

**T.C.  
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

***Pistia stratiotes*' İN KADMIYUM, KURŞUN VE NİKEL  
İÇEREN SULARDA BÜYÜME HIZININ ZAMANLA  
DEĞİŞİMİ VE METAL AKÜMÜLASYON**

**Tezi Hazırlayan  
Esra DALMIŞ**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Zeliha LEBLEBİCİ**

**Biyoloji Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Ocak 2018  
NEVŞEHİR**



**T.C.  
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

***Pistia stratiotes*' İN KADMIYUM, KURŞUN VE NİKEL  
İÇEREN SULARDA BÜYÜME HIZININ ZAMANLA  
DEĞİŞİMİ VE METAL AKÜMÜLASYON**

**Tezi Hazırlayan  
Esra DALMIŞ**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Zeliha LEBLEBİCİ**

**Biyoloji Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Ocak 2018  
NEVŞEHİR**

## KABUL ve ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Zeliha LEBLEBİCİ danışmanlığında Esra DALMIŞ tarafından hazırlanan "*Pistia stratiotes*'in Kadmiyum, Kurşun ve Nikel içeren Sularda Büyüme Hızının Zamanla Değişimi ve Metal Akümülayonu" adlı bu çalışma jürimiz tarafından Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

05/01/2018

### JÜRİ

Başkan :Ydr. Doç. Dr. Fatih Doğan KOCA

Üye :Doç. Dr. Zeliha LEBLEBİCİ

Üye :Ydr. Doç. Dr. Musa KAR

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetimi Kurulunun 10/01/2018. tarih ve...02-11..... sayılı karar ile onaylanmıştır.

11/01/2018

Prof. Dr. Şahlan ÖZTÜRK  
Enstitü Müdürü



## TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yer alan bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde tedarik edilerek sunulduğunu ve bana ait olmayan tüm ifade ve bilgilerin kaynağına eksiksiz atıf yaptığımı bildiririm.

Esra DALMIŞ



## TEŞEKKÜRLER

Danışmanlığımı yürüten, tez çalışmasının seçiminde, kaynakların taranmasında, bu çalışmada nasıl bir yol izlemem gerektiği konusunda yardımcı olan, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve önerileri ile beni yönlendiren değerli hocam Doç. Dr. Zeliha LEBLEBİCİ'ye,

Deneysel çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübeleriyle her daim yanımda olan, bana her konuda yardımlarını hiç eksik etmeyen Arş. Gör. Enver Ersoy ANDEDEN' e,

Her zaman maddi ve manevi desteğiyle yardımcı olan, değerli bilgilerini benimle paylaşan ve tecrübelerinden yararlandığım değerli hocam Prof. Dr. Erdoğan ÇİÇEK'e,

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve önerileri ile beni yönlendiren, her zaman desteği ile yanımda olan değerli hocam Prof. Dr. Şahlan ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Rektörlüğü'ne, Fen Edebiyat Fakültesi Dekanlığı'na, Biyoloji Bölüm Başkanlığı'na ve NEÜLÜP 15F8 nolu proje kapsamında bu araştırmayı destekleyen Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

***Pistia stratiotes*'İN KADMIYUM, KURŞUN VE NİKEL İÇEREN SULARDA  
BÜYÜME HIZININ ZAMANLA DEĞİŞİMİ VE METAL AKÜMÜLASYONU**

(Yüksek Lisans Tez)

**Esra DALMIŞ**

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Ocak 2018**

**ÖZET**

Sucul alanların ağır metallere kontaminasyonu sonucunda bu alanda yaşayan canlıların vücutlarında ağır metaller birikebilir ve toksik etki yapabilir. Çalışmamızda farklı konsantrasyonlardaki kadmiyum (Cd), kurşun (Pb) ve nikel (Ni) ağır metallerinin etkisinde 7 günlük periyotta *Pistia stratiotes* (su marulu) su bitkisinde meydana gelen fizyolojik ve morfolojik değişiklikler araştırılmıştır.

Çalışmada standart koşullar oluşturularak, üçer tekerrürden oluşan çalışma düzeni kurulmuştur. Deney düzeneğinden belirli periyotlarda bitki örnekleri alınarak göreceli büyüme oranları (RGR), fotosentetik pigment miktarları (klorofil a, b ve karotenoid), lipid peroksidasyonu ve ağır metal miktarları tayin edilmiştir.

Sonuçlar değerlendirildiğinde ağır metal konsantrasyonu arttıkça büyüme oranının azaldığı, fotosentetik pigment miktarlarının ağır metal konsantrasyonu artışıyla ters orantılı olduğu belirlenmiştir. Bitkinin ağır metal akümüülasyonu elementlerin maruziyet konsantrasyonunun artışına bağlı olarak artış göstermiştir.

Sonuçta; ağır metallere kirlenmiş alanlarda *Pistia stratiotes*'in bitkisel arıtım amacı ile etkili bir şekilde kullanılabileceği ve bu çalışmanın bitkisel arıtım (fiteromediasyon) çalışmalarına katkı sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler: Ağır metal, *Pistia stratiotes*, Akümüülasyon**  
**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Zeliha LEBLEBİCİ**  
**Sayfa Adedi: 59**

***Pistia stratiotes* THE TIMELINE CHANGE AND METAL ACCUMULATION OF GROWTH RATE IN WATER INCLUDING CADMIUM, LEAD AND NICKEL**

(M. Sc. Thesis)

**Esra DALMIŞ**

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE**

**January 2018**

**ABSTRACT**

Because of contamination of aquatic areas with heavy metals, heavy metals may accumulate in the living bodies of living in this area and may have a toxic effect.

In our study, some physiological and morphological changes on the *Pistia stratiotes* (water-lettuce) were investigated during the 7-day period under the influence of cadmium (Cd), lead (Pb) and nickel (Ni) heavy metals at different concentrations.

By establishing standard conditions in the study, a working scheme consisting of three repetitions was established. Plant growth rates (RGR), photosynthetic pigment quantities (chlorophyll a, b and karatenoid) and lipid peroxidation were determined by taking plant samples from the experimental setup at specific periods.

When the results are evaluated, it is determined that as the heavy metal concentration increases, the growth rate decreases, and the photosynthetic pigment amounts are inversely related to the increase of the heavy metal concentration. The amount of heavy metal accumulation of the plant increased as the amount of concentration increased.

After all; it is believed that the plant can be used effectively for the purpose of plant removal in heavy metal contaminated areas and it is believed that the work will contribute to the phytoremediation studies.

***Keywords: Heavy metal, Pistia stratiotes, Accumulation***

**Thesis Advisor: Assoc. Doç. Dr. Zeliha LEBLEBİCİ**

**Page Number: 59**



## İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI .....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI .....	ii
TEŞEKKÜRLER .....	iii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	x
TABLOLAR LİSTESİ .....	xii
SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	xiii
1. BÖLÜM	
GİRİŞ .....	1
2. BÖLÜM	
GENEL BİLGİ .....	3
2.1. Ağır Metallerin Genel Özellikleri .....	3
2.1.1. Kadmiyum (Cd).....	7
2.1.2. Kurşun (Pb) .....	7
2.1.3. Nikel (Ni) .....	8
2.2. Bitkiler Üzerinde Ağır Metal Stresi .....	8
2.2.1. Ağır Metallerin Bitkiler Tarafından Akümüasyonu.....	9
2.2.2. Akvatik Makrofitlerde Ağır Metal Akümüasyonu.....	9
2.2.3. Ağır Metal Stresine Karşı Korunma Mekanizmaları .....	10
2.2.3.1. Fitoremediasyon (Bitkisel Arıtım) ve Yöntemleri.....	11
2.2.3.1.1. Fitoekstraksiyon Yöntemi.....	11

2.2.3.1.2.	Fitostabilizasyon Yöntemi .....	12
2.2.3.1.3.	Fitovolatilizasyon Yöntemi .....	13
2.2.3.1.4.	Rizodegradasyon Yöntemi.....	13
2.2.3.1.5.	Fitodegradasyon Yöntemi.....	14
2.2.3.1.6.	Rizofiltrasyon Yöntemi.....	14
2.3.	Kaynak Özetleri.....	17
3.	<b>BÖLÜM</b>	
	<b>MATERYAL VE METOD .....</b>	<b>19</b>
3.1.	Araştırma Materyalleri ve Temini.....	19
3.1.1.	<i>Pistia stratiotes</i> 'in Sistematığı .....	19
3.1.2.	<i>Pistia stratiotes</i> (Su marulu) .....	19
3.2.	Yöntem .....	20
3.2.1.	Kültür Ortamı ve Ağır Metal Uygulanması .....	20
3.2.2.	Klorofiller (a, b ve t) ve Karotenoid Tayinleri .....	22
3.2.3.	Lipid Peroksidasyon Analizi (MDA) .....	23
3.2.4.	Bitkide Ağır Metal Seviyesinin Belirlenmesi .....	24
3.2.5.	İstatiksel Analizler.....	24
4.	<b>BÖLÜM</b>	
	<b>BULGULAR.....</b>	<b>25</b>
4.1.	<i>Pistia stratiotes</i> .....	25
4.1.1.	Farklı Konsantrasyonlardaki Pb Akümülayon Miktarları.....	25

4.1.1.1.	Farklı Konsantrasyonlarda Pb Uygulanmış <i>Pistia stratiotes</i> Örneklerindeki Büyüme Oranı .....	25
4.1.1.2.	Farklı Konsantrasyonlarda Pb Uygulanmış <i>Pistia stratiotes</i> Örneklerindeki Klorofil a Miktarları .....	26
4.1.1.3.	Farklı Konsantrasyonlarda Pb Uygulanmış <i>Pistia stratiotes</i> Örneklerindeki Klorofil b Miktarları.....	27
4.1.1.4.	Farklı Konsantrasyonlarda Pb Uygulanmış <i>Pistia stratiotes</i> Örneklerindeki Toplam Klorofil Miktarları.....	28
4.1.1.5.	Farklı Konsantrasyonlarda Pb Uygulanmış <i>Pistia stratites</i> Örneklerindeki Karotenoid Miktarları.....	29
4.1.1.6.	Farklı Konsantrasyonlarda Pb Uygulanmış <i>Pistia stratiotes</i> Örneklerindeki Lipid Peroksidasyonu Miktarları.....	30
4.1.2.	Farklı Konsantrasyonlardaki Ni Akümülayon Miktarları.....	31
4.1.2.1.	Farklı Konsantrasyonlarda Ni Uygulanmış <i>Pistia stratiotes</i> Örneklerindeki Büyüme Oranı .....	32
4.1.2.2.	Farklı Konsantrasyonlarda Ni Uygulanmış <i>Pistia stratiotes</i> Örneklerindeki Klorofil a Miktarları .....	33
4.1.2.3.	Farklı Konsantrasyonlarda Ni Uygulanmış <i>Pistia stratiotes</i> Örneklerindeki Klorofil b Miktarları.....	34
4.1.2.4.	Farklı Konsantrasyonlarda Ni Uygulanmış <i>Pistia stratiotes</i> Örneklerindeki Toplam Klorofil Miktarları.....	35
4.1.2.5.	Farklı Konsantrasyonlarda Ni Uygulanmış <i>Pistia stratiotes</i> Örneklerindeki Karotenoid Miktarları.....	36
4.1.2.6.	Farklı Konsantrasyonlarda Ni Uygulanmış <i>Pistia stratiotes</i> Örneklerindeki Lipid Peroksidasyonu Miktarları.....	37

4.1.3.	Farklı Konsantrasyonlardaki Cd Akümülyasyon Miktarları .....	38
4.1.3.1.	Farklı Konsantrasyonlarda Cd Uygulanmış <i>Pistia stratiotes</i> Örneklerindeki Büyüme Oranı .....	39
4.1.3.2.	Farklı Konsantrasyonlarda Cd Uygulanmış <i>Pistia stratiotes</i> Örneklerindeki Klorofil a Miktarları .....	40
4.1.3.3.	Farklı Konsantrasyonlarda Cd Uygulanmış <i>Pistia stratiotes</i> Örneklerindeki Klorofil b Miktarları.....	41
4.1.3.4.	Farklı Konsantrasyonlarda Cd Uygulanmış <i>Pistia stratiotes</i> Örneklerindeki Klorofil t Miktarları.....	42
4.1.3.5.	Farklı Konsantrasyonlarda Cd Uygulanmış <i>Pistia stratiotes</i> Örneklerindeki Karotenoid Miktarları.....	43
4.1.3.6.	Farklı Konsantrasyonlarda Cd Uygulanmış <i>Pistia stratiotes</i> Örneklerindeki Lipid Peroksidasyonu Miktarları.....	44
5.	BÖLÜM	
	TARTIŞMA, SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	46
	KAYNAKÇA .....	52
	ÖZGEÇMİŞ .....	58

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. <i>Pistia stratiotes</i> (su marulu).....	20
Şekil 3.2. <i>Pistia stratiotes</i> 'in ağır metal yükleme aşaması .....	21
Şekil 3.3. <i>Pistia stratiotes</i> 'in büyüme çemberindeki örnekleri.....	21
Şekil 3.4. Ağır metal uygulamasında yedinci günde bitkilerin genel durumu.....	22
Şekil 4.1. Yedinci gün sonunda farklı Pb (5-50 mg L <sup>-1</sup> ) konsantrasyonlarında bulunan <i>Pistia stratiotes</i> üzerindeki göreceli büyüme oranına etkileri.....	26
Şekil 4.2. Yedinci gün sonunda farklı Pb (5-50 mg L <sup>-1</sup> ) konsantrasyonlarında bulunan <i>Pistia stratiotes</i> örneklerindeki klorofil a miktarları.....	27
Şekil 4.3. Yedinci gün sonunda farklı Pb (5-50 mg L <sup>-1</sup> ) konsantrasyonlarında bulunan <i>Pistia stratiotes</i> örneklerindeki klorofil b miktarları.....	28
Şekil 4.4. Yedinci gün sonunda farklı Pb (5-50 mg L <sup>-1</sup> ) konsantrasyonlarında bulunan <i>Pistia stratiotes</i> örneklerindeki toplam klorofil miktarları.....	29
Şekil 4.5. Yedinci gün sonunda farklı Pb (5-50 mg L <sup>-1</sup> ) konsantrasyonlarında bulunan <i>Pistia stratiotes</i> örneklerindeki karotenoid miktarları.....	30
Şekil 4.6. Yedinci gün sonunda farklı Pb (5-50 mg L <sup>-1</sup> ) konsantrasyonlarında bulunan <i>Pistia stratiotes</i> örneklerindeki lipid peroksidasyon miktarları .....	31
Şekil 4.7. Yedinci gün sonunda farklı Ni (1-20 mg L <sup>-1</sup> ) konsantrasyonlarında bulunan <i>Pistia stratiotes</i> 'in göreceli büyüme oranlarına etkisi.....	33
Şekil 4.8. Yedinci gün sonunda farklı Ni (1-20 mg L <sup>-1</sup> ) konsantrasyonlarında bulunan <i>Pistia stratiotes</i> örneklerindeki klorofil a miktarları.....	34
Şekil 4.9. Yedinci gün sonunda farklı Ni (1-20 mg L <sup>-1</sup> ) konsantrasyonlarında bulunan <i>Pistia stratiotes</i> örneklerindeki klorofil b miktarları.....	35
Şekil 4.10. Yedinci gün sonunda farklı Ni (1-20 mg L <sup>-1</sup> ) konsantrasyonlarında bulunan <i>Pistia stratiotes</i> örneklerindeki toplam klorofil miktarları.....	36
Şekil 4.11. Yedinci gün sonunda farklı Ni (1-20 mg L <sup>-1</sup> ) konsantrasyonlarında bulunan <i>Pistia stratiotes</i> örneklerindeki karotenoid miktarı.....	37

Şekil 4.12. Yedinci gün sonunda farklı Ni (1-20 mg L <sup>-1</sup> ) konsantrasyonlarında bulunan <i>Pistia stratiotes</i> örneklerindeki lipid peroksidasyon miktarları.....	38
Şekil 4.13. Yedi gün sonunda farklı Cd (1-8 mg L <sup>-1</sup> ) konsantrasyonlarında bulunan <i>Pistia stratiotes</i> 'in göreceli büyüme oranına etkileri.....	40
Şekil 4.14. Yedinci gün sonunda farklı Cd (1-8 mg L <sup>-1</sup> ) konsantrasyonlarında bulunan <i>Pistia stratiotes</i> örneklerindeki klorofil a miktarları .....	41
Şekil 4.15. Yedinci gün sonunda farklı Cd (1-8 mg L <sup>-1</sup> ) konsantrasyonlarında bulunan <i>Pistia stratiotes</i> örneklerindeki klorofil b miktarları .....	42
Şekil 4.16. Yedinci gün sonunda farklı Cd (1-8 mg L <sup>-1</sup> ) konsantrasyonlarında bulunan <i>Pistia stratiotes</i> örneklerindeki klorofil t miktarları .....	43
Şekil 4.17. Yedinci gün sonunda farklı Cd (1-8 mg L <sup>-1</sup> ) konsantrasyonlarında bulunan <i>Pistia stratiotes</i> örneklerindeki karotenoid miktarları .....	44
Şekil 4.18. Yedinci gün sonunda farklı konsantrasyonlarda Cd (1-8 mg L <sup>-1</sup> ) uygulanmış <i>Pistia stratiotes</i> örneklerindeki lipid peroksidasyon miktarları.....	45

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Bazı ağır metallerin ekolojik bakımdan sınıflandırılması [8].....	4
Tablo 2.2.	Zehirli ağır metaller ve kaynakları [14].....	6
Tablo 2.3.	Fitoremediasyon yöntemleri ve genel özellikleri [50].....	16
Tablo 4.1.	<i>Pistia stratiotes</i> örneklerinde biriken farklı Pb (5-50 mg L <sup>-1</sup> ) konsantrasyonlarındaki Pb miktarları.....	25
Tablo 4.2.	<i>Pistia stratiotes</i> örneklerinde biriken farklı Ni (1-20 mg L <sup>-1</sup> ) konsantrasyonlarındaki Ni miktarları.....	32
Tablo 4.3.	<i>Pistia stratiotes</i> örneklerinde biriken farklı Cd (1-8 mg L <sup>-1</sup> ) konsantrasyonlardaki Cd miktarları .....	39

## SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ

Pb	Kurşun
Cd	Kadmiyum
Ni	Nikel
%	Yüzde
°C	Santigrat derece
m	Metre
ppm	Milyonda bir birim
rpm	Dakikada devir sayısı
g	Gram
kg	Kilogram
L	Litre
mg	Miligram
µg	Mikrogram
n	Tekrar sayısı
Maks	Maksimum
Min	Minimum
Ort	Ortalama
Std hata	Standart hata
HNO <sub>3</sub>	Nitrik Asit
RGR	Göreceli Büyüme Oranı
ICP-MS	Endüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi
MDA	Lipid Peroksidasyonu
TCA	Triklor Asetik Asit
TBA	Tio Barbitürik Asit
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Hidrojen Peroksit



## 1. BÖLÜM

### GİRİŞ

Ağır metal kirliliği, ekosistemler üzerinde her geçen gün hızla artmakta ve tüm canlıların hayatlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu kirliliğin başlıca nedenleri arasında insan kaynaklı ve doğal kaynaklı etkenler yer almaktadır. Ağır metallerin besin zincirinde birikerek aktarılması sonucunda en önemli etki insanlar üzerinde olmakta ve bu metaller doğada kalıcı olarak bulunmaktadır [1].

İnsanlar yüzyıllar boyunca ağır metallerin etkilerini bilmeden yaşamlarına devam etmişler ve metaller ile doğrudan ya da dolaylı olarak temas halinde bulunmuşlardır. Günlük hayatta sürekli kullanılan takı, silah, kömür, kurşunlu boya, sabun, şampuan ve tesisat aksamaları gibi birçok eşyanın ağır metal içerikli olduğu ve bunların etkisiyle vücutlarına yüksek oranda aldıkları bilinmektedir.

Endüstrinin gelişmesi ile birlikte çevre ve canlı ekosistemlerde ağır metal birikiminde artış olduğu ve canlılar üzerinde olumsuz etkiler bıraktığı bilinmektedir [2]. Endüstriyel faaliyetler olarak; maden sanayisi atıkları, volkanik faaliyetler, kimyasal atıklar, tarımda kullanılan gübre ve ilaçlar gibi birçok faktör çevrenin ağır metaller tarafından yoğun bir şekilde kirlenmesine neden olmaktadır. Zamanla endüstrinin gelişmesi ve kentleşmenin artmasıyla birlikte atıkların sulara boşaltılması ile birlikte çevre kirlenmesi olayı da başlamıştır. Ekolojik dengenin bozulması ve çevrenin kirlenmesindeki en önemli etken, artan nüfusa bağlı olarak daha iyi koşullarda yaşam ortamı sağlamak amacı ile üretimin bilinçsiz ve programsız bir şekilde artırılmasından kaynaklanmaktadır. İhtiyaç duyulan üretimin aşırı şekilde artması sonucunda doğanın kendisini yenileme kapasitesi yetersiz kalmakta ve önemli oranda çevre kirlenmesi başlamaktadır [3].

Bitkilerin büyüme ve gelişmesi için gerekli olan metallerin görev ve miktarları birbirinden farklı olmakla birlikte bu metallerin dengeli bir biçimde alınması gerekmektedir. Bitkiler büyüme ve gelişme dönemlerinde ihtiyaç duydukları metalleri buldukları ortamdan kökleri vasıtasıyla kolayca almaktadırlar. Fakat bitkiler, bazı besin elementlerini buldukları ortamdan alırken bir takım olumsuzluklarla karşı

karşıya kalmakta ve bu olumsuzlukların etkisiyle bazı toksik etkiler meydana gelmektedir.

Ağır metaller grubuna ait bazı metaller (As, Cd, Hg, Pb) düşük konsantrasyonlar da dahi yüksek toksik özellik göstermektedir [4]. Bu toksik özellikler bitkinin gelişmesini sınırlamada önemli rol oynamakta ve bitkide strese neden olmaktadır [5]. Stres bitkinin yapısında ya da organlarında olumsuz etkiler bırakarak büyüyüp gelişmesini engellemekte, oluşan ürünün kalite ve miktarını azaltan doğrudan ya da dolaylı etkiler bıraktığı bilinmektedir.

Sucul alanlardaki kirliliğin, ortamlardan uzaklaştırılabilmesi için çok çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında öncelikle kimyasal çöktürme, filtrasyon ve elektrokimyasal yöntemler kullanılmıştır. Zamanla endüstriyel faaliyetlerin artması sonucunda geniş alanlara yayılan yüksek konsantrasyonlardaki ağır metallerin giderimi için bu arıtma sistemleri yetersiz kaldığı anlaşılmış ve ileri arıtma yöntemlerinin gerekliliği ortaya çıkmıştır [6]. Bu yöntemlerin arıtımda yetersiz kalması, sekonder kirliliğe neden olması ve yüksek maliyetlere sebep olması nedeniyle 20. yy.'ın başlarında atık su arıtma tesislerinde bu dezavantajları en aza indirmek amacı ile çalışmalar başlamış olup, atık suların daha etkili arıtılması için zaman içerisinde pek çok sistemler geliştirilmiştir. Gelişmiş ülkeler ağır metallerin toksik etkilerini ve ortaya çıkan tüm olumsuzlukları göz önüne alarak doğal arıtma sistemi olan ‘Bitkisel Islah’ sistemleri üzerinde çalışmış ve geliştirmişlerdir. Bitkilerin veya bitki ürünlerinin kirlenmiş alanlardan kirliliğin giderimi için kullanılması ve ağır metallerin bitkiler tarafından alınarak ortamdan uzaklaştırılması fiteromediasyon olarak bilinmektedir.

Çalışmamızda *Pistia stratiotes* bitkisine değişken konsantrasyonlarda Pb, Cd ve Ni uygulanarak bitkide meydana gelen göreceli büyüme oranları, fotosentetik pigment miktarları, lipid peroksidasyon miktarları ve ağır metal akümülyasyon miktarları hesaplanarak yapılan diğer çalışmalar ile karşılaştırılarak tartışılmıştır. Yapılan diğer çalışma sonuçlarından elde edilen bilgiler doğrultusunda *Pistia stratiotes* bitkisi biyoakümülyasyon özelliğine sahip olduğu ve bu bitkiden iyileştirme amaçlı başka nasıl faydalanılabileceğimizin tespiti amaçlanmıştır.

## 2. BÖLÜM

### GENEL BİLGİ

#### 2.1. Ağır Metallerin Genel Özellikleri

Ağır metaller, yoğunlukları  $5 \text{ g/cm}^3$ 'ten büyük olan, atom numarası 20'den büyük olan ve periyodik cetvelin geçiş grubuna ait metaller olarak tanımlanan geniş bir gruptur [7]. Ağır metal grubunun içinde 70 kadar element bulunmakta ve bunlardan ekolojik açıdan önemli olan 20 elementi dikkat çekmektedir (As, Al, Ag, Be, Cu, Cd, Co, Cr, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Tl, V, Zn). Bu metallerin bir kısmı bitki ve hayvanları için mikro besin (Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn) maddesi olarak kabul edilmiş olup izin verilebilir sınır aşılmadığı sürece toksik özellik göstermemektedirler [8].

Bitki ve hayvanların yaşamlarını sağlıklı devam ettirebilmeleri için minimum düzeyde ihtiyaç duyulan besin elementleri iz metaller olarak tanımlanmaktadır (Tablo 2.2.). Bitkilerin büyümesi için gerekli olan iz metaller; bakır, çinko, demir, manganezdır. Kurşun, kadmiyum ve civa gibi bazı ağır metaller toksik metaller olarak tanımlanmakta ve çok düşük konsantrasyonlarda dahi yüksek toksik etkilere sahip olduğundan canlılarda metabolik bozulmalara neden olmaktadır [9]

Tablo 2.1. Bazı ağır metallerin ekolojik bakımdan sınıflandırılması [8].

Element	Özgül ağırlık g/cm <sup>3</sup>	Bitki ve hayvan için gereklilik	Kirleticilik
Ag-Gümüş	10.5	-	K
Cd-Kadmiyum	8.5	-	K
Cr-Krom	7.2	G	K
Co-Kobalt	8.9	G	K
Cu-Bakır	8.9	G	K
Fe-Demir	7.9	G	K
Hg-Civa	13.6	-	K
Mn-Mangan	7.4	G	-
Pb-Kurşun	11.3	-	K
Mo-Molibden	10.2	G	K
Ni-Nikel	8.9	G	K
Pt-Platin	21.5	-	-
Tl-Talyum	11.9	-	K
Sn-Kalay	7.3	-	K
U-Uranyum	19.1	G	K
V-Vanadyum	6.1	G	K
W-Tungstem	19.3	G	K
Zn-Çinko	7.1	G	K
Zr-Zirkon	6.5	-	-

Ağır metallerin neden oldukları toksik etkilerinden dolayı ekosistemlerdeki doğal dengeleri bozmaları, insan ve hayvan sağlığını tehdit etmeleri bakımından son zamanlardaki en önemli tehlikelerin başında gelmekte olup gün geçtikçe zararları artmaya devam etmektedir. Genellikle kirletme özelliğine sahip olmaları, çevresel koşullara yüksek toleranslı olmaları, buldukları organizmalarda etki göstermeleri ve kolaylıkla besin zincirine girerek birikebilme özelliği göstermeleri nedeniyle diğer kimyasal kirleticiler arasında ayrı bir öneme sahiptirler [10, 11]. Çevre ve besin kirlenmesine yol açan ağır metaller arasında As, Hg, Cd, Pb ve Zn gibi metaller yer

almaktadır ve bu metaller yüksek kirletici özelliğe sahip olmaları için ekolojik öneme sahiptirler.

Ağır metaller, organizmalarda metabolik reaksiyonlara katılma durumlarına göre yaşamsal metaller ve yaşamsal olmayan metaller olmak üzere iki sınıfta ayrılmaktadır. Yaşamsal olarak bilinen ağır metaller, organizmaların yapılarında izin verilebilir sınırlarda bulunmaları ve metabolik reaksiyonlara katılmaları nedeni ile organizmalara düzenli olarak besinler yoluyla alınmaları gerekmektedir [12]. Yaşamsal olmayan ağır metaller ise çok düşük konsantrasyonlarda dahi yüksek toksik etki göstererek organizmayı etkileyerek gelişimini engellemekte veya yavaşlatmaktadır [13].

Ağır metal kirliliğinin çoğu genellikle sulak alanlarda görülmektedir. Bu alanlardaki kirlenmeler, ağır metallerin ortamda birikmesi ve buradaki organizmalar üzerinde toksik etkiler göstermeleri şeklindedir. Sulak alanlardaki ağır metal birikimi iki durumda olmaktadır. Bunlar; su içerisinde çözünme veya suda çözünmeden su dibine çökme şeklindedir. Bu şekildeki bir kirlenme çoğunlukla endüstriyel ve zirai artıkların sucul alanlara boşaltılarak kirlilik etkenlerinin doğaya yayılmasına neden olmaktadır. Bir diğer sebep ise herhangi bir yolla atmosfere verilen ağır metallerin su döngüsü ile yeryüzüne dönerek akarsular yolu ile su yataklarına sürüklenmektedirler [14].

Tablo 2.2. Zehirli ağır metaller ve kaynakları [14]

<b>Maden İşletmeciliği</b>
Maden işlemleri (As, Cd, Hg, Pb)
Metallerin eritilmesi (As, Cd, Hg, Pb, Sb, Se)
Demir-Çelik endüstrisi (Cd, Cr, Cu, Ni, Zn)
Metal işletmeciliği (Cd, Cr, Cu, Ni, Zn)
<b>Endüstri</b>
Plastikler (Cd, Cr, Co, Hg)
Tekstil (Al, Sn, Ti, Zn)
Ev aletleri yapımında (Cd, Cu, Sb, Zn)
Ağaç işletmeciliği (As, Cr, Cu,)
Rafineler (Cr, Ni, Zn)
<b>Havadaki Partikül ve Dumanlar</b>
Şehir, fabrika vs. (Cd, Cu, Hg, Sn, Pb, V)
Metal işletmeciliğinin (As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Ti, Zn)
Taşıtlar (Cd, No, Pb, V)
Fosil yakıtlar (As, Cd, Pb, Sb, Se, U, V, Zn)
<b>Tarım</b>
Gübreler (As, Cd, Mn, U, V, Zn)
Hayvansal gübreler (As, Cu, Mn, Zn)
Kireçler (As, Pb)
Pestisitler (Cu, Mn, Zn)
Sulama (Cd, Pb, Zn)
Metal aşınması (Fe, Pb, Zn)
<b>Atıklar</b>
Lağım (Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, V, Zn)
Kazma ve delme (As, Cd, Fe, Pb)
Küller (Cu, Pb)

### **2.1.1. Kadmiyum (Cd)**

Kadmiyum, doğada saf olarak bulunmayan ve metaller içerisinde suda en yüksek çözünme özelliğine sahip olan bir elementtir [15, 16]. Kadmiyum, ekosistemde en yaygın bulunan ve en tehlikeli ağır metallerden biri olup canlı organizmalar için düşük dozlarda dahi yüksek toksisite göstermektedir. Kadmiyumun ekosistemde yüksek hareket edebilme yeteneğine sahip olmasından dolayı kolaylıkla besin zincirine katılmayı sağlayarak bitki, hayvan ve insan sağlığı için tehlike oluşturmaktadır [17,18].

Kadmiyum, endüstriyel faaliyetler, fosforlu gübreler ve lağım atıkları yoluyla toprak ve sucul alanların kirlenmelerine neden olmaktadır [19]. Bu alanlarda biriken kadmiyum, önce sudaki organizmalara ve buradan da besinler yoluyla hayvanlara ve insanlara geçerek bu organizmalarda birikmelere neden olmaktadır [20]. Başlıca kadmiyum kaynakları; kömürün yakılması, tohumun aşılınması, endüstriyel üretim için kullanılan gübre ve endüstriyel üretim aşamasında çıkan baca gazlarıdır [21].

Bitkilerde kadmiyum yüksek seviyede strese sebep olarak bitkilerin kök büyüme ve gelişmesini engellemekte, böylece su ve iyon alımının azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca stresin etkisiyle bitkilerde stomalar kapanmakta, su kaybını azalmakta ve kadmiyum taşınmasını engellenmektedir [22].

Günümüzde kadmiyum, gemi sanayisinde demir kaplamasında, nikel/kadmiyum pillerde, PVC stabilizatörü olarak alaşımlarda ve elektronik sanayinde kullanılmaktadır [23, 24].

### **2.1.2. Kurşun (Pb)**

Kurşun elementinin ekolojik sistemlere yüksek düzeyde zarar veren, atmosfere metal ya da bileşik olarak yayılan ve toksik özellik taşımasından dolayı çevresel kirlenmeye neden olan önemli bir metal olduğu bilinmektedir. Dünya Sağlık Örgütü'nün sınıflandırmasına göre ikinci sınıf kanserojen grubunda olduğu bilinmektedir [25- 27].

Günümüzde kurşun; boya, pil, seramik, porselen, metal ürünler, kablolar, boru hatları, benzin katkı maddesi, oyuncak yapımı, teneke kutu kapakları, kurşun-kalay alaşımlı kaplar, benzin katkı maddesi, oyuncak yapımı, teneke kutu kapakları, kurşun-kalay

alaşım ile kapların seramik sırları, böcek ilaçları ve matbaacılıkta kullanılmaktadır [28]. Endüstriyel sanayi ve şehir merkezlerine yakın yerlerde yetişen birçok besin maddeleri ve birçok et ürünleri bünyelerinde yüksek seviyelerde kurşun bulundurmaktadır [21].

Kurşun, hücre turgor basıncı ile hücre duvarı geçirgenliğini olumsuz etkilemekte, stoma hareketini engellemekte ve yaprak genişliğinin azaltılmasına sebep olmaktadır. Aynı zamanda kurşunun kökler tarafından alınması ve tutulması ile kök gelişimini ve katyon alınımını azaltmaktadır [29].

### **2.1.3. Nikel (Ni)**

Günümüzde sanayinin gelişmesiyle birlikte giderek artan öneme sahip olan nikel doğada oksitler, sülfürler ve silikatlar halinde bulunmaktadır [30, 31]. Nikel; kömür, petrol, çelik-alaşım üretimi, boya pigmenti, kozmetik, pil ve elektronik endüstrisinde, uçak ve gemi endüstrisinde, motorlu taşıtlar ve parçalarında, bina ve altyapılarında, çevre koruma, gıda hazırlama ve su arıtma gibi birçok alanda kullanılmaktadır [32, 33]

Nikel bitkiler için çok düşük konsantrasyonlarda yararlı etkileri göstermekte ve bitki kökleri tarafından kolayca absorbe edilebilmektedir [34]. Nikel, yüksek konsantrasyonlarda bitkilerin çimlenme aşamasından başlayarak büyüme ve gelişme dönemlerinde toksik etki göstermektedir. Belirli dozdan fazla maruziyette bitki köklerini tahrip etmekte ve büyümeyi engellediği bilinmektedir. [35].

Havadaki nikel bileşiklerinin solunması ile soluk borusunun tahrişi ve tahribatına, astıma, burun ve gırtlak kanserlerine neden olduğu kanıtlanmıştır. Nikel ile temasın çok yoğun olduğu durumlarda alerjik deri hastalıklarına, öksürük, ateş, titreme ve göğüs ağrılarına görülebilmektedir [36].

## **2.2. Bitkiler Üzerinde Ağır Metal Stresi**

Bitki metabolizmasında büyüme ve gelişmeyi etkileyici veya engelleyici özellikler gösteren etkenler stres olarak kabul edilmektedir [25, 27]. Ekosistemler üzerindeki tüm canlılar yaşamlarının belirli dönemlerinde çeşitli stres faktörleri ile karşılaşmaktadırlar. Bitkiler buldukları ortamlardan kökleri aracılığıyla ağır metalleri alarak stres faktörlerinden ilk etkilenen canlılardır. Bazı bitkiler, ağır metallerin toksik etkilerinden



arınma mekanizmalarına sahip olup metal stresine karşın yaşamlarına devam edebilmektedirler.

### **2.2.1. Ağır Metallerin Bitkiler Tarafından Akümülyasyonu**

Bitki gruplarının ağır metalleri ortamdaki akümüle etme özellikleri birbirlerinden farklılık göstermektedir. Bazı bitki türlerinin doku ve organlarında spesifik ağır metaller yüksek konsantrasyonlarda birikebilmektedir [37, 38]. Ağır metallerin özellikle izin verilebilir sınır üzerindeki dozlardan itibaren bitkilerde fizyolojik fonksiyonları ve biyokimyasal olayları etkilediği bilinmektedir.

Yapılan araştırmalar neticesinde bitkilerin toprakta veya suda bulunan ağır metallerin büyük bir kısmını kökleri aracılığı ile aldıkları, atmosferde bulunan az miktardaki ağır metalleri ise yaprakları ile aldıkları bilinmektedir [35, 39, 40].

Bitkiler buldukları ortamdaki ihtiyaç duydukları metal iyonlarının alabilmek için çeşitli adaptasyon ve yöntemler geliştirmişlerdir. Bitkiler kökleri aracılığı ile ortamdaki besinleri difüzyon, osmoz, aktif alım gibi bazı metabolik olaylar sonucu almaktadır [35]. Ortamdaki alınan metal iyonları hücreden hücreye geçerek veya hücre arası boşluklardan geçerek taşınarak ksileme kadar ulaşmaktadır [41, 42].

### **2.2.2. Akuatik Makrofitlerde Ağır Metal Akümülyasyonu**

Akuatik makrofitler, akarsular ve durgun sularda yaşayan tohumlu ve tohumuz bitkileri kapsayan bitki grubu olarak bilinmektedir. Bu makrofitler, ağır metalleri sudan kolaylıkla alarak yapılarında akümüle ettikleri ve metal akümülyasyon kapasitelerinin diğer bitkilere oranla yüksek olduğu bilinmektedir. Akuatik makrofitler submers, emers ve yüzücü yapraklı olmak üzere buldukları ortamların ekolojik özelliklerine göre 3 gruba ayrılmaktadır.

Bunlar;

- Emers tipi makrofitler; sucul alanların kıyı bölgelerinde kök, gövde, yaprak ve sürgünün belirli bir kısmı su içerisinde yetişen bitki grupları,

- Yüzücü yapraklı makrofitler; tüm organları suda serbest yüzen ve kökleri sedimente bağlı olan bitki grupları,
- Submers makrofitler; tamamen su altında yaşayan bitki grupları olarak bilinmektedirler [43].

Genel olarak yapılan çalışmalar sonucunda submers makrofitlerin, emers ve yüzücü yapraklı makrofitlere oranla daha fazla ağır metalleri akümüle ettikleri bilinmektedir. Yapılan araştırmalar ve çalışmalar sonucunda sucul makrofit gruplarının metal akümüstasyon düzeylerinin birbirlerinden farklılık gösterdiği, ortam şartlarının akümüstasyon düzeyini büyük oranda etkilediği bilinmektedir [44].

### **2.2.3. Ağır Metal Stresine Karşı Korunma Mekanizmaları**

Ağır metallerin bitkilerde meydana getirdiği stresin organizmalardaki metabolik olayları nasıl etkilediğini, stres faktörlerine nasıl tepkiler verdiğini ve bu strese karşı hangi adaptasyonları geliştirdiğini bilmek oldukça önemlidir. Bitkiler buldukları ortamlara adapte olabilmek için çeşitli mekanizmalar geliştirmekte ve ortamdaki olumsuz şartlardan en az zararla yaşamlarına devam etmektedirler.

Bitkilerin bu zararlı metallere karşı adaptasyonu metal dışlama ve metal akümüle etme olmak üzere iki şekilde olmaktadır. Metal dışlama; bitkilerde ortamdan metal alınımından kaçma veya gövdeye metal taşınımının engellemesidir. Metal akümüle etme ise bitkilerin buldukları ortamdan ağır metalleri alarak bünyelerinde akümüle etmeleri ve ortamdan ağır metalleri uzaklaştırmalarıdır. Bu adaptasyonların dışında bitkinin ağır metal toleransına karşı savunma mekanizmaları vardır [45, 46]. Ortamdan alınan ağır metallerin bitkilerden uzaklaştırılmasının ve etkilerinin minimum düzeye indirilmesinin farklı yollarla olmaktadır. Bunlar;

- ✓ Yaprakların dökülmesi ile metallerin bir bölümünün uzaklaştırılması,
- ✓ Bitkilerin metalleri kutikula tabakasında biriktirmesi sonucunda bu tabakanın kabuk soyulması ile ağaçtan bir kısım ağır metallerin uzaklaştırılması,

- ✓ Bazı metallerin yapısının bitkiler tarafından değiştirilmesi ile zararsız hale getirilmesi veya oluşan ürünlerin bitkiden uzaklaştırılması,
- ✓ Bazı metallerin belirli ağaçlar tarafından sıvı atık şeklinde bünyelerinden uzaklaştırmasıdır. [47].

### **2.2.3.1. Fitoremediasyon (Bitkisel Arıtım) ve Yöntemleri**

Fitoremediasyon, bitki anlamına gelen “*phyto*” ile ıslah anlamına gelen “*remediation*” kelimelerinin türetilmesi ile 1991’de terminolojiye giren bitkisel ıslah etme teknolojisi olduğu, dilimizdeki karşılığının ise “Bitkisel Arıtım” olduğu bilinmektedir. Bu bitkisel arıtım yöntemi ile ortamdaki organik ve inorganik maddelerin bitki kullanılarak uzaklaştırılması veya etkisiz hale getirilmesi sağlanmaktadır.

Fiteromediasyon yönteminde maliyetin düşük olması, ekolojik açıdan risk faktörünün kabul edilebilir sınırlarda kalması ve temizlenen bölgenin yeniden kullanılabilmesine imkan sağlaması bu yöntemin en önemli tercih sebepleri arasındadır. Ancak ciddi miktarda kirlenmiş alanlarda arıtım sürecinin diğer yöntemlere göre daha uzun olması bu yöntemin dezavantajları arasındadır. [48, 49].

Fitoremediasyon araştırmalarında kullanılan bitkilerin seçimi için dikkat edilmesi gereken özellikler arasında; kirli alandaki kirleticilerden en az zararlı hayatlarına devam edebilmeleri, yüksek akümüle etme özelliğine sahip olmaları, yeni kök ve yeşil kısımlarını oluşturabilmeleri yer almaktadır.

#### **2.2.3.1.1. Fitoekstraksiyon Yöntemi**

Fitoekstraksiyon (bitkisel özümleme) yöntemi, ağır metallerin kökler tarafından alınması ve toprak üstü organlarda biriktirilmesinin ardından bitkilerin hasat edilerek ağır metallerin ortamdaki uzaklaştırılmasını içermektedir. Bu yöntem bazı bitkilerin topraktaki metal iyonlarını kök veya sürgünlerine kolaylıkla alabilmesi nedeni ile çoğunlukla ağır metallerle kirlenmiş toprakların arıtımı amacıyla kullanılmaktadır. [50]. Arıtım için kullanılan bitkiler hasat edilerek doğal gübre olarak kullanılmakta veya ortamdaki aldıkları ağır metalleri bitkiden tekrar elde edilebilmektedir. Bu yöntem ile bazı maden cevherlerinin bitkiden elde edilebilmesi yönteminin yolu açılmıştır. Bu

yöntem ile bazı ülkelerde altın, nikel gibi ağır metaller bitkilerden geri kazanımla daha az maliyetle temin edilmektedir [51].

Bu yöntem çoğunlukla Cu ve Zn gibi aktif olarak alınan mikrobese elementleri ve Cd, Ni ve Pb gibi ağır metallerin uzaklaştırılması amacı ile tercih edilmektedir. Fitoekstraksiyon yöntemi sadece ağır metal kirliliğinin belirli düzeylerde olduğu ortamlar için uygulanmasının uygun olduğu bilinmektedir. Çünkü yüksek düzeyde ağır metallerle kirlenmiş alanlarda bitkilerin büyümesi engellenecek ve arıtım yeterli düzeyde sağlanamayacaktır [52].

Bu yöntem için kullanılabilir bitkiler;

- Ağır metallerle tolerans mekanizmalarına sahip olması,
- Hızlı üreyebilme ve gelişebilme yeteneğine sahip olması,
- Ağır metalleri hasat edilebilecek dokularda biriktirebiliyor olma özelliklerine sahip olması,
- Geniş kök sistemine ve bol miktarda yeşil kısımlara sahip olması gerekmektedir.

Fitoekstraksiyon ağır metalleri taşınabilir kimyasal ve zararsız metal formlar halinde alınmasını sağlayarak organizmalar üzerinde ağır metallerin en zararsız durumda bulunmasıdır [51].

#### **2.2.3.1.2. Fitostabilizasyon Yöntemi**

Fitostabilizasyon (köklerle sabitleme)yöntemi, toprak yapısındaki ağır metallerin bitki kökleri tarafından alınmalarını ve ağır metallerin hareketlerinin kökler tarafından sınırlandırılması olarak bilinmektedir. Bu yöntem erozyonun önlenmesi, yeraltı sularına ağır metallerin sızmasının engellenmesi amacı ile tercih edilmektedir. [53].

Bu yöntem için kullanılabilir en ideal bitkiler;

- Yüksek konsantrasyonlardaki ağır metallerle karşı yüksek düzeyde toleranslı olması,

- Redüksiyon ve çökelme yoluyla ağır metalleri hareketsiz hale getirme özelliğine sahip olması,
- Yoğun kök sistemine sahip olması,
- Ağır metallerin rizosferde tutarak bitkinin yeşil kısımlarına taşınmasına engel olmak gibi özelliklere sahip olması gerekmektedir [54].

Fitostabilizasyon yöntemi, yüksek konsantrasyonlara maruz kalmış toprak, sediment ve çamurların arıtılması için kullanılabilecek en verimli yöntem olduğu bilinmektedir. As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn gibi ağır metallerle kontamine olmuş alanların bu yöntem ile iyileştirilmesi için yüksek verimli bir şekilde kullanılmaktadır.

#### **2.2.3.1.3. Fitovolatilizasyon Yöntemi**

Fitovolatilizasyon (bitkisel buharlaşma) yöntemi, toprak bünyesindeki metallerin bitkiler tarafından yapısının değiştirilmesi ile atmosfere verildiği yöntem olarak bilinmektedir. Genel olarak toprak alanlar, sediment tabaka, çamurlar içerisinde ve yer altı sularında arıtım yöntemi olarak kullanıldığı bilinmektedir. Bu yöntemin en verimli bir şekilde uygulanabilmesi için bitkin örneklerinin kök derinliğinin uzun ve geniş olması çok önemlidir. Özellikle yer altı sularında bu yöntem uygulanacak ise biki örneklerinin kökleri derinde olması gerekmektedir [51].

Fitovolatilizasyon yöntemi ile çok zehirli ağır metal bileşiklerinin yapısının değiştirilmesi ile daha az zehirli bileşiklerin oluşması avantaj oluştururken, çok zehirli ağır metal bileşiklerinin atmosfere verilmesi ise dezavantaj yaratmaktadır.

Fitovolatilizasyon yöntemi Se, Hg ve As gibi ağır metallerle kontamine olmuş ortamlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [50].

#### **2.2.3.1.4. Rizodegradasyon Yöntemi**

Rizodegradasyon (köklerle bozunum) yöntemi, kök çevresindeki yapıların zenginleştirilerek kirleticilerin toprakta bozunması işlemidir. Bozunma sonucu oluşan ürünler ya uçucu gaz olarak ya da toprak tarafından tutulmaktadır. Ortamdaki

kirleticilerin yok edilebilmesi için uygulanabilecek en uygun yöntem olduğu bilinmektedir[55].

Rizodegradasyon yöntemi ile giderilen kirleticiler arasında, petrol artıkları, aromatik hidrokarbonlar, benzen, toluen, etilbenzen, pestisitler ve klorlu çözücüler yer almaktadır.

#### **2.2.3.1.5. Fitodegradasyon Yöntemi**

Fitotransformasyon olarak bilinen fitodegradasyon (bitkisel bozunum) yöntemi, kirleticilerin bitki bünyesine alınarak buradaki dokular içerisinde parçalanması yöntemidir. Bu bozunma işlemi çoğunlukla bitkinin köklerinde ve köklerin uç bölgelerinde gerçekleşmektedir.

Bu yöntem yeraltı sularındaki kirleticiler, topraktaki petrol ve zararlı bileşikler ve askeri kimyasal maddelerle kirlenmiş alanlar gibi birçok ortamların arıtımında kullanılmaktadır[51].

Bitkilerin organik bileşikleri bünyelerine alabilmeleri ve zararsız hale getirebilmeleri için bitkinin tipi, bileşiğin ortamda eriyebiliyor olması, toprak kirleticilerinin fiziksel ve kimyasal yapısı çok önemlidir.

Fitodegradasyon yönteminde bozunma olayları doğrultusunda bitki içinde olmakta ve ortamdaki canlılar bu durumdan etkilenmemektedir. Fakat bozunma sırasında zehirli ara ürün veya bozunma sonunda çıkan son ürün bu yöntemin dezavantajları arasında yer almaktadır.

#### **2.2.3.1.6. Rizofiltrasyon Yöntemi**

Rizofiltrasyon (köklerle süzme) yöntemi, sucul alanlardaki kirleticilerin bitki köklerinin üzerine yapışıp kalması ve bu sırada kirleticilerin bitkiye alınması veya taşınabilmesi yöntemidir. Bu yöntem yeraltısuları, yüzey suları, atıksular, gölet, havuz ve tank gibi birçok alanda düşük seviyede kirlenmenin olduğu bölgelerde suların temizlenmesinde kullanılmaktadır. Rizofiltrasyon yönteminde kirlenmiş alanların özelliklerine göre karasal veya sucul bitkilerin kullanılmaktadır.

Bu yöntem için kullanılabilir en ideal bitkilerin;

- Gelişmiş kök biyokütlesine sahip olması,
- Yeşil kısımların bol ve geniş olması,
- Olumsuzluklara karşı yüksek dirençli yapıların bulunması gerekmektedir.

Rizofiltrasyon yöntemi ile giderilen kirletici ağır metalleri Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, Cr olarak sıralayabilmekteyiz [51].



Tablo 2.3. Fitoremediasyon yöntemleri ve genel özellikleri [50].

<b>Mekanizma</b>	<b>Proses Hedefi</b>	<b>Ortam</b>	<b>Kirleticiler</b>	<b>Bitkiler</b>
<b>Fitoekstraksiyon</b>	Kirleticiyi Ortamda Alma ve Uzaklaştırma	Toprak, Sediment, Çamur	Metaller, Metalloidler, Radionükleidler	Hindistan, Hardalı, Alyssum, Ayçiçeği, Kavaklar
<b>Rizofiltrasyon</b>	Kirleticiyi Ortamdan Alma ve Uzaklaştırma	Yüzey ve Yeraltı Suları	Metaller, Radyonükleidler	Ayçiçeği, Hindistan Hardalı, Su Sümbülü
<b>Fitostabilizasyon</b>	Kirleticiyi Etkisizleştirme	Toprak, Sediment ve Çamur	As, Cd, Cr, Cu, Hs, Pb, Zn	Hindistan Hardalı, Kavaklar, Çimler
<b>Rizodegradasyon</b>	Kirleticiyi Giderme	Toprak, Sediment ve Çamur, Yeraltı Suları	Organik Bileşikler	Kırmızı Dut, Çimler, Kavaklar, Sukamışı,
<b>Fitodegradasyon</b>	Kirleticiyi Giderme	Toprak ve Çamur, Yeraltı ve Yüzey Suları	Organik Bileşikler, Fenoller, Herbisitler	Alg, Hibrit Kavaklar, Siyah Söğüt, Servi
<b>Fitovolatilizasyon</b>	Kirleticiyi Buharlaştırma	Toprak ve Çamur, Yeraltı Suları	Bazı İnorganikler (Se, Hg, As)	Kavaklar, Yonca, Hindistan Hardalı



### 2.3. Kaynak Özetleri

Vesely ve ark. [56], 4 farklı makrofitle yaptıkları çalışmada (*Pistia stratiotes* L., *Salvinia auriculata* Aubl., *Salvinia minima* Baker. ve *Azolla filiculoides* Lam); farklı konsantrasyonlarda kadmiyum ( $3,5 \text{ mg L}^{-1}$  ve  $10,5 \text{ mg L}^{-1}$ ) ve kurşun ( $25 \text{ mg L}^{-1}$  ve  $125 \text{ mg L}^{-1}$ ) uygulanmış bitki örneklerinde meydana gelen stresin derecesi tespit edilmiştir.

*Pistia stratiotes* ile Mishra ve ark. [57], tarafından yapılan çalışmada; bitkiye 12 gün boyunca farklı konsantrasyonlarda Cd ve Pb uygulamışlar, deney sonunda bitkinin akümülyasyon miktarının yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Espinoza-Quinones ve ark. [58], *Pistia stratiotes*'te Cd ve Pb akümülyasyonunu incelemişler, ilk 24 saatten sonra sıvı fazda Pb konsantrasyonunda % 50'lik bir azalma tespit etmişlerdir. Kadmiyum birikimi,  $5 \text{ mg L}^{-1}$  muamelesinde sekizinci günde yapraklarda  $223 \text{ mg kg}^{-1}$  ve ondördüncü günde köklerde  $1315 \text{ mg kg}^{-1}$  bulunduğu tespit edilmiştir. Birinci gün *P. stratiotes*'te Pb  $25 \text{ mg L}^{-1}$  muamelesinde en yüksek konsantrasyonda  $506 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $125 \text{ mg L}^{-1}$  konsantrasyonunda  $11458 \text{ mg kg}^{-1}$  olarak tespit edilmiştir. Ağır metal konsantrasyonları arttıkça, bitki dokularındaki ağır metal birikiminin arttığı tespit edilmiştir.

Nurhayati ve ark. [59], çalışmalarında 20 ppm çinko konsantrasyonu içeren sızıntı suyunda *Pistia stratiotes*'in çinko alınımını araştırmışlardır. Bu çalışmada rejenerasyonlu ve rejenerasyonsuz olmak üzere iki yöntem kullanılmıştır. Bunlardan rejenerasyonlu yöntemde, *Pistia stratiotes* her gün yenisiyle değiştirilmiştir. *Pistia stratiotes* hazırlanan solüsyona ekilerek 4 gün beklenmiştir. Günde bir kez çinko konsantrasyon ölçümü yapılmıştır. Rejenerasyonsuz yöntemde dördüncü gün sonunda alınan çinko konsantrasyonu 17,9971 ppm ve emilen çinko yüzdesi % 10,0147 olarak hesaplanmıştır. Rejenerasyonlu yöntemde birinci günde alınan çinko konsantrasyonu 7,9420 ppm (% 39,71) , ikinci günde 5,3879 ppm (% 44,6832), üçüncü günde 2,9013 ppm (%43,4971) ve dördüncü günde 2,4295 ppm (% 64,4635) olarak ölçülmüştür. Dördüncü günde alınan çinko miktarının minimum (3,7688 ppm) olmasının nedenini, ortamda kalan çinko miktarının düşük seviyede (2,4295 ppm) kalmasından olduğu tespit edilmiştir. Absorbe edilen çinko konsantrasyonu yüzdesinin dördüncü günde en büyük

(% 64,4635) seviyede olmasının nedenini ise ortamdaki çinko miktarının minimum olması ile çinko iyonlarının bitki hücre zarından difüzyonla kolay ve hızlı geçiş yaptığından kaynaklandığı anlaşılmıştır.

Odjegba ve Fasidi [60], çalışmalarında potansiyel olarak toksik olan sekiz iz elementin (Ag, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb ve Zn) toksisitesinin *Pistia stratiotes* üzerinde tolerans ve metal birikimine etkileri incelemiştir. Çalışmada her bir ağır metal için ayrı ayrı 0,1 µM, 0,3 µM, 0,5 µM, 1,0 µM, 3,0 µM ve 5,0 µM derişimleri kullanılmıştır. *Pistia stratiotes*'in yeni kökler geliştirebilme yeteneği, eser elementlerin etkisiyle önemli ölçüde azaldığı sonucunu elde etmişlerdir. Bununla birlikte Hg'nin en şiddetli etkiye sahip olduğunu, Ni'nin Hg'ye yakın etkiye sahip olduğunu ve Zn'nin en az etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Kontrol bitkisinde 3 hafta içinde toplam 14 yeni kök elde edilirken, 0,3 µM Hg ve 0,5 µM Ni'ye maruz kalmış bitkiler tamamen yeni kök oluşumunu inhibe ettiği sonucuna varmışlardır. Çalışma sırasında çeşitli metaller için tolerans değerleri hesaplanmış olup, bitkinin Zn'ye en çok toleranslı olduğu ( $88,21 \pm 1,79\%$  değerinde), Hg'ye ise en az toleranslı olduğu ( $26,07 \pm 1,07\%$  değerinde) bulunmuştur. Hoşgörü sırası Zn > Cr > Pb > Ag > Cd Cu > Ni > Hg şeklinde sıralanmıştır.

Ugya ve ark. [61], çalışmalarında Kaduna Rafineri ve Petrokimya Şirketi'nden çıkan atık sularla kirlenmiş bir dere den bazı ağır metallerin (Hg, Cd, Mn, Ag, Pb, Zn) giderilmesinde *Pistia stratiotes* kullanımı ile ilgili bir laboratuvar deneyleri yapmışlardır. İlk 48 saat kadar hızlı alım ve 120 saat sonra kademeli olarak denge görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre *Pistia stratiotes*'in metalleri biyoakümülyasyona uğratarak Hg ve Ag'yi bitki kökleriyle yüksek oranda atık sulardan uzaklaştırma verimliliği olduğu tespit edilmiştir.

Landis ve ark. [62], sucul makrofitlerle yaptıkları çalışmada Zn ve Cd'nin atık sulardan etkili bir şekilde uzaklaştırıldığını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında ağır metallerin sadece köklerde tutulmadığını, sürgüne ve yapraklara transfer edildiğini, hiperakümülyasyon özelliği gösteren türlerde ise 100-1000 kat daha yüksek konsantrasyonlarda birikime uğradığını belirtmişlerdir.

### 3. BÖLÜM

#### MATERYAL VE METOD

##### 3.1. Araştırma Materyalleri ve Temini

Çalışmamızda kullanılacak bitki örnekleri Ankara'daki bir akvaryumdan temin edilmiş ve Nevşehir Hacı Veli Üniversitesi laboratuvarında kültüre alınmıştır.

##### 3.1.1. *Pistia stratiotes*'in Sistematığı

Alem: Plantae

Bölüm: Spermatophyta

Sınıf: Monocotyledoneae

Takım: Arecales

Familiya: Araceae

Tür: *Pistia stratiotes*

##### 3.1.2. *Pistia stratiotes* (Su marulu)

*Pistia stratiotes* (Su marulu), Araceae familyasına ait olan ve su yüzeyinde yaşayan sucul bir bitki türüdür. Akarsu, göl ve bataklıkların sığ olan bölgelerinde yüksek yayılış gösterirler. Üstü açık akvaryumlarda ve bahçe havuzlarında da bakımı mümkündür. Çok fazla bir gereksinimi olmayan *Pistia* orta derece ışıktaki bile rahatlıkla yetişebilen ve yüksek ışıktaki genellikle daha iri boyutlara ulaşabilen bir bitkidir. *Pistia* bitkisinin optimum büyüme ısısı 22-30°C arasında olup, akvaryum şartlarında bitkinin çapı 5-6 cm kadar büyüyebiliyorken, doğada bu 20 cm'lere kadar ulaşabilmektedir [63].

*Pistia stratiotes*'in balık akvaryumlarında kullanım amacı; ortamdaki fazlalık olan nitratı emmeleri ve biyolojik döngüye katkı sağlamalarıdır. Bitkinin klöklerini zamanla uzatacağından yavru balıklar için ideal bir saklanma alanı oluşturacaktır [64].



Şekil 3.1. *Pistia stratiotes* (su marulu)

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Kültür Ortamı ve Ağır Metal Uygulanması

Temin edilen *Pistia stratiotes* örneklerinin adaptasyon ve gelişmesi için gerekli şartlar sağlanarak kültüre alınmıştır. Akvaryum içerisine güvercin gübresi, çiçek toprağı ve temiz su konularak bitkiler yerleştirilmiş olup havalandırma, sıcaklık ve su sirkülasyonu sağlanmıştır. Gerekli şartların temini ile bitkilerin çoğalarak yeni bitkilerin büyümeleri beklenmiş ve bu yeni bitkilerle deney kurulmuştur.

Her bir ağır metal için üçer tekrarlı olacak şekilde beherler yıkanıp temizlenerek üzerlerine etiketlemeler yapılmıştır. Deney için gerekli olan ağır metallerin stok çözeltileri ve diğer çözelti örnekleri hazırlanarak stok yapılmıştır. Stok ağır metal çözeltilerinden beherlere aktarma yapılarak 400 ml'ye saf su ile tamamlanmıştır. Kültürdeki bitkilerden 5'er gr bitkiler tartılarak hazırlanan beherlere yerleştirilip büyüme çemberine (26°C, %40 nem, 14 saat fotoperiyot) yerleştirilip yedi günlük periyot ile bitki büyütme işlemi yapılmıştır. Çalışmamızda farklı konsantrasyonlarda *Pistia stratiotes* bitkisine kurşun (Pb) ( 5- 10- 25- 50 mg L<sup>-1</sup>), nikel (Ni) (1- 5- 10- 20 mg L<sup>-1</sup>), kadmiyum (Cd) (1- 2- 4- 8 mg L<sup>-1</sup>) kullanılmıştır.

Büyüme çemberindeki yedi günlük periyot bitiminde bitki örnekleri kurutma kâğıdı üzerine alınarak 5 dakika fazla suyunun çekilmesi sağlanmış ve her örnek ayrı ayrı tartılarak göreceli büyüme oranları aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$RGR = [\ln(W2) - \ln(W1)] / (t2 - t1)$$

(W1 ve W2= bitkinin ilk ve son yaş ağırlığı (g), t1 ve t2= ilk ve son gün) [65].



Şekil 3.2. *Pistia stratiotes* 'in ağır metal yükleme aşaması



Şekil 3.3. *Pistia stratiotes* 'in büyüme çemberindeki örnekleri



Şekil 3.4. Ağır metal uygulamasında yedinci günde bitkilerin genel durumu

### 3.2.2. Klorofiller (a, b ve t) ve Karotenoid Tayinleri

Klorofillerin ve karotenoidlerin analizleri için Criado ve ark [66] tarafından belirtilen yöntemler kullanılmış ve buna göre grafikler oluşturulmuştur. Bu yöntemler doğrultusunda büyüme çemberinde olan deney düzeneğinden 1.-3.-5.-7. günlerde 0,1 bitki örneği alınarak etiketlenip  $-80^{\circ}\text{C}$ 'de saklanmıştır. Yedinci günün sonunda teker teker hazır olan 0,1 gr taze yaprak örnekleri havanda ezilip ve üzerine 100 ml %80'lik

aseton eklenerek çözülmesi i sağlanmış ve filtre kağıdından geçirilerek elde edilen süzüntü UV spektrofotometrede klorofil a (kl a) için 663 nm, klorofil b (kl b) için 645 nm ve toplam klorofil (kl t) için 450 nm dalga boylarında ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümlerin ardından elde edilen absorbans değerleri Witham ve ark. [67], tarafından belirtilen yöntemler doğrultusunda aşağıda verilen formüllere göre hesaplamaları yapılmıştır.

$$\text{mg kl.a/g doku} = [12.7 (D663) - 2.69 (D645)]. (V/1000.A)$$

$$\text{mg kl.b/g doku} = [22.9 (D645) - 4.68 (D663)]. (V/1000.A)$$

$$\text{mg kl.t/g doku} = [20.2 (D645) - 8.02 (D663)]. (V/1000.A)$$

(D: belirtilen dalga boyundaki absorbans değeri, V: son hacmi, A: yaprak dokusunun taze ağırlığı).

Karotenoid miktar tayini içinde 0.1 gramlık yaş örneklerin hazırlanan ekstraktları 450 nm dalga boyundaki absorbans değeri aşağıda verilen formüle göre hesaplanmıştır.

$$\text{Toplam karotenoid} = [4,07 \times D450 - (0,0435 \times \text{kla miktarı} + 0,367 \times \text{klb miktarı})]$$

### 3.2.3. Lipid Peroksidasyon Analizi (MDA)

Bu aşama için öncelikle gerekli olan solüsyon hesaplamalar yapılmış ve gerekli miktarlarda hazırlanarak falkonlara stok yapılmıştır. Bitki örneğinden 0,5 g alınarak havanda iyice ezilip ve etiketlemesi yapılmış falkonlara alınarak üzerine 3 ml solüsyon (% 20'lik triklor asetik asit (TCA) ve % 5'lik tiobarbitürikasit (TBA)) eklenerek homojen bir çözelti elde edilmiştir Hazırlanan çözelti 30 dakikalık süre ile 95°C'de inkübe olması beklenmiştir ve sonrasında oluşan reaksiyonu durdurmak için buz içerisinde 5 dakika bekletilmiştir. Hazırlanan örnekler 10000 rpm'de 10 dakika santrifüj edilerek süpernatant kısmı alınmış ve 532 nm ve 600 nm'deki absorbans değeri okunmuştur [68]. 1 ml çözeltideki MDA miktarları aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\text{MDA (nmol/g)} = [(A532 - A600) / 155 \times (\text{seyreltme faktörü})] \times 1000$$

#### **3.2.4. Bitkide Ağır Metal Seviyesinin Belirlenmesi**

Bu çalışma için kullanılacak olan tüm malzemeler deterjanlı su ile temizlenerek sonrasında % 20'lik HNO<sub>3</sub> içerisinde bir gece bekletilmesinin ardından ultra saf su ile yıkanarak 60 °C'de etüv içerisinde kurutulmaları sağlanmıştır. Çalışmamız için kullanılacak olan çözeltilerin hazırlanmasında, % 65'lik nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) kullanılmış olup, örneklerin hazırlanma ve seyreltme işlemleri aşamasında ultra saf su kullanılmıştır.

Bitkilerde akümüle edilen ağır metal içeriklerini tayin etmek amacıyla alınan örnek dokuları saf su ile yıkanarak 105 °C'de kurutulmuştur [69]. Çalışma için hazırlanan her bir bitki örnekleri 8 ml HNO<sub>3</sub> kullanılarak mikrodalga numune hazırlama cihazında uygun koşullarda çözülerek, ICP-MS cihazında ağır metal miktarları belirlenmiştir [70].

#### **3.2.5. İstatiksel Analizler**

Çalışmamızda elde edilen sonuçların ortalama, standart hata, minimum ve maksimum değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır İstatistik analizler için SPSS 17.0 paket programı kullanılmıştır. Ortalamaların istatistiksel karşılaştırılmasında ANOVA testi kullanılmıştır. Verilerin istatistiki yönden anlamlılığı  $p < 0,05$  ve  $p < 0,01$  düzeyinde sınanmış olup grafik ve tablolarda farklı harf kullanılarak ifade edilmiştir.



## 4. BÖLÜM

### BULGULAR

#### 4.1. *Pistia stratiotes*

##### 4.1.1. Farklı Konsantrasyonlardaki Pb Akümülayon Miktarları

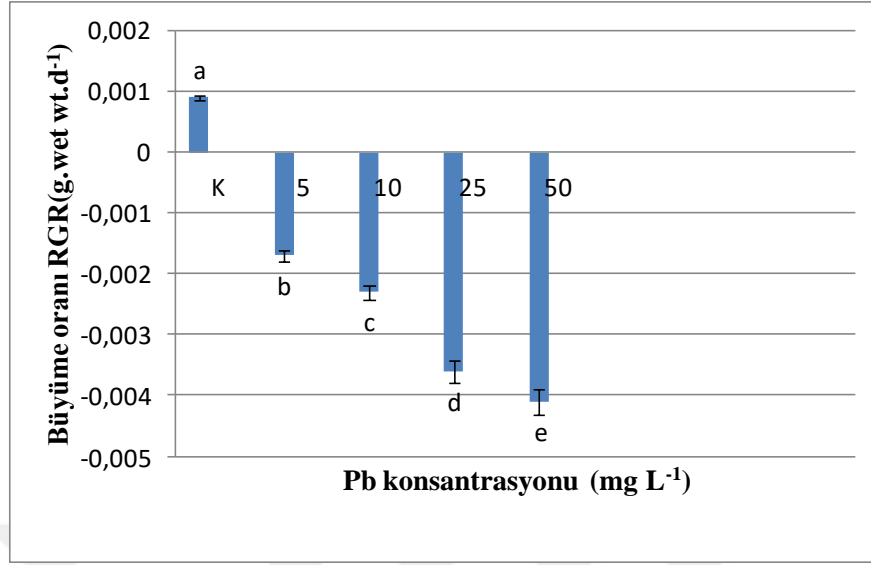
*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca değişken konsantrasyonlarda Pb (0, 5, 10, 25, 50 mg L<sup>-1</sup>) uygulaması yapılmıştır. Elde edilen Pb miktarları Tablo 4.1’ de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde ortamdaki Pb konsantrasyonu arttıkça, Pb alınımının da arttığı tespit edilmiştir. Farklı konsantrasyon değerlerine bağlı olarak akümülayon miktarları birbirinden farklılık gösterdiği tespit edilmiştir.

Tablo 4.1. *Pistia stratiotes* örneklerinde biriken farklı Pb (5-50 mg L<sup>-1</sup>) konsantrasyonlarındaki Pb miktarları

Pb Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> )	Ort/Std hata (µg g <sup>-1</sup> )	Min	Maks
<b>Kontrol</b>	1,408 <sup>a</sup> ±0,399	1,126	1,69
<b>5ppm</b>	840,112 <sup>b</sup> ±21,967	697,299	982,924
<b>10ppm</b>	2220,204 <sup>c</sup> ±47,748	1886,628	2553,78
<b>25ppm</b>	322864,72 <sup>d</sup> ±87,1043	300012,343	365617,096
<b>50ppm</b>	455047,097 <sup>e</sup> ±106,75	450064,013	460030,18

##### 4.1.1.1. Farklı Konsantrasyonlarda Pb Uygulanmış *Pistia stratiotes* Örneklerindeki Büyüme Oranı

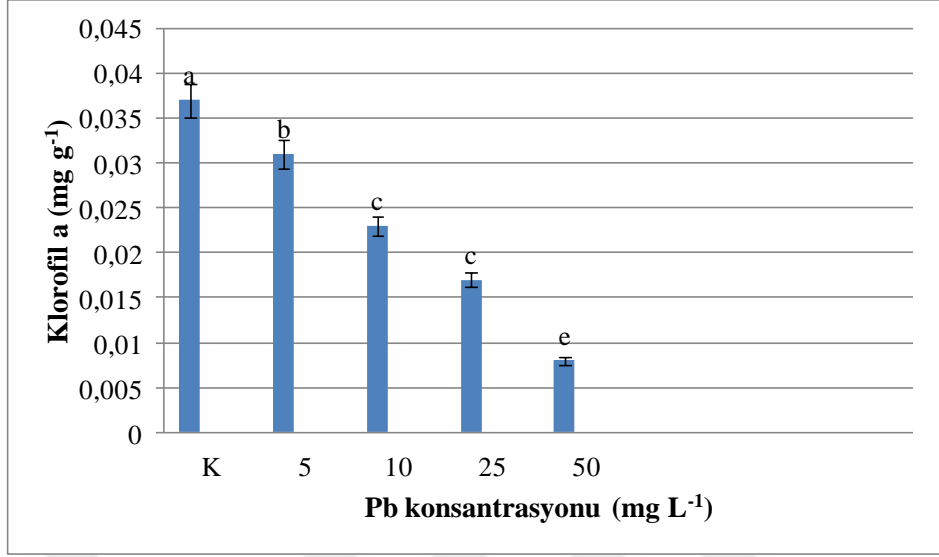
*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca değişken konsantrasyonlarda Pb uygulanması sonucunda elde edilen büyüme oranları Şekil 4.1’de verilmiştir. Pb konsantrasyon miktarı arttıkça büyüme oranlarının azaldığı görülmüştür. Pb’nin göreceli büyüme oranları üzerine olan etkinin en fazla Pb 50 mg L<sup>-1</sup> konsantrasyonunda olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.1. Yedinci gün sonunda farklı Pb (5-50 mg L<sup>-1</sup>) konsantrasyonlarında bulunan *Pistia stratiotes* üzerindeki göreceli büyüme oranına etkileri

#### 4.1.1.2. Farklı Konsantrasyonlarda Pb Uygulanmış *Pistia stratiotes* Örneklerindeki Klorofil a Miktarları

*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca değişken konsantrasyonlarda Pb uygulanmış ve elde edilen klorofil a miktarları Şekil 4.2’de verilmiştir. Artan Pb konsantrasyonlarına bağlı olarak göre klorofil a miktarları kontrol grubuna göre değişik oranlarda azalma göstermiştir. En fazla azalmanın Pb 50 mg L<sup>-1</sup> konsantrasyonunda olduğu belirlenmiştir.

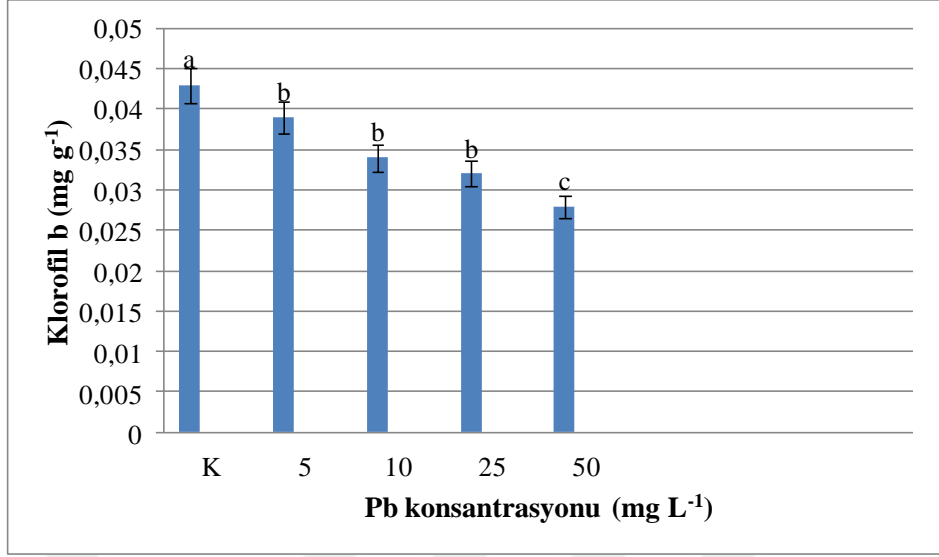


Şekil 4.2. Yedinci gün sonunda farklı Pb (5-50 mg L<sup>-1</sup>) konsantrasyonlarında bulunan *Pistia stratiotes* örneklerindeki klorofil a miktarları

#### 4.1.1.3. Farklı Konsantrasyonlarda Pb Uygulanmış *Pistia stratiotes*

##### Örneklerindeki Klorofil b Miktarları

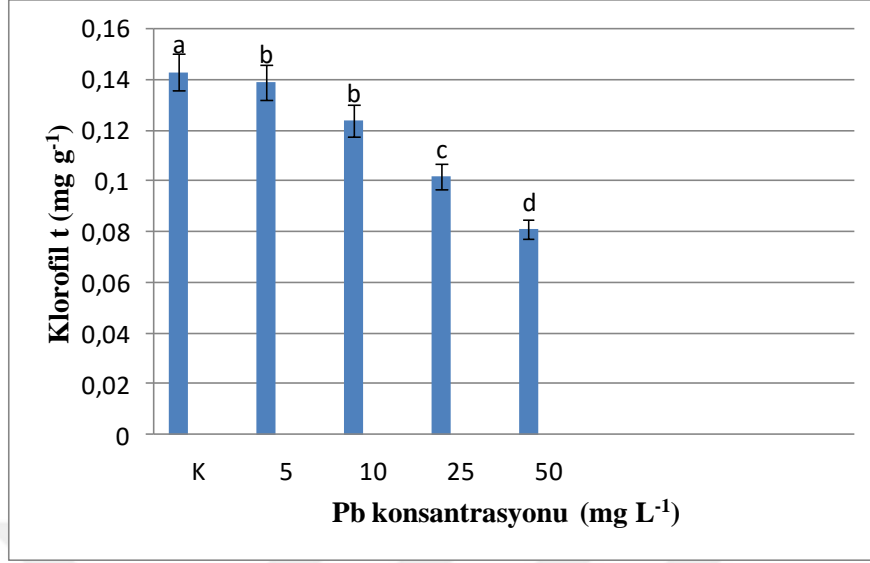
*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca değişken konsantrasyonlarda Pb uygulanmış ve elde edilen klorofil b miktarları Şekil 4.3'de verilmiştir. Artan Pb konsantrasyonuna bağlı olarak klorofil b miktarları azalış göstermiştir. Farklı değerde Pb konsantrasyonlarına bağlı olarak klorofil b miktarları birbirinden farklılık gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.3. Yedinci gün sonunda farklı Pb (5-50 mg L<sup>-1</sup>) konsantrasyonlarında bulunan *Pistia stratiotes* örneklerindeki klorofil b miktarları

#### 4.1.1.4. Farklı Konsantrasyonlarda Pb Uygulanmış *Pistia stratiotes* Örneklerindeki Toplam Klorofil Miktarları

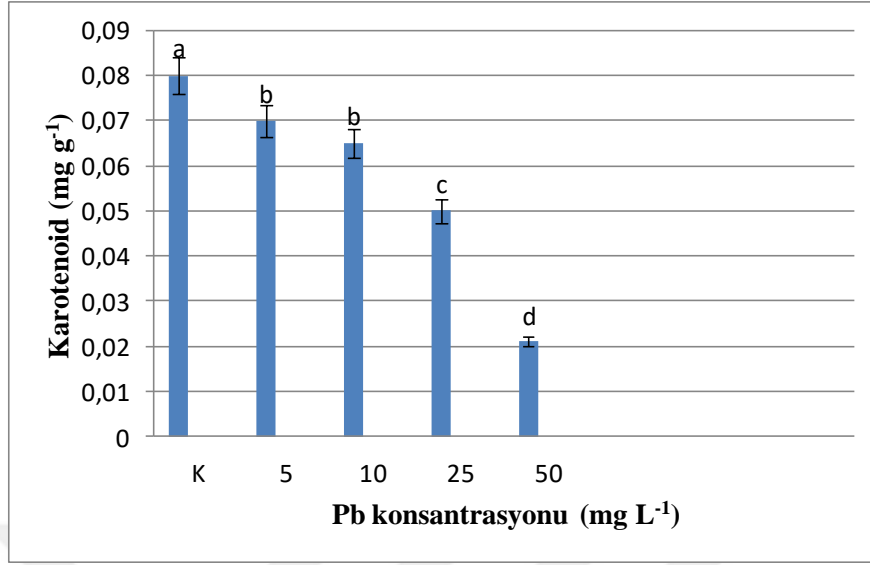
*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca değişken konsantrasyonlarda Pb uygulanmış ve elde edilen toplam klorofil miktarları Şekil 4.4 'te verilmiştir. Farklı Pb konsantrasyonlarının etkisiyle toplam klorofil miktarları kontrol grubuna göre önemli miktarda azalma göstermiştir. En fazla azalmanın Pb 50 mg L<sup>-1</sup> konsantrasyonunda olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.4. Yedinci gün sonunda farklı Pb (5-50 mg L<sup>-1</sup>) konsantrasyonlarında bulunan *Pistia stratiotes* örneklerindeki toplam klorofil miktarları

#### 4.1.1.5. Farklı Konsantrasyonlarda Pb Uygulanmış *Pistia stratiotes* Örneklerindeki Karotenoid Miktarları

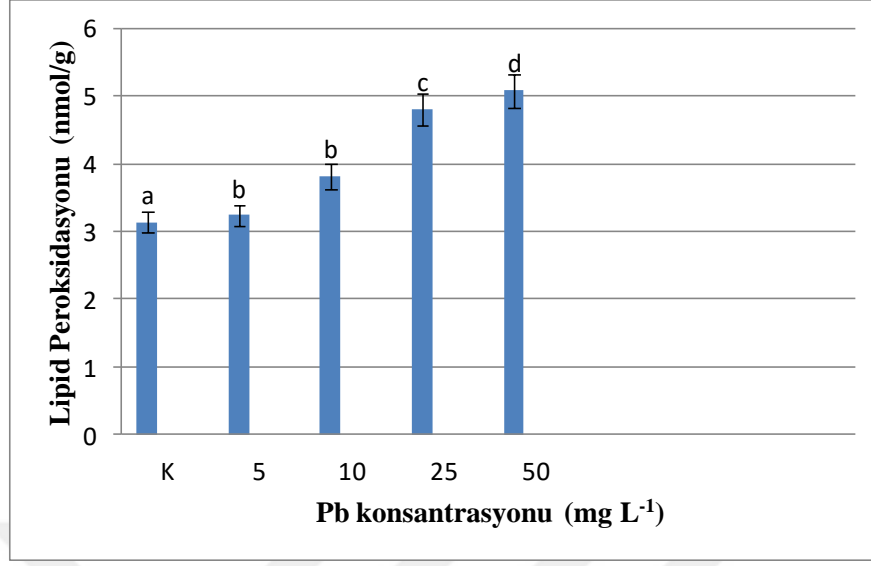
*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca değişken konsantrasyonlarda Pb uygulanmış ve elde edilen karotenoid miktarları Şekil 4.5' te verilmiştir. Farklı Pb konsantrasyonlarının etkisiyle karotenoid miktarları kontrol grubuna göre yüksek miktarlarda azalma göstermiştir. En fazla azalmanın Pb 50 mg L<sup>-1</sup> konsantrasyonunda olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.5. Yedinci gün sonunda farklı Pb (5-50 mg L<sup>-1</sup>) konsantrasyonlarında bulunan *Pistia stratiotes* örneklerindeki karotenoid miktarları

#### 4.1.1.6. Farklı Konsantrasyonlarda Pb Uygulanmış *Pistia stratiotes* Örneklerindeki Lipid Peroksidasyonu Miktarları

*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca değişken konsantrasyonlarda Pb uygulanmış ve lipid peroksidasyon miktarları Şekil 4.6' da verilmiştir. Pb konsantrasyonu arttıkça lipid peroksidasyon miktarları artış göstermiştir. Farklı konsantrasyonların etkisiyle lipid peroksidasyonu miktarları birbirinden farklılık göstermiştir. *Pistia stratiotes* üzerinde en fazla MDA artışı Pb 50 mg L<sup>-1</sup> konsantrasyonunda yaptığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.6. Yedinci gün sonunda farklı Pb (5-50 mg L<sup>-1</sup>) konsantrasyonlarında bulunan *Pistia stratiotes* örneklerindeki lipid peroksidasyon miktarları

#### 4.1.2. Farklı Konsantrasyonlardaki Ni Akümülyasyon Miktarları

*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca değişken konsantrasyonlarda Ni (0, 1, 5, 10, 20 mg L<sup>-1</sup>) uygulaması yapılmıştır. Elde edilen Cd miktarları Tablo 4.2’ de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde ortamdaki Ni konsantrasyonu arttıkça, Ni alınımının da arttığı tespit edilmiştir. Farklı konsantrasyon değerlerine bağlı olarak akümülyasyon miktarları birbirinden farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Elde edilen Pb ve Ni için sonuçlar incelendiğinde Pb ağır metal birikiminin Ni metal birikiminden daha fazla olduğu anlaşılmıştır.

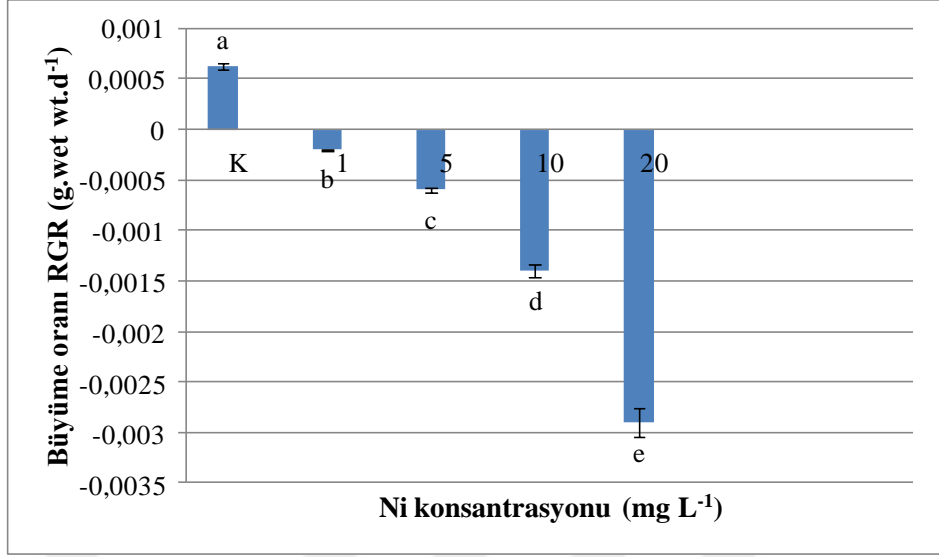
Tablo 4.2. *Pistia stratiotes* örneklerinde biriken farklı Ni (1-20 mg L<sup>-1</sup>) konsantrasyonlarındaki Ni miktarları

Ni Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> )	Ort/Std hata ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Min	Maks
<b>Kontrol</b>	1,262 <sup>a</sup> ±0,45	0,944	1,58
<b>1ppm</b>	245,197 <sup>b</sup> ±4,814	114,514	375,88
<b>5ppm</b>	460,7 <sup>c</sup> ±7,334	409,552	511,848
<b>10ppm</b>	12802,72 <sup>d</sup> ±22,326	10920,16	14745,29
<b>20ppm</b>	17352,42 <sup>e</sup> ±24,395	16454,46	18420,381

#### 4.1.2.1. Farklı Konsantrasyonlarda Ni Uygulanmış *Pistia stratiotes* Örneklerindeki Büyüme Oranı

*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca farklı konsantrasyonlarda Ni uygulanması sonucunda elde edilen büyüme oranları Şekil 4.7’de verilmiştir. Ni konsantrasyon değerleri arttıkça büyüme oranlarının azaldığı görülmüştür. Ni’nin göreceli büyüme oranları üzerine olan etkinin en fazla Ni 20 mg L<sup>-1</sup> konsantrasyonunda olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde Pb’nin büyüme oranına etkisinin Ni’den fazla olduğu tespit edilmiştir.

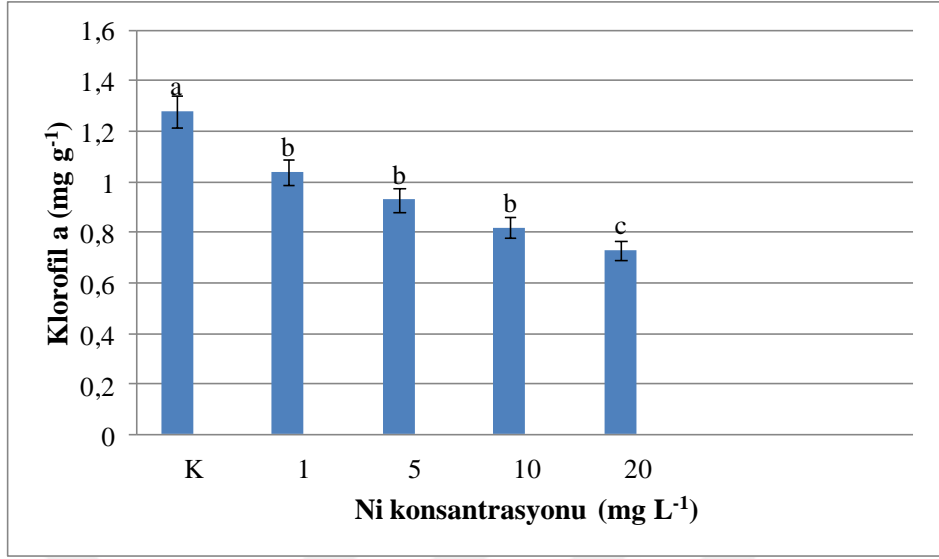




Şekil 4.7. Yedinci gün sonunda farklı Ni (1-20 mg L<sup>-1</sup>) konsantrasyonlarında bulunan *Pistia stratiotes*'in göreceli büyüme oranlarına etkisi

#### 4.1.2.2. Farklı Konsantrasyonlarda Ni Uygulanmış *Pistia stratiotes* Örneklerindeki Klorofil a Miktarları

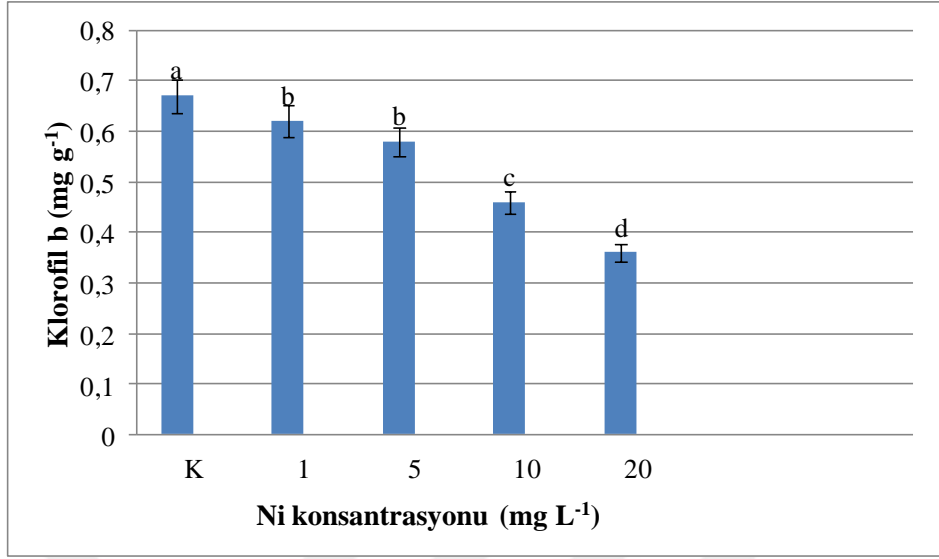
*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca değişken konsantrasyonlarda Ni uygulanmış ve elde edilen klorofil a miktarları Şekil 4.8'de verilmiştir. Artan Ni konsantrasyonların etkisiyle klorofil a miktarları kontrol grubuna göre değişik oranlarda azalma göstermiştir. En fazla azalmanın Ni 20 mg L<sup>-1</sup> konsantrasyonunda olduğu anlaşılmıştır. Elde edilen Pb ve Ni için sonuçlar karşılaştırıldığında Ni için azalmanın daha fazla olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4.8. Yedinci gün sonunda farklı Ni (1-20 mg L<sup>-1</sup>) konsantrasyonlarında bulunan *Pistia stratiotes* örneklerindeki klorofil a miktarları

#### 4.1.2.3. Farklı Konsantrasyonlarda Ni Uygulanmış *Pistia stratiotes* Örneklerindeki Klorofil b Miktarları

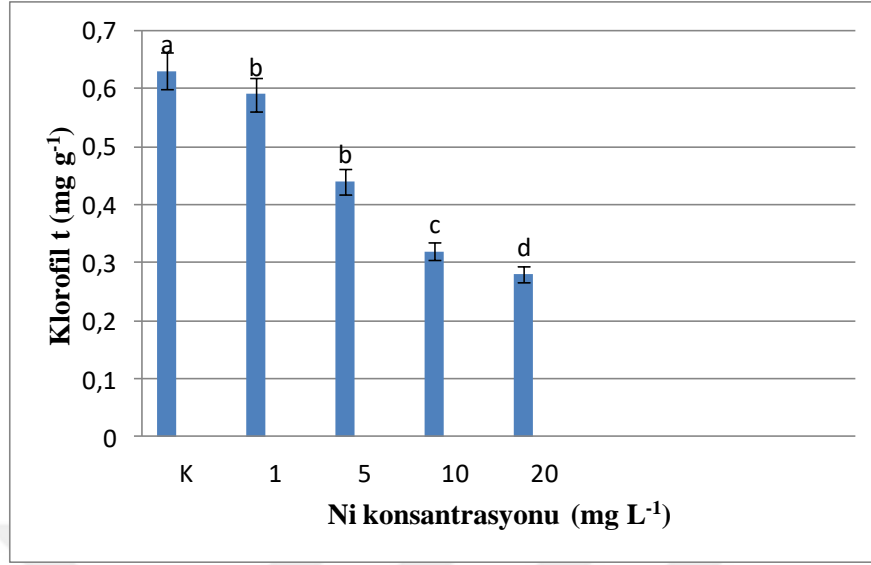
*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca değişken konsantrasyonlarda Ni uygulanmış ve elde edilen klorofil b miktarları Şekil 4.9’da verilmiştir. Artan Ni konsantrasyonuna bağlı olarak klorofil b miktarları azalış göstermiştir. Farklı değerlerde Ni konsantrasyonlarına bağlı olarak klorofil b miktarları birbirinden farklılık gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.9. Yedinci gün sonunda farklı Ni (1-20 mg L<sup>-1</sup>) konsantrasyonlarında bulunan *Pistia stratiotes* örneklerindeki klorofil b miktarları

#### 4.1.2.4. Farklı Konsantrasyonlarda Ni Uygulanmış *Pistia stratiotes* Örneklerindeki Toplam Klorofil Miktarları

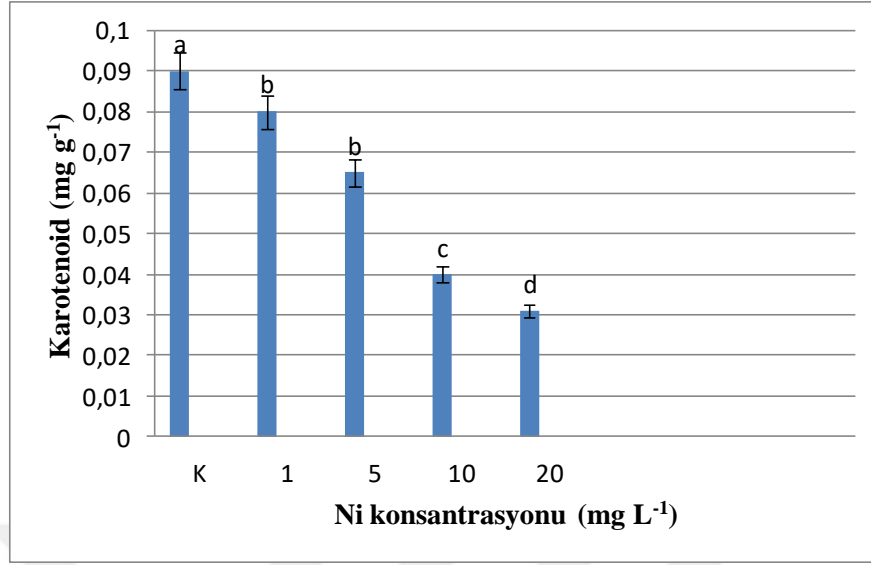
*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca değişken konsantrasyonlarda Ni uygulanmış ve elde edilen toplam klorofil miktarları Şekil 4.10 'da verilmiştir. Farklı Ni konsantrasyonlarının etkisiyle toplam klorofil miktarları kontrol grubuna göre önemli miktarda azalma göstermiştir. En fazla azalmanın Ni 20 mg L<sup>-1</sup> konsantrasyonunda olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.10. Yedinci gün sonunda farklı Ni (1-20 mg L<sup>-1</sup>) konsantrasyonlarında bulunan *Pistia stratiotes* örneklerindeki toplam klorofil miktarları

#### 4.1.2.5. Farklı Konsantrasyonlarda Ni Uygulanmış *Pistia stratiotes* Örneklerindeki Karotenoid Miktarları

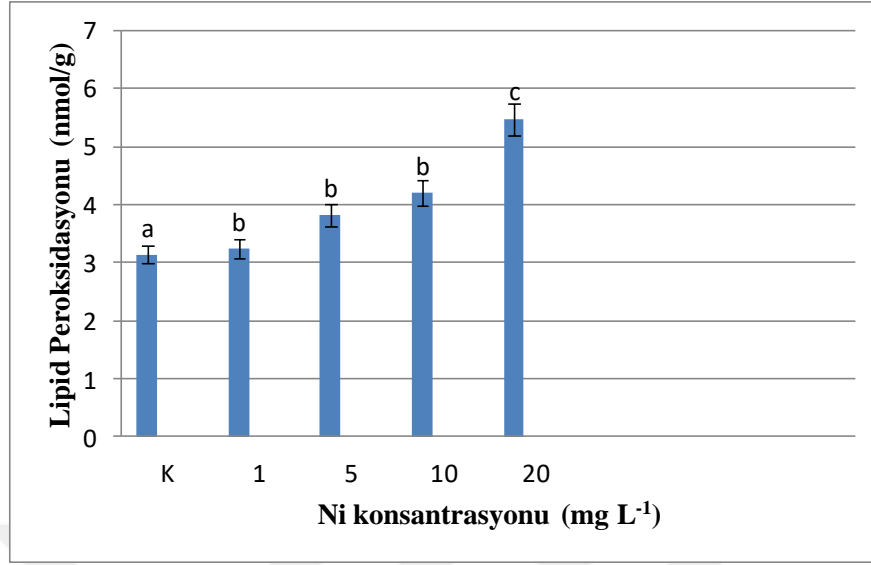
*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca değişken konsantrasyonlarda Ni uygulanmış ve elde edilen karotenoid miktarları Şekil 4.11’ de verilmiştir. Farklı Ni konsantrasyonların etkisiyle karotenoid miktarları kontrol grubuna göre yüksek miktarlarda azalma göstermiştir. En fazla azalmanın Ni 20 mg L<sup>-1</sup> konsantrasyonunda olduğu belirlenmiştir. Elde edilen Ni ve Pb için karotenoid miktar sonuçları karşılaştırıldığında azalmanın Pb için daha etkili olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4.11. Yedinci gün sonunda farklı Ni (1-20 mg L<sup>-1</sup>) konsantrasyonlarında bulunan *Pistia stratiotes* örneklerindeki karotenoid miktarı

#### 4.1.2.6. Farklı Konsantrasyonlarda Ni Uygulanmış *Pistia stratiotes* Örneklerindeki Lipid Peroksidasyonu Miktarları

*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca değişken konsantrasyonlarda Ni uygulanmış ve lipid peroksidasyon miktarları Şekil 4.12' de verilmiştir. Ni konsantrasyonu arttıkça lipid peroksidasyon miktarları artış göstermiştir. Farklı konsantrasyon değerlerine bağlı olarak lipid peroksidasyon miktarları birbirinden farklılık göstermiştir. *Pistia stratiotes* üzerinde en fazla MDA artışı Ni 20 mg L<sup>-1</sup> konsantrasyonunda yaptığı tespit edilmiştir. Elde edilen Ni ve Pb sonuçları karşılaştırıldığında lipid peroksidasyon miktarlarının Ni için daha yüksek olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4.12. Yedinci gün sonunda farklı Ni (1-20 mg L<sup>-1</sup>) konsantrasyonlarında bulunan *Pistia stratiotes* örneklerindeki lipid peroksidasyon miktarları

#### 4.1.3. Farklı Konsantrasyonlardaki Cd Akümülayon Miktarları

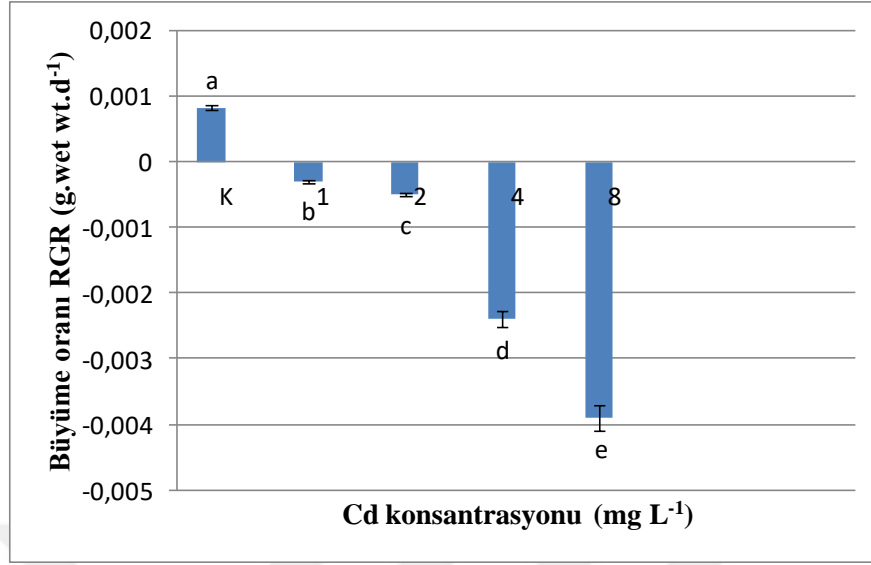
*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca değişken konsantrasyonlarda Cd (0, 1, 2, 4, 8 mg L<sup>-1</sup>) uygulaması yapılmıştır. Elde edilen Cd miktarları Tablo 4.3' de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde ortamdaki Cd konsantrasyonu arttıkça, Cd alınımının da arttığı tespit edilmiştir. Farklı konsantrasyon değerlerine bağlı olarak akümülayon miktarları birbirinden farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Elde edilen Ni, Cd ve Pb için ağır metal okuma sonuçları karşılaştırıldığında en fazla birikimin Pb için, sonra Cd ve en azda Ni için olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 4.3. *Pistia stratiotes* örneklerinde biriken farklı Cd (1-8 mg L<sup>-1</sup>) konsantrasyonlardaki Cd miktarları

Cd Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> )	Ort/Std hata ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Min	Maks
<b>Kontrol</b>	1,863 <sup>a</sup> ±0,033	1,84	1,886
<b>1 ppm</b>	439,417 <sup>b</sup> ±148,212	334,615	544,219
<b>2 ppm</b>	953,948 <sup>c</sup> ±65,993	907,284	1000,612
<b>4 ppm</b>	16129,08 <sup>d</sup> ±358,45	13615,62	18272,55
<b>8 ppm</b>	26431,30 <sup>e</sup> ±148,675	25216,17	27336,43

#### 4.1.3.1. Farklı Konsantrasyonlarda Cd Uygulanmış *Pistia stratiotes* Örneklerindeki Büyüme Oranı

*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanması sonucunda elde edilen büyüme oranları Şekil 4.13'de verilmiştir. Cd konsantrasyon değerleri arttıkça büyüme oranlarının azaldığı görülmüştür. Cd'nin göreceli büyüme oranları üzerine olan etkinin en fazla Cd 8 mg L<sup>-1</sup> konsantrasyonunda olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde Cd'nin Ni ve Pb ile karşılaştırılması sonucunda büyüme oranlarına en büyük etkinin Cd için olduğu tespit edilmiştir.

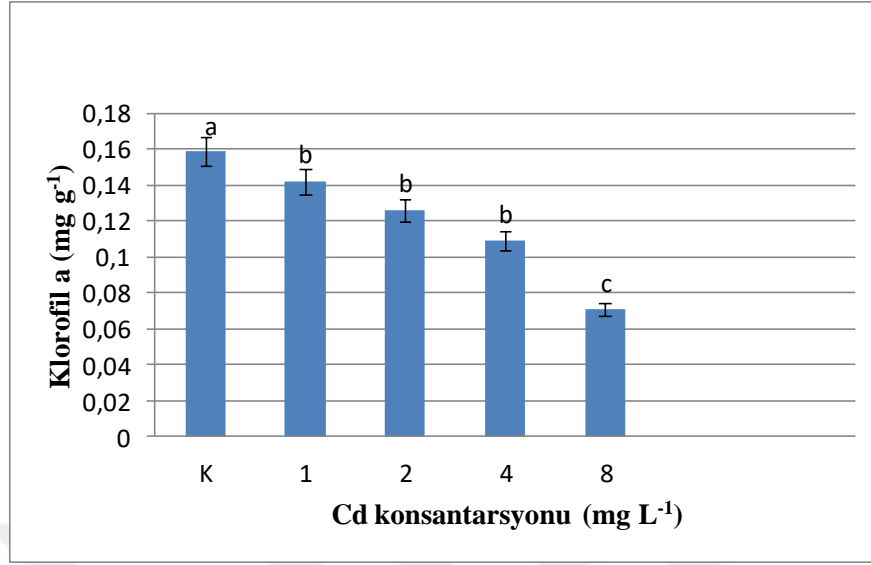


Şekil 4.13. Yedi gün sonunda farklı Cd (1-8 mg L<sup>-1</sup>) konsantrasyonlarında bulunan *Pistia stratiotes*'in göreceli büyüme oranına etkileri

#### 4.1.3.2. Farklı Konsantrasyonlarda Cd Uygulanmış *Pistia stratiotes* Örneklerindeki Klorofil a Miktarları

*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca değişken konsantrasyonlarda Cd uygulanmış ve elde edilen klorofil a miktarları Şekil 4.14'de verilmiştir. Artan Cd konsantrasyonların etkisiyle klorofil a miktarları kontrol grubuna göre değişik oranlarda azalma göstermiştir. En fazla azalmanın Cd 8 mg L<sup>-1</sup> konsantrasyonunda olduğu belirlenmiştir. Elde edilen Ni, Cd ve Pb için sonuçlar karşılaştırıldığında en fazla azalmanın Cd için, sonra Ni için ve en az azalmanın ise Pb için olduğu anlaşılmıştır.

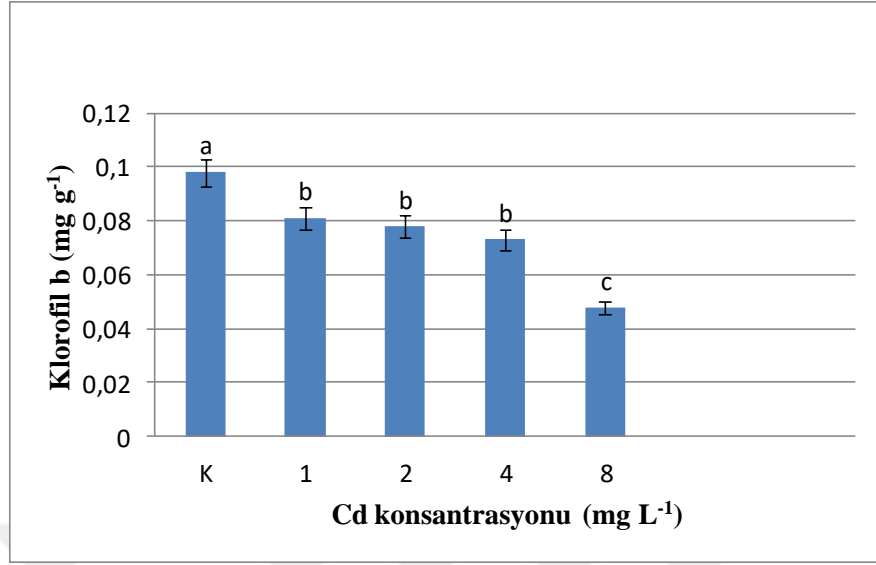




Şekil 4.14. Yedinci gün sonunda farklı Cd (1-8 mg L<sup>-1</sup>) konsantrasyonlarında bulunan *Pistia stratiotes* örneklerindeki klorofil a miktarları

#### 4.1.3.3. Farklı Konsantrasyonlarda Cd Uygulanmış *Pistia stratiotes* Örneklerindeki Klorofil b Miktarları

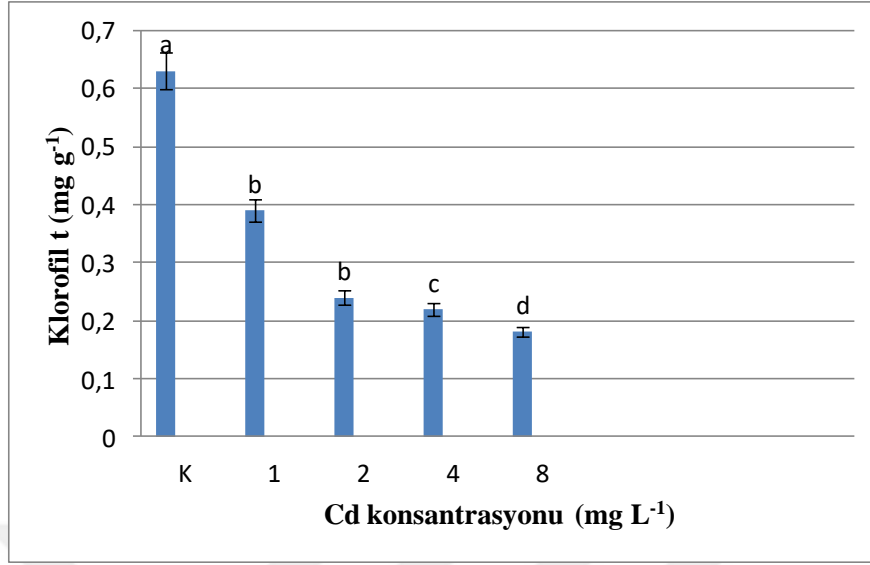
*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca değişken konsantrasyonlarda Cd uygulanmış ve elde edilen klorofil b miktarları Şekil 4.15’de verilmiştir. Artan Cd konsantrasyonuna bağlı olarak klorofil b miktarları azalış göstermiştir. Farklı değerde Cd konsantrasyonlarına bağlı olarak klorofil b miktarları birbirinden farklılık gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.15. Yedinci gün sonunda farklı Cd (1-8 mg L<sup>-1</sup>) konsantrasyonlarında bulunan *Pistia stratiotes* örneklerindeki klorofil b miktarları

#### 4.1.3.4. Farklı Konsantrasyonlarda Cd Uygulanmış *Pistia stratiotes* Örneklerindeki Klorofil t Miktarları

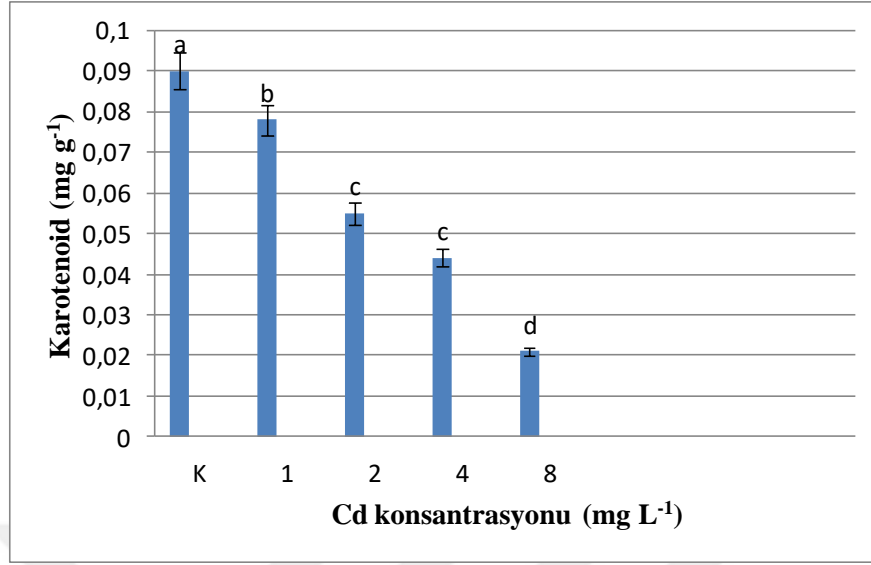
*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca değişken konsantrasyonlarda Cd uygulanmış ve elde edilen toplam klorofil miktarları Şekil 4.16 'da verilmiştir. Farklı Cd konsantrasyonların etkisiyle klorofil t miktarları kontrol grubuna göre önemli miktarda azalma göstermiştir. En fazla azalmanın Cd 8 mg L<sup>-1</sup> konsantrasyonunda olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.16. Yedinci gün sonunda farklı Cd (1-8 mg L<sup>-1</sup>) konsantrasyonlarında bulunan *Pistia stratiotes* örneklerindeki klorofil t miktarları

#### 4.1.3.5. Farklı Konsantrasyonlarda Cd Uygulanmış *Pistia stratiotes* Örneklerindeki Karotenoid Miktarları

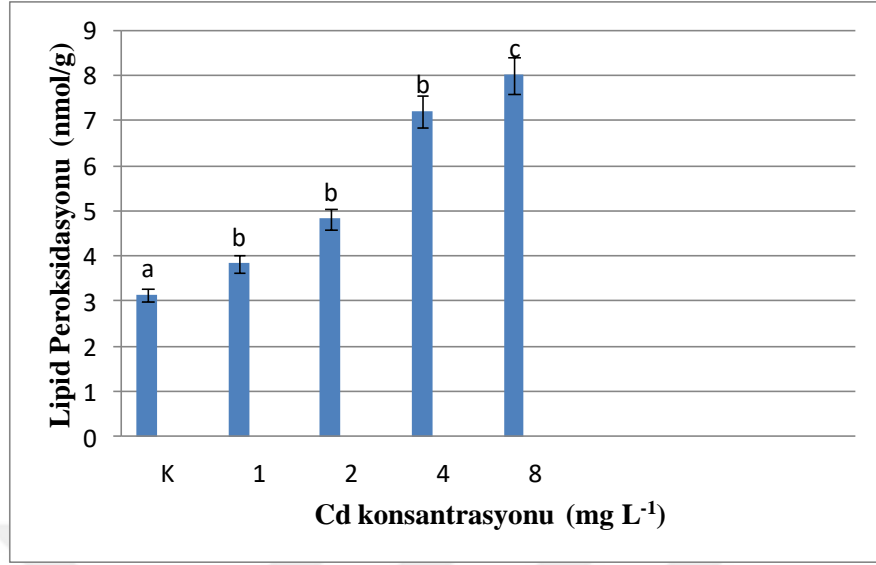
*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca değişken konsantrasyonlarda Cd uygulanmış ve elde edilen karotenoid miktarları Şekil 4.17’ de verilmiştir. Farklı Cd konsantrasyonların etkisiyle karotenoid miktarları kontrol grubuna göre yüksek miktarlarda azalma göstermiştir. En fazla azalmanın Cd 8 mg L<sup>-1</sup> konsantrasyonunda olduğu belirlenmiştir. Elde edilen Ni, Cd ve Pb için karotenoid miktar sonuçları karşılaştırıldığında en fazla Cd, sonra Pb ve en son Ni azalışa sebep olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4.17. Yedinci gün sonunda farklı Cd (1-8 mg L<sup>-1</sup>) konsantrasyonlarında bulunan *Pistia stratiotes* örneklerindeki karotenoid miktarları

#### 4.1.3.6. Farklı Konsantrasyonlarda Cd Uygulanmış *Pistia stratiotes* Örneklerindeki Lipid Peroksidasyonu Miktarları

*Pistia stratiotes* örneklerine yedi gün boyunca değişken konsantrasyonlarda Cd uygulanmış ve lipid peroksidasyon miktarları Şekil 4.18’ de gösterilmiştir. Cd konsantrasyonu arttıkça lipid peroksidasyon miktarları artış göstermiştir. Farklı konsantrasyonlara bağlı olarak lipid peroksidasyonu miktarları birbirinden farklılık göstermiştir. *Pistia stratiotes* üzerinde en fazla MDA artışı Cd 8 mg L<sup>-1</sup> konsantrasyonunda yaptığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda Ni, Pb ve Cd için lipid peroksidasyon miktarları karşılaştırıldığında en fazla Cd, sonra Ni ve en son olarakta Pb olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4.18. Yedinci gün sonunda farklı konsantrasyonlarda Cd (1-8 mg L<sup>-1</sup>) uygulanmış *Pistia stratiotes* örneklerindeki lipid peroksidasyon miktarları

## 5. BÖLÜM

### TARTIŞMA, SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Sucul makrofitler, ağır metal bulaşmış sulardan önemli miktarda metalleri yapılarına alarak akümüle edebilmektedirler. Bu tür kirletici metallerin bitkiler tarafından ortamdaki arındırılması ya da zararlı etkilerinin azaltılması gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Bitkisel arıtımın daha az zararlı olması, düşük maliyetli olması ve ortamdaki kirleticileri başarılı bir biçimde uzaklaştırması bakımından en çok kullanım sebebidir. Bitkisel arıtım yöntemlerinin farklı imkanları olması ve çok çeşitlik bitki türlerinin kullanılabilmesi fitoremediasyon teknolojisinin kullanım olanaklarını artırmaktadır. Bitkisel arıtım kapsamında kullanılan bitkiler kirliliğe sebep oluyorsa imhan edilerek, zararlı etkilere sahip değil ise yem bitkisi olarak kullanılarak veya belirli şartlarda depo edilerek kirleticilerin ortamdaki uzaklaştırılması sağlanmaktadır.

Çalışmamızda kullanılan *Pistia stratiotes* bitkisi, hızlı üreme özelliğine sahip olması, ortama hızlı adaptasyon göstermesi, kolaylıkla kültüre alınabilmeleri gibi birçok özelliği bir arada bulundurması ve hızlı büyüme oranına sahip olmaları sebebiyle tercih edilmiştir.

Çalışmamızda *Pistia stratiotes* bitkisinde Pb, Ni, Cd ağır metallerinin göreceli büyüme oranları, klorofiller ve karotenoid miktarları, lipid peroksidasyonu miktarları ve akümülyasyon miktarları araştırılarak diğer araştırmacıların yaptıkları çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmamızda yaptığımız deneyler sonucunda farklı konsantrasyonlarda ağır metal uygulanmış *Pistia stratiotes* bitkisinde meydana gelen değişimler incelenmiş ve *Pistia stratiotes*'in ağır metaller için iyi bir akümülatör bitki olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; yüksek konsantrasyonlardaki ağır metallerin *Pistia stratiotes* bitkisinde büyüme oranına, klorofil ve karotenoid miktarları, lipid peroksidasyon miktarları üzerine olumsuz yönde etki etki yaparak azalmalara sebep olduğu anlaşılmış ve yüksek strese sebep olduğu saptanmıştır. Ayrıca ağır metallerin *Pistia stratiotes* üzerindeki etkilerinin metalden metale farklılık gösterdiği saptanmıştır. Yapılan hesaplamalar doğrultusunda ağır metallerin büyüme oranlarına etkisinde Cd'nin Ni ve Pb'ye oranla büyüme oranını daha fazla azalttığı tespit edilmiştir. Ağır metal okumaları sonucunda elde edilen verilere göre *Pistia stratiotes*'in

Cd'da en yüksek oranda biyoakümülyasyon gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca *Pistia stratiotes* bitkisinin ağır metalleri yapılarına alabilme yeteneğine sahip olduğu için iyi kirlenmiş alanlarda bitkisel arıtım (fitoremediasyon) amaçlı kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Vesely ve ark. [56], 4 farklı makrofitle yaptıkları çalışmada (*Pistia stratiotes* L., *Salvinia auriculata* Aubl., *Salvinia minima* Baker ve *Azolla filiculoides* Lam); farklı konsantrasyonlarda kadmiyum (3,5 mg L<sup>-1</sup> ve 10,5 mg L<sup>-1</sup>) ve kurşun (25 mg L<sup>-1</sup> ve 125 mg L<sup>-1</sup>) uygulanmış bitki örneklerinde meydana gelen stresin semptomatik etkilerini belirlemişler, deneyin 14. günündeki klorofil içeriği giderek azaldığını gözlemlemişlerdir. İlk 24 saat boyunca 3,5 mg L<sup>-1</sup> Cd konsantrasyonu, 2,1 mg L<sup>-1</sup>e ve 10,5 mg L<sup>-1</sup> Cd konsantrasyonu 7,1 mg L<sup>-1</sup>e düşmüştür. Çalışmamızda da benzer olarak Cd ve Pb uygulanmış *Pistia stratiotes* örneklerinde büyüme oranının ve klorofil miktarının azaldığı belirlenmiş, MDA miktarı strese bağlı olarak artış göstermiştir. Akümülyasyon miktarıda uygulanan Pb ve Cd konsantrasyonu arttıkça artış göstermiştir.

*Pistia stratiotes* ile Mishra ve ark. [57], tarafından yapılan çalışmada; bitkiye 12 gün boyunca farklı konsantrasyonlarda Cd ve Pb uygulamışlar, deney sonunda bitkinin akümülyasyon miktarının yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Pb konsantrasyonu ilk uygulamada 25 mg L<sup>-1</sup> ve 125 mg L<sup>-1</sup> iken, ilk 24. saat sonunda Pb sırasıyla 7,0 mg L<sup>-1</sup> ve 48,7 mg L<sup>-1</sup>e düşmüştür. Cd için ilk uygulamaya oranla (5 mg L<sup>-1</sup>'de %70 ve 2 mg L<sup>-1</sup>'de %82) bitkinin Cd içinde yüksek bir akümülyasyon yeteneği olduğu belirtilmiştir. Sonuçlar çalışmamızla uyum içerisindedir ve bitkinin ağır metal akümülyasyonunun yüksek olduğu belirlenmiştir.

Leblebici ve Aksoy [71], *Spirodela polyrhiza* L. bitkisine değişik konsantrasyonlarda Ni (1, 5, 10, 20 mg L<sup>-1</sup>) uygulamış ve 1, 3, 5 ve 7. günlerdeki bitkinin göreceli büyüme oranını ve akümülyasyon miktarlarını incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre ağır metal konsantrasyon miktarları arttıkça bitkide ağır metal akümülyasyon miktarlarında arttığını görmüşlerdir. Ayrıca göreceli büyüme oranında ise, ortamdaki ağır metal konsantrasyonu arttıkça göreceli büyüme oranın azaldığı yani birbiri ile ters orantılı olduğu belirlemiştir. Leblebici ve Aksoy'un elde ettiği sonuçlar yapmış olduğumuz çalışma ile uyum içinde olup sonuçlar benzerlik göstermektedir. Ni stresi altındaki

*Pistia stratiotes* bitkisinde konsantrasyonlara bağı olarak akümülyasyon miktarları artmakta ve büyüme oranı azalma göstermektedir [71].

Duman ve ark. [70], *Nasturtium officinale* bitkisine farklı konsantrasyonlarda Cd, Co ve Cr uygulamışlar ve bitkinin bitkisel arıtım amacıyla kullanımını üzerine çalışmalar yapmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda Cd, Co ve Cr içerisinde en yüksek akümülyasyon miktarları sırasıyla 0,5, 0,5 ve 10 µM konsantrasyonlarında olduğunu tespit etmişlerdir. *Nasturtium officinale* bitkisinin Cd'ye karşı daha hassas olduğu ve yüksek akümülyasyon yeteneği olduğu anlaşılmıştır. Duman ve arkadaşlarının elde ettiği sonuçlar çalışmamız ile uyum içerisinde olduğu anlaşılmıştır. Çalışmamızda elde edilen sonuçlar neticesinde *Pistia stratiotes* üzerinde Cd 8 mg L<sup>-1</sup>'de akümülyasyon miktarının 26313 µg g<sup>-1</sup> olduğu, Cd konsantrasyon miktarı arttıkça bitkideki akümülyasyon miktarında arttığı tespit edilmiştir.

Yalçın [54], farklı konsantrasyonlardaki Pb, Cd ve Ni ağır metallerinin *Salvinia natans* ve *Lemna minor* bitkileri üzerindeki stres ve biyolojik yanıtlar üzerine yaptığı çalışmada; Pb konsantrasyonu arttıkça akümülyasyon miktarının sırasıyla *Salvinia natans*'ta 2530,0-8570,2 µgg<sup>-1</sup> arasında, *Lemna minor*'de 657,9-9006,2 µgg<sup>-1</sup> arasında olduğunu tespit etmiş ve *Salvinia natans*'ın Pb akümülyasyon yeteneğinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yalçın'ın elde ettiği sonuçlar çalışmamızdaki sonuçlar ile uyum içerisinde dir. Yaptığımız çalışmamızda en yüksek akümülyasyon miktarının Pb 50 mg L<sup>-1</sup> de olduğu tespit edilmiştir.

Leblebici ve ark. [72], *Spirodela polyrhiza* bitkisinin üzerinde Cd ve Ni ağır metallerinin akümülyasyon miktarlarının incelemişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda Cd ve Ni'in öldürücü etkisinin Cd için 8 mg L<sup>-1</sup>, Ni 20 mg L<sup>-1</sup> olduğunu tespit etmişlerdir. Yaptığımız çalışma Leblebici ve arkadaşları [72] tarafından yapılan çalışmayı desteklemektedir. Çalışmamızda *Pistia stratiotes* bitkisinde ortamdaki Cd ve Ni konsantrasyonu arttıkça bitki yapısındaki Cd ve Ni miktarlarında artış olduğu tespit edilmiştir. Yani konsantrasyonlar arttıkça akümülyasyonda da artış meydana gelmiştir.

Espinoza-Quinones ve ark. [58], *Pistia stratiotes*'te Cd ve Pb akümülyasyonunu incelemişler, ilk 24 saatten sonra sıvı fazdaki Pb konsantrasyonunda % 50'lik bir azalma



gözlenmiştir. Kadmiyum birikimi, 5 mg L<sup>-1</sup> muamelesinde sekizinci günde yapraklarda 223 mg kg<sup>-1</sup> ve ondördüncü günde köklerde 1315 mg kg<sup>-1</sup> bulunduğu tespit edilmiştir. 10,5 mg L<sup>-1</sup> muamelesinde Cd'nin en yüksek konsantrasyonu, deney bitiminde yapraklarda 889 mg kg<sup>-1</sup> ve köklerde 3923 mg kg<sup>-1</sup> olarak tespit edilmiştir. Kurşun birikimi 4. güne kadar artmış ve daha sonra azalmıştır, Yapraklarda 25 mg L<sup>-1</sup> Pb'de kurşun birikimi ikinci güne kadar artmış ve daha sonra azalmıştır. En köklü birikim ilk 24 saatte tespit edilmiştir. Birinci gün *P. stratiotes*'te Pb 25 mg L<sup>-1</sup> muamelesinde en yüksek konsantrasyonda 506 mg kg<sup>-1</sup> ve 125 mg L<sup>-1</sup> konsantrasyonunda 11458 mg kg<sup>-1</sup> olarak tespit edilmiştir. Çalışmamızda ise Pb 5 mg L<sup>-1</sup> uygulamasında 7. Günün sonunda 840 µg g<sup>-1</sup> Pb akümülyasyonu gözlenirken 50 mg L<sup>-1</sup> uygulamasında ise 7. Günün sonunda 455047 µg g<sup>-1</sup> Pb akümülyasyonu tespit edilmiştir. Ağır metal konsantrasyonları arttıkça, bitki dokularındaki ağır metal akümülyasyonunun arttığı belirlenmiştir.

Odjegba ve Fasidi [60], çalışmalarında potansiyel olarak toksik olan sekiz iz elementin (Ag, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb ve Zn) toksisitesinin *Pistia stratiotes* üzerinde tolerans ve metal birikimine etkileri incelemiştir. Çalışmada her bir ağır metal için ayrı ayrı 0,1 µM, 0,3µM, 0,5µM, 1,0µM, 3,0µM ve 5,0 µM derişimleri kullanılmıştır. *P. stratiotes*'in yeni kökler geliştirebilme yeteneği, eser elementlerin etkisiyle önemli ölçüde azaldığı sonucunu elde etmişler. Bununla birlikte Hg'nin en şiddetli etkiye sahip olduğunu, Ni'nin Hg'ye yakın etkiye sahip olduğunu ve Zn'nin en az etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Kontrol bitkisinde 3 hafta içinde toplam 14 yeni kök elde edilirken, 0,3 µM Hg ve 0,5 µM Ni'ye maruz kalmış bitkiler tamamen yeni kök oluşumunu inhibe ettiği sonucuna varmışlar. Çalışma sırasında çeşitli metaller için tolerans değerleri hesaplanmış olup, bitkinin Zn'ye en çok toleranslı olduğu (88,21 ± 1,79% değerinde), Hg'ye ise en az toleranslı olduğu (26,07 ± 1,07% değerinde) bulunmuştur. Hoşgörü sırası Zn> Cr> Pb> Ag> Cd Cu> Ni> Hg şeklinde sıralanmıştır. Çalışmamızda da *P. stratiotes* bitkisinde ağır metal uygulamaları esnasında büyüme oranı ve fotosentetik pigment miktarlarında azalmalar meydana gelmiş, solüsyondaki metal konsantrasyonları arttıkça, bitki dokusundaki ağır metal akümülyasyonunun arttığı belirlenmiştir.

Ugya ve ark. [61], çalışmalarında Kaduna Rafineri ve Petrokimya Şirketi'nden çıkan atık sularla kirlenmiş bir dere den bazı ağır metallerin (Hg, Cd, Mn, Ag, Pb, Zn)

giderilmesinde *Pistia stratiotes* kullanımı ile ilgili bir laboratuvar deneyleri yapmışlardır. İlk 48 saat kadar hızlı alım ve 120 saat sonra kademeli olarak denge görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre *Pistia stratiotes*'in metalleri biyoakümülyasyona uğratarak Hg ve Ag'yi bitki kökleriyle yüksek oranda atık sulardan uzaklaştırma verimliliği olduğu tespit edilmiştir. Çalışmamızda da bitkinin Cd, Pb ve Ni ağır metalleri için yüksek akümülyasyon oranı gösterdiği belirlenmiştir.

Domates fidelerinde Cd'nin antioksidan enzimler ve lipid peroksidasyon miktarına etkisi üzerine yapılan çalışmada elde edilen sonuçlara göre artan Cd konsantrasyonlarına bağlı olarak peroksidaz miktarının kök ve yapraklarda arttığı tespit edilmiştir. Cd toksisitesinin lipid peroksidasyon miktarını (MDA) artırdığını tespit etmişlerdir[73].

Çalışmamızdan elde ettiğimiz sonuçları değerlendirdiğimizde;

- *Pistia stratiotes* bitkisine uygulanan Pb, Ni ve Cd ağır metallerinin yüksek konsantrasyonlarının bitkinin büyüme oranına, klorofil ve karotenoid miktarlarına ve lipid peroksidasyon miktarı üzerinde azalışa sebep olduğu,
- *Pistia stratiotes* bitkisine uygulanan ağır metallerin bu bitki üzerinde farklı fizyolojik etkilere ve farklı akümülyasyon oranına sebep olduğu,
- Uygulanan ağır metalleri bünyesinde akümüle edebilme özelliğine sahip olduğu için *Pistia stratiotes* 'in iyi bir biyolojik indikatör olduğu,
- *Pistia stratiotes*'in ağır metallerle kirlenmiş sucul ortamlarda bitkisel arıtım amaçlı kullanılabilceği ve bu bağlamda çalışmamızın bitkisel arıtım çalışmalarına örnek oluşturabileceği,
- *Pistia stratiotes* üzerinde ağır metallerin konsantrasyonları arttıkça, klorofil miktarının azaldığı görülmektedir. En fazla azalış Cd 8 mg L<sup>-1</sup>'de olup, 0,0071 mg g<sup>-1</sup> olarak hesaplandığı,
- *Pistia stratiotes* üzerinde ağır metallerin konsantrasyonları arttıkça, büyüme oranının azaldığı görülmektedir. Büyüme oranı üzerindeki etki Pb 50 mg L<sup>-1</sup>'de - 0,0042 düzeylerinde olduğu,

- *Pistia stratiotes* üzerinde ağır metallerin konsantrasyonları arttıkça karotenoid miktarının azaldığı görülmektedir. En önemlinin etkinin Cd 8 mg L<sup>-1</sup> 'de 0,0021 mg g<sup>-1</sup> olduğu,
- *Pistia stratiotes* üzerinde ağır metallerin konsantrasyonları miktarı arttıkça, MDA miktarlarının arttığı görülmektedir. En fazla artışın Cd 8 mg L<sup>-1</sup> 'de 8,26 nmol/g olduğu,
- *Pistia stratiotes*'de en fazla birikmenin Pb 50 mg L<sup>-1</sup> de olduğu ve miktarı ise 455047,097 µg.g<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür. Pb konsantrasyonu arttıkça bitkide akümülyasyon miktarının arttığı sonucuna varılmıştır.

## KAYNAKÇA

1. Gadd, G. “M., Bioremedial potential of microbial mechanisms of metal mobilization and immobilization”, *Current Opinion in Biotechnology*, 11(3) , s. 271-279, 2000.
2. Hamutođlu, R, Dinçsoy,A. B., Cansaran-Duman D, Aras S., Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları, *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 69(4), 235-53, 2012.
3. Taylan, Z. S., Böke Özkoç, H., Potansiyel ağır metal kirliliğinin belirlenmesinde akuatik organizmaların biokullanılabilirliği, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2), 17-33 2007.
4. St-Cyr, L., Campbell, P. G. C., Guertin, K., “Evaluation of the role of submerged plant beds in the budget of a fluvial lake”, *Hydrobiology*, 291(3), 141-156, 1994.
5. Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A.M., Pehlivan M., Ağır metallerin bitkiler üzerine etkileri, Dođu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüđü, Erzurum, Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Iğdır, 1307-3311, 2009.
6. Yücel, İ. H., Bilim Teknoloji politikaları ve 21. yüzyılın toplumu, devlet planlama teşkilatı, Sosyal Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüđü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 975-19-1806-5, 1997.
7. Martin, M. J., Coughtrey, P. J., “Biological monitoring of heavy metal pollution”, *Land and Air Applied Science Publishers*, England, 6(1),1-19, 1974.
8. Yıldız, N., Toprak ve bitki ekosistemindeki ağır metaller, Yüksek Lisans Ders Notları. Erzurum, ZT-531, 2004.
9. Çınar, Ö., Çevre kirliliği ve kontrolü ders kitabı, yayın no 1331, s. 101, 2008.
10. Ceylan, S. Şanlı, Y. Çevre ve besin kirlenmesi, *Gıda Bilim Teknolojisi Dergisi*, 3(1-2), s. 76-92, 1980.
11. Klassen, C.D., Amdur, M.O., Doull, J., Toxicology, 3th Ed., *Macmillan Publishing Company*, Newyork, USA, 15(6), 795-805, 1986.
12. Bigersson, B., Sterner, O., Zimerson, E., Chemie und Gesundheit “Eine verständliche einföhrung in die toxikologie”, *VCH Verlagsgesellschaft*, 3-527-26455-8, 1988.
13. John H. Duffus, Howard G.J. Worth, “Fundamental toxicology for chemists”, *Royal Society of Chemistry Information Services*, Cambridge, 1996.

14. Markert, B., Plants as biomonitors indicators for heavy metals in the terrestrial environment, *VCH Publishar*, 1993.
15. Güngörmüş, A.H. ve Şen, A., *Bor madeni arsenik ve yaşam hakkı. Standart Dergisi*, 529, 100-107, 2006.
16. Klassen, C.D., Amdur, M.O., Doull, J. Toxicology. 3th Ed. Macmillan Publishing Company, Newyork, 1986.
17. Mertz, W. Trace elements in human and animal nutrition, 5th Ed. Vol. II. Academic press, Inc, USA, 1986.
18. Şanlı, Y., Kaya, S. Biyolojik materyalde arsenik aranması, *Ankara Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 31(1), 1-14, 1984.
19. Uluözlü, Ö. D., “Bazı eser elementlerin zenginleştirilmesi, türlendirilmesi ve biyosorbisyonu”, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Tokat, 2010.
20. Eula, C., Barbara, P. Ve Charles H., “Toxicological issues related to metals”, *Neurotoxicology and Radiation Metals and Metal Compounds*, 2001.
21. Bobak, M., “Ultrastructure changes of the nucleus and its components in meristematic root cells of the horse-bean after zinc intoxication”, *Physiol. Plant.*, 15, 31–36, 1985.
22. Bekiaroglou, P., Karataglis, S., “The effect of lead and zinc on *Mentha spicata*”, *Journal of Agronomy Crop Science*, 188, 201-205, 2002.
23. Lyons-Alcantara, M., Tarazona J.V. and Mothersill C., “The differential effect of cadmium exposure on the growth and survival of primary and established cells from fish and mammals”, *Cell Biol. and Toxicol.*, 12: 29-38, 1996.
24. Jiang, W.Z. and Li J.L., “Effects of cadmium on photosynthetic characteristics of tobacco”, *Plant Physiology Communications*, 6: 27-31 1989.
25. Çatak, E., Güler Ç., Süleyman T. ve Orhan B., “Bazı domates ve tütün genotiplerinde kadmiyum etkilerini inceleyen istatistiksel bir çalışma”, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2 (1), 2000.
26. Haktanır, K., Çevre kirliliği, A.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Notu, Teksir no 140, 1987.
27. Massoud, A.K.S., Ezzat, A.A., El-Rayis, O.A., Hayez, H., “Occurence and distriention of chemical pollutants in lake maruit”, *Water and Soil Pollution*, 16, 401-407, 1981.

28. Kahveciođlu, Ö., Kartal G., Güven A. and Timur S., Metallerin çevresel etkileri-1, 2007 (erişim adresi: [www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136\\_4753.pdf](http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf), erişim tarihi: 15.12.2017).
29. Salt, D., et al., “Mechanisms of cadmium mobility and accumulation in Indian mustard”, *Plant Physiol.*, 109, 1427-1433, 1995.
30. Erişim adresi: <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/minimize/cadmium.pdf>, Erişim tarihi:12.10.2017.
31. Erişim adresi: <http://www.osha-slc.gov/SLTC/cadmium>, Erişim tarihi: 12.10.2017.
32. Aberhart, A.R., Larson, G.L., Mathews, J.R., “Heavy metals in surficial sediments of fontana lake”, North Carolina. 18, (13), 351-354, 1984
33. Eduljee, G. Badsha, K., Price, L., “Enviromental monitoring and heavy metals in the vicinity of a chemical waste disposal facility”, *Chemosphere.* 14, (9), 1371-1382, 1985.
34. “Trace Elements in Human Nutrition And Health”, *World Health Organization Geneva*, 1996,
35. “Heavy Metals in Waste”, European Commission DG ENV. E3 Project ENV.E.3/ETU/2000/0058, Danimarka, February, 2002.
36. İlhan, A. İ., Dündar. C., Öz, N. ve Kılıç, H., “Hava kirliliği ve asit yağmurlarının çevreye ve insan sağlığı üzerine etkileri”, 2003. [www.meteor.gov.tr/havakirliligi](http://www.meteor.gov.tr/havakirliligi).
37. Lichtenthaler, H.K., “The stres concept in plants An introduction”, *Ann. NY. Acad. Sci.*, 851, 187-198, 1998.
38. Cha, J.W., Kim, B.W., “Ecological studies of plants for the control of environmental pollution”, *IV. Growth of various plant species as infl uenced by soil-applied cadmium*, 18,23-30, 1975,
39. Harrison, R.M., Chirgawi, M.B., “The assessment of air and soil as contributors of some trace metals to vegetable plants”, *Use of a filtered air growth cabinet*, *Sci. Total Environ.*, 83, 13-34, 1989.
40. Godzik, B., “Heavy metals content in plants from zinc dumps and reference area”, *Pol. Bot. Stud.*, 5, 113-132, 1993.
41. Seregin, I.V., Ivaniov, V.B., “Histochemical investigation of cadmium and lead distribution in plants”, *Fiziol. Rast.*, 44, 915-921, 1997.

42. Tester, M., Leigh, R.A., “Partitioning of nutrient transport processes in roots”, *J. Exp. Bot.*, 52, 445-457, 2001.
43. Doğan, M., “Akuatik makrofitlerde ağır metal akümülayonu”, *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 4 (2):33-36, 2011.
44. Saygideger, S., Dogan, M., “Influence of pH on lead uptake, Chlorophyll and Nitrogen Content of *Mentha aquatica* L. and *Nasturtium officinale*”, *R.Br. J. Environ. Biol.*, 26(4), 753-759, 2005.
45. Greger, M., Lindberg, S., “Effects of Cd<sup>+2</sup> and EDTA on young sugar beets ( *Beta vulgaris*), I. Cd<sup>+2</sup> uptake and sugar accumulation”, *Physiol. Plant.*, 66, 69-74, 1986.
46. Benavides, M.P., Gallego, S.M., “ Tomaro, M.L., Cadmium toxicity in plants”, *Branz. J. Plant Physiol.*, 17 (1), 21-34, 2005.
47. Singhl, R.P., et al., “ Response of higher plants to lead contaminated environment”, *Chemosphere*, 34, 2467-2493, 1997.
48. Henry, J., “An overview of the phytoremediation of lead and mercury”, *Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation Office*, 51 p, U.S. EPA, 2000.
49. Sutherson, S., “Phytoremediation” “Remediation engineering: design concepts”, (ed.). CRC Press LLC. Boca Raton, 1999,
50. Yıldız, S., “Nişasta sanayi atıksularının bitkisel iyileştirilmesi (fitoremediasyon) kapasitesine mikorizal simbiyozun etkilerinin araştırılması”, *Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, Adana, 2008.
51. “EPA (Environmental Protection Agency), Indrotuction to phytoremediation, EPA/600/R-99/107”, *National Risk Management Research Laboratory Office Of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, Ohio 45268, USA*, 2000.
52. Padmavathiamma, P. K. ve Loretta, Y.L., “Phytoremediation technology: hyper-accumulation metals in plants”, *Water Air Soil Pollution*, 184, 105126, 2007.
53. Bert, V., Girondelot, B., Quatannens, V., and Laboudigue, A., “A phytostabilisation of a metal polluted dredged sediment deposit mesocosm experiment and field” ,*Proceedings of the 9th International FZK/TNO Conference on Soil–Water Systems, Remediation Concepts and Technologies. Bordeaux*, pp. 1544-1550, 2005.

54. Yalçın, V., “Bazı ağır metallerin (Pb, Cd, Ni) sucul bitkiler (*Salvinia natans*, *Lemna minor*) üzerinde yaptığı stres ve biyolojik yanıtlar”, *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi*, Nevşehir, 2014.
55. Söğüt, Z., ve ark., “Su kalitesinin artırılmasında bitki kullanımı (yeşil ıslah- Phytoremediation)”, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2004.
56. Vesely. T., Tlustos, P., Szakova J., “The use of water lettuce (*Pistia stratiotes* L.) for rizofiltration of a highly polluted solution by cadmium and lead”, *International Journal of Phytoremediation*, 13:859-872, 2011.
57. Mishra VK, Upadhyaya AR, Pandey SK, Tripathi BD., “Heavy metal pollution induced due to coal mining effluent on surrounding aquatic ecosystem and its management due through naturally occurring aquatic macrophytes”, *Bioresour Technol*, 99(5): 930-936, 2008.
58. Espinoza-Quinones FR, M’odenes AN, Costa IL, Palacio SM, Trigueros DEG. “Kinetics of lead bioaccumulation from a hydroponic medium by aquatic macrophytes *Pistia stratiotes* L. Water” *Air Soil Pollut*, 203(1–4): 29–37, 2009.
59. Nurhayati, P., ve ark. ‘ ‘Water Lettuce (*Pistia stratiotes*, Linn) potency as one of eco-friendly phytoextraction absorbers of zinc heavy metal to solve industrial waste problem in indonesia International Conference on Environmental”, *Biomedical and Biotechnology*, 2012.
60. Odjegba, V.J., Fasidi, I. O., “Accumulation of trace elements by *Pistia stratiotes*: implications for phytoremediation”, *Ecotoxicology*, 13, 637–646, 2004.
61. Ugya, A. Y., Imam, T. S., Tahir S. M., “The use of *Pistia stratiotes* to remove some heavy metals from Romi Stream: a case study of kaduna refinery and petrochemical company polluted stream, Journal of Environmental Science”, *Toxicology and Food Technology* 2319-2402-2399, 2015.
62. Landis, W.G., Sofyed R.M., “Yu M.H Introduction to environmental toxicology”, *Molecular structures to ecotoxicological landscape (fourth edition)*, Boca Raton, FLCRC Press- pp. 127-162, 2011.
63. Rand, G., “Fundamentals of aquatic toxicology”, Boca raton: CRC press pp494-495, ISBN 1-56032-091-5, 1995.



64. Erişim adresi: <http://www.nergispeyzaj.com.tr/pistia-stratiotes-watter-lettuce-sumarulu.html>, Erişim tarihi: 04.06.2017.
65. Hunt, R., “Plant growth analysis, studies in biology”, Edward Arnold Ltd., London, 67, 1978.
66. Criado, M.N., et al., “Comparative study of the effect of the maturation process of the olive fruit on the chlorophyll and caretenoid fractions of drupes and virgin oils from Arbequina and Farga cultivars”, *Food Chemistry*, 100 (2), 748-755, 2005.
67. Witham, F.H., Blaydes, D.F., Deulin, R.M., “Experiments in plant physiology”, *Van Nostrand Reinhold Company*, New York, 245, 1971.
68. Heath, R.L., Packer, L., “Photoperoxidation in isolated chloroplast I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation”, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 25, 189-198, 1968.
69. APHA, “Standard methods ort he examination of water and wastewater”, *American Public Health Association*, New York, 1268, 1998.
70. Duman, F., Leblebici, Z., Aksoy, A., “Bioaccumulation of nickel, copper, and cadmium by *Spirodela polyrhiza* and *Lemna gibba*”, *Journal of Freshwater Ecology*, 24, 177-179, 2009.
71. Leblebici, Z. and Aksoy, A., “Growth and heavy metal accumulation capacity of *Lemna minor* and *Spirodela polyrhiza* (Lemnaceae): Interactions with nutrient enrichment”, *Water Air and Soil Pollution*, 214, 175-184, 2011.
72. Leblebici, Z., Aksoy, A. and Duman, F., “Influence of salinity on the growth and heavy metal accumulation capacity of *Spirodela polyrhiza* (Lemnaceae)”, *Turkish Journal of Biology*, 35 (2), 215-220, 2011.
73. Dong, J., Wu F., Zhang, G., “Influence of cadmium on antioxidant capacity and four microelement concentrations in tomato seedlings (*Lycopersicon esculentum*)” *Chemosphere*, 64 (10), 1659-1666, 2006.

## ÖZGEÇMİŞ

Esra DALMIŞ 1988 yılında Ankara’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara’da tamamladı. 2008 yılında Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü’nü kazandı ve 2012 yılında bu bölümden mezun oldu. 2013 yılında Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Bölümü’nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2014 yılında Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Eğitim Fakültesi’nden Pedagojik Formasyon sertifikası aldı.

Adres: Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bölümü

e-posta: [esraa\\_dalmis@hotmail.com](mailto:esraa_dalmis@hotmail.com)