



**T.C.**

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**BAZI MAKROFİTLERİN FARKLI KURŞUN ELEMENTİ  
KONSANTRASYONLARINDAKİ TEPKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Gizem İLGÜN BOYALAN**

**Biyoloji Anabilim Dalı**

**ÇANAKKALE**

**T.C.**  
**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**DOKTORA TEZİ**

**BAZI MAKROFİTLERİN FARKLI KURŞUN ELEMENTİ  
KONSANTRASYONLARINDAKİ TEPKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Gizem İLGÜN BOYALAN**

**Biyoloji Anabilim Dalı**

**Tezin Sunulduğu Tarih: 22/06/2018**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. Hüseyin ERDUĞAN**

**ÇANAKKALE**

Gizem İLGÜN BOYALAN tarafından Doç. Dr. Hüseyin ERDUĞAN yönetiminde hazırlanan ve **22/06/2018** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Bazı Makrofitlerin Farklı Kurşun Elementi Konsantrasyonlarındaki Tepkilerinin Araştırılması**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Biyoloji Anabilim Dalı**’nda **DOKTORA TEZİ** olarak oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**JÜRİ**

Doç. Dr. Hüseyin ERDUĞAN .....

**Başkan**

Prof. Dr. Şükran YALÇIN ÖZDİLEK .....

**Üye**

Dr. Öğr. Üyesi Emine Şükran OKUDAN .....

**Üye**

Prof. Dr. Muhammet TÜRKOĞLU .....

**Üye**

Doç. Dr. Halim Aytekin ERGÜL .....

**Üye**

Prof. Dr. Levent GENÇ

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

Sıra No:.....

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: 953

## İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI

**Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.**

Gizem İLGÜN BOYALAN

## TEŞEKKÜR

Doktora öğrenimim süresince, bana tam destek olan umutsuzluğa düştüğüm zamanlarda pozitif yaklaşımlarıyla beni motive eden, çok kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Hüseyin ERDUĞAN'a,

Her zorlandığımda kapısını çaldığım, beni hiç geri çevirmeyen ve doktora çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen, saygı değer hocam Prof. Dr. Şükran YALÇIN ÖZDİLEK'e

Tezin arazi çalışmaları kısmında benden çok emek sarfeden, hayatımın her evresinde zorlukları benimle göğüsleyen ve soyadını taşımaktan onur duyduğum eşim Kenan BOYALAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora öğrenimim boyunca bursuyla maddi destek sağlayan TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Programına minnet borçluyum.

Gizem İLGÜN BOYALAN  
Çanakkale, Haziran 2018

## SİMGELER VE KISALTMALAR

<i>N. officinale</i>	<i>Nasturtium officinale</i>
<i>M. aquatica</i>	<i>Mentha aquatica</i>
Pb	Kurşun
P	Fosfor
K	Potasyum
Mg	Magnezyum
Fe	Demir
mg/L	miligram/litre
mg/g	miligram/gram
µg/ml	mikrogram/mililitre
mg/ml	miligram/mililitre

## ÖZET

### BAZI MAKROFİTLERİN FARKLI KURŞUN ELEMENTİ KONSANTRASYONLARINDAKİ TEPKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Gizem İLGÜN BOYALAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyoloji Anabilim Dalı Doktora Tezi

Danışman : Doç. Dr. Hüseyin ERDUĞAN

22/06/2018, 94

Tarımsal faaliyetlerin ve kurşun kirliliğinin, yakındaki bir kurşun cevheri madenciliği tesisinden kaçan bir akarsudan (Umurbey Çayı) toplanan iki makrofit türüne etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmanın ilk aşamasında, kurşun kirliliğinin makrofit türlerinin morfolojisi ve fizyolojisi üzerine etkileri ve kurşun stresi ile başa çıkma yolları tekli kültürde incelenmiştir. Daha sonra, mono kültürde önceden belirlenen bir ara konsantrasyon seviyesi kullanarak, karışık kültürde iki makrofit türünün rekabet kabiliyeti incelenmiştir.

Aynı habitatta yayılış gösteren canlılar birbirlerinin gelişimini etkileyebilirler. Su teresi ve su nanesi de Umurbey Çayı'nda yanyana gelişen sucul bitkiler oldukları için tercih edilmiştir. Pb stresinin olmadığı, sucul bitkilerin sadece bir arada yetiştirildiği ikili kontrol gruplarında, su nanesi morfolojik ve fizyolojik olarak üstünlüğünü kanıtlamıştır. Pb stresi uyguladığımızda ise, su teresinin daha fazla mücadeleci olduğu morfolojik ve fizyolojik olarak ispatlanmıştır. Su teresi, su nanesinin absorpladığı Pb miktarının iki katından fazla Pb adsorplayarak iyi bir Pb akümülatörü olduğunu göstermiştir.

**Anahtar sözcükler:** Umurbey Çayı, Kurşun, Makrofit, Rekabet, Çanakkale.

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF SOME MACROPHYTES REACTION IN DIFFERENT LEAD ELEMENT CONCENTRATIONS

Gizem İLGÜN BOYALAN

Çanakkale Onsekiz Mart University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Doctoral Dissertation in Biology Science

Advisor : Doç. Dr. Hüseyin ERDUĞAN

22/06/2018, 94

Effect of lead pollution and agricultural activities on two macrophyte species collected from a stream (Umurbey Stream) which receives run-off from a nearby lead ore mining facility were investigated. In the first phase of this study, the effects of lead pollution on the morphology, physiology of macrophyte species and the ways by which they cope with lead stress were examined in mono-culture. Then using an intermediate level of lead concentration, pre-determined in mono-culture, competitive abilities of two macrophyte species were studied in mixed culture.

Organisms sharing same habitat can affect each other's development. Water cress and water mint are preferred because they both live in the Umurbey Stream. In co-culture control groups without Pb stress the water mint was the morphologically and physiologically the superior species. Under Pb stress, the water cress was the morphologically and physiologically the superior species. The water cress showed that it was a good Pb accumulator by adsorbing Pb more than twice the amount of Pb absorbed by water mint.

**Keywords:** Umurbey Stream, Lead, Macrophytes, Competition, Çanakkale.



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
TEZ SINAVI SONUÇ FORMU.....	ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	v
ÖZET .....	vi
ABSTRACT.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
1.1. Bitkilerin Gelişimini Etkileyen Stres Faktörleri .....	2
1.2. Akuatik Makrofitlerde Ağır Metal Taşınımı ve Birikimi .....	2
1.3. Aşırı Metal Alımının Bitkilerde Yol Açtığı Zararlar .....	3
1.4. Bitkilerin Ağır Metal Toksisitesine Tolerans Mekanizmaları .....	4
1.5. Kurşun Ağır Metalinin Özellikleri ve Bitkiler Üzerindeki Etkileri .....	6
1.6. Kurşun Ağır Metalinin İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri .....	6
1.7. Sucul Organizmalar Arasında Rekabetin Önemi .....	7
1.8. Çalışmanın Amacı ve Çalışmayı Özgün Kılan Noktalar .....	8
BÖLÜM 2 .....	10
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	10
2.1. Makrofitler ile İlgili Çalışmalar .....	10
2.2. <i>Nasturtium officinale</i> R.Br. ile İlgili Çalışmalar .....	11
2.3. <i>Mentha aquatica</i> L. ile İlgili Çalışmalar .....	12
2.4. Rekabet ile İlgili Çalışmalar.....	13
BÖLÜM 3 .....	15
MATERYAL YÖNTEM .....	15
3.1. Materyal .....	15
3.1.1. Çalışmada Kullanılan Bitki Materyalleri.....	15
3.1.1.1. <i>Nasturtium officinale</i> R.Br. (Su Teresi).....	15
3.1.1.2. <i>Mentha aquatica</i> L. (Su Nanesi) .....	16
3.1.2. Kullanılan Çözeltiler .....	19
3.1.2.1. Kurşun (II) Asetat Trihidrat [ (CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> Pb ].3 H <sub>2</sub> O Çözeltisi .....	19
3.1.2.2. Hoagland Besin Çözeltisi .....	19

3.1.2.3. pH Ayarlama Çözeltileri.....	20
3.2. Metod .....	20
3.2.1. Bitkilerin Muamele Ortamı ve Düzenegi .....	20
3.2.1.1. Ön Çalışma .....	20
3.2.1.2. Deney Düzenegi ve Yapılışı .....	21
3.2.2. Bitki Örneklerinin Analizlere Hazırlanması.....	22
3.2.3. Fotosentetik Pigment Konsantrasyonunun Belirlenmesi.....	22
3.2.4. Serbest Prolin Tayini .....	23
3.2.5. Protein Analizi.....	24
3.2.6. Fenolik Bileşiklerin Belirlenmesi.....	25
3.2.7. Bitkilerin Mineral İçeriklerinin Belirlenmesi .....	26
3.2.8. İstatistiksel Analizler .....	26
BÖLÜM 4.....	28
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	28
4.1. Bulgular.....	28
4.1.1. <i>N. officinale</i> ve <i>M. aquatica</i> Taksonlarının Gelişiminde Morfolojik Gözlemler.....	28
4.1.1.1. <i>N. officinale</i> Taksonunun Gelişiminde Morfolojik Gözlemler.....	28
4.1.1.1.1. Tekli Kültürdeki <i>N. officinale</i> Taksonunun Kontrol Grupları .....	28
4.1.1.1.2. Tekli Kültürdeki <i>N. officinale</i> Taksonunun 1 mg/L Pb Uygulaması ....	29
4.1.1.1.3. Tekli Kültürdeki <i>N. officinale</i> Taksonunun 5 mg/L Pb Uygulaması ....	30
4.1.1.1.4. Tekli Kültürdeki <i>N. officinale</i> Taksonunun 10 mg/L Pb Uygulaması..	31
4.1.1.1.5. İkili Kültürdeki <i>N. officinale</i> Taksonunun Kontrol Grupları .....	32
4.1.1.1.6. İkili Kültürdeki <i>N. officinale</i> Taksonunun 5 mg/L Pb Uygulaması .....	33
4.1.1.2. <i>M. aquatica</i> Taksonunun Gelişiminde Morfolojik Gözlemler .....	34
4.1.1.2.1. Tekli Kültürdeki <i>M. aquatica</i> Taksonunun Kontrol Grupları.....	34
4.1.1.2.2. Tekli Kültürdeki <i>M. aquatica</i> Taksonunun 1 mg/L Pb Uygulaması.....	35
4.1.1.2.3. Tekli Kültürdeki <i>M. aquatica</i> Taksonunun 5 mg/L Pb Uygulaması.....	36
4.1.1.2.4. Tekli Kültürdeki <i>M. aquatica</i> Taksonunun 10 mg/L Pb Uygulaması...	37
4.1.1.2.5. İkili Kültürdeki <i>M. aquatica</i> Taksonunun Kontrol Grupları.....	38
4.1.1.2.6. İkili Kültürdeki <i>M. aquatica</i> Taksonunun 5 mg/L Pb Uygulaması .....	38
4.1.2. <i>N. officinale</i> ve <i>M. aquatica</i> Yapraklarında Fotosentetik Pigment Miktarı .....	39
4.1.2.1. <i>N.officinale</i> Taksonunun Klorofil-a Miktarı.....	39
4.1.2.2. <i>M. aquatica</i> Taksonunun Klorofil-a Miktarı .....	40
4.1.2.3. <i>N.officinale</i> Taksonunun Klorofil-b Miktarı.....	41

4.1.2.4. <i>M. aquatica</i> Taksonunun Klorofil-b Miktarı .....	43
4.1.2.5. <i>N.officinale</i> Taksonunun Karotenoit Miktarı.....	44
4.1.2.6. <i>M. aquatica</i> Taksonunun Karotenoit Miktarı .....	45
4.1.2.7. Fotosentetik Pigment Miktarlarının Arasındaki İlişki .....	46
4.1.3. <i>N. officinale</i> ve <i>M. aquatica</i> Taksonlarının Serbest Prolin Miktarları .....	46
4.1.3.1. <i>N.officinale</i> Taksonunun Serbest Prolin Miktarı .....	46
4.1.3.2. <i>M. aquatica</i> Taksonunun Serbest Prolin Miktarı.....	47
4.1.4. <i>N. officinale</i> ve <i>M. aquatica</i> Taksonlarının Protein Miktarları .....	48
4.1.4.1. <i>N. officinale</i> Taksonunun Protein Miktarı .....	48
4.1.4.2. <i>M. aquatica</i> Taksonunun Protein Miktarı.....	49
4.1.5. <i>N. officinale</i> ve <i>M. aquatica</i> Taksonlarının Toplam Fenolik Bileşiklerin Miktarları .....	51
4.1.5.1. <i>N.officinale</i> Taksonunun Toplam Fenolik Bileşik Miktarı.....	51
4.1.5.2. <i>M. aquatica</i> Taksonunun Toplam Fenolik Bileşik Miktarı .....	52
4.1.6. <i>N. officinale</i> ve <i>M. aquatica</i> Taksonlarının Adsorpladığı Toplam Kurşun Miktarı .....	53
4.1.6.1. <i>N. officinale</i> Taksonunun Adsorpladığı Toplam Kurşun Miktarı.....	53
4.1.6.2. <i>M. aquatica</i> Taksonunun Adsorpladığı Toplam Kurşun Miktarı .....	54
4.1.7. <i>N. officinale</i> ve <i>M. aquatica</i> Taksonlarının Toplam Potasyum Miktarı.....	55
4.1.7.1. <i>N. officinale</i> Taksonunun Toplam Potasyum Miktarı.....	55
4.1.7.2. <i>M. aquatica</i> Taksonunun Toplam Potasyum Miktarı .....	56
4.1.8. <i>N. officinale</i> ve <i>M. aquatica</i> Taksonlarının Toplam Fosfor Miktarı .....	57
4.1.8.1. <i>N. officinale</i> Taksonunun Toplam Fosfor Miktarı .....	57
4.1.8.2. <i>M. aquatica</i> Taksonunun Toplam Fosfor Miktarı .....	59
4.1.9. <i>N. officinale</i> ve <i>M. aquatica</i> Taksonlarının Toplam Demir Miktarı .....	60
4.1.9.1. <i>N. officinale</i> Taksonunun Toplam Demir Miktarı .....	60
4.1.9.2. <i>M. aquatica</i> Taksonunun Toplam Demir Miktarı.....	61
4.1.10. <i>N. officinale</i> ve <i>M. aquatica</i> Taksonlarının Toplam Magnezyum Miktarı.....	62
4.1.10.1. <i>N. officinale</i> Taksonunun Toplam Magnezyum Miktarı .....	62
4.1.10.2. <i>M. aquatica</i> Taksonunun Toplam Magnezyum Miktarı.....	63
4.1.11. Analiz Sonuçları Arasındaki İlişkiler .....	64
4.2. Tartışma.....	68
4.2.1. Morfolojik Gözlemler.....	68
4.2.1.1. <i>Nasturtium officinale</i> R.Br.'de Gözlenen Morfolojik Değişiklikler .....	68

4.2.1.2. <i>Mentha aquatica</i> L.'de Gözlenen Morfolojik Değişiklikler .....	68
4.2.1.3. İkili Kültürlerdeki Morfolojik Değişiklikler .....	69
4.2.2. Fotosentetik Pigment İçeriği .....	70
4.2.2.1. Tekli Kültürlerdeki Fotosentetik Pigment İçerikleri .....	70
4.2.2.2. İkili Kültürlerdeki Fotosentetik Pigment İçerikleri .....	71
4.2.3. Serbest Prolin İçeriği .....	72
4.2.3.1. Tekli Kültürlerdeki Serbest Prolin İçerikleri .....	72
4.2.3.2. İkili Kültürlerdeki Serbest Prolin İçerikleri .....	73
4.2.4. Protein İçeriği .....	73
4.2.4.1. Tekli Kültürlerdeki Protein İçerikleri .....	73
4.2.4.2. İkili Kültürlerdeki Protein İçerikleri .....	75
4.2.5. Toplam Fenolik Bileşik İçeriği .....	75
4.2.5.1. Tekli Kültürlerdeki Toplam Fenolik İçerikleri .....	75
4.2.5.2. İkili Kültürlerdeki Toplam Fenolik İçerikleri .....	76
4.2.6. Adsorplanan Kurşun İçeriği .....	77
4.2.7. Mineral İçerikleri .....	77
4.2.7.1. Potasyum İçeriği .....	77
4.2.7.1.1. Tekli Kültürdeki Potasyum İçerikleri .....	77
4.2.7.1.2. İkili Kültürdeki Potasyum İçerikleri .....	79
4.2.7.2. Fosfor İçeriği .....	79
4.2.7.2.1. Tekli Kültürdeki Fosfor İçerikleri .....	79
4.2.7.2.2. İkili Kültürdeki Fosfor İçerikleri .....	80
4.2.7.3. Demir İçeriği .....	80
4.2.7.3.1. Tekli Kültürdeki Demir İçerikleri .....	80
4.2.7.3.2. İkili Kültürdeki Demir İçerikleri .....	81
4.2.7.4. Magnezyum İçeriği .....	81
4.2.7.4.1. Tekli Kültürdeki Magnezyum İçerikleri .....	81
4.2.7.4.2. İkili Kültürdeki Magnezyum İçerikleri .....	82
BÖLÜM 5 .....	83
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	83
5.1. Sonuçlar .....	83
5.2. Öneriler .....	84
KAYNAKLAR .....	85
ÖZGEÇMİŞ .....	I

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3.1: <i>Nasturtium officinale</i> .....	16
Şekil 3.2: <i>Mentha aquatica</i> .....	17
Şekil 3.3: Mayıs- 2016 döneminde Umurbey Çayı'nda beraber yayılış gösteren <i>N.officinale</i> ve <i>M. aquatica</i> .....	18
Şekil 3.4: Umurbey Çayı'nda tarım faaliyetlerinde kullanılan pestisit kalıntılarının gelişigüzel etrafa atılması .....	19
Şekil 3.5: Sucul bitkilerin deney ortamına yerleştirilmeden önce fiziksel şartların sabit olabilmesi için oluşturulmuş olan deney düzeneği .....	22
Şekil 3.6: L-prolin standardı kullanılarak çizilen standart eğri grafiği ve elde edilen formülü.....	24
Şekil 3.7: Bovine serum albumin standardı kullanılarak çizilen standart eğri grafiği ve elde edilen formülü.....	25
Şekil 3.8: Gallik asit standardı kullanılarak çizilen standart eğri grafiği ve elde edilen formülü.....	26
Şekil 4.1: Tekli kültürdeki su teresi kontrol gruplarının morfolojik değişimleri.....	29
Şekil 4.2: Tekli kültürdeki su teresinin 1 mg/L Pb uygulaması sonucu gösterdiği morfolojik değişimleri.....	30
Şekil 4.3: Tekli kültürdeki su teresinin 5 mg/L Pb uygulaması sonucu gösterdiği morfolojik değişimleri.....	31
Şekil 4.4: Tekli kültürdeki su teresinin 10 mg/L Pb uygulaması sonucu gösterdiği morfolojik değişimleri .....	32
Şekil 4.5: İkili kültür kontrol gruplarındaki su teresi ve su nanesi türlerinin morfolojik değişimleri.....	33
Şekil 4.6: İkili kültür ortamında 5 mg/L Pb uygulanan su teresinin morfolojik değişimleri .....	34
Şekil 4.7: Tekli kültürdeki su nanesi kontrol gruplarının morfolojik değişimleri .....	35
Şekil 4.8: Tekli kültürdeki su nanesinin 1 mg/L Pb uygulaması sonucu gösterdiği morfolojik değişimleri .....	36
Şekil 4.9: Tekli kültürdeki su nanesinin 5 mg/L Pb uygulaması sonucu gösterdiği morfolojik değişimleri .....	37
Şekil 4.10: Tekli kültürdeki su nanesinin 10 mg/L Pb uygulaması sonucu gösterdiği morfolojik değişimleri .....	38
Şekil 4.11: İkili kültür ortamında 5 mg/L Pb uygulanan su nanesinin morfolojik değişimleri .....	39
Şekil 4.12: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan <i>N.officinale</i> taksonunun klorofil a miktarı .....	40
Şekil 4.13: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan <i>M. aquatica</i> taksonunun klorofil a miktarı .....	41
Şekil 4.14: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan <i>N.officinale</i> taksonunun klorofil b miktarı .....	42
Şekil 4.15: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan <i>M. aquatica</i> taksonunun klorofil b miktarı .....	43
Şekil 4.16: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan <i>N.officinale</i> taksonunun karotenoit miktarı.....	44
Şekil 4.17: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan <i>M. aquatica</i> taksonunun karotenoit miktarı.....	45

Şekil 4.18: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan <i>N.officinale</i> taksonunun serbest prolin miktarı .....	47
Şekil 4.19: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan <i>M.aquatica</i> taksonunun serbest prolin miktarı .....	48
Şekil 4.20: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan <i>N. officinale</i> taksonunun protein miktarı.....	49
Şekil 4.21: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan <i>M. aquatica</i> taksonunun protein miktarı.....	50
Şekil 4.22: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan <i>N.officinale</i> taksonunun toplam fenolik bileşik miktarı .....	51
Şekil 4.23: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan <i>M. aquatica</i> taksonunun toplam fenolik bileşik miktarı .....	52
Şekil 4.24: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan <i>N. officinale</i> taksonunun toplam Pb miktarı.....	54
Şekil 4.25: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan <i>M. aquatica</i> taksonunun toplam Pb miktarı.....	55
Şekil 4.26: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan <i>N. officinale</i> taksonunun toplam K miktarı .....	56
Şekil 4.27: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan <i>M. aquatica</i> taksonunun toplam K miktarı .....	57
Şekil 4.28: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan <i>N. officinale</i> taksonunun toplam P miktarı.....	58
Şekil 4.29: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan <i>M. aquatica</i> taksonunun toplam P miktarı.....	59
Şekil 4.30: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan <i>N. officinale</i> taksonunun toplam Fe miktarı .....	60
Şekil 4.31: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan <i>M. aquatica</i> taksonunun toplam Fe miktarı .....	61
Şekil 4.32: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan <i>N. officinale</i> taksonunun toplam Mg miktarı .....	62
Şekil 4.33: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan <i>M. aquatica</i> taksonunun toplam Mg miktarı .....	63

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
Çizelge 4.1.: Su teresi ve su nanesinin farklı konsantrasyon Pb uygulamalarındaki analiz sonuçlarının ortalama değerleri.....	65
Çizelge 4.2. Su teresi tekli kültür analiz sonuçları arasındaki ilişki, n=12, r: korelasyon katsayısı.....	66
Çizelge 4.3: Su nanesi tekli kültür analiz sonuçları arasındaki ilişki, n=12, r: korelasyon katsayısı.....	67

# BÖLÜM 1

## GİRİŞ

Tatlı sular yaşam ve enerji kaynağı olarak son derece büyük öneme sahip ekosistemlerdir. Ülkelerin iç suları bir organizmanın can taşıyan damarları gibidir. İçilebilir su temin etmek için, dünyanın her yerinde mücadele edilmektedir. Hızlı kentsel dönüşüm, sanayi atıklarının kimyasallarından arıtılmadan su sistemlerine verilmesi, tarım alanlarında yaygın şekilde pestisit kullanımı, evsel atıklar gibi birçok etken su kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır. Sanayileşme, maden işletmeleri ve tarımsal alanlardaki insan faaliyetlerine bağlı ortaya çıkan çevre kirliliği günümüzde küresel bir problem haline gelmiştir. Kirleticiler arasında ağır metaller, tarımsal ilaçlar, organik maddeler ve radyoaktif atıklar önemli bir yer tutmaktadır (Güler ve Çobanoğlu, 2001; El-Sikaily ve ark., 2004; Okcu ve ark., 2009).

Ekosistemde yaşayan tüm canlılar arasında bir denge vardır. Dünya üzerindeki tüm yaşamlar, direkt veya indirekt olarak birincil üretime bağlıdır. Birincil üreticiler sucul ekosistemin işleyişinde ve yapısında anahtar rol oynamaktadır. Birincil üreticiler suyun kimyasal yapısını etkiler, sucul organizmalar için gerekli oksijeni üretir, otçul ve çürükçüller tarafından gıda olarak tüketilir, diğer bitki ve hayvan türleri için substrat ve barınak sağlarlar (Işık, 2006). Tatlı su primer üreticileri; mikroskobik algler, fotosentetik bakteriler ve sucul makrofitler olarak değerlendirilebilir (Balcı, 2012).

Sucul makrofitler akarsularda ve durgun sularda yaşayan tohumlu bitkileri ve makroalgleri kapsamaktadır. Bu makrofitler yaşadıkları ortamın ekolojik özelliklerine göre gruplara ayrılmaktadır. Bunlar; kıyıda kök ve gövdesinin belirli bir kısmı su içerisinde yetişen emers tipi makrofitler, kökleri sedimente bağlı yaprakları yüzücü olan makrofitler ve tüm morfolojik organları suda serbest yüzen makrofitler ile tamamen su altında yaşayan (bazı türlerde genaratif organlar su üstünde olabilir) submers tipi makrofitler olmak üzere gruplandırılmaktadırlar (Doğan, 2011; Balcı, 2012).

Makrofitler; besin içeriği, ışık, toksik maddeler, ağır metaller, pestisitler, bulanıklılık, su seviyesi değişimleri ve tuzluluk gibi faktörlere tepki veren canlılar oldukları için, su rejimlerinin durumunu yansıtan iyi indikatörler olarak adlandırılmaktadırlar. Sudaki kirlilik etmenlerine maruz kalan ilk canlılar olan sucul makrofitler besin zincirinin ilk basamağını oluştururlar. Makrofitlerin hayvanlar tarafından tüketilmesi sonucunda, bu maddeler daha üst basamaklara taşınmakta ve giderek zararlı etkileri artmaktadır (Figueira ve ark., 1999;



Balcı, 2012).

Günümüzde, fabrikalardan çıkan zehirli gazlar, egzoz dumanları, maden işletmeleri, kentsel atıklar, kimyasal gübre ve tarımsal ilaç kullanılması, atık suyla gerçekleştirilen sulamalar ve arıtma çamur uygulamaları ile fazlaca ağır metal toprağa ulaşmaktadır (Stresty ve Madhava Rao, 1999; Okcu ve ark., 2009; Dereli ve ark., 2017). Ağır metallerin toprakta birikmesi toprak verimliliği ve ekosistem işlevi üzerinde oldukça etkili olup, aynı zamanda tatlısulara karışan ağır metallerin makrofitler tarafından alınarak bünyelerinde biriktirilmesi, bitkideki fotosentez, solunum, köklerden su alımı, enzim aktivasyonu, çimlenme, protein üretimi, membran durağanlığı, hormonal dengenin sağlanması, büyüme ve gelişme gibi pek çok metabolik faaliyeti etkilemeleri nedeniyle bitki sağlığını etkilemektedir. Zarar gören besin zinciri sebebiyle de insan ve hayvan sağlığını önemli düzeyde etkilemektedir (Kennedy ve Gonsalves, 1987).

### **1.1. Bitkilerin Gelişimini Etkileyen Stres Faktörleri**

Bitkiler için optimal miktar ve yoğunluklardan sapan çevresel faktörler stres faktörleri olarak tanımlanmaktadır. Stres faktörleri abiyotik ve biyotik olarak değerlendirilebilir. Abiyotik stres faktörleri; sıcaklık, su, ışık, radyasyon, ağır metaller, pestisitler, mineral tuzlar, rüzgar, toprak hareketi, oksijen gibi faktörleri içine almaktadır. Biyotik stres faktörleri ise; çeşitli enfeksiyonlar, herbivorlar ve rekabettir. Bitkiler, parazit, virüs veya mantarlarla enfekte olabilir. Herbivorlar tarafından yenilebilir veya diğer bitkilerle ışık, yer, besin gibi abiyotik faktörler için rekabete girebilir (Korkmaz ve Durmaz, 2017). Bitkilerin biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı dayanıklılıkları bitkinin cinsine, stres faktörünün çeşidine, stresle karşı karşıya kalma süresine ve strese maruz kalan organlarının yapısına bağlı olarak değişmektedir (Gür ve ark., 2004). Bu nedenle bitkilerin stres faktörlerine karşı geliştirdikleri tepkilerinin ve uyum mekanizmalarının bilinmesi önem arz etmektedir (Paschke ve ark., 2005).

### **1.2. Akuatik Makrofitlerde Ağır Metal Taşınımı ve Birikimi**

Makrofitler metalleri kendi dokuları içinde taşıma ve biriktirme özelliğine sahiptirler (Mohamed ve Khaled, 2005; Okcu ve ark., 2009). Metallerin hücre içi alınımı hücrenin tüm organellerinde gerçekleşebilir. Plazma membranı, taşıyıcılar, iyon pompaları ve iyon selektif kanalları gibi taşıma sistemleri metallerin hücre içine alınmasında önemlidir. Metallerin biriktirilip depolandığı asıl organel vakuoldür. (Doğan, 2011).

Makrofitlerin ağır metal alabilme kapasiteleri buldukları sucul ortama göre değişiklikler göstermektedir (Okcu ve ark., 2009). Bu değişiklikler ilişkide oldukları ortamın fizikokimyasal parametreleri ile makrofitin anatomik ve morfolojik yapısı gibi etmenler tarafından tayin edilmektedir. Emers tipi makrofitlerin kök, gövde, yaprak ve sürgün gibi aksamalarının metal biriktirme kapasiteleri farklılıklar göstermektedir (Doğan, 2011).

Metal alımı ve birikimi birçok çevresel faktör tarafından yönetilmektedir. Metalin cinsi, pH, organikler, humik maddeler, diğer metallerin ve anyonların varlığı, iyonik güç, sıcaklık, tuzluluk, ışık şiddeti, oksijen seviyesi, diğer elektrokimyasal fonksiyonlar gibi birçok etken mevcuttur (Kara, 2005).

### **1.3. Aşırı Metal Alımının Bitkilerde Yol Açtığı Zararlar**

Fazla miktarda ağır metale maruz kalma bitkilerde birçok değişikliklere yol açmaktadır. Bu değişiklikleri morfolojik ve biyokimyasal değişiklikler olarak ikiye ayırabiliriz.

Makrofitlere metallerin verdiği zararların başında köklerdeki morfolojik değişimler gelmektedir. Metale maruz kalan kökler, diğer bitki köklerine kıyasla kısa kalmakta, saçak kök sayısı azalmakta, yan köklerde artmalar ve azalmalar görülebilmektedir. Metal etkisi devam ederse, gövde uzaması etkilenmekte ve bitki büyümesi yavaşlamaktadır. Yapraklarda ise alan küçülmesi, sararma ve nekrotik leke oluşumları gözlenmektedir (Ayhan ve ark., 2006).

Metallerin yol açtığı biyokimyasal değişimlerin başında ise enzimler gelmektedir. Metaller, genellikle enzimlerin aktif bölgelerde bulunan sülfidril gruplara bağlanarak inaktivasyona neden olmaktadır. Metallerin bazıları enzimlerin aktivitelerini arttırabilmektedirler. Ayrıca bazı metaller enzimlerin aktive olabilmesi için gerekli olan kofaktörlerdir. Ancak yüksek derişimde başka bir metalin bulunduğu ortamda bu metalin kofaktörün yerine geçmesiyle enzim aktivitesinde azalma görülebilir (Ayhan ve ark., 2006).

Metaller hücre zarındaki lipitlere bağlanarak hücre zarının yapısını ve fonksiyonunu bozmaktadırlar. Hücre zarı dışında zar özelliği gösteren birçok yapı (kloroplast zarı, mitokondri zarı, E.R, tilakoyit zar vb.) doymamış yağ asitleri ve özellikle de fosfolipit içerdiklerinden, yüksek metal derişimlerinden olumsuz etkilenmektedirler (Ayhan ve ark., 2006).

Metaller makrofitlerin fotosentez hızının düşmesine de neden olmaktadır. Bunun nedenleri şunlardır:

- a) Pigment sentezinin engellenmesi
- b) Kloroplastların yapı ve fonksiyonlarındaki değişiklikler
- c) Fotosistemlerde inhibisyon
- d) Kalvin döngüsü enzimlerinin inhibisyonu
- e) Stomaların kapanması (Kennedy ve Gonsalves, 1987; Ayhan ve ark., 2006).

Metaller hücre içinde serbest radikal oluşumunu desteklemekte ve dolaylı yoldan lipid peroksidasyonuna, nükleik asitlerin zarar görmesine, klorofil parçalanmasına ve fotosentezin engellenmesine neden olmaktadır. Metaller farklı şekillerde de serbest radikal oluşumu üzerinde etkili olabilmektedirler (Ayhan ve ark., 2006).

#### **1.4. Bitkilerin Ağır Metal Toksisitesine Tolerans Mekanizmaları**

Bitkiler metal bulaşmış topraklarda büyüebilmek için üç temel strateji geliştirmişlerdir:

1. Metal dışlayıcılar; topraktaki metal konsantrasyonunun üzerinde bir metal konsantrasyonuna maruz kaldığında hava yolu ile metalin girişini engelleyen ve metalleri köklerinde kontrol altında tutan bitkiler.

2. Metal indikatörler; dokuları içinde metalleri biriktiren ve topraktaki metal seviyeleri genellikle dokularındaki metal seviyelerine yakınlık gösteren bitkiler.

3. Toplayıcılar; topraktaki hazır halde bulunan metalleri kendi dokuları içinde yoğun şekilde bulunduran bitkiler (Baker ve Walker, 1990; Okcu ve ark., 2009).

Gübreleme, tarımsal ilaç kullanımı, endüstriyel faaliyet sonucu oluşan atık ve gazlar vasıtasıyla toprağa bulaşan ağır metallerin bitkiler tarafından topraktan uzaklaştırılması fitoremediasyon olarak adlandırılmaktadır. Fitoremediasyon; etkili, maliyeti uygun ve doğayı yine doğadan faydalanarak temizleme yöntemi olduğu için çevre dostudur (Ayhan ve ark., 2006; Parnian ve ark., 2016). Sucul makrofitler ağır metalleri bünyelerine alarak sucul sistemi temizlemektedirler. Sucul ortamda makrofitler bu kirleticileri sulardan uzaklaştırdıkları için, kirlenmiş suların temizlenmesindeki rolleri oldukça büyüktür. Bazı bitkiler, toprak üstü organlarında, topraktaki metal konsantrasyonundan 50-500 kat daha fazla metal biriktirebilme özelliğine sahiptir. Bu bitkilere hiperakümülatör bitkiler denmektedir (Ayhan ve ark., 2006; Prasad ve ark., 2010; Rahman ve Hasegawa, 2011; Lajayer ve ark., 2017). Ağır metalleri herhangi bir toksisite belirtisi olmadan toprak üstü

organlarında biriktirebilirler. Yaklaşık 450 bitki türü hiperakümülatör olarak tanımlanmaktadır. Asteraceae, Brassicaceae, Fabaceae, Lamiaceae, Scrophulariaceae, Euphorbiaceae familyaları bu özelliğe sahip bazı örneklerdir. Hiperakümülatör bitkiler, metalleri hücre zarlarındaki taşıyıcı proteinler vasıtasıyla almaktadırlar. Taşıyıcı proteinler ağır metallerin taşınımını gerçekleştirebilmek için, hiperakümülatör olmayan bitkilere göre daha farklı yapıdadır. Bu bitkiler, 10 ppm'den daha fazla Hg, 100 ppm Cd, 1 000 ppm Co, Cr, Cu ve Pb, ve 10 000 ppm Ni ve Zn içermektedirler. Bugün bilinen 400 civarı ağır metal biriktirici bitki bulunmaktadır (Reeves ve Baker, 1999).

Fitoremediasyonun başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için metal bulaşmasının olduğu alanlarda önemli miktarda hiperakümülatör bitki türlerinin kullanılması gerekmektedir. Hiperakümülatör bitkilerinin ağır metal içerikleri ve gereksinimleri, metal biriktirici olmayan türlere göre daha fazladır.

Bu bitkilerin tolerans mekanizmaları özetlenecek olursa,

a) Hücre duvarlarına metal bağlanması: Pb-karbonat olarak tutulmaktadırlar.

b) Hücre membranlarına doğru taşınımın azalması: Ağır metallerin bitki köklerinde tutulup, gövde ve sürgünlere taşınmasının engellenmesi ile metal taşınımını azaltılmaktadır.

c) Vakuollerde depolama: Zn elementi Zn fitat, malat ve oksalat gibi düşük molekül ağırlıklı organik bileşikler halinde, Cd tiol gruplarına ve Ni histidin ile bağlanması sonucunda vakuollerde depolanmaktadır.

d) Şelatlama: Cd, tiol gruplarına, Pb ise glutathione ve aminoasitlere bağlanarak fitoşelatlar oluşturmaktadır. Aynı zamanda organik asitlerden sitrat, malat ve malonat ile birleşerek fitoşelatları oluşturmaktadırlar. Metallothioneinler birçok hayvan ve bitkide bulunan proteinlerdir. Ağır metaller ile bağlanarak protein bileşikleri oluştururlar (Aksu ve Yıldız, 2004).

Metal alımını azaltmak için, bazı bitkiler rizosferdeki pH miktarını arttırmaktadırlar. Artan pH miktarı metallerin hareketliliğini azalmaktadır (Jackson ve ark., 1990). Metaller, serbest radikal oluşumunu teşvik ederek dolaylı yoldan da bir çok zarara neden olmaktadır. Bitkiler serbest radikallerin zararlarından korunmak için kompleks bir antioksidant savunma sistemi geliştirmişlerdir. Antioksidant savunma sistemi, enzimleri ve bazı indirgen molekülleri içeren bir sistemdir. Enzimler (süperoksit dismutaz, askorbat peroksidaz, glutatyon redüktaz, katalaz, glutatyon peroksidaz, dehidroaskorbat peroksidaz vb.) metaller üzerinde doğrudan etkili değildir, serbest radikalleri çeşitli dönüşümler yaparak etkisiz hale getirmektedirler (Alsher ve ark., 1997). Enzimler sadece serbest

radikalleri etkisiz hale getirmektedirler, ancak antioksidant savunma sisteminin parçası olan diğer indirgen moleküller (glutasyon, askorbat, vitamin E, fenolik bileşikler, flavonoidler, ligninler, taninler vb.) hem serbest radikalleri etkisiz hale getirirler, hem de metallere bağlanıp, derişimini azaltarak metallerin zararlarının azalmasında rol oynamaktadırlar (Dietz ve ark., 1999; Ayhan ve ark., 2006).

### **1.5. Kurşun Ağır Metalinin Özellikleri ve Bitkiler Üzerindeki Etkileri**

Çevre Koruma Ajansı'na (EPA) göre, Pb elementi çevrede en yaygın olan ağır metal kirletici maddedir (Watanabe, 1997). Kurşun endüstriyel faaliyetlerde yaygın olarak kullanılması ve tarımsal ilaçların içeriğinde yer alması nedeniyle çevrede sık rastlanılan bir elementtir. Kurşun elementi makrofitler için mutlak gerekli bir element değildir (Ansari ve ark., 2004; Çolak ve Doğan, 2011; Lajayer ve ark., 2017) ve toprakta 15-40 ppm dozunda bulunmaktadır, topraktaki kurşun konsantrasyonu 150 ppm'i aşmadığı sürece insan ve bitki sağlığı bakımından tehlike oluşturmamaktadır. Ancak 300 ppm'i aştığında insan sağlığı bakımından oldukça tehlikelidir (Dürüst ve ark., 2004). Bitkiler için normal kabul edilen Pb sınırı 0,20-20.0 mg/kg olarak bildirilmiştir (Kabata- Pendias ve Pendias, 1984).

Kurşun bilinen hiç bir görevi olmayan elementtir. Kurşunun bitki büyüme ve gelişmesini engellediği bilinmektedir. Kurşun elementi, hücre turgor basıncı ve hücre duvarı sabitliğini olumsuz etkileyerek, stoma hareketlerini ve yaprak alanını azaltarak makrofitin su rejimini etkileyebilmektedir. Aynı zamanda kökler tarafından tutulması ve kök gelişimini azaltması nedeniyle bitkilerin katyon ve anyon alınımını azaltmakta ve besin alınımını etkilemektedirler (Sharma ve Dubey, 2005; Lajayer ve ark., 2017). Kurşun toksisitesinin spesifik olmayan semptomları kök büyümesinin engellenmesi, büyümede gerileme ve klorozdur (Çolak ve Doğan, 2011).

### **1.6. Kurşun Ağır Metalinin İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri**

Endüstriyel faaliyetler sonucunda ekosisteme yayılan ağır metaller besin zinciri yoluyla ya da soluma sonucunda insan ve hayvanların bünyesine ulaşabilmektedir. Ağır metaller biyolojik süreçlere katılma durumlarına göre yaşamsal ve yaşamsal olmayan olarak sınıflandırılmaktadırlar. Yaşamsal olarak tanımlananların organizma yapısında belirli bir konsantrasyonda bulunmaları gerekmektedir, ancak aşırı konsantrasyonda insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Kurşun, insan metabolizması ve ekosisteme en fazla zarar veren ilk metal özelliğini taşımaktadır. İnsan vücudundaki kurşun miktarı ortalama

olarak 125-200 mg civarındadır. Kana karışan kurşun kemiklere ve diğer organlara yayılmaktadır. Kemiklerde biriken kurşun zamanla çözünerek böbreklerde hasara neden olmaktadır. Beyin ve sinir sistemi fonksiyonlarının da bozulmasına sebep olmaktadır (Kahvecioğlu ve ark., 2006).

### **1.7. Sucul Organizmalar Arasında Rekabetin Önemi**

Rekabet, su topluluklarında önemli bir organizasyon gücüdür. Laboratuvar ve alan araştırmaları rekabetin iç sularda hem yaygın hem de önemli olduğunu göstermektedir. Sucul organizmalar arasındaki rekabet, rakip türlerin popülasyonlarının boyut yapısına bağlıdır. Rekabetçi etkileşimler; ekosistem üretkenliği, rekabet eden türler arasında yaşam öyküsü özelliklerinin zamanlaması, sınırlayıcı kaynakların sağlandığı ve kullanıldığı oran ve kaynak arzındaki zamansal değişkenlik gibi faktörlere bağlıdır. Rekabet durumu, özellikle karmaşık besin ağlarında ortaya çıkar. Ekologlar sudaki toplulukların rekabeti nasıl etkilediğini çözümlenmeye devam etmektedir. Gelecekteki çalışmaların, bulaşıcı hastalık ekolojisi, biyolojik çeşitliliğin korunması ve istilacı türlerin yayılması ile ilişkili olanlar gibi çevresel sorunlara karşı rekabetin önemini aydınlatması beklenebilir (Vanni ve ark., 2009). Sucul makrofitler fiziksel ve kimyasal faktörlerin değişmesinden etkilenmekte, kendi aralarında ve ortamdaki diğer canlılarla rekabet etmektedirler. Bu tür içi ve türler arası ilişkiler birbirleriyle bağlantılı ve bazen oldukça karmaşık olabilmektedir (Reimer, 1984).

Bu çalışmada su teresi ve su nanesi sucul bitkilerini aynı kültür ortamında Pb stresi yokken ve Pb stresi uygulayarak aralarındaki rekabet gücü araştırılmıştır. Deney periyodunda fiziksel koşullar tamamen sabit tutulmuştur. Tüm akvaryumlar florasanlara eşit uzaklığa yerleştirilmiş, her akvaryum ayrı ayrı oksijenlendirilmiştir. Bu durumda aynı kültür ortamındaki iki sucul bitki ışık, yer ve oksijen açısından rekabete girmemiştir. Rekabet edebilecekleri faktörler; bitkilerin birbiri üzerinde oluşturabileceği gölgelenmeler, nutrient ve Pb stresi olabilir.

Ülkemizde yapılan çalışmalarda fiziksel ve kimyasal parametreler ön planda olup, biyotik faktörler göz ardı edilmektedir. Ağır metal uygulaması ile ilgili birçok çalışma mevcutken, biyotik faktörlerden rekabet sucul bitkilerde üzerinde çok durulmamış bir konudur. Çalışmamızı özgün kılan nokta, biyotik faktörlerin en önemlilerinden biri olan rekabet faktörünün ele alınmasıdır. Aynı çayda aynı ekosistemi paylaşan iki makrofit türünün aynı kültür ortamında stres koşulları altında birbirlerini nasıl etkiledikleri, nasıl

rekabet ettikleri bize ekolojik anlamda çok önemli bilgiler sağlamıştır. Çalışılan örnekler *M. aquatica* ve *N. officinale* sucul ortamın ekonomik değeri yüksek olan bitkilerindendir ve sürekli veya geçici Pb stresine maruz kalmanın oluşturacağı zararlar hakkında da bilgi sahibi olunmuştur. Ayrıca farklı konsantrasyonlarda uygulanacak Pb'nin absorblanma kapasitesinin ölçülmüş olması indikatör bitki olup olmadıkları yönünde de veriler sağlamıştır. *N. officinale* taksonunun sazan balığı tarafından tüketildiği göz önünde bulundurulduğunda, çalışmanın önemi daha da artmaktadır.

### 1.8. Çalışmanın Amacı ve Çalışmayı Özgün Kılan Noktalar

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2013 yılında bölgede yaptığı çalışmalara göre; Umurbey Çayı'nın kirlenme nedenleri arasında, evsel atık sular, katı atıklar, sanayi kaynaklı atık sular, zirai ilaç ve gübre kullanımı ile madencilik faaliyetlerini göstermiştir. Umurbey Çayı, yörede bulunan Pb madeninin ileride suya karışma ihtimali düşünülerek ve seftali, kiraz bahçelerine atılan insektisitlerin içerisinde de Pb ağır metali bulunması nedeniyle çalışma alanı olarak tercih edilmiştir. Yapılan arazi çalışmaları sonucunda, sucul bitki olarak Umurbey Çayı'nda geniş yayılım gösteren ve bir arada gelişen *Nasturtium officinale* R.Br. (su teresi) ve *Mentha aquatica* L. (su nanesi) türleri tercih edilmiştir. Bu iki makrofit türü, Umurbey Çayı'nda birbirine yakın geliştikleri için tercih edildiler, böylece aynı ortamda bir arada gelişen türlerin ortama stres faktörü eklenince birbirlerini etkileyip etkilemedikleri, dolayısıyla rekabet durumları ortaya konulabilecektir. Stres faktörü olarakta Kurşun (II) Asetat Trihidrat çözeltisi kullanılmıştır.

Çalışmanın amacı;

- Umurbey Çayı'nda geniş yayılım gösteren ve birarada gelişen iki makrofit türünü ayrı ayrı kültür ortamlarında yetiştirmek.
- Tekli kültür ortamlarında sucul bitkilere farklı konsantrasyonlarda Pb ağır metali uygulamak.
- Pb ağır metalinin stresi altında morfolojilerinin nasıl değiştiğini gözlemlemek ve çeşitli analizlerle fizyolojilerinin nasıl değiştiğini belirlemek.
- Hangi Pb konsantrasyonunda daha iyi yanıt verdiklerini belirlemek.
- Belirlenen Pb konsantrasyonunda türleri ikili olarak kültüre almak ve aynı kültür ortamında yetiştirmek.

- Aynı kültür ortamında yetiştirilen sucul bitkilerin Pb ağır metali uygulanmayan kontrol gruplarına göre belirlenen konsantrasyonda Pb ağır metali uygulanan ikili kültürde nasıl tepki verdiklerini analizlerle tayin etmek.

- Pb ağır metalinin değişik konsantrasyonlarda uygulandığı ve fiziksel parametrelerin tamamen sabit tutulduğu (ışık, yer, pH, oksijen) alışmamızda, ayrı ayrı kültürlere alınan ve aynı kültür ortamında yetiştirilen sucul bitkilerin aralarındaki rekabet durumunu belirlemek.



## BÖLÜM 2

### ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

#### 2.1. Makrofitler ile İlgili Çalışmalar

Makrofitlere çeşitli fiziksel ve kimyasal faktörlerin uygulanması ve verdikleri cevabın izlenmesiyle ilgili birçok çalışma vardır.

Lee ve ark. (1991) yaptıkları çalışmada, sucul bitkilerden *Hydrilla verticillata* taksonuna arsenik uygulamışlardır ve yüksek fosfat konsantrasyonunun varlığında *Hydrilla verticillata* tarafından arsenik alımının inhibe edildiğini, ekosistemde arsenik kirliliğinin biyoindikatörü olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Banerjee ve Sarker (1997) yaptıkları çalışmada, *Salvinia rotundifolia* taksonuna Pb (II) uygulamışlardır ve bu taksonda meydana gelen değişiklikler standartlaştırıldığında, sucul metal kirliliği için uygun bir biyoizlemci olabileceğini vurgulamışlardır.

Cardwell ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada, *Colocasia esculenta*, *Nymphaea violacea*, *Persicaria lapathifolium*, *Rumex crispus*, *Nymphoides germinata* taksonlarına Cd, Cu, Pb ve Zn uygulamışlar ve etkilerini araştırmışlardır.

Demirezen ve Aksoy (2004) yaptıkları çalışmada, *Typha angustifolia* ve *Potamogeton pectinatus* taksonlarına Cd, Pb, Cr, Ni, Zn ve Cu ağır metallerini uygulamışlardır. *P. pectinatus* taksonuna göre *T. angustifolia* taksonunun dokularında daha fazla ağır metal biriktirdiğini ve çevre baskısını belirlemek için *T. angustifolia* taksonunun daha uygun bir biyoindikatör olduğunu belirtmişlerdir.

Doğan (2005) yaptığı doktora çalışmasında, *Ceratophyllum demersum* L. makrofitinde kadmiyum klorür, sodyum klorür ve bunların kombinasyonlarının fizyolojik ve morfolojik etkilerini araştırmıştır.

Saygıdeğer ve Doğan (2005) çalışmalarında, *Mentha aquatica* ve *Nasturtium officinale* makrofitlerinin Pb akümülyasyonunda toprak altı kısımlarda toprak üstü kısımlara nazaran yüksek derişimlerde metal birikimi olduğunu bildirmişlerdir. *M. aquatica* dokularındaki Pb akümülyasyon oranlarının kök>gövde>yaprak şeklinde olduğunu belirlemişlerdir.

Doğan ve ark. (2009), *Elodea canadensis* taksonuna Pb elementinin etkilerini araştırmışlardır. Pb toksisitesi nedeniyle makrofitin büyümesinin azaldığını, korelasyon analizlerine göre de Pb konsantrasyonu ile makrofitin kuru biyoması, fotosentetik pigment ve protein içeriği arasında negatif ve önemli bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir.

Singh ve ark. (2010) çalışmalarında, *Najas indica* sucul bitkisine Pb ağır metali

uygulamışlardır ve Pb elementine maruz kalan bitkinin sistein sentezini ve glutatyon-S-transferaz aktivitesini önemli ölçüde arttırdığını belirtmişlerdir. Görülebilir toksisite sendromu olarak ise yapraklarda klorozis ve yaprakların parçalanmasını belirtmişlerdir. Artan Pb konsantrasyonuna karşı, *Najas* bitkilerinin antioksidant sistemi ve tiyolik yolların aktivasyonu yolu ile bu durumu verimli bir şekilde tolere ettiğini vurgulamışlardır.

Favas ve ark. (2012) çalışmalarında, *Ranunculus trichophyllus*, *Ranunculus peltatus* subsp. *Saniculifolius*, *Lemna minor*, *Azolla caroliniana* ve *Juncus effusus* yapraklarının sudaki arsenik varlığı ile pozitif ilişki gösterdiğini ve bu türlerin arsenik indikatörü olabileceğini belirtmişlerdir.

## **2.2. *Nasturtium officinale* R.Br. ile İlgili Çalışmalar**

Kara (2005) çalışmasında, su teresine Cu, Zn ve Ni ağır metalleri uygulamıştır. Su teresinin ağır metal alım ve biriktirme kapasitesinin oldukça fazla olduğunu tespit etmiştir. Diğer metallerin etkisi düştüğünde Cu ve Ni daha etkili, Zn'in ise en az etkiye sahip olduğunu belirtmiştir.

Keser (2005) yaptığı doktora çalışmasında, su teresinde kurşunun strese bağlı enzimlerin aktivitelere, gelişmeye, mineral ve klorofil içeriğine etkilerini araştırmıştır.

Özen (2009) çalışmasında, su teresinin fenolik içeriği ile antioksidan aktivitelerinin arasında bir korelasyon olduğunu göstermiştir. Su teresinin yerli ilaçlar için ümit vaat ettiğini ve gıda takviyesi olarak kullanılabileceğini vurgulamıştır.

Bahramikia ve Yazdanparast (2010), su teresinin kuru yaprak özütünde 96,6 mg/g toplam fenolik içeriği tespit etmişlerdir ve çalışmalarının sonucunda su teresinin ulaşılabilir doğal bir antioksidan kaynağı olduğunu ve ek besin olarak kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Duman ve Öztürk (2010), su teresini 1-25 mg/L konsantrasyon aralığında nikel stresine maruz bırakmışlardır. 5 mg/L Ni konsantrasyonuna maruz kalan bitkide protein içeriğinin arttığını, 10 ve 25 mg/L Ni konsantrasyonunda protein içeriğinin azaldığını belirtmişlerdir.

Öztürk ve ark. (2010), su teresini farklı konsantrasyonlarda arsenik elementine maruz bırakmışlardır. Fotosentetik pigment, protein ve prolin miktarının artan Arsenik (As) konsantrasyonu ile arttığını, ancak yüksek As dozunda azaldığını belirtmişlerdir.

Namdjoyan ve Kermanian (2013), su teresinde farklı konsantrasyonlardaki arsenik elementinin toplam klorofil, protein ve prolin miktarını nasıl etkilediğini araştırmışlardır.

Arsenik konsantrasyonu arttıkça bitkide toplam klorofil miktarının azaldığını, toplam protein ve prolin miktarının ise arttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Zeb (2015), çevresel değişkenlere karşı bitkilerde fotosentetik pigment bileşiminin tepkilerinin araştırılmasının önemli bir konu olduğunu belirtmiştir. Su teresinde klorofil a ve klorofil b toplam miktarının diğer pigmentlere göre tüm dokularda daha yüksek olduğunu belirtmiştir.

Giallourou ve ark. (2016), Brassica familyasına ait diğer bitkilerle su teresini karşılaştırdıklarında, su teresinin zengin bir fenolik bileşik kaynağı olduğunu belirlemişlerdir. Taze su teresinin en yüksek fenolik bileşik içeriğini  $14,86 \pm 2,02$  mg/g olarak bulmuşlardır. Taze su teresinde karotenoit içeriğini ise  $2,35 \pm 0,22$  mg/g olarak belirlemişlerdir.

### **2.3. *Mentha aquatica* L. ile İlgili Çalışmalar**

Zurayk ve ark. (2001), oniki tane Akdeniz türünü karşılaştırmışlar ve sadece *M. aquatica* türünün Ni, Cr ve Cd ağır metallerini yeterli miktarda biriktirdiklerini bulmuşlar ve bu element için biyoindikatör olduğu kabul edilmiştir. Zurayk ve ark. (2002), *M. aquatica* türünün *M. sylvestris* türünden daha fazla nikel biriktirdiğini bulmuşlardır.

Aslan ve ark. (2003), su nanesi ve su teresinin kadmiyum stresi altında büyümelerini, protein ve fotosentetik pigment kompozisyonlarını araştırmışlardır. Her iki bitkinin de yapraklarında protein ve klorofil konsantrasyonunun azaldığını tespit etmişlerdir. En yüksek protein, klorofil ve biyokütle azalması ise su nanesinde 1 ve 5 ppm kadmiyum konsantrasyonlarında görülmüştür.

Száková ve ark. (2011), su nanesine As, Cd ve Zn uygulamışlardır. Fitoremediasyona uygun bir bitki olmamasına rağmen, su nanesinin yüksek derecede kirlenmiş bir toprakta yüksek tolerans ve iyi bir büyüme kabiliyeti gösterdiğini vurgulamışlardır. Fitoremediasyona uygun olmasa bile, eski madencilik alanlarında kirlenmiş toprağın bitki örtüsü olabileceğini belirtmişlerdir.

Benabdallah ve ark. (2016), altı adet *Mentha* türünün (*M. aquatica*, *M. arvensis*, *M. piperita*, *M. pulegium*, *M. rotundifolia*, *M. villosa*) toplam fenolik içerikleri ve antioksidan aktiviteleri ile ilgili çalışmışlardır. *M. aquatica* taksonunun diğer *Mentha* türlerine göre daha fazla antioksidan aktivite ve daha fazla toplam fenolik bileşik içerdiğini ( $43,21$  mg/g) tespit etmişlerdir. Toplam fenolik bileşik içeriği ile antioksidan aktiviteleri doğru orantı göstermektedir.

Nazari ve ark. (2017), su nanesine farklı dozlarda mangan (Mn) uygulamışlardır. Mn konsantrasyonu arttıkça, su nanesi yapraklarındaki tüm fotosentetik pigment içeriklerinin (kl-a, kl-b, karotenoid) arttığını, ancak en yüksek Mn dozunda ise pigment içeriğinin azaldığını belirtmişlerdir. En yüksek Mn dozunda (160 µm) pigment içeriğinde azalma olsa da hiçbirinde kontrol grubu seviyesine kadar inmediğini belirlemişlerdir.

Nazari ve ark. (2018), su nanesine UV, Mn (100 µm) ve UV+ Mn (100 µm) uygulamışlardır. Mn uygulamasında kontrol grubuna göre fotosentetik pigment içeriğinin arttığını belirtmişlerdir.

#### 2.4. Rekabet ile İlgili Çalışmalar

Ülkemizde bu alanla ilgili çalışmalarda fiziksel ve kimyasal parametreler ön planda olup, biyotik faktörler göz ardı edilmektedir. Uluslararası çalışmalarda ise türler arası ilişkileri de içine alan biyotik faktörlerin önem kazandığı görülmektedir. Bu yüzden çalışmamızı özgün kılan nokta biyotik faktörlerin en önemlilerinden biri olan rekabet faktörünün ele alınmasıdır. Aynı çayda aynı ekosistemi paylaşan iki makrofit türünün aynı kültür ortamında stres koşulları altında birbirlerini nasıl etkiledikleri, nasıl rekabet ettikleri bize ekolojik anlamda çok önemli bilgiler sağlamıştır.

Abernethy ve ark. (1996), *Elodea canadensis* Michx ve *Myriophyllum spicatum* L. türleri arasındaki rekabeti deneysel kültür ortamında araştırmışlardır.

James ve ark. (1999), *Elodea canadensis*, *Elodea nuttallii* ve *Lagarosiphon major* makrofitleri arasındaki rekabet durumunu araştırmışlardır.

Agami ve Waisel (2002), *Najas marina* L. and *Myriophyllum spicatum* L. türleri arasındaki rekabeti araştırmışlardır.

Spencer ve Rejmánek (2010), yaptıkları çalışmada iki submers sucul bitki (*Potamogeton pectinatus* ve *Potamogeton gramineus*) arasında ışık gradiyenti boyunca rekabeti araştırmışlardır.

Stiers ve ark. (2011), *Lagarosiphon major* ve *Ceratophyllum demersum* L. arasındaki rekabet yeteneğini araştırmışlardır. İstilacı bir tür olan *L. major* taksonunun *C. demersum* taksonundan daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Martin ve Coetzee (2014), iki sucul bitki arasındaki rekabeti belirlemek için *Lagarosiphon major* ve *Myriophyllum spicatum* türlerini aynı ortamda kültüre almışlardır. *L. major* her ortamda *M. spicatum* türünden daha rekabetçi bir tür olduğunu kanıtlamıştır.

Srivastava ve ark. (2014), arsenik stresi altında *Hydrilla*, *Ceratophyllum*, *Eichhornia*,

*Lemna* ve *Wolffia* taksonlarını tekli ve ikili olarak kültüre etmişlerdir. Tekli kültürlerde arsenik stresi altında kontrol grubuna kıyasla sadece *Hydrilla* taksonunun büyüme oranı artmıştır. İkili kültürlerde ise arsenik stresi altında kontrol koşullarına göre; *Ceratophyllum+Lemna*, *Hydrilla+Ceratophyllum*, *Hydrilla+Wolffia* kombinlerinin büyüme oranında artış olduğunu belirtmişlerdir. *Hydrilla+Ceratophyllum* kombininin ise en fazla arsenik biriktiren ikili kültür olduğunu bulmuşlardır.

Shields ve Moore (2016), *Vallisneria americana*, *Heteranthera dubia* ve *Stuckenia pectinata* türlerinin farklı sediment ve tuzluluk karşısında aralarındaki rekabet durumunu araştırmışlardır. Karışık kültürde yetiştirildiklerinde en güçlü rekabet gösteren türün *H. dubia* olduğunu belirtmişlerdir.

Türker ve ark. (2016), bor elementi etkisi altında *Typha angustifolia*, *Juncus gerardii*, *Phragmites australis* makrofitlerini tekli ve çoklu kültür ortamına almışlardır. *Typha angustifolia* ve *Juncus gerardii* taksonlarının bor fitoremediasyonu için uygun türler olduklarını belirtmişlerdir. *Juncus gerardii* taksonunun bir bio-filtre olarak bor kirliliği kontrolünde kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Zheng ve ark. (2016), *Phragmites australis* ve *Typha orientalis* arasındaki rekabet durumunu araştırmışlardır. Karışık kültürde *P. australis* taksonunun rekabet ilişkisi açısından üstünlük gösterdiğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada abiyotik faktörlerden Pb ağır metali, biyotik faktörlerden ise rekabet ele alınmıştır. İki sucul makrofit olarak aynı çayda yayılış gösteren *N. officinale* ve *M. aquatica* taksonlarının tekli ve ikili kültür ortamlarında Pb stresi altında ve Pb stresi yokken rekabete girdiklerinde hangisinin mücadeleyi kazanacağını belirlemek için amacıyla yapılmıştır. Bu çalışma ülkemiz için ileride yapılacak olan çalışmalara örnek teşkil edecek niteliktedir.

## BÖLÜM 3

### MATERYAL YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Çalışmada Kullanılan Bitki Materyalleri

###### 3.1.1.1. *Nasturtium officinale* R.Br. (Su Teresi)

*Nasturtium officinale*, *Nasturtium* cinsine ait rizomlu, çok yıllık ve emers bir tatlı su makrofitidir. Ekolojik ve ekonomik önemi olan tatlı su makrofitlerinin en önemlilerinden biridir. 10-100 cm. boyunda, yapraklar aurikulat, yan loplara 3-7 adet ve oblong-eliptik, terminal lop yarıdairemsi, meyva 10-20 mm., tohumlar iki sıra halinde dizili, retikulat bir bitkidir (Seçmen ve Leblebici, 2008). Yumuşak ve sulu yapıda, tüysü özellikle yaprakları, Nisan ile Mayıs aylarında açan salkım şeklinde, beyaz renkli çiçekleri bulunmaktadır (Cook, 1996; Duke, 1992; Barker, 2009).

Kaynak sularında, yatağı değişmeyen sığ sularda, soğuk, temiz ve sürekli akan tatlı sularda ve kanallarda gelişim gösteren bir makrohidrofittir (Duke, 1992). Populasyonunun yoğun olduğu yerlerde kanallardaki su akışını yavaşlatmakta ve sorun yaratmaktadır (Seçmen ve Leblebici, 2008).

Omega-3 yağ asitlerince zengin gıdalardan olan yeşil yapraklı bitkilerden su teresi, yıllardır insanlar tarafından gıda olarak kullanılmakla birlikte tıbbi bir bitki olarak da değerlendirilmektedir (Lee ve Newman, 1997). Su teresi karakteristik kokusu ile vitamin C, provitamin A, folik asit, iyot, demir, protein ve özellikle kalsiyum ve kükürt bileşiklerini büyük miktarda içerir. Bu sebze yüksek antioksidan içeriği nedeniyle antikanserle ilgili çalışmaların odak noktası olmuştur (Rose ve ark., 2000; Gonçaves ve ark., 2009). Yaprakları, iskorbüt hastalığının, tüberkülozun ve şeker hastalığının tedavisinde, nezle ve gripte balgam söktürücü, astım, bronşit, guatr, iktidarsızlık ve hepatit tedavisinde de yöresel olarak kullanılmaktadır (Duke, 1992). Su teresinin kansere karşı yöresel olarak kullanımından yola çıkılarak yapılan araştırmalar sonucunda, mekanizması tam olarak anlaşılmasına rağmen, bu bitkide doğal olarak bol miktarda bulunan isothiocyanatların, sigara içenlerde akciğer kanserinin kimyasal olarak engellenmesinde etkili olduğu, ayrıca pek çok hayvanda da pankreasta, memede, midede, özefagusta ve akciğerde kanser başlangıcını engellediği bildirilmektedir (Ding ve ark., 1998). Yaprakları salata olarak tüketildiğinden güney bölgelerimizde kültür edilmektedir (Seçmen ve Leblebici, 2008). Bu kullanımlarının yanı sıra, su teresinin atık suların arıtılmasında da kullanıldığı belirtilmektedir (Ji ve ark., 1990; Midlen ve Redding, 1998). Crucifer üyesi

böceklere ev sahipliği yapması su teresinin farklı bir ekolojik rolüdür (Shapiro, 1975).



Şekil 3.1: *Nasturtium officinale*

### 3.1.1.2. *Mentha aquatica* L. (Su Nanesi)

*Mentha aquatica*, keskin kokulu, genellikle mor ve çok değişken yapıda olan çok yıllık otsu emers tip bir bitkidir. Toprak üstündeki rizomlar yeşil veya morumsu renktedir. Çiçekli gövde 10-100 cm. boyunda, yapraklar 15-90 x 10-40 mm., ovat, ovat-lanseolat, petiol 10-15 mm., çiçek durumu 2-3 vertisillattan oluşan bir başçıkta ve 20 mm. kadar çapında, kaliks 3-4 mm., boğazı tüysüz ve korolla leylak rengindedir (Seçmen ve Lelebici, 2008). Sapı tüylü, kırmızımsı renkte ve çok dallanmaktadır. Çiçekler sarıdan kırmızıya değişen renkte ve dal uçlarında top şeklinde bir arada bulunmaktadır. Yaprak kısa saplı, tüylü, oval ve kenarları dişlidir. Bir bitki ortalama 150-300 tohum oluşturur. Rizom ve tohumla çoğalır (Özer ve ark., 2001).

Genellikle temiz olan akarsuların kenarlarında bulunmaktadır. Temiz ve berrak suların göstergesidir. Daha çok sulak alanlarda görülür (Özer ve ark., 2001).

Su nanesi; uçucu yağlar, fenolikler ve flavanoidler açısından zengin, antibakteriyel ve antioksidan etkisi yüksek olan bir bitkidir (Száková ve ark., 2011). Uçucu yağlardan dolayı aromatik özelliklere sahiptir. Yapraklarının antiseptik, kas gevşetici, gaz giderici, kusturucu, uyarıcı, soğutucu, terletici ve büzücü etkileri vardır. Yapraklarından yapılmış çay; ateş, baş ağrısı, sindirim bozuklukları ve çeşitli küçük rahatsızlıkların tedavisinde kullanılmaktadır. Aynı zamanda boğaz ağrısı, ülser, kötü nefes tedavisinde gargara olarak kullanılmaktadır. Yüksek dozlarda toksik olmasına rağmen, yapraklardaki uçucu yağlar

antiseptiktir. Genellikle kalkerli suları tercih eder (Andro ve ark., 2013).

Esansiyel yağ açısından zengin olan bu cins, yapısındaki bu yağlar sayesinde güçlü bir antioksidan özelliğe sahiptir. Çünkü esansiyel yağlar, serbest radikalleri temizleme özelliklerinden dolayı bir çok hastalığın engellenmesinde önemli rol oynarlar (Riahi ve ark., 2013).

Zurayk ve ark. (2001) oniki tane Akdeniz türünü karşılaştırmışlar ve sadece *M. aquatica* türünün Ni, Cr ve Cd ağır metallerini yeterli miktarda biriktirdiklerini bulmuşlar ve bu elementlerin biyoindikatör olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 3.2: *Mentha aquatica*

Araştırma materyali olan *N.officinale* ve *M. aquatica* Çanakale ili, Umurbey ilçesi, Umurbey Çayı'nın her iki tarafı şeftali ve kiraz bahçeleri ile kaplı olan Gökköy Geçemeğinin alt kısmından Mayıs-Haziran 2016 tarihlerinde toplanmıştır. Bitkilerin toplandığı bu alana Mayıs-2018 tarihinde tekrar gidilerek bitkilerin ve çayın durumu incelenmiştir.

Aynı çayda aynı habitatta birbirine yakın gelişen canlılar stres koşulları altında birbirlerinin gelişimini etkileyebilmektedir. Bu çalışma da çay boyunca birbirine yakın gelişen türler bulmak aralarındaki rekabet gücünü ortaya çıkarmak için önemliydi. Şekil 3.3' te de görüldüğü gibi Umurbey Çayı'nda Mayıs-2016 döneminde bitkileri toplamadan önce çekilen fotoğrafta iki sucul bitkinin yanyana gelişim gösterdiği görülmektedir.





Şekil 3.3: Mayıs- 2016 döneminde Umurbey Çayı'nda beraber yayılış gösteren *N.officinale* ve *M. aquatica*

Çanakkale İli Biga Yarımadası, maden rezervleri ve maden çeşitliliği açısından oldukça zengindir. Türkiye'nin en önemli bakır, kurşun ve çinko yatakları bu bölgededir. Biga Yarımadası gerek rezerv gerek dağılım alanı olarak kurşun madeni açısından oldukça zengindir. Ancak günümüzde işletilmekte olan tek kurşun madeni Lapseki ilçesi-Umurbey Bucağı Koruköy ve Hacıgelen-Koruköy ocağıdır. Umurbey, su rezervuarı ve rezervuarları çevreleyen ibrelî ormanları ile birçok canlı türü için yaşam ortamı sağlamaktadır. Ancak alan, kurşun madeni nedeniyle metalik maden kökenli su kirliliği tehlikesiyle karşı karşıyadır. Aynı zamanda Umurbey Çayı'nı çevreleyen kiraz ve şeftali bahçelerine çiftçiler tarafından gelişigüzel atılan pestisitlerin (insektisit) içerisinde de Pb elementi bulunmakta ve çayın Pb kirliliğine maruz kalma ihtimalini arttırmaktadır. Umurbey Çayı'nın etrafında ve içinde pestisit kutularına ve poşetlerine rastlanmıştır. Umurbey Çayı'nın Pb stresine maruz kalma ihtimalini arttıran etmenleri gösteren fotoğraflar Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4: Umurbey Çayı'nda tarım faaliyetlerinde kullanılan pestisit kalıntılarının gelişigüzel etrafa atılması

### 3.1.2. Kullanılan Çözeltiler

#### 3.1.2.1. Kurşun (II) Asetat Trihidrat [ $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb} \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ ] Çözeltisi

Çalışma materyali *N. officinale* ve *M. aquatica* makrofitlerinin Pb alımından nasıl etkilediklerini belirlemek amacıyla Kurşun (II) Asetat Trihidrat bileşiği kullanılmıştır. Bu amaçla hesaplamalar yapılarak Kurşun (II) Asetat Trihidrat bileşiğinden, litrede 1 gram Pb olacak şekilde Pb stok çözeltisi hazırlanmıştır ve bu stok çözeltiden belirlenen miktarlarda eklenerek seyreltik derişimli çözeltiler oluşturulmuştur. Ön çalışmalar sonucunda 1, 5 ve 10 mg/L Pb konsantrasyonlarında çalışmaya karar verilmiştir. Kontrol çalışması için kurşunsuz ortam hazırlanılmıştır.

#### 3.1.2.2. Hoagland Besin Çözeltisi

Makrofitlerin gelişmesi için gerekli olan besin çözeltisi Hoagland ve Arnon (1950)'a göre hazırlanmıştır. Makrofitleri yetiştirme ortamına % 10 oranında bu çözeltiden konulmuştur.

Hoagland besin çözeltisi içeriği;

- 2 M. KNO<sub>3</sub> 101 g/500 ml.
- 1 M. Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. 4H<sub>2</sub>O 236 g/500 ml.
- Fe-EDTA 7,5 g/500 ml.
- 2 M. MgSO<sub>4</sub>. 7H<sub>2</sub>O 246,5 g/500 ml.
- 1 M. NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 40 g/500 ml.
- H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 1,43 g/500 ml.
- MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O 0,905 g/500 ml.
- ZnSO<sub>4</sub>. 7H<sub>2</sub>O 0,11 g/500 ml.
- CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O 0,0255 g/500 ml.
- Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>.2 H<sub>2</sub>O 0,06 g/ 500 ml.
- 1 M. KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 34 g/250 ml.

### 3.1.2.3. pH Ayarlama Çözeltileri

Çözeltilerin pH'ını ayarlamak için 0.1 N NaOH (Merck) ve 0.1 N Asetik asit (Merck) kullanılmıştır. Makrofitler nötre yakın pH'larda iyi geliştiği için (Saygıdeğer ve ark., 2004) test çözeltilerinin başlangıç pH'ları 6.5-7.0 düzeylerine ayarlanmıştır.

## 3.2. Metod

### 3.2.1. Bitkilerin Muamele Ortamı ve Düzenegi

#### 3.2.1.1. Ön Çalışma

Stres çözeltilerinin uygun konsantrasyonlarının belirlenebilmesi için bir ön çalışma yapılmaya karar verilmiştir.

Umurbey Çayı'ndan toplanarak ortam suyu ile birlikte laboratuara getirilen bitkiler tek tek yıkanarak kültür ortamlarına yerleştirilmiştir. Tür teşhisleri Doç. Dr. Hüseyin Erduğan tarafından yapılmıştır. Kültür ortamı için %10 'luk Hoagland besin çözeltisi hazırlanmıştır. Köklerin güneş ışığından etkilenmemesi için pet şişeler siyah poşet ile sarılmıştır. Laboratuar ortamında sadece güneş ışığı alarak 15 gün süresince bitkiler kültür ortamında adaptasyona bırakılmışlardır. Bu süreçte uygun Pb konsantrasyonunu belirleyebilmek için iki bitki türü ve Umurbey çayından alınan su örneği Çanakkale Gıda Kontrol Laboratuvarı'na Pb analizi için gönderilmiştir. Alınan sonuca göre ne suda ne de bitkilerde kurşuna rastlanmamıştır. Bu sonuç iyi bir kontrol grubu sağlamaktadır. Türler 15 gün alıştırma ortamında kaldıktan sonra; 5 mg/L Pb ve 10 mg/L Pb olmak üzere 2 çeşit

konsantrasyon seçilerek denenmiştir. 5 mg/L Pb uygulanan örnekler analiz için Gıda Kontrol Laboratuvarına götürülmüştür. Su teresinin 2,9 ppm Pb, su nanesinin 3,7 ppm Pb içerdiği sonucu alınmıştır. Diğer konsantrasyonlar sadece morfolojik olarak gözlemlenmiştir. Ön çalışma denemesi, laboratuvar ortamında sadece güneş ışığından faydalanarak, her akvaryum için ayrı oksijen pompalanarak gerçekleştirilmiş olup 4. gün sonunda deney sonlandırılmıştır. Çünkü bitkiler canlılıklarını kaybetmişlerdir. Bunun üzerine düşük dozda çalışmak uygun bulunmuş ve 1, 5 ve 10 mg/L Pb uygulanmasına karar verilmiştir.

Ön çalışma sonucu yüksek konsantrasyonlarda bitkilerin fazla etkilenmesinden dolayı, ikili kültürler için 5 mg/L Pb konsantrasyonu tercih edilmiştir. Böylece iki tür arasındaki rekabet durumu belirlenmeye çalışılmıştır. Ön çalışmada, 15 gün boyunca adaptasyon sürecine bırakılan sucul bitkiler için bu sürenin uzun olduğuna karar verilmiş olup, deneye başlarken 3 gün adaptasyon sürecine bırakılmıştır.

### **3.2.1.2. Deney Düzenegi ve Yapılışı**

Asıl deney için, bitkilerin bulunduğu akvaryumları koyabilmek için 60\*75\*200 cm. ebatlarında, güneş ışığı almaması için siyah cam kapaklı, her rafta iki florasan (biri 18 W) ve her bir akvaryum için ayrı oksijen pompalayan sisteme sahip bir dolap yaptırılmış, böylece fiziksel koşullar tamamen sabit tutulabilmektedir. 16 saat aydınlık, 8 saat karanlık olacak şekilde aydınlanma, gün uzunluğu düşünülerek belirlenmiştir. Başlangıç pH'ları 6.5-7.0 düzeylerine ayarlanmıştır. 3 günlük adaptasyon sürecinden sonra bitkiler ayrı ayrı kültüre alınarak her bir akvaryuma %10 'luk Hoagland besin çözeltisi eklenilmiş ve 1 mg/L Pb, 5 mg/L Pb ve 10 mg/L Pb konsantrasyonlarında çalışılmıştır. Her farklı konsantrasyon 3 tekrarlı olarak çalışılmıştır. Kontrol grupları için ise sadece %10 'luk Hoagland besin çözeltisi konulmuştur. İkili kültürler için orta doz olan 5 mg/L Pb konsantrasyonu tercih edilmiş olup, ikili kültür kontrol grupları da sadece %10'luk Hoagland besin çözeltisi eklenilmiştir. Deney süresince günlük morfolojik değişimler kaydedilmiştir. Yüksek konsantrasyonlarda bitkiler canlılıklarını kaybetmeye başlamışlar, orta ve düşük konsantrasyonlarda da gözle görülür etkilenme meydana geldiği için 5. günün sonunda (120 saat) deneyin sonlandırılmasına karar verilmiştir. Şekil 3.5.'te deney sürecinde fiziksel şartların sabit olabilmesi için oluşturulmuş deney ortamının bitkiler eklenmeden önceki durumu gösterilmiştir.



Şekil 3.5: Sucul bitkilerin deney ortamına yerleştirilmeden önce fiziksel şartların sabit olabilmesi için oluşturulmuş olan deney düzeneği

### 3.2.2. Bitki Örneklerinin Analizlere Hazırlanması

120 saat sonunda deney sonlandırıldığında, bitkiler önce bol çeşme suyu ile ardından saf su ile yıkanarak yapılacak analizler için ayrı ayrı etiketlenip poşetlenerek -18 C 'de buzdolabının dondurucu kısmında saklanmıştır.

Deney periyodu bitiminde *N. officinale* ve *M. aquatica* makrofitlerine yapılacak olan fotosentetik pigment (klorofil-a, klorofil-b ve karotenoid), serbest prolin, protein, toplam fenolik bileşikler taze örneklerde belirlenmiştir. Bitkilerin absorpladığı toplam Pb (kurşun) ve Mg (magnezyum), Fe (demir), P (fosfor) ve K (potasyum) miktarları ise Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nden hizmet alımı yolu ile gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.3. Fotosentetik Pigment Konsantrasyonunun Belirlenmesi

Yıkanmış taze makrofit yapraklarından 100 mg tartılmıştır. Bitkinin tepe noktasında 4.-5. yapraklar ile çalışılmıştır. Örnekler porselen havanda 1-2 mL % 80'lik aseton ile homojenize edilmiştir. Daha sonra ekstraktın son hacmi 10 ml olacak şekilde % 80'lik asetonla tamamlanarak, 3000 rpm'de 5 dakika santrifüj edilmiştir. UV spektrofotometrede asetona karşı (tanık) 470 nm, 645 nm ve 662 nm dalga boylarında okutulmuştur. Klorofil a, klorofil b ve karotenoid hesaplamaları Lichtenthaler ve Wellburn (1985)'e göre aşağıdaki

formüller kullanılarak yapılmıştır.

$$\text{Klorofil a} = 11.75A_{662} - 2.35A_{645} \quad (3.1)$$

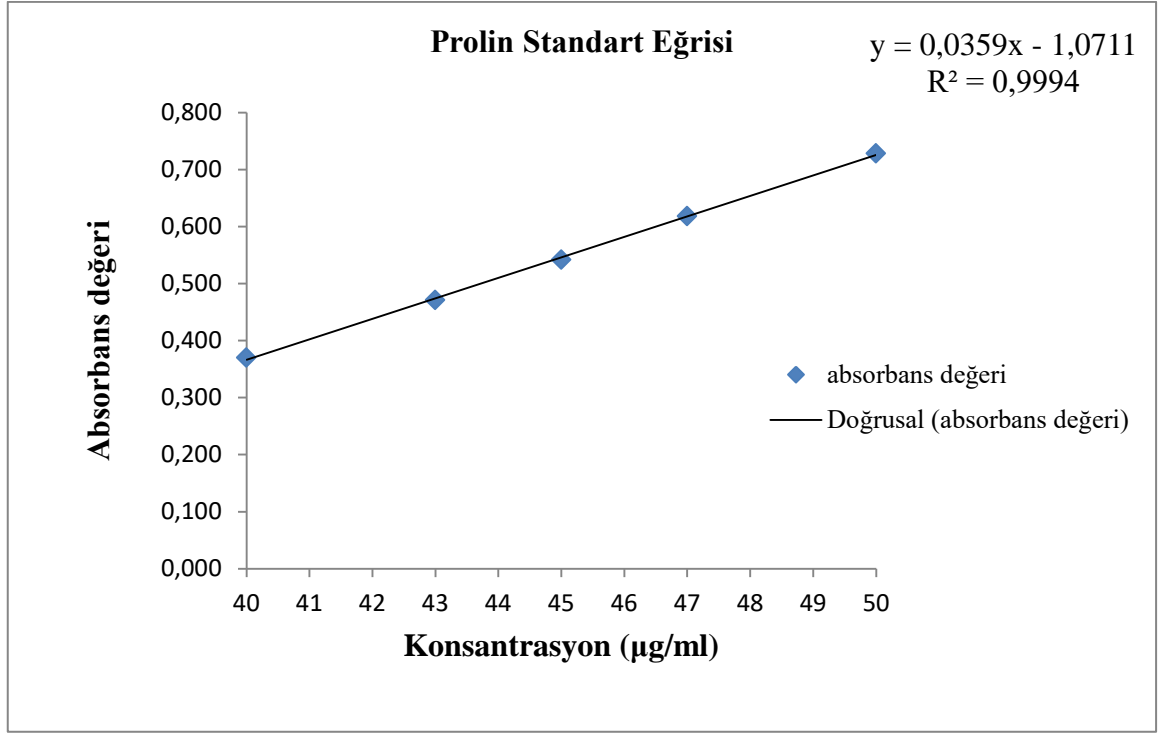
$$\text{Klorofil b} = 18.61A_{645} - 3.96A_{662} \quad (3.2)$$

$$\text{Karotenoid} = 1000A_{470} - 2.27 \text{ Klorofil a} - 81.4 \text{ Klorofil b} / 227 \quad (3.3)$$

#### 3.2.4. Serbest Prolin Tayini

Makrofitteki serbest prolin miktarları Bates ve ark. (1973)'lerinin yöntemine göre belirlenmiştir. Bitkilerin en tepe ve onun altındaki yaprakları analiz için kullanılmıştır. Taze makrofit materyalinin 0.5 gramı tartılmış ve % 3'lük 5 mL sülfosalisilik asit kullanılarak porselen havanda homojenize edilmiştir. Homojenizat santrifüj edilerek, filtratın 2 ml'si 2 mL asit-ninhidrin ( 20 ml 6M ortofosforik asit ve 30 ml glasiyel asetik asit içinde 1,25 gr. ninhidrin ısı yardımıyla karıştırılarak hazırlanmış, 24 saat +4 C bekletilmiş) çözeltisi ve 2 mL glasiyel asetik asitle test tüpünde karıştırılmıştır. Bu karışım 100 °C'de 1 saat su banyosunda bekletilmiştir. Bu süre sonunda tüpler alınarak buz içerisine sokulmuş ve reaksiyon sonlandırılmıştır. Reaksiyon karışımı 4 mL toluen ile ekstrakte edilmiş ve 15-20 saniye tüp karıştırıcıda (vorteks) çalkalanmıştır. Toluene içeren renkli sıvı oda sıcaklığında 30 dakika bekletilmiş ve 520 nm dalga boyunda spektrofotometrede toluene karşı okunmuştur. Standart olarak L-prolin standardı kullanılmış olup, standartlar 40-50 µg/ml. aralığında hazırlanmıştır. Şekil 3.6' da L-prolin standardı kullanılarak çizilen standart eğri grafiği ve elde edilen formülü verilmiştir. Standart eğrisinden elde edilen formülle bitki dokularındaki prolin miktarları hesaplanmıştır.

$$y = 0,0359x - 1,0711 \quad R^2 = 0,9994 \quad (3.4)$$

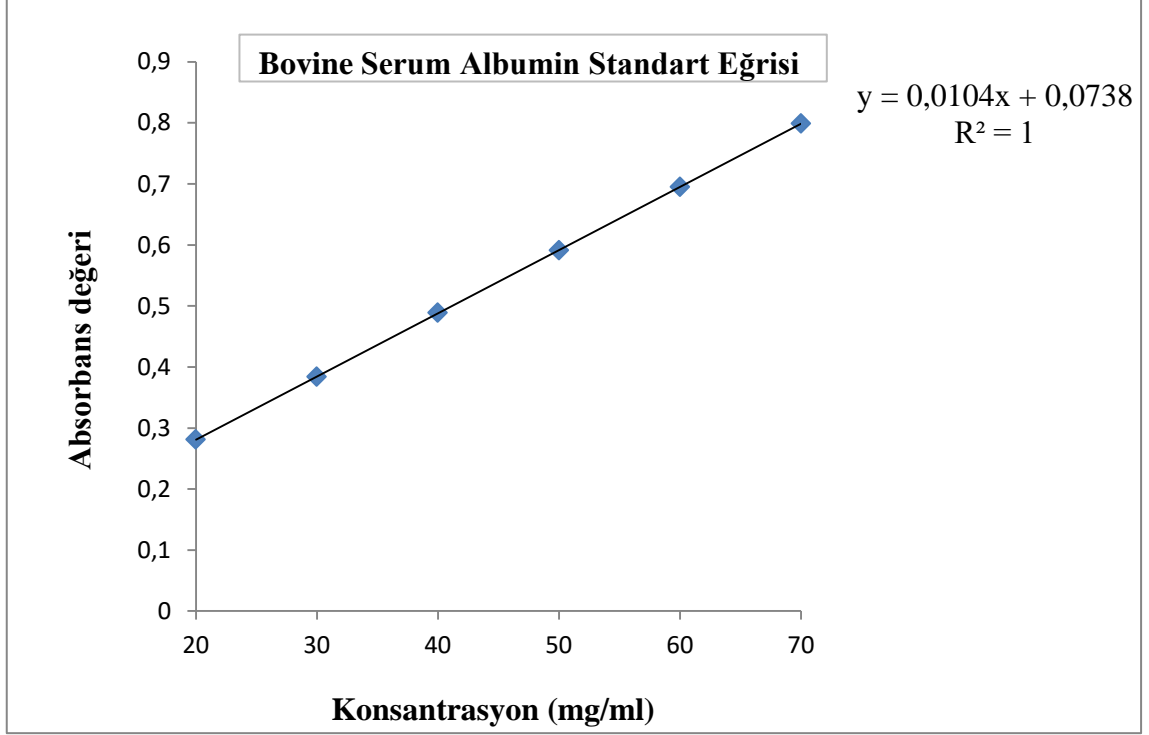


Şekil 3.6: L-prolin standardı kullanılarak çizilen standart eğri grafiği ve elde edilen formülü

### 3.2.5. Protein Analizi

Protein analizi Lowry ve ark. (1951)'lerinin belirledikleri yöntemle yapılmıştır. Su nanesinde tepe noktasındaki yapraklarda, su teresinde ise üst ve orta yapraklar ve yaprakların yan dallarında çalışılmıştır. 0,5 gram taze makrofit materyali 5 mL 0,1 M fosfat tamponunda (pH 7.0) homojenize edildikten sonra 12.800 rpm'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Süpernatanttan 0,3 mL alınmış, üzerine 3 mL alkali çözelti (Lowry çözeltisi: Sol A, NaOH ve Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; Sol B, CuSO<sub>4</sub>.5(H<sub>2</sub>O); Sol C, Na<sub>2</sub>Tartrate.2(H<sub>2</sub>O); 100:1:1 V) ilave edilip kısaca vortekslenip 15 dakika oda sıcaklığında bekletilmiştir. Sonra 0,3 mL Folin-Ciocalteu ayracı eklenip vortekslenmiş ve 30 dakika oda sıcaklığında karanlıkta bekletilmiştir. Absorbans değeri 750 nm. dalga boyunda okunmuştur. Aynı işlem 0,3 mL saf su kullanılarak tanık için de uygulanmıştır. Standart eğri çizimi için de aynı yöntem 20-70 mg/ml aralığında hazırlanan bovine serum albumine yapılmıştır. Şekil 3.7' de bovine serum albumin standardı kullanılarak çizilen standart eğri grafiği ve elde edilen formülü verilmiştir. Standart eğriden elde edilen formüle göre bitkilerdeki protein miktarı belirlenmiş olup, formül aşağıda verilmiştir.

$$y=0,0104x+0,0738 \quad R^2=1 \quad (3.5)$$



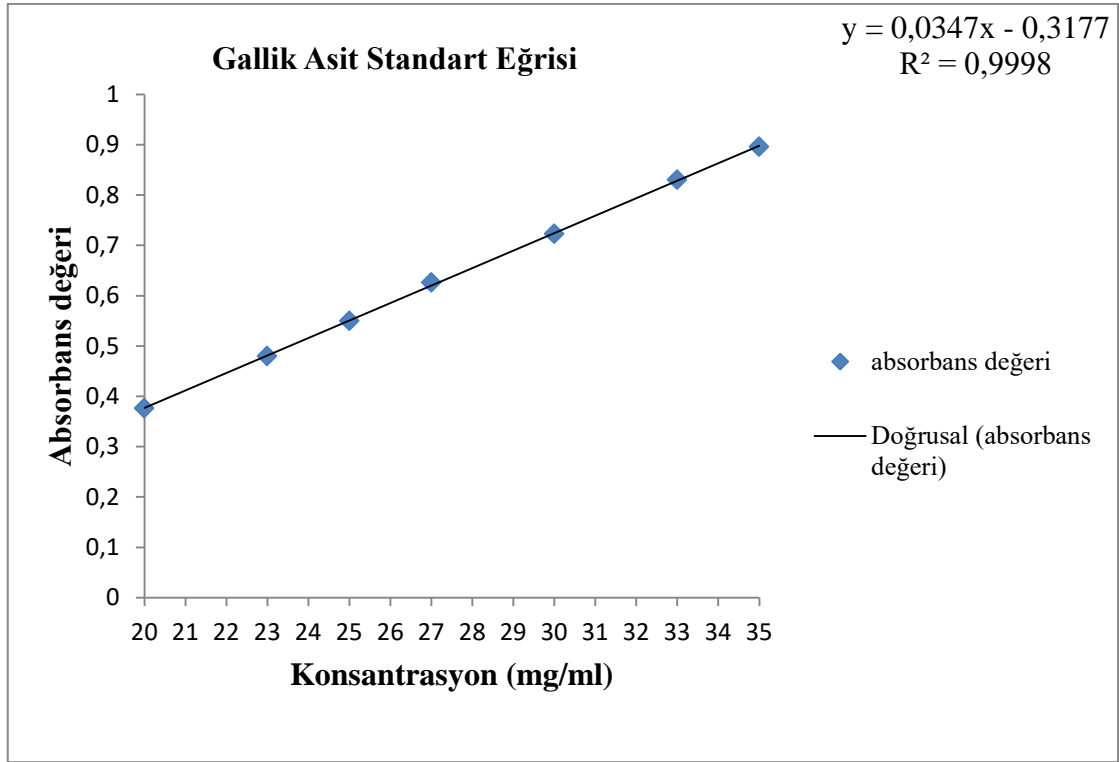
Şekil 3.7: Bovine serum albumin standardı kullanılarak çizilen standart eğri grafiği ve elde edilen formülü

### 3.2.6. Fenolik Bileşiklerin Belirlenmesi

Bitki dokularındaki fenolik bileşiklerin belirlenmesi Ratkevicius ve ark. (2003)'na göre yapılmıştır. Su teresi ve su nanesinde orta yapraklar ve yaprakların bulunduğu yan dallarda çalışılmıştır. 0,5 gram taze makrofit materyali tartılmış ve 5 ml 0.1 M fosfat tamponunda (pH 7.0) homojenize edilmiştir. Homojenizat 12.800 rpm'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Sonra süpernatanttan 50 µL alınarak, son hacim 1 mL olacak şekilde % 3'lük sodyum karbonattan 450 µL ve 0.3 N Folin-Ciocalteau 500 µL eklenerek oda sıcaklığında karanlıkta 2 saat bekletilmiştir. Daha sonra bu örnekler 765 nm'de okunmuştur. Aynı işlem 50 µL saf su kullanılarak tanık için de uygulanmıştır. Standart eğri çizimi için de aynı yöntem 20-35 mg/ml aralığında hazırlanan gallik asitle yapılmıştır. Şekil 3.8' de gallik asit standardı kullanılarak çizilen standart eğri grafiği ve elde edilen formülü verilmiştir. Sonuçlar gallik asit standart derişimleri ile absorbansları arasındaki doğrusal ilişki kullanılarak hesaplanmıştır.

$$y = 0,0347x - 0,3177 \quad R^2 = 0,9998 \quad (3.6)$$





Şekil 3.8: Gallik asit standardı kullanılarak çizilen standart eğri grafiği ve elde edilen formülü

### 3.2.7. Bitkilerin Mineral İçeriklerinin Belirlenmesi

Bitkilerin tamamındaki toplam fosfor (P), potasyum (K), demir (Fe), magnezyum (Mg) ve biriktirdikleri kurşun (Pb) miktarları, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nden hizmet alımı yapılarak belirlenmiştir. Mineral içerikleri ve kurşun miktarları ICP-OES cihazında Epa 200.7 metoduna göre belirlenmiştir. 1000 ppm' lik karışık standartlar kullanılmıştır. P, K ve Mg için 0-25 ppm, Pb ve Fe için ise 0-1000 ppb kalibre aralığında çalışılmıştır.

### 3.2.8. İstatistiksel Analizler

Bu araştırmada tanımlanmış gruplar içinde ölçülen parametrelerin ortalama değerleri arasında fark var mıdır hipotezi test edilmiştir. Bu amaçla  $\alpha = 0.05$  alınmıştır. Kurulan hipotezde; H<sub>0</sub>: Gruplar arasında fark yoktur. H<sub>1</sub>: En az bir grup diğerlerinden farklıdır. Bu hipotezler SPSS (SPSS 15.0 for Windows) paket programı kullanılarak yapılmıştır. Hangi grubun ya da grupların farklı olduğunu belirlemek amacıyla tekli kültürler için 'One-Way ANOVA LSD testi' ve ikili kültürler için 't testi' uygulanmıştır (Özdamar, 2004).

Aynı zamanda sucul bitkilere yapılan analiz sonuçlarının aralarında ilişki olup

olmadığını belirleyebilmek için korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon katsayısı (r) basit olarak -1 ile 1 değerleri arasında değişen ve bağımsız değişkenler hakkında kısaca bilgi veren bir değerden oluşmaktadır. Korelasyon katsayısı 0-0.49 arasında ise korelasyon zayıf, 0.5-0.74 arasında ise orta derecede, 0.75-1 arasında ise kuvvetli ilişki vardır denilmektedir. Katsayı, etkileşimin olmadığı durumda 0, tam ve kuvvetli bir etkileşim varsa 1, ters yönlü ve tam bir etkileşim varsa -1 değerini alır. Korelasyon analizleri de SPSS (SPSS 15.0 for Windows) paket programı kullanılarak yapılmıştır (Özdamar, 2004).

## BÖLÜM 4

### ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

#### 4.1. Bulgular

Bu çalışmada, emers sucul makrofitlerden *N. officinale* ve *M. aquatica*, fiziksel koşulların tamamen stabil tutulduğu deney ortamında farklı konsantrasyonlarda Pb elementine 120 saat boyunca maruz bırakılmıştır. Günlük morfolojik değişimler kaydedilmiş ve bitkilerin fizyolojik olarak nasıl etkilendiklerinin belirlenebilmesi için, çeşitli analizler yapılmıştır. Morfolojik ve fizyolojik parametrelerin analiz sonuçları aşağıda verilmiştir. Analizler sonucunda  $H_0$  hipotezi reddedilmiştir. Çünkü gruplardan en az biri farklı bulunmuştur.

#### 4.1.1. *N. officinale* ve *M. aquatica* Taksonlarının Gelişiminde Morfolojik Gözlemler

##### 4.1.1.1. *N. officinale* Taksonunun Gelişiminde Morfolojik Gözlemler

##### 4.1.1.1.1. Tekli Kültürdeki *N. officinale* Taksonunun Kontrol Grupları

Tekli kültürdeki su teresi kontrol gruplarında deneyin ilk başlangıç günlerinde morfolojik olarak değişim gözlemlenmemiştir. İlerleyen günlerde alt dalların yapraklarında sararma ve bazılarında kuruma başlamıştır. Deney sonlandırılırken 120. saatin sonunda orta yapraklarda sarı sarı lekelenmeler ve nokta şeklinde açılmalar gözlemlenmiştir. Üst yaprakların yeşil olduğu ve çiçeklerin hala canlılığını koruduğu görülmüştür. Gövdeler dik ve canlı olup, tepe noktasında yeni sürgünler oluşmuştur. Yan dallarda çıkan yeni yapraklarda yeni çiçekler açmıştır. Meyveler ve kökler canlılığını korumaktadır. Köklerde yeni tere oluşumu gözlemlenmiştir. Şekil 4.1' de tekli kültürdeki su teresinin kontrol gruplarının morfolojik değişimleri verilmiştir.



Şekil 4.1: Tekli kültürdeki su teresi kontrol gruplarının morfolojik değişimleri

#### 4.1.1.1.2. Tekli Kültürdeki *N. officinale* Taksonunun 1 mg/L Pb Uygulaması

Tekli kültürdeki su teresinin 1 mg/L Pb uygulanan gruplarında deneyin ilk başlangıç gününde morfolojik olarak değişim gözlemlenmemiştir. Uygulamanın 2. gününde alt yapraklarda sararma başlamıştır. 3. gün sararma görülen alt yapraklarda kuruma, diğer alt yapraklarda sararma başlamıştır. 4. günde alt yapraklarda sararma, kuruma, orta yapraklarda sarı lezyonlar görülmeye başlanmıştır. Deney sonlandırılırken 120. saatin sonunda alt dallar kurumuştur. Orta yapraklarda sarı lezyonlar gözlenmiştir. Üst yaprakların ise yeşil ve canlılığını koruduğu görülmüştür. Dokuz su teresinin 3'ünde kökte yeni tere oluşumu gözlemlenmiştir. Sadece bir türde de gövde de nodta yeni yaprak patladığı görülmüştür. Şekil 4.2' de tekli kültürdeki su teresinin 1 mg/L Pb uygulaması sonucu gösterdiği morfolojik değişimleri verilmiştir.



Şekil 4.2: Tekli kültürdeki su teresinin 1 mg/L Pb uygulaması sonucu gösterdiği morfolojik değişimleri

#### 4.1.1.1.3. Tekli Kültürdeki *N. officinale* Taksonunun 5 mg/L Pb Uygulaması

Tekli kültürdeki su teresinin 5 mg/L Pb uygulanan gruplarında, alt yapraklarda sararma deneyin ilk gününden itibaren başlamıştır. 3. günde alt yapraklarda sararma ve kuruma, orta yapraklarda siyah lekelenmeler oluşmuştur. 4. günde alt yapraklardaki sararma orta yapraklara da taşınmıştır. 5. günün sonunda deney sonlandırılırken, alt yapraklar tamamen kurumuştur, orta yapraklar da ise sarı lezyonlar oluşmuştur. Üst yapraklarda ise yumuşama gözlemlenmiştir. Kökte yeni tere oluşumu saptanmamıştır. Köklerde yumuşama ve içinde bulunduğu çözeltilerde ağır bir koku oluşmuştur. Kökler çürümeye başlamış, 2 türde gövdede nodta birer tane yeni yaprak sürgün vermiştir. 2 türde de kuruyan dalların yerine yeni yaprak çıktığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.3' te tekli kültürdeki su teresinin 5 mg/L Pb uygulaması sonucu gösterdiği morfolojik değişimleri verilmiştir.



Şekil 4.3: Tekli kültürdeki su teresinin 5 mg/L Pb uygulaması sonucu gösterdiği morfolojik değişimleri

#### 4.1.1.1.4. Tekli Kültürdeki *N. officinale* Taksonunun 10 mg/L Pb Uygulaması

Tekli kültürdeki su teresinin 10 mg/L Pb uygulanan gruplarında, alt yapraklarda sararma deneyin ilk gününden itibaren başlamıştır. 3. günde alt yapraklar dallarıyla birlikte kurumuştur. Orta yapraklarda lezyonlar oluşmuştur. 4. günde üst yapraklarda sarı lekelenmeler ve yumuşama meydana gelmiştir. 5. günün sonunda deney sonlandırılırken sarı lekeler üst yapraklara kadar taşınmıştır ve çok fazla sarı yaprak oluşmuştur. Bazı terelerin yaprakları tamamen buruşmuş, yumuşamış ve canlılığını kaybetmiştir. Yeni çiçek veya yaprak oluşumu görülmemiştir. Tek bir su teresinin kökünde 2 nodülde çok küçük tere oluşumu görülürken, diğerlerinde kökte yeni tere oluşumu görülmemiştir. Şekil 4.4' te tekli kültürdeki su teresinin 10 mg/L Pb uygulaması sonucu gösterdiği morfolojik değişimleri verilmiştir.



Şekil 4.4: Tekli kültürdeki su teresinin 10 mg/L Pb uygulaması sonucu gösterdiği morfolojik değişimleri

#### 4.1.1.1.5. İkili Kültürdeki *N. officinale* Taksonunun Kontrol Grupları

İkili kültürdeki kontrol grubu su terelerinin gövdeleri dikliğini kaybetmiş ve eğilmiştir. Çiçeklerde solma görülmüştür. 6 tereden sadece 2 terede kökte yeni tere oluşumu görülmüştür. Tekli kültürdeki yeni tere oluşumu ikili kültüre oranla çok daha fazladır. Yapraklarda sararma ve kuruma da tekli kültürdeki terelere göre daha fazladır. Alt yapraklar tamamen kurumuş, orta yapraklar sararmış, üst yapraklar yumuşamış ve gövde eğilmiş durumdadır. İkili kültür kontrol grubunda su teresi su nanesine göre morfolojik olarak çok daha fazla etkilenmiştir. Şekil 4.5' te ikili kültür kontrol grubunda yer alan su teresi ve su nanesi türlerinin aynı ortamdaki fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 4.5: İkili kültür kontrol gruplarındaki su teresi ve su nanesi türlerinin morfolojik değişimleri

#### 4.1.1.1.6. İkili Kültürdeki *N. officinale* Taksonunun 5 mg/L Pb Uygulaması

İkili kültürdeki 5 mg/L Pb uygulanan su terelerinde alt yapraklarda kuruma, orta yapraklarda açılma ve sararma gözlemlenmiştir. Kökte yeni tere oluşumu vardır. Tekli kültürdeki 5 mg/L Pb uygulanan su teresine göre morfolojik olarak çok daha iyi durumdadır. Aynı ortamda bulunduğu su nanesi ile Pb'yi paylaştığı için tekli kültüre göre daha az etkilenmiş olabilir. Şekil 4.6' da ikili kültür ortamında 5 mg/L Pb uygulanan su teresinin morfolojik değişimleri verilmiştir.





Şekil 4.6: İkili kültür ortamında 5 mg/L Pb uygulanan su teresinin morfolojik değişimleri

#### 4.1.1.2. *M. aquatica* Taksonunun Gelişiminde Morfolojik Gözlemler

##### 4.1.1.2.1. Tekli Kültürdeki *M. aquatica* Taksonunun Kontrol Grupları

Su nanesi tekli kültürdeki kontrol gruplarında ilk gün değişiklik görülmemiştir. 2. gün sonunda alt yapraklar sararma gözlemlenmiştir. İlerleyen günlerde sararan alt yapraklarda kısım kısım kararma başlamıştır. Deney sonunda orta ve üst yapraklar yeşil ve canlıdır. Tepe noktasında ve gövdedeki nodlarda yeni yaprak ve sürgün oluşumu görülmüştür. Kökler ve gövde canlılığını, yapraklarda yeşil dokusunu korumaktadır. Tepe kısmına doğru nodlardan yeni sürgün vermesi, su teresine göre daha fazladır. Köklerde yeni nane oluşumu gözlemlenmiştir. Şekil 4.7' de tekli kültürdeki su nanesinin kontrol gruplarının morfolojik değişimleri verilmiştir.



Şekil 4.7: Tekli kültürdeki su nanesi kontrol gruplarının morfolojik değişimleri

#### 4.1.1.2.2. Tekli Kültürdeki *M. aquatica* Taksonunun 1 mg/L Pb Uygulaması

Su nanesi tekli kültürdeki 1 mg/L Pb uygulaması gruplarında, 2. gün sonunda yapraklarda alttan sararma başlamıştır. 3. gün sonunda alt yapraklardaki sararmayı kararına izlemiştir. 4. günde orta yapraklarda sarı lekeler ve açılmalar oluşmuştur. Deney sonlandırılırken, bazı su nanelerinin alt yaprakları kuruyup dökülmüştür. Yeni kök oluşumu ve köklerde yeni nane oluşumu gözlemlenmiştir, ancak kontrole göre yeni nane daha azdır. Gövdede nodlarda yeni yaprak oluşumu görülmüştür. Şekil 4.8' de tekli kültürdeki su nanesinin 1 mg/L Pb uygulaması sonucu gösterdiği morfolojik değişimleri verilmiştir.



Şekil 4.8: Tekli kültürdeki su nanesinin 1 mg/L Pb uygulaması sonucu gösterdiği morfolojik değişimleri

#### 4.1.1.2.3. Tekli Kültürdeki *M. aquatica* Taksonunun 5 mg/L Pb Uygulaması

Su nanesi tekli kültürdeki 5 mg/L Pb uygulaması gruplarında, ilk gün morfolojik değişiklik görülmezken, 2. günün sonunda alt yapraklarda sararma başlamıştır. 3. günün sonunda sararan yapraklarda dökülme, orta yapraklarda siyah lekeler görülmüştür. 4. günün sonunda alt yapraklardaki sararma orta yapraklara taşınmıştır, alt yapraklarda sararma ve kararma miktarı artmıştır. Deney sonlandırılırken, köklerde yeni nane oluşumu gözlemlenmiştir. Alt yapraklarda sararma ve kararma, orta yapraklarda açılmalar görülmüştür. Genel anlamda bitkilerin durumu iyi, sararan ve kararan yaprak sayısı azdır. Şekil 4.9' da tekli kültürdeki su nanesinin 5 mg/L Pb uygulaması sonucu gösterdiği morfolojik değişimleri verilmiştir.



Şekil 4.9: Tekli kültürdeki su nanesinin 5 mg/L Pb uygulaması sonucu gösterdiği morfolojik değişimleri

#### 4.1.1.2.4. Tekli Kültürdeki *M. aquatica* Taksonunun 10 mg/L Pb Uygulaması

Su nanesi tekli kültürde 10 mg/L Pb uygulamasında, ilk günlerden itibaren alt yapraklarda kararma başlamıştır. 3. günün sonunda yapraklarda ve köklerde kararma hızlanmıştır. 4. günün sonunda sararan ve kararan yapraklar kuruyup dökülmeye başlamıştır. Bazı yapraklarda kurumuş halde olup, hala dalın üzerinde bulunmaktadır. Deney sonlandırılırken, köklerde yeni nane oluşumu gözlemlenmiştir. Alttaki yapraklarda kararma ve sararma çok fazladır. Ortadaki yapraklarda açılmalar görülmüştür. İki tane su nanesinde tepe noktasındaki yapraklarda kararma görülmüştür. Gövde de nodlarda yeni yapraklar oluşmuştur. Su nanesinin morfolojik olarak en fazla etkilendiği doz 10 mg/L Pb dozudur. Diğer Pb uygulamalarından farkı, yapraklarda kararma ve sararmanın çok fazla olması ve üst yapraklara kadar taşınmasıdır. En üst tepe yapraklarında bile kararma gözlemlenmiştir. Gövde eğilmeye başlamıştır. Şekil 4.10' da tekli kültürdeki su nanesinin 10 mg/L Pb uygulaması sonucu gösterdiği morfolojik değişimleri verilmiştir.



Şekil 4.10: Tekli kültürdeki su nanesinin 10 mg/L Pb uygulaması sonucu gösterdiği morfolojik değişimleri

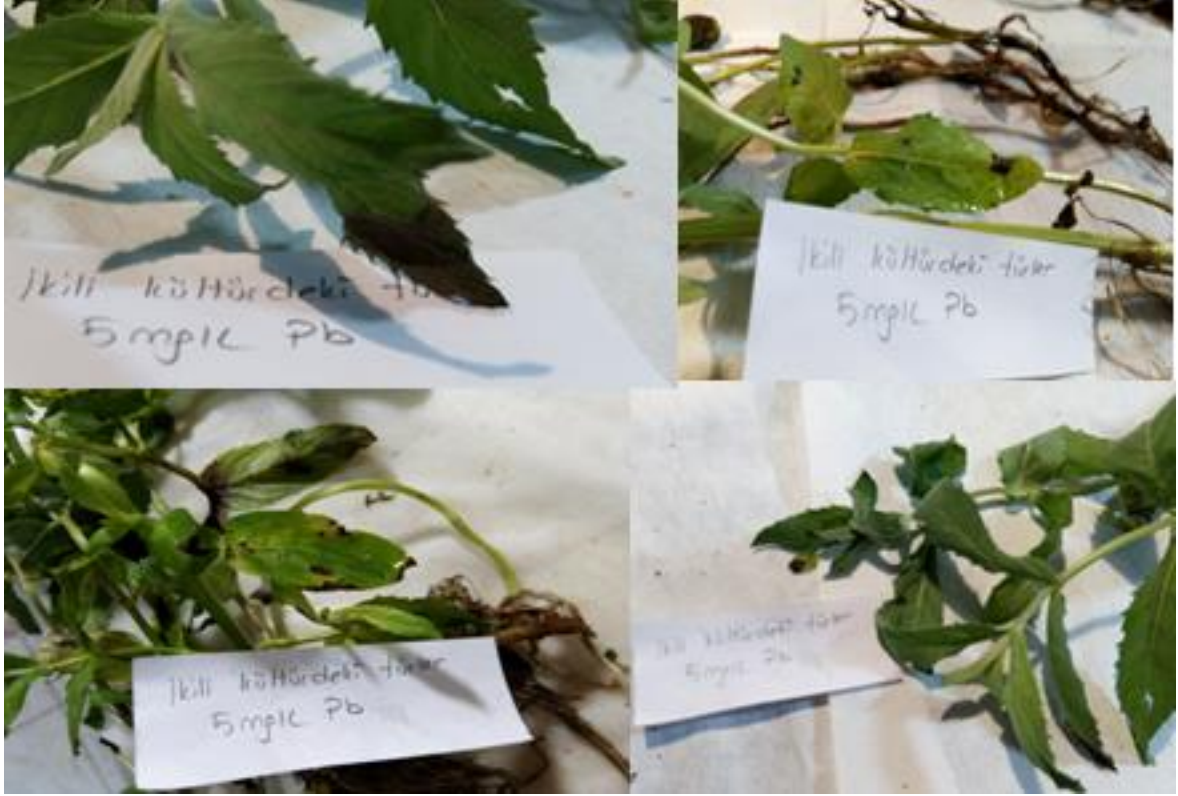
#### 4.1.1.2.5. İkili Kültürdeki *M. aquatica* Taksonunun Kontrol Grupları

İkili kültür kontrol grubundaki su nanelerinin hepsinde kökte yeni nane oluşumu, gövde de nodlarda yeni sürgünler gözlemlenmiştir ancak tekli kültüre göre çok daha azdır. Alt yapraklarda sararma ve leke leke kararmalar tekli kültüre göre daha fazladır. Kuruyan yapraklar dökülmüştür. Tekli kontrol grubu su nanelerine göre ikili kültürdeki su naneleri morfolojik olarak daha fazla etkilenmişlerdir. Ancak ikili kültürde aynı ortamda yaşadığı su teresine göre gövde dik ve bitki daha canlıdır. İkili kültürdeki nanelerin hepsinin kökünde yeni nane oluşumu görülürken, su teresinde sadece 2 terede yeni tere oluşumu görülmüştür. İkili kültür kontrol gruplarında su nanesi daha mücadeleci olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.5' te ikili kültür ortamında su teresi ile birlikte bulunan su nanesinin daha iyi durumda olduğu görülmektedir.

#### 4.1.1.2.6. İkili Kültürdeki *M. aquatica* Taksonunun 5 mg/L Pb Uygulaması

İkili kültürde 5 mg/L Pb uygulanan su nanesinde 2 türde kökte yeni nane oluşumu görülmüştür. Gövde nodunda sararan yaprak yerine yeni yaprak oluşumu gözlenmiştir. Alt yapraklarda sararma ve kararma, üst yapraklarda yumuşama gözlenmiştir. Tekli kültürdeki

5 mg/L Pb dozundaki su nanesine göre morfolojik olarak daha fazla etkilenmiştir. Şekil 4.11' de ikili kültür ortamında 5 mg/L Pb uygulanan su nanesinin morfolojik değişimleri verilmiştir.



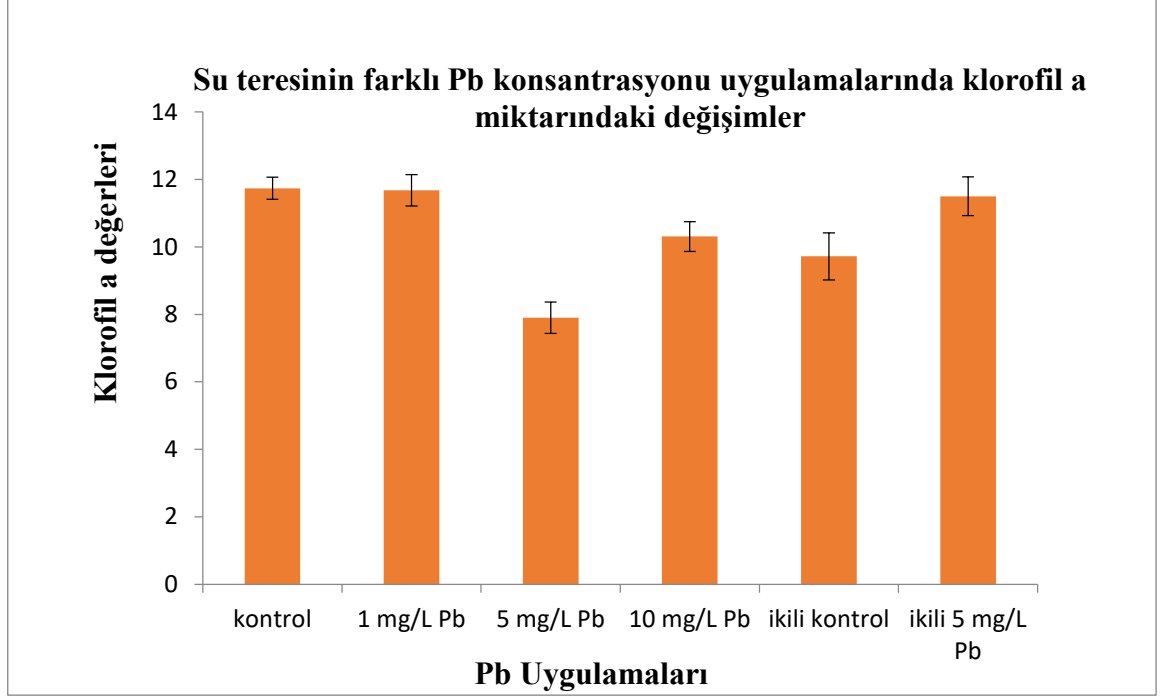
Şekil 4.11: İkili kültür ortamında 5 mg/L Pb uygulanan su nanesinin morfolojik değişimleri

#### 4.1.2. *N. officinale* ve *M. aquatica* Yapraklarında Fotosentetik Pigment Miktarı

##### 4.1.2.1. *N.officinale* Taksonunun Klorofil-a Miktarı

Su teresi tekli kültürlerindeki klorofil a değerlerinin ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (F: 17,59; df:3; P<0,01). Klorofil a değeri açısından 5 mg/L Pb uygulanan su teresi diğer tüm uygulamalardan istatistiksel olarak farklı bulunmuştur. Kontrol grubuna göre 5 mg/L Pb uygulanan su teresinin klorofil a değeri % 32,7 oranında azalma göstermiştir. Kontrol grubunun klorofil a değerine göre tüm uygulamalarda klorofil a değerinde azalma söz konusudur. Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan su teresinin klorofil a miktarları Şekil 4.12' de verilmiştir.

Su teresinin tekli kültürdeki kontrol grubu ile ikili kültürdeki kontrol grubunun klorofil a değeri açısından aralarında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır (P>0,05).



Şekil 4.12: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan *N.officinale* taksonunun klorofil a miktarı

Tekli kültürde 5 mg/L Pb uygulanan su teresi ile ikili kültürde 5 mg/L Pb uygulanan su teresinin klorofil a değerleri istatistiksel olarak farklı bulunmuştur (t: 4,85; df:4; P<0,01). Tekli kültürde 5 mg/L Pb uygulanan su teresine göre ikili kültürde 5 mg/L Pb uygulanan su teresinin klorofil a değerinde % 45,57 oranında artış olmuştur.

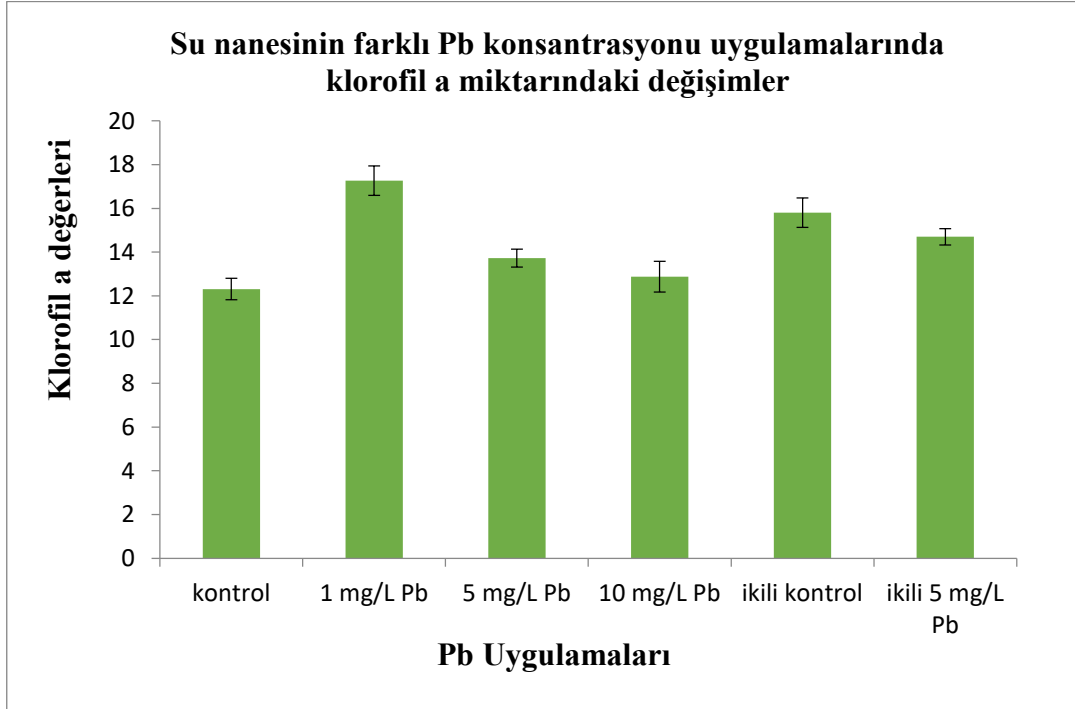
İkili kültürde, kontrol grubu ile 5 mg/L Pb uygulanan su teresi arasında önemli bir fark bulunmamıştır (P>0,05).

Su teresi tekli kültürlerindeki klorofil a değeri ile kurşun birikimi (r: -0,885; P<0,001), protein miktarı (r: -0,726; P<0,01) ve demir miktarı (r: -0,821; P<0,01 ) arasında negatif güçlü bir ilişki bulunmuştur.

#### 4.1.2.2. *M. aquatica* Taksonunun Klorofil-a Miktarı

Su nanesi tekli kültürlerindeki klorofil a değerlerinin ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (F:14,72; df:3; P<0,01). Klorofil a açısından 1 mg/L Pb uygulanan su nanesi diğer tüm uygulamalardan farklı bulunmuştur. Kontrol grubuna göre 1 mg/L Pb uygulanan su nanesinin klorofil a değeri % 40,29 oranında artış göstermiştir ve en yüksek klorofil a değerine bu konsantrasyonda ulaşılmıştır. Diğer uygulamalarda da kontrol grubuna göre daha fazla klorofil a bulunmuştur. Farklı

konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan su nanesinin klorofil a miktarları Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan *M. aquatica* taksonunun klorofil a miktarı

Su nanesinin tekli kültürdeki kontrol grubu ile ikili kültürdeki kontrol grubu arasında klorofil a açısından istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmuştur (t: 4,21; df:4; P<0,05). Tekli kültürdeki kontrol grubuna göre ikili kültürdeki kontrol grubu klorofil a değerini % 28,43 oranında arttırmıştır.

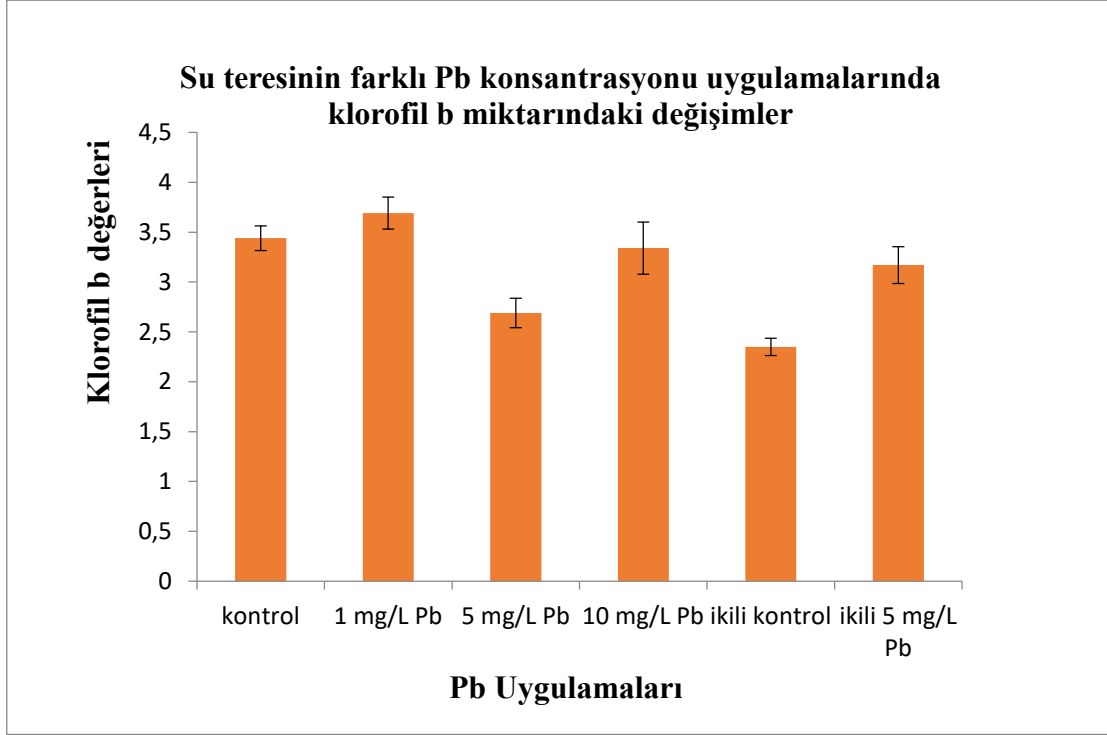
Su nanesi tekli kültürlerindeki klorofil a değeri ile kurşun birikimi arasında herhangi bir ilişki bulunmamıştır (P>0,05).

#### 4.1.2.3. *N.officinale* Taksonunun Klorofil-b Miktarı

Su teresi tekli kültürlerindeki klorofil b ortalama değerleri arasındaki fark önemli bulunmuştur (F:5,63; df:3; P<0,05). 1 mg/L Pb ve 5 mg/L Pb dozlarının uygulandığı su terelerinin klorofil b değerleri arasındaki fark önemli bulunmuştur. 5 mg/L Pb uygulamasında su teresinin klorofil b değeri en düşük değerini almıştır. 5 mg/L Pb uygulaması, kontrol grubuna göre klorofil b değerini % 21,8 oranında, 1 mg/L Pb uygulamasına göre % 27,1 oranında azaltmıştır. 10 mg/L Pb uygulamasında klorofil b



değeri tekrar yükselmiş, ancak kontrol grubundaki değerine ulaşamamıştır. En yüksek klorofil b değerine 1 mg/L Pb dozunda ulaşılmıştır. Ancak kontrol grubu ile 1 mg/L Pb dozundaki klorofil b değeri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark yoktur ( $P>0,05$ ). Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan su teresinin klorofil b miktarları Şekil 4.14' te verilmiştir.



Şekil 4.14: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan *N.officinale* taksonunun klorofil b miktarı

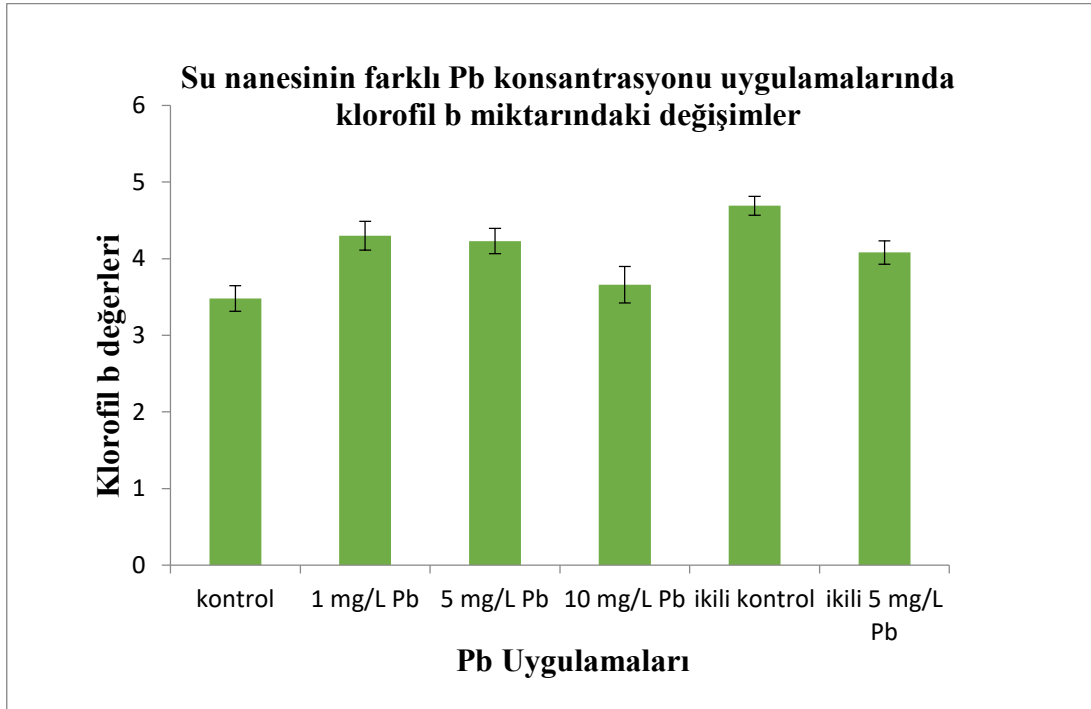
Su teresi tekli kültürdeki kontrol grubu ile ikili kültürdeki kontrol grubu arasında klorofil b değeri açısından fark önemli bulunmuştur ( $t:7,29$ ;  $df:4$ ;  $P<0,01$ ). Tekli kültürdeki kontrol grubuna göre ikili kültürdeki kontrol grubu klorofil b değerini % 31,7 oranında azaltmıştır.

İkili kültürde, kontrol grubu ile 5 mg/L Pb uygulanan su terelerinin klorofil b değerleri arasındaki fark anlamlı bulunmuştur ( $t:4,022$ ;  $df:4$ ;  $P<0,05$ ). İkili kontrol grubuna göre 5 mg/L Pb uygulanan su teresi klorofil b değerini % 34,9 oranında arttırmıştır.

Su teresi tekli kültürlerindeki klorofil b değeri ile kurşun birikimi ( $r: -0,731$ ;  $P<0,01$ ) ve demir miktarı ( $r: -0,702$ ;  $P<0,05$ ) arasında negatif güçlü bir ilişki bulunmuştur.

#### 4.1.2.4. *M. aquatica* Taksonunun Klorofil-b Miktarı

Su nanesi tekli kültürlerindeki klorofil b değerleri ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (F: 4,57; df:3; P<0,05). Kontrol grubuna göre 1 mg/L Pb uygulaması klorofil b değerini % 25, 5 mg/L Pb uygulaması klorofil b değerini % 21,5 ve 10 mg/L Pb uygulaması klorofil b değerini % 5,2 oranında artış göstermiştir. En yüksek klorofil b değerine 1 mg/L Pb dozunda ulaşılmıştır. Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan su nanenin klorofil b miktarları Şekil 4.15' te verilmiştir.



Şekil 4.15: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan *M. aquatica* taksonunun klorofil b miktarı

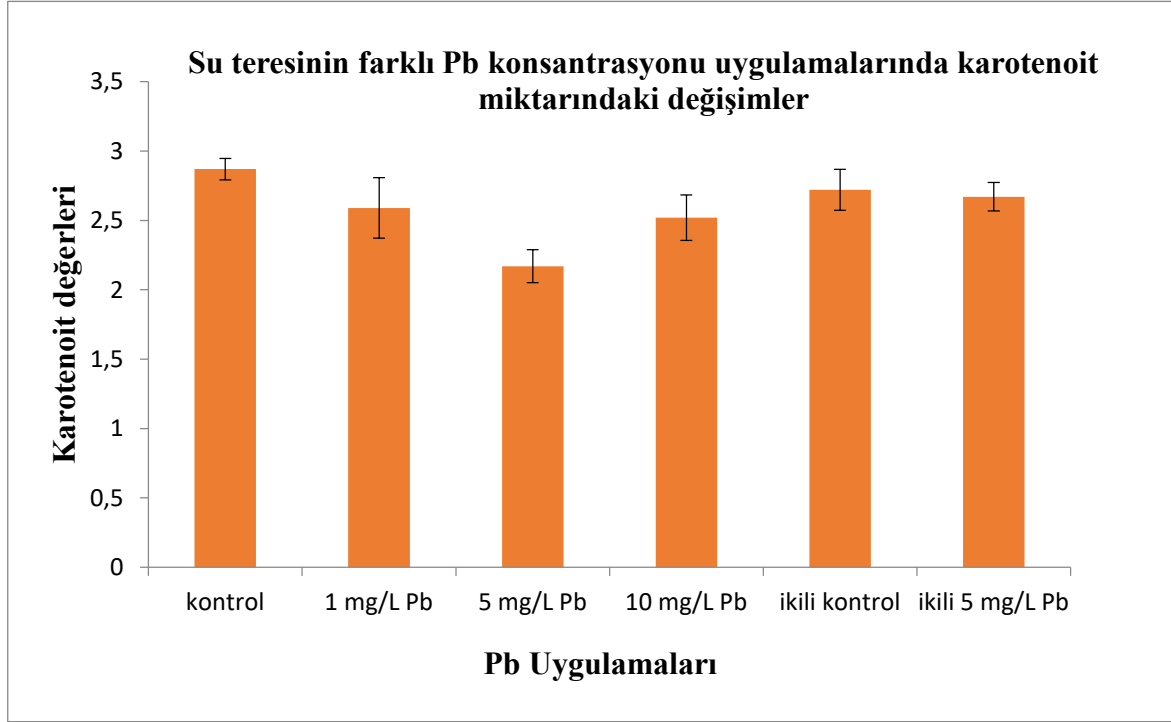
Tekli kültürdeki su nanenin kontrol grubu ile ikili kültürdeki kontrol grubu klorofil b değeri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (t: 5,72; df:4; P<0,01). Tekli kültürdeki kontrol grubuna göre ikili kültürdeki kontrol grubu klorofil b değerini % 34,7 oranında arttırmıştır.

İkili kültürde, kontrol grubu su nanesi ile 5 mg/L Pb uygulanan su nanesi klorofil b değerleri arasındaki fark önemli bulunmuştur (t: 2,95; df:4; P<0,05). Kontrol grubuna göre 5 mg/L Pb uygulanmış olan su nanesi klorofil b değerini % 13 oranında azaltmıştır.

Su nanesi tekli kültürlerindeki klorofil b değeri ile kurşun birikimi arasında herhangi bir ilişki bulunmamıştır (P>0,05).

#### 4.1.2.5. *N.officinale* Taksonunun Karotenoit Miktarı

Su teresi tekli kültürlerinin karotenoit ortalama değerleri arasındaki fark önemsiz bulunmuştur (F: 3,47; df:3; P>0,05). Sadece kontrol grubu ile 5 mg/L Pb uygulanan su teresi karotenoit değerleri arasında fark bulunmuştur (P<0,05). Kontrol grubuna göre diğer tüm uygulamalarda karotenoit değeri düşüş göstermiştir. Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan su teresinin karotenoit miktarları Şekil 4.16' da verilmiştir.



Şekil 4.16: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan *N.officinale* taksonunun karotenoit miktarı

Karotenoit değeri açısından tekli ve ikili kültürler karşılaştırıldığında; sadece tekli kültürdeki 5 mg/L Pb uygulaması ile ikili kültürde 5 mg/L Pb uygulanan su teresi karotenoit değerleri arasındaki fark anlamlı bulunmuş olup (t: 3,142; df:4; P<0,05), ikili kültürdeki 5 mg/L Pb uygulanmış su teresi, tekli kültürdeki 5 mg/L Pb uygulanmış su teresine göre karotenoit değerini % 23 oranında arttırmıştır.

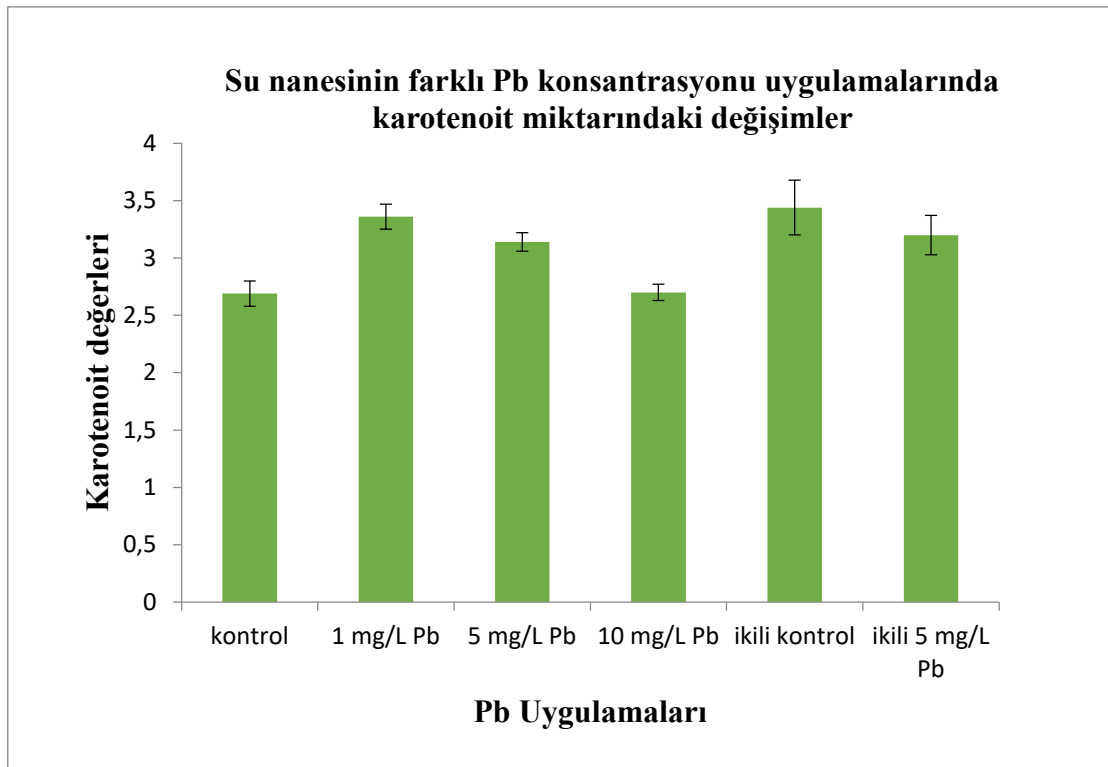
Su teresi tekli kültürdeki karotenoit değeri ile kurşun birikimi (r: -0,696; P<0,05), demir miktarı (r:-0,665; P<0,05) ve protein miktarı (r:-0,661; P<0,05) arasında negatif bir ilişki bulunmuştur.

#### 4.1.2.6. *M. aquatica* Taksonunun Karotenoit Miktarı

Su nanesi tekli kültürdeki karotenoit değeri ortalamaları arasındaki fark önemli bulunmuştur (F: 9,012; df:3; P<0,01). Kontrol grubuna göre 1 ve 5 mg/L Pb uygulamalarındaki karotenoit değerlerinde sırasıyla % 25 ve % 16,7 oranında bir artış belirlenmiştir. 10 mg/L Pb dozu uygulanan su nanesi karotenoit değeri kontrol grubuna yakın bir değer almıştır. Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan su nanesinin karotenoit miktarları Şekil 4.17' de verilmiştir.

Su nanesi ikili kültür değerleri incelendiğinde, sadece tekli kontrol grubu ile ikili kültürdeki kontrol grubu karotenoit değeri arasında bir fark bulunmuştur (t: 2,842; df:4; P<0,05). İkili kültürdeki kontrol grubu tekli kültürdeki kontrol grubuna göre karotenoit değerini % 27,8 oranında arttırmıştır.

Su nanesi tekli kültürlerindeki karotenoit değerleri ile kurşun birikimi (P>0,05) arasında herhangi bir ilişki bulunmamıştır.



Şekil 4.17: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan *M. aquatica* taksonunun karotenoit miktarı

#### **4.1.2.7. Fotosentetik Pigment Miktarlarının Arasındaki İlişki**

Su teresi tekli kültürlerindeki klorofil a, klorofil b ve karotenoit değerleri arasında güçlü bir pozitif ilişki bulunmuştur. Klorofil a ve klorofil b arasında ( $r: 0,916; P<0,001$ ), klorofil a ve karotenoit arasında ( $r: 0,868; P<0,001$ ) ve klorofil b ve karotenoit arasında ( $r: 0,823; P<0,01$ ) ki ilişkiler istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

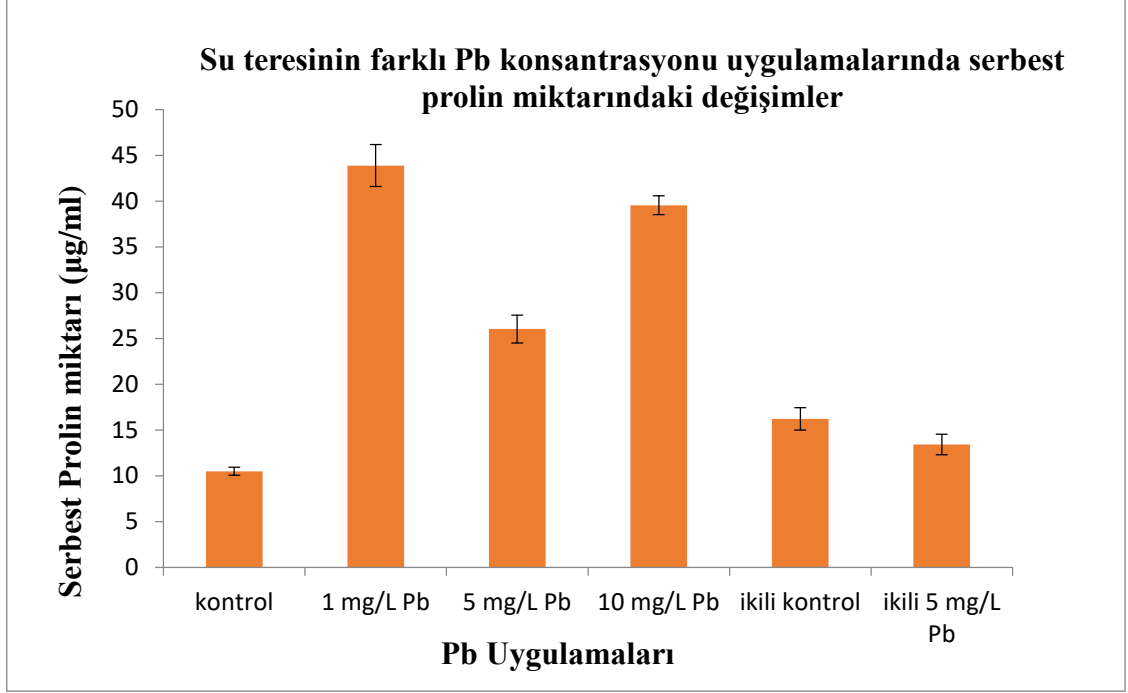
Su nanesinde de tekli kültürlerdeki klorofil a, klorofil b ve karotenoit değerleri arasında güçlü bir pozitif ilişki bulunmuştur. Klorofil a ve klorofil b arasında ( $r: 0,742; P<0,01$ ), klorofil a ve karotenoit arasında ( $r: 0,818; P<0,01$ ) ve klorofil b ve karotenoit arasında ( $r: 0,802; P<0,01$ ) ki ilişkiler istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

#### **4.1.3. *N. officinale* ve *M. aquatica* Taksonlarının Serbest Prolin Miktarları**

##### **4.1.3.1. *N.officinale* Taksonunun Serbest Prolin Miktarı**

Su teresi tekli kültürlerinin serbest prolin ortalama değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur ( $F: 102,98; df:3; P<0,001$ ). Kontrol grubuna göre; 1, 5 ve 10 mg/L Pb uygulanan su tereleri serbest prolin değerlerini sırasıyla % 318,6, % 148,3 ve % 277 oranında arttırmışlardır. Su teresi en yüksek serbest prolin değerine 1 mg/L Pb dozunda ulaşmıştır. Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan su teresinin serbest prolin miktarları Şekil 4.18' de verilmiştir.

Su teresi tekli kültürdeki kontrol grubu ile ikili kültürdeki kontrol grubu arasında serbest prolin miktarı ortalamaları açısından fark anlamlı bulunmuştur ( $t: 4,436; df:4; P<0,05$ ). Tekli kültürdeki kontrol grubuna göre ikili kültürdeki kontrol grubu su teresi serbest prolin değerini % 54,7 oranında arttırmıştır.

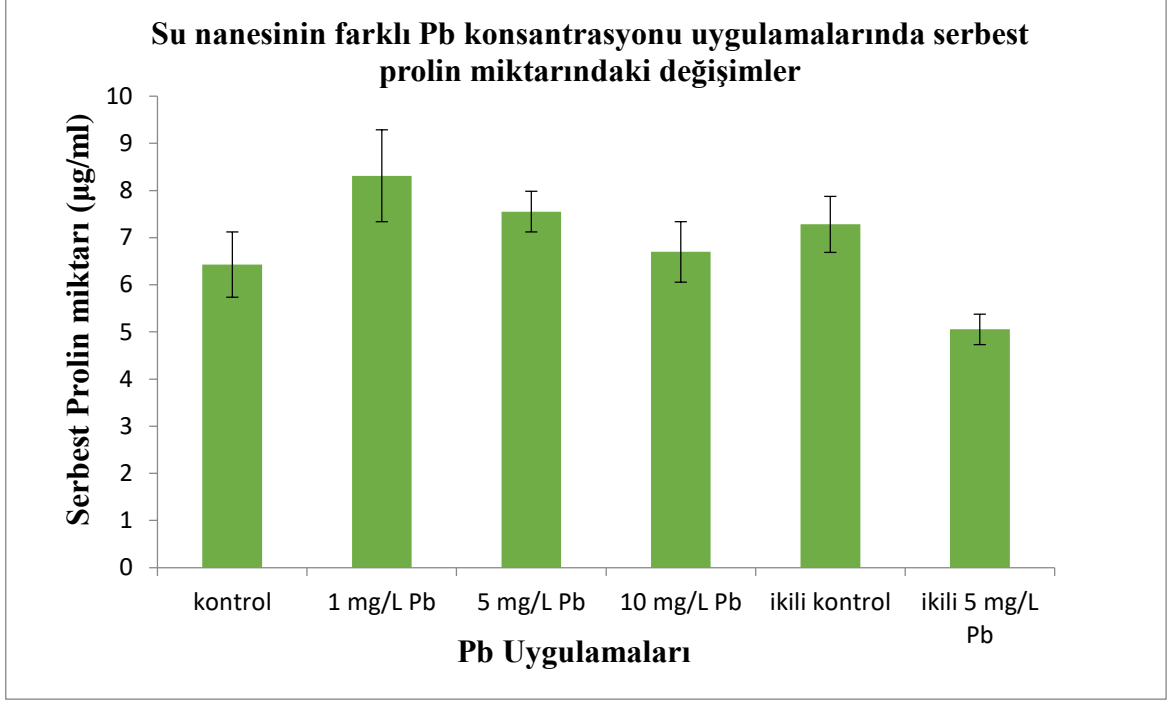


Şekil 4.18: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan *N.officinale* taksonunun serbest prolin miktarı

Su teresi tekli kültürdeki 5 mg/L Pb uygulaması ile ikili kültürdeki 5 mg/L Pb uygulaması serbest prolin ortalama değerleri arasındaki fark anlamlı bulunmuştur ( $t: 6,723$ ;  $df:4$ ;  $P<0,01$ ). Tekli kültürde 5 mg/L Pb uygulanmış olan su teresine göre ikili kültürde 5 mg/L Pb uygulanmış su teresi serbest prolin değerini % 48,5 oranında azaltmıştır.

#### 4.1.3.2. *M. aquatica* Taksonunun Serbest Prolin Miktarı

Su nanesi tekli kültürdeki serbest prolin değeri ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ( $F: 1,45$ ;  $df:3$ ;  $P>0,05$ ). Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan su nanesinin serbest prolin miktarları Şekil 4.19' da verilmiştir.



Şekil 4.19: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan *M.aquatica* taksonunun serbest prolin miktarı

#### 4.1.4. *N. officinale* ve *M. aquatica* Taksonlarının Protein Miktarları

##### 4.1.4.1. *N. officinale* Taksonunun Protein Miktarı

Su teresi tekli kültürlerinin protein değerlerinin ortalamaları arasındaki fark önemli bulunmuştur (F: 11,74; df:3; P<0,01). Kontrol grubunun toplam protein miktarına göre 1, 5 ve 10 mg/L Pb uygulanan su terelerinin protein miktarı sırasıyla % 13,3, % 25,2 ve % 18,7 oranında artış göstermiştir. 5 mg/L Pb dozunda en yüksek değerini alan protein miktarı, hiçbir dozda kontrol grubu seviyesine düşmemiştir. Pb stresi arttıkça, protein miktarı artmıştır. 5 mg/L Pb ve 10 mg/L Pb dozlarındaki protein miktarları arasındaki fark anlamsız (P>0,05) bulunmuştur. Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan su teresinin protein miktarları Şekil 4.20' de verilmiştir.

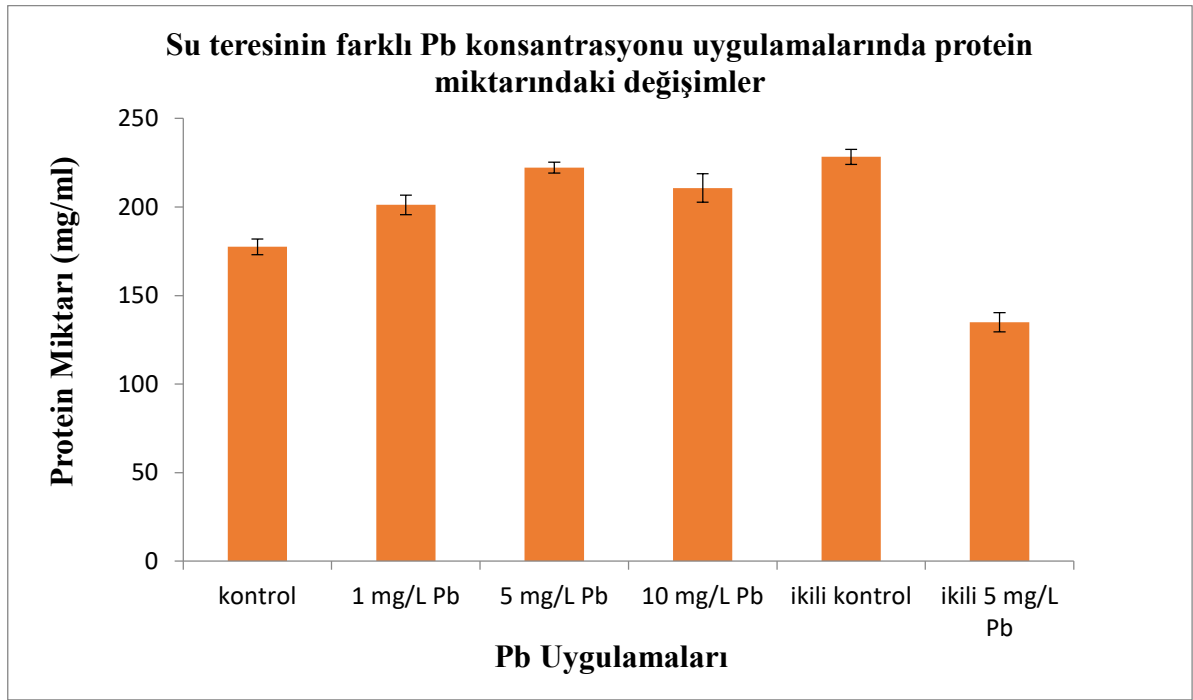
Su teresi tekli kültürdeki kontrol grubu ile ikili kültürdeki kontrol grubu arasındaki protein miktarlarının farkı önemli bulunmuştur (t: 8,332; df:4; P<0,01). Tekli kültüre göre ikili kültürdeki kontrol grubu protein miktarını % 28,6 oranında arttırmıştır.

Tekli kültürde 5 mg/L Pb uygulanan su teresinin protein değeri ile ikili kültürdeki 5 mg/L Pb uygulanan su teresinin protein değeri arasındaki fark önemli derecede anlamlı bulunmuştur (t: 14,09; df:4; P<0,001). İkili kültürdeki 5 mg/Pb uygulanan su teresi tekli kültürde 5 mg/Pb uygulanan su teresine göre protein değerini %39,27 oranında azaltmıştır.

İkili kültürde; kontrol grubu su teresi ile 5 mg/L Pb uygulanmış su teresinin protein değerleri arasındaki fark çok önemli bulunmuş olup ( $t:13,592$ ;  $df:4$ ;  $P<0,001$ ), Pb uygulanmış su teresinin protein değeri kontrol grubuna göre % 40,8 oranında azalmıştır.

Su teresi tekli kültürlerindeki protein değerleri ile klorofil-a ( $r: -0,726$ ;  $P<0,01$ ) ve karotenoid değerleri ( $r: -0,661$ ;  $P<0,05$ ) arasında negatif güçlü bir ilişki bulunmuştur.

Su teresi tekli kültürlerindeki protein değerleri ile demir ( $r: 0,692$ ;  $P<0,05$ ) ve kurşun ( $r: 0,804$ ;  $P<0,01$ ) değerleri arasında pozitif güçlü bir ilişki bulunmuştur.



Şekil 4.20: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan *N. officinale* taksonunun protein miktarı

#### 4.1.4.2. *M. aquatica* Taksonunun Protein Miktarı

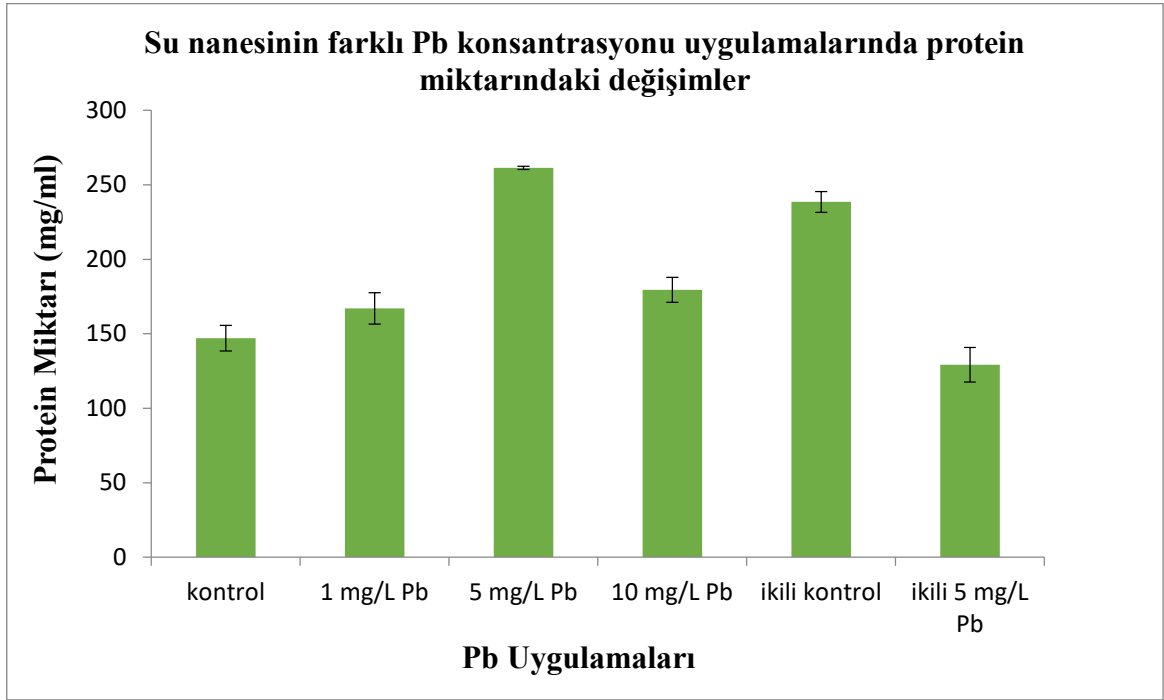
Su nanesi tekli kültürlerinin protein miktarı ortalamalarının arasındaki fark çok önemli bulunmuştur ( $F:39,73$ ;  $df:3$ ;  $P<0,001$ ). 5 mg/L Pb uygulanmış su nanesinin protein değeri diğer tüm uygulamalardan istatistiksel olarak önemli derecede farklı bulunmuştur ( $P<0,001$ ). 5 mg/Pb dozunda su nanesi en yüksek protein değerine ulaşmış olup, kontrol grubuna göre protein miktarını % 77,8 oranında arttırmıştır. Kontrol grubuna göre tüm Pb uygulama dozlarında protein değerinde artış görülmüştür. Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan su nanesinin protein miktarları Şekil 4.21' de verilmiştir.

Su nanesinin tekli kontrol grubundaki protein değeri ile ikili kültürdeki kontrol grubu



protein değeri arasındaki fark anlamlı (t: 8,266; df:4; P<0,01) bulunmuştur. İkili kültürdeki kontrol grubu protein değerinde tekli kültürdeki kontrol grubuna göre % 62,2 artış görülmüştür.

5 mg/L Pb uygulanan tekli kültürdeki su nanesinin protein değeri ile 5 mg/L Pb uygulanan ikili kültürdeki su nanesinin protein değeri arasındaki fark (t: 11,341; df:4; P<0,001) çok anlamlı bulunmuş olup, ikili kültürde tekli kültüre göre protein değeri % 50,5 azalma göstermiştir.



Şekil 4.21: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan *M. aquatica* taksonunun protein miktarı

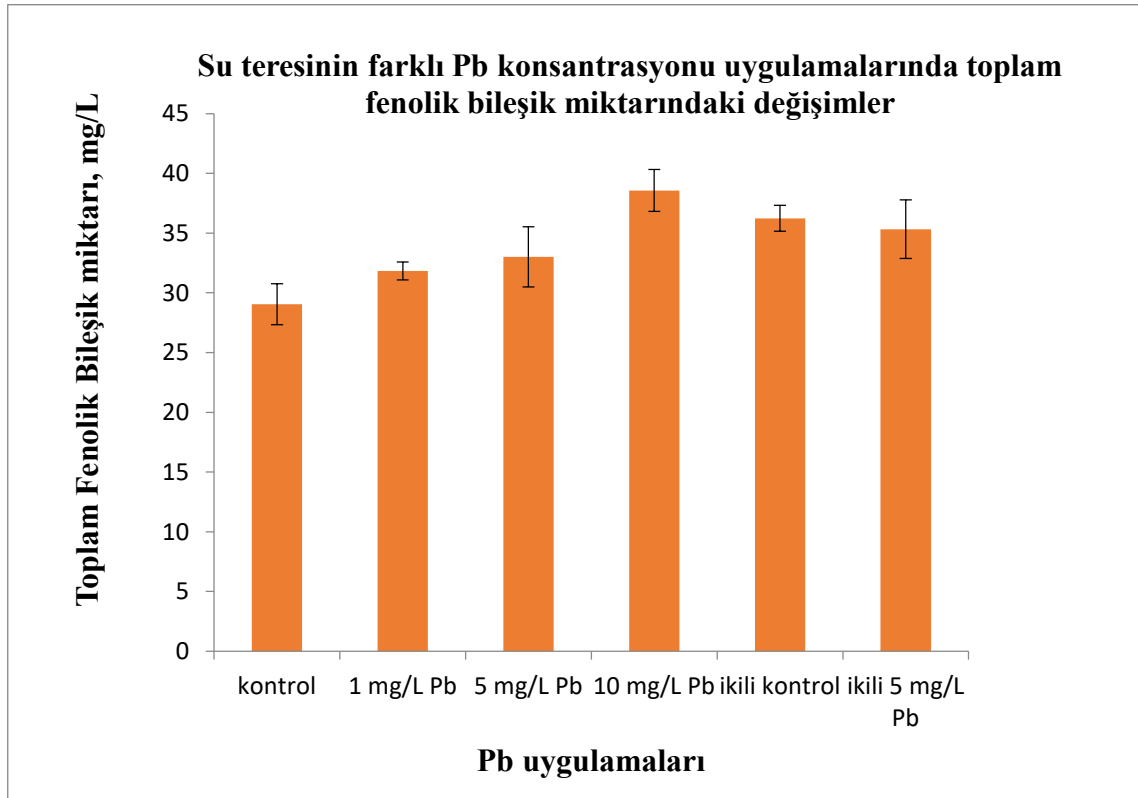
İkili kültürde; kontrol grubu ve 5 mg/L Pb uygulanan su nanesinin protein değerleri arasındaki fark anlamlı bulunmuş olup (t: 8,067; df:4; P<0,01), 5 mg/L Pb dozunda kontrole grubuna göre protein değeri % 45,8 oranında azalmıştır.

Su nanesi tekli kültürlerindeki protein değerleri ile toplam fenolik bileşik (r: 0,758; P<0,01) ve kurşun değerleri (r:0,822; P<0,01) arasında pozitif bir ilişki bulunmuştur.

#### 4.1.5. *N. officinale* ve *M. aquatica* Taksonlarının Toplam Fenolik Bileşiklerin Miktarları

##### 4.1.5.1. *N.officinale* Taksonunun Toplam Fenolik Bileşik Miktarı

Su teresi tekli kültürlerindeki kontrol grubu, 1, 5 ve 10 mg/L Pb uygulanan türlerinin toplam fenolik bileşik değerlerinin ortalamaları arasındaki fark önemli bulunmuştur (F: 4,96; df:3; P<0,05) Pb konsantrasyonu arttıkça, toplam fenolik bileşik değeri artış göstermiştir. Kontrol grubu ile 10 mg/L Pb dozundaki toplam fenolik bileşik değerinin farkı anlamlı bulunmuş olup (P<0,05); kontrol grubuna göre 10 mg/L Pb dozu toplam fenolik bileşik değeri %32,8 oranında artış göstermiştir ve su teresi en yüksek toplam fenolik bileşik miktarına 10 mg/L Pb uygulamasında ulaşmıştır. Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan su teresinin toplam fenolik bileşik miktarları Şekil 4.22'de verilmiştir.



Şekil 4.22: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan *N.officinale* taksonunun toplam fenolik bileşik miktarı

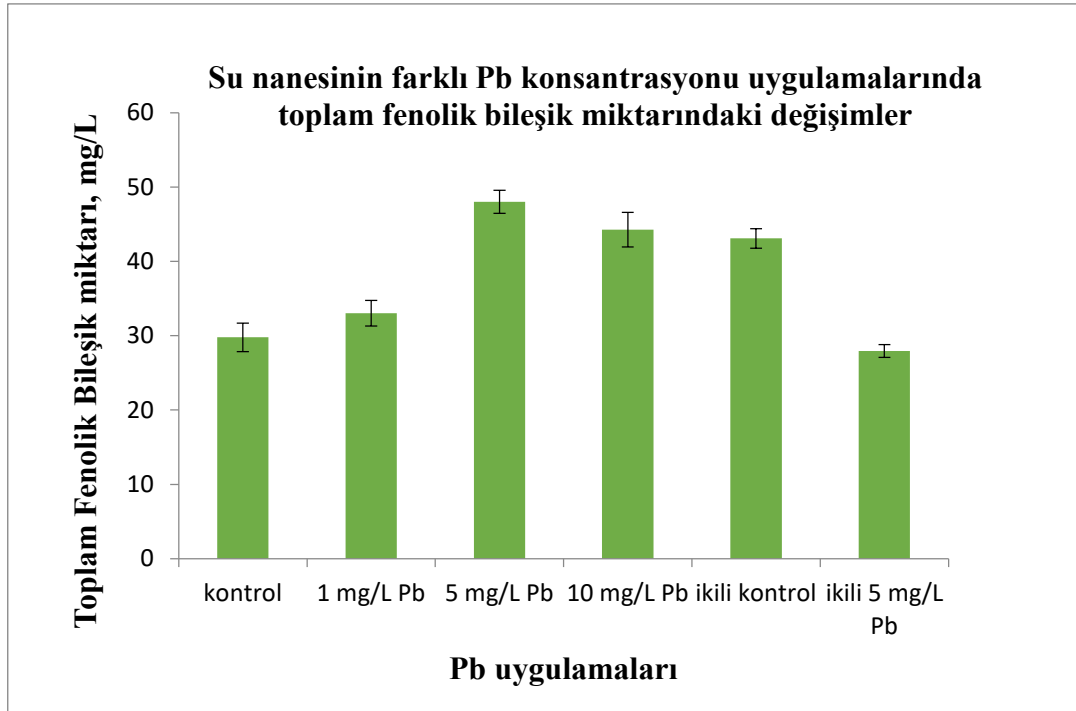
Su teresi tekli kültürdeki kontrol grubu ile ikili kültürdeki kontrol grubu arasında toplam fenolik bileşik değeri ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (t: 3,54; df:4; P<0,05). İkili kültürdeki kontrol grubu su teresi, tekli kültürdeki

kontrol grubu su teresine göre toplam fenolik bileşik değerini %24,8 arttırmıştır.

Su teresinin tekli kültürlerindeki toplam fenolik bileşik değerleri ile fosfor değerleri arasında negatif bir ilişki bulunmuştur ( $r: -0,600$ ;  $P<0,05$ ).

#### 4.1.5.2. *M. aquatica* Taksonunun Toplam Fenolik Bileşik Miktarı

Su nanesi tekli kültürlerindeki toplam fenolik bileşik değeri ortalamaları arasındaki fark çok önemli bulunmuştur ( $F: 21,134$ ;  $df:3$ ;  $P<0,001$ ). Su nanesinde toplam fenolik bileşik değeri en yüksek değerine 5 mg/L Pb dozunda ulaşmıştır. Tüm Pb uygulamalarının toplam fenolik bileşik değerleri kontrol grubuna göre yüksek bulunmuş olup; kontrol grubuna göre 1,5 ve 10 mg/L Pb uygulanmış su nanelerinin toplam fenolik bileşik değerleri sırasıyla % 10,8, % 61,2 ve % 48,5 oranında artış göstermiştir. Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan su nanesinin toplam fenolik bileşik miktarları Şekil 4.23'te verilmiştir.



Şekil 4.23: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan *M. aquatica* taksonunun toplam fenolik bileşik miktarı

Su nanesi tekli kontrol grubu ile ikili kontrol grubu toplam fenolik bileşik değerleri arasındaki fark ( $t: 5,692$ ;  $df:4$ ;  $P<0,01$ ) anlamlı bulunmuştur. Tekli kültürdeki kontrol grubuna göre ikili kültürdeki kontrol grubu toplam fenolik bileşik değerini % 44,6

oranında arttırmıştır.

Tekli kültürdeki 5 mg/L Pb uygulanan su nanesi ile ikili kültürde 5 mg/L Pb uygulanan su nanesi toplam fenolik bileşik değeri arasındaki fark (t: 11,306; df:4; P<0,001) çok önemli bulunmuş olup; ikili kültürde 5 mg/L Pb uygulanan su nanesine göre tekli kültürdeki 5 mg/L Pb dozu uygulanan su nanesi toplam fenolik bileşik değerini % 41,8 oranında azaltmıştır.

İkili kültürdeki kontrol grubu su nanesi ile ikili kültürdeki 5 mg/L Pb uygulanan su nanesi arasındaki toplam fenolik bileşik değeri istatistiksel olarak farklı bulunmuştur (t: 9,520; df:4; P<0,01). İkili kültürdeki kontrol grubuna göre ikili kültürdeki 5 mg/L Pb uygulanmış su nanesi toplam fenolik bileşik değerini %35,1 oranında azaltmıştır.

Su nanesinin tekli kültürlerindeki toplam fenolik bileşik miktarları ile protein miktarı (r: 0,758; P<0,01), magnezyum miktarı (r: 0,630; P<0,05) ve adsorpladığı kurşun miktarı (r: 0,906; P<0,001) arasında güçlü bir pozitif ilişki bulunmuştur.

#### **4.1.6. *N. officinale* ve *M. aquatica* Taksonlarının Adsorpladığı Toplam Kurşun Miktarı**

##### **4.1.6.1. *N. officinale* Taksonunun Adsorpladığı Toplam Kurşun Miktarı**

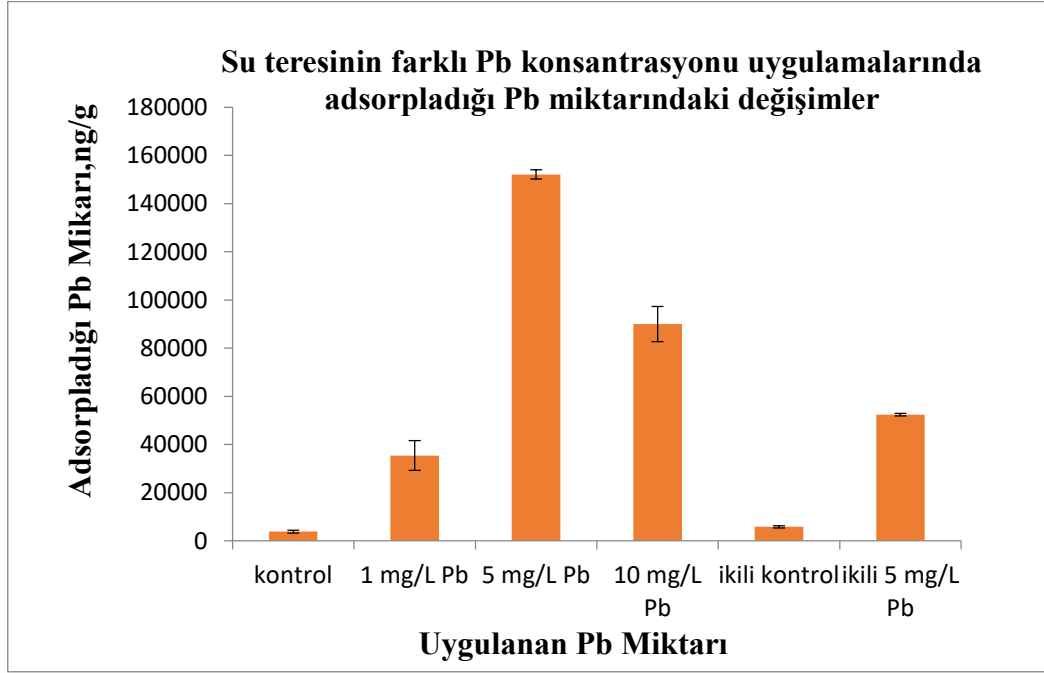
Su teresi tekli kültürlerindeki farklı konsantrasyonlardaki Pb uygulamalarında, su teresinin adsorbe ettiği Pb miktarı ortalamaları arasındaki fark çok önemli bulunmuştur (F: 177,034; df:3; P<0,001). Tüm Pb uygulamalarında adsorplanan Pb miktarı birbirinden farklı bulunmuştur (P<0,001). 5 mg/L Pb uygulamasında su teresi en yüksek Pb birikimini göstermiştir. 10 mg/L Pb uygulamasında ise 5 mg/L Pb uygulamasına göre Pb miktarı % 40,82 oranında azalmıştır. Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan su teresinin toplam Pb miktarları Şekil 4.24'te verilmiştir.

Tekli kültürdeki 5 mg/L Pb uygulanan su teresinin adsorpladığı Pb miktarı ile ikili kültürde 5mg/L Pb uygulanan su teresinin biriktirdiği Pb miktarı birbirinden farklı bulunmuştur (t: 51,030; df:4; P<0,001). Tekli kültürde 5 mg/L Pb uygulanan su teresinin adsorpladığı Pb miktarına göre ikili kültürde 5 mg/L Pb uygulanan su teresi Pb miktarı % 65,5 oranında azalmıştır.

İkili kültürdeki kontrol grubu ile 5 mg/L Pb uygulanan su teresi arasındaki Pb miktarı istatistiksel olarak farklı bulunmuştur (t: 62,901; df:4; P<0,001).

Su teresi tekli kültürdeki adsorpladığı Pb miktarı ile klorofil a, klorofil b ve karotenoid değerleri arasında negatif bir ilişki mevcuttur (r: -0,885, P<0,001; r: -0,731,

P<0,01; r: -0,696, P<0,05). Su teresi tekli kültürdeki adsorpladığı Pb miktarı ile protein ve demir miktarı arasında pozitif bir ilişki bulunmuştur (r: 0,804, P<0,01; r: 0,850, P<0,001).



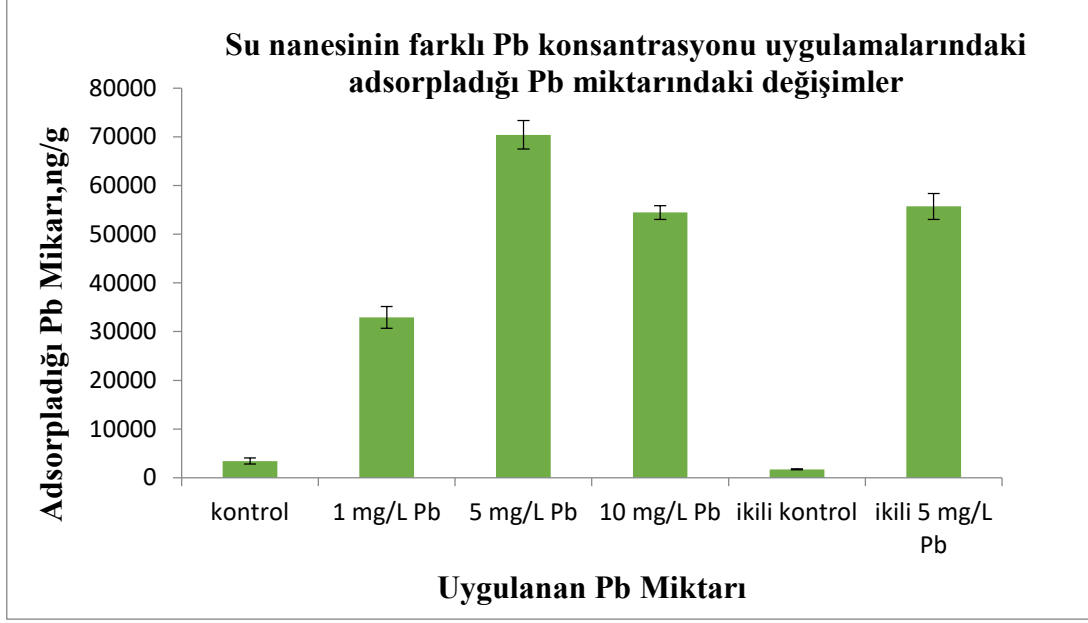
Şekil 4.24: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan *N. officinale* taksonunun toplam Pb miktarı

#### 4.1.6.2. *M. aquatica* Taksonunun Adsorpladığı Toplam Kurşun Miktarı

Su nanesi tekli kültürdeki adsorplanan Pb miktarı ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur (F:212,81; df:3; P<0,001). Tüm uygulamalar istatistiksel olarak birbirinden farklı bulunmuştur. En yüksek kurşun birikimine 5 mg/L Pb değerinde ulaşılmıştır. 5 mg/L Pb uygulamasına göre 10 mg/L Pb uygulanmış su nanesi Pb miktarını % 22,67 oranında azaltmıştır. Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan su nanesinin toplam Pb miktarları Şekil 4.25'te verilmiştir.

Tekli kültürde 5 mg/L Pb uygulanan su nanesi ile ikili kültürde 5 mg/L Pb uygulanan su nanesi Pb değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (t: 3,729; df:4; P<0,05). Tekli kültürdeki 5 mg/L Pb uygulamasına göre ikili kültürde 5 mg/L Pb uygulanan su nanesinin Pb değeri % 20,9 oranında azalmıştır.

Su nanesi tekli kültürdeki adsorpladığı Pb miktarı ile protein, toplam fenolik bileşik ve magnezyum miktarı arasında pozitif bir ilişki bulunmuştur (r: 0,822, P<0,01; r: 0,906, P<0,001; r: 0,579, P<0,05).



Şekil 4.25: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan *M. aquatica* taksonunun toplam Pb miktarı

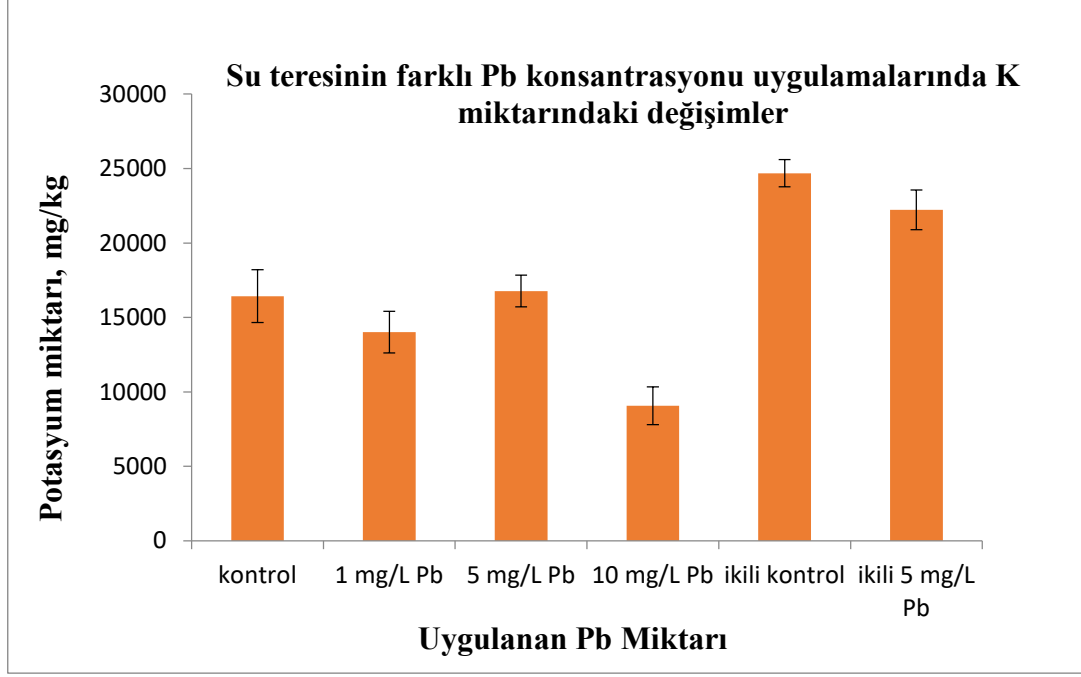
#### 4.1.7. *N. officinale* ve *M. aquatica* Taksonlarının Toplam Potasyum Miktarı

##### 4.1.7.1. *N. officinale* Taksonunun Toplam Potasyum Miktarı

Su teresi tekli kültürdeki potasyum (K) miktarı ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (F:6,470; df:3; P<0,05). 10 mg/L Pb uygulaması, kontrol grubu ve 5 mg/L Pb uygulamalarından K açısından istatistiksel olarak farklı bulunmuştur. 10 mg/L Pb dozundaki su teresinin K miktarı kontrol grubuna göre % 44,8 azalmıştır. Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan su teresinin toplam K miktarları Şekil 4.26'da verilmiştir.

Tekli kültürdeki kontrol grubu su teresi K değeri ile ikili kültürdeki kontrol grubu su teresi K değeri birbirinden farklı bulunmuştur (t: 4,146; df:4; P<0,05). İkili kültürdeki kontrol grubu tekli kültürdeki kontrol grubuna göre K miktarını % 50,25 oranında arttırmıştır.

Tekli kültürdeki 5 mg/L Pb uygulanan su teresinin K miktarı ile ikili kültürdeki 5 mg/L Pb uygulanan su teresinin K miktarı farklı bulunmuştur (t: 3,197; df:4; P<0,05). Tekli kültürdeki 5 mg/L Pb uygulamasına göre ikili kültürde 5 mg/L Pb uygulanan su teresi K miktarını % 32,53 oranında artış göstermiştir.



Şekil 4.26: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan *N. officinale* taksonunun toplam K miktarı

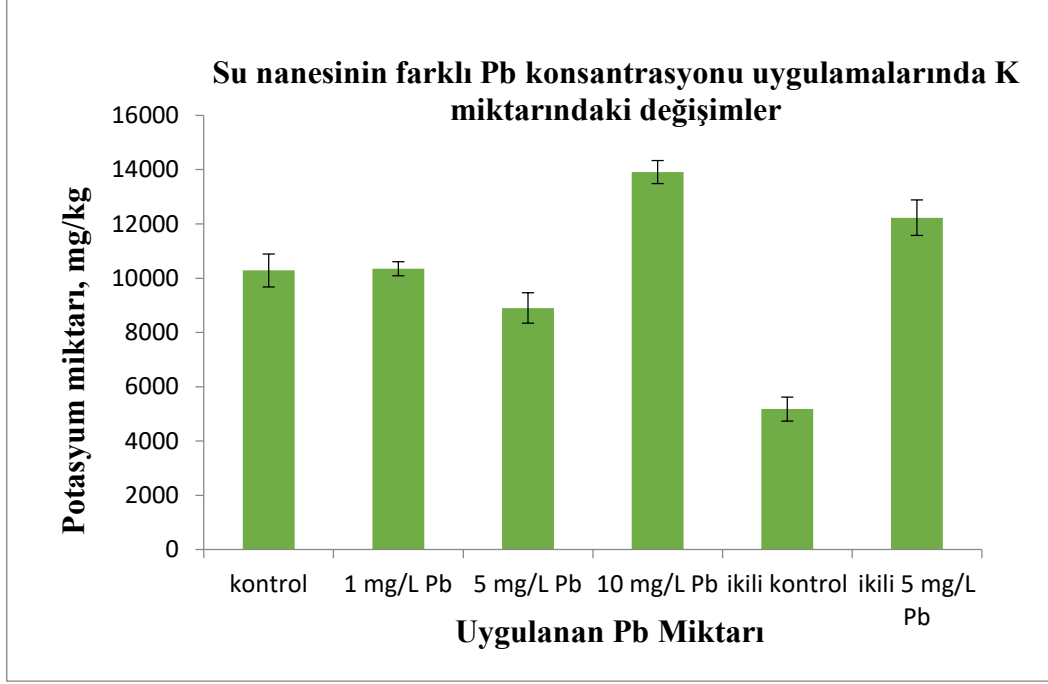
İkili kültürdeki kontrol grubu ile ikili kültürdeki 5 mg/L Pb uygulanan su teresinin K miktarı arasındaki fark anlamlı bulunmamıştır ( $P>0,05$ ).

Su teresi tekli kültürlerindeki K değeri ile fosfor değeri ( $r: 0,798$ ;  $P<0,01$ ) ve magnezyum değeri ( $r: 0,728$ ;  $P<0,01$ ) ile pozitif bir ilişki göstermiştir.

#### 4.1.7.2. *M. aquatica* Taksonunun Toplam Potasyum Miktarı

Su nanesi tekli kültürlerindeki K miktarı ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur ( $F: 19,626$ ;  $df:3$ ;  $P<0,001$ ). 10 mg/L Pb dozu uygulanan su nanesinin K miktarı diğer tüm uygulamaların K miktarından farklı bulunmuştur. K miktarı en yüksek değerine 10 mg/L Pb dozunda ulaşmış olup, kontrol grubuna göre K değerini % 35,2 oranında arttırmıştır. Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan su nanesinin toplam K miktarları Şekil 4.27'de verilmiştir.

Tekli kültürdeki kontrol grubu su nanesi ile ikili kültürdeki kontrol grubu K değeri birbirinden farklı bulunmuştur ( $t: 6,795$ ;  $df:4$ ;  $P<0,01$ ). Tekli kültürdeki kontrol grubunun K miktarına göre ikili kültürdeki kontrol grubunun K miktarı % 49,65 oranında azalmıştır.



Şekil 4.27: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan *M. aquatica* taksonunun toplam K miktarı

Tekli kültürde 5 mg/L Pb uygulanan su nanesi K miktarı ile ikili kültürdeki 5 mg/L Pb uygulanan su nanesi K miktarı birbirinden farklı bulunmuştur (t: 3,861; df:4; P<0,05). Tekli kültürde 5 mg/L Pb uygulamasına göre ikili kültürdeki 5 mg/L Pb uygulanan su nanesi K miktarı % 37,35 oranında artış göstermiştir.

İkili kültürdeki kontrol grubu su nanesi K değeri ile ikili kültürdeki 5 mg/L Pb uygulanmış su nanesi K değeri farklı bulunmuştur (t: 8,932; df:4; P<0,01). İkili kültürdeki kontrol grubuna göre ikili kültürdeki 5 mg/L Pb uygulanmış su nanesi K değeri % 136,1 oranında artış göstermiştir.

Su nanesi tekli kültürdeki K miktarı ile fosfor miktarı (r: 0,903; P<0,001), demir miktarı (r: 0,693; P<0,05) ve magnezyum miktarı (r: 0,709; P<0,05) arasında pozitif ilişki bulunmuştur.

#### 4.1.8. *N. officinale* ve *M. aquatica* Taksonlarının Toplam Fosfor Miktarı

##### 4.1.8.1. *N. officinale* Taksonunun Toplam Fosfor Miktarı

Su teresi tekli kültürlerindeki fosfor (P) değerlerinin ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur (F: 90,990; df:3; P<0,001). Su teresi tekli kültürlerinde 5 mg/L Pb ve 10 mg/L Pb uygulanan su tereleri P değeri istatistiksel olarak diğer uygulamalardan farklı bulunmuştur. En fazla P değerine 5 mg/L Pb dozunda

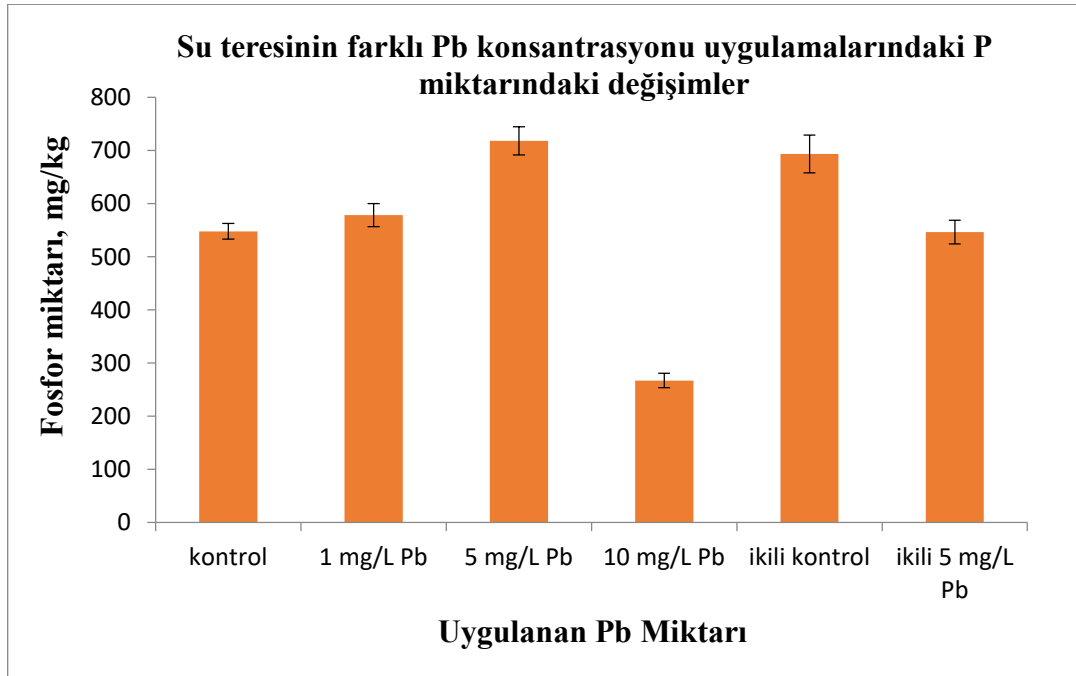


ulaşmıştır. En düşük P değerine ise 10 mg/L Pb dozunda ulaşılmıştır. Kontrol grubuna göre, 5 mg/L Pb uygulanan su teresinin P miktarı % 31,1 artış gösterirken, 10 mg/L Pb uygulanan su teresi P miktarı % 51,2 düşüş göstermiştir. Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan su teresinin toplam P miktarları Şekil 4.28'de verilmiştir.

Tekli kültürdeki kontrol grubu su teresi ile ikili kültürdeki kontrol grubu su teresi P değerleri arasındaki fark önemli bulunmuştur (t: 3,775; df:4; P<0,05).

Tekli kültürdeki 5 mg/L Pb uygulaması ile ikili kültürdeki 5 mg/L Pb uygulamasının P değerlerinin arasındaki fark önemli bulunmuştur (t: 4,945; df:4; P<0,01).

İkili kültürdeki kontrol grubu su teresi ile 5 mg/L Pb uygulanan su teresinin P miktarının arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (t: 3,493; df:4; P<0,05).



Şekil 4.28: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan *N. officinale* taksonunun toplam P miktarı

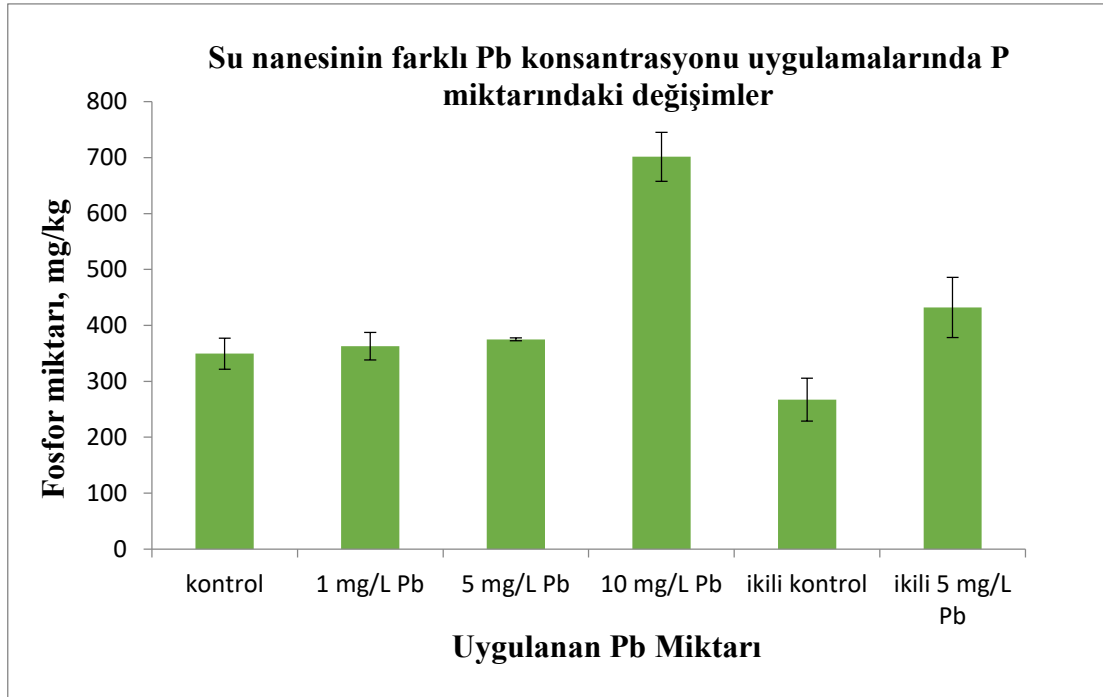
Su teresi tekli kültürdeki P miktarı ile toplam fenolik bileşik miktarı (r: -0,600; P<0,05) arasında negatif güçlü bir ilişki bulunmuştur. Su teresi tekli kültürdeki P miktarı ile magnezyum miktarı (r: 0,777; P<0,01) ve potasyum miktarı (r: 0,798; P<0,01) arasında güçlü bir pozitif ilişki bulunmuştur.

#### 4.1.8.2. *M. aquatica* Taksonunun Toplam Fosfor Miktarı

Su nanesi tekli kültürlerindeki P miktarları ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur (F:34,894; df:3; P<0,001). 10 mg/L Pb uygulanan tekli kültürdeki su nanesi P miktarı istatistiksel olarak tüm uygulamalardan farklı bulunmuştur. Kontrol grubuna göre 10 mg/L Pb uygulanan su nanesinde % 100,7 oranında P miktarında artış görülmüştür ve P miktarı en yüksek değerini bu Pb dozunda almıştır. Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan su nanesinin toplam P miktarı Şekil 4.29'da verilmiştir.

Su nanesinde tekli ve ikili kültürler arasında P miktarı açısından fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (P>0,05).

Su nanesi tekli kültürlerindeki P miktarı ile demir miktarı (r:0,750; P<0,01), magnezyum miktarı (r: 0,830; P<0,01) ve potasyum miktarı (r: 0,903; P<0,001) arasında güçlü pozitif bir ilişki bulunmuştur.



Şekil 4.29: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan *M. aquatica* taksonunun toplam P miktarı

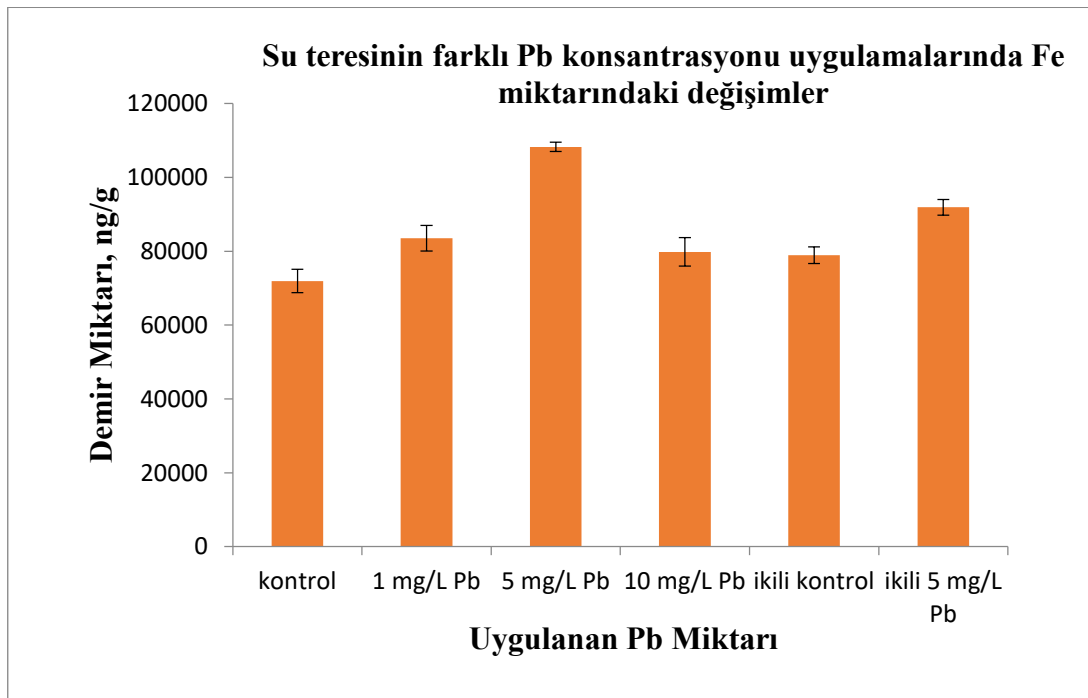
#### 4.1.9. *N. officinale* ve *M. aquatica* Taksonlarının Toplam Demir Miktarı

##### 4.1.9.1. *N. officinale* Taksonunun Toplam Demir Miktarı

Su teresi tekli kültürlerindeki demir (Fe) miktarı ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur (F:25,488; df:3; P<0,001). Su teresi tekli kültürlerinde Fe miktarı 5 mg/L Pb dozunda en yüksek miktarına ulaşmış ve bu doz istatistiksel olarak diğer uygulamalardan Fe açısından farklı bulunmuştur. Kontrol grubuna göre 5 mg/L Pb dozunda demir miktarı % 50,5 oranında artış göstermiştir. 1 ve 10 mg/L Pb uygulamalarında da kontrol grubuna göre artış görülmüş olsa da, bu artış istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan su teresinin toplam Fe miktarları Şekil 4.30'da verilmiştir.

Su teresi tekli kültürdeki 5 mg/L Pb uygulamasının Fe miktarı ile ikili kültürdeki 5 mg/L Pb uygulamasının Fe miktarı arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (t: 6,610; df:4; P<0,01).

İkili kültürdeki kontrol grubu ve 5 mg/L Pb uygulanan su teresinin Fe miktarları arasındaki fark önemli bulunmuştur (t: 4,206; df:4; P<0,05).



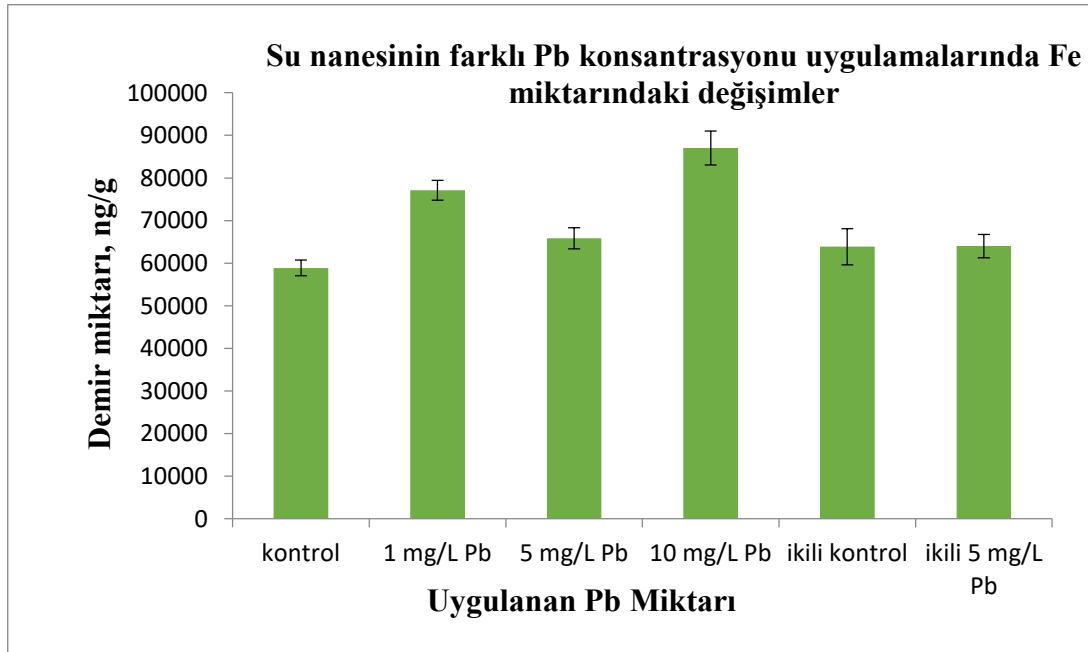
Şekil 4.30: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan *N. officinale* taksonunun toplam Fe miktarı

Su teresi tekli kültürlerindeki Fe miktarı ile klorofil a (r: -0,821; P<0,01), klorofil b (r: -0,702; P<0,05) ve karotenoid (r: -0,665; P<0,05) miktarı arasında negatif güçlü bir ilişki

bulunmuştur. Su teresi tekli kültürlerindeki demir miktarı ile kurşun miktarı ( $r: 0,850$ ;  $P<0,001$ ) arasında pozitif güçlü bir ilişki bulunmuştur.

#### 4.1.9.2. *M. aquatica* Taksonunun Toplam Demir Miktarı

Su nanesi tekli kültürdeki grupların Fe miktarı ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur ( $F: 19,865$ ;  $df:3$ ;  $P<0,001$ ). Kontrol grubu Fe miktarı, 1 ve 10 mg/L Pb doz uygulamalarından farklı bulunmuştur. 5 mg/L Pb ve 10 mg/L Pb uygulamasının Fe miktarı da istatistiksel açıdan farklı bulunmuştur. Kontrol grubunun Fe miktarına göre, 1 ve 10 mg/L Pb uygulamalarında sırasıyla % 31 ve % 47,8 oranında artış görülmüştür. Pb uygulamalarında Fe değeri, kontrol grubunun Fe değerinin altına hiç düşmemiştir. Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan su nanesinin toplam Fe miktarları Şekil 4.31'de verilmiştir.



Şekil 4.31: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan *M. aquatica* taksonunun toplam Fe miktarı

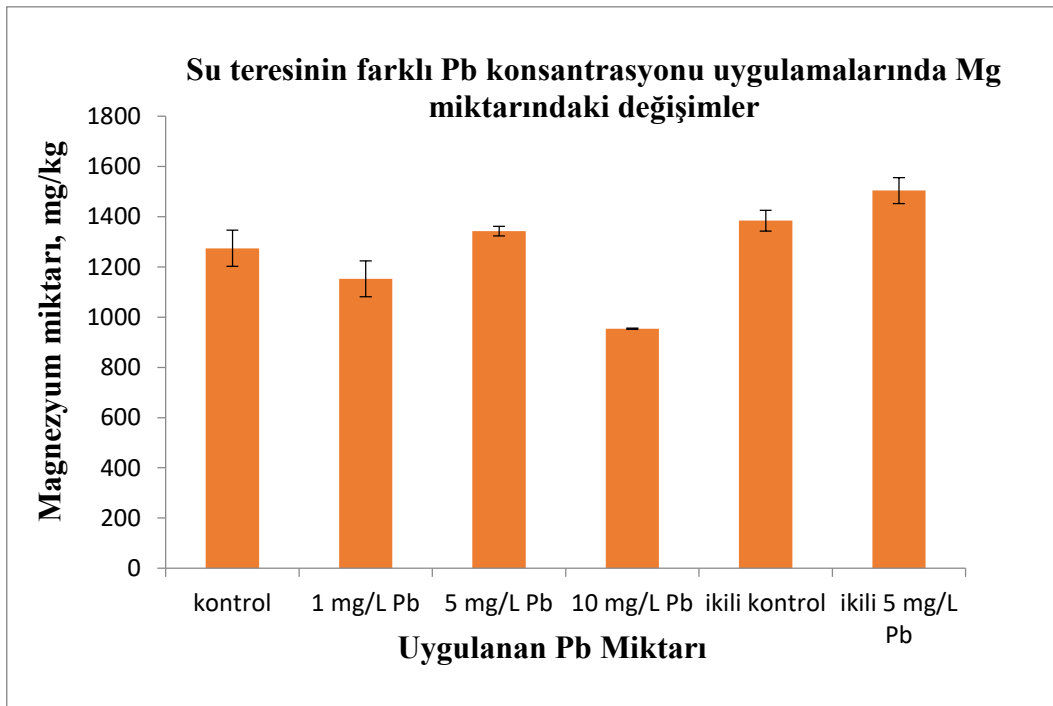
Su nanesi tekli ve ikili kültürler arasında Fe miktarı açısından istatistiksel olarak fark bulunmamıştır ( $P>0,05$ ).

Su nanesi tekli kültürlerindeki Fe miktarı ile fosfor miktarı ( $r: 0,750$ ;  $P<0,01$ ), magnezyum miktarı ( $r:0,579$ ;  $P<0,05$ ) ve potasyum miktarı ( $r:0,693$ ;  $P<0,05$ ) arasında pozitif güçlü bir ilişki bulunmuştur.

#### 4.1.10. *N. officinale* ve *M. aquatica* Taksonlarının Toplam Magnezyum Miktarı

##### 4.1.10.1. *N. officinale* Taksonunun Toplam Magnezyum Miktarı

Su teresi tekli kültürlerindeki farklı Pb uygulamalarında magnezyum (Mg) miktarı ortalamaları arasındaki fark önemli bulunmuştur (F: 11,020; df:3; P<0,01). Su teresi tekli kültürlerindeki 10 mg/L Pb uygulanan su teresinin Mg miktarı ile kontrol grubu ve 5 mg/L Pb uygulanan su terelerinin Mg miktarları farklı bulunmuştur. Kontrol grubuna göre, 10 mg/L Pb uygulanan su teresinin Mg miktarı % 25,1 azalmıştır. Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan su teresinin toplam Mg miktarı Şekil 4.32'de verilmiştir.



Şekil 4.32: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan *N. officinale* taksonunun toplam Mg miktarı

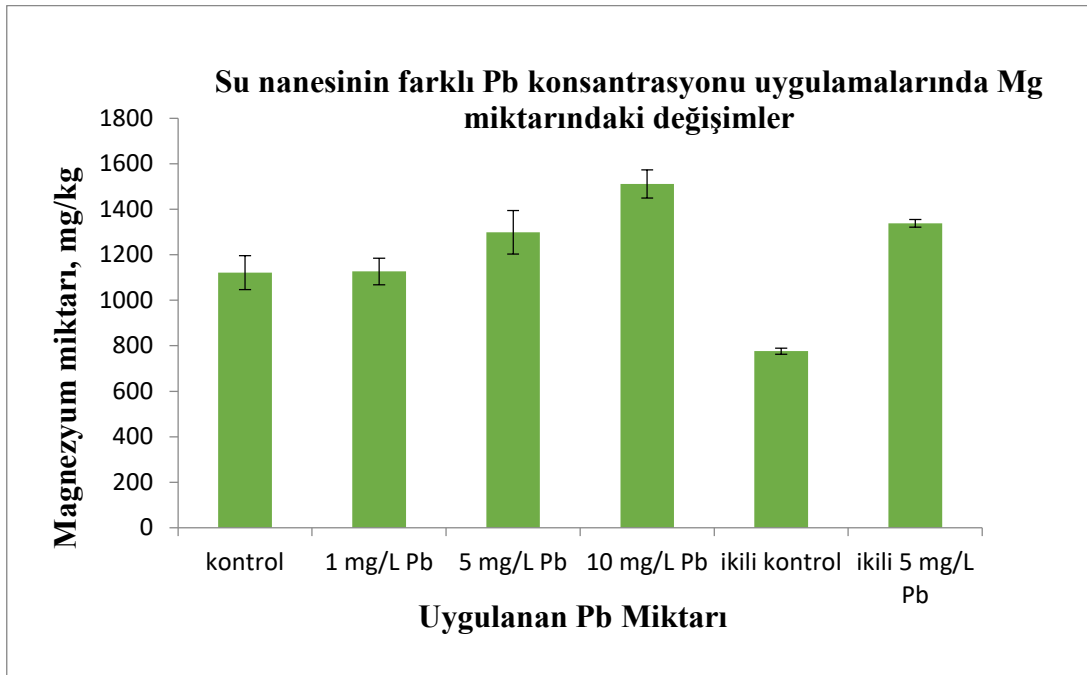
Su teresi tekli kültürdeki 5 mg/L Pb uygulaması ile ikili kültürdeki 5 mg/L Pb uygulaması Mg miktarı arasındaki fark önemli bulunmuştur (t: 2,937; df:4; P<0,05).

Su teresi tekli ve ikili kültürdeki kontrol gruplarının Mg miktarları arasındaki fark ile ikili kültürlerdeki kontrol grubu ve 5 mg/L Pb uygulamasının Mg miktarları arasındaki fark önemsiz bulunmuştur (P>0,05).

Su teresi tekli kültürlerindeki Mg miktarı, fosfor miktarı (r: 0,777; P<0,01) ve potasyum miktarı (r: 0,728; P<0,01) arasında pozitif güçlü bir ilişki bulunmuştur.

#### 4.1.10.2. *M. aquatica* Taksonunun Toplam Magnezyum Miktarı

Su nanesi tekli kültürlerindeki Mg miktarı ortalamaları arasındaki fark önemli bulunmuştur (F: 6,210; df:3; P<0,05). 10 mg/L Pb uygulamasının Mg değeri, kontrol ve 1 mg/L Pb uygulamasından istatistiksel olarak farklı bulunmuştur. 10 mg/L Pb uygulamasının Mg değeri, kontrol grubuna göre % 34,8 oranında artış göstermiştir. Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan su nanesinin toplam Mg miktarları Şekil 4.33'de verilmiştir.



Şekil 4.33: Farklı konsantrasyonlarda kurşun etkisine bırakılan *M. aquatica* taksonunun toplam Mg miktarı

Tekli kültürdeki kontrol grubu ile ikili kültürdeki kontrol grubu su nanesinin Mg değerleri farklı bulunmuştur (t: 4,572; df:4; P<0,05). Tekli kültürdeki kontrol grubuna göre ikili kültürdeki kontrol grubunun Mg değeri % 30,8 oranında azalmıştır.

İkili kültürdeki kontrol grubu ile 5 mg/L Pb dozundaki su nanesi Mg değerleri farklı bulunmuştur (t: 26,071; df:4; P<0,001). İkili kültürde kontrol grubuna göre 5 mg/L Pb uygulanan su nanesinin Mg değeri % 72,5 oranında artış göstermiştir.

Su nanesi tekli kültürlerindeki Mg miktarı, toplam fenolik bileşik miktarı (r:0,630; P<0,05), fosfor miktarı (r:0,830; P<0,01), demir miktarı (r:0,579; P<0,05), potasyum miktarı (r: 0,709; P<0,05) ve biriktirdiği kurşun miktarı (r: 0,579; P<0,05) arasında pozitif bir ilişki bulunmuştur.

#### 4.1.11. Analiz Sonuçları Arasındaki İlişkiler

Sucul bitkilerin tekli kültürlerindeki analiz sonuçları değerlendirildiğinde; su teresinde Pb birikimi ile protein ve demir miktarı arasında pozitif bir ilişki, Pb birikimi ile klorofil a, klorofil b ve karotenoid miktarları arasında negatif bir ilişki bulunmuştur. Fotosentetik pigment içerikleri olan kl-a, kl-b ve karotenoid miktarları arasında ise pozitif güçlü bir ilişki bulunmuştur. Toplam fenolik bileşik miktarı ile fosfor miktarı arasında da negatif bir ilişki bulunmuştur. Fosfor miktarı ile magnezyum ve potasyum miktarı arasında pozitif bir ilişki bulunmuştur.

Su nanesinde Pb birikimi ile protein, fenolik bileşik ve magnezyum miktarları arasında pozitif bir ilişki bulunmuştur. Fotosentetik pigment içerikleri olan kl-a, kl-b ve karotenoid miktarları arasında ise pozitif güçlü bir ilişki bulunmuştur. Fosfor miktarı ile demir, magnezyum ve potasyum miktarları arasında pozitif güçlü bir ilişki bulunmuştur.

Su teresi ve su nanesinin farklı konsantrasyon Pb uygulamalarındaki analiz sonuçlarının ortalama değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Su teresi ve su nanesi tekli kültürdeki analiz sonuçları arasındaki ilişkileri gösteren korelasyon katsayısı değerleri sırasıyla Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.1.: Su teresi ve su nanesinin farklı konsantrasyon Pb uygulamalarındaki analiz sonuçlarının ortalama değerleri

SU TERESİ	P (mg/kg)	Fe (ng/g)	Mg (mg/kg)	K(mg/kg)	Pb(ng/g)	Kl-a	Kl-b	Karotenoid	S. Prolin (µg/ml)	F. Bileşik (mg/L)	Protein (mg/ml)
<b>kontrol</b>	548,00	71926,67	1274	16430	3818,67	11,74	3,44	2,87	10,49	29,04	177,54
<b>1 mg/L Pb</b>	578,33	83506,67	1152,33	14006,67	35403,33	11,68	3,69	2,59	43,87	31,82	201,49
<b>5 mg/L Pb</b>	718,43	108273,30	1342,33	16773,33	152100	7,9	2,69	2,17	26,02	33,01	222,26
<b>10 mg/L Pb</b>	267,26	79843,33	954	9074,67	90013,33	10,31	3,34	2,52	39,35	38,56	210,72
<b>ikili kontrol</b>	693,63	78926,67	1383,67	24686,67	5832,33	9,73	2,36	2,72	16,23	36,24	228,15
<b>ikili 5 mg/L Pb</b>	546,63	91930	1503,67	22230	52396,67	11,5	3,17	2,67	13,41	35,33	134,95
SU NANESİ	P (mg/kg)	Fe (ng/g)	Mg (mg/kg)	K(mg/kg)	Pb(ng/g)	Kl-a	Kl-b	Karotenoid	S. Prolin (µg/ml)	F. Bileşik (mg/L)	Protein (mg/ml)
<b>kontrol</b>	349,40	58870	1121,50	10286,33	3423	12,3	3,48	2,69	6,43	29,79	147,02
<b>1 mg/L Pb</b>	362,83	77120	1127	10344,33	32913,33	17,3	4,3	3,36	8,31	33,03	167,04
<b>5 mg/L Pb</b>	374,90	65810	1298,67	8902	70426,67	13,7	4,23	3,14	7,55	48,03	261,36
<b>10 mg/L Pb</b>	701,40	87023,33	1511,67	13906,67	54460	12,9	3,66	2,70	6,7	44,25	179,18
<b>ikili kontrol</b>	267,27	63856,67	776,10	5179,33	1706,33	15,8	4,69	3,44	7,28	43,09	238,54
<b>ikili 5 mg/L Pb</b>	432,00	64013,33	1339	12226,67	55710	14,7	4,08	3,20	5,05	27,94	129,31



Çizelge 4.2. Su teresi tekli kültür analiz sonuçları arasındaki ilişki, n=12, r: kolerasyon katsayısı

<b>SU TERESİ (r değerleri)</b>	<b>Klorofil a</b>	<b>Klorofil b</b>	<b>Karotenoid</b>	<b>S. prolin</b>	<b>F. bileşik</b>	<b>Protein</b>	<b>Fosfor</b>	<b>Demir</b>	<b>Magnezyum</b>	<b>Potasyum</b>	<b>Kurşun</b>
<b>Klorofil a</b>	1	0,916	0,868	0,016	-0,241	-0,726	-0,335	-0,821	-0,260	-0,089	-0,885
<b>Klorofil b</b>	0,916	1	0,823	0,227	0,004	-0,445	-0,383	-0,702	-0,323	-0,109	-0,731
<b>Karotenoid</b>	0,868	0,823	1	-0,219	-0,190	-0,661	-0,300	-0,665	-0,028	0,050	-0,696
<b>S. prolin</b>	0,016	0,227	-0,219	1	0,505	0,510	-0,338	0,139	-0,545	-0,508	0,229
<b>F. bileşik</b>	-0,241	0,004	-0,190	0,505	1	0,569	-0,600	0,124	-0,459	-0,487	0,407
<b>Protein</b>	-0,726	-0,445	-0,661	0,51	0,569	1	0,05	0,692	-0,013	-0,151	0,804
<b>Fosfor</b>	-0,335	-0,383	-0,300	-0,338	-0,600	0,050	1	0,570	0,777	0,798	0,197
<b>Demir</b>	-0,821	-0,702	-0,665	0,139	0,124	0,692	0,570	1	0,454	0,227	0,850
<b>Magnezyum</b>	-0,26	-0,323	-0,028	-0,545	-0,459	-0,013	0,777	0,454	1	0,728	0,111
<b>Potasyum</b>	-0,089	-0,109	0,050	-0,508	-0,487	-0,151	0,798	0,227	0,728	1	-0,036
<b>Kurşun</b>	-0,885	-0,731	-0,696	0,229	0,407	0,804	0,197	0,850	0,111	-0,036	1

Çizelge 4.3: Su nanesi tekli kültür analiz sonuçları arasındaki ilişki, n=12, r: korelasyon katsayısı

SU NANESİ (r değerleri)	Klorofil a	Klorofil b	Karotenoid	S. prolin	Protein	F. bileşik	Fosfor	Demir	Magnezyum	Potasyum	Kurşun
<b>Klorofil a</b>	1	0,742	0,818	0,574	-0,068	-0,145	-0,333	0,269	-0,290	-0,187	0,062
<b>Klorofil b</b>	0,742	1	0,802	0,432	0,312	0,296	-0,295	0,134	-0,048	-0,341	0,430
<b>Karotenoid</b>	0,818	0,802	1	0,499	0,287	0,016	-0,559	-0,009	-0,311	-0,495	0,197
<b>S.prolin</b>	0,574	0,432	0,499	1	0,138	0,092	-0,164	0,300	-0,072	-0,205	0,231
<b>Protein</b>	-0,068	0,312	0,287	0,138	1	0,758	-0,068	-0,077	0,255	-0,387	0,822
<b>F. bileşik</b>	-0,145	0,296	0,016	0,092	0,758	1	0,384	0,332	0,630	0,068	0,906
<b>Fosfor</b>	-0,333	-0,295	-0,559	-0,164	-0,068	0,384	1	0,750	0,830	0,903	0,376
<b>Demir</b>	0,269	0,134	-0,009	0,3	-0,077	0,332	0,750	1	0,576	0,693	0,436
<b>Magnezyum</b>	-0,290	-0,048	-0,311	-0,072	0,255	0,630	0,830	0,576	1	0,709	0,579
<b>Potasyum</b>	-0,187	-0,341	-0,495	-0,205	-0,387	0,068	0,903	0,693	0,709	1	0,039
<b>Kurşun</b>	0,062	0,43	0,197	0,231	0,822	0,906	0,376	0,436	0,579	0,039	1

## 4.2. Tartışma

### 4.2.1. Morfolojik Gözlemler

#### 4.2.1.1. *Nasturtium officinale* R.Br.'de Gözlenen Morfolojik Değişiklikler

10 mg/L Pb dozunda su teresi canlılığını kaybettiği için, morfolojik olarak en fazla etkilenmeyi en fazla Pb adsorpladığı 5 mg/L Pb dozunda göstermiştir diyebiliriz. Kontrol grubu, 1 mg/L Pb ve 10 mg/L Pb dozunda kökte yeni tere oluşumu görülürken, 5 mg/L Pb dozunda kökte yeni tere oluşumu görülmemiştir, aynı zamanda kökte yumuşama meydana gelmiştir. Su teresinin morfolojik olarak en fazla etkilendiği 5 mg/L Pb dozunda, P, Fe, Mg, K, Pb ve protein içeriği de en fazla seviyeye ulaşmıştır. Aynı zamanda bu dozda su teresi fotosentetik pigment ve serbest prolin seviyesini en aza indirmiştir. Fizyolojik deney sonuçlarımız da morfolojik gözlemlerimizi desteklemektedir. Su teresi morfolojik ve fizyolojik anlamda en fazla tepkiyi en fazla Pb adsorpladığı 5 mg/L Pb dozunda vermiştir. 10 mg/L Pb dozunda canlılığını kaybeden su teresi, P, Fe, Mg, K ve protein içeriğini minimum seviyeye düşürmüştür. Hayatta kalma mücadelesi sonucunda bu dozda tekrar bir su teresinde kökte yeni tere oluşumu gözlemlenmiştir. Hayatta kalmaya çalışan (10 mg/L Pb dozunda) su teresi fotosentetik pigment içeriğini, serbest prolin değerini ve toplam fenolik bileşik içeriğini arttırmıştır. Fizyolojik deney sonuçları da 10 mg/L Pb dozunda su teresinin hayatta kalma mücadelesi verdiğinin bir kanıtıdır.

Kara (2005) yaptığı çalışmada su teresine Cu, Zn ve Ni ağır metalleri uygulamıştır. Zn ve Ni'nin 5 ve 7 mg/L uygulamalarında su teresinde pigment bozulmaları gözlemlenmiştir. Namdjoyan ve Kermanian (2013) *Nasturtium officinale* R.Br. 'ye arsenik uyguladıklarında, arseniğin yapraklarda klorozis gibi farklı fitotoksisit görülebilir etkilere sebep olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmalardaki bulgularda sonuçlarımızla benzerdir.

#### 4.2.1.2. *Mentha aquatica* L.'de Gözlenen Morfolojik Değişiklikler

Su nanesi kontrol gruplarında alt yapraklarda sararma ve hafif kararma dışında bitki sağlıklı gözükmemektedir. Kökte yeni nane oluşumu gözlemlenmiştir. 1 mg/L Pb dozunda orta yapraklarda sarı lezyonlar ve açılmalar, alt yapraklarda sararma ve kararma görülen bazı yapraklarda dökülme görülürken; kontrol grubuna göre kökte yeni nane oluşumu daha azdır. 1 mg/L Pb dozunda bu morfolojik değişimleri, fotosentetik pigment içeriği, serbest prolin, toplam fenolik bileşik ve protein içeriğinin artması izlemiştir. 5 mg/L Pb dozunda alt yapraklardaki sararma, kararma ve dökülmeler artmıştır, orta yapraklardaki sarı lezyonlar, açılmalar ve yapraklardaki sararma da artmıştır. Bu dozda da su nanesinin toplam fenolik bileşik ve protein miktarı maximum düzeye ulaşmıştır. 10 mg/L Pb

dozunda ise yapraklardaki sararma ve kararma artmıştır ve üst yapraklara taşınmıştır. En üst tepe yapraklarında bile kararma gözlemlenmiştir. Alt yapraklardaki sararan ve kararan yapraklar dökülmüştür. Su nanesinin morfolojik olarak en çok etkilendiği doz 10 mg/L Pb dozudur. Bu morfolojik gözlemler, fizyolojik olarak deney sonuçlarıyla desteklenmiştir. 10 mg/L Pb dozunda su nanesinin P, Fe, Mg ve K miktarı en yüksek değerine ulaşmıştır. Su nanesi hayatta kalma mücadelesini bu elementlerin miktarını arttırarak göstermiştir.

#### **4.2.1.3. İkili Kültürlerdeki Morfolojik Değişiklikler**

İkili kültür kontrol gruplarında su nanesi, su teresine göre daha mücadelecidir. Su teresi morfolojik olarak tekli kültürdeki kontrol grubuna göre ikili kültürdeki kontrol grubunda daha fazla etkilenmiştir. Tekli kontrol grubuna göre ikili kontrol grubunda kökte yeni tere oluşumu azalmış, çiçekler solmuş, gövde dikliğini kaybetmiş, yapraklarda sararma ve kuruma daha fazladır. Su nanesinde ise gövde dik ve bitki daha canlıdır. Su nanesi bitkilerinin hepsinde kökte yeni nane oluşumu görülürken, su teresinde sadece iki bitkide kökte yeni tere oluşumuna rastlanmıştır. Tüm bu gözlemler fizyolojik deney sonuçlarıyla da desteklenerek ikili kontrol gruplarında su nanesinin daha mücadelecisi olduğunu göstermektedir. Arazi çalışmalarımızdaki gözlemlerimizde bu kanıyı desteklemektedir. Umurbey Çayı'nda bitkileri topladığımız dönemde suda Pb elementine rastlanmamıştır ve bitkileri topladığımız alanda su nanesi ve su teresi yan yana gelişmekte olan sucül bitkilerdir. Ancak su nanesi çay boyunca geniş yayılış gösterirken, su teresi sadece belli bir bölgede bulunmakta, yayılış göstermemektedir. Dolayısıyla aynı ortamda Pb stresi yokluğunda su nanesinin daha geniş yayılması onun daha mücadelecisi olduğuna doğal ortamdaki gözlemlerimizde bir destektir. İkili kontrol gruplarında da sadece aynı ortamı paylaşmaktan doğabilecek olan streslere karşı su nanesi baskın gelmiştir. Aynı ortamı paylaşmaktan doğabilecek olan stresler; ışık, yer, besin ve oksijen stresi olabilir. Ancak bu çalışmada fiziksel koşullar sabit tutulduğundan, besin için rekabete girmiş olabilirler. Umurbey Çayı'nda örnek bitkilerin toplandığı alana iki yıl sonra gidildiğinde su teresi tamamen yokolmuş, su nanesi ise çay boyunca geniş yayılış göstermiş olup, çayda ötrofikasyon oluşmuştur. İki yıl sonra incelenen çayın morfolojik durumu da Pb yokluğunda su nanesinin üstünlüğünü kanıtladığının bir göstergesi olmuştur.

İkili kültür ortamına 5 mg/L Pb dozu eklendiğinde ise su teresi daha iyi durumdayken, morfolojik olarak su nanesi daha fazla etkilenmiştir. Sadece iki su nanesi bitkisinde kökte yeni nane oluşumu görülmüştür. Alt yapraklarda sararma ve kararma çok fazla ve üst yapraklarda yumuşama görülmüştür. Aynı ortamda bulunan iki su bitkisine

aynı zamanda Pb stresi verildiğinde su teresi rekabette üstünlük kazanmıştır. Bu morfolojik gözlem, deneysel sonuçlarıyla da desteklenmiştir. Aynı ortamda Pb stresi yokken üstünlük gösteren su nanesi, ortama Pb eklenmesiyle üstünlüğü su teresine kaptırmıştır. İkili kültürde su teresi iyi bir Pb alıcısı olarak Pb varlığında su nanesine göre daha çok dayanmıştır.

#### **4.2.2. Fotosentetik Pigment İçeriği**

##### **4.2.2.1. Tekli Kültürlerdeki Fotosentetik Pigment İçerikleri**

Klorofil içeriği, ağır metal toksisitesine duyarlı bir parametredir (Gupta ve Chandra, 1996).

Su teresi fotosentetik pigment içeriği en fazla 5 mg/L Pb uygulamasında düşüş göstermiştir. 10 mg/L Pb uygulamasında tekrar fotosentetik pigment içeriği yükselmiş ama kontrol seviyesine kadar ulaşamamıştır. Su teresi fotosentetik pigment miktarı ile Pb birikimi arasında negatif güçlü bir ilişki bulunmuştur. Bu durum stres koşullarına karşı bitkinin geliştirdiği bir adaptasyon yanıtı olarak yorumlanabilir. Pb birikiminin en yüksek olduğu 5 mg/L Pb dozunda fotosentetik pigment değerlerinin hepsi (kl-a, kl-b ve karotenoid) en fazla düşüşü göstermiştir. 10 mg/L Pb dozunda Pb birikimi azalmış olup, fotosentetik pigment değerleri artış göstermiştir. Fotosentetik pigment miktarı ile Pb birikimi arasında negatif güçlü bir ilişkinin olması fotosentetik pigment azalmasının Pb dozuna bağlı olduğunu gösterir. Yüksek Pb birikiminde fotosentetik pigment içeriğinin azalmasının nedenleri; besin eksikliğinden, klorofil sentezinin engellenmesinden, artan klorofilaz aktivitesine bağlı olarak var olan klorofilin bozulmasından ve reaktif oksijen türleri tarafından kloroplast membran lipidlerinin ve pigmentlerinin peroksidasyonla bozunmasından dolayı olabilir.

Klorofil biyosentezinin en önemli enzimlerinden biri, porphobilinogen oluşumunu katalize eden aminolevulinik asit dehidratazdır (ALAD). Pb elementinin enzimin -SH grubu ile bağlanarak ALAD'in aktivitesini inhibe ettiği belirtilmiştir (Singh, 1995).

Aslan ve ark. (2003) *Mentha aquatica* L. ve *Nasturtium officinale* R.Br.'nin kadmiyum stresi altında fotosentetik pigment konsantrasyonunu azalttıklarını tespit etmişlerdir. Doğan ve ark. (2009), regresyon analizleri sonucunda *Elodea canadensis* taksonunun klorofil a, klorofil b ve karotenoid içeriği ile Pb konsantrasyonu arasında önemli ve negatif bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir. Öztürk ve ark. (2010) *Nasturtium officinale* R.Br. 'ye arsenik ağır metali uygulamışlar ve düşük arsenik konsantrasyonlarında fotosentetik pigment miktarının arttığı, arsenik konsantrasyonu arttığında ise fotosentetik

pigment miktarının düştüğünü belirtmişlerdir. Klorofil a ve klorofil b ile arsenik birikimi arasında negatif bir ilişki olduğunu, karotenoit ve arsenik arasında önemli bir ilişki bulunmadığını belirtmişlerdir. Namdjoyan ve Kermanian (2013) *Nasturtium officinale* R.Br. 'ye arsenik uyguladıklarında toplam klorofil içeriğinin azaldığını tespit etmişlerdir. En fazla azalmanın da en yüksek arsenik dozunda görüldüğünü belirlemişlerdir. Aslan ve ark. (2003), Doğan ve ark. (2009), Öztürk ve ark. (2010) ve Namdjoyan ve Kermanian (2013)'in benzer bulgular elde etmiş olması sonuçlarımızı desteklemektedir.

Su nanesi tekli kültürlerindeki fotosentetik pigmentlerin hepsi (kl-a, kl-b ve karotenoit) kontrol grubuna göre 1 mg/L Pb dozunda pigment içeriklerini arttırmışlardır. 5 ve 10 mg/L Pb dozunda ise fotosentetik pigment içerikleri azalmıştır, ancak hiç bir dozda kontrol seviyesinden daha az bir değer almamıştır.

Benzer sonuçlara Nazari ve ark. (2017), *Mentha aquatica* sucul bitkisine farklı dozlarda Mn uyguladıklarında ulaşmışlardır. Mn konsantrasyonu arttıkça, *Mentha* yapraklarındaki tüm fotosentetik pigment içeriklerinin (kl-a, kl-b, karotenoid) arttığını, en yüksek Mn dozunda ise pigment içeriğinin azaldığını, ancak kontrol grubuna göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Nazari ve ark. (2018), *Mentha aquatica* sucul bitkisine UV, Mn (100 µm) ve UV+ Mn (100 µm) uygulamışlardır. Mn uygulamasında kontrol grubuna göre fotosentetik pigment içeriğinin arttığını belirtmişlerdir.

Su teresi Pb uygulamalarıyla fotosentetik pigment içeriklerini kontrol grubu pigment içeriğine göre daha da azaltırken, su nanesi Pb uygulamalarıyla fotosentetik pigment içeriklerini kontrol grubu pigment içeriğine göre daha da arttırmıştır.

#### **4.2.2.2. İkili Kültürlerdeki Fotosentetik Pigment İçerikleri**

Tekli kültürlerde Pb stresine yanıt olarak su teresi fotosentetik pigment içeriğini azaltırken, su nanesi fotosentetik pigment içeriğini arttırmaktadır. İkili kültür kontrol gruplarında ise morfolojik olarak su nanesi daha canlı ve mücadelecidir. Fotosentetik pigment içeriklerini karşılaştırdığımızda, bu durumu destekler niteliktedir. Tekli kültürdeki kontrol grubu su teresine göre ikili kültürdeki kontrol grubu su teresi fotosentetik pigment içeriğini azaltırken, su nanesi fotosentetik pigment içeriğini arttırmıştır. Ancak ikili kültür ortamına 5 mg/L Pb dozu uygulandığında, bu defa su teresi daha mücadelecidir, su nanesi morfolojik olarak daha fazla etkilenmiştir. Deney sonuçları da morfolojik gözlemlerimizi desteklemektedir. İkili kültürde, kontrol grubuna göre 5 mg/L Pb uygulanan su teresi fotosentetik pigment içeriğini arttırırken, su nanesi fotosentetik pigment içeriğini

azaltmıştır.

Ortamda Pb stresi olmadığında iki sucul bitkinin sadece aynı ortamı paylaşmasından dolayı maruz kaldıkları stresler karşısında su nanesi rekabette üstünlük kazanmıştır. Ancak bu ortama Pb stresi de eklendiğinde, su teresinin daha fazla mücadele verdiğini fotosentetik pigment içerikleri sonuçlarımızda desteklemiştir.

### **4.2.3. Serbest Prolin İçeriği**

#### **4.2.3.1. Tekli Kültürlerdeki Serbest Prolin İçerikleri**

Serbest prolin, abiyotik stres koşulları altında birçok bitki tarafından biriktirilen bir organik çözücü, aminoasittir (Özden ve ark., 2009). Düşük ve yüksek sıcaklık, ağır metal kirliliğine maruz kalma, tuzluluk, patojenler, nutrient eksikliği, atmosferik kirlilik ve UV radyasyonları gibi stres durumları bitkilerde serbest prolin birikimini tetikleyebilir (Hare ve Cress, 1997). Bu stres faktörlerinin etkisinde bitkilerin büyük çoğunluğu prolin konsantrasyonlarını 100 kat daha fazla arttırabilmektedirler (Aziz ve ark., 1998). Metal stresinde prolin aminoasiti; proteinlerin denaturasyonunda, hücre içi pH, NAD(P)<sup>+</sup>/NAD(P)H oranlarının regülasyonunda, karbon ve azot kaynağı olarak kullanımda ve toksik reaktif oksijen türlerinin temizlenmesinde görev yapabilmektedirler (Sharmila ve Pardha Saradhi, 2002).

Ağır metal stresinde sucul bitkilerin prolin miktarını arttırdıklarına dair birçok araştırma yapılmıştır. Doğan (2005) *Ceratophyllum demersum* L.'ye kadmiyum ağır metali uygulamış ve kadmiyum konsantrasyonu arttıkça, prolin miktarının arttığını belirlemiştir. Öztürk ve ark. (2010) su teresine farklı konsantrasyonlarda arsenik elementine maruz bırakmışlardır. Prolin miktarının artan As konsantrasyonu ile arttığını, ancak yüksek As dozunda azaldığını belirtmişlerdir. Prolin seviyesi kontrol grubuna göre tüm As doz uygulamalarında yüksek bulunmuştur. Ancak arsenik birikimi ile prolin içeriği arasında önemli bir ilişki bulunmamıştır. Namdjoyan ve Kermanian (2013), su teresine arsenik uygulamışlar ve arsenik konsantrasyonu arttıkça, prolin miktarının arttığını belirlemişlerdir. Prolin miktarı, bitkinin osmoregülasyon fonksiyonunu ve serbest radikallerin temizlenmesini sağladığı için bitkinin stresi tolere etmesine yardımcı olmaktadır.

Bu çalışmada da su teresi ile ilgili benzer sonuçlar elde edilmiştir. Su teresi farklı konsantrasyonlardaki Pb stresi altında serbest prolin içeriğini önemli ölçüde arttırmıştır. En fazla artış en düşük Pb konsantrasyonu olan 1 mg/L Pb uygulamasında görülmüş, 5 mg/L Pb dozunda serbest prolin değeri düşmüş, 10 mg/L Pb dozunda tekrar yükselmiştir. Ancak

hiçbir uygulamada kontrol seviyesi değerine kadar düşmemiştir. 1 ve 10 mg/L Pb uygulamalarındaki serbest prolin değeri arasındaki fark önemsiz bulunmuştur. Bizim çalışmamızda da su teresinin yüksek oranda prolin biriktirmesi bitkinin osmoregülasyon mekanizması ve antioksidatif özelliğine dayandırılabilir. Pb stresi altında su teresinin prolin miktarını yükseltmesi; bitkinin stresi tolere etmeye ve daha az zarar görmeye çalıştığının kanıtıdır.

Su nanesi farklı konsantrasyonlardaki Pb stresi altında serbest prolin içeriğinde istatistiksel olarak önemli bir değişiklik görülmemiştir. Su nanesi kontrol grubuna göre diğer Pb uygulamalarında prolin miktarında artış göstermiş, ancak bu artışlar önemli bulunmamıştır.

#### **4.2.3.2. İkili Kültürlerdeki Serbest Prolin İçerikleri**

Su teresi tekli kültürlerinde Pb stresine karşı serbest prolin miktarını arttırarak cevap verirken, su nanesi serbest prolin miktarı istatistiksel açıdan önemli bir değişiklik göstermemiştir. Su nanesi ikili kültürlerinin serbest prolin değerleri arasında da önemli bir fark bulunmadığı için ikili kültürler serbest prolin açısından yorumlanamamıştır.

#### **4.2.4. Protein İçeriği**

##### **4.2.4.1. Tekli Kültürlerdeki Protein İçerikleri**

Her iki sucul bitkide de Pb konsantrasyonu arttıkça protein değeri artış göstermiş ve 5 mg/L Pb konsantrasyonunda en yüksek protein değerine ulaşılmıştır. En yüksek Pb uygulaması olan 10 mg/L Pb uygulamasında protein miktarında 5 mg/L Pb uygulamasına göre düşüş görülmüştür. Su teresinde bu düşüş anlamsız bulunurken, su nanesinde anlamlı bulunmuştur. Ancak hiçbir Pb uygulamasında protein değeri kontrol grubu protein değerine kadar düşmemiştir.

Aslan ve ark. (2003), *Mentha aquatica* L. ve *Nasturtium officinale* R.Br.'nin kadmiyum uyguladıklarında farklı sonuçlara ulaşmışlardır. Kadmiyum stresi altında yapraklarında protein miktarının azaldığını tespit etmişlerdir. En yüksek protein azalmasının ise *M. aquatica* taksonunda 1 ve 5 ppm kadmiyum konsantrasyonlarında belirlemişlerdir. Doğan ve ark. (2009) *Elodea canadensis* taksonuna Pb uygulamışlar ve 1, 10 ve 100 mg/L Pb uygulamalarında kontrol grubuna göre protein içeriğinin sırasıyla % 9,8, % 25,2 ve % 34,1 oranında azaldığını tespit etmişlerdir. Regresyon analizlerine göre *E.canadensis* taksonunun protein içeriği ve Pb konsantrasyonu arasında negatif ve önemli bir ilişki bulmuşlardır.



Benzer sonuçlara Maleva ve ark. (2009) *Elodea canadensis* taksonuna farklı konsantrasyonlarda nikel uyguladıklarında ulaşımlardır ve nikel uygulaması ile protein içeriğinin arttığını, fakat nikel konsantrasyonu arttıkça protein içeriğinin azaldığını belirtmişlerdir. Duman ve Öztürk (2010) su teresine nikel uygulamışlar ve artan nikel konsantrasyonuna bağlı olarak protein içeriğinin arttığını ancak yüksek nikel konsantrasyonunda protein içeriğinin azaldığını belirtmişlerdir. Yapraktaki protein içeriğinin kökten fazla olduğunu belirtmişlerdir. Öztürk ve ark. (2010) su teresine farklı konsantrasyonlarda arsenik elementine maruz bırakmışlardır. Protein miktarının artan As konsantrasyonu ile arttığını, ancak yüksek As dozunda azaldığını belirtmişlerdir. Düşük As dozunda artan protein miktarını, As stresine karşı stres proteini üretimine, yüksek As dozunda azalan protein miktarını ise Reaktif Oksijen Türleri (hücrelerde hasara neden oldukları bilinen radikaller)' nin artmasına bağlamışlardır. Namdjoyan ve Kermanian (2013) su teresine arsenik uyguladıklarında, artan arsenik miktarı ile protein miktarının da arttığını belirtmişlerdir. Yukarı bahsedilen çalışmaların protein sonuçları bu çalışmadaki sonuçlar ile benzeşmektedir.

Protein içeriği, bitkilerde oksidatif metal stresinin güvenilir bir göstergesidir. Bu çalışmada, 5 mg/L Pb dozuna kadar protein içeriğinin artması; ağır metal dayanıklılığını sağlayan stres enzimlerini de içine alan farklı proteinlerin işlev gösterdiğinin bir kanıtıdır. Ağır metal stresine maruz kalan bitkilerin, uygulamanın ilk evrelerinde değişen çevre koşullarına tepki olarak stres proteinleri üretmek suretiyle hayatta kalmaya çalıştıkları da bilinmektedir (Öztürk ve ark., 2010). Bu çalışmada da düşük Pb konsantrasyonlarında (1 ve 5 mg/L Pb uygulamalarında) her iki türde de protein içeriği artış göstermiştir. Su teresinde 5 mg/L Pb konsantrasyonunda 222,26 mg/g ulaşan protein değeri, su nanesinde 5 mg/L Pb konsantrasyonunda 261,36 mg/g değerine ulaşmıştır. Su teresi kontrol grubuna göre 5 mg/L Pb dozunda protein değerini % 25,19 arttırırken, su nanesi kontrol grubuna göre 5 mg/L Pb dozunda protein değerini % 77,77 oranında arttırmıştır. Su nanesi düşük Pb uygulamasında Pb stresine karşı daha fazla stres proteini üreterek, bu stres dozuna su teresine göre daha fazla tepki vermiştir diyebiliriz.

10 mg/L Pb konsantrasyonunda ise her iki türde protein içeriğini azaltmıştır. Su teresi 5 mg/L Pb uygulamasına göre 10 mg/L Pb dozunda protein içeriğini % 5,2 oranında, su nanesi ise 5 mg/L Pb uygulamasına göre 10 mg/L Pb dozunda protein içeriğini % 31,32 oranında azaltmıştır. Su teresindeki bu düşüş istatistiksel olarak önemsiz, su nanesinde ise önemli bulunmuştur. Su nanesinde 10 mg/L Pb dozunda protein değerinin bu denli düşmesi; artık bitki canlılığı yitirmeye başladığı için protein yıkımının daha fazla olduğu

yönünde yorumlanabilir. Yüksek Pb dozunda (10 mg/L Pb) protein içeriğinin azalmasının nedenleri; protein sentezinin inhibisyonu, serbest radikallerin artması, oksidatif strese üretilen ROT'ların proteolizisi tetiklemesi ve protein yapısının bozulması olabilir. Ancak her iki türde de hiçbir Pb uygulamasında protein değeri kontrol grubu protein değerine kadar düşmemiştir.

#### **4.2.4.2. İkili Kültürlerdeki Protein İçerikleri**

İkili kültürlerde kontrol grubu su teresi protein miktarını arttırmıştır ancak bu artış su nanesinin gösterdiği artış kadar önemli değildir. Su teresi tekli kültürdeki kontrol grubuna göre ikili kültürdeki kontrol grubunda protein içeriğini % 28,6 oranında arttırırken, su nanesi % 62,25 oranında arttırmıştır. Bu deney sonucu da ikili kültürdeki kontrol gruplarında su nanesinin üstünlüğünü desteklemektedir. İkili kültürdeki türlere 5 mg/L Pb uygulandığında ise su teresi protein içeriğini tekli kültüründeki 5 mg/L Pb uygulamasına göre % 39,3 azaltırken, su nanesi % 50,5 oranında azaltmıştır. İkili kültürde ortama Pb eklendiğinde su teresinin daha rekabetçi olduğu yorumu yapılabilir.

#### **4.2.5. Toplam Fenolik Bileşik İçeriği**

##### **4.2.5.1. Tekli Kültürlerdeki Toplam Fenolik İçerikleri**

Polifenollerin antioksidant aktivitesi temel olarak hidrojen vericiler, indirgeyici ajanlar ve radikal süpürücü olarak hareket etme kabiliyetlerine bağlıdır, bu aktivite de genellikle toplam fenol içeriğine bağlıdır. Labiatae familyası, zengin polifenolik bileşikler ve antioksidant özellikleri ile bilinir. *Mentha* cinsi de bu familyanın önemli bir üyesidir. *Mentha* türleri, serbest radikallerle reaksiyona girebilecek, biyolojik ve gıda sistemlerine karşı reaktif oksijen türlerinin saldırılarını sınırlayabilecek birincil antioksidant olmasının yanı sıra, serbest radikal temizleyiciler olarak da belirtilmektedir (Nickavar ve ark., 2008; Riahi ve ark., 2013; Benabdallah ve ark., 2016). Bunu da yapılarında bulunan esansiyel yağlarla gerçekleştirirler. Esansiyel yağlar serbest radikalleri temizleme yetenekleri sayesinde, bağışıklık sisteminin düşüşünü, kalp hastalıklarını, kanser ve beyin fonksiyon bozukluklarının engellenmesi için önemli rol oynarlar (Kamatou ve Viljoen, 2010; Riahi ve ark., 2013). Esansiyel yağlar zengin fenolik bileşik içeriğine sahiptir ve bu sayede bakterilerin inhibisyonunda yüksek etkiye sahiptirler (Baydar ve ark., 2004; Riahi ve ark., 2013). Fenoller, hidroksil grupları içerdiğinden ve serbest radikalleri temizlediklerinden dolayı çok önemli bitki bileşenleridir. Fenolik bileşikler, antioksidatif etkiyi değerlendirmek için doğrudan katkıda bulunabilir (Özen, 2009).

Özen (2009), yapmış olduğu çalışmada *N. officinale* taksonunun etkili bir antioksidant aktivite sergilediğini belirlemiştir. Bahramikia ve Yazdanparast (2010) *Nasturtium officinale* R.Br.'nin kuru yaprak özütünde 96,6 mg/g toplam fenolik içeriği tespit etmişlerdir. Giallourou ve ark. (2016), diğer Brassica familyasına ait bitkilerle *N. officinale* taksonunu karşılaştırdıklarında, su teresinin zengin bir fenolik bileşik kaynağı olduğunu belirlemiştir. Taze su teresinin en yüksek fenolik bileşik içeriğini 14,86±2,02 mg/g olarak bulmuşlardır. Bu çalışmada ise taze su teresinin fenolik bileşik içeriği 29,04 mg/g bulunmuştur.

Su teresinde Pb konsantrasyonu arttıkça, toplam fenolik bileşik içeriğinin arttığı belirlenmiştir. Kontrol grubuna göre (29,04 mg/g), 1 ve 5 mg/L Pb konsantrasyonundaki artış anlamsız bulunmuşken, 10 mg/L Pb dozundaki toplam fenolik bileşik içeriğinin (38,56 mg/g) artışı anlamlı bulunmuştur.

Su nanesinde kontrol grubunda toplam fenolik bileşik değeri 29,79 mg/g bulunmuşken, Pb konsantrasyonu arttıkça toplam fenolik bileşik değerinin arttığı ve 5 mg/L Pb dozunda en yüksek değerine ulaştığı (48,03 mg/g) belirlenmiştir.

Benzer sonuçlara ulaşan Nazari ve ark. (2017), Mn içeriği arttıkça, *Mentha aquatica* 'da esansiyel yağların birikimi ve biyosentezin arttığını belirtmişlerdir. Scherer ve ark. (2013), *Mentha spicata* L.'nin toplam fenolik bileşik içeriği üzerine çalışmışlardır. Toplam fenolik bileşik içeriği en fazla metanol çözücüsünde 76,32 mg/g olarak belirlenmiştir. Fatiha ve ark. (2015), *Mentha spicata* (L.), *Mentha pulegium* (L.) ve *Mentha rotundifolia* (L.) türlerinin toplam fenolik bileşik içeriğini sırasıyla 12 mg/g, 6.1 mg/g ve 4.6 mg/g olarak belirlemişlerdir. Benabdallah ve ark. (2016), altı adet *Mentha* türünün (*M. aquatica*, *M. arvensis*, *M. piperita*, *M. pulegium*, *M. rotundifolia*, *M. villosa*) toplam fenolik içerikleri ile ilgili çalışmışlardır. *Mentha aquatica*'nın diğer 5 *Mentha* türüne göre daha fazla antioksidant aktivite ve daha fazla toplam fenolik bileşik içerdiğini (43,21 mg/g) tespit etmişlerdir. *Mentha aquatica*'nın yüksek toplam fenolik içeriğe bağlı olarak verimli bir antioksidant yeteneği ile dikkatleri çektiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada *Mentha aquatica*'nın en yüksek toplam fenolik bileşik içeriğine sahip olması onun en büyük antioksidant aktiviteyi göstermesinin bir sonucudur.

#### 4.2.5.2. İkili Kültürlerdeki Toplam Fenolik İçerikleri

İkili kültürdeki kontrol grubu su teresi tekli kültürdeki kontrol grubu su teresine göre toplam fenolik içeriğini % 24,8 oranında arttırırken, su nanesi % 44,6 oranında arttırmıştır. Bu deney sonucu da ikili kültürdeki kontrol gruplarında su nanesinin daha rekabetçi

olduğunu desteklemektedir.

İkili kültürdeki türlere 5 mg/L Pb uygulamasında, su teresi tekli kültürdeki 5 mg/L Pb uygulamasına göre toplam fenolik bileşik içeriğini % 7,03 oranında artırırken, su nanesi % 41,8 oranında azaltmıştır. Bu deney sonucu da ikili kültürde 5 mg/L Pb dozunda su teresinin üstünlüğünü ortaya koymaktadır.

#### **4.2.6. Adsorplanan Kurşun İçeriği**

Su nanesi ve su teresi en fazla kurşunu 5 mg/L Pb uygulamasında biriktirmişlerdir. Su nanesi 5 mg/L Pb uygulamasında 70426,67 ng/g Pb adsorplarken, su teresi aynı doz uygulamasında 152100 ng/g Pb adsorplamıştır. Su teresi tüm Pb uygulamalarında su nanesine göre daha fazla kurşun adsorplamıştır. Su teresi iyi bir Pb alıcı olarak değerlendirilebilir.

#### **4.2.7. Mineral İçerikleri**

Bitkiler metabolik faaliyetlerini devam ettirebilmek ve hayatlarını sürdürebilmek için minerallere ihtiyaç duymaktadırlar. Birçok stres faktörünün bitkilerin bu elementleri alımını ve kullanımını sınırlandırdığı ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Bu çalışma ile su nanesi ve su teresinin Pb stresi karşısında makro elementlerden potasyum ve fosforu, mikro elementlerden ise demir ve magnezyumu ne ölçüde aldıklarını, Pb alımının bu mineral dengesini nasıl etkilediğini belirlemek amaçlanmıştır. Literatür çalışmalarında bitkilerin mineral element alımının bitkinin türüne, organına, metalin derişimine, cinsine ve özelliğine göre değiştiği ifade edilmektedir.

##### **4.2.7.1. Potasyum İçeriği**

###### **4.2.7.1.1. Tekli Kültürdeki Potasyum İçerikleri**

Bitkiler geliştikleri ortamdan potasyumu ( $K^+$ ) iyon şeklinde alırlar. Bitki membranlarının potasyum geçirgenliği fazla olduğu için hızlı ve fazla miktarda potasyum alabilirler. Bitki hücrelerinde potasyumun tutulma gücü negatif elektriki potansiyel ile ilgilidir. Solunumun olumsuz etkilenmesi sonucu negatif elektriki potansiyel azalması durumunda hücre dışına önemli miktarda  $K^+$  çıkışı olur. Membranlardan kolayca geçebilmesi nedeniyle mobil özelliği vardır. Bitkilerde  $K^+$  yaşlı organlardan genç organlara doğru hareket ettiği için genç yaprakların  $K^+$  içeriği fazladır. Çoğu enzim aktivitesi için gerekli bir elementtir (Kacar ve Katkat, 2007).

Ortamda fazla miktarda kalsiyum ve magnezyum varsa bitkilerde  $K^+$  alımını azalır.

Yeterli düzeyde azot ve fosfor bulunması ise bitkilerde  $K^+$  alınımını artırır (Kacar ve Katkat, 2007).

Floem özsuyunda en yüksek miktarda bulunan katyon potasyumdur. Floemde çözünen maddeler aşağı ve yukarı taşındığı için tüm organlara  $K^+$  kolayca taşınmaktadır. ATP sentezinde  $K^+$  temel göreve sahiptir.  $K^+$  arttıkça fotosentez ve fotorespirasyon artmaktadır.  $K^+$  artması hücre büyümesine neden olmaktadır.  $K^+$  alınması sonucu hücrede osmotik basınç artmakta ve hücreye daha fazla su girişi olurken, stoma hücreleri açılmaktadır. Çünkü  $K^+$  artışı ile osmotik basınç artmakta ve komşu hücrelerden su alınmaktadır.  $K^+$  bulunmaması durumunda hücre büyüklüğü ve su miktarı azalmakta, stoma hücreleri su kaybederek kapanmaktadır.  $K^+$  eksikliğinde bitkilerde büyüme gerilemekte, sararma ve lekelenme görülmektedir.  $K^+$  arttığında, bitkide yatma en düşük düzeydedir.  $K^+$  eksikliğinde ise bitki gövdesi yatma eğilimindedir (Kacar ve Katkat, 2007).

Su teresi tekli kültürlerinde kontrol grubuna göre 1 mg/L Pb dozunda  $K^+$  miktarında önemsiz bir azalma görülmüştür. Bunun nedeni; suyun fazla olduğu bu konsantrasyonda  $K^+$  iyonunun ATP sentezinde, hücre büyümesinde ve enzimatik aktivitelerde kolayca kullanılabilir olması olabilir.  $K^+$  miktarında en fazla artış 5 mg/L Pb dozunda görülmüş olup, bu artışta kontrol grubuna göre önemli bulunmamıştır. 5 mg/L Pb dozunda ise hücreler fazla su almış, osmotik basıncını arttırmış ve  $K^+$  miktarlarını yükseltmiş olabilirler. 10 mg/L Pb dozundaki su teresi, kontrol grubuna göre  $K^+$  içeriğini % 44,8 oranında azaltmıştır. 10 mg/L Pb dozunda ölüm evresine giren su teresi hücrelerinde solunumun olumsuz etkilenmesi sonucu negatif elektrik azalmış ve buna bağlı olarak hücre dışına önemli miktarda  $K^+$  çıkışı olmuş olabilir.  $K^+$  bulunmamasına bağlı olarak hücre su kaybeder, stomalar kapanır, büyüme geriler, kloroz ve nekroz görülür. Aynı zamanda  $K^+$  eksikliğinde bitki gövdesinde yatma eğilimi görülür. Bu çalışmada 10 mg/L Pb dozu uygulanan su teresinde  $K^+$  eksikliğine bağlı olarak tüm bu morfolojik bulgulara rastlanmıştır.

Su nanesi tekli kültürlerinde ise 10 mg/L Pb dozu tüm uygulamalardan farklı bulunmuştur. Kontrol grubuna göre 10 mg/L Pb dozunda  $K^+$  değeri % 35,2 oranında artmış ve en yüksek değerine ulaşmıştır. Su nanesi  $K^+$  açısından en yüksek tepkiyi 10 mg/L Pb dozunda göstermiştir. Tekli kültürde  $K^+$  açısından Pb stresine verilen tepkiler karşılaştırıldığında su nanesi daha dirençli gözüküyor. Su teresi 10 mg/L Pb dozunda  $K^+$  içeriğini önemli ölçüde azaltırken, su nanesi ise bu dozda önemli ölçüde  $K^+$  içeriğini arttırmıştır.

#### **4.2.7.1.2. İkili Kültürdeki Potasyum İçerikleri**

Su nanesi  $K^+$  elementini tekli kültürdeki kontrol grubuna göre ikili kültürde kontrol grubunda % 49,6 oranında azaltmıştır. Su teresi ise ikili kontrol grubunda  $K^+$  miktarını tekli kültürdeki kontrol grubuna % 50,25 oranında arttırmıştır. Bu sonuçta su nanesinin rekabet ortamında  $K^+$ 'yı metabolik aktivitelerde kullandığının, mücadele ettiğinin kanıtıdır. İkili kültürde kontrol gruplarında su nanesinin su teresine göre daha mücadelecisi olduğunu belirtmiştik.

İkili kültür 5 mg/L Pb uygulamasında ise su nanesinin  $K^+$  miktarını su teresine göre daha fazla arttırdığı belirlenmiştir. Su teresi  $K^+$  elementini metabolik aktivitelerinde kullandığı için bu dozda daha fazla mücadelecisi olduğu hipotezimizi desteklemektedir.

#### **4.2.7.2. Fosfor İçeriği**

##### **4.2.7.2.1. Tekli Kültürdeki Fosfor İçerikleri**

Bitki metabolizmasında inorganik fosfatın en önemli işlevi yüksek enerji aktarımına olanak sağlayan pirofosfat bağlarını oluşturmasıdır. Yüksek enerjili pirofosfat bağına sahip ATP, nişasta sentezi için temel enerji kaynağıdır. RNA ve DNA'nın sentezlenmesinde önemli rol oynar. Fosfor, ATP'nin yapısına katıldığı için, stoplazma ve kloroplastlarda meydana gelen metabolik tepkimelerde temel işleve sahiptir. Fosfor noksanlığı görülen bitkilerde fosforun tamamı stoplazma ve kloroplastta toplanır. Yapraklarda fotosentezin ışık reaksiyonları sonucu karbondioksitin özümlemesi kloroplastın stromaları içinde bulunan fosfor miktarı ile yakından ilgilidir. Yeteri kadar inorganik fosfor bulunmaması fotosentezin ışık ve karanlık tepkimelerini % 50 oranında azaltır. Buna bağlı olarak nişasta sentezi de geriler (Kacar ve Katkat, 2007).

Su teresi tekli kültürde Pb konsantrasyonu arttıkça, fosfor (P) miktarı da artmıştır. Su teresinin en fazla kurşun adsorpladığı 5 mg/L Pb dozunda P miktarı en yüksek değerine ulaşmıştır. 10 mg/L Pb dozunda su teresi Pb miktarını 5 mg/L Pb dozundakine oranla % 40,82 azaltırken, fosfor miktarını da % 62,8 oranında azaltmıştır. Bu bulgulardan yola çıkarak, Pb alımının en yüksek olduğu 5 mg/L Pb dozunda su teresi en yüksek tepkiyi göstererek P değerini de maksimum düzeyde arttırmaktadır diyebiliriz. Bunun sebebi bu dozda Pb stresi ile metabolik faaliyetlerin artmasına bağlı olarak ATP'yi bu faaliyetlerde kullanıp P açığa çıkması sonucunda P miktarı artmakta ve bitki Pb stresi ile en fazla mücadeleyi bu konsantrasyonda vermekte diyebiliriz. 10 mg/L Pb dozunda ise su teresi daha az Pb alımı ve P alımı gerçekleştirmiştir. Bunun nedeni ise; bitki artık ölüm evresine girdiği için; ortamdaki aşırı Pb'yi alamamakta, var olan fosforu da metabolik olaylarda

kullanmakta ya da artık yeni fosfor alamamakta olabilir. Hatta bitkiler için mutlak gerekli olan P elementinin 10 mg/L Pb dozunda aşırı düşmesi, bu konsantrasyonda bitkinin ölüm evresine girmesine neden olmuş olabilir.

Su nanesi tekli kültürlerinde kontrol grubu, 1 ve 5 mg/L Pb konsantrasyonlarının P değeri birbirinden farklı bulunmamıştır. Ancak 10 mg/L Pb dozunda P değeri kontrol grubu P değerine oranla % 100,7 artmıştır. Su nanesi en yüksek tepkiyi yine 10 mg/L Pb dozunda göstermiştir.

Bulgular neticesinde sucul bitkilerin tekli kültürlerinde su teresi en fazla fosfor değerine 5 mg/L Pb dozunda, su nanesi ise 10 mg/L Pb dozunda ulaşmıştır. Su nanesi Pb stresine daha çok dayanmış gibi görünse de, su teresi 10 mg/L Pb dozunda 90013,33 ng/g Pb biriktirirken su nanesi 54460 ng/g Pb biriktirmiştir.

#### **4.2.7.2.2. İkili Kültürdeki Fosfor İçerikleri**

Su nanesi tekli kültürdeki kontrol grubuna göre ikili kültürdeki kontrol grubunda P miktarını azaltırken, su teresi ise P miktarını arttırmıştır. Su nanesinin P miktarının azalması, bu dozda su nanesinin daha fazla mücadele vererek, P elementini metabolik olaylarda kullanmasına bağlayabiliriz.

İkili kültürdeki 5 mg/L Pb doz uygulamasında ise su teresi P miktarını tekli kültüre göre azaltırken, su nanesi P miktarını arttırmıştır. Bu doz uygulamasında da su teresi P elementini metabolik olaylarda kullanarak, daha baskın olduğunu göstermektedir.

#### **4.2.7.3. Demir İçeriği**

##### **4.2.7.3.1. Tekli Kültürdeki Demir İçerikleri**

Demir elementi, bitkilerde önemli fizyolojik işlevleri olan ve pek çok biyokimyasal tepkimeleri katalize eden çeşitli enzimleri aktive etmektedir. Bu enzimler solunum zinciri içerisinde ve yükseltgenme tepkimelerinde önem taşıyan enerji metabolizması elektron taşıyıcısı olarak görev yapmaktadırlar (Kacar ve Katkat, 2007).

Bitkilerde Fe noksanlığının en önemli belirtisi genç yapraklarda en ince damarların bile yeşil kalırken damarlar arasındaki rengin tamamen sarıya dönmesidir. Demiri yeteri kadar alamayan bitkiler köklerinde daha fazla kök tüyü oluşturur. Demir noksanlığında fotosentetik pigment elementlerinin azalmasına istinaden fotosentez oranı da azalmaktadır. Yeteri kadar demir alamayan bitkilerde protein miktarının azaldığı ve mevcut proteinlerinde hidrolize olduğu bildirilmiştir (Kacar ve Katkat, 2007).

Su teresi tekli kültürdeki demir (Fe) içerikleri incelendiğinde en fazla Fe miktarına

(108273,3 ng/g) 5 mg/L Pb dozunda ulaşılmıştır. Su teresi tekli kùltürlerinde kontrol grubu, 1 ve 10 mg/L Pb konsantrasyonlarının Fe değeri birbirinden farklı bulunmamıştır. Bitkinin biriktirdiği Pb konsantrasyonu ile Fe miktarı arasında pozitif güçlü bir ilişki bulunmuştur. Biriktirilen Pb miktarı arttıkça Fe miktarı artmış ve 5 mg/L Pb dozunda en yüksek değerine ulaşmıştır. 10 mg/L Pb dozunda biriktirilen Pb miktarının düşmesiyle Fe miktarı da düşmüştür. Dolayısıyla su teresi Fe miktarındaki bu değişikliğin Pb stresinden kaynaklı olduğu sonucuna varılabilir. 10 mg/L Pb dozunda su teresi ölüm evresine girdiği için demiri metabolik aktivitelerde kullanmış olabilir.

Su nanesi tekli kùltürlerinde Fe miktarı (87023,33 ng/g) en fazla 10 mg/Pb dozunda artmış olup, kontrol grubuna göre % 47,8 oranında bir artış görölmüştür. Sucul bitkilerin tekli kùltürlerinde su teresi en fazla Fe değerine 5 mg/L Pb dozunda, su nanesi ise 10 mg/L Pb dozunda ulaşmıştır. Su teresinin en fazla tepkiyi 5 mg/L Pb dozunda, su nanesinin ise 10 mg/L Pb dozunda verdiği hipotezimizi Fe miktarı da desteklemektedir.

#### **4.2.7.3.2. İkili Kùltürdeki Demir İçerikleri**

İkili kùltürdeki su nanesinin Fe miktarı açısından tekli kùltürleri ile arasındaki fark önemli bulunmamıştır. Su teresinde ise tekli kùltürdeki 5 mg/L Pb dozundaki Fe miktarına göre, ikili kùltürdeki 5 mg/L Pb uygulamasında Fe miktarı azalmıştır. Bu azalma Fe'nin metabolik olaylarda kullanıldığının ve su teresinin ikili kùltürde Pb stresi altında mücadele verdiğinin kanıtıdır.

#### **4.2.7.4. Magnezyum İçeriği**

##### **4.2.7.4.1. Tekli Kùltürdeki Magnezyum İçerikleri**

Bitkiler magnezyumu iyon şeklinde alırlar. Magnezyum (Mg) alımında  $K^+$  olumsuz etki yaratmaktadır. Kök iç yöreye aynı taşıyıcılarla taşınmaları nedeniyle  $Mg^{+2}$  ile çeşitli katyonlar arasında etkin bir yarışmanın (rekabetin) olduğu bilinmektedir (Kacar ve Katkat, 2007).

Magnezyumun en önemli işlevi, bitkinin yeşil yapraklarının klorofil moleküllerinde merkezi atom olarak bulunmasıdır. Bitki yapraklarındaki toplam Mg elementinin yaklaşık % 6- % 25 kadarı klorofil molekölü içerisinde yer almaktadır. % 5-10'u hücre duvarına güçlü bağlanmakta ve güç çözünebilen tuzlar şeklinde çökelmiş olarak bulunmektedir. Toplam Mg elementinin kalan % 60-90 kadarı ise suda çözünebilen formdadır (Kacar ve Katkat, 2007).

Protein sentezinde de Mg önemli işlevi olan bir elementtir. Yeteri kadar bağımsız



Mg bulunmaması ya da ortamda gereğinden fazla  $K^+$  bulunması durumunda protein sentezinin durduğu saptanmıştır. Mg hücre çekirdeğinde RNA sentezinde ve dolayısıyla DNA oluşumunda etkilidir. ADP ile Pi bağlanmasında yani ATP oluşum reaksiyonunda görev yapan enzimin işlevini yerine getirebilmesi için mutlak seviyede Mg elementine ihtiyaç duyulmaktadır (Kacar ve Katkat, 2007).

Mg noksanlığında, Mg elementinin mobil element olması nedeniyle yaşlı yapraklardan genç yapraklara taşınım olur ve ilk belirtiler yaşlı yapraklarda görülür. Önce yapraklarda damarlar arasında sararma görülmekte ve ileri aşamalarda kahverengi ve siyah lekelenmeler oluşmaktadır. Bu durumun nedeninin yaşlı yapraklarda Mg azalmasına bağlı olarak proteinin parçalanması sonucu olduğuna inanılmaktadır (Kacar ve Katkat, 2007).

Su teresi tekli kültürlerinde kontrol grubuna göre 1 mg/L Pb dozunda Mg değerinde azalma görülmüştür. Bu durum, bitkide bu derişimde su içeriğinin fazla olmasından dolayı Mg'in çözünebilir hale geldiğini ve çeşitli metabolik faaliyetlerde kullanıldığını düşündürmektedir. Mg içeriği en fazla değerine 5 mg/L Pb dozunda, en düşük değerine ise 10 mg/L Pb dozunda ulaşmıştır. 10 mg/L Pb dozunda Mg miktarının düşmesi ise, ölüm evresine girmiş olan bitkinin ATP üretebilmek için Mg kullanması veya artık Mg alamaması olabilir. Yüksek Pb dozunda Mg miktarının düşmesinin bir sebebi de; Pb ile Mg atomunun yer değiştirmesi olabilir. Ağır metal etkisine bırakılan submers makrofitlerle yapılan çalışmalarda, ağır metalin elementlerle yer değiştirdiği ve bitkide zarar meydana getirdiği belirtilmiştir. Mg klorofilin yapısında bulunur. Aşırı dozda Pb, Mg ile yer değiştirerek klorofil ile birleşmekte ve yer değiştirmeden etkilenen klorofil molekülü fotosentez için gerekli olan ışığı toplayamamaktadır. Klorofilin bütün merkez atomları ağır metalle birleşmekte, bu durumda bitkiler ölü olduklarında bile yeşil gözükmektedirler.

Su nanesi tekli kültürlerinde ise Mg değeri Pb dozu arttıkça artmıştır. 10 mg/L Pb dozunda en yüksek değerine (1511,67 mg/kg) ulaşmıştır. Mg miktarının artışı, Pb stresine giren bitkinin tepkisi olarak protein miktarını da arttırdığını düşündürmektedir.

#### **4.2.7.4.2. İkili Kültürdeki Magnezyum İçerikleri**

Tekli kültürdeki kontrol gruplarına göre, ikili kültürdeki kontrol grubu su teresi Mg miktarını arttırırken, su nanesi Mg miktarını azaltmıştır. Bu dozda Mg miktarını azaltan su nanesi, Mg elementini metabolik faaliyetlerde kullanıyor ve su teresine göre daha fazla mücadele ediyor hipotezimizi güçlendirmektedir.

## BÖLÜM 5

### SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 5.1. Sonuçlar

Aynı habitatta aynı çayda yayılış gösteren canlılar birbirlerinin gelişimini etkileyebilirler. Su teresi ve su nanesi de Umurbey Çayı'nda yanyana gelişen sucul bitkiler oldukları için tercih edilmiştir. Böylece aralarındaki rekabet durumunu ortaya konulabilmiştir. Tekli kültürlerde su teresinin iyi bir Pb alıcısı olduğu ve en fazla tepkiyi 5 mg/L Pb dozunda verdiği morfolojik gözlemlerimiz ve fizyolojik deneylerimizle tespit edilmiştir. Tekli kültürdeki su nanesi ise su teresine göre daha az Pb (hatta yarısından bile az) biriktirmiştir. Bunun sonucu olarak ta en fazla doz olan 10 mg/L Pb dozuna kadar dayanabilmiştir.

Umurbey Çayı'nda doğal ortamlarında da beraber gelişen bu sucul bitkileri aynı kültür ortamında yetiştirilmiştir. Pb stresinin olmadığı, sucul bitkilerin sadece bir arada yetiştirildiği ikili kontrol gruplarında, su nanesi morfolojik ve fizyolojik olarak üstünlüğünü kanıtlamıştır. Mayıs-2016 döneminde yapılan arazi gözlemlerimizde, Pb elementine rastlanmayan dönemde su nanesi ve su teresi çayda yan yana gelişmekte, ancak su nanesi çay boyunca yayılış gösterirken, su teresi sadece bir bölgede öbek halinde geliştiği gözlemlenmiştir. Bu gözlemlerde deney sonuçlarımız ile örtüşmekte ve Pb yokluğunda doğal ortamında ve deney ortamında su nanesi üstünlüğünü kanıtlamıştır. Mayıs-2018 döneminde yapılan arazi çalışmasındaki gözlemlerimizde ise su teresine rastlanmamış, su nanesinin ise çay boyunca çok fazla yayılış gösterdiği gözlemlenmiştir. Umurbey Çayı'nda ise aşırı kirlilik ve su yüzeyinin alglerle kaplandığı görülmüştür. Bu aşırı kirlilik karşısında su nanesinin bu denli fazla gelişim göstermesi onun Pb elementi yokluğunda ne kadar dayanıklı bir tür olduğunu destekler niteliktedir.

İkili kültürdeki sucul bitkilerimize 5 mg/L dozunda Pb stresi uyguladığımızda, su teresinin daha fazla mücadelecisi olduğu morfolojik ve fizyolojik olarak ispatlanmıştır. Aynı ortamı paylaşmaktan doğabilecek olan streslerde su nanesi üstünken, ortama Pb stresi de eklendiğinde su nanesinin üstünlüğünü su teresine kaptırdığı görülmüştür. Doğal ortamda Pb yokluğunda geniş yayılış gösteren su nanesi, ileri de Umurbey Çayı'na olası bir Pb sızmasında su teresinden daha fazla etkileneceği, su teresinin yanında varlığını uzun süre sürdüremeyeceği yorumu yapılabilir. Su teresi ile iyi bir Pb akümülatörü olarak bu stresle daha iyi başedip, hayatta kalmayı başarabilir ve bünyesinde fazlaca biriktirdiği Pb ile çevreci bir sucul bitkisi olarak adlandırılabilir. Ayrıca önemli bir aminoasit olan prolin

miktarının da bitki ağır metale maruz kaldığında dört katına kadar arttığı görülmüştür. Bu da bu bitkiden yararlanma adına oldukça önemli bir göstergedir.

## 5.2. Öneriler

Su teresi iyi bir Pb akümülatörü olarak Pb elementine maruz kalabilecek olan akarsu kenarlarında kültüre edilebilir. Böylece herhangi bir Pb sızıntısında Pb'yi fazla miktarda adsorplayarak çevreye yayılmasına engel olabilir. Su nanesi ise kökleriyle çok hızlı yayılmakta ve Umurbey Çayı'nda geniş yayılış göstermektedir. Çok geniş ve hızlı yayılış göstermesi, kirliliğe karşı dayanıklı olması, ileride yayılmacı bir tür olmasına neden olabilir. İki yıl içerisinde su nanesinin çayda aşırı yayılış göstermesi ve su nanelerinin çok büyük boyutlara ulaşmaları bunun kanıtıdır. Bu yüzden bu sucul bitkinin geniş yayılış gösterdiği çaylarda ekologlar çalışmalarını genişletebilir. Bu çalışmada abiyotik faktörlerden Pb ağır metalini, biyotik faktörlerden ise rekabeti ele almıştık. Umurbey Çayı etrafında kullanılan pestisitlerin içerisinde yer alan Pb elementi ve bölgede yer alan Pb madeni açısından Pb stresi altında kalabilme ihtimali yüksek bir çaydır. Aynı çayda yayılış gösteren iki sucul makrofitin Pb ağır metali karşısında birbirleriyle ışık, yer ve besin için rekabet ettiklerinde hangisinin mücadeleyi kazandığını belirlemek, ilerideki çalışmalara önemli katkı sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

- Abernethy V.J., Sabbatini M.R., Murphy K.J., 1996. Response of *Elodea canadensis* Michx, and *Myriophyllum spicatum* L. to Shade, Cutting and Competition in Experimental Culture. *Hydrobiologia*, 340: 219-224.
- Agami M., Waisel Y., 2002. Competitive Relationships Between Two Water Plant Species: *Najas marina* L. and *Myriophyllum spicatum* L.. *Hydrobiologia*, 482: 197-200.
- Aksu E., Yıldız N., 2004. Heavy Metal Stress and Tolerance of Plants. International Soil Congress on Natural Resource Management for Sustainable Development, Erzurum, 109p.
- Alsher R.G., Donahue J.L., Cramer C.L., 1997. Reactive Oxygen Species and Antioxidants: Relationships in Green Cells. *Physiol. Plant*, 100: 224-233.
- Andro A.R., Boz I., Zamfirache M., Burzo I., 2013. Chemical Composition of Essential Oils From *Mentha aquatica* L. at Different Moments of the Ontogenetic Cycle. *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(9): 470-473.
- Ansari T.M., Marr I.L., Tariq N., 2004. Heavy Metals in Marine Pollution. Perspective-A. *Journal of Applied Science*, 4 (1): 1-20.
- Aslan M., Ünlü M.Y., Türkmen N., Yılmaz Y.Z., 2003. Sorption of Cadmium and Effects on Growth, Protein Content, and Photosynthetic Pigment Composition of *Nasturtium officinale* R.Br. and *Mentha aquatica* L.. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 71: 323-329.
- Ayhan B., Ekmekçi Y., Tanyolaç D., 2006. Bitkilerde Ağır Metal Zararları ve Korunma Mekanizmaları. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7 (1): 1-16.
- Aziz A., Martin-Tanguy J., Larher F., 1998. Stress-Induced Changes in Polyamine and Tyramine Levels can Regulate Proline Accumulation in Tomato Leaf Discs Treated with Sodium Chloride. *Physiol. Plant*, 104: 195-202.

- Balcı E.Ö., 2012. Kızılırmak Nehri'nde (Avanos civarı-Nevşehir) Su Altı Bitki Biyokütlesinin Zamansal Değişimleri. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Türkiye
- Bahramikia S., Yazdanparast R., 2010. Antioxidant Efficacy of *Nasturtium officinale* Extracts Using Various In Vitro Assay Systems. J Acupunct Meridian Stud, 3(4): 283-290.
- Baker A.J.M., Walker P.L., 1990. Ecophysiology of Metal Uptake by Tolerant Plants, Heavy Metal Tolerance in Plants. In: Shaw A.J. Evolutionary Aspects. CRC Pres, Boca Raton, 155-177.
- Banerjee G., Sarker S., 1997. The role of *Salvinia rotundifolia* in Scavenging Aquatic Pb(II) Pollution: a Case Study. Bioprocess Biosyst. Eng., 17(5): 295-300.
- Barker D.J., 2009. Pacific Northwest Aquatic Invasive Species Profile: *Nasturtium officinale* (Watercress).
- Bates L.S., Waldren R.P., Teare D., 1973. Rapid Determination of Free Proline for Water Stress Studies. Plant and Soil, 39: 205-297.
- Baydar H., Sagdıç O., Özkan G., Karadoğan T., 2004. Antibacterial Activity and Composition of Essential Oils from *Origanum*, *Thymbra* and *Satureja* Species with Commercial Importance in Turkey. Food Control, 15: 169-172.
- Benabdallah A., Rahmoune C., Boumendjel M., Aissi O., Messaoud C., 2016. Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Six Wild Mentha Species (Lamiaceae) from Northeast of Algeria. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 6(9): 760-766.
- Cardwell A.J., Hawker D.W., Greenway M., 2002. Metal Accumulation in Aquatic Macrophytes from Southeast Queensland, Australia. Chemosphere, 48(7): 653-663.
- Çolak U., Doğan M., 2011. Kurşun Uygulamasının *Triticum aestivum* L. cv. Ceyhan 99'daki Bazı Fizyolojik Etkileri. Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi, 4 (2): 49-53.
- Cook C.D.K., 1996. Aquatic Plant Book. ISBN 90-5103-132-7, SPB Academic Publishing. Amsterdam, Netherlands. 228s.

- Demirezen D., Aksoy A., 2004. Accumulation of Heavy Metals in *Typha angustifolia* (L.) and *Potamogeton pectinatus* (L.) Living in Sultan Marsh (Kayseri, Turkey). *Chemosphere*, 56: 685-696.
- Dereli E.M., Ertürk A., Çakmakçı M., 2017. Yüzeysel Sularda Ağır Metallerin Etkileri ve Ötrofikasyon ile İlişkisi. *Turkish Journal of Aquatic Sciences*, 32(4): 214-230.
- Dietz K.J., Baier M., Krämer U., 1999. Free Radicals and Reactive Oxygen Species as Mediators of Heavy Metal Toxicity in Plants. *Heavy Metal Stress in Plants: from Molecules to Ecosystems*, Eds: M.N.V. Prasad ve J. Hagemeyer, ss.73-98, Springer-Verlag, Berlin.
- Ding J., Mimi C.YU., Jean H.H., Siev-Hong L., Fung-Lung C., 1998. Total Isothiocyanate Content in Cooked Vegetables Frequently Consumed in Singapore. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Singapore, 46(3): 1055-1058.
- Doğan M., 2005. *Ceratophyllum demersum* L.'de Kadmiyum Klorür, Sodyum Klorür ve Bunların Kombinasyonlarının Fizyolojik ve Morfolojik Etkileri, Doktora tezi. Çukurova Üniversitesi, Türkiye
- Doğan M., Saygıdeğer S.D., Çolak U., 2009. Effect of Lead Toxicity on Aquatic Macrophyte *Elodea canadensis* Michx. *Bull Environ.Contam.Toxicol.*, 83: 249-254.
- Doğan M., 2011. Akuatik Makrofitlerde Ağır Metal Akümülayonu. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 4(2): 33-36.
- Duke J.A., 1992. *CRC Handbook of Edible Weeds*. CRC Press, inc., 2000 Corporate Blud., N.W., Boca Raton, FC 33431, 256p.
- Duman F., Öztürk F., 2010. Nickel Accumulation and Its Effect on Biomass, Protein Content and Antioxidative Enzymes in Roots and Leaves of Watercress (*Nasturtium officinale* R.Br.). *Journal of Environmental Sciences*, 22(4): 526-532.
- Dürüst N., Dürüst Y., Tuğrul D., Zengin M., 2004. Heavy Metal Contents of Pinus Radiata Trees of İzmit (Turkey). *Asian Journal of Chemistry*, 16(2): 1129- 1134.

- El-Sikaily A., Khaled A., El-Nemr A., 2004. Heavy Metals Monitoring Using Bivalves from Mediterranean Sea and Red Sea. *Environmental Monitoring and Assessment*, 98: 41-58.
- Fatiha B., Didier H., Naima G., Khodir M., Martin K., Léocadie K., Caroline S., Mohamed C., Pierre D., 2015. Phenolic Composition, *in vitro* Antioxidant Effects and Tyrosinase Inhibitory Activity of Three Algerian *Mentha* species: *M. spicata* (L.), *M. pulegium* (L.) and *M. rotundifolia* (L.) Huds (Lamiaceae). *Industrial Crops and Products*, 74: 722-730.
- Favas P.J.C., Pratas J., Prasad M.N.V., 2012. Accumulation of Arsenic by Aquatic Plants in Large-scale Field Conditions: Opportunities for Phytoremediation and Bioindication. *Science of the Total Environment*, 433: 390-397.
- Figueira M.M., Volesky B., Ciminelli V.S.T., Roddick F.A., 1999. Biosorption of Metals in Brown Seaweed Biomass. *Water Research*, 34(1): 196-204.
- Giallourou N., Oruno-Concha M.J., Harbourne N., 2016. Effects of Domestic Processing Methods on the Phytochemical Content of Watercress (*Nasturtium officinale*). *Food Chemistry*, 212: 411-419.
- Gonçalves E.M., Cruz R.M.S., Abreu M., Brandao T.R.S., Silva C.L.M., 2009. Biochemical and Colour Changes of Watercress (*Nasturtium officinale* R.Br.) During Freezing and Frozen Storage. *Journal of Food Engineering*, 93: 32-39.
- Gupta P., Chandra P., 1996. Response of Cadmium to *Ceratophyllum demersum* L., a Rootless Submerged Plant. *Waste Manag*, 16: 335– 337.
- Güler Ç., Çobanoğlu Z., 2001. Su Kirliliği. Sağlık Bakanlığı Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, 12.
- Gür N., Topdemir A., Munzuroğlu Ö., Çobanoğlu D., 2004. Ağır Metal İyonlarının (Cu+2, Pb+2, Hg+2, Cd+2) Clivia sp. Bitkisi Polenlerinin Çimlenmesi ve Tüp Büyümesi Üzerine Etkileri. *F.Ü. Fen ve Matematik Bilimleri Dergisi*, 16(2): 177-182.
- Jackson P.J., Unkefer P.J., Delhaize E., Robinson N.J., 1990. Mechanisms of Trace Metal Tolerance in Plants. *Environmental Injury to Plants*, Ed: F. Katterman, ss. 231-258, Academic Press, San Diego.

- James C.S., Eaton J.W., Hardwick K., 1999. Competition Between Three Submerged Macrophytes, *Elodea canadensis* Michx, *Elodea nuttallii* (Planch.) St John and *Lagarosiphon major* (Ridl.) Moss, *Hydrobiologia*, 415: 35-40.
- Ji C., Wang C., Yu S., 1990. Measurement of Cold Resistance of Aquatic Plants and Study on Its Characteristics. *Acta-Ekol.-Shengtai-Xuebao*, 10(3): 249-254.
- Hare P.D., Cress W.A., 1997. Metabolic Implications of Stress-Induced Proline Accumulation in Plants. *Plant Growth Regul.*, 21: 79-102.
- Hoagland D.R., Arnon D.I., 1950. The Water Culture Methods for Growing Plants without Soil. *Calif.Agric.Exp.Stn.Circ.*, 347-39p.
- Işık K., 2006. Biyolojik Çeşitlilik. Erozyon, Doğa ve Çevre, T.E.M.A Vakfı Yayını, 51: 357-384.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1984. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Boca Raton, Florida., 315 p.
- Kacar B., Katkat V., 2007. Bitki Besleme, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı, 127, Vipaş Yayınları:3.
- Kahvecioğlu Ö., Kartal G., Güven A., Timur S., 2006. Metallerin Çevresel Etkileri-I. [www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136\\_4753.pdf](http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf).
- Kamatou G.P.P., Viljoen A.M., 2010. A Review of the Application and Pharmacological Properties of  $\alpha$ -Bisabolol and  $\alpha$ -Bisabolol-Rich Oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 87: 1-7.
- Kara Y., 2005. Bioaccumulation of Cu, Zn and Ni from the Wastewater by Treated *Nasturtium officinale*. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 2(1): 63-67.
- Kennedy C.D., Gonsalves F.A.N., 1987. The Action of Divalent Zinc, Cadmium, Mercury, Copper and Lead on the Trans-root Potential and Efflux of Excised Roots. *J.Exp. Bot.*, 38: 800-817.
- Keser G., 2005. *Nasturtium officinale* R.Br.'de Kurşunun Strese Bağlı Enzimlerin Aktivitelerine, Gelişmeye, Mineral ve Klorofil İçeriğine Etkileri, Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, Türkiye



- Korkmaz H., Durmaz A., 2017. Bitkilerin Abiyotik Stres Faktörlerine Verdiği Cevaplar. GÜFBED/GUSTIJ, 7(2): 192-207.
- Lajayer B.A., Ghorbanpour M., Nikabadi S., 2017. Heavy Metals in Contaminated Environment: Destiny of Secondary Metabolite Biosynthesis, Oxidative Status and Phytoextraction in Medicinal Plants, Ecotoxicology and Environmental Safety, 145: 377-390.
- Lee C.K., Low K.S., Hew N.S., 1991. Accumulation of Arsenic by Aquatic Plants. Sci. Total Environ., 103: 215-227.
- Lee J.S., Newman M.E., 1997. Aquaculture and Introduction. Agriscience and Technology Series. Interstate Publishers, Inc. 445-446.
- Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R., 1985. Determination of Total Carotenoids and Chlorophylls a and b of Leaf in Different Solvents. Biochem. Soc. Trans., 603: 591-592.
- Lowry O.H., Rosenbrough N.J., Farr A.L., Randall R.J., 1951. Protein Measurement with Folin Phenol Reagent. Journal of Biological Chemistry, 193, 265-275.
- Maleva M.G., Nekrasova G.F., Malec P., Prasad M.N.V., Strzałka K., 2009. Ecophysiological Tolerance of *Elodea canadensis* to Nickel Exposure. Chemosphere, 77: 392–398.
- Martin G.D., Coetzee J.A., 2014. Competition Between Two Aquatic Macrophytes, *Lagarosiphon major* (Ridley) Moss (Hydrocharitaceae) and *Myriophyllum spicatum* Linnaeus (Haloragaceae) as Influenced by Substrate Sediment and Nutrients, Aquatic Botany, 114: 1-11.
- Midlen A., Redding T.A., 1998. Environmental Managemant for Aquaculture. Chapman Hall, U.K. 223p.
- Mohamed L.A., Khaled A., 2005. Comparative Study of Heavy Metal Distribution in Some Coastal Seaweeds of Alexandria, Egypt. Chemistry and Ecology, 21(3): 181-189.

- Namdjoyan S., Kermanian H., 2013. Exogenous Nitric Oxide (as sodium nitroprusside) Ameliorates Arsenic-induced Oxidative Stress in Watercress (*Nasturtium officinale* R.Br.) Plants, *Scientia Horticulturae*, 161: 350-356.
- Nazari M., Zarinkamar F., Soltani B.M., 2017. Physiological, Biochemical and Molecular Responses of *Mentha aquatica* L. to Manganese. *Plant Physiology and Biochemistry*, 120: 202-212.
- Nazari M., Zarinkamar F., Shafaghat Z., 2018. Manganese Modulates the Physiological and Biochemical Responses of *Mentha aquatica* L. to Ultraviolet Radiation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 45: 1-10.
- Nickavar B., Alinaghi A., Kamalinejad M., 2008. Evaluation of the Antioxidant Properties of Five Mentha Species. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 7 (3): 203- 209.
- Okcu M., Tozlu E., Kumlay A.M., Pehlivan M., 2009. Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri. *Alinteri*, 17(B): 14-26.
- Özdamar K., 2004. Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi, Kaan Kitabevi.
- Özden M., Demirel U., Kahraman A., 2009. Effects of Proline on Antioxidant System in Leaves of Grapevine (*Vitis vinifera* L.) Exposed to Oxidative Stress by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Sci. Hortic.-Amsterdam*, 119: 163-168.
- Özen T., 2009. Investigation of Antioxidant Properties of *Nasturtium officinale* (Watercress) Leaf Extracts, *Acta Poloniae Pharmaceutica-Drug Research*, 66 (2): 187-193.
- Özer Z., Tursun N., Önen H., 2001. Yabancı Otlarla Sağlıklı Yaşam (Gıda ve Tedavi), 4Renk Yayınları, ISBN: 975-8205-08-0.SH.253.
- Öztürk F., Duman F., Lelebici Z., Temizgül R., 2010. Arsenic Accumulation and Biological Responses of Watercress (*Nasturtium officinale* R.Br.) Exposed to Arsenite, *Environmental and Experimental Botany*, 69: 167-174.
- Parnian A., Chorom M., Jaafarzadeh N., Dinarvand M., 2016. Use of Two Aquatic Macrophytes for the Removal of Heavy Metals from Synthetic Medium. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 16: 194-200.

- Paschke M.W., Valdecantos A., Redente E.F., 2005. Manganese Toxicity Thresholds for Restoration Grass Species. *Environmental Pollution*, 135: 313-322.
- Prasad M.N.V., Freitas H., Fraenzle S., Wuenschmann S., Markert B., 2010. Knowledge explosion in phytotechnologies for environmental solutions. *Environmental Pollution*, 158: 18-23.
- Rahman M.A., Hasegawa H., 2011. Aquatic Arsenic: Phytoremediation Using Floating Macrophytes. *Chemosphere*, 83: 633-646.
- Ratkevicius N., Correa J.A., Moenne A., 2003. Copper Accumulation, Synthesis of Ascorbate and Activation of Ascorbate Peroxidase in *Enteromorpha compressa* (L.) Grev. (Chlorophyta) from Heavy Metal-enriched Environments in Northern Chile. *Plant Cell and Environment*, 26: 159-1608.
- Riahi L., Elferchichi M., Ghazghazi H., Jebali J., Ziadi S., Aouadhi C., Chograni H., Zaouali Y., Zoghlami N., Mliki A., 2013. Phytochemistry, antioxidant and antimicrobial activities of the essential oils of *Mentha rotundifolia* L. in Tunisia. *Industrial Crops and Products*, 49: 883-889.
- Reeves R.D., Baker A.J.M., 1999. Metalaccumulating Plants. In *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean up the Environment*, eds, I Raskin, BD Ensley, pp 193-229, John Wiley&Sons Inc, New York.
- Reimer D., 1984. *Introduction to Freshwater Vegetation*. Van Nostrand Reinhold C., New York., 208 p.
- Rose P., Faulkner K., Williamson G., Mithen R., 2000. 7-Methylsulfinyllheptyl and 8-Methylsulfinyloctyl Isothiocyanates from Watercress are Potent Inducers of Phase II Enzymes. *Carcinogenesis*, 21(11): 1983-1988.
- Saygideğer S., Doğan M., Keser G., 2004. Effect of Lead and pH on Lead Uptake, Chlorophyll and Nitrogen Content of *Typha latifolia* L. and *Ceratophyllum demersum* L. *International Journal of Agriculture and Biology*, 6(1): 168-172.
- Saygideğer S., Doğan M., 2005. Influence of pH on Lead Uptake, Chlorophyll and Nitrogen Content of *Nasturtium officinale* R.Br. and *Mentha aquatica* L.. *Journal of Environmental Biology*, 26(4): 753-759.

- Scherer R., Lemos M.F., Martinella G.C., Silva A.G., 2013. Antioxidant and Antibacterial Activities and Composition of Brazilian Spearmint (*Mentha spicata* L.). *Industrial Crops and Products*, 50: 408-413.
- Shapiro A.M., 1975. The Role of Watercress, *Nasturtium officinale*. *Journal of Research on the Lepidoptera*, 14(3): 158-168.
- Sharma P., Dubey R.S., 2005. Lead Toxicity in Plants. *Braz. J. Plant Physiol.*, 17(1): 35-52.
- Sharmila P., Pardha Saradhi P., 2002. Proline Accumulation in Heavy Metal Stressed Plants: an Adaptive Strategy. *Physiology and Biochemistry of Metal Toxicity and Tolerance in Plants*, 179-199.
- Shields E.C., Moore K.A., 2016. Effects of Sediment and Salinity on the Growth and Competitive Abilities of Three Submersed Macrophytes. *Aquatic Botany*, 132: 24-29.
- Seçmen Ö., Leblebici E., 2008. Türkiye Sulak Alan Bitkileri ve Bitki Örtüsü. Ege Üniversitesi.
- Singh V.P., 1995. Toxic Metal Cadmium: Phytotoxicity and Tolerance in Plants. In: Trivedy RK (ed) *Advances in Environmental Science Technology*. Ashish Publication House, New Delhi, India.
- Singh R., Tripathi R.D., Dwivedi S., Kumar A., Trivedi P.K., Chakrabarty D., 2010. Lead Bioaccumulation Potential of an Aquatic Macrophyte *Najas indica* are Related to Antioxidant System. *Bioresource Technology*, 101(9): 3025-3032.
- Spencer D.V., Rejmánek M., 2010. Competition Between Two Submersed Aquatic Macrophytes, *Potamogeton pectinatus* and *Potamogeton gramineus*, Across a Light Gradient, *Aquatic Botany*, 92: 239-244.
- Srivastava S., Sounderajan S., Udas A., Suprasanna P., 2014. Effect of Combinations of Aquatic Plants (*Hydrilla*, *Ceratophyllum*, *Eichhornia*, *Lemna* and *Wolffia*) on Arsenic Removal in Field Conditions. *Ecological Engineering*, 73: 297-301.

- Stiers I., Njambuya J., Triest L., 2011. Competitive Abilities of Invasive *Lagarosiphon major* and Native *Ceratophyllum demersum* in Monocultures and Mixed Cultures in Relation to Experimental Sediment Dredging. *Aquatic Botany*, 95: 161-166.
- Stresty T.V.S., Madhava Rao K.V., 1999. Ultrastructural Alterations in Response to Zinc and Nickel Stress in the Root Cell of Pigeonpea. *Environ Exp Bot.*, 41: 3-13.
- SzÁková J., Tlustoř P., Goessler W., Pokorný T., Findenig S., Balik J., 2011. The Effect of Soil Contamination Level and Plant Origin on Contents of Arsenic, Cadmium, Zinc and Arsenic Compounds in *Mentha aquatica* L.. *Archives of Environmental Protection*, 37 (2): 109-121.
- Türker O.C., Türe C., Böcük H., Yakar A., 2016. Phyto-management of Boron Mine Effluent Using Native Macrophytes in Mono-culture and Poly-culture Constructed Wetlands. *Ecological Engineering*, 94: 65-74.
- Vanni M.J., Duncan J.M., González M.J., Horgan M.J., 2009. Competition Among Aquatic Organisms. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences *Encyclopedia of Inland Waters*, 395-404.
- Zeb A., 2015. Phenolic Profile and Antioxidant Potential of Wild Watercress (*Nasturtium officinale* L.). *Springer Plus.*, 4, 714.
- Zheng Y., Wang X., Dzakpasu M., Zhao Y., Ngo H.H., Guo W., Ge Y., Xiong J., 2016. Effects of Interspecific Competition on the Growth of Macrophytes and Nutrient Removal in Constructed Wetlands: A Comparative Assessment of Free Water Surface and Horizontal Subsurface Flow Systems. *Bioresource Tecnology*, 207: 134-141.
- Zurayk R., Sukkariyah B., Baalbaki R., 2001. Common Hydrophytes as Bioindicators of Nickel, Chromium and Cadmium Pollution. *Water Air Soil Pollut.*, 127: 373-388.
- Zurayk R., Sukkariyah B., Baalbaki R., Ghanem D.A., 2002. Ni Phytoaccumulation in *Mentha aquatica* L. and *Mentha sylvestris* L.. *Water, Air, and Soil Pollution*, 139: 355-364.
- Watanabe M.A., 1997. Phytoremediation on the Brink of Commercialization. *Environ. Sci. Technol. A.*, 31: 182–186.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Gizem İLGÜN BOYALAN

Doğum Yeri : Susurluk/ BALIKESİR

Doğum Tarihi : 05.03.1987

### EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : Necatibey Eğitim Fakültesi, Biyoloji Öğretmenliği

Yüksek Lisans Öğrenimi : Gaziantep Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Genel Biyoloji Anabilim Dalı

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

### BİLİMSEL FAALİYETLERİ

- a) Yayınlar -SCI -Diğer: Çelekli, A, G. İlgün ve H. Bozkurt, “Sorption equilibrium, kinetic, thermodynamic, and desorption studies of Reactive Red 120 on *Chara contraria*, *Chemical Engineering Journal*, 191, 228-235 (2012).
- b) Bildiriler -Uluslararası -Ulusal :
  - 1- Removal of Reactive Red 120 from aqueous solution on *Chara contraria*: Application of kinetic, equilibrium, and thermodynamic studies ; VI. International Symposium on Ecology and Environmental Problems , 17-20 Kasım 2011, Antalya.
  - 2- Maxilon Red GRL'nin *Chara contraria* ile uzaklaştırılması; X. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, 4-7 Ekim 2011, Çanakkale.
  - 3- Maxilon Red GRL'nin Ceviz kabuğu ile uzaklaştırılması ; X. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, 4-7 Ekim 2011, Çanakkale.
  - 4- Reaktif Red 120'nin Fil dışkısı ile giderimi ; Ekoloji 2012 Sempozyumu, 3-5 Mayıs 2012, Kilis.
  - 5- Alg havuzu fitoplankton tür kompozisyonu ve ekolojik özellikleri, 3-5 Mayıs 2012, Kilis.

6- Kadmiyum uygulamalarına *Scenedesmus quadricauda* var. *Longispina*'nın biyokimyasal cevabı, 3-5 Mayıs 2012, Kilis.

### **İŞ DENEYİMİ**

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl : Yüksek Öğrenim Kredi ve Yurtlar Kurumu, (Yurt Yönetim Memuru, 2012-...)

### **İLETİŞİM**

E-posta Adresi : gizzem1987@hotmail.com