için farklı küçük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Aynı konsantrasyondaki farklı günler için farklı büyük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$).

Pb Uygulanan C. demersum Fotosentetik Pigment İçerikleri

Farklı derişimlerde (25-100 mg/L) ve sürede (1, 3 ve 5 gün) Pb toksisitesine maruz kalan bitkilerde fotosentetik pigment içerikleri araştırılmış ve sonuçlar alınarak varyans analizine tabi tutulmuştur (Çizelge 4.35). Bitkinin klorofil *a*, toplam klorofil ve karotenoit içerikleri bakımından uygulama süresi ve konsantrasyon tek başına istatistiksel olarak önemli bulunurken ($p < 0,01$), süre x konsantrasyonun birlikte etkileşimi de ($p < 0,01$) istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Klorofil *b* içeriği bakımından uygulama süresi ve konsantrasyon verileri arasında istatistiksel olarak $p < 0,01$ seviyesinde anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Ayrıca, uygulama süresi x konsantrasyon interakstionunda da $p < 0,05$ seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Bu verilerin anlamlılık seviyesini tespit etmek için Duncan testi uygulanmıştır (EK 11 ve Şekil 4.21).

Çizelge 4.35. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Pb uygulanan *C. demersum*'un fotosentetik pigment içeriğine ait varyans analizi

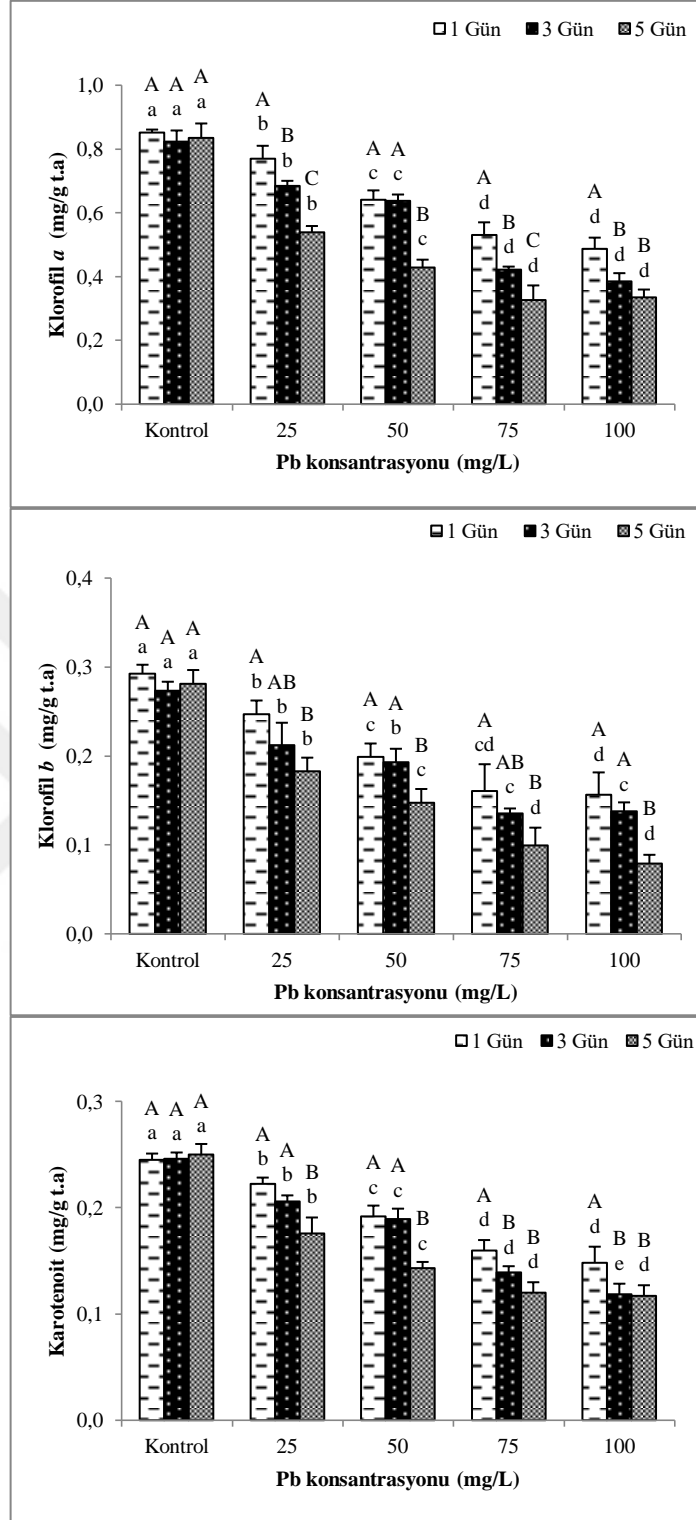
V.K.	S.D.	Klorofil <i>a</i> (mg/g t.a)		Klorofil <i>b</i> (mg/g t.a)	
		K.O.	F	K.O.	F
Gün	2	0,10	109,75**	0,01	34,37**
Oran	4	0,29	315,71**	0,04	126,18**
Gün x Oran	8	0,01	9,6**	0,001	2,73*
Hata	30	0,001	-	0,0002	-
Genel Toplam	44	-	-	-	-
V.K.	S.D.	Toplam klorofil (mg/g t.a)		Karotenoit (mg/g t.a)	
		K.O.	F	K.O.	F
Gün	2	0,18	123,05**	0,004	40,71**
Oran	4	0,54	373,60**	0,02	232,35**
Gün x Oran	8	0,01	8,67**	0,001	5,71**
Hata	30	0,001	-	0,0001	-
Genel Toplam	44	-	-	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli; * $p < 0,05$ düzeyinde önemli

25-100 mg/L Pb derişimleri altında *C. demersum* bitkisinin klorofil *a* içerikleri değerlendirilmiştir. Uygulanan tüm bakımından en yüksek klorofil *a* içeriği 0,84 mg/g t.a ile kontrol grubu bitkilerde ardından ise 0,67 mg/g t.a ile 25 mg/L Pb toksisitesi altındaki bitkilerde saptanmıştır. Farklı günler kıyaslandığında ise en yüksek klorofil *a* içeriği 0,66 mg/g t.a ile 1 gün sonundaki bitkilerde belirlenmiştir (EK 11). Şekil 4.21’de görüldüğü gibi, Pb uygulanan ortamlardaki bitkilerden elde edilen klorofil *a* miktarları, kontrole göre düşük bulunmuştur. Hesaplanan klorofil *a* içerikleri arasındaki etkileşimler $p < 0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. 1, 3 ve 5 gün sonunda kontrole göre en fazla klorofil *a* miktarında azalma sırası ile %42,77, %53,16 ve %59,98 ile 100 mg/L Pb içeren ortamdaki bitkilerde belirlenirken, en az düşüş ise sırası ile %9,50, %16,77 ve %35,51 ile 25 mg/L Pb içeren ortamda görülmüştür. Uygulama süreleri arasında en yüksek klorofil *a* içerikleri 1 günlük bitkilerde tespit edilmiştir.

Pb konsantrasyonları etkisinde bitkilerin klorofil *b* içerikleri 0,28-0,13 mg/g t.a arasında değişmiş olup, en yüksek klorofil *b* içeriği 0,28 mg/g t.a ile kontrol grubu bitkilerde ardından ise 0,21 mg/g t.a ile 25 mg/L Pb toksisitesi altındaki bitkilerde tespit edilmiştir (EK 11). Uygulama süreleri değerlendirildiğinde en fazla klorofil *b* içeriği değeri 0,21 mg/g t.a ile 1 gün sonundaki bitkilerde elde edilmiştir. Uygulanan Pb konsantrasyonu ve uygulama süresine bağlı olarak tespit edilen klorofil *b* içerikleri arasındaki farklar istatistiksel olarak $p < 0,05$ düzeyinde anlamlı bulunmuştur (Şekil 4.21). Klorofil *b* miktarları, Pb konsantrasyonun ve uygulama süresinin artışıyla azalmıştır. En yüksek klorofil *b* içeriği, Pb uygulamasına 1 gün boyunca maruz kalan bitkilerde 0,25 mg/g t.a ile 25 mg/L Pb içeren ortamdaki bitkilerde tespit edilirken, en düşük klorofil *b* içeriği ise 5 gün sonunda 0,08 mg/g t.a ile 100 mg/L Pb içeren ortamdaki bitkilerde tespit edilmiştir. Uygulama süreleri kendi içinde karşılaştırıldığında en yüksek klorofil *b* içeriği 1 günlük bitkilerde, en düşük klorofil *b* içeriği ise 5 günlük bitkilerde görülmüştür.

Tüm Pb konsantrasyonları karşılaştırıldığında karotenoit içerikleri 0,25-0,13 mg/g t.a arasında değişmiş olup, en yüksek karotenoit içeriği 0,25 mg/g t.a ile kontrol grubu bitkilerde ardından ise 0,20 mg/g t.a ile 25 mg/L Pb toksisitesi altındaki bitkilerde kaydedilmiştir (EK 11). 1, 3 ve 5 gün boyunca Pb'ye maruz kalma süreleri incelendiğinde en yüksek karotenoit içeriği değeri 0,19 mg/g t.a ile 1 gün sonundaki bitkilerde belirlenmiştir. Bitkiye uygulanan Pb konsantrasyonu ve uygulama süresi arttıkça bitkideki tespit edilen karotenoit içerikleri düşüş göstermiş ve bu değişimler istatistiksel olarak $p < 0,05$ seviyesinde anlamlı bulunmuştur (Şekil 4.21). Pb uygulanan ortamdaki bitkilerde kaydedilen en yüksek karotenoit içeriği 1 gün sonunda 0,22 mg/g t.a ile 25 mg/L Pb içeren ortamda tespit edilmiştir. 3 ve 5 gün sonunda belirlenen en yüksek karotenoit içeriği sırasıyla 0,21 mg/g t.a ve 0,18 mg/g t.a ile 25 mg/L Pb ortamındaki bitkilerde bulunmuştur. Tüm uygulama sürelerinde en düşük karotenoit seviyesi 100 mg/L Pb ortamındaki bitkilerde tespit edilmiştir.



Şekil 4.21. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Pb uygulanan *C. demersum*'un fotosentetik pigment içerikleri. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı konsantrasyonlardaki aynı gün için farklı küçük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Aynı konsantrasyondaki farklı günler için farklı büyük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$).

4.6.2. *P. erectus* Fotosentetik Pigment İçerikleri

Cd Uygulanan *P. erectus*'un Fotosentetik Pigment İçerikleri

Bu çalışmada, 0,2-1,6 mg/L Cd içeren ortamda 1, 3 ve 5 gün bekletilen *P. erectus* bitkilerindeki fotosentetik pigment içerikleri düzeyleri analiz edilmiş ve varyans analizi uygulanmıştır (Çizelge 4.36). Cd etkisindeki bitkilerin klorofil *a*, klorofil *b*, toplam klorofil ve karotenoit içerikleri bakımından gün ve oran tek başına istatistiksel olarak $p < 0,01$ seviyesinde etkili bulunmuştur. Ayrıca gün x oran etkileşimi de ($p < 0,01$) istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Bu etkileşimin anlamlılık seviyesini tespit etmek için uygulanan Duncan testi yapılmıştır (EK 12 ve Şekil 4.22).

Çizelge 4.36. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd uygulanan *P. erectus*'un fotosentetik pigment içeriğine ait varyans analizi

V.K.	S.D.	Klorofil <i>a</i> (mg/g t.a)		Klorofil <i>b</i> (mg/g t.a)	
		K.O.	F	K.O.	F
Gün	2	0,06	94,31**	0,004	16,72**
Oran	4	0,19	279,74**	0,02	69,96**
Gün x Oran	8	0,01	12,10**	0,001	3,69**
Hata	30	0,001	-	0,0002	-
Genel Toplam	44	-	-	-	-
V.K.	S.D.	Toplam klorofil (mg/g t.a)		Karotenoit (mg/g t.a)	
		K.O.	F	K.O.	F
Gün	2	0,10	84,59**	0,005	66,03**
Oran	4	0,29	252,80**	0,013	164,81**
Gün x Oran	8	0,01	10,19**	0,001	10,85**
Hata	30	0,001	-	0,0001	-
Genel Toplam	44	-	-	-	-

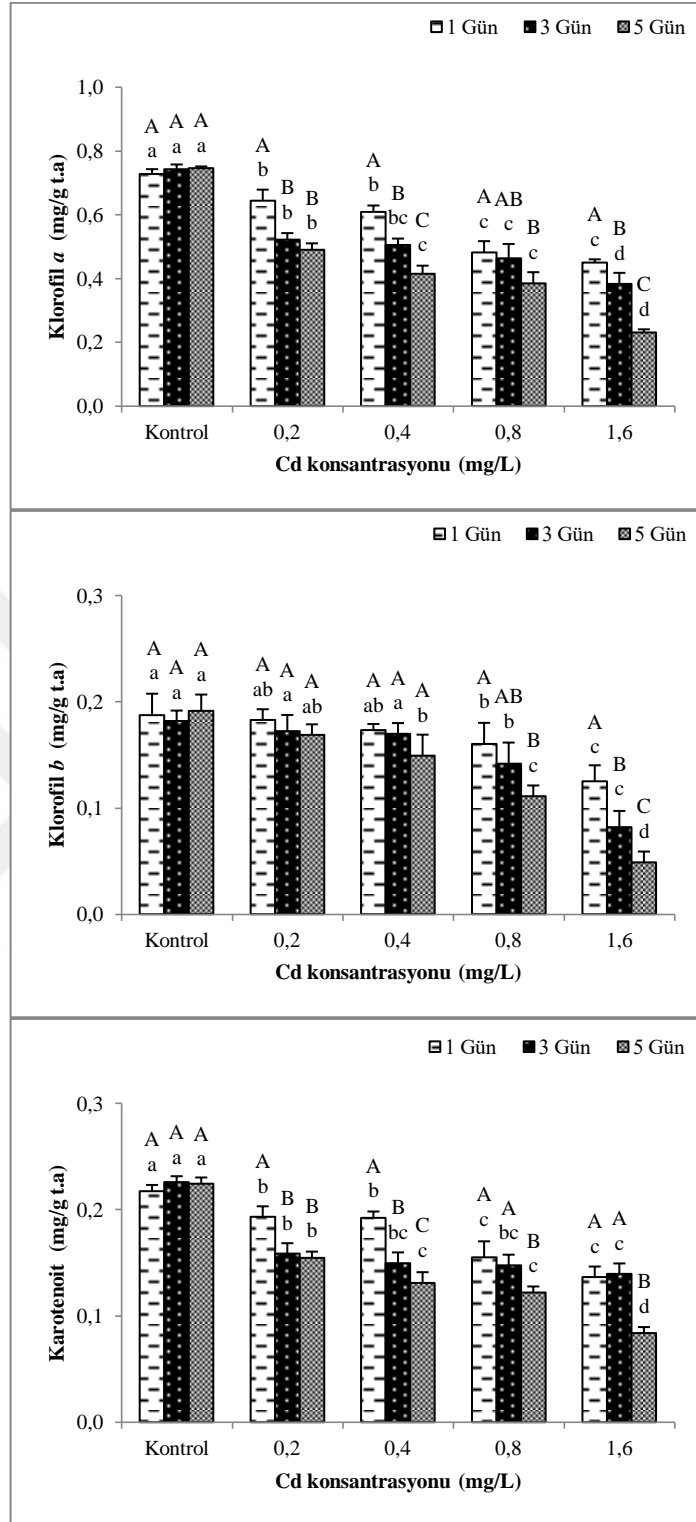
** $p < 0,01$ düzeyinde önemli

EK 12'de görüldüğü gibi, 0,2-1,6 mg/L Cd konsantrasyonları etkisinde en yüksek klorofil *a* içeriği 0,74 mg/g t.a ile kontrol grubu bitkilerde ardından ise 0,55 mg/g t.a ile 0,2 mg/L Cd toksisitesi altındaki bitkilerde görülmüştür. Maruz kalma süreleri kıyaslandığında ise en yüksek klorofil *a* içeriği değeri 0,58 mg/g t.a ile 1 gün sonundaki bitkilerde saptanmıştır. Cd uygulanan ortamlardaki bitkilerden klorofil *a* içerikleri,

kontrol grubundan düşük bulunmuştur (Şekil 4.22). Cd derişimi ve uygulama süresi bitkilerin klorofil *a* içeriğini $p < 0,05$ seviyesinde etkilemiştir. Bitkilerin maruz kaldığı Cd seviyesi arttıkça bitkilerdeki klorofil *a* miktarı azalış göstermiştir. 1, 3 ve 5 gün sonunda klorofil *a* miktarında kontrole göre en yüksek azalma sırası ile %38,12, %48,44 ve %69,05 ile 1,6 mg/L Cd içeren ortamdaki bitkilerde tespit edilirken, en az düşüş ise sırası ile %11,55, %29,63 ve %34,23 ile 0,2 mg/L Cd içeren ortamdaki bitkilerde belirlenmiştir.

1, 3 ve 5 gün süresince bitkiye uygulanan tüm Cd derişimleri karşılaştırıldığında en yüksek klorofil *b* içeriği 0,19 mg/g t.a ile kontrol grubu bitkilerde ardından ise 0,17 mg/g t.a ile 0,2 mg/L Cd toksisitesi altındaki bitkilerde saptanmıştır. Farklı günlerde ise en fazla klorofil *b* içeriği 0,17 mg/g t.a ile 1 gün sonundaki bitkilerde belirlenmiştir (EK 12). Cd derişimi ve uygulama süresinin artışıyla beraber klorofil *b* içeriğinin azaldığı görülmüştür. 1, 3 ve 5 gün sonunda kontrole göre en yüksek klorofil *b* içeriğinde düşüş 1,6 mg/L Cd ortamındaki bitkilerde sırasıyla %33,41, %54,91 ve %74,42 olarak belirlenirken, kontrole göre en az düşüş ise sırasıyla %2,46, %5,19 ve %11,88 ile 0,2 mg/L Cd ortamındaki bitkilerde belirlenmiştir. Uygulama süreleri kendi içinde karşılaştırıldığında en yüksek klorofil *b* içeriği 1 günlük bitkilerde, en düşük klorofil *b* içeriği 5 günlük bitkilerde saptanmıştır (Şekil 4.22).

1, 3 ve 5 gün boyunca bitkinin maruz kaldığı Cd derişimleri karşılaştırıldığında en yüksek karotenoit içeriği 0,22 mg/g t.a ile kontrol grubu bitkilerde ardından ise 0,17 mg/g t.a ile 0,2 mg/L Cd toksisitesi altındaki bitkilerde belirlenmiştir. Uygulama süreleri kıyaslandığında ise en fazla karotenoit içeriği 0,18 mg/g t.a ile 1 gün sonundaki bitkilerde elde edilmiştir (EK 12). Bitkiye uygulanan Cd konsantrasyonu ve uygulama süresi arttıkça bitkide tespit edilen karotenoit içerikleri düşüş göstermiştir. Cd etkisindeki bitkilerde tespit edilen en yüksek karotenoit içerikleri 0,2 mg/L Cd ortamında 1 gün sonunda 0,19 mg/g t.a, 3 gün sonunda 0,16 mg/g t.a ve 5 gün sonunda 0,15 mg/g t.a olarak tespit edilmiştir. En düşük karotenoit içerikleri ise 1,6 mg/L Cd ortamında sırası ile 5 gün sonunda 0,08 mg/g t.a, 1 ve 3 gün sonunda ise 0,14 mg/g t.a olarak tespit edilmiştir. Karotenoit içerikleri üzerine uygulama sürelerinin negatif etkileri sırası ile $5 > 3 > 1$ gün olarak belirlenmiştir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd uygulanan *P. erectus*'un fotosentetik pigment içerikleri. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı konsantrasyonlardaki aynı gün için farklı küçük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Aynı konsantrasyondaki farklı günler için farklı büyük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$).

Cr Uygulanan *P. erectus*'un Fotosentetik Pigment İçerikleri

Farklı konsantrasyonlarda ve sürelerde Cr etkisindeki bitkilerdeki fotosentetik pigment içerikleri belirlenmiş ve veriler alınarak varyans analizine tabi tutulmuştur (Çizelge 4.37). Klorofil *a*, klorofil *b* ve toplam klorofil içerikleri bakımından gün ve oran tek başına istatistiksel olarak $p < 0,01$ seviyesinde önemli farklılıklar göstermiştir. bunun yanı sıra, gün x oran interaksyonu da istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,01$). Karotenoid içerikleri üzerine gün ve oran $p < 0,01$ düzeyinde anlamlı farklılıklar gösterirken, gün x oran interaksyonu $p < 0,05$ düzeyinde anlamlı farklılıklar göstermiştir. Bu farklılıkların önemlilik derecesini tespit etmek için uygulanan Duncan testi uygulanmıştır (EK 13 ve Şekil 4.23).

Çizelge 4.37. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cr uygulanan *P. erectus*'un fotosentetik pigment içeriğine ait varyans analizi

V.K.	S.D.	Klorofil <i>a</i> (mg/g t.a)		Klorofil <i>b</i> (mg/g t.a)	
		K.O.	F	K.O.	F
Gün	2	0,02	32,95**	0,003	19,31**
Oran	4	0,27	373,46**	0,018	108,89**
Gün x Oran	8	0,003	4,38**	0,001	3,15**
Hata	30	0,001	-	0,0001	-
Genel Toplam	44	-	-	-	-
V.K.	S.D.	Toplam klorofil (mg/g t.a)		Karotenoid (mg/g t.a)	
		K.O.	F	K.O.	F
Gün	2	0,04	32,34**	0,001	20,59**
Oran	4	0,41	332,75**	0,022	348,71**
Gün x Oran	8	0,004	3,48**	0,0002	2,96*
Hata	30	0,001	-	0,0001	-
Genel Toplam	44	-	-	-	-

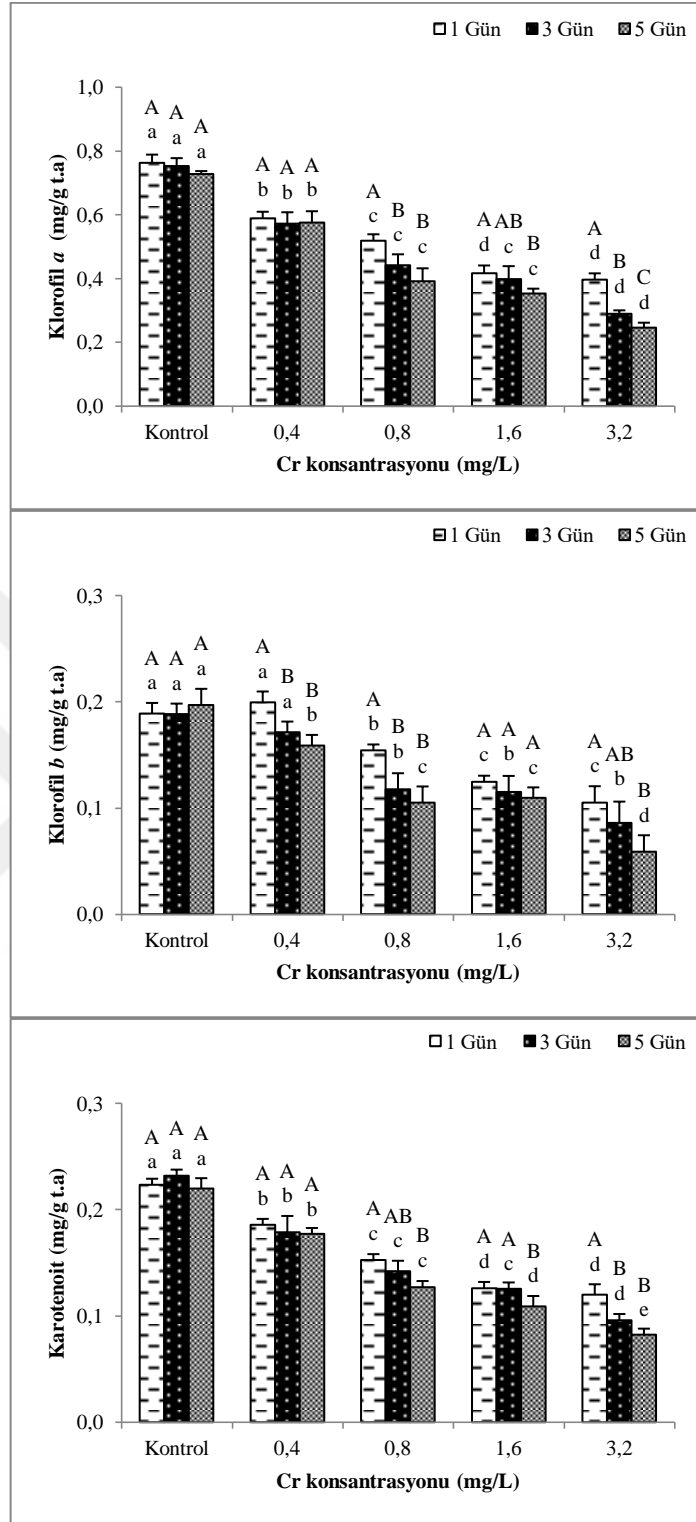
** $p < 0,01$ düzeyinde önemli; * $p < 0,05$ düzeyinde önemli

1, 3 ve 5 gün boyunca bitkinin maruz kaldığı Cr derişimleri kendi aralarında kıyaslandığında en yüksek klorofil *a* içeriği 0,75 mg/g t.a ile kontrol grubu bitkilerde ardından ise 0,58 mg/g t.a ile 0,4 mg/L Cr toksisitesi altındaki bitkilerde bulunmuştur. Farklı gün uygulamaları değerlendirildiğinde en fazla klorofil *a* içeriği 0,54 mg/g t.a ile

1 gün sonundaki bitkilerde saptanmıştır (EK 13). Sonuçlar incelendiğinde, uygulanan Cr konsantrasyonu ve süresinin klorofil *a* miktarı üzerinde istatistiksel olarak önemli farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir ($p < 0,05$) (Şekil 4.23). Genel olarak bitkinin maruz kaldığı Cr konsantrasyonu ve maruz kaldığı süre arttıkça bitkide tespit edilen klorofil *a* miktarı azalış göstermiştir. Cr uygulanan bitkilerde en yüksek klorofil *a* miktarları 0,4 mg/L Cr içeren ortamdaki bitkilerde tespit edilirken, en düşük klorofil *a* miktarları 3,2 mg/L Cr içeren ortamdaki bitkilerde elde edilmiştir.

Cr derişimlerinin tek etkisi incelendiğinde, en yüksek klorofil *b* içeriği 0,19 mg/g t.a ile kontrol grubu bitkilerde ardından ise 0,18 mg/g t.a ile 0,4 mg/L Cr toksisitesi altındaki bitkilerde belirlenmiştir. 1, 3 ve 5 gün kroma maruz kalan bitkilerin klorofil *b* içerikleri incelendiğinde en fazla klorofil *b* içeriği 0,15 mg/g t.a ile 1 gün sonundaki bitkilerde kaydedilmiştir (EK 13). Bitkiye uygulanan Cr konsantrasyonu ve uygulama süresi artışı ile birlikte klorofil *b* miktarında düşüşler tespit edilmiştir. Cr etkisindeki bitkilerde kontrole göre klorofil *b* içeriğinde en yüksek düşüş sırası ile 5 gün sonunda %70,02, 3 gün sonunda %54,32 ve 1 gün sonunda %44,31 ile 3,2 mg/L Cr ortamında görülmüştür. Kontrole göre klorofil *b* içeriğinde en az düşüş ise 3 gün sonunda %8,99 ve 5 gün sonunda %19,36 ile 0,4 mg/L Cr ortamında görülmüştür. Ayrıca 1 gün sonunda 0,4 mg/L Cr içeren ortamdaki bitkilerde kontrole göre %5,70 oranında klorofil *b* içeriğinde artış belirlenmiştir (Şekil 4.23).

1, 3 ve 5 gün sonunda tüm Cr konsantrasyonu ortalamaları 0,23-0,10 mg/g t.a arasında değişmiştir. Cr konsantrasyonları kendi aralarında karşılaştırıldığında en yüksek karotenoit içeriği 0,23 mg/g t.a ile kontrol grubu bitkilerde ardından ise 0,18 mg/g t.a ile 0,4 mg/L Cr etkisindeki bitkilerde görülmüştür. Uygulama süreleri kıyaslandığında ise en fazla karotenoit içeriği 0,16 mg/g t.a ile 1 gün sonundaki bitkilerde tespit edilmiştir (EK 13). Tüm Cr konsantrasyonlarında tespit edilen karotenoit içerikleri kontrole göre düşük bulunmuştur (Şekil 4.23). Bitkinin maruz kaldığı Cr konsantrasyonu ve uygulama süre arttıkça bitkideki karotenoit içeriğinin azaldığı görülmüştür. 1, 3 ve 5 gün sonunda kontrole göre karotenoit içeriğinde en yüksek düşüş sırasıyla %46,34, %58,60 ve %62,54 ile 3,2 mg/L Cr ortamındaki bitkilerde görülürken, kontrole göre karotenoit içeriklerinde en az düşüş sırasıyla %16,92, %22,91 ve %19,42 ile 0,4 mg/L Cr ortamındaki bitkilerde görülmüştür.



Şekil 4.23. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cr uygulanan *P. erectus*'un fotosentetik pigment içerikleri. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı konsantrasyonlardaki aynı gün için farklı küçük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Aynı konsantrasyondaki farklı günler için farklı büyük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$).

Pb Uygulanan P. erectus'un Fotosentetik Pigment İçerikleri

Bu denemede, kurşunun farklı konsantrasyonlarında 1, 3 ve 5 gün boyunca bekletilen *P. erectus* bitkisinin fotosentetik pigment içerikleri araştırılmış ve deneme sonlandıktan sonra veriler alınarak varyans analizi uygulanmıştır (Çizelge 4.38). Klorofil *a* ve toplam klorofil içerikleri bakımından süre, konsantrasyon ve süre x konsantrasyon etkileşimi istatistiksel olarak $p < 0,01$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Klorofil *b* içeriği bakımından uygulama süresi ve konsantrasyonun tek başına istatistiksel olarak önemli bulunurken ($p < 0,01$), uygulama süresi x konsantrasyon etkileşimi ($p > 0,05$) istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Karotenoit miktarı sonuçları bakımından uygulama süresi ve konsantrasyon $p < 0,01$ seviyesinde anlamlı farklılıklar gösterirken, uygulama süresi x konsantrasyon interaksyonu da $p < 0,05$ seviyesinde anlamlı farklılıklar göstermiştir. Bu farklılıkların anlamlılık seviyesini tespit etmek için Duncan testi yapılmıştır (EK 14 ve Şekil 4.24).

Çizelge 4.38. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Pb uygulanan *P. erectus*'un fotosentetik pigment içeriğine ait varyans analizi

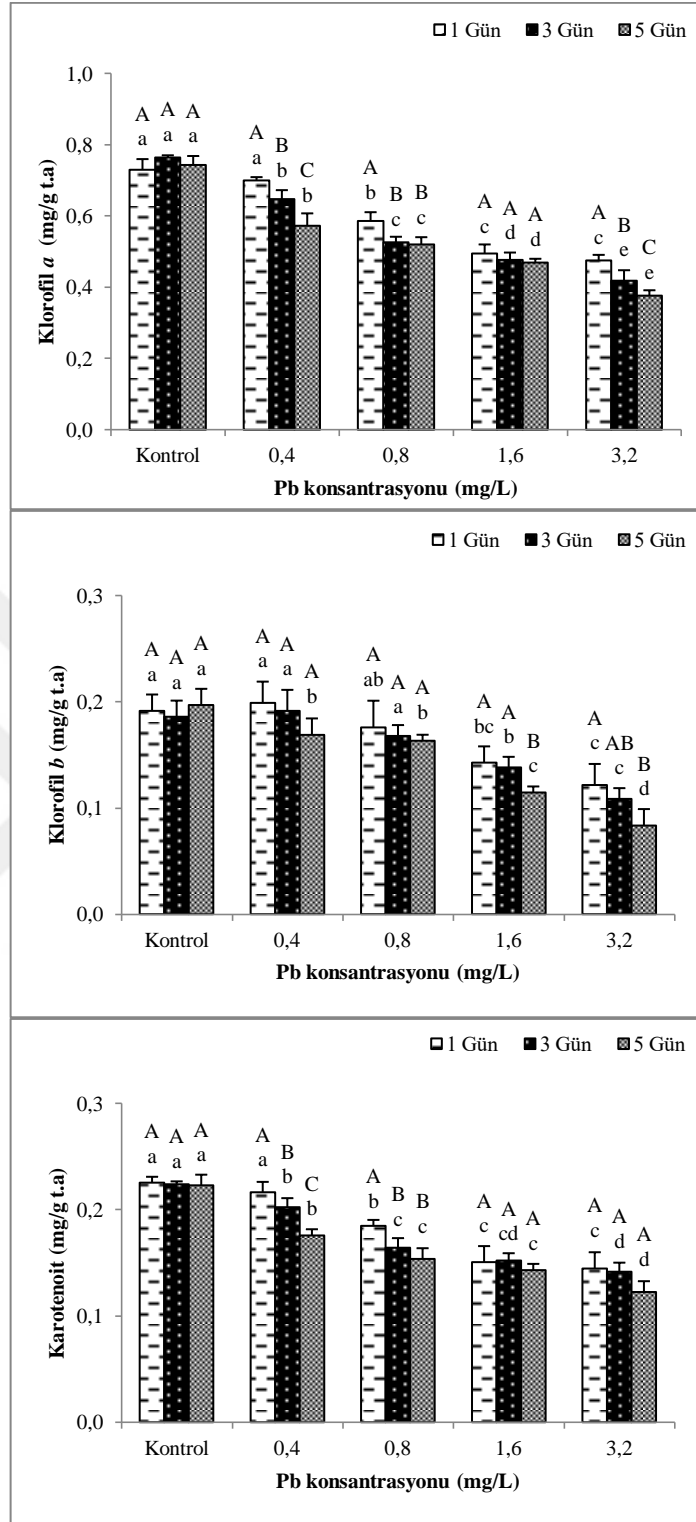
V.K.	S.D.	Klorofil <i>a</i> (mg/g t.a)		Klorofil <i>b</i> (mg/g t.a)	
		K.O.	F	K.O.	F
Gün	2	0,014	28,99**	0,002	7,84**
Oran	4	0,148	303,41**	0,013	52,51**
Gün x Oran	8	0,003	5,75**	0,0002	1,14 ^{ös}
Hata	30	0,0005	-	0,0002	-
Genel Toplam	44	-	-	-	-
V.K.	S.D.	Toplam klorofil (mg/g t.a)		Karotenoit (mg/g t.a)	
		K.O.	F	K.O.	F
Gün	2	0,026	21,50**	0,002	22,56**
Oran	4	0,239	200,31**	0,012	130,51**
Gün x Oran	8	0,004	3,47**	0,0002	2,32*
Hata	30	0,001	-	0,0001	-
Genel Toplam	44	-	-	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli; * $p < 0,05$ düzeyinde önemli; ^{ös} Önemli

Bitkinin maruz kaldığı Pb konsantrasyonu karşılaştırıldığında en yüksek klorofil *a* içeriği 0,75 mg/g t.a ile kontrol grubu bitkilerde ardından ise 0,64 mg/g t.a ile 0,4 mg/L Pb toksisitesi altındaki bitkilerde belirlenmiştir (EK 14). Farklı günlerdeki etkileri değerlendirildiğinde en fazla klorofil *a* içeriği 0,60 mg/g t.a ile 1 gün sonundaki bitkilerde tespit edilmiştir. Tüm Pb konsantrasyonlarında tespit edilen klorofil *a* içerikleri kontrol grubuna göre düşük çıkmış olup, zamana ve konsantrasyona bağlı klorofil *a* değerleri $p < 0,05$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Şekil 4.24). Pb uygulanan ortamlardaki bitkiler arasında kontrole göre klorofil *a* içeriğinde en yüksek düşüş, 1 gün sonunda %34,82, 3 gün sonunda %45,36 ve 5 gün sonunda %49,37 ile 3,2 mg/L Pb uygulanan ortamda tespit edilmiştir.

Pb derişimleri bakımından değerlendirildiğinde en yüksek klorofil *b* içeriği 0,19 mg/g t.a ile kontrol grubu bitkilerde ve 0,4 mg/L Pb toksisitesi altındaki bitkilerde saptanmıştır (EK 14). Uygulama süreleri kıyaslandığında ise en fazla klorofil *b* içeriği 0,17 mg/g t.a ile 1 gün sonundaki bitkilerde belirlenmiştir (Şekil 4.24). Artan Pb konsantrasyonu ve uygulama süresi ile birlikte bitkide tespit edilen klorofil *b* içeriği düşüş göstermiştir. Kurşunun 0,4 mg/L derişimindeki uygulamalarında 1 ve 3 gün sonunda kontrole göre sırası ile %3,86 ve %2,91 oranında klorofil *b* içeriğinde artış tespit edilmiş olup, 5 gün sonunda ise %14,15 oranında azalış tespit edilmiştir. 1, 3 ve 5 gün sonunda bitkilerin klorofil *b* içeriğinde kontrole göre en yüksek düşüşler sırasıyla %36,60, %41,51 ve %57,50 ile 3,2 mg/L Pb içeren ortamda belirlenmiştir.

Pb toksisitesi altında en fazla karotenoit içeriği 0,22 mg/g t.a ile kontrol grubu bitkilerde ardından ise 0,20 mg/g t.a ile 0,4 mg/L Pb toksisitesi altındaki bitkilerde tespit edilmiştir. Uygulama süreleri kıyaslandığında ise en fazla karotenoit içeriği 0,19 mg/g t.a ile 1 gün sonundaki bitkilerde görülmüştür (EK 14). Tüm Pb konsantrasyonlarında tespit edilen karotenoit içerikleri kontrol grubuna göre düşük çıkmış olup, bitkilerin maruz kaldığı Pb konsantrasyonu ve uygulama süresi arttıkça bitkideki karotenoit içerikleri azalış göstermiştir. Karotenoit içerikleri arasında değişimler istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,05$) (Şekil 4.24). 1, 3 ve 5 gün sonunda bitkilerin karotenoit içeriklerinde kontrole göre en yüksek düşüşler sırasıyla %35,75, %36,73 ve %44,96 ile 3,2 mg/L Pb içeren ortamda belirlenmiştir. Süreler bakımından Pb etkisiyle birlikte en yüksek karotenoit içerikleri sırası ile $1 > 3 > 5$ gün sonundaki bitkilerde bulunmuştur.



Şekil 4.24. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Pb uygulanan *P. erectus*'un fotosentetik pigment içerikleri. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı konsantrasyonlardaki aynı gün için farklı küçük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Aynı konsantrasyondaki farklı günler için farklı büyük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$).

4.7. Protein İçeriği

4.7.1. *C. demersum*'un Protein İçerikleri

Bu denemede, farklı süre ve konsantrasyonlarda Cd, Cr ve Pb etkisinde kalan *C. demersum*'un protein içeriğindeki değişimler değerlendirilmiş ve veriler alınarak varyans analizi uygulanmıştır (Çizelge 4.39). Her üç ağır metal uygulamalarında da protein içeriği bakımından gün ve oran tek başına istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,01$). Ayrıca gün x oran etkileşimi de ($p < 0,01$) istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Elde edilen verilerin anlamlılık seviyesi Duncan testi kullanılarak tespit edilmiştir (EK 15 ve Şekil 4.25).

Çizelge 4.39. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *C. demersum*'un protein içeriklerine ait varyans analizi

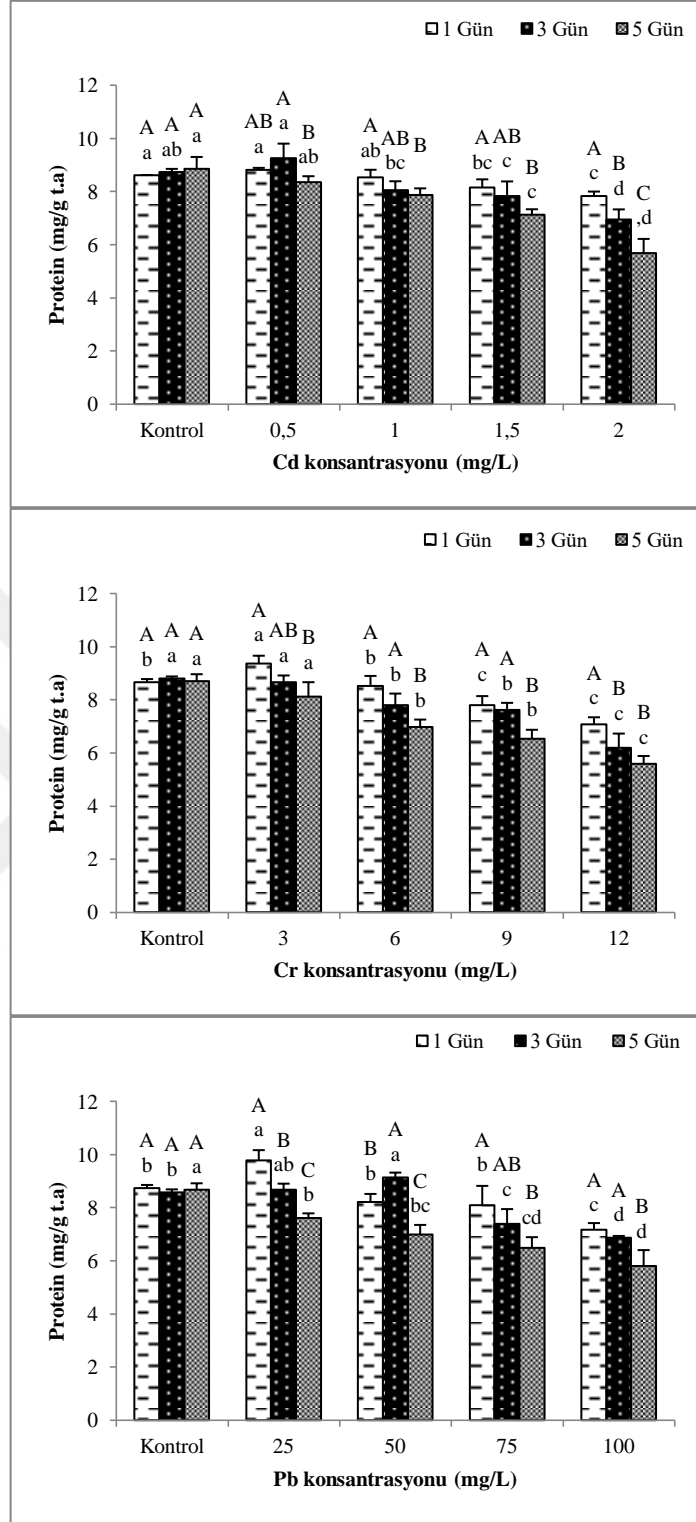
V.K.	S.D.	Cd		Cr		Pb	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Gün	2	2,60	22,62**	4,56	39,67**	6,82	51,46**
Oran	4	6,05	52,67**	9,51	82,69**	7,28	54,95**
Gün x Oran	8	0,67	5,87**	0,37	3,18**	0,90	6,82**
Hata	30	0,12	-	0,115	-	0,13	-
Genel Toplam	44	-	-	-	-	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli

Cd konsantrasyonlarının tek etkisi değerlendirildiğinde en yüksek protein içeriği 8,82 mg/g t.a ile 0,5 mg/L Cd toksisitesi altındaki bitkilerde elde edilmiştir (EK 15). Uygulama zamanları incelendiğinde maksimum protein içeriği 8,39 mg/g t.a ile 1 gün sonundaki bitkilerde belirlenmiştir. Protein miktarları, Cd derişimi ve uygulama süresinin ile $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel farklılık göstermiştir (Şekil 4.25). Kontrole göre protein içeriğinde maksimum azalış %35,75 ile 5 gün sonunda 2 mg/L Cd uygulanan bitkilerde görülmüştür. 1 ve 3 gün sonunda ise maksimum protein içeriği azalışı sırasıyla %9,04 ve %20,44 ile 2 mg/L Cd içeren ortamdaki bitkilerde tespit edilmiştir. Bunların yanı sıra, 1 ve 3 gün sonunda 0,5 mg/L Cd uygulamasında kontrole göre sırasıyla %2,49 ve %6,08 oranında artış olmuştur.

Cr etkisinde bitkide tespit edilen maksimum protein içeriği 8,72 mg/g t.a ile kontrol grubu bitkilerde ardından 8,71 mg/g t.a ile 3 mg/L Cr etkisindeki bitkilerde tespit edilmiştir. Uygulama süreleri bakımından ise en fazla protein içeriği 8,28 mg/g t.a ile 1 gün sonundaki bitkilerde belirlenmiştir (EK 15). Bitkiye uygulanan Cr konsantrasyonu ve uygulama süresi arttıkça protein içeriğinde önemli azalışlar kaydedilmiştir ($p < 0,05$) (Şekil 4.25). 1, 3 ve 5 gün boyunca kroma maruz kalan bitkilerde kontrole göre en fazla protein içeriği azalışı sırasıyla %18,42, %29,69 ve %35,84 ile 12 mg/L Cr bulunan ortamdaki bitkilerde tespit edilmiştir. Tüm Cr konsantrasyonlarında en düşük protein miktarları, 5 gün kroma maruz kalan bitkilerde bulunmuştur. Cr uygulanan ortamlarda en yüksek protein içerikleri 1, 3 ve 5 gün sonra sırasıyla 9,3, 8,67 ve 8,12 mg/g t.a ile 3 mg/L Cr'daki bitkilerde elde edilmiştir.

Protein içeriği üzerine tüm Pb derişimleri incelendiğinde en fazla protein seviyesi 8.70 mg/g t.a ile 25 mg/L Pb etkisindeki bitkilerde tespit edilmiştir. En düşük protein seviyesi ise 6,62 mg/g t.a ile 100 mg/L Pb uygulamasından elde edilmiştir. Uygulama süreleri kıyaslandığında ise en yüksek protein seviyesi 8,40 mg/g t.a ile 1 gün sonundaki bitkilerde belirlenmiştir (EK 15). 1 ve 5 gün boyunca kurşuna maruz kalan bitkilerde artan Pb derişimi ile birlikte protein içeriğinde azalış tespit edilirken, 3 gün boyunca kurşuna maruz kalan bitkilerde protein içeriği 50 mg/L kurşuna kadar artış göstermiş ve bu konsantrasyondan sonraki Pb konsantrasyonlarında azalış göstermiştir (Şekil 4.25). Pb toksisitesinin etkisiyle beraber kontrole göre en yüksek protein içeriği azalışı 100 mg/L Pb etkisindeki bitkilerde sırasıyla %33,00 ile 5 gün sonra, %19,94 ile 3 gün sonra ve %17,99 ile 1 gün sonra tespit edilmiştir. En yüksek protein içeriği ise 9,78 mg/g t.a ile 1 gün sonra 25 mg/L Pb içeren ortamdaki bitkilerde bulunmuştur.



Şekil 4.25. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *C. demersum*'un protein içerikleri. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı konsantrasyonlardaki aynı gün için farklı küçük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Aynı konsantrasyondaki farklı günler için farklı büyük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$).

4.7.2. *P. erectus*'un Protein İçerikleri

Bu denemede, 1, 3 ve 5 gün boyunca farklı konsantrasyonlarında Cd (0,2-1,6 mg/L), Cr (0,4-3,2 mg/L) ve Pb (0,4-3,2 mg/L) ağır metallerine maruz kalan *P. erectus* bitkisinin protein içeriğindeki değişim araştırılmış ve veriler alınarak varyans analizine tabi tutulmuştur (Çizelge 4.40). Cd ve Pb uygulamalarında bitkilerdeki protein içerikleri bakımından gün ve oran istatistiksel olarak anlamlı bulunurken, gün x oran etkileşimi ($p > 0,05$) ise protein içeriği üzerine istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Cr toksisitesine maruz kalan *P. erectus*'un protein içeriği bakımından ise gün ve oran $p < 0,01$ seviyesinde istatistiksel olarak önemli bulunurken, gün x oran etkileşimi $p < 0,05$ seviyesinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Bu etkileşimin anlamlılık seviyesini tespit etmek için Duncan testi uygulanmıştır (EK 16 ve Şekil 4.26).

Çizelge 4.40. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *P. erectus*'un protein içeriklerine ait varyans analizi

V.K.	S.D	Cd		Cr		Pb	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Gün	2	4,14	32,47**	2,11	15,90**	2,53	18,75**
Oran	4	3,68	28,86**	5,71	43,14**	6,73	49,77**
Gün x Oran	8	0,16	1,23 ^{ös}	0,41	3,12*	0,13	0,99 ^{ös}
Hata	30	0,13	-	0,132	-	0,14	-
Genel Toplam	44	-	-	-	-	-	-

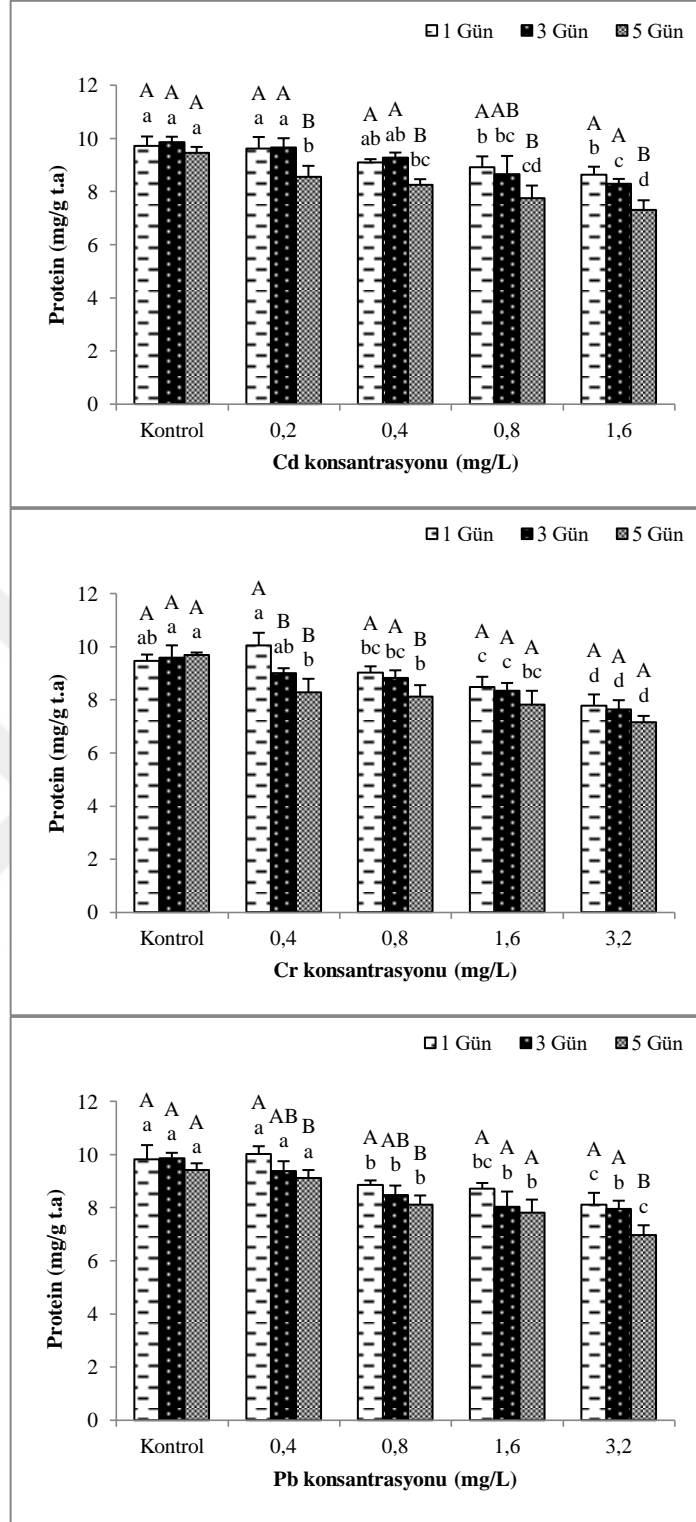
** $p < 0,01$ düzeyinde önemli; * $p < 0,05$ düzeyinde önemli; ^{ös} Önemsiz

Cd toksisitesi altında *P. erectus* bitkileri incelendiğinde kontrol grubu haricinde maksimum protein içeriği 9,29 mg/g t.a ile 0,2 mg/L Cd etkisindeki bitkilerde belirlenmiştir. Farklı uygulama süreleri bakımından ise en fazla protein içeriği 9,20 mg/g t.a ile 1 gün sonundaki bitkilerde elde edilmiştir (EK 16). Genel olarak bitkinin maruz kaldığı Cd derişimi ve uygulama süresi arttıkça protein içeriği azalmış ve istatistiksel olarak önemli farklılıklar tespit edilmiştir ($p < 0,05$) (Şekil 4.26). 1 ve 3 gün sonunda 0,2 mg/L Cd uygulanan ortamdaki bitkilerde kontrole göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmazken, 5 gün sonunda kontrole göre $p < 0,05$ seviyesinde anlamlı bir farklılık bulunmuştur. Kontrole kıyasla 1, 3 ve 5 gün sonunda en

fazla protein içeriğinde azalış 1,6 mg/L Cd içeren ortamdaki bitkilerde sırasıyla %22,85, %15,77 ve %11,23 olarak bulunmuştur.

Protein içeriği üzerine Cr konsantrasyonları incelendiğinde maksimum protein seviyesi kontrol grubu haricinde 9,11 mg/g t.a ile 0,4 mg/L Cr etkisindeki bitkilerde, en düşük protein seviyesi ise 7,52 mg/g t.a ile 3,2 mg/L Cr uygulamasından elde edilmiştir. Uygulama süreleri kıyaslandığında ise en yüksek protein seviyesi 8,96 mg/g t.a ile 1 gün sonundaki bitkilerde belirlenmiştir (EK 16). Artan Cr derişimi ve uygulama süresi, protein içeriğini önemli derecede etkilemiştir ($p < 0,05$) (Şekil 4.26). 1 gün sonunda 0,4 mg/L Cr uygulanan bitkilerin protein içeriği kontrole göre %6,27 oranında artış gösterirken, 0,8, 1,6 ve 3,2 mg/L Cr uygulamasında ise sırasıyla %4,64, %10,23 ve %17,83 oranlarında azalış göstermiştir. 3 gün sonunda 0,4, 0,8, 1,6 ve 3,2 mg/L Cr uygulanan bitkilerde tespit edilen protein içerikleri kontrole göre sırasıyla %6,09, %8,03, %13,02 ve %20,41 oranında azalış görülmüştür. 5 gün sonunda ise artan Cr konsantrasyonuyla beraber bitkide tespit edilen protein içerikleri kontrole göre sırasıyla %14,56, %16,19, %19,39 ve %26,13 oranında azalmıştır.

Farklı Pb derişimleri altında bitkilerde tespit edilen en yüksek protein seviyesi 9,51 mg/g t.a ile 0,4 mg/L Pb etkisindeki bitkilerde, en düşük protein seviyesi ise 7,69 mg/g t.a ile 3,2 mg/L Pb uygulamasından görülmüştür (EK 16). Günler karşılaştırıldığında ise en yüksek protein seviyesi 9,11 mg/g t.a ile 1 gün sonundaki bitkilerde kaydedilmiştir. Protein miktarı, genel olarak artan Pb konsantrasyonu ve uygulama süresi ile birlikte azalış göstermiştir (Şekil 4.26). Kontrole kıyasla protein içeriğinde en yüksek düşüş %26,05 ile 5 gün sonunda 3,2 mg/L Pb içeren ortamdaki bitkilerde bulunmuştur. Protein içeriğinde kontrole göre artış sadece 1 gün sonunda ve 0,4 mg/L Pb içeren ortamdaki bitkilerde görülmüş olup, artan Pb konsantrasyonu ile birlikte protein içeriği de azalmıştır. 1 gün sonunda en düşük protein içeriği 8,12 mg/g t.a ile 3,2 mg/L Pb uygulamasındaki bitkilerde bulunmuştur. 3 gün sonunda kontrole göre protein içeriğinde en fazla düşüş %19,23 ile 3,2 mg/L Pb uygulanan ortamdaki bitkilerde tespit edilmiştir.



Şekil 4.26. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *P. erectus*'un protein içerikleri. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı konsantrasyonlardaki aynı gün için farklı küçük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Aynı konsantrasyondaki farklı günler için farklı büyük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$).

4.8. Lipit Peroksidasyonunun Belirlenmesi

4.8.1. *C. demersum*'un Lipit Peroksidasyonunun Belirlenmesi

Lipit peroksidasyonunu belirlemek için Cd, Cr ve Pb metallere farklı derişimlerinin etkisine 1, 3 ve 5 gün süre ile bırakılan *C. demersum* bitkisinde malondialdehit (MDA) içeriği araştırılmış ve varyans analizi uygulanmıştır (Çizelge 4.41). Cd uygulamalarında MDA içeriği üzerine gün ($p < 0,05$) ve konsantrasyon ($p < 0,001$) tek başına istatistiksel olarak önemli bulunurken, gün x oran etkileşimi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p > 0,05$). Cr uygulamalarında gün ve oran tek başına ve gün x oran birlikte etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,01$). Pb uygulamalarında, MDA içerikleri üzerine gün ve oran istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde, gün x oran etkileşimini ise $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Bu etkileşimin anlamlılık seviyesini tespit etmek için Duncan testi uygulanmıştır (EK 17 ve Şekil 4.27).

Çizelge 4.41. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *C. demersum*'un MDA içeriklerine ait varyans analizi

V.K.	S.D.	Cd		Cr		Pb	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Gün	2	3,77	3,36*	9,19	55,65**	4,03	16,15**
Oran	4	32,28	28,8**	20,58	124,61**	17,81	71,45**
Gün x Oran	8	0,66	0,59 ^{ös}	1,45	8,76**	0,63	2,53*
Hata	30	1,12	-	0,17	-	0,25	-
Genel Toplam	44	-	-	-	-	-	-

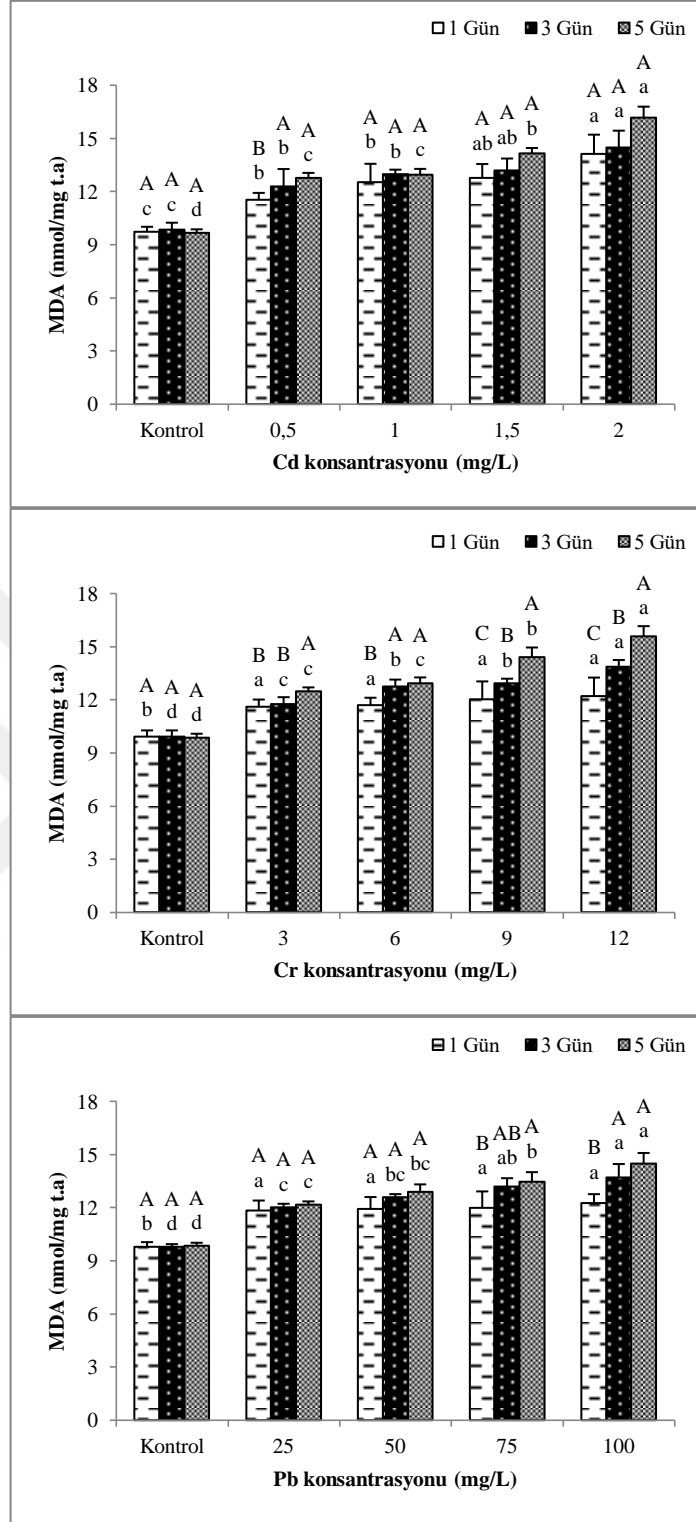
** $p < 0,01$ düzeyinde önemli; * $p < 0,05$ düzeyinde önemli; ^{ös} Önemsiz

Cd derişimlerinin etkileri bakımından en yüksek MDA seviyesi 14,94 nmol/mg t.a ile 2 mg/L Cd etkisindeki bitkilerde, en düşük protein seviyesi ise 9,76 nmol/mg t.a ile kontrol grubu bitkilerde tespit edilmiştir (EK 17). Farklı günlerdeki etkileri değerlendirildiğinde en yüksek MDA seviyesi 13,15 nmol/mg t.a ile 5 gün sonundaki bitkilerde elde edilmiştir. MDA içeriği Cd konsantrasyonunun artışıyla beraber artış göstermiş olup, en yüksek MDA miktarı 5 gün sonunda 2 mg/L Cd konsantrasyonunda tespit edilmiştir (kontrole göre %67,27 artış) (Şekil 4.27). 1 ve 3 gün sonunda ise en

yüksek MDA içeriği yine 2 mg/L Cd etkisindeki bitkilerde kontrole göre sırasıyla %45,20 ve %46,87 artış ile tespit edilmiştir. Kontrole kıyasla en düşük MDA içeriği tüm uygulama sürelerinde 0,5 mg/L Cd konsantrasyonundaki bitkilerde bulunmuştur.

1, 3 ve 5 gün sonunda Cr derişimlerinin bitki üzerindeki MDA seviyelerinin ortalamaları karşılaştırıldığında en yüksek MDA seviyesi 13,88 nmol/mg t.a ile 12 mg/L Cr etkisindeki bitkilerde tespit edilmiştir. Farklı gün uygulamaları değerlendirildiğinde en yüksek MDA seviyesi 13,05 nmol/mg t.a ile 5 gün sonundaki bitkilerde, ardından ise 12,24 ile 3 gün sonundaki bitkilerde belirlenmiştir (EK 17). Genel olarak uygulanan Cr konsantrasyonunun ve sürenin artışıyla, MDA içeriği de artış göstermiştir (Şekil 4.27). Tüm Cr konsantrasyonlarında kontrole göre maksimum MDA içeriği kroma 5 gün boyunca maruz kalan bitkilerde elde edilmiş olup, 3 mg/L Cr'da %26,75, 6 mg/L Cr'da %31,51, 9 mg/L Cr'da %46,51 ve 12 mg/L Cr'da %58,23 artış ile kaydedilmiştir. 1 gün sonunda kontrole göre bitkilerdeki MDA içerikleri 3 mg/L Cr'da %17,27, 6 mg/L Cr'da %18,13, 9 mg/L Cr'da %21,29 ve 12 mg/L Cr'da %23,08 artış ile tespit edilmiştir. 3 gün sonunda ise kontrole göre bitkilerdeki MDA içerikleri 3 mg/L Cr'da %18,56, 6 mg/L Cr'da %28,74, 9 mg/L Cr'da %30,51 ve 12 mg/L Cr'da %39,99 artış ile tespit edilmiştir.

EK 17'de görüldüğü gibi Pb derişimlerinin bitki üzerindeki MDA seviyelerinin ortalamaları 13,50-9,82 nmol/mg t.a arasında değişmiş olup, en yüksek MDA seviyesi 13,50 nmol/mg t.a ile 100 mg/L Pb etkisindeki bitkilerde tespit edilmiştir. 1, 3 ve 5 gün kurşuna maruz kalan bitkilerin MDA içerikleri incelendiğinde en yüksek MDA seviyesi 12,58 nmol/mg t.a ile 5 gün sonundaki bitkilerde tespit edilmiştir saptanmıştır. Pb konsantrasyonu ve uygulama süreleri bakımından MDA içerikleri $p < 0,05$ seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Şekil 4.27). Uygulanan Pb konsantrasyonu ve uygulama süresi arttıkça bitkide biriken MDA içeriği de artış göstermiştir. En yüksek MDA içeriği kontrole göre %47,30 artış ile 5 gün sonunda 100 mg/L Pb konsantrasyonunda tespit edilmiştir. 1 ve 3 gün uygulamasında ise en yüksek MDA içeriği kontrole göre sırasıyla %25,07 ve %39,90 artış ile 100 mg/L Pb konsantrasyonunda görülmüştür. En düşük MDA içerikleri ise 1, 3 ve 5 gün uygulamasında kontrole göre sırası ile % 20,73, %22,55 ve %23,64 artış ile 25 mg/L Pb konsantrasyonundaki bitkilerde bulunmuştur.



Şekil 4.27. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *C. demersum*'un MDA içerikleri. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı konsantrasyonlardaki aynı gün için farklı küçük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Aynı konsantrasyondaki farklı günler için farklı büyük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$).

4.8.2. *P. erectus*'un Lipit Peroksidasyonunun Belirlenmesi

Farklı konsantrasyonlarda Cd, Cr ve Pb etkisinde 1, 3 ve 5 gün süre ile bekletilen *P. erectus* bitkisinde MDA içeriği araştırılmış ve elde edilen veriler öncelikle varyans analizine tabi tutulmuştur (Çizelge 4.42). Her üç ağır metal uygulamalarında da gün ve oran tek başına istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,01$). Ayrıca gün x oran etkileşimi de istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,01$). Bu etkileşimin önemlilik seviyesini tespit etmek için uygulanan Duncan testi yapılmıştır (EK 18 ve Şekil 4.28).

Çizelge 4.42. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *P. erectus*'un MDA içeriklerine ait varyans analizi

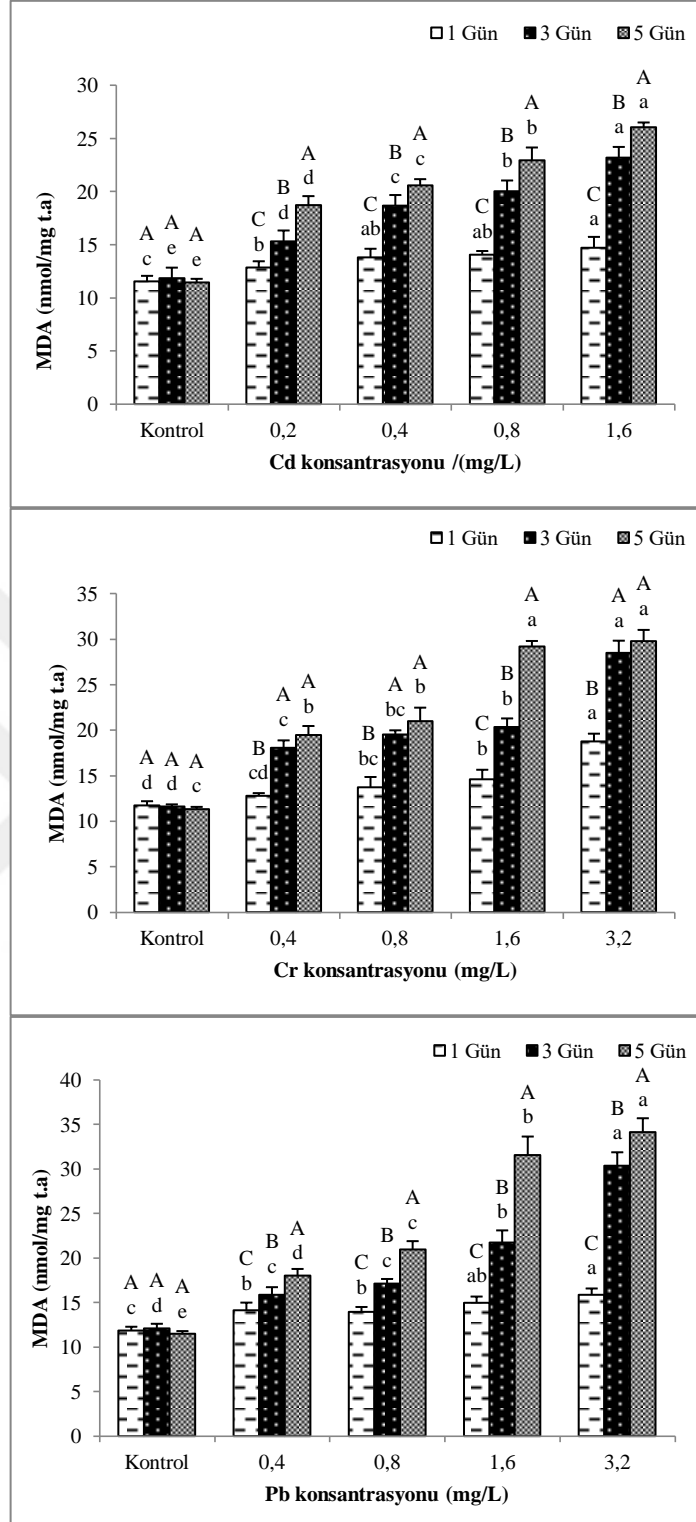
V.K.	S.D.	Cd		Cr		Pb	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Gün	2	167,91	332,34**	238,65	296,98**	310,96	291,64**
Oran	4	121,97	241,42**	249,86	310,94**	310,54	291,24**
Gün x Oran	8	15,35	30,39**	28,32	35,24**	56,32	52,82**
Hata	30	0,51	-	0,80	-	1,07	-
Genel Toplam	44	-	-	-	-	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli

MDA seviyeleri üzerine tüm Cd oranlarının etkileri incelendiğinde maksimum MDA seviyesi 21,35 nmol/mg t.a ile 1,6 mg/L Cd etkisindeki bitkilerde görülürken, uygulama süreleri kıyaslandığında ise maksimum MDA seviyesi 19,97 nmol/mg t.a ile 5 gün sonundaki bitkilerde görülmüştür (EK 18). MDA miktarı uygulanan konsantrasyona ve süreye bağlı olarak artış göstermiş ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,05$) (Şekil 4.28). En yüksek MDA içeriği, 5 gün sonunda 1,6 mg/L Cd konsantrasyonuna maruz bırakılan bitkilerde tespit edilmiştir (kontrole göre %127,89 artış). 1 günlük Cd etkisindeki bitkilerde belirlenen MDA miktarı 3 ve 5 günlük Cd etkisindeki bitkilerden oldukça az olarak tespit edilmiştir. 1 ve 3 gün sonunda belirlenen en yüksek MDA içeriği 1,6 mg/L Cd uygulanan bitkilerde kontrole göre sırasıyla %27,36 ve %95,89 artış ile belirlenmiştir.

Cr konsantrasyonları altında *P. erectus* bitkilerinin en yüksek MDA miktarı 25,68 nmol/mg t.a ile 3,2 mg/L Cr etkisindeki bitkilerde görülürken, maruz kalma zamanları bakımından en yüksek MDA seviyesi 22,15 nmol/mg t.a ile 5 gün sonundaki bitkilerde, arından ise 19,60 nmol/mg t.a ile 3 gün sonundaki bitkilerde görülmüştür (EK 18). Artan Cr konsantrasyonu ve uygulama süresi ile birlikte bitkide tespit edilen MDA içerikleri de artış göstermiştir ($p < 0,05$) (Şekil 4.28). En yüksek MDA içerikleri 3,2 mg/L Cr içeren ortamdaki bitkilerden sırası ile 5 gün sonra 29,78 nmol/mg t.a, 3 gün sonra 28,51 nmol/mg t.a ve 1 gün sonra 18,76 nmol/mg t.a olarak tespit edilmiştir. Cr uygulanan ortamdaki bitkilerde belirlenen en düşük MDA içeriği ise sırası ile 1 gün sonra 12,80 nmol/mg t.a, 3 gün sonra 18,03 nmol/mg t.a ve 5 gün sonra 19,48 nmol/mg t.a ile 0,4 mg/L Cr içeren ortamdaki bitkilerde saptanmıştır.

Lipit peroksidasyonu üzerine Pb oranlarının etkileri incelendiğinde en yüksek MDA seviyesi 26,81 nmol/mg t.a ile 3,2 mg/L Pb etkisindeki bitkilerde görülürken, uygulama süreleri kıyaslandığında ise en yüksek MDA seviyesi 23,24 nmol/mg t.a ile 5 gün sonundaki bitkilerde tespit edilmiştir (EK 18). MDA miktarı, Pb konsantrasyonunun ve uygulama süresinin artışı ile artmıştır (Şekil 4.28). Tüm ortamlarda en yüksek MDA içerikleri kurşuna 5 gün boyunca maruz kalan bitkilerde sırası ile 3,2 mg/L Pb'de 34,13 nmol/mg t.a, 1,6 mg/L Pb'de 31,56 nmol/mg t.a, 0,8 mg/L Pb'de 20,99 nmol/mg t.a ve 0,4 mg/L Pb'de 18,03 nmol/mg t.a olarak tespit edilmiştir. 1 ve 3 gün sonunda kontrole göre en fazla MDA içeriği 3,2 mg/L Pb içeren ortamdaki bitkilerde sırası ile %33,53 ve %150,83 olarak belirlenmiştir. 1 ve 3 gün sonunda en düşük MDA içerikleri 0,4 mg/L Pb içeren ortamdaki bitkilerden kontrole göre %19,00 ve %30,96 artış ile belirlenmiştir.



Şekil 4.28. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *P. erectus*'un MDA içerikleri. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı konsantrasyonlardaki aynı gün için farklı küçük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Aynı konsantrasyondaki farklı günler için farklı büyük harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$).

4.9. Farklı Işık Ortamlarının Fitoremediasyon Üzerine Etkileri

C. demersum ve *P. erectus* bitkileri içerisinde 0,598 mg/L Cd, 0,795 mg/L Cr ve 0,957 mg/L Pb bulunan sanayi atık suyunun remediasyonu için farklı ışık ortamları altında 1 gün boyunca bekletilmiştir. Bitki ve su ortamının AAS ile analizleri yapılmış ve istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

4.9.1. Bitkilerin Ağır Metal Akümülayonu

C. demersum'un Ağır Metal Akümülayonu

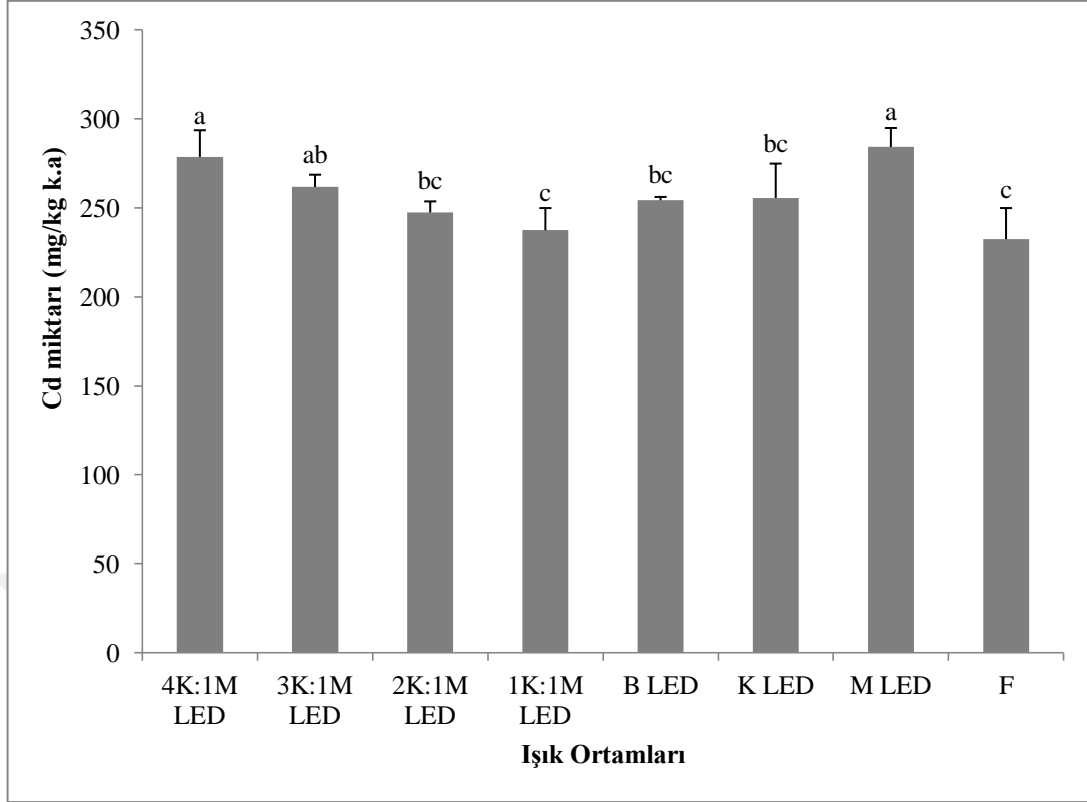
Farklı ışık ortamları altında *C. demersum*'un kadmiyumu akümüle etme seviyeleri araştırılmış ve elde edilen veriler üzerinden varyans analizi uygulanmıştır (Çizelge 4.43). Işık ortamlarının Cd akümülayonu üzerine istatistiksel olarak önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir ($p < 0,01$). Bu etkinin önemlilik seviyesini tespit etmek için Duncan testi uygulanmış ve Şekil 4.29'da verilmiştir.

Çizelge 4.43. Farklı ışık ortamları altındaki *C. demersum*'un Cd miktarına ait varyans analizi

V.K.	S.D.	K.O.	F
Işık Ortamı	7	996,14	6,30**
Hata	16	158,20	-
Genel Toplam	23	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli

Şekil 4.29'da gösterildiği gibi, en yüksek Cd miktarı mavi LED ışık altındaki bitkilerde, ardından 4K:1M LED ışık altındaki bitkilerde bulunmuştur. En düşük Cd miktarı ise flouresan ışık ardından ise 1K:1M LED ışık altındaki bitkilerde tespit edilmiştir. LED ışık kombinasyonları karşılaştırıldıklarında ortamdaki kırmızı LED oranı düşüğe bitkideki Cd miktarı da azalış göstermiştir. LED ışıkların tek başına kullanıldığı ortamlarda en etkili ışık mavi LED olurken, ardından kırmızı LED ışık olmuştur. Buna karşın kırmızı LED ışık ve beyaz LED ışık verileri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık tespit edilmemiştir ($p < 0,05$). Genel olarak Cd birikimi üzerine beyaz flouresan ve 1K:1M LED ışıklar diğer ışık ortamlarına kıyasla en düşük etkiyi göstermiştir.



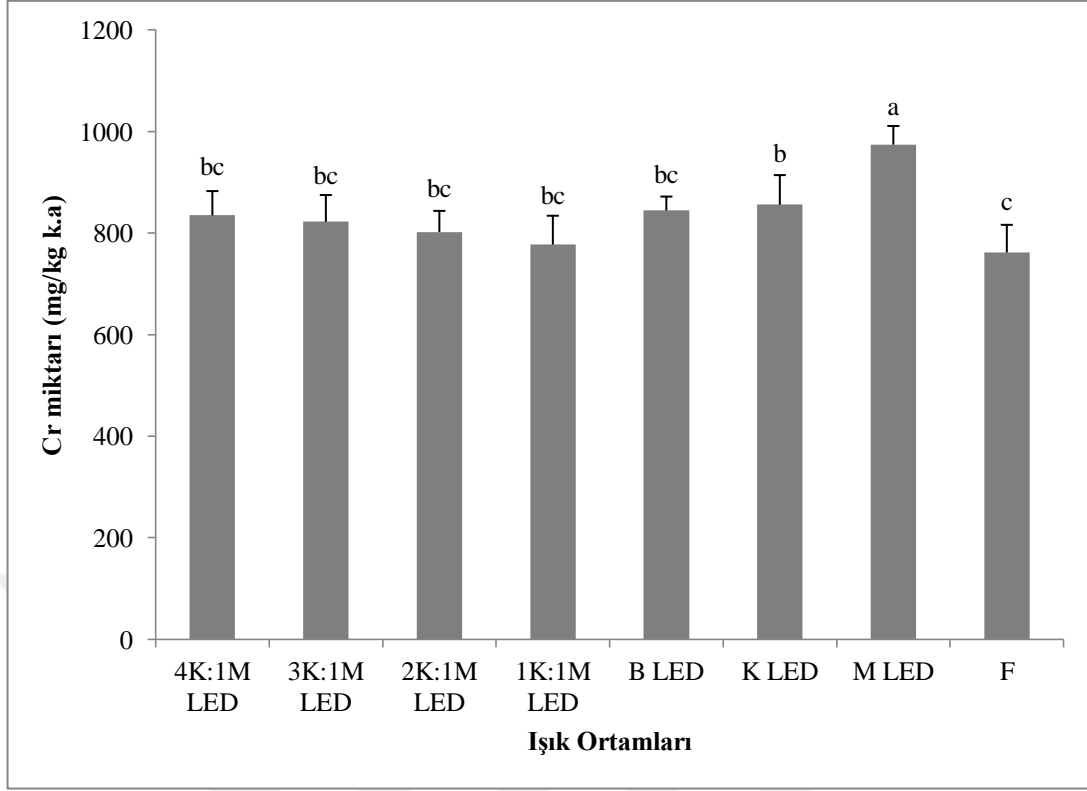
Şekil 4.29. Farklı ışık ortamları altındaki *C. demersum*'un Cd miktarı. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$) (B: Beyaz LED; K:Kırmızı LED; M:Mavi LED; F: Beyaz Flouresan).

Farklı LED ışıkları ve beyaz flouresan ışık altında 1 gün boyunca bekletilen *C. demersum* bitkilerinin akümüle ettikleri Cr miktarları araştırılmış ve veriler alınarak varyans analizine tabi tutulmuştur (Çizelge 4.44). Işık ortamlarının Cr birikimi üzerine istatistiksel olarak önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir ($p < 0,01$). Şekil 4.30'da görüldüğü gibi, bu etkinin anlamlılık seviyesi Duncan testi ile tespit edilmiştir.

Çizelge 4.44. Farklı ışık ortamları altındaki *C. demersum*'un Cr miktarına ait varyans analizi

V.K.	S.D.	K.O.	F
Işık Ortamı	7	12792,04	5,51**
Hata	16	2321,15	-
Genel Toplam	23	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli



Şekil 4.30. Farklı ışık ortamları altındaki *C. demersum*'un Cr miktarı. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama ± Standart sapma $n=3$). Farklı harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$) (B: Beyaz LED; K:Kırmızı LED; M:Mavi LED; F: Beyaz Flouresan).

Şekil 4.30'da gösterildiği gibi, bitkinin Cr akümülyasyonuna ışıkların $p < 0,05$ seviyesinde etkili olduğu görülmüştür. En yüksek Cr birikimi sırası ile mavi LED > kırmızı LED > beyaz LED > 4K:1M LED > 3K:1M LED > 2K:1M LED > 1K:1M LED > beyaz flouresan ışık altındaki bitkilerde tespit edilmiştir. Genel olarak LED ışıkların tek kullanıldığı ortamdaki bitkiler, kombinasyonunun kullanıldığı ortamdaki bitkilerden daha fazla Cr akümüle etmiştir. Cr birikimi açısından ışık ortamları kıyaslandığında beyaz flouresan ışık, LED ışıklara göre oldukça etkisiz bulunmuştur ($p < 0,05$). LED ışık kombinasyonları kendi aralarında istatistiksel olarak anlamlı bulunmazken ($p < 0,05$) en etkili ışık 3K:1M LED olarak belirlenmiştir.

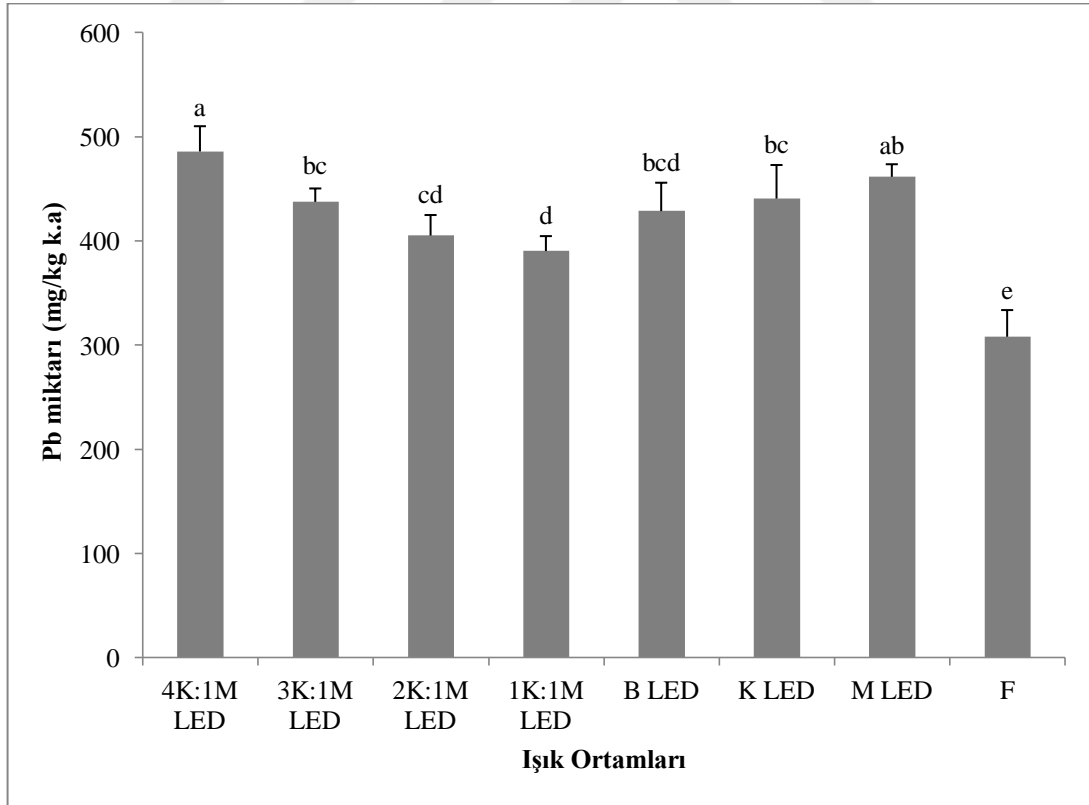
C. demersum'un farklı LED ışıkları ve beyaz flouresan ışıkları altındaki Pb akümülyasyonları araştırılmış ve elde edilen veriler ile varyans analizi uygulanmıştır (Çizelge 4.45). Farklı ışık ortamlarının *C. demersum* tarafından Pb birikimi üzerine istatistiksel olarak önemli etkisi olduğu görülmüştür ($p < 0,01$). Bu etkinin önemlilik derecesini tespit etmek için uygulanan Duncan testi sonuçları Şekil 4.31'da verilmiştir.

Çizelge 4.45. Farklı ışık ortamları altındaki *C. demersum*'un Pb miktarına ait varyans analizi

V.K.	S.D.	K.O.	F
Işık Ortamı	7	8793,03	17,87**
Hata	16	492,10	-
Genel Toplam	23	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli

Işık ortamları altındaki bitkilerde tespit edilen Pb değişimleri istatistiksel olarak $p < 0,05$ seviyesinde önemli bulunmuştur (Şekil 4.31). En yüksek Pb birikimi 4K:1M LED ışık altındaki bitkilerde, ardından ise mavi LED ışık altındaki bitkilerde tespit edilmiştir. En düşük Pb birikimi ise beyaz flouresan ışık altındaki bitkilerde, ardından ise 1K:1M LED ışık altındaki bitkilerde tespit edilmiştir. LED ışık kombinasyonları kıyaslandığında ortamdaki kırmızı LED oranı düşükçe bitkideki Pb miktarı da azalış göstermiştir. Beyaz flouresan ışık altındaki bitkiler, LED ışıkları altındaki bitkilerle kıyaslandığında, Pb miktarı oldukça düşük çıkmıştır ($p < 0,05$).



Şekil 4.31. Farklı ışık ortamları altındaki *C. demersum*'un Pb miktarı. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$) (B: Beyaz LED; K:Kırmızı LED; M:Mavi LED; F: Beyaz Flouresan).

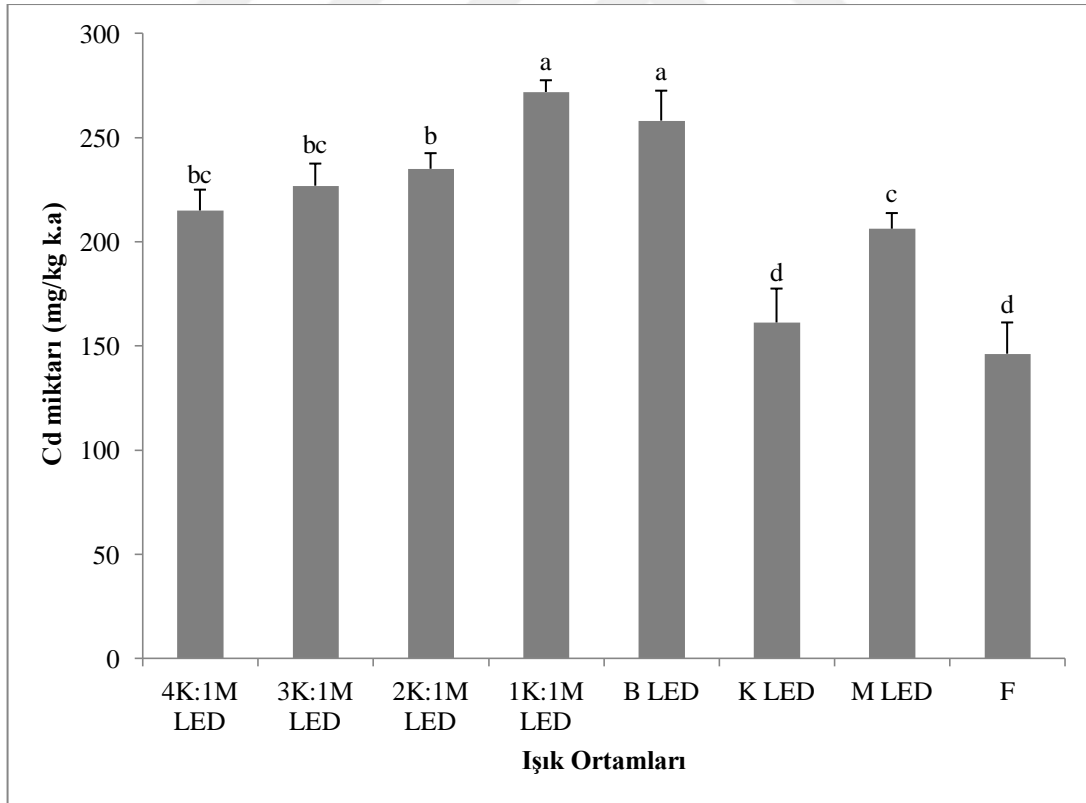
P. erectus'un Ağır Metal Akümülyasyonu

P. erectus'un farklı ışık ortamlarında sanayi atık suyu içerisindeki Cd birikim miktarları araştırılmış ve elde edilen veriler Çizelge 4.46'da gösterildiği gibi varyans analizine tabi tutulmuştur. Farklı ışık ortamlarının *P. erectus* tarafından Cd birikimi üzerine istatistiksel olarak önemli etkisi olduğu belirlenmiştir ($p < 0,01$). Bu etkinin anlamlılık seviyesini tespit etmek için Duncan testi uygulanmış ve Şekil 4.32'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.46. Farklı ışık ortamları altındaki *P. erectus*'un Cd miktarına ait varyans analizi

V.K.	S.D.	K.O.	F
Işık Ortamı	7	5712,03	43,41**
Hata	16	131,59	-
Genel Toplam	23	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli



Şekil 4.32. Farklı ışık ortamları altındaki *P. erectus*'un Cd miktarı. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan testi, $p < 0,05$) (B: Beyaz LED; K:Kırmızı LED; M:Mavi LED; F: Beyaz Flouresan).

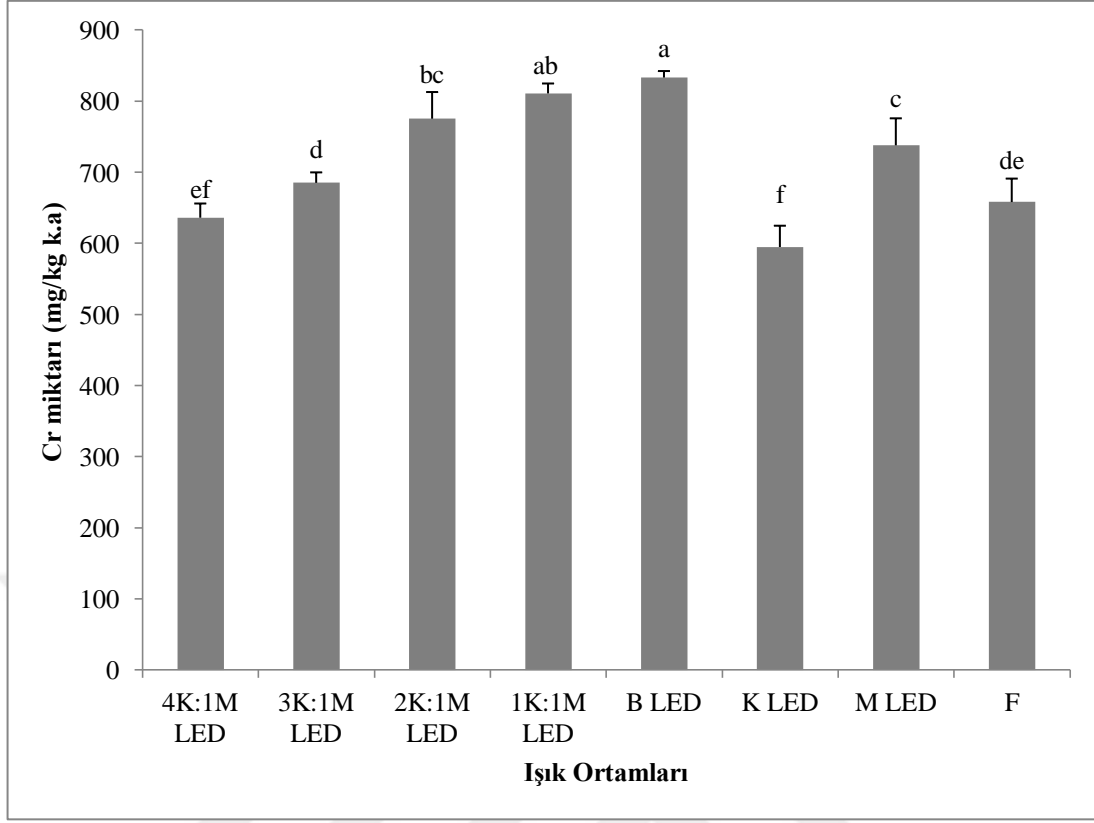
Bitkideki Cd miktarlarına ışık ortamlarının $p < 0,05$ seviyesinde anlamlı etkisi olmuştur (Şekil 4.32). En yüksek Cd birikimi 1K:1M LED ışık altındaki bitkilerde, ardından ise beyaz LED ışık altındaki bitkilerde tespit edilmiştir. En düşük Cd birikimi ise beyaz flouresan ışık altındaki bitkilerde kaydedilirken ardından ise kırmızı LED ışık altındaki bitkilerde belirlenmiştir. Genel olarak Cd birikimi açısından kırmızı ve mavi LED'lerin kombinasyonunda kırmızı LED oranı arttıkça bitkideki Cd seviyesi azalış göstermiştir. Tüm LED ışıkları beyaz flouresan ışık ortamına göre daha etkili bulunmuştur.

Farklı LED ışıkları ve beyaz flouresan ışık altında 1 gün boyunca maruz kalan *P. erectus* bitkilerinin akümüle ettikleri Cr miktarları araştırılmış ve elde edilen veriler varyans analizine tabi tutulmuştur (Çizelge 4.47). Farklı ışık ortamlarının *P. erectus* tarafından Cr birikimi üzerine istatistiksel olarak önemli etkisi olduğu görülmüştür ($p < 0,05$). Elde edilen veriler için Duncan testi uygulanmış ve anlamlılık seviyesi tespit edilmiştir (Şekil 4.33).

Çizelge 4.47. Farklı ışık ortamları altındaki *P. erectus*'un Cr miktarına ait varyans analizi

V.K.	S.D.	K.O.	F
Işık Ortamı	7	22330,95	31,15*
Hata	16	717,01	-
Genel Toplam	23	-	-
* $p < 0,05$ düzeyinde önemli			

Farklı ışık ortamları ile bitkinin biriktirdiği Cr miktarları arasında $p < 0,05$ seviyesinde anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir (Şekil 4.33). En yüksek Cr birikimi sırası ile beyaz LED > 1K:1M LED > 2K:1M LED > mavi LED > 3K:1M LED > beyaz flouresan > 4K:1M LED > kırmızı LED ışık altındaki bitkilerde tespit edilmiştir. LED ışıklarının kombinasyon şeklinde kullanıldığı ortamlardaki bitkiler kendi aralarında kıyaslandığında en etkili ışık ortamı, kırmızı LED'in en az oranda kullanıldığı 1K:1M LED ışık ortamı olarak belirlenmiştir. LED ışıkların tek kullanıldığı ortamlar kıyaslandığında beyaz ve kırmızı LED ışıklarında elde edilen değerler istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p < 0,05$).



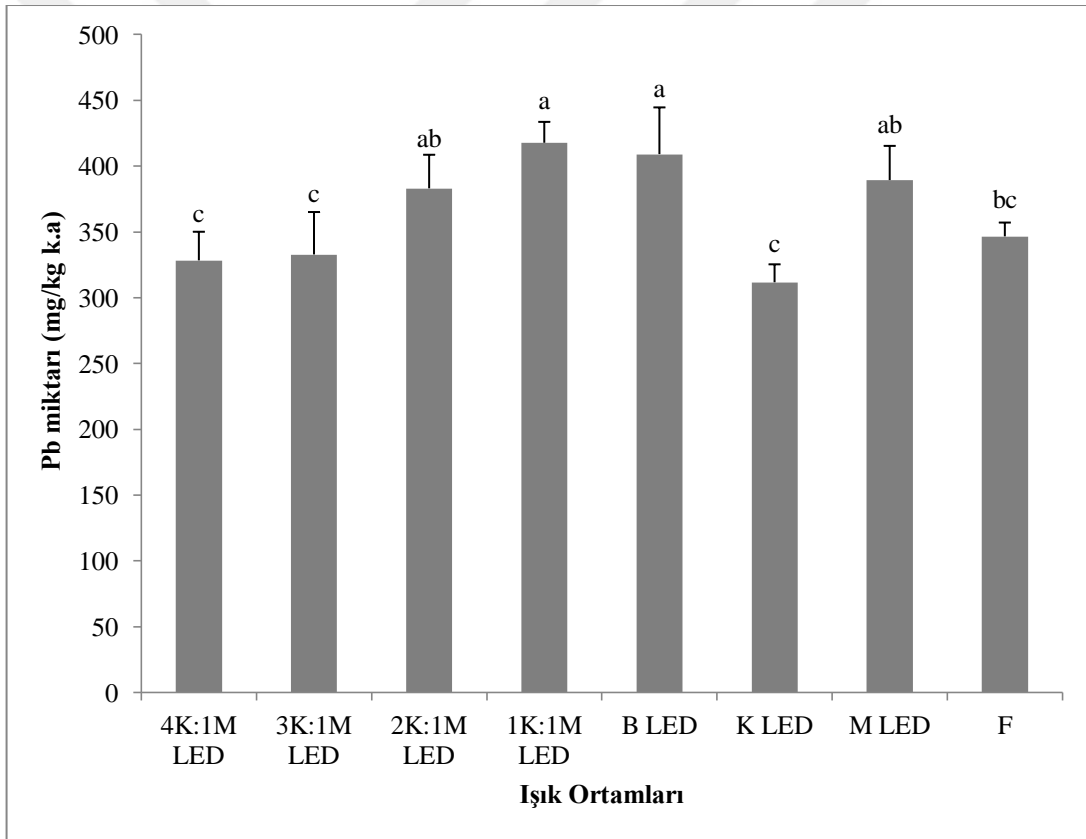
Şekil 4.33. Farklı ışık ortamları altındaki *P. erectus*'un Cr miktarı. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$) (B: Beyaz LED; K:Kırmızı LED; M:Mavi LED; F: Beyaz Flouresan).

Farklı ışık ortamlarında 1 gün boyunca bekletilen *P. erectus* bitkisinin sanayi atık suyundaki kurşunu akümüle etme miktarları analiz edilmiş ve varyans analizi uygulanmıştır (Çizelge 4.48). Işık ortamlarının Pb birikimi üzerine istatistiksel olarak önemli etkisiye sahip olduğu tespit edilmiştir ($p < 0,01$). Bu etkinin anlamlılık seviyesini tespit etmek için sonuçlar Duncan testine tabi tutulmuştur (Şekil 4.34).

Çizelge 4.48. Farklı ışık ortamları altındaki *P. erectus*'un Pb miktarına ait varyans analizi

V.K.	S.D.	K.O.	F
Işık Ortamı	7	4799,45	8,26**
Hata	16	580,94	-
Genel Toplam	23	-	-
** $p < 0,01$ düzeyinde önemli			

Şekil 4.34’de görüldüğü gibi, bitkilerde belirlenen Pb miktarı, ışık ortamlarının etkisiyle farklılık göstermiştir ($p < 0,05$). En yüksek Pb birikimi 1K:1M LED ışık altındaki bitkilerde, ardından ise beyaz LED ışık altındaki bitkilerde tespit edilmiş olup, bu değerler istatistiksel olarak birbirinden farklı çıkmamıştır ($p < 0,05$). En düşük Pb birikimi ise kırmızı LED ışık altındaki bitkilerde, ardından ise 4K:1M LED ışık altındaki bitkilerde belirlenmiştir. LED ışık kombinasyonları kendi aralarında karşılaştırıldığında, uygulanan kırmızı LED ışık oranı arttıkça bitkide tespit edilen Pb oranı azalış göstermiştir. Genel olarak kırmızı ve mavi LED ışıklarının eşit oranda kombinasyonu ve beyaz LED ışıklar, bitkilerin Pb akümülyasyonuna olumlu etki yapmıştır.



Şekil 4.34. Farklı ışık ortamları altındaki *P. erectus*'un Pb miktarı. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$) (B: Beyaz LED; K:Kırmızı LED; M:Mavi LED; F: Beyaz Flouresan).

4.9.2. Suda Kalan Ağır Metal Miktarları

C. demersum ile Fitoremediasyondan Sonra Suda Kalan Ağır Metal Miktarları

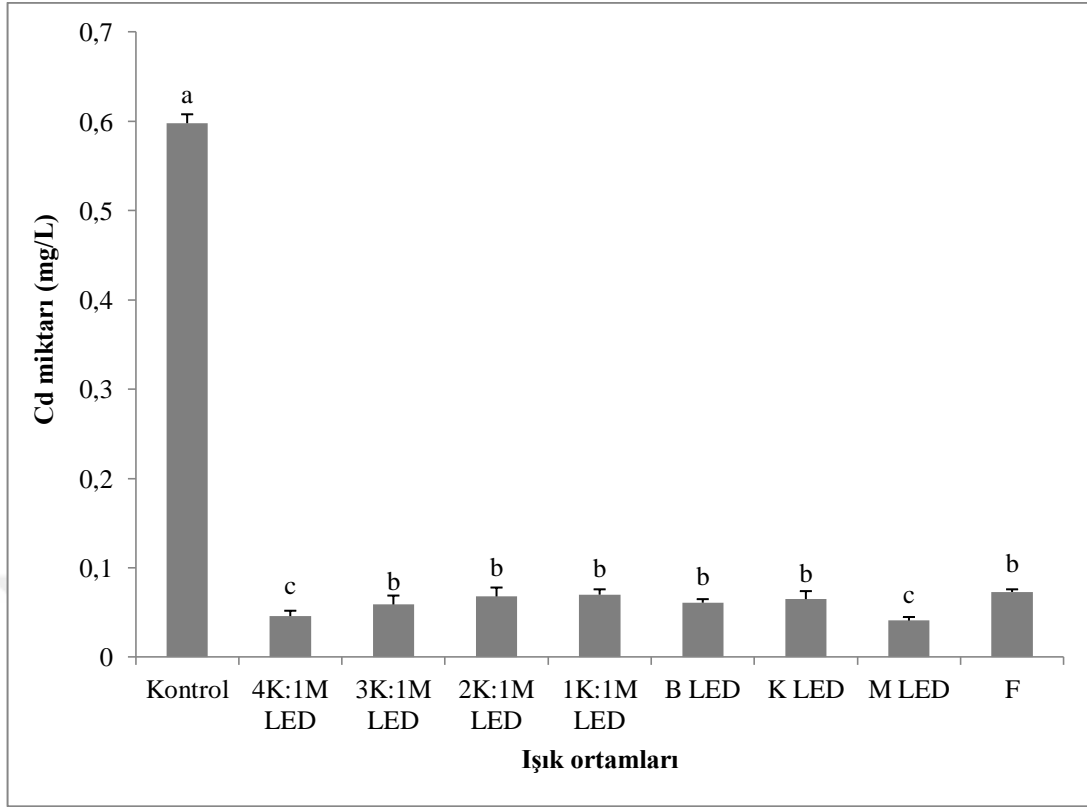
Farklı ışık ortamları altında *C. demersum*'un atık suda bulunan kadmiyumu uzaklaştırma etkinliği araştırılmış ve elde edilen veriler varyans analizine tabi tutulmuştur (Çizelge 4.49). Farklı ışık ortamlarının *C. demersum* uygulanmış atık sudaki kadmiyumu uzaklaştırma seviyeleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ($p < 0,01$). Bu farklılıkların anlamlılık seviyesini tespit etmek için Duncan testi uygulanmış ve sonuçlar Şekil 4.35'de verilmiştir.

Çizelge 4.49. Farklı ışık ortamları altında *C. demersum* uygulanmış atık sudaki Cd miktarına ait varyans analizi

V.K.	S.D.	K.O.	F
Işık Ortamı	8	0,97	1774,65**
Hata	18	5,49	-
Genel Toplam	26	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli

Şekil 4.35'de gösterildiği gibi kontrol olarak içerisinde bitki bulunmayan atık sudaki Cd miktarı (0,598 mg/L) gösterilmiştir. Farklı ışık ortamları altında yapılan arıtım sonuçları istatistiksel olarak $p < 0,05$ seviyesinde anlamlı bulunmuştur. *C. demersum* uygulanmış sularda kontrole göre en yüksek arıtım %93,14 ile mavi LED ışıklarında tespit edilirken, ardından ise %92,31 ile 4K:1M LED ışıklarında tespit edilmiştir. Atık suda tespit edilen en düşük Cd arıtımı kontrole göre %87,79 ile beyaz flouresan ışıklarında, ardından ise %88,29 ile 1K:1M LED ışıklarında saptanmıştır. Kırmızı ve mavi LED kombinasyonları kendi aralarında kıyaslandığında uygulanan kırmızı LED ışık oranı arttıkça, kadmiyumun su ortamındaki konsantrasyonu azalış göstermiştir. Yani en iyi ışık kombinasyonu 4K:1M > 3K:1M > 2K:1M > 1K:1M LED ışık şeklinde sıralanmıştır.



Şekil 4.35. Farklı ışık ortamları altında *C. demersum* uygulanmış atıksudaki Cd miktarı. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan testi, $p < 0,05$) (B: Beyaz LED; K:Kırmızı LED; M:Mavi LED; F: Beyaz Flouresan).

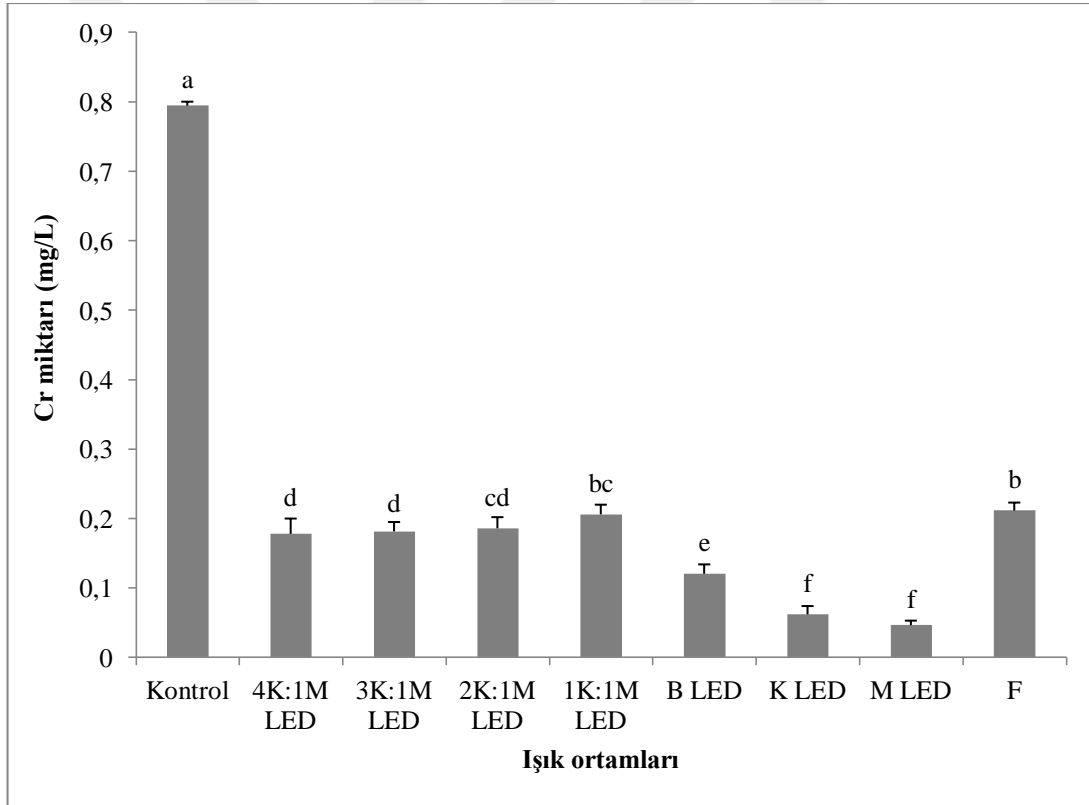
Farklı LED ışıkları ve beyaz flouresan ışık altındaki atık su ortamında 1 gün boyunca *C. demersum* uygulanmış ve su ortamındaki Cr miktarı AAS ile analiz edilmiştir. Elde edilen veriler için varyans analizi uygulanmıştır (Çizelge 4.50). Farklı ışık ortamlarının *C. demersum* uygulanmış atık sudaki kromu uzaklaştırma seviyeleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ($p < 0,01$). Bu farklılıkların anlamlılık seviyesini tespit etmek için Duncan testi yapılmıştır (Şekil 4.36).

Çizelge 4.50. Farklı ışık ortamları altında *C. demersum* uygulanmış atık sudaki Cr miktarına ait varyans analizi

V.K.	S.D.	K.O.	F
Işık Ortamı	8	0,15	813,65**
Hata	18	0,0001	-
Genel Toplam	26	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli

Şekil 4.36’da gösterildiği gibi, kontrol olarak içerisinde bitki bulunmayan atık sudaki Cr miktarı (0,795 mg/L) gösterilmiştir. Arıtım sonrası farklı ışık ortamları altındaki atık suda tespit edilen Cr miktarları arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,05$). *C. demersum* uygulanmış atık sularda kontrole göre yüksekten düşüğe doğru arıtım oranları sırasıyla %94,15 ile mavi LED, %92,20 ile kırmızı LED, %84,83 ile beyaz LED, %77,60 ile 4K:1M LED, %77,16 ile 3K:1M LED, %76,59 ile 2K:1M LED, %74,07 1K:1M LED ve %73,38 ile beyaz flüresan ışıkları altında tespit edilmiştir. LED ışıkların tek kullanıldığı ortamlar, kombinasyon şeklinde kullanıldığı ortamlardan daha iyi sonuç vermiştir. Tek ışıklar altındaki arıtım çalışmalarında ise mavi ve kırmızı LED ışıkların oldukça etkili olduğu tespit edilmiştir ($p < 0,05$).



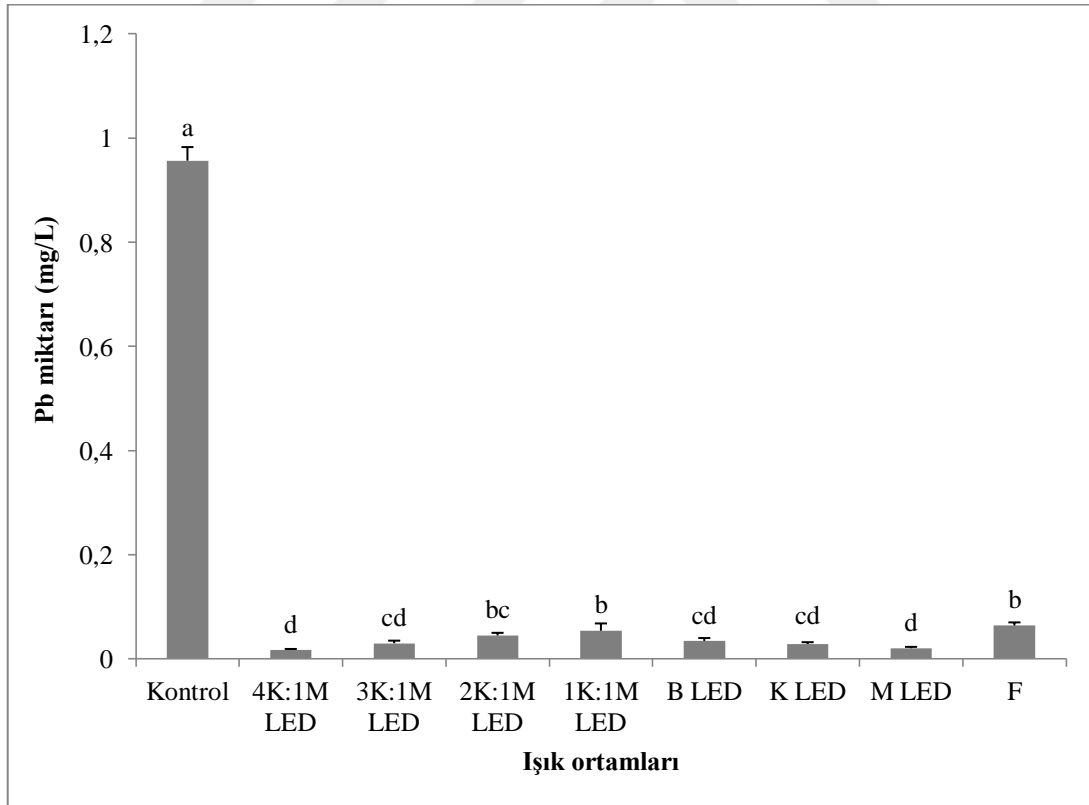
Şekil 4.36. Farklı ışık ortamları altında *C. demersum* uygulanmış atıksudaki Cr miktarı. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$) (B: Beyaz LED; K:Kırmızı LED; M:Mavi LED; F: Beyaz Flüresan).

Bir gün boyunca farklı LED ışıkları ve beyaz flouresan ışıkları altında atık su ortamına uygulanmış *C. demersum* bitkisinin, arıttımdan sonra atık suda kalan Pb miktarları incelenmiştir. Elde edilen veriler daha sonra varyans analizine tabi tutulmuştur (Çizelge 4.51). Farklı ışık ortamlarının *C. demersum* uygulanmış atık sudaki kurşunu uzaklaştırma seviyeleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ($p < 0,01$). Elde edilen veriler için Duncan testi uygulanmış ve anlamlılık seviyesi belirlenmiştir (Şekil 4.37).

Çizelge 4.51. Farklı ışık ortamları altında *C. demersum* uygulanmış atıksudaki Pb miktarına ait varyans analizi

V.K.	S.D.	K.O.	F
Işık Ortamı	8	0,28	2508,77**
Hata	18	0,0001	-
Genel Toplam	26	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli



Şekil 4.37. Farklı ışık ortamları altında *C. demersum* uygulanmış atıksudaki Pb miktarı. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan testi, $p < 0,05$) (B: Beyaz LED; K:Kırmızı LED; M:Mavi LED; F: Beyaz Flouresan).

Şekil 4.37’de gösterildiği gibi kontrol olarak içerisinde bitki bulunmayan atık sudaki Pb miktarı (0,957 mg/L) gösterilmiştir. Işık ortamları altındaki atıksularda tespit edilen Pb değişimleri istatistiksel olarak $p < 0,05$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Genel olarak atıksuda kalan Pb miktarları oldukça düşük çıkmıştır. Atık sularda tespit edilen kontrole göre en yüksek arıtım oranı %98,22 ile 4K:1M LED ışıklarında, ardından ise %97,86 ile mavi LED ışıklarında bulunmuş olup, mavi LED ve 4K:1M LED ışıklarındaki değerler istatistiksel olarak anlamsız tespit edilmiştir ($p < 0,05$). Atık suda tespit edilen en düşük Pb arıtım oranı %93,31 ile beyaz flouresan ışık, ardından ise %94,35 ile 4K:1M LED ışıklarında saptanmıştır. LED ışıkların kombinasyon şeklinde kullanıldıkları ortamlarda kırmızı ışık oranı azaldıkça, Pb artım oranı da azalış göstermiştir.

P. erectus ile Fitoremediasyondan Sonra Suda Kalan Ağır Metal Miktarları

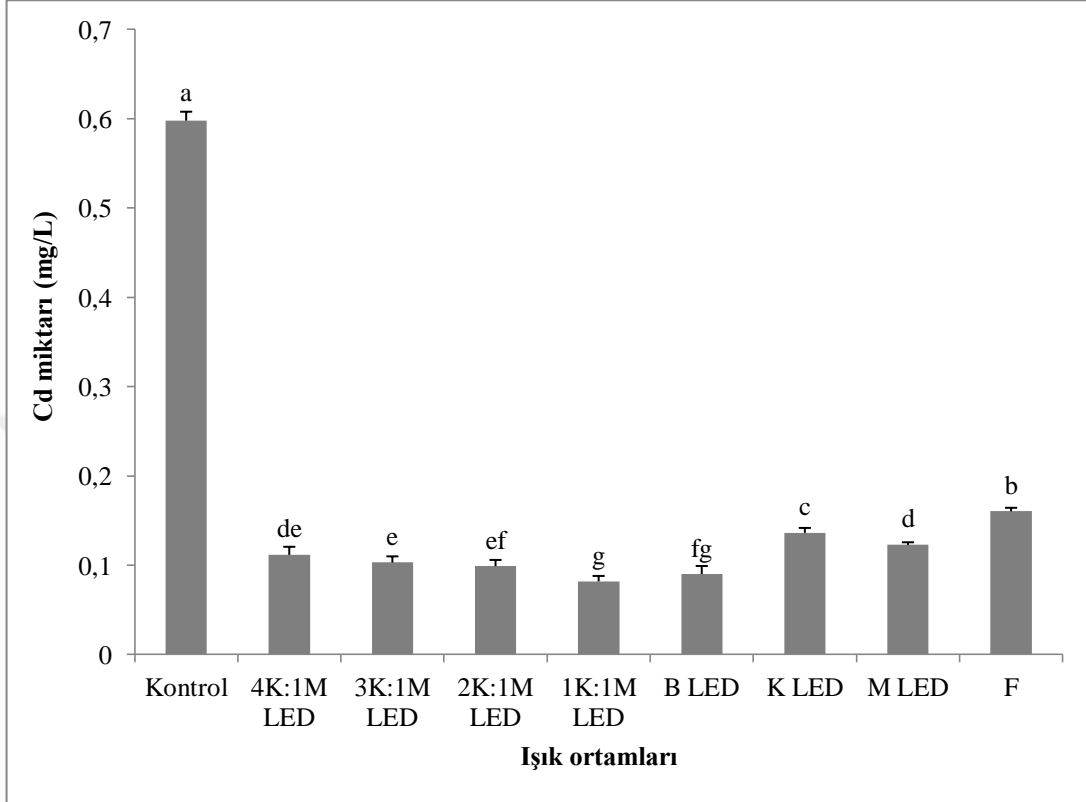
P. erectus bitkisi 1 gün boyunca farklı ışık ortamları altında sanayi atıksuyu içerisine yerleştirilmiş ve ardından sudaki Cd miktarı AAS ile analiz edilmiştir. Elde edilen veriler için varyans analizi uygulanmıştır (Çizelge 4.52). Farklı ışık ortamlarının *P. erectus* uygulanmış atık sudaki kadmiyumu uzaklaştırma seviyeleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ($p < 0,01$). Bu verilerin anlamlılık seviyesini tespit etmek için Duncan testi uygulanmış ve Şekil 4.38’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.52. Farklı ışık ortamları altında *P. erectus* uygulanmış atıksudaki Cd miktarına ait varyans analizi

V.K.	S.D.	K.O.	F
Işık Ortamı	8	0,081	1600,45**
Hata	18	5,05	-
Genel Toplam	26	-	-
** $p < 0,01$ düzeyinde önemli			

Şekil 4.38’de gösterildiği gibi atık sularda tespit edilen Cd miktarlarına ışık ortamlarının $p < 0,05$ seviyesinde anlamlı etkisi görülmüştür. *P. erectus* uygulanmış atık sularda kontrole göre yüksekten düşüğe doğru arıtım oranları sırasıyla %86,29 ile 1K:1M LED, %84,92 ile beyaz LED, %83,44 ile 2K:1M LED, %82,78 ile 3K:1M LED, %81,33 ile 4K:1M LED, %79,46 ile mavi LED, %77,20 ile kırmızı LED ve %73,16 ile beyaz

flouresan ışıkları altında tespit edilmiştir. Işık kombinasyonlarına göre uygulanan kırmızı LED ışık oranı arttıkça Cd arıtım oranının azaldığı belirlenmiştir.



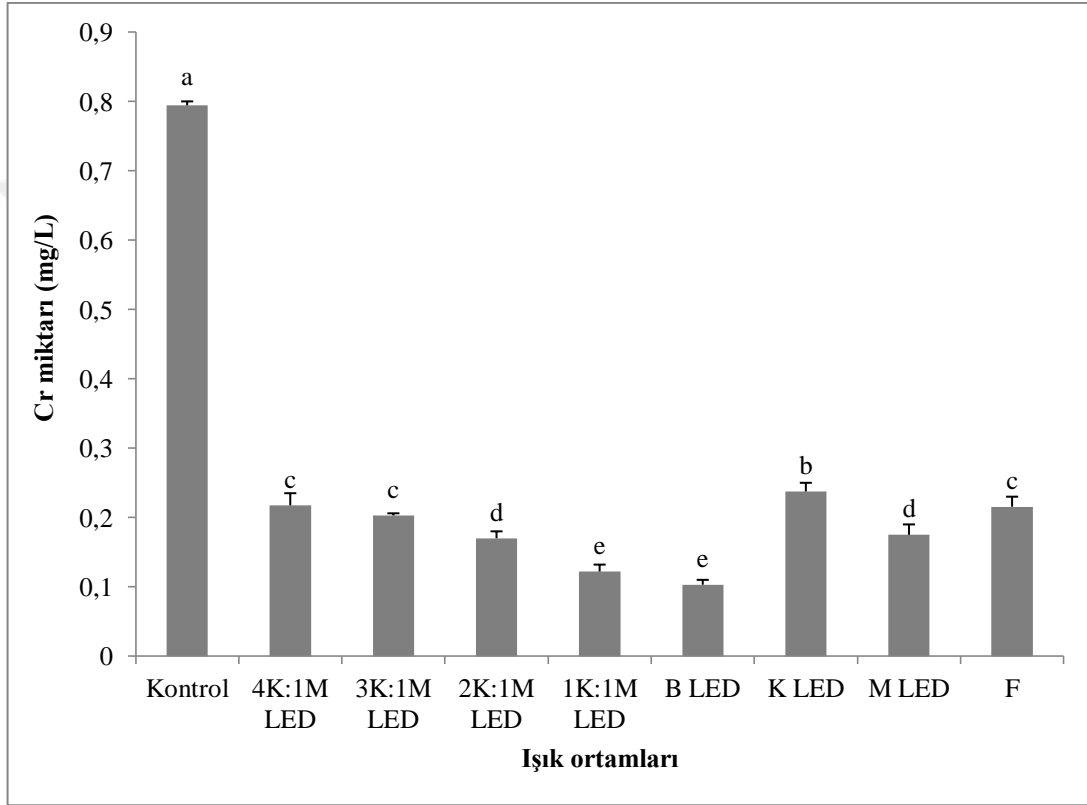
Şekil 4.38. Farklı ışık ortamları altında *P. erectus* uygulanmış atık sudaki Cd miktarı. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$) (B: Beyaz LED; K:Kırmızı LED; M:Mavi LED; F: Beyaz Flouresan).

Farklı LED ışıkları ve beyaz flouresan ışıkları altında Cr içeren atıksu ortamına uygulanmış *P. erectus* bitkisinin, arıtmadan sonra atık suda kalan Cr seviyesi incelenmiştir. Elde edilen veriler daha sonra varyans analizine tabi tutulmuştur (Çizelge 4.53). *P. erectus* uygulanmış atıksudaki kromun uzaklaştırma seviyeleri üzerine farklı ışık ortamlarının istatistiksel olarak önemli etkisi tespit edilmiştir ($p < 0,01$). Önemlilik derecesini tespit etmek için Duncan testi kullanılarak tespit edilen sonuçlar Şekil 4.39'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.53. Farklı ışık ortamları altında *P. erectus* uygulanmış atıksudaki Cr miktarına ait varyans analizi

V.K.	S.D.	K.O.	F
İşık Ortamı	8	0,13	992,91**
Hata	18	0,0001	-
Genel Toplam	26	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli



Şekil 4.39. Farklı ışık ortamları altında *P. erectus* uygulanmış atıksudaki Cr miktarı. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$) (B: Beyaz LED; K:Kırmızı LED; M:Mavi LED; F: Beyaz Flouresan).

Şekil 4.39 incelendiğinde, kontrol olarak içerisinde bitki bulunmayan atıksudaki Cr miktarı 0,795 mg/L olarak şekilde gösterilmiş olup, farklı ışık ortamları altındaki atıksularda tespit edilen Cr seviyesindeki değişimler istatistiksel olarak $p < 0,05$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Atık sularda tespit edilen kontrole göre en yüksek arıtım oranı %87,04 ile beyaz LED ışıklarında, ardından ise %84,64 ile 1K:1M LED ışıklarında tespit edilmiş olup, bu değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur ($p < 0,05$). Atıksuda tespit edilen en düşük Cr arıtım oranı

kontrole göre %70,11 ile kırmızı LED ışık, ardından ise %72,62 ile 4K:1M LED ışıklarında saptanmıştır. Kırmızı ve mavi LED ışık kombinasyonları kendi aralarında kıyaslandığında en iyi arıtım oranı 1K:1M LED ışıklarında tespit edilirken, en düşük arıtım oranı ise 4K:1M LED ışıklarında tespit edilmiştir. Buradan da anlaşılacağı gibi uygulanan kırmızı LED ışık oranı arttıkça arıtım yüzdesi azalmıştır.

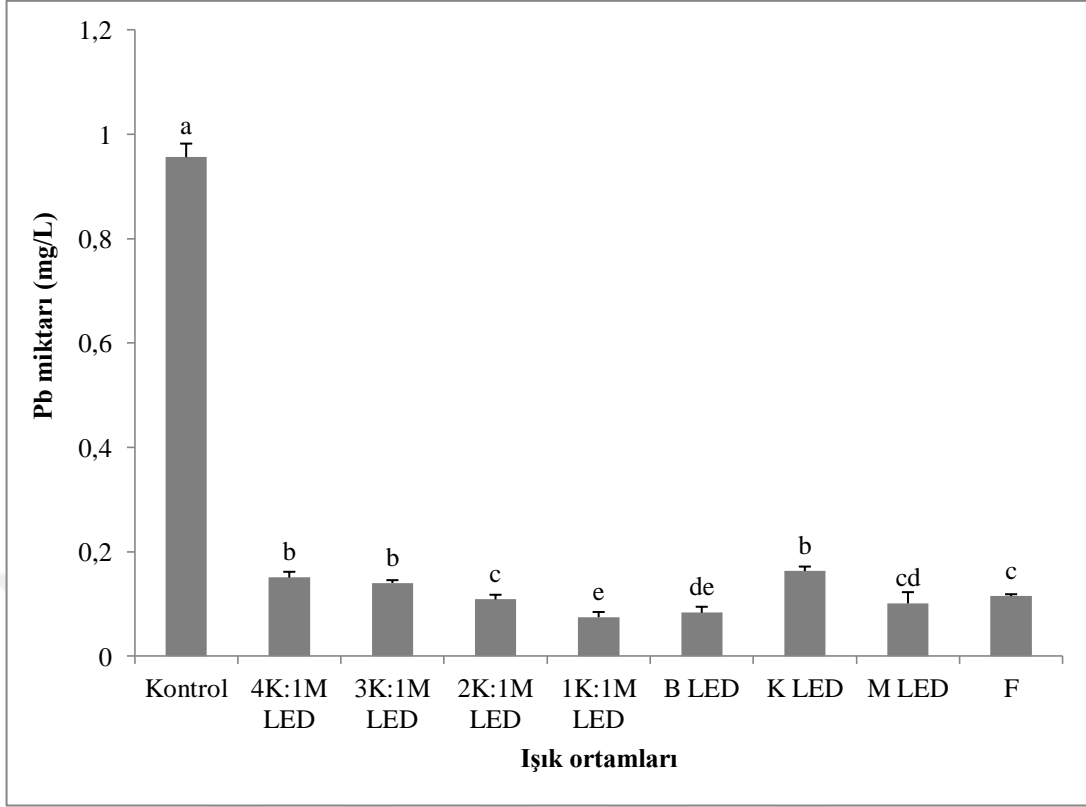
Farklı ışık ortamları altında *P. erectus*'un atık suda bulunan kurşunu uzaklaştırma yeteneği araştırılmış ve elde edilen veriler varyans analizine tabi tutulmuştur (Çizelge 4.54). Farklı ışık ortamlarının *P. erectus* uygulanmış atık sudaki kromu uzaklaştırma seviyeleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ($p < 0,01$). Bu farklılıkların verilerin anlamlılık seviyesini tespit etmek için Duncan testi uygulanmış ve Şekil 4.40'da verilmiştir.

Çizelge 4.54. Farklı ışık ortamları altında *P. erectus* uygulanmış atıksudaki Pb miktarına ait varyans analizi

V.K.	S.D.	K.O.	F
Işık Ortamı	8	0,24	1264,40**
Hata	18	0,0001	-
Genel Toplam	26	-	-

** $p < 0,01$ düzeyinde önemli

Şekil 4.40'da gösterildiği gibi, kontrol olarak içerisinde bitki bulunmayan atıksudaki Pb miktarı (0,957 mg/L) gösterilmiştir. Arıtım sonrası farklı ışık ortamları altındaki atık suda tespit edilen Pb miktarları arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,05$). *P. erectus* uygulanmış atık sularda kontrole göre yüksekten düşüğe doğru arıtım oranları sırasıyla %92,16 ile 1K:1M LED, %91,27 ile beyaz LED, %89,39 ile mavi LED, %87,92 ile beyaz flouresan ışık, %88,60 ile 2K:1M LED, %85,31 ile 3K:1M LED, %84,21 ile 4K:1M LED ve %82,91 ile kırmızı LED ışıkları altında tespit edilmiştir. Bitkiye uygulanan kırmızı ve mavi LED ışık kombinasyonları karşılaştırıldığında kırmızı LED ışık oranları azaldıkça, Pb arıtım oranı gittikçe artış göstermiştir. Tek kullanılan ışıklar kendi arasında kıyaslandığında en yüksek arıtım seviyesi beyaz LED, en düşük arıtım seviyesi ise kırmızı LED ışıkları altında tespit edilmiştir.



Şekil 4.40. Farklı ışık ortamları altında *P. erectus* uygulanmış atık sudaki Pb miktarı. Tüm değerler üç tekrarın ortalamasını ifade etmektedir (Ortalama \pm Standart sapma $n=3$). Farklı harfler ile gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (Duncan test, $p < 0,05$) (B: Beyaz LED; K:Kırmızı LED; M:Mavi LED; F: Beyaz Flouresan).

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1. *C. demersum* ve *P. erectus* 'da Doku Kültürü Çalışmaları

P. erectus, yüzey sterilizasyonu için %5, %10, %20, %30, %40 ve %50 ticari çamaşır suyu (%5 NaOCI) ile 5 dk muamele edilmiştir (Çizelge 4.1). Çamaşır suyu ve hidrojen peroksitin uygulandığı eksplantlarda genellikle bakteriyel kontaminasyonlar görülmüştür. Bu bakteriyel kontaminasyonun sebebi bitkinin alındığı su ortamının yoğun bakteriyel kirlilik içermesinden kaynaklanıyor olabilir. %30, %40 ve %50 oranlarında kullanılan çamaşır suyu, eksplantların ağarmasına (beyazlaşmasına) neden olmuştur. Bu durum, çamaşır suyunun parçalayıcı özelliği nedeniyle bitkiye yeşil rengi veren klorofilleri parçalaması ile ortaya çıkmış olabilir. Benzer şekilde Şumlu (2009), *Rotala macrandra* ile yürüttüğü çalışmasında çamaşır suyunun etkisiyle klorofillerin parçalandığını ve dolayısıyla eksplantların beyazladığını veya sarardığını bildirmiştir. *P. erectus*'un yüzey sterilizasyonu çalışmasında en fazla steril ve canlı eksplantlar, çamaşır suyunun (NaOCI) %30 oranında uygulandığı sürgün ucu eksplantlarında elde edilmiştir. Çamaşır suyu ile başarılı yüzey sterilizasyonu çalışmaları daha önce *M. spicatum* L. ve *P. crispus* L. (Zhou ve ark., 2006), *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle ve *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleiden (Bodhipadma ve ark., 2013) ve *Ipomoea batatas* (Amissah ve ark., 2016) bitkilerinde de yapılmıştır.

Hidrojen peroksitin %10'dan daha fazla oranda kullanılması bazı eksplantları kahverengileştirerek ölümüne yol açmıştır (Şekil 4.2). Bulaşık oranı boğum eksplantlarında, sürgün ucu eksplantlarına göre daha fazla gözlenmiştir (Çizelge 4.2). Bu farklılık bitkinin sürgün ucundaki bakteriyel ve fungal kontaminasyon yoğunluğunun, bitkinin alt kısımlarına göre nispeten daha az olmasından kaynaklanıyor olabilir. En fazla steril ve canlı eksplant oranı %10'luk hidrojen peroksit konsantrasyonunda 10 dk bekletilen sürgün ucu eksplantlarında elde edilmiştir (Çizelge 4.2). Benzer şekilde Cavusoglu ve Sulusoglu (2013), *Solanum muricatum* yüzey sterilizasyonu işleminde H₂O₂'nin etkin kullanımını bildirilmiştir. Buna karşın Meghwal ve ark. (2000) *Psidium guajava* L.'nin yüzey sterilizasyonunu H₂O₂ (%10), gümüş nirat (%0,25) ve civa klorürü (%0,05) sırasıyla 6, 5 ve 3 dk kullanarak sağlamıştır.

P. erectus'un *in vitro* sürgün rejenerasyonu için sürgün ucu ve boğum eksplantları farklı konsantrasyon veya kombinasyonlarda bitki büyüme düzenleyicileri içeren MS besin ortamında kültüre alınarak üretimi başarılmıştır. Benzer şekilde, *in vitro* koşullarda su bitkilerinin sürgün rejenerasyonu için sürgün ucu ve boğum eksplantlarının kullanımı *Mentha viridis* L. (Raja and Arockiasamy, 2008), *Veronica anagallis-aquatica* L. (Shahzada ve ark., 2011), *C. demersum* (Karatas ve ark., 2014b), *Ludwigia palustris* (L.) Ell. (Fontanili ve ark., 2015) gibi bitkilerde de kullanılmış ve çoklu sürgün oluşumları başarıyla elde edilmiştir.

In vitro mikroçoğaltım için *P. erectus* bitkisinin sürgün ucu ve boğum eksplantları farklı KIN-NAA dozlarını içeren MS besin ortamında sekiz hafta boyunca kültüre alınmıştır. Kültür ortamlarındaki eksplantlarda NAA varlığına bağlı olmaksızın, kallus oluşumu tespit edilmemiştir. Bu sonuçlar Karatas ve ark. (2015)'nin bulgularıyla benzerlik gösterirken, Abbasi ve ark. (2013), Sayadi ve ark. (2014) ve Criollo ve ark. (2014)'nin bulgularıyla ters düşmektedir ki bu araştırmacılar KIN'i tek içeren ve KIN + NAA kombinasyonlarını içeren MS ortamlarında kallus oluşumlarını diğer bitkilerde raporlamışlardır. Bunun nedeni, bitki çeşidinin farklı olmasından kaynaklanabilir. Eksplant çeşitleri kıyaslandığında, eksplant başına sürgün sayısı bakımından en etkili eksplant boğum olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.4).

Farklı KIN-NAA dozlarının *P. erectus*'un sürgün ucu ve boğum eksplantlarından sürgün rejenerasyonu üzerine yapılan çalışmada en fazla sayıda sürgünler her iki tip eksplant için de 1.00 mg/L KIN + 0,25 mg/L NAA içeren MS ortamında bulunmuştur. Genel olarak eksplant tipine bağlı kalınsız KIN oranı arttıkça sürgün sayısı da artış göstermiştir. Benzer şekilde, büyüme düzenleyicilerinin sürgün rejenerasyonu üzerindeki etkinliği daha önce *Cryptocoryne lucens* (Kane ve ark., 1990), *Nymphoides coreana* (Myung ve ark., 2010) ve *Anubias barteri* var. Nana (Kanchanapoom ve ark., 2012) gibi bazı su bitkilerinde de raporlanmıştır. Ayrıca sürgün uzunluğu bakımından sürgün ucu eksplantları, boğum eksplantlara göre daha uzun sürgünler vermiştir. Uzun sürgünlerin oluşumu, sürgün ucunda lokalize olan apikal meristemlerinden kaynaklanıyor olabilir ki bu meristematik bölge yüksek hücre bölünmeleriyle bitkinin boyuna büyümesine katkı sağlar. Benzer şekilde, Kaviani ve ark., (2013) en uzun

sürgünleri (1,20 cm) 2 mg/L KIN eklenmiş MS besin ortamında *Matthiola incana*'nın sürgün ucu eksplantlarından elde ettiğini açıklamıştır.

P. erectus'un sürgün ucu ve boğum eksplantları *in vitro* mikroçoğaltım amacıyla farklı konsantrasyonlarda TDZ ve TDZ + NAA kombinasyonlarını içeren MS besin ortamında sekiz hafta boyunca kültüre alınmış ve eksplantlardan çoklu sürgün rejenerasyonları başarıyla sağlanmıştır. TDZ içeren MS ortamında *T. japonica* Flerov (Hoque ve ark., 2001), *Spartina alterniflora* (Wang ve ark., 2003), *L. gibba* var. Hurfeish ve *Spirodela punctata* 8717 (Li ve ark., 2004), *L. repens* (Öztürk ve ark., 2004), *B. monnieri* (Praveen ve ark., 2009), *I. aquatica* (Akaracharyana ve ark., 2011) gibi akuatik bitkilerin *in vitro* sürgün rejenerasyonları başarıyla sağlandığı bildirilmiştir. Genel olarak sürgün ucu eksplantları, boğum ekplantına göre daha yüksek sürgün rejenerasyon yüzdesine sahip çıkmış olup, sürgün rejenerasyon yüzdeleri sürgün ucu ve boğum eksplantlarında sırası ile %33,33-100,00 ve %27,77-100,00 arasında değişmiştir (Çizelge 4.6). Karataş ve ark. (2013b) *H. polysperma* bitkisini 0,10-1,60 mg/L TDZ içeren MS ortamında kültüre almış ve sürgün rejenerasyon yüzdesini %62,50-100,00 arasında tespit etmişlerdir. Dogan ve ark. (2015) *C. demersum*'un sürgün ucu, 1. ve 2. koltukaltı eksplantlarını 0,05-0,80 mg/L TDZ içeren MS ortamında kültüre almış ve sürgün rejenerasyon frekanslarını %85,00-100,00 arasında elde etmişlerdir.

En fazla eksplant başına sürgün sayısı sürgün ucu ve boğum eksplantlarında TDZ'nin en düşük oranda (0,25 mg/L) kullanıldığı MS ortamında belirlenirken, minimum eksplant başına sürgünler TDZ'nin en fazla oranda (1,25 mg/L) kullanıldığı MS ortamında tespit edilmiştir (Çizelge 4.6). Benzer şekilde, Lata ve ark. (2013) *Stevia rebaudiana* Bertoni'nin aksillar tomurcuklarını içeren nodal eksplantlarını 1,0-9,0 µM TDZ içeren besin ortamında kültüre almış ve en yüksek eksplant başına sürgün sayısını en düşük TDZ dozunda (1 µM) elde ettiklerini ifade etmişlerdir. Dogan ve ark. (2015) 0,05-0,80 mg/L TDZ içeren MS ortamında kültüre aldıkları *C. demersum*'un sürgün ucu, 1. ve 2. koltukaltı eksplantlarında en yüksek eksplant başına sürgün sayılarını, sürgün ucu eksplantlarında ve en düşük TDZ (0,05 mg/L) oranında elde ederken, 1. ve 2. koltukaltı eksplantlarında ise sırasıyla 0,40 mg/L ve 0,10 mg/L TDZ oranlarında elde etmişlerdir. Cheruvathur ve ark. (2010) *Malaxis acuminata* ile yürüttükleri çalışmada, bitkinin internodal eksplantlarını 1-4 mg/L TDZ + 0,5 mg/L NAA eklenmiş MS besin

ortamında kültüre almışlar ve eksplant başına maksimum sürgünleri 3,0 mg/L TDZ + 0,5 mg/L NAA eklenmiş kültür ortamında tespit etmişlerdir. Parveen ve Shahzad (2010) *Cassia sophera* Linn'nin kotiletonal nod eksplantını 0,1-1,0 µM TDZ içeren MS ortamında kültüre almış ve sürgün sayısının 2,5 µM TDZ içeren MS ortamına kadar arttığı ve bu orandan daha yüksek TDZ ortamında ise giderek azaldığı görülmüştür.

En uzun sürgünler sürgün ucu eksplantlarında 2,12 cm ile 0,50 mg/L TDZ içeren MS ortamında, boğum eksplantlarında ise 2,48 cm ile 0,25 mg/L TDZ içeren MS ortamında elde edilmiştir (Çizelge 4.6). Kültür ortamındaki yüksek TDZ konsantrasyonları, sürgün uzunluğunu olumsuz etkilemiş ve rejenere sürgünler kısa kalmıştır. Sonuç olarak, besin ortamındaki TDZ oranının artması, sürgün sayısını ve sürgün uzunluğunu azaltıcı etki yapmıştır. TDZ'nin sürgün uzunluğundaki engelleyici etkisi bilinen bir olgudur ve *Vaccinium visit-idaea* L. (Depnath, 2005), *Solanum tuberosum* L. cvs. (Sajid ve Aftab, 2009), *Zingiber officinale* Rosc. (Lincy ve Sasikumar, 2010) ve *S. rebaudiana* (Lata ve ark., 2013) gibi bitkilerde daha önce belirtilmiştir.

Farklı BAP (0,25-1,25 mg/L) ve NAA (0,25 mg/L) dozlarının *P. erectus*'un sürgün ucu ve boğum eksplantlarından sürgün rejenerasyonuna etkisi üzerine yaptığımız denemede bitkinin çoklu sürgün rejenerasyonları başarıyla sağlanmıştır. En fazla eksplant başına sürgün sayısı ve en uzun sürgünler her iki eksplant çeşidi için de en düşük BAP (0,25 mg/L) konsantrasyonunda elde edilirken, en az sayıda sürgünler ve en kısa sürgünler ise BAP'ın en yüksek konsantrasyonundaki (1,25 mg/L) eksplantlarda elde edilmiştir (Çizelge 4.7). Sonuçlar, her iki eksplanta da hormon miktarı arttıkça sürgün sayısının ve sürgün uzunluğunun azaldığını göstermiştir. Benzer şekilde, Sharma ve ark. (2007) kültür ortamlarındaki BAP konsantrasyonlarının artışının, *B.monnieri*'nin eksplant başına sürgün sayısına negatif etki yaptığını bildirmişlerdir. Buna karşın Karatas ve ark. (2014b) *C. demersum*'un sürgün ucu, 1. ve 2. koltukaltı meristem eksplantlarını 0,05-0,80 mg/L BAP içeren MS ortamında kültüre almış ve maksimum eksplant başına sürgün sayısını tüm eksplantlarda da en yüksek BAP dozunda (0,80 mg/L) elde ettiğini bildirmişlerdir. Fakat sürgün uzunluğu bakımından en kısa sürgünler ise tüm eksplantlarda BAP'ın en yüksek dozunda (0,80 mg/L) saptamışlardır. Yine Jo ve ark. (2008) *Alocasia amazonica* bitkisinde BAP konsantrasyonunun artışıyla eksplant başına sürgün sayısının arttığını tespit etmiştir. Bunların yanı sıra, BAP + NAA

kombinasyonunun çoklu sürgün rejenerasyonunda başarıyla kullanımı *Bupleurum distichophyllum* (Karuppusamy ve Pullaiah, 2007), *Musa sapientum* L. (Kalimuthu ve ark., 2007), *Clitoria ternatea* (Mohamed ve Taha, 2011) ve *B. monnieri* (Karatas ve ark., 2013a) bitkilerinde belirtilmiştir. Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere BAP konsantrasyonunun sürgün rejenerasyonu ve sürgün uzunluğu bakımından etkileri bitki türü ve eksplant çeşidine göre farklılık göstermektedir.

Sürgün rejenerasyon yüzdeleri değerlendirildiğinde her iki eksplant çeşidi için de kültür ortamlarında BAP konsantrasyonunun artması eksplantların rejenerasyon frekansı üzerinde olumsuz etki göstermiştir. En fazla eksplant başına sürgün sayısı ve sürgün uzunluğu BAP'ı en düşük oranda içeren (0,25 mg/L) MS besin ortamındaki eksplantlarda elde edilirken, en az sürgün sayısı ve en kısa sürgünler BAP'ı en yüksek oranda (1,25 mg/L) içeren MS besin ortamındaki eksplantlarda elde edilmiştir (Çizelge 4.7). Yani, NAA konsantrasyonuna bağlı kalımsızın, kültür ortamlardaki BAP konsantrasyonunun artması, eksplantlardan çıkan sürgünler üzerinde negatif etki göstermiştir. Karatas ve ark. (2013a) *B. monnieri*'nin internodal eksplantlarını farklı dozlarda BAP (0,25-1,00 mg/L) ve NAA (0,25-1,00 mg/L) kombinasyonlarını içeren MS ortamında kültüre almış ve ortamdaki NAA oranının artışıyla eksplant başına sürgün sayısında azalmayı tespit etmişlerdir. *Citrullus colocynthis* (Linn.) Schrad bitkisinin sürgün ucu eksplantları 0,5-3,0 mg/L BAP + 0,5-3,0 mg/L NAA kombinasyonunda kültüre alınmış ve maksimum sürgün sayısı 1,5 mg/L BAP + 1,5 mg/L NAA ortamında belirlenmiştir (Meena ve ark., 2010). Yusuf ve ark. (2011) *Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf. Kulturpfl.'nin sürgün tomurcuklarını 0,5-5,0 mg/L BAP ve 0,5 mg/L NAA eklenmiş MS besin ortamına aktarmış ve eksplant başına maksimum sürgün sayısını 2,0 mg/L BAP + 0,5 mg/L NAA eklenmiş MS besin ortamında elde etmişlerdir. Araştırma bulgularımıza göre sürgün sayısı bakımından eksplantlar incelendiğinde, tüm kültür ortamlarında sürgün ucu eksplantının boğum eksplantından daha fazla rejenerasyon sürgün verdiği tespit edilmiştir.

Işık enerjisi bitkilerin sağlıklı ve verimli üretimi için oldukça önemlidir. LED aydınlatma sistemleri mevcut sistemlere göre spesifik dalga boyu, dayanıklılık, küçük boyutlu, uzun çalışma ömrü, nispeten az ısınan (serin) ve spektral kompozisyonu kontrol etme gibi birçok önemli avantaja sahiptir (Gupta ve Jatothu, 2013). Ayrıca LED

tabanlı ışık kaynakları, fizyolojik reaksiyonları tetikleyerek bitki hücresi, doku ve organ kültürlerinin büyüme ve gelişmesini kontrol etme imkanı sunabilir (Briggs ve Olney 2001; Kurilcik ve ark., 2008). Geleneksel aydınlatma sistemlerine kıyasla daha fazla teknik avantajlara sahip LED ışık kaynakları *in vitro* bitki üretimi için umut verici bir teknoloji haline gelmiştir. Bu amaçla *P. erectus*'un sürgün ucu eksplantları 0,25, 0,50 ve 0,75 mg/L BAP içeren MS ortamında ve *C. demersum* bitkisinin sürgün ucu eksplantları 0,50, 0,75 ve 1,00 mg/L BAP içeren MS ortamında sekiz hafta boyunca LED ışıkları altında kültüre alınmış ve LED ışıklarının çoklu üretimde etkinliği tespit edilmiştir. LED ışık sistemlerinin *in vitro* üretimde etkin kullanımı *B. ochracea* (Godo ve ark., 2011), *G. hirsutum* (Li ve ark., 2010), *P. vietnamensis* (Nhut ve ark., 2015) ve *B. monnieri* (Katatas ve ark., 2016) gibi bitkilerde de belirtilmiştir.

P. erectus ve *C. demersum* için her üç hormon oranında da en fazla sürgün sayısı kırmızı ve mavi LED ışıklarının kombinasyonu altındaki eksplantlardan elde edilmiştir (Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.14). Sürgün sayısı bakımından en etkili LED ışık kombinasyonu 2K:1M LED ışık olarak tespit edilmiş olup, en düşük sürgün sayıları ise mavi LED ışıkları altında elde edilmiştir. Buna karşın Dazkırılı (2016) ve Karatas ve ark. (2016) *B. monnieri*'nin yaprak eksplantlarını 4K:1M, 3K:1M, 2K:1M, 1K:1M ve beyaz LED ışıkları altında kültüre almış ve en yüksek sürgün sayılarını beyaz LED ışık altında tespit etmişlerdir. Wongnok ve ark. (2008) *Phalaenopsis* hibrid tohumları ile yürüttüğü çalışmada en iyi bitki tohum çimlenmesi ve mikroçoğaltımını %80 kırmızı + %20 mavi LED ışıkları altında elde etmişlerdir.

Genel olarak, ışıkların kombinasyonu şeklinde kullanılan kültür ortamlarında, ışıkların tek kullanıldığı kültür ortamlarına göre daha düşük sayıda sürgünler elde edilmiştir. *P. erectus*'da LED ışıkların kombinasyon şeklinde kullanıldığı MS ortamlarında sürgün rejenerasyonu için en etkili ışıklar 2K:1M LED > 1K:1M LED > 3K:1M LED > 4K:1M LED olarak (Çizelge 4.10), *C. demersum* bitkisinde ise 2K:1M LED > 3K:1M LED > 4K:1M LED > 1K:1M LED olarak sıralanmıştır (Çizelge 4.14). Ayrıca LED ışıklar flouresan ışığa göre daha etkili bulunmuştur. LED ışıklar içerisinde de en etkili ışıklar, kırmızı ve mavi LED ışıkların kombinasyonu olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Gupta ve Jatothu, (2013) kırmızı ve mavi LED ışıklarının tek veya kombinasyon şeklinde kullanılmasının bitki büyüme ve gelişimini olumlu etkilediğini belirtmiştir.

Kırmızı ve mavi LED ışık karışımının tek renkli LED ışıklara göre bitki gelişimini artırdığı birçok araştırmacı tarafından ortaya konulmuştur (Lian ve ark., 2002; Duong ve ark., 2003; Poudel ve ark., 2008; Shin ve ark., 2008).

5.2. *C. demersum* ve *P. erectus* ile Fitoremediasyon Çalışmaları

C. demersum ve *P. erectus* bitkileri Cd, Cr ve Pb'nin farklı konsantrasyonlarına 5 gün süre ile maruz bırakılmış ve EC₅₀ değeri EPA probit analiz metodu ile istatistiksel olarak tespit edilmiştir. *C. demersum* için EC₅₀ değerleri Cd için 1,403 mg/L (1,018-1,864), Cr için 8,473 mg/L (6,198 - 11,667) ve Pb için 78,349 mg/L (49,622-112,981) olarak bulunmuştur (Çizelge 4.15). *P. erectus*'un EC₅₀ değerleri Cd için 0,879 mg/L (0,590 - 1,252), Cr için 1,120 mg/L (0,729 - 1,646) ve Pb için 1,727 mg/L (1,144 - 2,653) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16). Bu sonuçlara göre *C. demersum* ve *P. erectus* için en toksik ağır metaller sırasıyla Cd > Cr > Pb olarak tespit edilmiştir. Ayrıca *C. demersum* için EC₅₀ değerleri tüm metallerde *P. erectus*'dan yüksek bulunmuştur. Bu da *C. demersum* bitkisinin Cd, Cr ve Pb toksisitesi altındaki su ortamında *P. erectus*'dan daha dayanıklı olduğunu göstermektedir. Üçüncü (2011) *L. minor* bitkisini 48 saat süre ile Cu, Pb ve Cr etkisinde bırakmış ve EC₅₀ degerlerini Cu için 4,359 mg/L, Pb için 0,875 mg/L ve Cr için 10,946 mg/L olarak tespit etmiştir. Bu sonuçlar kurşunun, bakır ve kroma göre *L. minor* üzerinde daha toksik olduğunu göstermiştir.

C. demerum ve *P. erectus* bitkilerinden 5'er g alınarak farklı süre ve konsantrasyonlarda Cd, Cr ve Pb bulunan su ortamlarına yerleştirilmiştir. Fitoremediasyon çalışmalarında kullanılan bitki ağırlıkları birçok çalışmada farklılık göstermektedir. Örneğin, *C. demerum* için Devi ve Prasad, (1998) 1 g, Mishra ve ark. (2008) 2 g, Duman ve Koca, (2014) 4 g, El-Khatib ve ark. (2014) 5 g ve Chen ve ark. (2015) 8 g olarak çalışmıştır.

C. demersum, içerisinde 0,5-2 mg/L Cd, 3-12 mg/L Cr ve 25-100 mg/L Pb bulunan su ortamlarında 1, 3 ve 5 gün süre ile muamele edilmiş ve bitkideki Cd, Cr ve Pb içerikleri belirlenmiştir. Ayrıca bitkiler kontrol amaçlı ağır metal içermeyen su ortamında da bekletilmiştir. *C. demersum*'un ortamındaki ağır metalleri yüksek oranda akümüle ettikleri tespit edilmiştir. Yüksek ağır metal akümülyasyonuna, bitkinin ağır metali hücre

duvarına bağlaması veya diğer GSH, PCs gibi ligantlara bağlaması sağlamış olabilir. Çünkü daha önceki çalışmalar ağır metallerin bitkinin hücre duvarı veya vaküollerine bağlı formda kaldığını göstermiştir (Mishra ve ark., 2006). Ayrıca Cd, Cr veya Pb'nin akümüasyonu *L. minor* (Uysal ve Taner, 2009), *N. indica* (Singh ve ark., 2010), *E. pyramidalis*, *E. crassipes*, *M. spicatum*, *C. demersum*, *P. australis* ve *T. domingensis* (Fawzy ve ark., 2012) gibi su bitkilerinde daha önce açıklanmıştır.

Her üç metalde de uygulama süresi ve uygulanan konsantrasyon arttıkça bitkide tespit edilen Cd, Cr ve Pb konsantrasyonu da artış göstermiştir (Şekil 4.11). Yani tüm metal uygulamalarında en yüksek metal birikimi Cd, Cr ve Pb'nin en yüksek konsantrasyonlarında ve 5 gün sonunda elde edilmiştir. Bu durum bize bitkinin ilgili ağır metalleri akümü etme yeteneklerinin yüksek olduğunu göstermektedir. Al-Ubaidy ve Rasheed (2015) *C. demersum*'u kullanarak su ortamından kadmiyumun uzaklaştırılmasını çalışmışlardır. Kadmiyuma 3, 6, 9 gün boyunca maruz bırakılan bitkilerin hızlı bir şekilde kadmiyumu absorbe ettiği ve zamanla da absorbe edilen Cd miktarında artış olduğunu görmüşlerdir. Chen ve ark. (2015) kurşunun farklı konsantrasyonlarında (5-80 µM) 7, 14 ve 21 gün boyunca maruz bırakılan *C. demersum*'un biyoakümüasyon potansiyelini araştırmışlardır. Pb akümüasyonu, uygulanan Pb konsantrasyonuna bağlı olarak artış göstermiş ve maksimum akümüasyon 4016,4 mg/kg k.a. olarak saptanmıştır. Duman ve ark. (2010) *C. demersum* bitkilerini 6 gün boyunca 1, 5 ve 10 mM kroma maruz bırakmış ve *C. demersum*'un önemli miktarda kromu akümü ettiğini ve maksimum Cr içeriğininin 10 mM Cr uygulamasında elde edildiğini ifade etmişlerdir. Matache ve ark. (2013) *P. pectinatus*, *P. lucens*, *P. perfoliatus* ve *C. demersum*'un Cu, Cd, Pb ve Zn ağır metallerini absorblama yeteneklerini incelemiş ve en yüksek ağır metal içeriği *C. demersum* için tespit etmiş olup, Cd için 3,52 µg/g, Cu için 22,71 µg/g, Pb için 20,06 µg/g ve Zn için 104,23 µg/g olarak bildirmiştir. *Potamogeton* türleri arasında ise en yüksek ağır metal oranları *P. perfoliatus*'da Cd için 1,88 µg/g, Cu için 13,14 µg/g, Pb için 13,32 µg/g ve Zn için 57,96 µg/g olarak elde etmişlerdir.

In vitro koşullarda üretilen *P. erectus* ile yapılan fitoremediasyon çalışmalarında bitkiler 0,2-1,6 mg/L Cd, 0,4-3,2 mg/L Cr ve 0,4-3,2 mg/L Pb konsantrasyonlarında 1, 3 ve 5 gün süre ile muamele edilmiş ve bitkideki Cd, Cr ve Pb içerikleri belirlenmiştir.

Bitkilere uygulanan metal konsantrasyonları, bitkinin metal akümüle etme özelliğini etkilemiştir ($p < 0,05$). Daha önceki çalışmalar bitkide tespit edilen ağır metal içeriği ile bitkiye uygulanan ağır metal içeriği arasında ilişki olduğunu göstermiştir (Devi ve Prasad, 1998; Mishra ve ark., 2009; Duman ve Koca, 2014). Bitkinin maruz kaldığı metal konsantrasyonu ve süresi arttıkça bitkide tespit edilen metal içeriği de artmıştır. Araştırma bulgularımıza göre *P. erectus*'un düşük konsantrasyonlarda Cd, Cr ve Pb'nu su ortamından uzaklaştırmada etkin kullanılabileceği görülmüştür (Şekil 4.12). Delmail ve ark. (2013) nehir ekosisteminde biyomonitör olarak kullanılan *M. alterniflorum*'un *in vitro* koşullarda üretimi ve ardından ağır metallerle kirlenmiş su bölgelerinin iyileştirilmesi üzerine yaptıkları çalışmada *M. alterniflorum*'un Cd ve Cu biyoabsorpsiyon kapasitesinin yüksek olduğunu tespit etmiştir. Shafi ve ark. (2015) *A. pinnata*'yı 4 mg/L konsantrasyonlarındaki (Cu) CuSO_4 , (Pb) PbNO_3 , (Cr) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, (Cd) CdNO_3 ve (Zn) ZnSO_4 ağır metallerine 10 gün boyunca maruz bırakılmış ve *A. pinnata*'nın akümülyasyon özelliklerine açısından göl ekosisteminde fitoremediasyon amacıyla kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

5.3. *C. demersum* ve *P. erectus*'un Biyokonsantrasyon Faktörü (BKF)

Biyokonsantrasyon faktörü (BKF) bitkiye uygulanan metal konsantrasyonunun bitki tarafından akümüle edilme yeteneklerinin bir göstergesidir (Kara ve Zeytinluoglu, 2007). Farklı günlerde (1, 3 ve 5 gün) artan oranlarda Cd (0,5-2 mg/L), Cr (3-12 mg/L) ve Pb (25-100 mg/L) etkisinde bırakılan *C. demersum* bitkisindeki BKF değerleri hesaplanmıştır. Cd uygulamasında en yüksek BKF değeri 5 gün sonunda 1 mg/L Cd uygulamasında tespit edilmiştir (Şekil 4.13). Cr ve Pb uygulamasında ise en yüksek BKF değeri 5 gün sonunda sırasıyla 3 mg/L Cr ve 25 mg/L Pb uygulamasında elde edilmiştir (Şekil 4.13). Uygulama periyotları kıyaslandığında en yüksek BKF değerleri her üç metal içinde $5 > 3 > 1$ gün olarak belirlenmiştir. *C. demersum* bitkisinde uygulanan metal çeşitleri kıyaslandığında en yüksek BKF değeri $\text{Cd} > \text{Cr} > \text{Pb}$ olarak sıralanmıştır. Uygulanan metal konsantrasyonları açısından değerlendirildiğinde ise artan Cd uygulaması ile BKF değeri 1 mg/L'ye kadar artış göstermiş, daha yüksek Cd uygulamaları ile de azalmıştır. Buna karşın, Cr ve Pb uygulamasında bitkilere uygulanan metal derişimi arttıkça bitkide hesaplanan BKF değeri gittikçe azalmıştır. Buradan da anlaşılacağı gibi BKF değeri üzerine uygulama süresinin ve uygulanan

metal konsantrasyonunun önemli etkisi olmuştur. Benzer şekilde, Bunluesin ve ark. (2004) farklı Cd toksisitesi (0,1-10,0 mg/L) altındaki *C. demersum*'un BKF üzerine yaptıkları çalışmada en yüksek BKF değerinin uygulanan Cd konsantrasyonu ile azaldığını ifade etmiştir. Kastratović ve ark. (2014) *C. demersum* bitkisinin Cd, Cr ve Pb etkisindeki BKF değerlerinin mevsimsel değişimini hesaplamış ve en yüksek BKF değerini bahar mevsiminde tespit etmiştir.

0,2-1,6 mg/L Cd, 0,4-3,2 mg/L Cr ve 0,4-3,2 mg/L Pb derişimlerinde 1, 3 ve 5 gün süre ile muamele edilen *P. erectus*'un BKF değerleri belirlenmiştir (Şekil 4.14). Genel olarak tüm metal konsantrasyonlarında en düşük BKF değerleri 1 günlük uygulamada, en yüksek BKF değerleri ise 5 günlük uygulamada bulunmuştur. Cd uygulamasında en yüksek BKF değeri tüm uygulama periyotlarında da 0,8 mg/L Cd uygulamasında tespit edilmiştir. Cr uygulamasında en yüksek BKF değeri 5 gün sonunda 0,4 mg/L Cr uygulamasında, Pb uygulamasında ise 5 gün sonunda 3,2 mg/L Pb uygulamasında elde edilmiştir. Genel olarak kadmiyum ve kromda bitkiye uygulanan metal konsantrasyonu arttıkça hesaplanan BKF değeri azalmıştır (Şekil 4.14). Buna karşın Pb uygulamasında ise ortamdaki Pb derişimi arttıkça hesaplanan BKF değeri artmıştır. Her üç metal çeşidinde de *P. erectus*'da hesaplanan BKF değerleri, *C. demersum*'da hesaplanan BKF değerlerinden daha yüksek bulunmuştur. Buradanda anlaşılacağı üzere bitkilerin BKF değerleri bitki çeşitidine, uygulanan metal konsantrasyonuna ve süresine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bitkilerin metal akümülyasyon seviyeleri, maruz kaldıkları konsantrasyonlarına göre farklılık gösterdiği daha önce de bazı araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir (Rai ve Chandra, 1992; Lu ve ark., 2004; Christian ve ark., 2010). Abdallah (2012) genelde sudaki metal konsantrasyonu arttıkça, bitkideki metal akümülyasyonu artış gösterdiğini, buna karşın BKF değerinin azaldığını açıklamıştır. Das ve ark. (2016) *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms bitkilerine uygulanan Cd konsantrasyonu (5-20 mg/L) ve uygulama süresi (0-21 gün) ile birlikte BKF değerlerinin genel olarak azaldığını belirtmişlerdir. Kara ve Zeytinluoglu, (2007) *Groenlandia densa* (L.) Four'yı 1,0-7,0 mg/L Cd toksisitesi altında 1-4 gün süre ile bekletmiş ve BKF değerlerinin aynı konsantrasyon içerisinde uygulanan süreye göre artış gösterdiğini, artan Cd konsantrasyonu ile BKF değerlerinin azalış gösterdiğini ifade etmişlerdir.

5.4. *C. demersum* ve *P. erectus*'un Taze ve Kuru Ağırlıkları

C. demersum farklı konsantrasyonlarda Cd, Cr ve Pb etkisinde 1, 3 ve 5 gün boyunca maruz bırakılmış ve ardından taze ağırlıkları tespit edilmiştir (Şekil 4.15). Cd uygulamasında taze ağırlıkta kontrole göre en yüksek düşüş 5 gün sonunda %3,87 ile 0,5 mg/L Cd konsantrasyonunda bulunan bitkilerde elde edilmiştir. Cr uygulamasında ise kontrole göre en düşük taze ağırlık %9.14 azalış ile 12 mg/L Cr uygulamasında ve 5 gün sonunda tespit edilmiştir. Cr uygulamasında artan Cr konsantrasyonu ile beraber taze ağırlıklar da azalış görülmüştür. Pb uygulamasında en yüksek taze ağırlık azalışı ise %6,27 ile 1 gün sonunda 100 mg/L Pb ortamındaki bitkilerde belirlenmiştir. Mishra ve ark. (2006) 1-100 mg/L Pb etkisinde *C. demersum* bitkilerini 1-7 gün süresince bekletmiş ve kontrole göre taze ağırlıklarında en fazla azalışı 7 gün sonunda 100 mg/L Pb içeren ortamında elde etmişlerdir. Chen ve ark. (2015) 7-21 gün süresince Pb (5-80 mg/L) etkisinde beklettikleri *C. demersum*'un taze ağırlıklarının artan Pb derişimi ve uygulama süresi ile azaldığını açıklamışlardır.

Farklı sürelerde Cd, Cr ve Pb toksisitesi altındaki *P. erectus*'un taze ağırlıkları incelenmiştir. Tüm metal uygulamalarında en yüksek taze ağırlıklar kontrol grubunda tespit edilmiştir (Şekil 4.17). Cd uygulamasında en düşük taze ağırlıklar 1 ve 3 gün sonunda 0,2 mg/L Cd uygulamasında bulunmuştur. 5 gün uygulamasında ise en düşük taze ağırlık 1,6 mg/L Cd uygulamasında saptanmıştır. Ayrıca 1 ve 3 gün süreli Cd etkisinde, uygulanan metal konsantrasyonuna bağlı olarak bitkilerin taze ağırlıklarında artışlar görülürken, 5 gün uygulamasında ise artan metal konsantrasyonuna bağlı olarak taze ağırlıklarında azalış görülmüştür (Şekil 4.17). Cr uygulamasında en fazla taze ağırlık 3 gün sonunda 4,82 g ile 0,4 mg/L Cr uygulanan bitkilerde, en az taze ağırlık yine 3 gün sonunda 4,43 g ile 3,2 mg/L Cr uygulanan bitkilerde belirlenmiştir. Pb uygulamasında ise kontrole kıyasla taze ağırlıkta en fazla düşüş 3 gün sonunda %17,64 ile 0,8 mg/L Pb içeren ortamdaki bitkilerde elde edilmiştir. Dresler ve ark. (2014) *Zea mays* bitkilerini farklı derişimlerde (50 ve 100 mg/L) Cd etkisinde bekletmiş ve 100 mg/L Cd uygulamasındaki bitkilerin sürgün ve taze kök ağırlığının ciddi oranda düştüğünü bildirmişlerdir. Ali ve ark. (2013b) *Brassica napus* L. bitkisini 5-aminolevulinik asit (ALA) ve Cd etkisinde bekletmiş ve artan Cd toksisitesi ile bitkilerin taze ağırlıklarında azalmayı tespit etmişlerdir. Piotrowska ve ark. (2009) 7 ve

14 gün boyunca 1-1000 µM Pb etkisinde bıraktıkları *Wolffia arrhiza*'nın en düşük taze ağırlıklarını 14 gün boyunca 1000 µM Pb uygulanan bitkilerde saptamışlardır.

C. demersum'un 1, 3 ve 5 gün boyunca Cd, Cr ve Pb etkisindeki kuru ağırlıkları araştırılmıştır (Şekil 4.16). Kadmiyumun farklı konsantrasyonlarında en yüksek kuru ağırlıklar 5 gün sonundaki bitkilerde ve 2 mg/L Cd uygulamasında görülmüştür. Cr uygulamasında ise en yüksek kuru ağırlıklar kromu 12 mg/L içeren ortamdaki bitkiler hariç diğer Cr konsantrasyonlarındaki bitkilerde ve 5 gün sonunda bulunmuş olup, en yüksek kuru ağırlık kromun en düşük oranda kullanıldığı (3 mg/L) ortamdaki bitkilerde tespit edilmiştir (Şekil 4.16). Pb uygulamasında ise 1 ve 3 gün sonunda uygulanan Pb derişimi arttıkça bitkinin kuru ağırlıkları artış gösterirken, 5 gün sonunda 75 mg/L Pb'ye kadar azalış, ardından 100 mg/L Pb uygulamasında tekrar artış göstermiştir. En yüksek kuru ağırlık Pb'nin en düşük oranda kullanıldığı (25 mg/L) ortamdaki bitkilerde tespit edilmiştir. Ornes ve Sajwan, (1993) *C. demersum*'u 0,01-1,03 mg/L Cd etkisinde 5 hafta boyunca bekletmiş ve ardından kuru ağırlıklarını tartmıştır. 1 hafta boyunca 1,03 µg Cd/ml uygulamasında bitkinin kuru ağırlıklarında artış olurken, 5 hafta uygulamasında doğru bitkinin kuru ağırlıklarında azalmalar görülmüştür.

Cd, Cr ve Pb toksisitesi altındaki bırakılan *P. erectus*'un kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Cd uygulamasında 1 gün sonunda Cd konsantrasyonlarında artış ile kuru ağırlıklarda artış olurken, 5 gün sonunda ise Cd konsantrasyonunun artışıyla beraber kuru ağırlıklarında azalış tespit edilmiştir (Şekil 4.18). 3 gün sonunda ise 0,4 mg/L Cd konsantrasyonuna kadar artış, ardından Cd konsantrasyonunun artışıyla beraber azalış görülmüştür. Cr uygulamasında en yüksek kuru ağırlık 1 gün sonunda kromun en yüksek oranda kullanıldığı ortamdaki bitkilerde belirlenmiştir. Pb uygulamasında ise en yüksek kuru ağırlık 1 gün sonunda kurşunun 0,8 mg/L oranında kullanıldığı ortamlardaki bitkilerde bulunmuştur. Das ve ark. (2016) 5-20 mg/L Cd etkisi altında 21 gün bekletilen *E. crassipe* bitkilerin kuru ağırlıklarını incelemiş ve kontrole göre kuru ağırlıklarda ciddi oranda azalışlar görmüşlerdir. Biyokütledeki bu azalma lipid peroksidasyonu, fotosentezin baskılanması, protein içeriğinde azalma, serbest amino asitin konsantrasyonu ve kompozisyonunda değişme ve karbonhidrat metabolizmasında bozulma gibi ağır metal kaynaklı fizyolojik zararlardan kaynaklanabilir (Moya ve ark., 1993; Alfadul ve Al-Fredan, 2013).

Sonuç olarak, *C. demersum* ve *P. erectus* bitkilerinin ağır metal etkisi altında taze ve kuru ağırlıklara verdikleri tepkiler farklılık göstermiştir. Toksikite, metalden metale değişebildiği gibi, bitkinin türüne göre de değişebilmektedir. Olumlu veya olumsuz (toksik) etkiler yalnızca ağır metal çeşidi, derişimi ve uygulama süresine bağlı olmayıp değişik bitki türlerinin genetik esaslı fizyolojik davranışları ile de ilgilidir (Öktüren Asri ve Sönmez, 2006).

5.5. *C. demersum* ve *P. erectus* 'un Fotosentetik Pigment Tayini

1, 3 ve 5 gün boyunca farklı konsantrasyonlarda Cd, Cr ve Pb etkisinde bırakılan *C. demersum* ve *P. erectus* bitkilerinde klorofil *a*, *b*, toplam klorofil ve karotenoit içeriği üzerine araştırılmıştır. Her iki bitki çeşitinde de uygulanan ağır metal konsantrasyonu ve süreye bağlı olarak fotosentetik pigment içerikleri azalış göstermiştir. *C. demersum* 'un fotosentetik pigment içeriklerine bakıldığında kadmiyumdan oldukça fazla etkilendiği anlaşılmıştır (Şekil 4.19). Cd konsantrasyonunda artışlar büyümede geriliğe, yapraklarda sararmalara, kloroplast yapısında bozulmaya ve sonunda bitki ölümüne sebep olabilir. Fotosentetik olaylar ve fotosentetik pigmentler Cd iyonlarından direk etkilenir ve bu da solunum sürecinde ve karbon kullanımında azalmayla sonuçlanır (Ali ve ark., 2013b). Yüksek Cd konsantrasyonunun klorofil biyosentezini bozmasının en büyük sebebi klorofil biyosentezinde görev alan protoklorofil reduktaz ile aminolevulinik asit sentezini engellemesidir. Bunların yanında ağır metaller serbest radikal oluşturarak tilakoid membran lipitlerinin oksidatif yıkımına neden olmakta ve böyle durumlarda ise klorofil yıkımının arttığı ve sentezinin engellendiği bilinmektedir (Öktüren Asri ve Sönmez, 2006).

Cr uygulaması bakımından *C. demersum* ve *P. erectus* bitkilerinin kontrole göre en yüksek azalışları 5 gün sonunda kromun en yüksek uygulamasında sırasıyla kloroifl *a* için %65,74 ve %66,11, kontrol *b* için %78,32 ve %70,02, toplam klorofil için %69,07 ve %66,94 ve karotenoit için %60,03 ve %62,54 olarak bulunmuştur (Şekil 4.20 ve Şekil 4.23). Sonuçta, Cr toksisitesi ile bitkilerde klorofil içerikleri önemli düşüş göstermiştir. Koca (2012), *C. demersum* 'u farklı konsantrasyonlarda Cr bulunan (1-10 mM) su ortamında farklı sürelerde (1, 2, 4 ve 7 gün) bekletmiş ve fotosentetik pigment (klorofil *a*, *b* ve karotenoit) içeriklerinin hem süre hem de konsantrasyonun ile önemli

oranda azaldığını belirlemişlerdir. Bu azalmanın nedenini ise demir (Fe) içeriğindeki azalma, klorofil biyosentezinde görevli enzimlerin inaktivasyonu ve klorofil molekülünde bulunan Mg'un Cr ile yer değiştirmesi nedeniyle olabileceğini öne sürülmüştür. Nath ve ark. (2005) *Raphanus sativus* L.'yı 2-10 mg/L Cr etkisinde 10 ve 20 gün bekletmiş ve uygulanan Cr konsantrasyonu ve süresiyle klorofil *a* ve klorofil *b* içeriğinde azalmayı raporlamışlardır.

C. demersum ve *P. erectus* artan Pb konsantrasyonu ve süresi ile birlikte klorofil *a*, *b* ve karotenoit içeriklerinde azalma görülmüştür. Kontrole göre en yüksek azalışlar 5 gün sonunda kurşunun en yüksek uygulamasında sırasıyla klorofil *a* için %59,98 ve %49,37, kontrol *b* için %71,97 ve %63,00, toplam klorofil için %53,18 ve %51,07 ve karotenoit için %53,18 ve %44,96 olarak bulunmuştur (Şekil 4.21 ve Şekil 4.24). Benzer şekilde El-Khatib ve ark. (2014) *C. demersum* ve *M. spicatum* 1-7 gün boyunca kurşunun değişen konsantrasyonlarına (25-75 mg/L) maruz bırakmış ve düşük klorofil içeriklerini her iki bitki türünde de 7 gün uygulamasında tespit etmişlerdir. Pb toksisitesi bitkilerde kloroplast yapısının bozulması, Calvin döngüsündeki enzimleri ve fotosentetik pigmentlerin sentezini inhibe etmesi gibi etmenlerle fotosentezi olumsuz etkiler (Mishra ve ark., 2006). Pb etkisinde klorofil içeriğindeki azalma, D-aminolevulinik asit dehidrataz (ALAD) enziminin inhibisyonuna bağlı olarak klorofil sentezinin azalmasından (Prasad ve Prasad,1987), *C. demersum*'da bulunan grana ve stromayı içeren kloroplastlar zarar vermesinden (Rebechini ve Hanzely, 1974), Mn ve Fe gibi esansiyel elementlerin alımının etkilenmesinden, artan klorofilaz aktivitesi ile klorofillerin parçalanmasından (Sharma ve Dubey, 2005) kaynaklanabilir.

P. erectus'a kıyasla *C. demersum*'un fotosentetik pigment içeriğinde kontrole göre daha fazla azalma belirlenmiştir. Bitkilere uygulanan Pb derişimlerinin farklı olması böylesi bir sonucu ortaya çıkarmış olabilir. Çünkü *P. erectus* 0,4-3,2 mg/L Pb etkisinde bırakılırken, *C. demersum* bitkileri 25-100 mg/L Pb etkisinde bırakılmıştır. El-Khatib ve ark. (2014) *C. demersum* ve *M. spicatum* bitkilerinin Pb stresi altındaki durumlarını incelemiş ve *M. spicatum*'un kontrole göre klorofil *a* ve klorofil *b* içeriklerinde daha yüksek azalmaları tespit etmişlerdir.

5.6. *C. demersum* ve *P. erectus*'un Protein İçerikleri

Bu çalışmada, *C. demersum* ve *P. erectus* bitkileri 1, 3 ve 5 gün süresince Cd, Cr ve Pb'nin farklı konsantrasyonlarına maruz bırakılmış ve bitkinin protein içerikleri analiz edilmiştir. Genel olarak bitkilere uygulanan ağır metal konsantrasyonu ve uygulama süresi arttıkça bitkide tespit edilen protein içerikleri de azalış göstermiştir (Şekil 4.25 ve Şekil 4.26). Bu bakımdan kontrole göre protein içeriğinde en yüksek azalmalar 5 gün sonunda Cd, Cr ve Pb'nin en yüksek dozunda görülmüştür. Bu düşüşün sebebi ROS (reaktif oksijen türleri) miktarının artışı ile birçok proteinin zarar görmesi ve ağır metal toksisitesi ile birlikte aktif hale geçen proteaz veya diğer katabolik enzimler ile proteinlerin parçalanması ile ilgili olabilir (Koca, 2012). Ayrıca bitki içerisinde hareket eden veya yer değiştiren ağır metaller, enzimlerin aktif haldeki sülfhidril gruplarına bağlanarak onları inaktive edebilir. Bu sebeple de protein üretim sistemi olumsuz etkilenebilir (Duman ve ark., 2010).

Bunun yanı sıra *C. demersum* ve *P. erectus* bitkilerinde düşük orandaki Cd, Cr ve Pb etkisinde ve kısa sürelerde protein içeriğinde kontrole göre artışlar belirlenirken, uygulanan metal içeriği ve uygulama süresi arttıkça protein içeriğinde azalmalar görülmüştür (Şekil 4.25 ve Şekil 4.26). Metal stresi altında bitkilerde stres proteinlerinin induksiyonu ile birlikte kısa süreli protein artışı görülebileceği bildirilmiştir (Srivastava ve ark., 2005). Bu stres proteinlerine çeşitli antioksidant enzimler, GSH ve PC biyosentezinde görevli enzimler ve bazı ısı şok proteinleri sayılabilir (El-Khatib ve ark., 2014). Benzer şekilde, Mishra ve ark. (2008) 1-10 mg/L Cd etkisinde 1-7 gün bıraktıkları *C. demersum*'da kısa sürelerde (1 ve 2 gün) ve düşük konsantrasyonlarda (1 ve 5 mg/L) Cd uygulamasında protein içeriğinin arttığını ve yüksek Cd konsantrasyonlarında ve uzun sürelerde ise protein içeriğinin azaldığını tespit etmişlerdir. Yine Sinha ve ark. (2005), *P. stratiotes*'e 48, 96 ve 144 saat süre ile farklı derişimlerde Cr (10-160 µM) uygulamış ve bitkide tespit edilen protein içeriklerinin belirli bir Cr derişimine kadar arttığını ve fazla Cr uygulamasında ise azaldığını açıklamışlardır. Yüksek konsantrasyonlarda metal stresi altında protein içeriğinde azalmalar daha önce *C. demersum* (Mishra ve ark., 2006; Chen ve ark., 2015), *N. indica* (Singh ve ark., 2010) ve *W. arrhiza* (Piotrowska ve ark., 2009) bitkilerinde belirtilmiştir.

5.7. *C. demersum* ve *P. erectus*'un Lipit Peroksidasyonunun Belirlenmesi

Cd, Cr ve Pb etkisinde 1, 3 ve 5 gün boyunca bekletilen *C. demersum* ve *P. erectus* bitkilerinin lipit peroksidasyonunu belirlemek için malondialdehit (MDA) içeriği analiz edilmiştir (Şekil 4.27 ve Şekil 4.28). Cd uygulamasında *C. demersum* için en yüksek MDA içeriği 2 mg/L Cd uygulamasında kontrole göre %67,27 artış ile bulunurken, *P. erectus* uygulamasında ise 1,6 mg/L Cd uygulamasında kontrole göre %127,89 artış ile tespit edilmiştir. Uygulanan metal konsantrasyonu ve uygulama süresi arttıkça bitkilerde belirlenen MDA içerikleri de artmıştır. Genel olarak en yüksek MDA içerikleri 5 gün sonunda elde edilmiştir. Benzer şekilde Kumar ve Prasad (2004) farklı konsantrasyonlarda Cd (2,5-10,0 µM) etkisinde 2-8 gün bekletilen *C. demersum*'un MDA içeriklerinin artan Cd konsantrasyonu ve süresi ile arttığını, en yüksek MDA içeriğinin ise 10 µM Cd ortamında 8 gün sonunda tespit edildiğini bildirmişlerdir. Hou ve ark. (2007) Cd toksisitesi altındaki *L. minor* bitkisinin MDA içeriklerini, uygulanan kadmiyumun artışıyla arttığını saptamışlardır. Li ve ark. (2015) Cd stresi altındaki *Arachis hypogaea* L. bitkisinde MDA içeriğini kontrole göre yüksek bulunduğunu açıklamışlardır.

Cr uygulamasında *C. demersum* için en yüksek MDA içerikleri 12 mg/L Cr ortamındaki bitkilerde kontrole göre %58,23 artış ile elde edilmiş olup (Şekil 4.27), *P. erectus* uygulamasında ise 3,2 mg/L Cr uygulamasında %162,59 artış ile belirlenmiştir (Şekil 4.28). Benzer şekilde Duman ve Koca, (2014) *C. demersum* bitkisini 1-10 mM Cr etkisinde 1-7 gün süre ile bırakmış ve bitkinin MDA içeriğini artan Cr derişimi ve uygulama süresi ile arttığını ifade etmişlerdir. Gill ve ark. (2015) *Brassica napus*'un dört kültüvatörünü farklı derişimlerde Cr etkisinde bırakmış ve yüksek Cr uygulanan bitkilerde MDA içeriğini yüksek bulmuşlardır.

Pb uygulamasında *C. demersum* için en yüksek MDA içeriği kontrole göre %47,30 artış ile 100 mg/L Pb ortamındaki bitkilerde tespit edilirken (Şekil 4.27), *P. erectus* için 3,2 mg/L Pb uygulamasında kontrole göre %197,35 artış ile belirlenmiştir (Şekil 4.28). Bizim bulgularımız Mishra ve ark. (2006) bulguları ile benzerlik içindedir. Mishra ve ark. (2006) 1-100 µM Pb derişimlerinde 1-7 gün boyunca maruz bırakılan *C. demersum*'un MDA içeriğinin artan metal derişimi ve uygulama süresi ile arttığını

açıklamıştır. Chen ve ark. (2015) *C.demersum* kurşunun artan konsantrasyonlarında (5-80 µM) 7, 14 ve 21 gün boyunca maruz bırakmış ve 7 ve 14 gün uygulamalarında artan Pb konsantrasyonunları ile MDA içeriklerinin de arttığını belirtmişlerdir. Fakat 21 gün uygulamalarında ise MDA içeriği 10 µM Pb konsantrasyonuna kadar artış gösterirken, bu konsantrasyondan sonraki Pb artışıyla beraber MDA içeriği gittikçe azalış göstermiştir. Bunun sebebi bitkinin maruz kaldığı stres koşullarına adapte olması olabilir.

C. demersum'a uygulanan Cd, Cr ve Pb seviyesi daha yüksek olmasına rağmen, bir stres ürünü olan MDA içeriği *P. erectus*'dan daha düşük bulunmuştur. Bunun sebebi, *C. demersum*'un *P. erectus*'a göre ağır metal stresine daha dirençli olmasından kaynaklanıyor olabilir. Daha önceki çalışmalarda, ağır metal uygulamasındaki toleranslı bitkilerin hassas bitkilere kıyasla daha düşük oranda lipid peroksidasyonu ve H₂O₂ biriktirdiğini bildirilmiştir (Gill ve ark., 2015). Ayrıca bitkilerin çevresel stres faktörlerine karşı dayanıklılığı bitki ve stres çeşidine, strese altında geçen zamana ve strese altındaki bitki yapı ve dokusuna bağlı olarak değişebilmektedir (Öktüren Asri ve Sönmez, 2006).

5.8. Farklı Işık Ortamlarının Fitoremediasyon Üzerine Etkileri

C. demersum için bitki analizleri incelendiğinde; atık sudaki kadmiyumu akümüle etme seviyesi en fazla mavi LED ışık altındaki bitkilerde tespit edilirken, en düşük Cd miktarı ise flouresan ışık altındaki bitkilerde belirlenmiştir (Şekil 4.29). Kırmızı ve mavi LED ışıkların kombinasyon şeklinde kullanıldığı ortamlarda, kırmızı LED ışıkların oranı arttıkça bitkinin kadmiyumu akümüle etme yeteneği de artış göstermiştir (Şekil 4.29). *C. demersum*'un atık su ortamındaki kromu biriktirme seviyesi en fazla mavi LED ışık altındaki bitkilerde, en düşük ise beyaz flouresan ışık ortamındaki bitkilerde bulunmuştur (Şekil 4.30). Pb uygulamasında ise en yüksek metal birikimi 4K:1M LED ışık altındaki bitkilerde, ardından ise mavi LED ışık altındaki bitkilerde elde edilmiştir (Şekil 4.31). En düşük Pb birikimi ise beyaz flouresan ışık altındaki bitkilerde, ardından 1K:1M LED ışık altındaki bitkilerde saptanmıştır. LED ışık kombinasyonları kıyaslandığında ortamdaki kırmızı LED oranı arttıkça bitkideki Pb miktarı da artmıştır.

P. erectus için bitki analizleri incelendiğinde; atık su ortamındaki kadmiyumu biriktirme yeteneği en fazla 1K:1M LED ışık altındaki bitkilerde bulunurken, en düşük Cd birikimi ise beyaz flouresan ışık altındaki bitkilerde tespit edilmiştir (Şekil 4.32). *P. erectus* bitkilerinin sanayi suyundan akümüle ettikleri Cr miktarları incelendiğinde en yüksek metal birikimi beyaz LED ışık altındaki bitkilerde, en düşük metal birikimi ise kırmızı LED ışık altındaki bitkilerde belirlenmiştir (Şekil 4.33). Atık suda bulunan kurşunun akümülyasyon miktarları analiz edildiğinde ise en yüksek Pb birikimi 1K:1M LED ışık altındaki bitkilerde, en düşük ise kırmızı LED ışık altındaki bitkilerde bulunmuştur (Şekil 4.34). Bitkilerin sudaki ağır metalleri akümüle etme yetenekleri, bitkilere uygulanan ışık ortamları ile farklılık göstermiştir.

C. demersum için su analizleri incelendiğinde; farklı ışıklar altındaki bitkinin atık sudaki kadmiyumu uzaklaştırma etkinliği araştırılmıştır. En yüksek arıtım kontrolle göre %93,14 arıtım ile mavi LED ışıklarında, en düşük Cd arıtımı kontrolle göre %87,79 ile beyaz flouresan ışıklarında tespit edilmiştir (Şekil 4.35). *C. demersum* uygulanmış atık sularda en yüksek Cr arıtımı kontrolle göre %94,15 ile mavi LED ışıkları altında, en düşük ise %73,38 arıtım ile beyaz flouresan ışıkları altında belirlenmiştir (Şekil 4.36). Arıtmıdan sonra atık suda kalan Pb miktarları incelendiğinde kontrolle göre en yüksek arıtım %98,22 ile 4K:1M LED ışıklarında, en düşük Pb arıtım oranı %93,30 ile beyaz flouresan ışık altında görülmüştür (Şekil 4.37). LED ışıkların kombinasyon şeklinde kullanıldıkları ortamlarda kırmızı ışık oranı azaldıkça, Pb artım oranı da azalmıştır.

P. erectus uygulanmış atık sularda kontrolle göre en yüksek Cd arıtımı %86,29 ile 1K:1M LED ışıklarda, en düşük arıtım ise %73,16 ile beyaz flouresan ışıkları altında tespit edilmiştir (Şekil 4.38). Işık kombinasyonlarına göre uygulanan kırmızı LED ışık oranı arttıkça Cd arıtım oranını azalmıştır. Cr giderimi incelendiğinde, atık sularda tespit edilen kontrolle göre en yüksek arıtım oranı %87,04 ile beyaz LED ışıklarında, ardından ise %84,64 ile 1K:1M LED ışıklarında bulunmuştur (Şekil 4.39). En düşük Cr arıtım oranı kontrolle göre %70,11 ile kırmızı LED ışıklarında saptanmıştır. Kırmızı ve mavi LED ışık kombinasyonları kendi aralarında karşılaştırıldığında, uygulanan kırmızı LED ışık oranı arttıkça, Cr giderimi azalmıştır. Pb giderimi incelendiğinde, kontrolle göre en yüksek arıtım oranı %92,16 ile 1K:1M LED ışıklarında en düşük arıtımı ise %82,91 ile kırmızı LED ışıkları altında (Şekil 4.40) tespit edilmiştir.

5.9. Sonuç

Bu tez kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca belirtilmiştir.

- *P. erectus*'un yüzey sterilizasyonunda en fazla steril ve canlı eksplant oranı %10'luk hidrojen peroksit konsantrasyonunda 10 dk bekletilen sürgün ucu eksplantlarından elde edilmiştir.
- *P. erectus*'un *in vitro* koşullarda hızlı ve çoklu üretimi başarıyla sağlanmış ve eksplant başına sürgün sayısı bakımından en uygun büyüme düzenleyici her iki eksplant çeşidi için de 0,25 mg/L BAP olarak belirlenmiştir.
- *P. erectus* ve *C. demersum*'un *in vitro* koşullarda etkili ve hızlı üretimi için en uygun LED ışıklar, kırmızı ve mavi LED ışıkların 2:1 oranındaki kombinasyonları olarak tespit edilmiştir.
- Rejenere *P. erectus* sürgünlerinin *in vitro* kök oluşumu için en uygun hormon IAA (0,25 mg/L) olarak bulunmuştur.
- Rejenere bitkilerin akvaryumlarda dış koşullara adaptasyonu başarıyla sağlanmıştır.
- Her iki bitki türünde de zaman ve konsantrasyon artışı ile birlikte akümüle edilen ağır metal miktarı artış göstermiştir. *C. demersum*'un ağır metallerle karşı toleransı daha yüksek çıkmıştır.
- *C. demersum* için Cd uygulamasında en yüksek BKF değeri 5 gün sonunda 1 mg/L Cd uygulamasında tespit edilmiştir. Cr ve Pb uygulamasında ise en yüksek BKF değeri 5 gün sonunda sırasıyla 3 mg/L Cr ve 25 mg/L Pb uygulamasında elde edilmiştir. *P. erectus* için en yüksek BKF değerleri 5 gün sonunda Cd için 0,8 mg/L, Cr için 0,4 mg/L ve Pb için 3,2 mg/L uygulamasında belirlenmiştir.
- *C. demersum*'un taze ağırlıklarında en fazla düşüş Cd, Cr ve Pb metalleri için de 1 gün sonundaki bitkilerde bulunmuştur. En düşük kuru ağırlıklar ise Cd ve Cr için 3 gün, Pb için 1 gün sonundaki bitkilerde görülmüştür. *P. erectus* için taze ağırlıklarda en fazla düşüş Cd için 1 gün sonunda, Cr için 1 ve 3 gün sonunda ve Pb için 3 gün sonundaki bitkilerde tespit edilmiştir. En düşük kuru ağırlıklar ise Cd için 5 gün sonunda, Cr ve Pb için 3 gün sonundaki bitkilerde elde edilmiştir.
- Her iki bitki çeşidinde de uygulanan ağır metal konsantrasyonu ve süreye bağlı olarak fotosentetik pigment ve protein içerikleri azalış göstermiştir. Diğer

yandan kullanılan ağır metaller, bitkilerin membran lipitlerinin oksidatif bozulmasına neden olarak MDA içeriklerinde artışa sebep olmuştur. En yüksek MDA içerikleri 5 gün sonunda ve en yüksek değerlerde ağır metale maruz bırakılan bitkilerde tespit edilmiştir.

- *C. demersum* tarafından en fazla ağır metal akümülyasyonları, Cd ve Cr için mavi LED ışık, Pb için 4K:1M LED ışık altındaki bitkilerde elde edilmiştir. *P. erectus* için akümülyasyon değerleri incelendiğinde, su ortamındaki Cd ve Pb ağır metallerinin en fazla akümülyasyonu 1K:1M LED ışık, Cr ağır metalinin ise beyaz LED ışık altındaki bitkilerde belirlenmiştir.

5.10. Öneriler

- Yürüttüğümüz çalışmalar *P. erectus*'un *in vitro* koşullarda doku kültürü yöntemleriyle hızlı ve çoklu üretiminin yapılabileceğini göstermiştir. Ayrıca *P. erectus* ve *C. demersum* akvaryumlarda süs bitkisi olarak yaygın kullanıma sahip bitkilerdendir ve bu bitkilerin *in vitro* koşullarda kitlesel üretimi, akvaryum bitki üreticilerine önemli katkı sağlayabilir.
- Yine bu bitkiler kullanılarak farklı ağır metallerin fitoremediasyonu üzerine çalışmalar yürütülebilir. Ayrıca endüstriyel ve sanayi atıksuların arıtılmasında verimliliği yüksek bir sistem de oluşturulabilir. Böylece kırsal yerleşim yerlerimize ait atıksular, alıcı ortamlara güvenle deşarj edilebilir ağır metal değerlerine ulaştırılabilir.
- Etkin fitoremediasyon yeteneğine sahip olan bu bitkiler ile diğer arıtma sistemlerine göre oldukça etkili, maliyeti ucuz, ekolojik olarak uygun bir arıtma sistemi oluşturulabilir ve belediye atıksularının arıtımında kullanılma potansiyeli yüksektir.
- Bitkiler *in vitro* koşullarda doku kültürü teknikleriyle üretilerek, sürekli bitki materyali sağlanabilir. Böylece fitoremediasyon için sürdürülebilir bir sistem kurulabilir. Ayrıca bitkilerin doğadan toplanmasının önüne geçilerek biyoçeşitlilik korunmuş olur.

6. KAYNAKLAR

- Abbasi, B.H., Ali, J., Ali, M., Zia, M., Bokhari, S.A. ve Khan, M.A., 2013. Free Radical Scavenging Activity in *In Vitro*-Derived Tissues of *Eruca sativa*. *Toxicology and Industrial Health*, 32(1), 98-105.
- Abdallah, M.A.M., 2012. Phytoremediation of Heavy Metals from Aqueous Solutions by Two Aquatic Macrophytes, *Ceratophyllum demersum* and *Lemna gibba* L.. *Environmental Technology*, 33, 1609-1614.
- Ahmad, S.S., Reshi, Z.A., Shah, M.A., Rashid, I., Ara, R. ve Andrabi, S.M.A., 2016. Heavy Metal Accumulation in the Leaves of *Potamogeton natans* and *Ceratophyllum demersum* in a Himalayan RAMSAR site: Management Implications. *Wetlands Ecology and Management*, 24(4), 469-475.
- Akaracharyana, A., Choi, Y.E., Kusano, T., Shinmyo, A. ve Sano, H., 2001. Efficient Plant Regeneration of *Ipomoea aquatica* by Direct Shoot Formation from Cotyledon Segments. *Plant Biotechnology*, 18, 77-79.
- Akpor, O.B. ve Muchie, M., 2010. Remediation of Heavy Metals in Drinking Water and Wastewater Treatment Systems: Processes and Applications. *International Journal of the Physical Sciences*, 5(12), 1807-1817.
- Alfadul, S.M.S. ve Al-Fredan, M.A.A., 2013. Effects of Cd, Cu, Pb, and Zn Combinations on *Phragmites australis* Metabolism, Metal Accumulation and Distribution. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 38, 11-19.
- Ali, H., Khan, E. ve Sajad, M.A., 2013a. Phytoremediation of Heavy Metals-Concepts and applications. *Chemosphere*, 91, 869-881.
- Ali, B., Wang, B., Ali, S., Ghani, M.A. Hayat, M.T., Yang, C., Xu, L. ve Zhou, W.L., 2013b. 5-Aminolevulinic Acid Ameliorates the Growth, Photosynthetic Gas Exchange Capacity, and Ultrastructural Changes Under Cadmium Stress in *Brassica napus* L.. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32, 604-614.
- Al-Ubaidy, H.J. ve Rasheed, K.A., 2015. Phytoremediation of Cadmium in River Water by *Ceratophyllum demersum*. *World Journal Of Experimental Biosciences*, 3, 14-17.
- Amissah, S., Coleman, P.A., Sintim, H.Y. ve Akromah, R., 2016. *In vitro* Control of Microbial Contamination of Sweet Potatoes Cultured with Nodal Explants. *Annual Research & Review in Biology*, 9(3), 1-8.

- Andresen, E., Opitz, J., Thomas, G., Stärk, H.J., Dienemann H., Jenemann, K., Dickinson, B.C. ve Küpper, H., 2013. Effects of Cd & Ni Toxicity to *Ceratophyllum demersum* Under Environmentally Relevant Conditions in Soft & Hard Water Including a German Lake. *Aquatic Toxicology*, 142-143 (2013), 387-402.
- Anonim, 2011. Aile ve Tüketici Hizmetleri, Atık Sular (850CK0103). *Millî Eğitim Bakanlığı*, Ankara. (Erişim tarihi: 15.08.2016).
http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/At%C4%B1k%20Sular.pdf
- Anonim, 2016. *Pogostemon erectus*. <https://www.aquasabi.com/aquatic-plants/background/pogostemon-erectus> - (Erişim Tarihi: 21.05.2016).
- Arber, A. 2010. *Water Plants. A Study of Aquatic Angiosperms*. Cambridge University Press, 88 s, New York, U.S.
- Arora, M., Kiran, B., Rani, S., Rani, A., Kaur, B. ve Mittal, N., 2008. Heavy Metal Accumulation in Vegetables Irrigated with Water from Different Sources. *Food Chemistry*, 111, 811-815.
- Bakacak, A., 2010. İstanbul Üniversitesi, Alfred Heilbronn Botanik Bahçesinin Su Bitkileri Üzerinde Sistemik Araştırmalar. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Barpete, S., Özcan, S.F., Aasim, M., ve Özcan, S., 2015. *In Vitro* High Frequency Regeneration Through Apical Shoot Proliferation of *Hemianthus callitrichoides* 'Cuba', a Multipurpose Ornamental Aquatic Plant. *Turkish Journal of Biology*, 39(3), 493-500.
- Benavides, M.P., Gallego, S.M. ve Tomaro, M.L., 2005. Cadmium Toxicity in Plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1), 21-34.
- Bhojwani, S.S. ve Dantu, P.K., 2013. *Plant Tissue Culture: An Introductory Text*, 11-20 p, Springer, India.
- Bodhipadma, K., Noichinda, S., Maneeruang, T., Nathalang, K., Punnakanta, L. ve Leung, D.W.M., 2013. Effect of Paclobutrazol on Three Different Aquatic Macrophytes Under *In Vitro* Monoculture or Polyculture Conditions. *African Journal of Biotechnology*, 12(39), 5809-5813.
- Briggs, W.R. ve Olney, M.A., 2001. Photoreceptors in Plant Photomorphogenesis to Date, Five Photochromes, Two Cryptochrome, One Phototropin and One Superchrome. *Plant Physiology*, 125, 85-88.

- Bunluesin, S., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., Lanza, G.R., Upatham, E.S. ve Soonthornsarathool, V., 2004. Plant Screening and Comparison of *Ceratophyllum demersum* and *Hydrilla verticillata* for Cadmium Accumulation. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 73, 591-598.
- Cavusoglu, A. ve Sulusoglu, M., 2013. *In Vitro* Propagation and Acclimatization of Pepino (*Solanum muricatum*). *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 11(1), 410-415.
- Chen, J.C., Wang, K.S., Chen, H., Lu, C.Y., Huang, L.C., Li, H.C., Peng, T.Z. ve Chang, S.H., 2010. Phytoremediation of Cr(III) by *Ipomoea aquatica* (water spinach) from Water in the Presence of EDTA and Chloride: Effects of Cr Speciation. *Bioresource Technology*, 101, 3033-3039.
- Chen, M., Zhang, L., Li, J., He, X. ve Cai, J., 2015. Bioaccumulation and Tolerance Characteristics of a Submerged Plant (*Ceratophyllum demersum* L.) Exposed to Toxic Metal Lead. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 122, 313-321.
- Cheruvathur, M.K., Abraham, J., Mani, B. ve Thomas, T.D., 2010. Adventitious Shoot Induction from Cultured Internodal Explants of *Malaxis acuminata* D. Don, a Valuable Terrestrial Medicinal Orchid. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 101(2), 163-170.
- Chorom, M., Parnian, A. ve Jaafarzadeh, N., 2012. Nickel Removal by the Aquatic Plant (*Ceratophyllum demersum* L.). *International Journal of Environmental Science and Development*, 3, 372-375.
- Christian, D., Wong, E., Crawford, R.L., Cheng, I.F. ve Hess, T.F., 2010. Heavy Metals Removal from Mine Runoff Using Compost Bioreactors. *Environmental Technology*, 31, 1533-1546.
- Cook, C.D.K., 1996. *Aquatic Plant Book*. SPB Academic Publishing, 60 p, Amsterdam/New York.
- Costa, M. ve Klein, K.B., 2006. Toxicity and Carcinogenicity of Chromium Compounds in Humans. *Critical Reviews in Toxicology*, 36(2), 155-163.
- Criollo, H., Perea, M., Toribio, M. ve Muñoz, J., 2014. Effect of the Combination of NAA, Kinetin and Sucrose on the Induction of Somatic Embryogenesis in Lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Agronomía Colombiana*, 32(2), 170-179.

- Cuypers, A., Plusquin, M., Remans, T., Jozefczak, M., Keunen, E., Gielen, H., Opendakker, K., Nair, A.R., Munters, E., Artois, T.J., Nawrot, T., Vangronsveld, J. ve Smeets, K., 2010. Cadmium Stress: An Oxidative Challenge. *Biometals*, 23, 927-940.
- Dănilă, E. ve Lucache, D.D., 2013. Cost Effectiveness of Growing Plant Lighting System. *Journal of Electrical Engineering*, 13(4), 224-229.
- Das, D. ve Borua, P.K., 2014. *In Vitro* Propagation of *Alternanthera sessilis* L. from Internode Explant. *British Biotechnology Journal*, 4(1), 74-80.
- Das, S., Goswami, S. ve Talukdar, A.D., 2014. A Study on Cadmium Phytoremediation Potential of Water Lettuce, *Pistia stratiotes* L. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 92(2), 169-174.
- Das, S., Goswami, S., ve Talukdar, A.D., 2016. Physiological Responses of Water Hyacinth, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, to Cadmium and Its Phytoremediation Potential. *Turkish Journal of Biology*, 40, 84-94.
- Dazkırılı, M., 2015. Farklı LED Işıklarda *Bacopa monnieri* Bitkisinin *In Vitro* Koşullarda Çoğaltımı. *Yüksek lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karaman*.
- Delmail, D., Labrousse, P., Hourdin, P., Larcher, L., Moesch, C. ve Botineau, M., 2013. Micropropagation of *Myriophyllum alterniflorum* (Haloragaceae) for Stream Rehabilitation: First *In Vitro* Culture and Reintroduction Assays of a Heavy-Metal Hyperaccumulator Immersed Macrophyte. *International Journal of Phytoremediation*, 15(7), 647-662.
- Depnath, S.C., 2005. Micropropagation of Lingonberry: Influence of Genotype, Explant Orientation, and Overcoming TDZ Induced Inhibition of Shoot Elongation Using Zeatin. *HortScience*, 40, 185-188.
- Devi, S.R. ve Prasad, M.N.V., 1998. Copper Toxicity in *Ceratophyllum demersum* L. (Coontail), a Free Floating Macrophyte: Response of Antioxidant Enzymes and Antioxidants. *Plant Science*, 138, 157-165.
- Dodds, W.K. ve Whiles, M.R., 2010. Responses to Stress, Toxic Chemicals, and Other Pollutants in Aquatic Ecosystems, *Freshwater Ecology (Second Edition), Concepts and Environmental Applications of Limnology*, 399-436, Elsevier, USA.
- Dogan, M., Karatas, M. ve Aasim, M., 2015. An Efficient *In Vitro* Plantlet Regeneration of *Ceratophyllum demersum* L., An Important Medicinal Aquatic Plant. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(10b), 3499-3504.

- Doğan, M., 2013. *In vitro* Koşullarda Tilki Kuyruğu (*Ceratophyllum demersum* L.)'nun Çoğaltımı. *Yüksek Lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı*, Karaman.
- Dresler, C., Hanaka, A., Bednarek, W. ve Maksymiec, W., 2014. Accumulation of Low-Molecular-Weight Organic Acids in Roots and Leaf Segments of *Zea mays* Plants Treated with Cadmium and Copper. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36(6), 1565-1575.
- Duman, F. ve Koca F.D., 2014. Single and Combined Effects of Exposure Concentration and Duration on Biological Responses of *Ceratophyllum demersum* L. Exposed to Cr Species. *International Journal of Phytoremediation*, 16(7-12), 1192-1208.
- Duman, F., Şahan, S., Ceylan, A. ve Koca, F.D. 2010. Biological Responses of *Ceratophyllum demersum* L. Exposed to Chromium (Cr⁺⁶). *SDU Journal of Science (E-Journal)*, 5(2), 163-171.
- Duong, T.N., Hong, L.T.A., Watanabe, H., Goi, M. ve Tanaka, M., 2003. Efficiency of a Novel Culture System by Using Light-Emitting Diode (LED) on *In Vitro* and Subsequent Growth of Micropropagated Banana Plantlets. *Acta Horticulturae*, 616, 121-127.
- Duruibe, J.O., Ogwuegbu, M.O.C. ve Egwurugwu, J.N., 2007. Heavy Metal Pollution and Human Biotoxic Effects. *International Journal of Physical Sciences*, 2(5), 112-118.
- El-Khatib, A.A., Hegazy, A.K. ve Abo-El-Kassem, A.M., 2014. Bioaccumulation Potential and Physiological Responses of Aquatic Macrophytes to Pb Pollution. *International Journal of Phytoremediation*, 16(1), 29-45.
- EPA, 2000. Introduction to Phytoremediation. National Risk Management Research Laboratory (EPA/600/R-99/107).
- Etim, E.E., 2012. Phytoremediation and Its Mechanisms: A Review. *International Journal of Environment and Bioenergy*, 2(3), 120-136.
- Favas, P.J.C., Pratas, J., Varun, M., D'Souza, R. ve Paul, M.S., 2014. Phytoremediation of Soils Contaminated with Metals and Metalloids at Mining Areas: Potential of Native Flora. *Environmental Risk Assessment of Soil Contamination*, Editör: Hernandez-Soriano M.C. *InTech Press*, 485-517.

- Fawzy, M.A., El-sayed Badr, N., El-Khatib, A. ve El-Kassem, A.A., 2012. Heavy Metal Biomonitoring and Phytoremediation Potentialities of Aquatic Macrophytes in River Nile. *Environmental Monitoring And Assessment*, 184(3), 1753-1771.
- Fontanili, L., Lucchesini, M. ve Mensuali-Sodi, A., 2015. *In Vitro* Propagation and Shoot Encapsulation as Tools For Ex Situ Conservation of the Aquatic Plant *Ludwigia palustris* (L.) Ell. *Plant Biosystems*, 149(5), 855-864.
- Foroughi, M., Najafi, P. ve Toghiani, S., 2011. Trace Elements Removal from Waster Water by *Ceratophyllum demersum*. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 15, 197-201.
- Fritioff, A. ve Greger, M., 2006. Uptake and Distribution of Zn, Cu, Cd, and Pb in an Aquatic Plant *Potamogeton natans*. *Chemosphere*, 63, 220-227.
- Fu, F. ve Wang, Q., 2011. Removal of Heavy Metal Ions from Wastewaters: A Review. *Journal of Environmental Management*, 92, 407-418.
- George, E.F., 2008. Plant Tissue Culture Procedure - Background, *Plant Propagation by Tissue Culture 3rd Edition*, Editörler: George, E.F., Hall, M. ve De Klerk, G.J. 1, Springer, Netherlands.
- Ghosh, M. ve Singh, S.P., 2005. A Review on Phytoremediation of Heavy Metals and Utilization of It's by Products. *Asian Journal on Energy and Environment*, 6(04), 214-231.
- Gill, R.A., Zang, L., Ali, B., Farooq, M.A., Cui, P., Yang, Su, Ali, S. ve Zhou, W., 2015. Chromium-Induced Physio-Chemical and Ultrastructural Changes in Four Cultivars of *Brassica napus* L.. *Chemosphere*, 120, 154-164.
- Godo, T., Fujiwara, K., Guan, K. ve Miyoshi, K., 2011. Effect of Wavelength of LED-Lighton *In Vitro* Asymbiotic Germination and Seedling Growth of *Bletilla ochracea* Schltr. (Orchidaceae). *Plant Biotechnology*, 28, 397-400.
- Gupta, S.D ve Jatothu, B., 2013. Fundamentals and Applications of Light-Emitting Diodes (LEDs) in *In Vitro* Plant Growth and morphogenesis. *Plant Biotechnology Report*, 7(3), 211-220.
- Hamutoğlu, R., Dinçsoy, A.B., Cansaran-Duman, D., Aras, S., 2012. Biyosorpsiyon, Adsorpsiyon ve Fitoremediasyon Yöntemleri ve Uygulamaları. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 69(4), 235-53.

- Harguinteguy, C.A., Cofré, M.N., Cirelli, A.F. ve Pignata, M.L., 2016. The Macrophytes *Potamogeton pusillus* L. and *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc. As Potential Bioindicators of a River Contaminated by Heavy metals. *Microchemical Journal*, 124, 228-234.
- Harguinteguy, C.A., Pignata, M.L. ve Cirelli, A.F., 2015. Nickel, Lead and Zinc Accumulation and Performance in Relation to Their Use in Phytoremediation of Macrophytes *Myriophyllum aquaticum* and *Egeria densa*. *Ecological Engineering*, 82, 512-516.
- Heath, R.L. ve Packer, L., 1968. Photoperoxidation in Isolated Chloroplasts I. Kinetic and Stoichiometry of Fatty Acid Peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125, 189-198.
- Herath, H., Krishnarajah, S. ve Wijesundara, D., 2008. Micropropagation of Two Endemic Threatened *Cryptocoryne* Species of Sri Lanka. *Tropical Agricultural Research & Extension*, 11, 19-24.
- Hoagland, D.R. ve Arnon, D.I., 1950. The Water-Culture Method for Growing Plants Without Soil. *California Agricultural Experiment Station, Circular*, 347, 1-32.
- Hoque, A., Rahman, S.M., Arima, S. ve Takagi, Y., 2001. Efficient *In Vitro* Germination and Shoot Proliferation of Chilling-Treated Water Chestnut (*Trapa japonica* Flerov) Embryonal Explants. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 37, 369-374.
- Hou, W., Chen, X., Song, G., Wang, Q. ve Chang, C.C., 2007. Effects of Copper and Cadmium on Heavy Metal Polluted Waterbody Restoration by Duckweed (*Lemna minor*). *Plant Physiology and Biochemistry*, 45(1), 62-69.
- Hussain, A., Qarshi, I.A., Nazir, H. ve Ullah, I., 2012. Plant Tissue Culture: Current Status and Opportunities, *Recent Advances in Plant in vitro Culture*, Editörler: Leva, A. ve Rinaldi, L.M.R., 1, *InTech*, Croatia.
- Jo, U.A., Murthy, H.N., Hahn, E.J. ve Paek, K.Y., 2008. Micropropagation of *Alocasia amazonica* Using Semisolid and Liquid Cultures. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 44, 26-32.
- Kalimuthu, K., Saravankumar, M. ve Senthilkumar, R., 2007. *In Vitro* Micropropagation of *Musa sapientum* L. (Cavendish Dwarf). *African Journal of Biotechnology*, 6(9), 1106-1109.

- Kanchanapoom, K., Chunui, P. ve Kanchanapoom, K., 2012. Micropropagation of *Anubias barteri* var. Nana from Shoot Tip Culture and the Analysis of Ploidy Stability. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 40(2), 148-151.
- Kane, M.E., Gilman, E.F., Jenks, M.A. ve Sheehan, T.J., 1990. Micropropagation of the Aquatic Plant *Cryptocoryne lucens*. *HortScience*, 25, 687-689.
- Kara, Y. ve Zeytunluoglu, A., 2007. Bioaccumulation of Toxic Metals (Cd and Cu) by *Groenlandia densa* (L.) Fourr.. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 79, 609-612.
- Karahasan, F. ve Özbucak, T.B., 2015. Determination Of Heavy Metal And Macro Element Amounts In Different Parts Of *Typha latifolia* L.. *Suleyman Demirel University, Journal of Natural and Applied Science*, 19(2), 151-160.
- Karatas, M., Aasim, M. ve Çınar, A., 2014a. Adventitious Shoot Regeneration of Dwarf Hygro (*Hygrophila polysperma*) Under *In Vitro* Conditions. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23(9), 2190-2194.
- Karatas, M., Aasim, M., Çınar, A. ve Dogan, M., 2013b. Adventitious Shoot Regeneration from Leaf Explant of Dwarf Hygro (*Hygrophila polysperma* (Roxb.) T. Anderson). *The Scientific World Journal*, volume 2013, Article ID 680425, 7 pages.
- Karatas, M., Aasim, M. ve Dazkırılı, M., 2016. Influence of Light-Emitting Diodes and Benzylaminopurin on Adventitious Shoot Regeneration of Water Hyssop (*Bacopa monnieri* (L.) Pennell) *In Vitro*. *Archives of Biological Sciences*, 68(3), 501-508.
- Karatas, M., Aasim, M. ve Dogan, M., 2014b. Multiple Shoot Regeneration of *Ceratophyllum demersum* L. on Agar Solidified and Liquid Mediums. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23(1), 3-9.
- Karatas, M., Aasim, M., Dogan, M. ve Khawar, K.M., 2013a. Adventitious Shoot Rejuvenation of the Medicinal Plant Water Hyssop (*Bacopa monnieri* L. Pennell) Using Different Internodes. *Archives of Biological Sciences*, 65(1), 297-303.
- Karatas, M., Dogan, M., Emsen, B. ve Aasim, M., 2015. Determination of *In Vitro* Free Radical Scavenging Activities of Various Extracts from *In Vitro* Propagated *Ceratophyllum demersum* L.. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24, 2946-2952.
- Karuppusamy, S. ve Pullaiah, T., 2007. *In vitro* Shoot Multiplication of *Bupleurum distichophyllum* Wight–A Native Medicinal Plant of Southern India. *Plant Tissue Culture and Biotechnology*, 17(2), 115-124.

- Kastratović, V., Krivokapić, S., Bigović, M., Đurović, D. ve Blagojević, N., 2014. Bioaccumulation and Translocation of Heavy Metals by *Ceratophyllum demersum* from the Skadar Lake, Montenegro. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 79(11), 1445-1460.
- Kaviani, B., 2014. Micropropagation of Ten Weeks (*Matthiola incana*) and *Lisianthus (Eustoma grandiflorum)* (Two Ornamental Plants) by Using Kinetin (KIN), Naphthalene Acetic Acid (NAA) and 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid (2,4-D). *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 13(1), 141-154.
- Kayhan, F.G., 2006. Su Ürünlerinde Kadmiyumun Biyobirikimi ve Toksisitesi. *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, 23, (1-2), 215-220.
- Keser, G., 2005. *Nasturtium officinale* R. Br.'de Kurşunun Strese Bağlı Enzimlerin Aktivitelerine, Gelişmeye, Mineral Ve Klorofil İçeriğine Etkileri. *Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana*.
- Keskinkan O., Göksu M.Z.L., Yüceer A., Başbüyük M. ve Forster, C.F., 2003. Heavy Metal Adsorption Characteristics of a Submerged Aquatic Plant (*Myriophyllum spicatum*). *Process Biochemistry*, 39(2), 179-183.
- Khvatkov, P., Chernobrovkina, M., Okuneva, A., Shvedova, A., Chaban, I. ve Dolgov, S., 2015. Callus induction and regeneration in *Wolffia arrhiza* (L.) Horkel ex Wimm. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 120(1), 263-273.
- Kim, I.S., Kang, K.H., Johnson-Green, P. ve Lee, E., 2003. Investigation of Heavy Metal Accumulation in *Polygonum thunbergii* for Phytoextraction. *Environmental Pollution*, 126, 235-243.
- Koca, F.D., 2012. Cr(III) ve Cr(VI) Maruziyetinde *Ceratophyllum demersum* L.'nin Biyolojik Cevabı: Konsantrasyon ve Uygulama Periyodunun Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri*.
- Kumar, G.P. ve Prasad, M.N.V., 2004. Cadmium Toxicity to *Ceratophyllum demersum* L.: Morphological Symptoms, Membrane Damage, and Ion Leakage. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 72, 1038-1045.
- Kumari, M. ve Tripathi, B.D., 2015. Efficiency of *Phragmites australis* and *Typha latifolia* for Heavy Metal Removal from Wastewater. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 112, 80-86.

- Kurilcik, A., Canova, M.R., Dapkuniene, S., Zilinskaite, S., Kurilcik, G., Tamulaitis, G., Duchovskis, P. ve Zukauskas, A., 2008. *In Vitro* Culture of Chrysanthemum Plantlets Using Light Emitting Diodes. *Central European Journal of Biology*, 3, 161-167.
- Lata, H., Chandra, S., Wang, Y.H., Raman, V. ve Khan, I.A., 2013. TDZ-Induced High Frequency Plant Regeneration through Direct Shoot Organogenesis in *Stevia rebaudiana* Bertoni: An Important Medicinal Plant and a Natural Sweetener. *American Journal of Plant Sciences*, 4, 117-128.
- Li, C.J., Yan, C.X., Liu, Y., Zhang, T.T., Wan, S.B. ve Shan, S.H., 2015. Phytotoxicity of Cadmium on Peroxidation, Superoxide Dismutase, Catalase and Peroxidase Activities in Growing Peanut (*Arachis hypogaea* L.). *African Journal of Biotechnology*, 14(13), 1151-1157.
- Li, H., Xu, Z. ve Tang, C., 2010. Effect of Light-Emitting Diodes on Growth and Morphogenesis of Upland Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Plantlets *In Vitro*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 103(2), 155-163.
- Li, J., Jain, M., Vunsh, R., Vishnevetsky, J., Hanania, U., Flaishman, M., Perl, A. ve Edelman, M., 2004. Callus Induction and Regeneration in *Spirodela* and *Lemna*. *Plant Cell Reports*, 22, 457-464.
- Li, Q., Zhan, J.H., Chen, B., Meng, X.Q. ve Pan, X.J., 2016. Removal of Pb, Zn, Cu, and Cd by Two Types of *Eichhornia crassipes*. *Environmental Engineering Science*, 33(2), 88-97.
- Lian, M.L., Murthy, H.N. ve Paek, K.Y., 2002. Effects of Light Emitting Diodes (LED) on the *In Vitro* Induction and Growth of Bulblets of *Lilium oriental* hybrid 'Pesaro'. *Scientia Horticulturae*, 94, 365-370.
- Lichtenthaler H.K. ve Wellburn, A. R., 1983. Determinations of Total Carotenoids and Chlorophylls *a* and *b* of Leaf Extracts in Different Solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11, 591-592.
- Lincy, A. ve Sasikumar, B., 2010. Enhanced Adventitious Shoot Regeneration from Aerial Stem Explants of Ginger Using TDZ and Its Histological Studies. *Turkish Journal of Botany*, 34, 21-29.
- Lowry, O.H., Rosenbrough, N.J., Farr, A.L. ve Randall, R.J., 1951. Protein Measurement With Folin Phenol Reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193, 265-275.

- Lu, X., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P. ve Homyok, K., 2004. Removal of Cadmium and Zinc by Water Hyacinth, *Eichhornia crassipes*. *ScienceAsia*, 30, 93-103.
- Matache, M.L., Marin, C., Rozyłowicz, L. ve Tudorache, A., 2013. Plants Accumulating Heavy Metals in the Danube River Wetlands. *Journal of Environmental Health Sciences & Engineering*, 11(39), 1-7.
- Meena, MC., Meena, R. ve Patni, V., 2010. High Frequency Plant Regeneration from Shoot Tip Explants of *Citrullus colocynthis* (Linn.) Schrad. - An Important Medicinal Herb. *African Journal of Biotechnology*, 9(31), 5037-5041.
- Meghwal, P.R., Sharma, H.C. ve Singh, S.K., 2000. Effect of Surface Sterilizing Agents on *In Vitro* Culture Establishment of Guava (*Psidium guajava* L.). *Journal of Applied Horticulture (Lucknow)*, 2(2), 94-95.
- Memon, A.R. ve Schröder, P., 2009. Implications of Metal Accumulation Mechanisms to Phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research*, 16, 162-175.
- Mishra, S., Srivastava, S., Tripathi, R.D., Dwivedi, S. ve Shukla, M.K., 2008. Response of Antioxidant Enzymes in Coontail (*Ceratophyllum demersum* L.) Plants Under Cadmium Stress. *Environmental Toxicology*, 23, 294-301.
- Mishra, S., Srivastava, S., Tripathi, R.D., Kumar, R., Seth, C.D. ve Gupta, D.K., 2006. Lead Detoxification by Coontail (*Ceratophyllum demersum* L.) Involves Induction of phytochelatins and Antioxidant System in Response to Its Accumulation. *Chemosphere*, 65, 1027-1039.
- Mishra, S., Tripathi, R.D. ve Srivastava, S., 2009. Thiol Metabolism Play Significant Role During Cadmium Detoxification by *Ceratophyllum demersum* L.. *Bioresource Technology*, 100, 2155-2161.
- Mohamed, N. ve Taha, R.M., 2011. Plant Regeneration of *Clitoria ternatea* from Leaf Explants Cultured *In Vitro*. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 9(3&4), 268-270.
- Morrow, R.C., 2008. LED Lighting in Horticulture. *Hort Science*, 43, 1947-1950.
- Moya, J.L., Ros, R. ve Picazo, I., 1993. Influence of Cadmium and Nickel on Growth, Net Photosynthesis and Carbohydrate Distribution in Rice Plants. *Photosynthesis Research*, 36, 75-80.

- Mufarrege, M.M., Di Luca, G.A., Sanchez, G.C., Hadad, H.R., Pedro, M.C. ve Maine, M.A. 2016. Effects of the presence of nutrients in the removal of high concentrations of Cr(III) by *Typha domingensis*. *Environmental Earth Sciences*, 75: 887. doi:10.1007/s12665-016-5693-3
- Murashige, T. ve Skoog, F., 1962. A Revised Medium for Rapid Growth and Bioassays With Tobacco Tissue Cultures. *Plant Physiology*, 15, 473-497.
- Myung, J.O., Hye, R.N., Hong-Keun, C., Jang, R.L. ve Suk, W.K. 2010. High Frequency Plant Regeneration System for *Nymphoides coreana* Via Somatic Embryogenesis from Zygotic Embryo Derived Embryogenic Cell Suspension Cultures. *Plant Biotechnology Reports*, 4,125-128.
- Nagajyoti, P.C., Lee, K.D. ve Sreekanth, T.V.M., 2010. Heavy Metals, Occurrence and Toxicity for Plants: A Review. *Environmental Chemistry Letters*, 8, 199-216.
- Nath, K., Saini, S. ve Sharma, Y.K., 2005. Chromium in Tannery Industry Effluent and Its Effect on Plant Metabolism and Growth. *Journal Of Environmental Biology*, 26(2), 197-204.
- Neumann K.H., Kumar, A. ve Imani, J., 2009. Plant Cell and Tissue Culture - A Tool in Biotechnology, Principles and Practice, *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 1, Germany.
- Newman, L.A. ve Reynolds, C.M., 2004. Phytodegradation of Organic Compounds. *Current Opinion in Biotechnology*, 15(3), 225-30.
- Nhut, D.T., Huy, N.P., Tai, N.T., Nam, N.B., Luan, V.Q., Hien, V.T., Tung, H.T., Vinh, B.T. ve Luan, T.C., 2015. Light-Emitting Diodes and Their Potential in Callus Growth, Plantlet Development and Saponin Accumulation During Somatic Embryogenesis of *Panax vietnamensis* Ha et Grushv.. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 29(2), 299-308.
- Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A.M ve Pehlivan, M., 2009. Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri. *Alın Teri Ziraat Bilimler Dergisi*, 17(B), 14-26.
- Oliveira, H., 2012. Chromium as an Environmental Pollutant: Insights on Induced Plant Toxicity. *Journal of Botany*, Volume 2012, Article ID 375843, 1-8 p.
- Olle, M. ve Viršilė, A., 2013. The Effects of Light-Emitting Diode Lighting on Greenhouse Plant Growth and Quality. *Agricultural And Food Science*, 22, 223-234.

- Ornes, W.H. ve Sajwan, K.S., 1993. Cadmium Accumulation and Bioavailability in Coontail (*Ceratophyllum demersum* L.) Plants. *Water, Air, and Soil Pollution*, 69(3), 291-300.
- Öktüren Asri, F. ve Sönmez, S., 2006. Ağır Metal Toksisitesinin Bitki Metabolizması Üzerine Etkileri. *Derim*, 23(2), 36-45.
- Özkoç, Ö.B., 2011. Su Mercimeği (*Lemna minor*) Bitkisi ile Ağır Metal İçeren Gala Gölü Sularının İleri Arıtımının Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ*.
- Öztürk, M., Khawar, K.M., Atar, H.H., Sancak, C. ve Özcan, S., 2004. *In Vitro* Micropropagation of the Aquarium Plant *Ludwigia repens*. *Asia-Pacific Journal of Molecular Biology and Biotechnology*, 12, 21-25.
- Padmavathiamma, P.K. ve Li, L.Y., 2007. Phytoremediation Technology: Hyper-Accumulation Metals in Plants. *Water, Air, & Soil Pollution*, 184, 105-126.
- Padmavathiamma, P.K., Ahmed, M. and Rahman, H.A., 2014. Phytoremediation - A sustainable approach for contaminant remediation in arid and semi-arid regions – a review. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 26 (9): 757-772.
- Parveen, S. ve Shahzad, A., 2010. TDZ-Induced High Frequency Shoot Regeneration in *Cassia sophera* Linn. Via Cotyledonary Node Explants. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 16(2), 201-206.
- Parzych, A., Sobisz, Z. ve Cymer, M., 2016. Preliminary Research of Heavy Metals Content in Aquatic Plants Taken from Surface Water (Northern Poland). *Desalination And Water Treatment*, 57(3), 1451-1461.
- Perkin-Elmer, 1996. Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy. *The Perkin-Elmer Corporation, USA*.
- Piotrowska, A., Bajguz, A., Godlewska-Zylkiewicz, B., Czerpak, R. ve Kaminska, M., 2009. Jasmonic Acid as Modulator of Lead Toxicity in Aquatic Plant *Wolffia arrhiza* (Lemnaceae). *Environmental and Experimental Botany*, 66, 507-513.
- Poudel, R.P., Kataoka, I. ve Mochioka, R., 2008. Effect of Red-and Blue-Lightemitting Diodes on Growth and Morphogenesis of Grapes. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 92, 147-153.
- Prasad, D.D.K. ve Prasad, A.R.K., 1987. Altered D-aminolevulinic Acid Metabolism by Lead and Mercury in Germinating Seedlings of Bajra (*Pennisetum typhoideum*). *Journal of Plant Physiology*, 127, 241-249.

- Praveen, N., Naik, P.M., Manohar, S.H., Nayeem, A. ve Murthy, H.N., 2009. *In Vitro* regeneration of brahmi shoots using semisolid and liquid cultures and quantitative analysis of bacoside A. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31, 723-728.
- Rai, U.N. ve Chandra, P., 1992. Accumulation of Copper, Lead, Manganese and Iron by Field Population of *Hydrodictyon reticulatum* Lagerheim. *Science of the Total Environment*, 116, 203-211.
- Raja, H.D. ve Arockiasamy, D.I., 2008. *In vitro* Propagation of *Mentha viridis* L. from Nodal and Shoot Tip Explants. *Plant Tissue Culture and Biotechnology*, 18, 1-6.
- Rebechini, H.M. ve Hanzely, L., 1974. Lead-Induced Ultrastructural Changes in Chloroplasts of the Hydrophyte *Ceratophyllum demersum*. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie*, 73, 377-386.
- Sajid, Z.A. ve Aftab, F., 2009. Effect of Thidiazuron (TDZ) on *In Vitro* Micropropagation of *Solanum tuberosum* L. Cvs. Desiree and Cardinal. *Pakistan Journal of Botany*, 41, 1811-1815.
- Salman, J.M., El-Amier, Y.A. ve Hadi, S.J., 2015. Accumulation of Some Heavy Metals in Water and Aquatic Macrophytes of Euphrates River. *Journal of Environmental Sciences*, 44(3), 575-587.
- Sayadi, V., Mehrabi, A.S., Saidi, M. ve Nourollahi, K., 2014. *In Vitro* Culture and Callus Induction of Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) Explants Under Different Concentrations of Plant Growth Regulators. *International Journal of Biosciences*, 4(10), 206-211.
- Seçmen, Ö. ve Leblebici, E., 1997. *Türkiye Sulak Alan Bitkileri ve Bitki Örtüsü*, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları No:158, s 159, İzmir.
- Shafi, N., Pandit, A.K., Kamili, A.N. ve Mushtaq, B., 2015. Heavy Metal Accumulation by *Azolla pinnata* of Dal Lake Ecosystem. *India Journal of Environment Protection and Sustainable Development*, 1(1), 8-12.
- Shahzad, A., Parveen, S. ve Fatema, M., 2011. Development of a Regeneration System Via Nodal Segment Culture in *Veronica anagallis-aquatica* L. - An Amphibious Medicinal Plant. *Journal of Plant Interactions*, 6(1), 61-68.
- Shanker, A.K., Cervantes, C., Tavera, H.L. ve Avudainayagam, S., 2005. Chromium Toxicity in Plants. *Environment International*, 31(5), 739-753.

- Sharma, N., Satsangi, R., Pandey, R. ve Devi, S.V., 2007. *In Vitro* Clonal Propagation and Medium Term Conservation of Brahmi [*Bacopa monnieri* (L) Wettst]. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 16, 139-143.
- Sharma, P. ve Dubey, R.S., 2005. Lead Toxicity in Plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1), 35-52.
- Shin, S.K., Murthy, N.H., Heo, W.J., Hahn, J.E. ve Paek, Y.K., 2008. The Effect of Light Quality on the Growth and Development of *In Vitro* Cultured *Doritaenopsis* Plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30, 339-343.
- Shukla, K.P., Singh, N.K. ve Sharma, S., 2010. Bioremediation: Developments, Current Practices and Perspectives. *Genetic Engineering and Biotechnology Journal*, 2010, 1-20.
- Singh, D., Tiwari, A. ve Gupta, R., 2012. Phytoremediation of Lead from Wastewater Using Aquatic Plants. *Journal of Agricultural Technology*, 8(1), 1-11.
- Singh, R., Tripathi, R.D., Dwivedi, S., Kumar, A., Trivedi, P.K. ve Chakrabarty D., 2010. Lead Bioaccumulation Potential of an Aquatic Macrophyte *Najas indica* are Related to Antioxidant System. *Bioresource Technology*, 101, 3025-3032.
- Sinha, S., Saxena, R., Singh, S., 2005. Chromium Induced Lipid Peroxidation in the Plants of *Pistia stratiotes* L: Role of Antioxidants and Antioxidant Enzymes. *Chemosphere*, 58, 598-604.
- Srivastava, S., Mishra, S., Dwivedi, S., Baghel, V.S., Verma, S., Tandon, P.K., Rai, U.N. ve Tripathi, R.D., 2005. Nickel Phytoremediation Potential of Broad Bean *Vicia faba* L. and Its Biochemical Responses. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 74, 715-724.
- Susarla, S., Medina, V.F. ve McCutcheon, S.C., 2002. Phytoremediation: An Ecological Solution to Organic Chemical Contamination. *Ecological Engineering*, 18, 647-658.
- Şumlu, Ş., 2009. Akvaryum Bitkisi *Rotala macrandra*'nın *In Vitro* Koşullarda Hızlı Çoğaltımı ve Gen Aktarımı. *Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*.
- Thiebaut, G., 2009. Makrofitler As Indicators of the Quality and Ecological Status of Waterbodies and For Use in Removing Nutrients and Metals. *Aquatic Ecosystem Research Trends*, Editör: Nairne, G.H. *Nova Scientific Publishers, New York, USA*, 10-14.

- Ustaoglu, D., Terzioğlu, K., Türe, H., Yılmaz, E. ve Tunca, E., 2015. Sucul Ortamlardaki Bakırın (Cu), Su Mercimeği (*Lemna minor* Linneaus 1753) ile Fitoremediasyonu. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5, 10-22.
- Uysal, Y. ve Taner, F., 2009. Effect of Ph, Temperature, and Lead Concentration on The Bioremoval of Lead from Water Using *Lemna minor*. *International Journal of Phytoremediation*, 11, 591-608.
- Üçüncü, E., 2011. Su mercimeği (*Lemna minor* Linneaus 1753) Kullanılarak Farklı Konsantrasyonlardaki Ağır Metal (Cu, Cr ve Pb) Karışımlarının Laboratuvar Ortamında Biyoremediasyonu. *Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Ünal, S., 2013. Bir Akvaryum Bitkisi Olan *Cryptocoryne wendtii*'nin *In Vitro* Koşullarda Klonal Çoğaltımı. *Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- VahdatiRaad, L. ve Khara, H., 2012. Heavy Metals Phytoremediation by Aquatic Plants (*Hyrocotyle ranocloides*, *Ceratophyllum demersum*) of Anzali Lagoon. *International Journal of Marine Science and Engineering*, 2, 249-254.
- Vanlı, Ö. ve Yazgan, M., 2006. Ağır Metallerle Kirlenmiş Toprakların Temizlenmesinde Fitoremediasyon Tekniği. *Türkiye III. Organik Tarım Sempozyumu*, 01-04 Kasım 2006, Yalova, Türkiye. Bildiri Kitabı 513 s.
- Verma, R. ve Suthar, S., 2015. Lead ve Cadmium Removal from Water Using Duckweed – *Lemna gibba* L.: Impact of pH and Initial Metal Load. *Alexandria Engineering Journal*, 54, 1297-1304.
- Wang, J., Seliskar, D.M. ve Gallagher, J.L., 2003. Tissue Culture and Plant Regeneration of *Spartina alterniflora*: Implications for Wetland Restoration. *Wetlands*, 23, 386-393.
- WHO, 2010. Preventing Disease Through Healthy Environments. Exposure to Cadmium: A Major Public Health Concern. *World Health Organization Document Production Services*, Geneva, Switzerland.
- Wongnok, A., Piluek, C., Techasilpitak, T. ve Tantivivat, S., 2008. Effect of Light Emitting Diodes On Micropropagation of *Phalaenopsis* orchids. *Acta Horticulturae*, 788, 149-156.
- Yadav, S.K., 2010. Heavy metals toxicity in plants: An Overview on the Role of Glutathione and Phytochelatins in Heavy Metal Stress Tolerance of Plants. *South African Journal of Botany*, 76(2), 167-179.

- Yıldız, M., Terzi, H. ve Uruşak, B., 2011. Bitkilerde Krom Toksisitesi ve Hücrel Cevaplar. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(2), 163-176.
- Yousefi, N., Meserghani, M., Bahrami, H. ve Mahvi, A.H., 2016. Assessment of Human Health Risk for Heavy Metals in Imported Rice and its Daily Intake in Iran. *Research Journal of Environmental Toxicology*, 10(1), 75-81.
- Yu, X., Sheng, J., Zhao, L., Diao, Y., Zheng, X., Xie, K., Zhou, M. ve Hu, Z., 2015. *In Vitro* Plant Regeneration of Lotus (*Nelumbo nucifera*). *Open Life Sciences*, 10, 142-146.
- Yusuf, N.A., Suffian Annuar, M.M. ve Khalid, N., 2011. Rapid Micropropagation of *Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf. Kulturpfl. (a Valuable Medicinal Plant) from Shoot Bud explants. *African Journal of Biotechnology*, 10(7), 1194-1199.
- Yüce, M., 2011. Bazı Ağır Metallerin Tayininde Kullanılmak Üzere Mikrobiyal Biyosensör Geliştirilmesi. *Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Biyoteknoloji Enstitüsü*, Ankara.
- Zayed, A., Gowthaman, S. ve Terry, N., 1998. Phytoremediation of Trace Elements by Wetland Plants: I. Duckweed. *Journal of Environmental Quality*, 27, 715-721.
- Zayed, A.M. ve Terry, N., 2003. Chromium in the Environment: Factors Affecting Biological Remediation. *Plant and Soil*, 249, 139-156.
- Zheng, X., Xu, X., Yekeen, T.A., Zhang, Y., Chen, A., Kim, S.S., Dietrich, K.N., Ho, S., Lee, S., Reponen, T. ve Huo, X., 2016. Ambient Air Heavy Metals in PM_{2.5} and Potential Human Health Risk Assessment in an Informal Electronic-Waste Recycling Site of China. *Aerosol and Air Quality Research*, 16, 388-397.
- Zhou, C.F., An, S.Q., Jiang, J.H., Yin, D.Q., Wang, Z.L., Fang, C., Sun, Z.Y. ve Qian, C., 2006. An *In Vitro* Propagation Protocol of Two Submerged Macrophytes for Lake Revegetation in East China. *Aquatic Botany*, 85(1), 44-52.



EK 1. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *C. demersum*'un ağır metal birikimi

Gün	Oran (mg/L)			Ağır metal birikimi (mg/kg k.a)		
	Cd	Cr	Pb	Cd	Cr	Pb
1	-	-	-	1037,42 ^c	1695,88 ^c	8427,33 ^c
3	-	-	-	1161,92 ^b	2579,05 ^b	14075,83 ^b
5	-	-	-	1333,75 ^a	2940,33 ^a	16211,00 ^a
-	0,5	3	25	527,92 ^d	2414,56 ^c	13612,78 ^c
-	1	6	50	1276,81 ^c	2978,50 ^b	15978,06 ^b
-	1,5	9	75	1856,94 ^b	3239,50 ^a	17305,28 ^a
-	2	12	100	2226,81 ^a	3392,89 ^a	17627,50 ^a
1	0,5	3	25	354,17 ^g	1642,75 ^g	9805,0 ^g
	1	6	50	1207,50 ^e	1996,17 ^{fg}	9978,3 ^g
	1,5	9	75	1649,17 ^c	2306,83 ^{ef}	10996,67 ^g
	2	12	100	1976,25 ^b	2533,67 ^e	11356,67 ^g
3	0,5	3	25	594,17 ^f	2604,25 ^e	14897,50 ^f
	1	6	50	1265,00 ^{de}	3261,83 ^{cd}	17552,50 ^{de}
	1,5	9	75	1914,58 ^b	3420,00 ^c	18907,50 ^{cd}
	2	12	100	2035,83 ^b	3609,17 ^{bc}	19021,67 ^{cd}
5	0,5	3	25	635,42 ^f	2996,67 ^d	16135,83 ^{ef}
	1	6	50	1357,92 ^d	3677,50 ^{abc}	20403,33 ^{bc}
	1,5	9	75	2007,08 ^b	3991,67 ^{ab}	22011,67 ^{ab}
	2	12	100	2668,33 ^a	4035,83 ^a	22504,17 ^a

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $p < 0,05$ düzeyinde önemlidir.

EK 2. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *P. erectus*'un ağır metal birikimi

Gün	Oran (mg/L)			Ağır metal birikimi (mg/kg k.a)		
	Cd	Cr	Pb	Cd	Cr	Pb
1	-	-	-	876,13 ^b	2286,68 ^b	1119,50 ^c
3	-	-	-	924,88 ^b	2544,65 ^a	1202,73 ^b
5	-	-	-	1000,75 ^a	2654,13 ^a	1288,38 ^a
-	0,2	0,4	0,4	311,46 ^d	962,29 ^d	270,42 ^d
-	0,4	0,8	0,8	623,96 ^c	1954,29 ^c	695,79 ^c
-	0,8	1,6	1,6	1297,79 ^b	3759,17 ^b	1574,80 ^b
-	1,6	3,2	3,2	2436,46 ^a	5800,00 ^a	3476,67 ^a
1	0,2	0,4	0,4	296,25 ^f	868,38 ^f	212,63 ^f
	0,4	0,8	0,8	583,127 ^e	1862,50 ^e	624,63 ^e
	0,8	1,6	1,6	1262,50 ^d	3615,00 ^d	1349,00 ^d
	1,6	3,2	3,2	2238,75 ^c	5087,50 ^b	3411,25 ^a
3	0,2	0,4	0,4	301,88 ^f	966,38 ^f	259,00 ^f
	0,4	0,8	0,8	633,75 ^e	1939,38 ^e	705,13 ^e
	0,8	1,6	1,6	1280,63 ^d	3682,50 ^d	1583,25 ^c
	1,6	3,2	3,2	2408,13 ^b	6135,00 ^a	3466,25 ^a
5	0,2	0,4	0,4	336,25 ^f	1052,13 ^f	339,63 ^f
	0,4	0,8	0,8	655,00 ^e	2061,00 ^e	757,63 ^e
	0,8	1,6	1,6	1350,00 ^d	3980,00 ^c	1792,13 ^b
	1,6	3,2	3,2	2662,50 ^a	6177,50 ^a	3552,50 ^a

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $p < 0,05$ düzeyinde önemlidir.

EK 3. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *C. demersum*'un biyokonsantrasyon faktörü (BKF)

Gün	Oran (mg/L)			Biyokonsantrasyon faktörü (BKF)		
	Cd	Cr	Pb	Cd	Cr	Pb
1	-	-	-	1000,86 ^c	336,93 ^c	212,99 ^c
3	-	-	-	1186,91 ^b	523,12 ^b	347,32 ^b
5	-	-	-	1325,24 ^a	597,91 ^a	393,01 ^a
-	0,5	3	25	1055,83 ^b	804,85 ^a	544,51 ^a
-	1	6	50	1276,81 ^a	496,42 ^b	319,56 ^b
-	1,5	9	75	1237,96 ^a	359,95 ^c	230,74 ^c
-	2	12	100	1113,40 ^b	282,74 ^d	176,28 ^d
1	0,5	3	25	708,33 ^e	547,58 ^c	392,20 ^b
	1	6	50	1207,50 ^{abc}	332,70 ^{ef}	199,57 ^{def}
	1,5	9	75	1099,44 ^{cd}	256,32 ^{fg}	146,62 ^{fg}
	2	12	100	988,13 ^d	211,14 ^g	113,57 ^g
3	0,5	3	25	1188,33 ^{bc}	868,08 ^b	595,90 ^a
	1	6	50	1265,00 ^{ab}	543,64 ^c	351,05 ^b
	1,5	9	75	1276,39 ^{ab}	380,00 ^{de}	252,10 ^{cd}
	2	12	100	1017,92 ^d	300,77 ^{efg}	190,22 ^{ef}
5	0,5	3	25	1270,83 ^{ab}	998,89 ^a	645,43 ^a
	1	6	50	1357,92 ^a	612,92 ^c	408,07 ^b
	1,5	9	75	1338,06 ^{ab}	443,52 ^d	293,49 ^c
	2	12	100	1334,17 ^{ab}	336,32 ^{ef}	225,04 ^{de}

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $p < 0,05$ düzeyinde önemlidir.

EK 4. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *P. erectus*'un biyokonsantrasyon faktörü (BKF)

Gün	Oran (mg/L)			Biyokonsantrasyon faktörü (BKF)		
	Cd	Cr	Pb	Cd	Cr	Pb
1	-	-	-	1479,10 ^b	2087,07 ^c	805,37 ^c
3	-	-	-	1549,90 ^{ab}	2264,73 ^b	900,41 ^b
5	-	-	-	1667,58 ^a	2406,13 ^a	1006,58 ^a
-	0,2	0,4	0,4	1557,29 ^a	2405,73 ^a	676,04 ^d
-	0,4	0,8	0,8	1559,90 ^a	2442,87 ^a	869,74 ^c
-	0,8	1,6	1,6	1622,14 ^a	2349,48 ^a	984,25 ^b
-	1,6	3,2	3,2	1522,79 ^a	1812,50 ^b	1086,46 ^a
1	0,2	0,4	0,4	1481,25 ^a	2170,94 ^d	531,56 ^h
	0,4	0,8	0,8	1457,81 ^a	2328,13 ^{bcd}	780,78 ^f
	0,8	1,6	1,6	1578,13 ^a	2259,38 ^{cd}	843,13 ^{ef}
	1,6	3,2	3,2	1399,22 ^a	1589,84 ^f	1066,02 ^{ab}
3	0,2	0,4	0,4	1509,38 ^a	2415,94 ^{abcd}	647,50 ^g
	0,4	0,8	0,8	1584,38 ^a	2424,22 ^{abcd}	881,41 ^{de}
	0,8	1,6	1,6	1600,78 ^a	2301,56 ^{cd}	989,53 ^{bc}
	1,6	3,2	3,2	1505,08 ^a	1917,19 ^e	1083,20 ^{ab}
5	0,2	0,4	0,4	1681,25 ^a	2630,31 ^a	849,06 ^{ef}
	0,4	0,8	0,8	1637,50 ^a	2576,25 ^{ab}	947,03 ^{cd}
	0,8	1,6	1,6	1687,50 ^a	2487,50 ^{abc}	1120,08 ^a
	1,6	3,2	3,2	1664,06 ^a	1930,47 ^e	1110,16 ^a

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $p < 0,05$ düzeyinde önemlidir.

EK 5. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *C. demersum*'un taze ağırlıkları

Gün	Oran (mg/L)			Taze ağırlık (g)		
	Cd	Cr	Pb	Cd	Cr	Pb
1	-	-	-	5,13 ^b	4,96 ^b	4,83 ^b
3	-	-	-	5,34 ^a	5,11 ^a	5,11 ^a
5	-	-	-	5,32 ^a	4,99 ^{ab}	5,14 ^a
-	0	0	0	5,19 ^a	5,18 ^a	5,17 ^a
-	0,5	3	25	5,27 ^a	5,12 ^{ab}	4,96 ^{bc}
-	1	6	50	5,29 ^a	5,00 ^{bc}	5,04 ^b
-	1,5	9	75	5,29 ^a	4,94 ^{bc}	5,03 ^{bc}
-	2	12	100	5,28 ^a	4,86 ^c	4,93 ^c
1	0	0	0	5,09 ^{def}	5,07 ^{abcd}	5,05 ^{bc}
	0,5	3	25	5,37 ^{abcd}	5,04 ^{abcd}	4,74 ^e
	1	6	50	5,17 ^{cdef}	4,92 ^{bcd}	4,83 ^{de}
	1,5	9	75	5,05 ^{ef}	4,89 ^{cd}	4,82 ^{de}
	2	12	100	4,97 ^f	4,88 ^{cd}	4,73 ^e
3	0	0	0	5,21 ^{bcdef}	5,18 ^{abc}	5,15 ^{abc}
	0,5	3	25	5,39 ^{abc}	5,27 ^{ab}	4,97 ^{cd}
	1	6	50	5,45 ^{abc}	5,14 ^{abcd}	5,19 ^{ab}
	1,5	9	75	5,33 ^{abcde}	5,05 ^{abcd}	5,20 ^{ab}
	2	12	100	5,30 ^{abcde}	4,91 ^{cd}	5,02 ^{bc}
5	0	0	0	5,26 ^{bcdef}	5,29 ^a	5,31 ^a
	0,5	3	25	5,06 ^{ef}	5,05 ^{abcd}	5,17 ^{abc}
	1	6	50	5,24 ^{bcdef}	4,93 ^{bcd}	5,10 ^{bc}
	1,5	9	75	5,49 ^{ab}	4,87 ^{cd}	5,08 ^{bc}
	2	12	100	5,57 ^a	4,81 ^d	5,03 ^{bc}

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $p < 0,05$ düzeyinde önemlidir.

EK 6. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *C. demersum*'un kuru ağırlıkları

Gün	Oran (mg/L)			Kuru ağırlık (mg)		
	Cd	Cr	Pb	Cd	Cr	Pb
1	-	-	-	301,00 ^b	343,20 ^b	346,60 ^c
3	-	-	-	289,33 ^b	332,67 ^b	372,13 ^b
5	-	-	-	358,60 ^a	389,00 ^a	420,27 ^a
-	0	0	0	343,00 ^a	343,22 ^a	344,44 ^c
-	0,5	3	25	317,89 ^b	362,56 ^a	377,56 ^b
-	1	6	50	306,56 ^b	354,78 ^a	382,67 ^{ab}
-	1,5	9	75	314,11 ^b	357,78 ^a	391,78 ^{ab}
-	2	12	100	300,00 ^b	356,44 ^a	401,89 ^a
1	0	0	0	305,67 ^{cd}	302,33 ^f	306,00 ^g
	0,5	3	25	316,67 ^c	307,33 ^f	315,67 ^g
	1	6	50	316,00 ^c	352,33 ^{cde}	354,67 ^{ef}
	1,5	9	75	305,67 ^{cd}	370,33 ^{abcd}	381,00 ^{de}
	2	12	100	261,00 ^e	383,67 ^{abc}	375,67 ^{de}
3	0	0	0	331,33 ^{bc}	329,67 ^{def}	333,33 ^{fg}
	0,5	3	25	304,67 ^{cd}	372,00 ^{abcd}	367,67 ^{def}
	1	6	50	277,00 ^{de}	319,33 ^{ef}	374,33 ^{de}
	1,5	9	75	273,67 ^{de}	312,33 ^{ef}	390,67 ^{cde}
	2	12	100	260,00 ^e	330,00 ^{def}	394,67 ^{cd}
5	0	0	0	392,00 ^a	397,67 ^{ab}	394,00 ^{cd}
	0,5	3	25	332,33 ^{bc}	408,33 ^a	449,33 ^a
	1	6	50	326,67 ^{bc}	392,67 ^{abc}	419,00 ^{abc}
	1,5	9	75	363,00 ^{ab}	390,67 ^{abc}	403,67 ^{bcd}
	2	12	100	379,00 ^a	355,67 ^{bcd}	435,33 ^{ab}

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $p < 0,05$ düzeyinde önemlidir.

EK 7. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *P. erectus*'un taze ağırlıkları

Gün	Oran (mg/L)			Taze ağırlık (g)		
	Cd	Cr	Pb	Cd	Cr	Pb
1	-	-	-	4,81 ^a	4,69 ^a	4,74 ^a
3	-	-	-	4,82 ^a	4,69 ^a	4,55 ^b
5	-	-	-	4,87 ^a	4,75 ^a	4,65 ^{ab}
-	0	0	0	5,12 ^a	5,15 ^a	5,12 ^a
-	0,2	0,4	0,4	4,69 ^b	4,75 ^b	4,54 ^b
-	0,4	0,8	0,8	4,72 ^b	4,62 ^{bc}	4,50 ^b
-	0,8	1,6	1,6	4,84 ^b	4,54 ^c	4,49 ^b
-	1,6	3,2	3,2	4,79 ^b	4,50 ^c	4,58 ^b
1	0	0	0	5,06 ^{abc}	5,09 ^{ab}	5,04 ^{ab}
	0,2	0,4	0,4	4,59 ^f	4,74 ^{cd}	4,76 ^{bc}
	0,4	0,8	0,8	4,61 ^{ef}	4,58 ^{cd}	4,72 ^{bc}
	0,8	1,6	1,6	4,81 ^{bcdef}	4,54 ^{cd}	4,67 ^c
	1,6	3,2	3,2	4,96 ^{abcd}	4,52 ^{cd}	4,50 ^{cd}
3	0	0	0	5,11 ^{ab}	5,15 ^a	5,13 ^a
	0,2	0,4	0,4	4,62 ^{ef}	4,82 ^{bc}	4,28 ^d
	0,4	0,8	0,8	4,73 ^{def}	4,61 ^{cd}	4,23 ^d
	0,8	1,6	1,6	4,93 ^{abcde}	4,46 ^d	4,53 ^{cd}
	1,6	3,2	3,2	4,72 ^{def}	4,43 ^d	4,57 ^{cd}
5	0	0	0	5,21 ^a	5,20 ^a	5,18 ^a
	0,2	0,4	0,4	4,87 ^{bcdef}	4,69 ^{cd}	4,58 ^{cd}
	0,4	0,8	0,8	4,81 ^{bcdef}	4,67 ^{cd}	4,55 ^{cd}
	0,8	1,6	1,6	4,78 ^{cdef}	4,63 ^{cd}	4,28 ^d
	1,6	3,2	3,2	4,69 ^{def}	4,54 ^{cd}	4,66 ^c

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $p < 0,05$ düzeyinde önemlidir.

EK 8. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *P. erectus*'un kuru ağırlıkları

Gün	Oran (mg/L)			Kuru ağırlık (mg)		
	Cd	Cr	Pb	Cd	Cr	Pb
1	-	-	-	515,00 ^a	496,60 ^a	503,33 ^a
3	-	-	-	513,73 ^a	482,13 ^a	488,33 ^b
5	-	-	-	505,13 ^a	498,27 ^a	509,67 ^a
-	0	0	0	518,78 ^a	519,11 ^a	518,78 ^a
-	0,2	0,4	0,4	520,44 ^a	486,33 ^b	501,00 ^b
-	0,4	0,8	0,8	520,00 ^a	489,33 ^b	499,44 ^b
-	0,8	1,6	1,6	497,56 ^b	482,89 ^b	484,33 ^b
-	1,6	3,2	3,2	499,67 ^b	484,00 ^b	498,67 ^b
1	0	0	0	512,33 ^{abc}	510,67 ^{abcd}	509,67 ^{abcd}
	0,2	0,4	0,4	499,67 ^{cd}	475,33 ^{cde}	511,33 ^{abcd}
	0,4	0,8	0,8	508,67 ^{bc}	468,67 ^{de}	520,00 ^{ab}
	0,8	1,6	1,6	514,00 ^{abc}	494,00 ^{abcd}	490,33 ^{bcdef}
	1,6	3,2	3,2	540,33 ^{ab}	534,33 ^a	485,33 ^{cdef}
3	0	0	0	519,33 ^{abc}	521,33 ^{abc}	518,33 ^{abc}
	0,2	0,4	0,4	513,67 ^{abc}	488,00 ^{abcd}	462,00 ^f
	0,4	0,8	0,8	528,33 ^{abc}	472,67 ^{de}	480,33 ^{def}
	0,8	1,6	1,6	509,67 ^{bc}	469,33 ^{de}	492,33 ^{bcdef}
	1,6	3,2	3,2	497,67 ^{cd}	459,33 ^e	488,67 ^{bcdef}
5	0	0	0	524,67 ^{abc}	525,33 ^{ab}	528,33 ^a
	0,2	0,4	0,4	548,00 ^a	495,67 ^{abcd}	529,67 ^a
	0,4	0,8	0,8	523,00 ^{abc}	526,67 ^{ab}	498,00 ^{abcde}
	0,8	1,6	1,6	469,00 ^{de}	485,33 ^{bcde}	470,33 ^{ef}
	1,6	3,2	3,2	461,00 ^e	458,33 ^e	522,00 ^{ab}

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $p < 0,05$ düzeyinde önemlidir.

EK 9. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd uygulanan *C. demersum*'un fotosentetik pigment içeriği

Gün	Oran	Klorofil <i>a</i> (mg/g t.a)	Klorofil <i>b</i> (mg/g t.a)	Toplam Klorofil (mg/g t.a)	Karotenoit (mg/g t.a)
	Cd (mg/L)				
1	-	0,61 ^a	0,20 ^a	0,81 ^a	0,19 ^a
3	-	0,51 ^b	0,17 ^b	0,68 ^b	0,16 ^b
5	-	0,45 ^c	0,14 ^c	0,59 ^c	0,15 ^c
-	0	0,83 ^a	0,25 ^a	1,08 ^a	0,24 ^a
-	0,5	0,61 ^b	0,20 ^b	0,82 ^b	0,20 ^b
-	1	0,46 ^c	0,17 ^c	0,63 ^c	0,16 ^c
-	1,5	0,39 ^d	0,14 ^d	0,53 ^d	0,13 ^d
-	2	0,32 ^e	0,10 ^e	0,42 ^e	0,11 ^e
1	0	0,84 ^a	0,26 ^a	1,11 ^a	0,25 ^a
	0,5	0,70 ^b	0,22 ^{cd}	0,92 ^b	0,24 ^a
	1	0,58 ^c	0,21 ^{cde}	0,79 ^c	0,19 ^b
	1,5	0,49 ^d	0,18 ^{ef}	0,68 ^d	0,16 ^{cd}
	2	0,43 ^{de}	0,15 ^g	0,58 ^e	0,14 ^{de}
3	0	0,84 ^a	0,23 ^{bc}	1,07 ^a	0,23 ^a
	0,5	0,57 ^c	0,20 ^{de}	0,77 ^c	0,18 ^{bc}
	1	0,43 ^{de}	0,16 ^{fg}	0,59 ^e	0,16 ^{cd}
	1,5	0,42 ^e	0,15 ^g	0,57 ^e	0,14 ^{de}
	2	0,30 ^f	0,11 ^h	0,41 ^f	0,11 ^f
5	0	0,81 ^a	0,25 ^{ab}	1,06 ^a	0,24 ^a
	0,5	0,57 ^c	0,19 ^{de}	0,77 ^c	0,19 ^b
	1	0,38 ^e	0,13 ^{gh}	0,50 ^e	0,13 ^e
	1,5	0,26 ^{fg}	0,07 ⁱ	0,34 ^{fg}	0,10 ^{fg}
	2	0,22 ^g	0,05 ⁱ	0,27 ^g	0,08 ^g

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $p < 0,05$ düzeyinde önemlidir.

EK 10. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cr uygulanan *C. demersum*'un fotosentetik pigment içeriği

Gün	Oran	Klorofil <i>a</i> (mg/g t.a)	Klorofil <i>b</i> (mg/g t.a)	Toplam Klorofil (mg/g t.a)	Karotenoit (mg/g t.a)
	Cr (mg/L)				
1	-	0,64 ^a	0,23 ^a	0,87 ^a	0,19 ^a
3	-	0,58 ^b	0,20 ^b	0,77 ^b	0,18 ^b
5	-	0,53 ^c	0,17 ^c	0,70 ^c	0,17 ^c
-	0	0,82 ^a	0,30 ^a	1,12 ^a	0,24 ^a
-	3	0,71 ^b	0,23 ^b	0,94 ^b	0,22 ^b
-	6	0,60 ^c	0,20 ^c	0,80 ^c	0,18 ^c
-	9	0,41 ^d	0,16 ^d	0,57 ^d	0,13 ^d
-	12	0,35 ^e	0,12 ^e	0,47 ^e	0,12 ^e
1	0	0,82 ^{ab}	0,30 ^a	1,12 ^a	0,24 ^a
	3	0,78 ^b	0,25 ^b	1,02 ^b	0,22 ^{ab}
	6	0,70 ^c	0,22 ^c	0,93 ^c	0,21 ^b
	9	0,47 ^e	0,21 ^{cd}	0,68 ^e	0,14 ^d
	12	0,41 ^f	0,19 ^{de}	0,60 ^f	0,13 ^d
3	0	0,83 ^a	0,30 ^a	1,12 ^a	0,23 ^a
	3	0,70 ^c	0,23 ^{bc}	0,93 ^c	0,22 ^{ab}
	6	0,57 ^d	0,19 ^{de}	0,76 ^d	0,17 ^c
	9	0,42 ^f	0,17 ^e	0,59 ^f	0,13 ^d
	12	0,35 ^g	0,12 ^f	0,47 ^g	0,12 ^d
5	0	0,82 ^{ab}	0,30 ^a	1,12 ^a	0,24 ^a
	3	0,66 ^c	0,21 ^{cd}	0,87 ^c	0,21 ^b
	6	0,53 ^d	0,18 ^e	0,70 ^{de}	0,16 ^c
	9	0,35 ^g	0,09 ^f	0,45 ^g	0,12 ^d
	12	0,28 ^h	0,06 ^g	0,35 ^h	0,10 ^e

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $p < 0,05$ düzeyinde önemlidir.

EK 11. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Pb uygulanan *C. demersum*'un fotosentetik pigment içeriği

Gün	Oran	Klorofil <i>a</i> (mg/g t.a)	Klorofil <i>b</i> (mg/g t.a)	Toplam Klorofil (mg/g t.a)	Karotenoit (mg/g t.a)
	Pb (mg/L)				
1	-	0,66 ^a	0,21 ^a	0,87 ^a	0,19 ^a
3	-	0,59 ^b	0,19 ^b	0,78 ^b	0,18 ^b
5	-	0,49 ^c	0,16 ^c	0,65 ^c	0,16 ^c
-	0	0,84 ^a	0,28 ^a	1,12 ^a	0,25 ^a
-	25	0,67 ^b	0,21 ^b	0,88 ^b	0,20 ^b
-	50	0,57 ^c	0,18 ^c	0,75 ^c	0,17 ^c
-	75	0,43 ^d	0,13 ^d	0,56 ^d	0,14 ^d
-	100	0,40 ^d	0,13 ^d	0,53 ^d	0,13 ^e
1	0	0,85 ^a	0,29 ^a	1,14 ^a	0,25 ^a
	25	0,77 ^b	0,25 ^b	1,02 ^b	0,22 ^b
	50	0,64 ^c	0,20 ^c	0,84 ^{cd}	0,19 ^{cd}
	75	0,53 ^{de}	0,16 ^{de}	0,69 ^{ef}	0,16 ^e
	100	0,49 ^e	0,16 ^{de}	0,64 ^f	0,15 ^{ef}
3	0	0,82 ^a	0,27 ^{ab}	1,10 ^a	0,25 ^a
	25	0,69 ^c	0,21 ^c	0,90 ^c	0,21 ^c
	50	0,64 ^c	0,19 ^c	0,83 ^d	0,19 ^{cd}
	75	0,42 ^f	0,14 ^e	0,56 ^g	0,14 ^{fg}
	100	0,39 ^f	0,14 ^e	0,52 ^g	0,12 ^g
5	0	0,84 ^a	0,28 ^a	1,12 ^a	0,25 ^a
	25	0,54 ^d	0,18 ^{cd}	0,72 ^e	0,18 ^d
	50	0,43 ^f	0,15 ^e	0,58 ^g	0,14 ^{ef}
	75	0,33 ^g	0,10 ^f	0,43 ^h	0,12 ^g
	100	0,33 ^g	0,08 ^f	0,41 ^h	0,12 ^g

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $p < 0,05$ düzeyinde önemlidir.

EK 12. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd uygulanan *P. erectus*'un fotosentetik pigment içeriği

Gün	Oran	Klorofil <i>a</i> (mg/g t.a)	Klorofil <i>b</i> (mg/g t.a)	Toplam Klorofil (mg/g t.a)	Karotenoit (mg/g t.a)
	Cd (mg/L)				
1	-	0,58 ^a	0,17 ^a	0,75 ^a	0,18 ^a
3	-	0,52 ^b	0,15 ^b	0,67 ^b	0,17 ^b
5	-	0,45 ^c	0,13 ^c	0,59 ^c	0,14 ^c
-	0	0,74 ^a	0,19 ^a	0,93 ^a	0,22 ^a
-	0,2	0,55 ^b	0,17 ^{ab}	0,73 ^b	0,17 ^b
-	0,4	0,51 ^c	0,16 ^b	0,67 ^c	0,16 ^c
-	0,8	0,44 ^d	0,14 ^c	0,58 ^d	0,14 ^d
-	1,6	0,35 ^e	0,09 ^d	0,44 ^e	0,12 ^e
1	0	0,73 ^a	0,19 ^a	0,92 ^a	0,22 ^a
	0,2	0,64 ^b	0,18 ^{ab}	0,83 ^b	0,19 ^b
	0,4	0,61 ^b	0,17 ^{abc}	0,78 ^b	0,19 ^b
	0,8	0,48 ^{cd}	0,16 ^{bcd}	0,64 ^{cd}	0,16 ^c
	1,6	0,45 ^{de}	0,12 ^{ef}	0,58 ^e	0,14 ^{de}
3	0	0,74 ^a	0,18 ^{ab}	0,93 ^a	0,23 ^a
	0,2	0,52 ^c	0,17 ^{abc}	0,70 ^c	0,16 ^c
	0,4	0,51 ^c	0,17 ^{abc}	0,68 ^c	0,15 ^{cd}
	0,8	0,46 ^d	0,14 ^{de}	0,61 ^{de}	0,15 ^{cd}
	1,6	0,38 ^f	0,08 ^g	0,47 ^f	0,14 ^{de}
5	0	0,75 ^a	0,19 ^a	0,94 ^a	0,22 ^a
	0,2	0,49 ^{cd}	0,17 ^{abc}	0,66 ^{cd}	0,15 ^{cd}
	0,4	0,42 ^{ef}	0,15 ^{cd}	0,56 ^e	0,13 ^{ef}
	0,8	0,39 ^f	0,11 ^f	0,50 ^f	0,12 ^f
	1,6	0,23 ^g	0,05 ^h	0,28 ^g	0,08 ^g

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $p < 0,05$ düzeyinde önemlidir.

EK 13. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cr uygulanan *P. erectus*'un fotosentetik pigment içeriği

Gün	Oran	Klorofil <i>a</i> (mg/g t.a)	Klorofil <i>b</i> (mg/g t.a)	Toplam Klorofil (mg/g t.a)	Karotenoit (mg/g t.a)
	Cr (mg/L)				
1	-	0,54 ^a	0,15 ^a	0,69 ^a	0,16 ^a
3	-	0,49 ^b	0,14 ^b	0,63 ^b	0,15 ^b
5	-	0,46 ^c	0,13 ^c	0,59 ^c	0,14 ^c
-	0	0,75 ^a	0,19 ^a	0,94 ^a	0,23 ^a
-	0,4	0,58 ^b	0,18 ^b	0,76 ^b	0,18 ^b
-	0,8	0,45 ^c	0,13 ^c	0,58 ^c	0,14 ^c
-	1,6	0,39 ^d	0,12 ^c	0,51 ^d	0,12 ^d
-	3,2	0,31 ^e	0,08 ^d	0,40 ^e	0,10 ^e
1	0	0,76 ^a	0,19 ^{ab}	0,95 ^a	0,22 ^a
	0,4	0,59 ^b	0,20 ^a	0,79 ^b	0,19 ^b
	0,8	0,52 ^c	0,15 ^c	0,67 ^c	0,15 ^c
	1,6	0,42 ^{de}	0,12 ^d	0,54 ^d	0,13 ^{de}
	3,2	0,40 ^{def}	0,11 ^{de}	0,50 ^{de}	0,12 ^{ef}
3	0	0,75 ^a	0,19 ^{ab}	0,94 ^a	0,23 ^a
	0,4	0,57 ^b	0,17 ^{bc}	0,74 ^b	0,18 ^b
	0,8	0,44 ^d	0,12 ^d	0,56 ^d	0,14 ^{cd}
	1,6	0,40 ^{def}	0,11 ^{de}	0,51 ^{de}	0,13 ^{de}
	3,2	0,29 ^g	0,09 ^e	0,38 ^f	0,10 ^{gh}
5	0	0,73 ^a	0,20 ^a	0,92 ^a	0,22 ^a
	0,4	0,58 ^b	0,16 ^c	0,74 ^b	0,18 ^b
	0,8	0,39 ^{ef}	0,11 ^{de}	0,50 ^{de}	0,13 ^{de}
	1,6	0,35 ^f	0,11 ^{de}	0,46 ^e	0,11 ^{fg}
	3,2	0,25 ^g	0,06 ^f	0,31 ^g	0,08 ^h

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $p < 0,05$ düzeyinde önemlidir.

EK 14. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Pb uygulanan *P. erectus*'un fotosentetik pigment içeriği

Gün	Oran	Klorofil <i>a</i> (mg/g t.a)	Klorofil <i>b</i> (mg/g t.a)	Toplam Klorofil (mg/g t.a)	Karotenoit (mg/g t.a)
	Pb (mg/L)				
1	-	0,60 ^a	0,17 ^a	0,76 ^a	0,19 ^a
3	-	0,57 ^b	0,16 ^a	0,73 ^b	0,18 ^b
5	-	0,54 ^c	0,14 ^b	0,68 ^c	0,16 ^c
-	0	0,75 ^a	0,19 ^a	0,94 ^a	0,22 ^a
-	0,4	0,64 ^b	0,19 ^a	0,83 ^b	0,20 ^b
-	0,8	0,54 ^c	0,17 ^b	0,71 ^c	0,16 ^c
-	1,6	0,48 ^d	0,13 ^c	0,61 ^d	0,15 ^d
-	3,2	0,42 ^e	0,10 ^d	0,53 ^e	0,13 ^e
1	0	0,73 ^{ab}	0,19 ^{abc}	0,92 ^a	0,23 ^a
	0,4	0,70 ^b	0,20 ^a	0,90 ^a	0,22 ^a
	0,8	0,59 ^d	0,18 ^{abcd}	0,76 ^c	0,18 ^c
	1,6	0,50 ^{ef}	0,14 ^{efg}	0,64 ^{efg}	0,15 ^{de}
	3,2	0,48 ^f	0,12 ^{ghi}	0,60 ^g	0,14 ^{de}
3	0	0,77 ^a	0,19 ^{abcd}	0,95 ^a	0,22 ^a
	0,4	0,65 ^c	0,19 ^{abcd}	0,84 ^b	0,20 ^b
	0,8	0,53 ^e	0,17 ^{bcde}	0,69 ^{de}	0,16 ^d
	1,6	0,48 ^f	0,14 ^{fgh}	0,62 ^{fg}	0,15 ^{de}
	3,2	0,42 ^g	0,11 ⁱ	0,53 ^h	0,14 ^e
5	0	0,74 ^a	0,20 ^{ab}	0,94 ^a	0,22 ^a
	0,4	0,57 ^d	0,17 ^{cdef}	0,74 ^{cd}	0,18 ^c
	0,8	0,52 ^e	0,16 ^{def}	0,68 ^{def}	0,15 ^{de}
	1,6	0,47 ^f	0,11 ^{hi}	0,58 ^{gh}	0,14 ^{de}
	3,2	0,38 ^h	0,08 ^j	0,46 ⁱ	0,12 ^f

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $p < 0,05$ düzeyinde önemlidir.

EK 15. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *C. demersum*'un protein içerikleri

Gün	Oran (mg/L)			Protein içeriği (mg/g t.a)		
	Cd	Cr	Pb	Cd	Cr	Pb
1	-	-	-	8,39 ^a	8,28 ^a	8,40 ^a
3	-	-	-	8,17 ^a	7,81 ^b	8,14 ^a
5	-	-	-	7,59 ^b	7,18 ^c	7,13 ^b
-	0	0	0	8,74 ^a	8,72 ^a	8,67 ^a
-	0,5	3	25	8,82 ^a	8,71 ^a	8,70 ^a
-	1	6	50	8,16 ^b	7,76 ^b	8,13 ^b
-	1,5	9	75	7,71 ^c	7,31 ^c	7,33 ^c
-	2	12	100	6,83 ^d	6,28 ^d	6,62 ^d
1	0	0	0	8,61 ^{bcd}	8,67 ^{bc}	8,75 ^{bc}
	0,5	3	25	8,83 ^{ab}	9,36 ^a	9,78 ^a
	1	6	50	8,54 ^{bcd}	8,52 ^{bc}	8,22 ^{cd}
	1,5	9	75	8,16 ^{cde}	7,79 ^d	8,10 ^{cd}
	2	12	100	7,83 ^e	7,07 ^{ef}	7,17 ^{ef}
3	0	0	0	8,73 ^{abc}	8,80 ^{ab}	8,59 ^{bc}
	0,5	3	25	9,26 ^a	8,67 ^{bc}	8,68 ^{bc}
	1	6	50	8,06 ^{de}	7,80 ^d	9,15 ^b
	1,5	9	75	7,84 ^e	7,61 ^{de}	7,40 ^{ef}
	2	12	100	6,95 ^f	6,19 ^g	6,87 ^{fg}
5	0	0	0	8,87 ^{ab}	8,70 ^{bc}	8,68 ^{bc}
	0,5	3	25	8,37 ^{bcd}	8,12 ^{cd}	7,63 ^{de}
	1	6	50	7,87 ^e	6,97 ^f	7,00 ^{efg}
	1,5	9	75	7,13 ^f	6,54 ^{fg}	6,49 ^g
	2	12	100	5,70 ^g	5,58 ^h	5,82 ^h

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $p < 0,05$ düzeyinde önemlidir.

EK 16. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *P. erectus*'un protein içerikleri

Gün	Oran (mg/L)			Protein içeriği (mg/g t.a)		
	Cd	Cr	Pb	Cd	Cr	Pb
1	-	-	-	9,20 ^a	8,96 ^a	9,11 ^a
3	-	-	-	9,16 ^a	8,68 ^b	8,74 ^b
5	-	-	-	8,27 ^b	8,22 ^c	8,29 ^c
-	0	0	0	9,69 ^a	9,58 ^a	9,71 ^a
-	0,2	0,4	0,4	9,29 ^b	9,11 ^b	9,51 ^a
-	0,4	0,8	0,8	8,89 ^c	8,66 ^c	8,48 ^b
-	0,8	1,6	1,6	8,45 ^d	8,22 ^d	8,20 ^b
-	1,6	3,2	3,2	8,08 ^e	7,52 ^e	7,69 ^c
1	0	0	0	9,73 ^{ab}	9,46 ^{abc}	9,83 ^a
	0,2	0,4	0,4	9,62 ^{ab}	10,05 ^a	10,02 ^a
	0,4	0,8	0,8	9,11 ^{bcde}	9,02 ^{bcd}	8,85 ^{bcd}
	0,8	1,6	1,6	8,93 ^{cdef}	8,49 ^{def}	8,73 ^{cde}
	1,6	3,2	3,2	8,63 ^{ef}	7,77 ^{ghi}	8,12 ^{ef}
3	0	0	0	9,86 ^a	9,59 ^{ab}	9,86 ^a
	0,2	0,4	0,4	9,67 ^{ab}	9,01 ^{bcd}	9,38 ^{abc}
	0,4	0,8	0,8	9,29 ^{abcd}	8,82 ^{cde}	8,47 ^{def}
	0,8	1,6	1,6	8,67 ^{def}	8,34 ^{efg}	8,05 ^f
	1,6	3,2	3,2	8,30 ^{fg}	7,63 ^{hi}	7,96 ^f
5	0	0	0	9,47 ^{abc}	9,70 ^a	9,43 ^{ab}
	0,2	0,4	0,4	8,57 ^{ef}	8,28 ^{efgh}	9,12 ^{bcd}
	0,4	0,8	0,8	8,27 ^{fg}	8,13 ^{fgh}	8,12 ^{ef}
	0,8	1,6	1,6	7,75 ^{gh}	7,82 ^{ghi}	7,82 ^f
	1,6	3,2	3,2	7,31 ^h	7,16 ⁱ	6,98 ^g

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $p < 0,05$ düzeyinde önemlidir.

EK 17. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *C. demersum*'un MDA içerikleri

Gün	Oran (mg/L)			MDA içeriği (nmol/mg t.a)		
	Cd	Cr	Pb	Cd	Cr	Pb
1	-	-	-	12,16 ^b	11,49 ^c	11,57 ^b
3	-	-	-	12,58 ^{ab}	12,24 ^b	12,28 ^a
5	-	-	-	13,15 ^a	13,05 ^a	12,58 ^a
-	0	0	0	9,76 ^d	9,89 ^e	9,82 ^d
-	0,5	3	25	12,21 ^c	11,95 ^d	12,01 ^c
-	1	6	50	12,82 ^{bc}	12,47 ^c	12,48 ^{bc}
-	1,5	9	75	13,38 ^b	13,12 ^b	12,89 ^b
-	2	12	100	14,94 ^a	13,88 ^a	13,50 ^a
1	0	0	0	9,74 ^e	9,91 ^f	9,80 ^f
	0,5	3	25	11,55 ^{de}	11,62 ^e	11,84 ^{de}
	1	6	50	12,54 ^{bcd}	11,70 ^e	11,95 ^{de}
	1,5	9	75	12,78 ^{bcd}	12,02 ^{de}	11,99 ^{de}
	2	12	100	14,14 ^{bc}	12,20 ^{cde}	12,26 ^{de}
3	0	0	0	9,87 ^e	9,91 ^f	9,81 ^f
	0,5	3	25	12,30 ^{cd}	11,75 ^{de}	12,02 ^{de}
	1	6	50	12,98 ^{bcd}	12,76 ^c	12,61 ^{cde}
	1,5	9	75	13,22 ^{bcd}	12,93 ^c	13,22 ^{ab}
	2	12	100	14,50 ^{ab}	13,87 ^b	13,73 ^a
5	0	0	0	9,68 ^e	9,85 ^f	9,85 ^f
	0,5	3	25	12,77 ^{bcd}	12,48 ^{cd}	12,18 ^{de}
	1	6	50	12,95 ^{bcd}	12,95 ^c	12,89 ^{abc}
	1,5	9	75	14,15 ^{bc}	14,42 ^b	13,46 ^{ab}
	2	12	100	16,18 ^a	15,58 ^a	14,51 ^a

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $p < 0,05$ düzeyinde önemlidir.

EK 18. Farklı konsantrasyon ve sürelerde Cd, Cr ve Pb uygulanan *P. erectus*'un MDA içerikleri

Gün	Oran (mg/L)			MDA içerikleri (mg/g t.a)		
	Cd	Cr	Pb	Cd	Cr	Pb
1	-	-	-	13,41 ^c	14,33 ^c	14,17 ^c
3	-	-	-	17,83 ^b	19,60 ^b	19,46 ^b
5	-	-	-	19,97 ^a	22,15 ^a	23,24 ^b
-	0	0	0	11,62 ^e	11,56 ^e	11,83 ^e
-	0,2	0,4	0,4	15,66 ^d	16,77 ^d	16,02 ^d
-	0,4	0,8	0,8	17,70 ^c	18,08 ^c	17,37 ^c
-	0,8	1,6	1,6	19,04 ^b	21,38 ^b	22,76 ^b
-	1,6	3,2	3,2	21,35 ^a	25,68 ^a	26,81 ^a
1	0	0	0	11,57 ⁱ	11,73 ^g	11,89 ^b
	0,2	0,4	0,4	12,87 ^{gh}	12,80 ^{fg}	14,15 ^{fg}
	0,4	0,8	0,8	13,80 ^{fg}	13,75 ^{ef}	13,95 ^g
	0,8	1,6	1,6	14,08 ^{fg}	14,62 ^e	14,99 ^{fg}
	1,6	3,2	3,2	14,74 ^{ef}	18,76 ^{cd}	15,88 ^{ef}
3	0	0	0	11,85 ^{hi}	11,60 ^g	12,13 ^h
	0,2	0,4	0,4	15,35 ^e	18,03 ^d	15,88 ^{ef}
	0,4	0,8	0,8	18,69 ^d	19,52 ^{bcd}	17,17 ^{de}
	0,8	1,6	1,6	20,06 ^c	20,33 ^{bc}	21,74 ^c
	1,6	3,2	3,2	23,22 ^b	28,50 ^a	30,41 ^b
5	0	0	0	11,45 ⁱ	11,35 ^g	11,48 ^h
	0,2	0,4	0,4	18,76 ^d	19,48 ^{bcd}	18,03 ^d
	0,4	0,8	0,8	20,61 ^c	20,96 ^b	20,99 ^c
	0,8	1,6	1,6	22,97 ^b	29,20 ^a	31,56 ^b
	1,6	3,2	3,2	26,08 ^a	29,79 ^a	34,13 ^a

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $p < 0,05$ düzeyinde önemlidir.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Muhammet DOĞAN
Doğum Tarihi ve Yer : 13.12.1987/ Yüreğir
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
e-mail : mdogan@kmu.edu.tr

Eğitim Bilgileri

Eğitim Derece	Eğitim Birimi	Yıl
Doktora	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Biyoloji Bölümü	2017
Yüksek Lisans	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Biyoloji Bölümü	2013
Lisans	Çukurova Üniversitesi Biyoloji Bölümü	2009
Lise	Abdulkadir Paksoy Lisesi	2004

Akademik Ünvanlar

Ünvan	Alan	Üniversite	Yıl
Araştırma Görevlisi	Biyoloji Bölümü	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi	2011-Devam ediyor

A. Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler (SCI, SCI-E)

- A1.** Dogan, M., Emsen, B., Aasim, M. ve Yildirim, E., 2017. *Ceratophyllum demersum* L. Extract As a Botanical Insecticide for Controlling the Maize Weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 27(1), 2017, 11-15.
- A2.** Karatas M., Aasim, M. ve Dogan, M., 2016. Efficacy of *In Vitro* Propagated Coontail (*Ceratophyllum demersum* L.) on Quality of Different Water Samples. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25(12), 5113-5119.
- A3.** Dogan, M., Karatas, M. ve Aasim M., 2016. *In Vitro* Shoot Regeneration from Shoot Tip And Nodal Segment Explants of *Pogostemon Erectus* (Dalzell) Kuntze, A Multipurpose Ornamental Aquatic Plant. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25(11), 4777-4782.

- A4.** Emsen, B., **Dogan, M.**, Aasim M. ve Yildirim, E., 2016. Insecticidal Activity of *In Vitro* Propagated Aquatic Plant *Ceratophyllum demersum* L. against Granary Weevil *Sitophilus granarius* L. (Coleoptera: Curculionidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 26(3), 619-624.
- A5.** **Dogan, M.**, Karatas, M. ve Aasim, M., 2015. An Efficient *In Vitro* Plantlet Regeneration of *Ceratophyllum demersum* L., an Important Medicinal Aquatic Plant. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(10b), 3499-3504.
- A6.** Karatas, M., **Dogan, M.**, Emsen, B. ve Aasim, M., 2015. Determination of *In Vitro* Free Radical Scavenging Activities of Various Extracts from *In Vitro* Propagated *Ceratophyllum demersum* L.. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(9a), 2946-29-52.
- A7.** Karatas, M., Aasim, M. ve **Dogan, M.**, 2014. Multiple Shoot Regeneration of *Ceratophyllum demersum* L. on Agar Solidified and Liquid Mediums. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23(1), 3-9.
- A8.** Karatas, M., Aasim, M., Çınar, A. ve **Dogan, M.**, 2013. Adventitious Shoot Regeneration from Leaf Explant of Dwarf Hygro (*Hygrophila polysperma* (Roxb.) T. Anderson), *Scientific World Journal*, volume 2013, Article ID 680425, 7 pages.
- A9.** Karatas, M., Aasim, M., **Dogan, M.** ve Khawar, K.M., 2013. Adventitious Shoot Regeneration of the Medicinal Plant Water Hyssop (*Bacopa monnieri* L. Pennell) Using Different Internodes. *Archives of Biological Science, Belgrade*, 65(1), 297-303.

B. Alan İndekslerindeki Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler (SCI, SCI-E Haric)

- B1.** Aasim, M., **Doğan, M.**, Karataş, M. ve Khawar, K.M., 2017. *In Vitro* Direct Whole Plant Regeneration of Water Lettuce (*Pistia stratiotes* L) Using Thidiazuron. *Journal of Global Innovation in Agricultural and Social Sciences*, 2017, 5(1), 1-4.
- B2.** Bakhsh, A., Aasim, M., Zia, A.B., **Doğan, M.**, Sadi, G., Karataş, M. ve Khawar, K.M., 2016. First Report of *Agrobacterium tumefaciens* Mediated Genetic Transformation of Aquatic Rice Paddy Herb (*Limnophila aromatica*). *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 4(8), 642-645.

- B3.** Aasim, M., Karatas, M., Khawar, K.M. ve **Dogan, M.**, 2013. Optimization of Sterilization and Micropropagation of Water Lettuce (*Pistia stratiotes* L.). *Journal of Applied Biological Sciences* 7 (3), 71-74.

C. Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitabında Basılan Bildiriler

- C1.** **Dogan, M.**, Karatas, M. ve Aasim, M., 2016. Micropropagation of *Pogostemon erectus* (Dalzell) Kuntze from Shoot Tip Explants. *1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016)*, October 26-28, 2016, Adana, Turkey. Preceeding Book: 192-196, Paper ID:77 (Sözlü sunum - Tam metin)
- C2.** **Dogan, M.** ve Emsen B., 2016. Effect of Benzylaminopurine (BAP) and Thidiazuron (TDZ) on *In Vitro* Shoot Regeneration of *Ceratophyllum demersum* L., a Medicinal Aquatic Plant. *1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016)*, October 26-28, 2016, Adana, Turkey. Preceeding Book: 187-191, Paper ID:76 (Sözlü sunum – Tam metin)
- C3.** Emsen B. ve **Dogan, M.** 2016. Antioxidant Components in Methanol and Water Extracts from *In Vitro* Propagated *Ceratophyllum demersum* L.. *1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016)*, October 26-28, 2016, Adana, Turkey. Preceeding Book: 214-217, Paper ID:82 (Sözlü sunum – Tam metin)
- C4.** Emsen, B. ve **Dogan, M.**, 2016. Solvent Extraction Treatments of *In Vitro* Regenerated *Ceratophyllum demersum* L.. *4th International Symposium on Development of KOP Region*, October 21-23, 2016, Karaman, Turkey. Abstract Book 23. (Sözlü sunum)
- C5.** **Doğan, M.**, Karatas, M. and Aasim, M., 2016. Su Ortamındaki Kadmiyum, Krom ve Kurşunun *Ceratophyllum demersum* L. Tarafından Alımı Üzerine Sıcaklık ve pH'ın Etkisi. *4th International Symposium on Development of KOP Region*, October 21-23, 2016, Karaman, Turkey. Abstract Book 57. (Sözlü sunum)
- C6.** **Doğan, M.**, Karatas, M. ve Aasim, M., 2016. Kadmiyum, Krom ve Kurşunun *Pogostemon erectus* (Dalzell) Kuntze Kullanılarak Su Ortamından Uzaklaştırılması Üzerine Sıcaklık ve pH'ın Etkisi. *4th International Symposium on Development of KOP Region*, October 21-23, 2016, Karaman, Turkey. Abstract Book 58. (Sözlü sunum)

- C7.** Karatas, M., **Dogan, M.** ve Asim M., 2016. Effect of Thidiazuron (TDZ) and 1-Naphthaleneacetic acid (NAA) on *In Vitro* Propagation of *Pogostemon erectus* (Dalzell) Kuntze From Shoot Tip Explants. *5th International Molecular Biology and Biotechnology Congress*, August 25-29, 2016, Skopje, Macedonia. Preceding Book: 9 -13. (Sözlü sunum - Tam metin)
- C8.** Emsen, B., **Dogan, M.** ve Karatas, M., 2016. Determination of Reducing Power of Different Extracts of *Ceratophyllum demersum* L. Propagated by Tissue Culture Techniques. *5th International Molecular Biology and Biotechnology Congress*, August 25-29, 2016, Skopje, Macedonia. Preceding Book: 22 -27. (Sözlü sunum - Tam metin)
- C9.** **Dogan, M.**, Emsen, B. ve Karatas, M., 2016. Metal Chelating Activity of *In Vitro* Propagated *Ceratophyllum demersum* L. *5th International Molecular Biology and Biotechnology Congress*, August 25-29, 2016, Skopje, Macedonia. Abstract Book 50. (Poster sunum)
- C10.** Karatas, M., **Dogan, M.** ve Asim M., 2016. The Surface Sterilization of *Pogostemon erectus* (Dalzell) Kuntze, An Important Aquatic Plant. *5th International Molecular Biology and Biotechnology Congress*, August 25-29, 2016, Skopje, Macedonia. Abstract Book 57. (Poster sunum)
- C11.** Karataş, M. ve **Doğan, M.**, 2016. The Effects of Different Concentrations of Kinetin on *In Vitro* Propagation of *Pogostemon erectus* (Dalzell) Kuntze. *2nd International Congress on Applied Biological Sciences*, May 27-31, 2016, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina. Preceding Book: 55-58. (Sözlü sunum - Tam metin)
- C12.** Karataş, M. ve **Doğan, M.**, 2016. Sterilization Treatments For Micropropagation of *Lysimachia nummularia* L.. *2nd International Congress on Applied Biological Sciences*, May 27-31, 2016, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina. Abstract Book 118. (Poster sunum)
- C13.** Karatas, M., **Dogan, M.** ve Aasim, M., 2015. Effect of Thidiazuron on *In Vitro* Propagation of *Ceratophyllum demersum* L. From Shoot Tip Explants. *VI. International Scientific Agricultural Symposium "Agrosym 2015"*, October 15 - 18, 2015, Jahorina, Bosnia and Herzegovina. Abstract Book 292. (Poster sunum)
- C14.** **Dogan, M.**, Emsen, B., Aasim, M. ve Yıldırım, E. 2015. Adulticidal Activity of *Ceratophyllum demersum* L. Propagated by Tissue Culture Techniques Against Maize Weevil. *VI. International Scientific Agricultural Symposium "Agrosym 2015"*, October 15 - 18, 2015, Jahorina, Bosnia and Herzegovina. Abstract Book 464. (Poster sunum)

- C15.** Emsen, B., **Dogan, M.**, Aasim, M. ve Karatas, M. 2015. Dpph Scavenging Activity of Methanolic Extract From *In Vitro* Grown *Ceratophyllum demersum* L.. *VI. International Scientific Agricultural Symposium "Agrosym 2015"*, October 15 - 18, 2015, Jahorina, Bosnia and Herzegovina. Abstract Book 465. (Poster sunum)
- C16.** Emsen, B., **Dogan, M.**, Aasim, M. ve Yıldırım, E. 2015. Insecticidal Activity of Methanol Extract of *In Vitro* Propagated *Ceratophyllum demersum* L. On *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *VI. International Scientific Agricultural Symposium "Agrosym 2015"*, October 15 - 18, 2015, Jahorina, Bosnia and Herzegovina. Abstract Book 475. (Poster sunum)
- C17.** Emsen, B., **Dogan, M.**, Aasim, M. ve Yıldırım, E. 2015. Insecticidal Effect of *In Vitro* Regenerated *Ceratophyllum demersum* L. Against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). *2nd International Conference on Sustainable Agriculture and Environment (ICSAE)*, September 30 – October 03, 2015, Konya, Turkey, Abstract Book 329. (Poster sunum)
- C18.** **Dogan, M.**, Emsen, B., Aasim, M. ve Yıldırım, E. 2015. Toxicity Effect of *Ceratophyllum demersum* L. Propagated by Tissue Culture Techniques on Granary Weevil. *2nd International Conference on Sustainable Agriculture and Environment (ICSAE)*, September 30 – October 03, 2015, Konya, Turkey, Abstract Book 330. (Poster sunum)
- C19.** Karatas, M., **Dogan, M.** ve Aasım, M., 2015. Efficient *In Vitro* Regeneration of Medicinal Aquatic Plant *Ceratophyllum demersum* L. *2nd International Conference on Sustainable Agriculture and Environment (ICSAE)*, September 30 – October 03, 2015, Konya, Turkey, Abstract Book 332. (Poster sunum)
- C20.** Karatas, M., **Dogan, M.** ve Aasım, M., 2015. Plant Tissue Culture An Alternative For the Production of Valuable Secondary Metabolites, *1st Turkish Congress of One Health*, April 08-10, 2015, Konya, Turkey, Abstract Book PS074. (Poster sunum)
- C21.** Karatas, M., **Dogan, M.** ve Aasım, M., 2015. Transgenic Aquatic Plants For Enhanced Phytoremediation of Heavy Metals, *1st Turkish Congress of One Health*, April 08-10, 2015, Konya, Turkey, Abstract Book PS076. (Poster sunum)
- C22.** Karatas, M., Aasım, M. ve **Dogan, M.**, 2014. Axillary Shoot Regeneration From Different Nodal Segments of *Rotala rotundifolia*, *3rd International Molecular Biology and Biotechnology Congress*, June 02-06, 2014, Sarajevo/Bosnia-Herzegovina, Abstract book p. 254. (Poster sunum)

- C23.** Karatas, M., Aasim, M., Çiftçioğlu, M. ve **Dogan, M.**, 2013. *In Vitro* Shoot Regeneration of Medicinal Aquatic Plant *Rotala rotundifolia* (Buch-Ham. ex Roxb) Koehne], *5th Global Summit on Medicinal and Aromatic Plants (GOSMAP-5)*, December 8 -12, 2013, Miri, Sarawak, Malaysia, Abstract book p. 165. (Sözlü sunum)
- C24.** Karatas, M., Aasim, M., Çınar, A. ve **Dogan, M.**, 2013. *In Vitro* Shoot Regeneration of Medicinal Dwarf Hygro (*Hygrophila polysperma*), *5th Global Summit on Medicinal and Aromatic Plants (GOSMAP-5)*, December 8 -12, 2013, Miri, Sarawak, Malaysia, Abstract book p. 166. (Sözlü sunum)
- C25.** Karatas, M., **Dogan, M.** ve Aasim, M., 2013. Phytoremediation of Wastewater By *In Vitro* Grown *Ceratophyllum demersum* L., *The Second International Conference on Water, Energy and Environment (ICWEE'2013)*, September 21-24, 2013, Kusadası, Aydın, Turkey, Abstract book p. 74. (Poster sunum)
- C26.** Karatas, M. ve **Dogan, M.**, 2013. An Effective System for Wastewater Treatment: Aquatic Plants, *The Second International Conference on Water, Energy and Environment (ICWEE'2013)*, September 21-24, 2013, Kusadası, Aydın, Turkey, Abstract book p. 75. (Poster sunum)
- C27.** Karataş, M. ve **Dogan, M.**, 2013. An Overview of Pollution of Water Resources, *The Second International Conference on Water, Energy and Environment (ICWEE'2013)*, September 21-24, 2013, Kusadası, Aydın, Turkey, Abstract book p. 75. (Poster sunum)
- C28.** Karataş, M. ve **Dogan, M.**, 2013. Some Saving Models for Sustainable Use of Water Resources, *The Second International Conference on Water, Energy and Environment (ICWEE'2013)*, September 21-24, 2013, Kusadası, Aydın, Turkey, Abstract book p. 76. (Poster sunum)
- C29.** Karataş, M., Aasim, M., Çiftçioğlu, M. ve **Dogan, M.**, 2013. *In Vitro* Whole Plant Regeneration of *Rotala rotundifolia* in Liquid Culture. *International Conference on Environmental Science and Techology (ICOEST-Cappadocia)*, June 18-21, 2013, Urgup, Nevşehir, Turkey, Abstract book p. 586. (Poster sunum)
- C30.** Karataş, M., Aasim, M., Çınar, A. ve **Dogan, M.**, 2013. *In vitro* Axillary Shoot Regeneration of Dwarf Hygro (*Hygrophylla polysperma*). *International Conference on Environmental Science and Techology (ICOEST-Cappadocia)*, June 18-21, 2013, Urgup, Nevşehir, Turkey, Abstract book p. 586. (Poster sunum)

D. Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitabında Basılan Bildiriler

- D1.** Emsen, B., **Doğan, M.**, Karataş, M. ve Aasim, M., 2015. *In Vitro* Koşullarda Üretilen *Bacopa monnieri* (L.) Pennell'nin Klorofil İçeriğinin Belirlenmesi. *II Ulusal Botanik / Bitki Bilimi Kongresi*, 25-28 Ağustos 2015, Afyon, Türkiye. Özet Kitabı Sayfa No: 82. (Poster sunum)
- D2.** Emsen, B., **Doğan, M.**, Karataş, M. ve Aasim, M., 2015. Doku Kültürü Teknikleri ile Üretilen *Bacopa monnieri* Bitkisinin Protein İçeriğinin Belirlenmesi. *Ulusal 4. Moleküler Biyoloji ve Biyoteknoloji Kongresi*, 21-24 Ağustos 2015, Afyon, Türkiye. Özet Kitabı Sayfa No: 80. (Poster sunum)
- D3.** Emsen, B., **Doğan, M.**, Karataş, M. ve Aasim, M., 2015. Akuatik Bitkilerin Antioksidatif Kapasiteleri Üzerine Genel Bir Değerlendirme. *Ulusal 4. Moleküler Biyoloji ve Biyoteknoloji Kongresi*, 21-24 Ağustos 2015, Afyon, Türkiye. Özet Kitabı Sayfa No: 81. (Poster sunum)
- D4.** Karataş, M., **Doğan, M.**, Aasim, M. ve Khawar K.M., 2012. *In Vitro* Koşullarda *Bacopa monnieri* (L.) Pennell Bitkisinin Çoğaltımı. 2. *Ulusal Moleküler Biyoloji ve Biyoteknoloji Kongresi*, 15-18 Kasım, 2012-Antalya, Türkiye. Özet Kitabı Sayfa No:74. (Sözlü sunum)
- D5.** Karataş, M., **Doğan, M.**, Çiftçiöğlü, M. ve Aasim, M., 2012. Tilki Kuyruğu (*Ceratophyllum demersum* L.) Bitkisinde Sterilizasyon Çalışmaları. 2. *Ulusal Moleküler Biyoloji ve Biyoteknoloji Kongresi*, 15-18 Kasım, 2012-Antalya, Türkiye. Özet Kitabı Sayfa No: 139. (Poster sunum)
- D6.** Karataş, M., Çiftçiöğlü, M., **Doğan, M.** ve Aasim, M., 2012. Su Bitkilerinin Üretim Tekniklerine Genel Bakış. 2. *Ulusal Moleküler Biyoloji ve Biyoteknoloji Kongresi*, 15-18 Kasım, 2012-Antalya, Türkiye. Özet Kitabı Sayfa No: 140. (Poster sunum)
- D7.** Karataş, M., **Doğan, M.** ve Aasim, M., 2012. Türkiye'de Akuatik Bitkilerin Biyoteknolojisi. 2. *Ulusal Moleküler Biyoloji ve Biyoteknoloji Kongresi*, 15-18 Kasım, 2012-Antalya, Türkiye. Özet Kitabı Sayfa No: 141. (Poster sunum)
- D8.** Karataş, M., Çiftçiöğlü, M., **Doğan, M.** ve Aasim, M., 2012. *Rotala* [*Rotala rotundifolia* (Buch-Ham. Ex Roxb.) Koehne] Bitkisinin Doku Kültürü ile Çoğaltımı. 2. *Ulusal Moleküler Biyoloji ve Biyoteknoloji Kongresi*, 15-18 Kasım, 2012-Antalya, Türkiye. Özet Kitabı Sayfa No: 151. (Poster sunum)
- D9.** Karataş, M., Çınar, A., **Doğan, M.** ve Aasim, M., 2012. *In Vitro* Koşullarda *Hygrophila polysperma* (Roxb.) T. Anderson Bitkisinin Mikroçoğaltımı. 2. *Ulusal Moleküler Biyoloji ve Biyoteknoloji Kongresi*, 15-18 Kasım, 2012-Antalya, Türkiye. Özet Kitabı Sayfa No: 152. (Poster sunum)

E. Projeler

No	Proje ismi	Finansman Kurumu	Proje tipi	Proje no	Başlama ve Bitiş Tarihi	Bütçesi	Pozisyon
E1.	Doku Kültürü Teknikleri ile Çoğaltılan <i>Ceratophyllum demersum</i> L.'un Farklı Ekstraktlarının Antioksidan Aktivitelerinin Belirlenmesi	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi	BAP (Bilimsel Araştırma Projeleri)	21-M-15	19.11.2015 - 03.11.2016	19.963,58 TL	Araştırmacı
E2.	<i>In Vitro</i> Koşullarda Üretilen <i>Ceratophyllum demersum</i> L.'dan Elde Edilen Ekstraktların İnsektisit Etkilerinin Belirlenmesi	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi	BAP (Bilimsel Araştırma Projeleri)	05-M-15	18.05.2015 - 29.02.2016	15.088 TL	Araştırmacı
E3.	Ulusal ve Uluslararası Alanda Ticari Öneme Sahip Bazı Akvaryum Bitkilerinin Doku Kültürü Teknikleriyle Hızlı ve Çoklu Üretimi	TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu)	TEYDEB	2130190	01.01.2014 - 31.12.2014	100.000 TL	Yürütücü
E4.	Bazı Akvaryum Bitkilerinin <i>In vitro</i> Koşullarda Mikroçoğaltımı	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi	BAP (Bilimsel Araştırma Projeleri)	50-M-12	25.09.2012 - 25.06.2014	44.000 TL	Araştırmacı
E5.	Bazı Akvaryum Bitkilerinin Doku Kültürü ile Çoğaltımı	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi	BAP (Bilimsel Araştırma Projeleri)	32-M-12	11.06.2012 - 11.06.2014	33.409,24 TL	Araştırmacı
E6.	Su Marulu (<i>Pistia stratiotes</i>) Bitkisinde Doku Kültürü Çalışmaları	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi	BAP (Bilimsel Araştırma Projeleri)	31-M-12	22.05.2012 - 21.11.2013	14.491 TL	Araştırmacı

F. Kitap Bölüm Çevirileri

- F1.** Karataş, M., Emsen, B. ve **Dogan, M., 2016.** Fitoplankton. In: Karatas, M. and Atar H.H. (Çeviri ed), Deniz Yaşamı Biyolojisine Giriş, 63-95 sayfa. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, Türkiye. ISBN: 978-605-320-526-5
- F2.** Karataş, M., Emsen, B. ve **Dogan, M., 2016.** Deniz Bitkileri. In: Karatas, M. and Atar H.H. (Çeviri ed), Deniz Yaşamı Biyolojisine Giriş, 96-128 sayfa. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, Türkiye. ISBN: 978-605-320-526-5

G. Bilimsel Faaliyetler

- G1.** 4. Uluslararası KOP Bölgesel Kalkınma Sempozyumu, 21-23 Ekim 2016, Karaman-Türkiye.
- G2.** TÜBİTAK 4004 - Doğa Eğitimi ve Bilim Okulları Projesi (Eğitmen). 4-13 Kasım 2016, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Karaman-Türkiye.
- G3.** 3. Uluslararası Moleküler Biyoloji ve Biyoteknoloji Kongresi Sekretaryalığı. Uluslararası Kongre (02-06 Haziran 2014), Saraybosna-Bosna Hersek.
- G4.** Girişimcilik eğitimi, 21-23 Şubat 2014, TÜBİTAK TÜSSİDE - TÜBİTAK TEYDEB, Gebze - Kocaeli, Türkiye.
- G5.** TÜBİTAK-BİDEB, 2237-Proje Eğitimi Etkinlikleri Destekleme Programı, Mühendislik ve Fen Bilimlerinde TÜBİTAK Araştırma Projesi Hazırlama Eğitimi. 27-29 Ocak 2014, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Karaman-Türkiye.
- G6.** TÜBİTAK 1512 - Girişimcilik Aşamalı Destek Programı kapsamında Yüz Yüze İş Planı Hazırlama Eğitimi, 26 Temmuz - 2 Ağustos 2013, Konya Teknokent - Selçuk Teknoloji Transfer Ofisi, Konya Türkiye.
- G7.** Scopus ve ScienceDirect Akademik Veritabanları Eğitimi, 11 Haziran 2013, ELSEVIER – Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Karaman-Türkiye.
- G8.** 2. Ulusal Moleküler Biyoloji ve Biyoteknoloji Kongresi Sekretaryalığı, 15-18 Kasım 2012, Antalya-Türkiye.
- G9.** TÜBİTAK Bilgilendirme ve Eğitim Semineri. 05 Ocak 2012, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Karaman-Türkiye.
- G10.** Yaz Bilim Okulu (Eğitmen), 4-22 Temmuz 2011, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi – Karaman Bilim ve Araştırma Merkezi, Karaman-Türkiye.