

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI
HİDROBİYOLOJİ BİLİM DALI**

Lemna minor L. ve *Lemna gibba* L. (Su mercimeği) Kullanılarak Farklı Derişimlerdeki Bazı Ağır Metallerin (Kalay, Kobalt, Antimon, Vanadyum) Biyoremediasyonu ve Ağır Metallerin Olası Stres Etkilerinin Belirlenmesi

BUSE KURT

**Danışman
Doç. Dr. ŞÜKRAN YILDIZ**



MANİSA-2019

**BUSE
KURT**

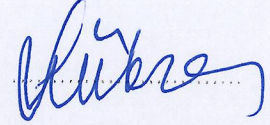
Lemma minor L. ve *Lemma gibba* (Su mercimeği) Kullanılarak Farklı Derişimlerdeki
Bazı Ağır Metallerin (Kalay, Kobalt, Antimon, Vanadyum) Biyoremediasyonu ve Ağır
Metallerin Olası Stres Etkilerinin Belirlenmesi **2019**

TEZ ONAYI

Buse KURT tarafından hazırlanan "*Lemna minor* L. ve *Lemna gibba* L. (Su mercimeği) Kullanılarak Farklı Derişimlerdeki Bazı Ağır Metallerin (Kalay, Kobalt, Antimon, Vanadyum) Biyoremediasyonu ve Ağır Metallerin Olası Stres Etkilerinin Belirlenmesi" adlı tez çalışması 16/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Hidrobiyoloji Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

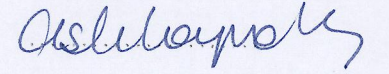
Danışman

Doç. Dr. Şükran YILDIZ
Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Ashı BAŞARAN
Ege Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Selma KATALAY
Celal Bayar Üniversitesi



TAAHHÜTNAME

Bu tezin Celal Bayar Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Buse KURT



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	II
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLO DİZİNİ	VIII
TEŞEKKÜR.....	XI
ÖZET	XII
İNGİLİZCE ÖZET.....	XIII
	Sayfa
1. GİRİŞ	1
1.1. Ağır Metallerin Çevresel Kirlilik Etkileri.....	2
1.2. Bitkilerle Atık Su Arıtımı.....	4
1.3. Vanadayum'un Canlılar Üzerine, Büyüme ve Gelişmeye Etkisi.....	6
1.4. Kobalt'ın Canlılar Üzerine, Büyüme ve Gelişmeye Etkisi.....	7
1.5. Antimon'un Canlılar Üzerine, Büyüme ve Gelişmeye Etkisi.....	7
1.6. Kalay'ın Canlılar Üzerine, Büyüme ve Gelişmeye Etkisi.....	8
2. GENEL BİLGİLER	11
2.1. Tezin amacı.....	15
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	16
3.1. Materyal.....	16
3.1.1. Organizmalar ve Kültür Ortamları	19
3.1.2. SIS (Swedish Standard) Lemna Büyüme Ortamı (Seyretleme Suyu).....	20
3.2. Yöntemler.....	22
3.2.1. Biyodenyde Stok Çözeltilerin Hazırlanması.....	22
3.2.2. Kuru Ağırlık Analizi.....	24
3.2.3. ICP-OES Analizi.....	24
3.2.4. Karbonhidrat Analizi.....	25
3.2.5. Klorofil "a" ve "b" Analizi.....	27
3.2.6. Karetenoid Analizi.....	28
3.2.7. Lipid Peroksidasyonu Analizi (MDA).....	28
3.2.8. İstatistik	29
3.2.9. Adsorbsiyon.....	29
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	31
4.1. Karbonhidrat Analizi.....	31
4.2. Klorofil "a" ve "b" Analizi.....	40
4.3. Karetenoid Analizi	47
4.4. Lipid Peroksidasyonu Analizi (MDA).....	54
4.5. Adsorbsiyon.....	62
4.5.1. Adsorbsiyon Miktarları.....	62
4.5.2. Adsorbsiyon Yüzdeleri.....	70
4.6. İstatistik Veriler.....	75
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	78
6. KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	87

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

mg	Miligram
cm	Santimetre
L	Litre
g	Gram
cm³	Santimetre küp
m	Metre
°C	Santigrat derece
%	Yüzde
ppm	Milyonda bir kısım
C	Konsantrasyon (derisim)
EC₅₀	Ortalama Etkili Konsantrasyon
Sb	Antimon
Sn	Kalay
Co	Kobalt
V	Vanadyum
MgSO₄.7H₂O	Magnezyum sülfat hepdahidrat
HNO₃	Nitrik asit
CaCl₂	Kalsiyum klorür
H₂O	Su
NaNO₃	Sodyum nitrat
KH₂PO₄	Mono Potasyum Fosfat
MgSO₄	Magnezyum Sülfat
CaCl₂	Kalsiyum Klorür
Na₂CO₃	Sodyum karbonat
H₃BO₃	Borik Asit
MnCl₂	Mangan(II) Klorür
Na₂MoO₄	Sodyum molibdat
ZnSO₄	Çinko Sülfat

CuSO₄	Bakır (II) sülfat
Co(NO₃)₂	Kobalt(II) Nitrat
FeCl₃	Demir(III) Klorür
Na₂-EDTA	Disodyum etilendiamintetraasetat dihidrat
MOPS	(3- (N-morfolino) propansülfonik asit)
C₈H₄K₂O₁₂Sb₂	Potasyum antimonil tartrat trihidrat
CoSO₄	Kobalt(II) Sülfat
SnCl₂	Kalay(II) Klorür
VOSO₄	Vanadil sülfat
ICP-OES	İndüktif Eşleşmiş Plazma/Optik Emisyon Spektrometresi
DEFAM	Deneysel Fen Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 .Çevre Kirletici etkileri en fazla görülen ağır metaller.....	3
Şekil 1.2. Tatlı sularda bazı ağır metallerin tipik toksisite değerleri.....	3
Şekil 1.3. Kara Kökenli Kirletici Kaynaklar.....	4
Şekil 1.4. Arıtma Sistemlerinde kullanılan bitki Türleri.....	5
Şekil 1.5.Sucul bitkiler	6
Şekil 1.6. <i>Lemna gibba</i> 'nın Türkiye'deki Yayılış Alanları.....	10
Şekil 1.7. <i>Lemna minor</i> 'un Türkiye'deki Yayılış Alanları.....	10
Şekil 3.1. Su mercimeğinin (<i>Lemna minor</i>) görüntüsü.....	17
Şekil 3.2. .Su mercimeğinin (<i>Lemna gibba</i>) görüntüsü	18
Şekil 3.3.Sucul bitkilerin ortam koşulları.....	19
Şekil 3.4. Laboratuvarında kullanılan çeker ocak ve hassas terazi.....	21
Şekil 3.5. SIS Besiyerinde kültüre alınmış <i>Lemna minor</i> ve <i>Lemna gibba</i>	22
Şekil 3.6. Stok çözeltilerin hazırlanması.....	23
Şekil 3.7. Laboratuvarında kullanılan etüv ve desikatör.....	24
Şekil 3.8. Karbonhidrat Analizi.....	26
Şekil 3.9. Laboratuvarında kullanılan U.V.Spektrofotometre cihazı.....	26
Şekil 3.10. Klorofil "a" ve "b" Analizi.....	27
Şekil 3.11. Lipid Peroksidasyon Analizi.....	28
Şekil 4.1. <i>Lemna minor</i> Antimon ağır metali uygulama sonucu karbonhidrat analizleri.....	32
Şekil 4.2. <i>Lemna minor</i> Kalay ağır metali uygulama sonucu karbonhidrat analizleri.....	33
Şekil 4.3. <i>Lemna minor</i> Kobalt ağır metali uygulama sonucu karbonhidrat analizleri.....	33
Şekil 4.4. <i>Lemna minor</i> Vanadyum ağır metali uygulama sonucu karbonhidrat analizleri.....	34
Şekil 4.5. <i>Lemna gibba</i> Antimon uygulama sonucu karbonhidrat analizleri...	35
Şekil 4.6. <i>Lemna gibba</i> Kalay uygulama sonucu karbonhidrat analizleri.....	36

Şekil 4.7. <i>Lemna gibba</i> Kobalt uygulama sonucu karbonhidrat analizleri.....	36
Şekil 4.8. <i>Lemna gibba</i> Vanadyum uygulama sonucu karbonhidrat analizleri...	37
Şekil 4.9. <i>Lemna minor</i> 'un 4 farklı ağır metalde 5 farklı konsantrasyonunda karbonhidrat karşılaştırılması.....	38
Şekil 4.10. <i>Lemna minor</i> 'un 4 farklı ağır metalde 5 farklı konsantrasyonunda karbonhidrat karşılaştırılması.....	39
Şekil 4.11. <i>Lemna minor</i> Antimon uygulama sonucu klorofil a ve b analizleri.	41
Şekil 4.12. <i>Lemna minor</i> Kalay uygulama sonucu klorofil a ve b analizleri....	41
Şekil 4.13. <i>Lemna minor</i> Kobalt uygulama sonucu klorofil a ve b analizleri...	42
Şekil 4.14. <i>Lemna minor</i> Vanadyum uygulama sonucu klorofil a ve b analizleri.....	43
Şekil 4.15. <i>Lemna gibba</i> Antimon uygulama sonucu klorofil a ve b analizleri.	44
Şekil 4.16. <i>Lemna gibba</i> Kalay uygulamasonucu klorofil a ve b analizleri....	45
Şekil 4.17. <i>Lemna gibba</i> Kobalt uygulama sonucu klorofil a ve b analizleri...	45
Şekil 4.18. <i>Lemna gibba</i> Vanadyum uygulama sonucu klorofil a ve b analizleri.....	46
Şekil 4.19. <i>Lemna minor</i> Antimon uygulama sonrası karetenoid analizleri....	48
Şekil 4.20. <i>Lemna minor</i> Kalay uygulama sonrası karetenoid analizleri.....	48
Şekil 4.21. <i>Lemna minor</i> Kobalt uygulama sonrası karetenoid analizleri.....	49
Şekil 4.22. <i>Lemna minor</i> Vanadyum uygulama sonrası karetenoid analizleri..	50
Şekil 4.23. <i>Lemna gibba</i> Antimon uygulama sonrası karetenoid analizleri....	51
Şekil 4.24. <i>Lemna gibba</i> Kalay uygulama sonrası karetenoid analizleri.....	52
Şekil 4.25. <i>Lemna gibba</i> Kobalt uygulama sonrası karetenoid analizleri.....	53
Şekil 4.26. <i>Lemna gibba</i> Vanadyum uygulama sonrası karetenoid analizleri..	54

Şekil 4.27. <i>Lemna minor</i> Antimon uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu analizleri.....	55
Şekil 4.28. <i>Lemna minor</i> Kalay uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu analizleri.....	56
Şekil 4.29. <i>Lemna minor</i> Kobalt uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu analizleri.....	57
Şekil 4.30. <i>Lemna minor</i> Vanadyum uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu analizleri.....	58
Şekil 4.31. <i>Lemna gibba</i> Antimon uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu analizleri.....	59
Şekil 4.32. <i>Lemna gibba</i> Kalay uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu analizleri.....	59
Şekil 4.33. <i>Lemna gibba</i> Kobalt uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu analizleri.....	60
Şekil 4.34. <i>Lemna gibba</i> Vanadyum uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu analizleri.....	61
Şekil 4.35. Kalay adsorblanma miktarı.....	62
Şekil 4.36. Kalay adsorblanma miktarı.....	62
Şekil 4.37. Vanadyum adsorblanma miktarı.....	63
Şekil 4.38. Vanadyum adsorblanma miktarı.....	63
Şekil 4.39. Antimon adsorblanma miktarı.....	64
Şekil 4.40. Antimon adsorblanma miktarı.....	64
Şekil 4.41. Kobalt adsorblanma miktarı.....	65
Şekil 4.42. Kobalt adsorblanma miktarı.....	65
Şekil 4.43. Kalay adsorblanma miktarı.....	66
Şekil 4.44. Kalay adsorblanma miktarı.....	66
Şekil 4.45. Vanadyum adsorblanma miktarı.....	67

Şekil 4.46. Vanadyum adsorblanma miktarı.....	67
Şekil 4.47. Antimon adsorblanma miktarı.....	68
Şekil 4.48. Antimon adsorblanma miktarı.....	68
Şekil 4.49. Kobalt adsorblanma miktarı.....	69
Şekil 4.50. Kobalt adsorblanma miktarı.....	69
Şekil 4.51. Kalay adsorblanma yüzdesi.....	70
Şekil 4.52. Vanadyum adsorblanma yüzdesi.....	70
Şekil 4.53. Antimon adsorblanma yüzdesi.....	71
Şekil 4.54. Kobalt adsorblanma yüzdesi.....	71
Şekil 4.55. Kalay adsorblanma yüzdesi.....	72
Şekil 4.56. Vanadyum adsorblanma yüzdesi.....	72
Şekil 4.57. Antimon adsorblanma yüzdesi.....	73
Şekil 4.58. Kobalt adsorblanmayüzdesi.....	73
Şekil 4.59. <i>Lemna minor</i> korelasyon grafiği.....	76
Şekil 4.60. <i>Lemna gibba</i> korelasyon grafiği.....	77

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 4.1.4 Farklı ağır metal uygulama öncesi <i>Lemna minor</i> ve <i>Lemna gibba</i> karbonhidrat sonuçları.....	31
Tablo 4.2. <i>Lemna minor</i> Antimon ağır metali uygulama sonrası karbonhidrat sonuçları.....	31
Tablo 4.3. <i>Lemna minor</i> Kalay ağır metali uygulama sonrası karbonhidrat sonuçları.....	32
Tablo 4.4. <i>Lemna minor</i> Kobalt ağır metali uygulama sonrası karbonhidrat sonuçları.....	33
Tablo 4.5. <i>Lemna minor</i> Vanadyum ağır metali uygulama sonrası karbonhidrat sonuçları.....	34
Tablo 4.6. <i>Lemna gibba</i> Antimon ağır metali uygulama sonrası karbonhidrat sonuçları.....	35
Tablo 4.7. <i>Lemna gibba</i> Kalay ağır metali uygulama sonrası karbonhidrat sonuçları.....	35
Tablo 4.8. <i>Lemna gibba</i> Kobalt ağır metali uygulama sonrası karbonhidrat sonuçları.....	36
Tablo 4.9. <i>Lemna gibba</i> Vanadyum ağır metali uygulama sonrası karbonhidrat sonuçları.....	37
Tablo 4.10. <i>Lemna minor</i> 'un 4 farklı ağır metalde 5 farklı konsantrasyonunda karbonhidrat karşılaştırılması.....	38
Tablo 4.11. <i>Lemna gibba</i> 'nın 4 farklı ağır metalde 5 farklı konsantrasyonunda karbonhidrat karşılaştırılması.....	39
Tablo 4.12.Uygulama öncesi <i>Lemna minor</i> ve <i>Lemna gibba</i> klorofil a ve klorofil b analiz sonucu.....	40
Tablo 4.13. <i>Lemna minor</i> Antimon ağır metali uygulama sonrası klorofil a ve b sonuçları.....	40
Tablo 4.14. <i>Lemna minor</i> Kalay ağır metali uygulama sonrası klorofil a ve b sonuçları.....	41

Tablo 4.15. <i>Lemna minor</i> Kobalt ağır metali uygulama sonrası klorofil a ve b sonuçları.....	42
Tablo 4.16. <i>Lemna minor</i> Vanadyum ağır metali uygulama sonrası klorofil a ve b sonuçları.....	43
Tablo 4.17. <i>Lemna gibba</i> Antimon ağır metali uygulama sonrası klorofil a ve b sonuçları.....	43
Tablo 4.18. <i>Lemna gibba</i> Kalay ağır metali uygulama sonrası klorofil a ve b sonuçları.....	44
Tablo 4.19. <i>Lemna gibba</i> Kobalt ağır metali uygulama sonrası klorofil a ve b sonuçları.....	45
Tablo 4.20. <i>Lemna gibba</i> Vanadyum ağır metali uygulama sonrası klorofil a ve b sonuçları.....	46
Tablo 4.21. Uygulama öncesi <i>Lemna minor</i> ve <i>Lemna gibba</i> 'nın karetenoid analizleri sonucu.....	47
Tablo 4.22. <i>Lemna minor</i> Antimon ağır metali uygulama sonrası karetenoid sonuçları.....	47
Tablo 4.23. <i>Lemna minor</i> Kalay ağır metali uygulama sonrası karetenoid sonuçları.....	48
Tablo 4.24. <i>Lemna minor</i> Kobalt ağır metali uygulama sonrası karetenoid sonuçları.....	49
Tablo 4.25. <i>Lemna minor</i> Vanadyum ağır metali uygulama sonrası karetenoid sonuçları.....	50
Tablo 4.26. <i>Lemna gibba</i> Antimon ağır metali uygulama sonrası karetenoid sonuçları.....	51
Tablo 4.27. <i>Lemna gibba</i> Kalay ağır metali uygulama sonrası karetenoid sonuçları.....	52

Tablo 4.28. <i>Lemna gibba</i> Kobalt ağır metali uygulama sonrası karetenoid sonuçları.....	52
Tablo 4.29. <i>Lemna gibba</i> Vanadyum ağır metali uygulama sonrası karetenoid sonuçları.....	53
Tablo 4.30.Uygulama öncesi <i>Lemna minor</i> ve <i>Lemna gibba'nun</i> Lipid Peroksidasyonu analizi sonuçları.....	54
Tablo 4.31. <i>Lemna minor</i> Antimon ağır metali uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu sonuçları.....	55
Tablo 4.32. <i>Lemna minor</i> Kalay ağır metali uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu sonuçları.....	56
Tablo 4.33. <i>Lemna minor</i> Kobalt ağır metali uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu sonuçları.....	56
Tablo 4.34. <i>Lemna minor</i> Vanadyum ağır metali uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu sonuçları.....	57
Tablo 4.35. <i>Lemna gibba</i> Antimon ağır metali uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu sonuçları.....	58
Tablo 4.36. <i>Lemna gibba</i> Kalay ağır metali uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu sonuçları.....	59
Tablo 4.37. <i>Lemna gibba</i> Kobalt ağır metali uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu sonuçları.....	60
Tablo 4.38. <i>Lemna gibba</i> Vanadyum ağır metali uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu sonuçları.....	61
Tablo 4.39. <i>Lemna minor</i> korelasyon sonuçları.....	75
Tablo 4.40. <i>Lemna gibba</i> korelasyon sonuçları.....	76

TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aőamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Sayın Doç.Dr. Őukran YILDIZ'a, bilgi ve tecrübesi ile lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aőamalarında maddi manevi her yönden yardımcı olan, tecrübeleri ile beni aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen, kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum sevgili hocam Araő.Gör. Dr. Tuğba ŐENTÜRK' e, Yüksek Lisans Tezimi 2015-156 no'lu proje ile destekleyen Bilimsel Araőtırmalar Projeleri Müdürlüğü'ne, çalıőmalarım sırasında manevi desteğini her zaman hissettiğim değerli arkadaőım Bedriye ÇOLAKOğLU'na, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Buse KURT
Manisa, 2019

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

- *Lemna minor* L. (Su mercimeği) Kullanılarak Farklı Derişimlerdeki Bazı Ağır Metallerin (Kalay, Kobalt, Antimon, Vanadyum) Biyoremediasyonu ve Ağır Metallerin Olası Stres Etkilerinin Belirlenmesi

Buse KURT

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Şükran YILDIZ

Bu çalışmada, *Lemna minor* L. ve *Lemna gibba* L. makrofit bitkilerine farklı konsantrasyonlarda uygulanan Sn, Co, Sb ve V gibi ağır metallerin remediasyonu, bu ağır metallerin bitkinin karbonhidrat, klorofil a-b, karotenoid ve lipid içeriği üzerine etkilerinin araştırılması ve ağır metallerin ilgili organizmada meydana gelen olası stres faktörlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada su mercimeği bitkilerinin laboratuvar koşulları altında uygun besiyerle büyütülmesi sağlanmış ve yaklaşık olarak 0,1-1000 mg/L (ppm)'lik derişimlerde Kalay (II), Kobalt (II), Antimon (III), Vanadyum (IV) içeren besiyerleri hazırlanmıştır. 10-15 gün süreyle büyütülen *L. minor* ve *L. gibba* bitkileri' nin ağır metal stresine dayanabildikleri EC₅₀ (canlı kalabildiği derişim aralığı) değerinin saptanmasıyla ağır metal konsantrasyonları 5 ppm, 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 100 ppm belirlenmiştir. Bununla birlikte ağır metallerin canlılar üzerinde meydana getirdiği olası stres etkileri ve yapılan laboratuvar çalışmaları sonucunda Adsorbsiyon Yüzdeleri *Lemna minor* için en fazla adsorbsiyonlanan ağır metal Kalay iken, *Lemna gibba* için en fazla adsorbsiyonlanan ağır metal Antimon olduğu ortaya konmuştur. İstatistikî verilerin ağır metal uygulamaları öncesi ve sonrası karbon, lipid, karotenoid ve klorofil a-b miktarları metal adsorblanma yüzdelerine oranlanarak uygulama değerleri karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Lemna minor*, *Lemna gibba*, Ağır metal, Kobalt, Kalay, Vanadyum, Antimon, Biyoremediasyon

2019, 87 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. / PhD Thesis

Determination of Bioremediation of Heavy metals (Tin, Cobalt, Antimony, Vanadium) by using *Lemna minor* (Duckweed) and Possible Stress Affects of Heavy Metals

Buse KURT

Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Biology

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Şükran YILDIZ

In this study, remediation of heavy metals such as Sn, Co, Sb and V applied to different concentrations of *Lemna minor* L. and *Lemna gibba* L. macrophytes plants, investigation of the effects of these heavy metals on carbohydrate, chlorophyll ab, carotenoid and lipid contents of the heavy metals, it is aimed to determine the possible stress factors coming from the square.

In this study, duckweed plants were grown under laboratory conditions with suitable medium and media containing Tin (II), Cobalt (II), Antimony (III), Vanadium (IV) were prepared at concentrations of approximately 0.1-1000 mg / L (ppm). . By determining the EC₅₀ (concentration range in which it can survive) that L. minor and L. gibba plants grown for 10-15 days, they can withstand heavy metal stress, heavy metal concentrations were determined as 5 ppm, 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm, 100 ppm. However, as a result of the possible stress effects of heavy metals on living organisms and laboratory studies, Adsorption Percentages were the most adsorbed heavy metals for *Lemna minor* and the most adsorbed heavy metal for *Lemna gibba* was Antimony. The statistical values of carbon, lipid, carotenoid and chlorophyll a-b before and after heavy metal applications were compared to the percentages of metal adsorbing.

Keywords: *Lemna minor*, *Lemna gibba*, Heavy metal, Cobalt, Tin, Vanadium, Antimony, Bioremediation

2019, 87 pages



1. GİRİŞ

Kullanılabilir su kaynaklarının kısıtlılığına rağmen hızlı nüfus artışı ve endüstriyel faaliyetlere paralel olarak suya olan ihtiyaç her geçen gün artarken, hava ve toprakla iç içe olan su ekosistemleri doğal ve antropojenik kaynakdan (evsel, endüstriyel, madencilik ve tarımsal aktiviteler gibi) çevreye salınan ağır metaller ile sürekli kirletilmeye devam etmektedir. [1]

Dünya’da ve Türkiye’de özellikle de su kirliliğinde son yıllarda artış olması kaynaklı ve özellikle de endüstriyel ve evsel atıklar, tarım faaliyetleri, rafineri atıkları, fosil yakıtlarının yakılması, madencilik, gibi antropojenik faktörler, artan kirlenmenin başlıca sebeplerini oluşturmuştur. Ötrofikasyon, asidifikasyon ve ağır metal kirliliği gibi farklı şekillerde kirlilik ortaya çıkması su kütlelerinde antropojenik etkenler sonucu oluşmuştur. Biyolojik olarak birikim modern hayatın getirdiği bir sonuçtur.

Ağır metaller ve tuzları çevresel kirleticilerin önemli bir grubunu oluşturmaktadır. Toprağa veya suya giren bazı zararlı maddeler, uzaklaştırılabildikleri veya biyolojik olarak parçalanabildikleri halde, ağır metaller uzaklaştırılmazlar bu nedenle, alıcı ortamlara girmiş bulunan ağır metaller, yüksek oranda birikmeleri nedeniyle, kimyasal ve biyolojik süreçleri olumsuz yönde etkilemektedir.[2] Bir metalin toksisitesi, makromolekül, metabolit ve hücre organelleriyle birlikte biyolojik sistemlerdeki dinamik yaşam proseslerine zarar verme kapasitesine dayanır. En tehlikeli yönleri ise yem ve besin maddelerine, oradan da besin zinciri yoluyla canlılara geçmeleridir. Sanayileşme ve endüstri alanlarındaki gelişmenin insan yaşamına kazandırdığı faydalarının yanı sıra çevre ve ekolojik denge tahribatları her geçen gün artmaktadır. Meydana gelen bu çevresel kirliliğin çok küçük konsantrasyonları hücresel etkide toksik etki yaratmaktadır. Doğaya salınan kirlilik yükleri ki bunlar endüstriyel, tarımsal, atık su, plansız şehirleşme gibi zamanla korkunç boyutlarda biyolojik birikime neden olurlar.

Biyolojik birikime neden olan maddelerin suda değil de yağda çözünüyor olması birçoğunun hayansalyağ dokularında birikmesiyle pekçok maddenin kimyasal ya da biyolojik ayrışımının olmaması veya geç olmasıyla, besin zincirine enerji

döngüsünün bu ağır metal toksitesini dışarı atmakta yetersiz kalmasıyla canlı dokularda istenmeyen birikime neden olur. Besin zinciri yoluyla üst kademelere çıkıldıkça bu birikimin arttığı görülmektedir. [3]

Ağır metallerin canlılar üzerinde çok farklı zararlara neden oldukları pek çok tarım ürününün gelişimini geciktirdiği, hayvan ve bitki gen mutasyonlarına neden olduğu bilinmektedir. Yüzen su bitkileri ile ağır metal atık sularda nutrient giderimi başarılı sonuçlar vermiştir. [3]

Son yıllardaki çalışmalarda ağır metallerin gideriminde başarılı sonuçlar alınabileceği görülmüştür. Bu teknik pekçok ülkede uygulanmaktadır. Ağır metal giderimi son yıllarda önemli çalışmalar arasında yer almaktadır. Hücre fonksiyonlarına zarar vererek biyolojik aktiviteyi yavaşlattığı bilinmektedir. Bu nedenle herhangi bir ortamdaki ağır metalin atık sudan giderilmeleri gerekmektedir. [4,5,6]

Pekçok teknik geliştirilerek yüzen su bitkileri kullanılarak oluşturulmuş sistemlerle ağır metaller sudan uzaklaştırılabilmektedir.[7,8] Herhangi bir ortamda bulunan ağır metaller çok yüksek konsantrasyonlara ulaşmadıkları sürece su mercimeği arıtımıyla çamur olarak çökeltme, biyosorbsiyon ve adsorbsiyon prosesleriyle giderilebilirler. [6]

1.1. Ağır Metallerin Çevresel Kirlilik Etkileri

Ağır metaller endüstriyel, tarımsal, evsel ve atık sulardan çevreye deşarj olan önemli kimyasal kirleticilerdir. Metallerin atıklardan meydana gelen kalıcı kirlilik etkileri pekçok kaynaktan ortaya çıkmaları yine pekçok faaliyet gösteren alanlardan yaygın olarak ortaya çıkar. Çevresel etkilerle yok olmaz, biyolojik sistemler üzerindeki etkileri kolaylıkla besin zincirine girerek canlılarda biyolojik birikime neden olmaları nedeni ile ayrı bir önem taşırlar. [9,10]

Ağır metallerin çevreye yayılımının da etken olan en önemli endüstriyel faaliyetlerçimento üretimi, demir çelik sanayi, termik santraller, cam üretimi, çöp ve atık çamuryakma tesisleridir. [11]

Ağır metal içeren kirleticiler, madencilik faaliyetlerinden, maden filizlerinin rafine edilmesinden gibi pekçok etkenden dolayı ortaya çıkabilir. Ağır metallerin yüksek konsantrasyonları insan sağlığı için çok ciddi derecede etkiye sahiptir. İnsan hücre mekanizması ağır metal işleyemez ve dışarı atamaz. Dolayısıyla bu ağır metaller birçok organda birikim gösterir.

Yaşadığımız çevrede kirletici etkileri en fazla görünen ve çevresel zararları fazla olan metaller aşağıda şekilolarak verilmiştir.

Şekil 1.1 Çevre Kirletici etkileri en fazla görülen ağır metaller [12]

Kadmiyum	Nikel	Civa
Krom	Gümüş	Kobalt
Kalay	Bakır	Çinko
Kurşun	Lantanitler/Aktinitle	

Metallerin suda yaşayan pekçok canlıya toksik etki yaptığını ve hatta su canlılarında direkt ölümlere neden olduğu bilinmektedir. Biyolojik moleküllerdeki elementlerin bazı ağır metallerle bileşik oluşturma, yer değiştirmesi sonucu moleküllerin fonksiyonlarını yerine getirmemelerine neden olur. Proteinlerin denatüre olmasına enzimatik aktivitenin inhibe olmasına neden olurlar. Balıklarda ve pekçok suda yaşayan canlı gruplarında toksisite metalin çeşidine, yoğunluğuna, biyolojik çeşitliliğe ve suda fizikokimyasal etkilere göre değişiklik gösterir.

Şekil 1.2.Tatlı sularda bazı ağır metallerin tipik toksisite değerleri [12]

Metal	Etkilenen Tür	Etkisi	Konsantrasyon(mg/L)
Kadmiyum	Sazan	96h LC50	22
Krom	Alabalık	96h LC50	59
Kurşun	Alabalık	96h LC50	3.4
Nikel	Gökkuşluğu Alabalığı	96h LC50	45
Çinko	Gökkuşluğu Alabalığı	48h LC50	34

Şekil 1.3.Kara Kökenli Kirletici Kaynaklar [13]

NOKTASAL KİRLETİCİ KAYNAKLAR	YAYILI KİRLETİCİ KAYNAKLAR
Evsel Kirletici Kaynaklar	Tarım ve Orman Alanlarından gelen kirleticiler
Endüstriyel Kirletici Kaynaklar	Yerleşim Alanlarından gelen yağış suları ve drenajlar
Kanallardan Gelen Kirleticiler	Katı atık depo ve dökme sahalarından gelen kirleticiler
	Atmosferden Taşınma

Bu sebeple çalışmamızda bu tesislerin sonucu ortaya çıkan Vanadyum, Kobalt, Antimon ve Kalay ağır metalleri seçilmiştir. Ağır metaller pek çok yöntemle su ortamından uzaklaştırılabilir. Biyolojik yöntemler bunlar içinde hem ekonomik hem kolay işlenebilmesi ve çevreye zarar vermemesi bakımından çok önemlidir.

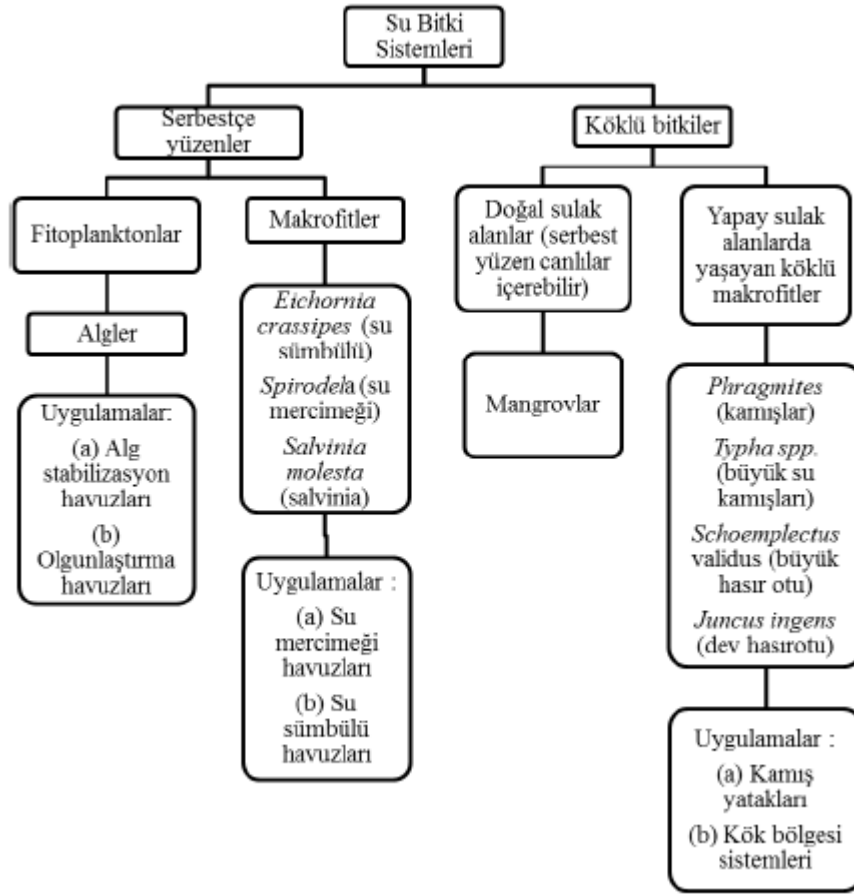
1.2. Bitkilerle Atık Su Arıtımı

Doğal arıtım sistemleri içerisinde pek çok bitki grubu kullanılmaktadır. Bunlar çeşitli şekillerdeki havuzlarda yaygın arıtma sistemlerinden farklı olarak havalandırma ve pompalama sistemine ihtiyaç duyulmadan yatırım ve işletme maliyetide düşük olduğu için tercih edilmektedir. Bitki sistemleri kimyasal hiçbir proses içermediğinden ağır metalle kontamine olmuş ortama arıtırken çevreye zarar vermez. Su bitkileriyle oluşturulan arıtım sistemleri;

- a. Yüzen su bitkileri
- b. Köklü su bitkileri

ile oluşturulmuş arıtım sistemleri olarak 2'ye ayrılır.

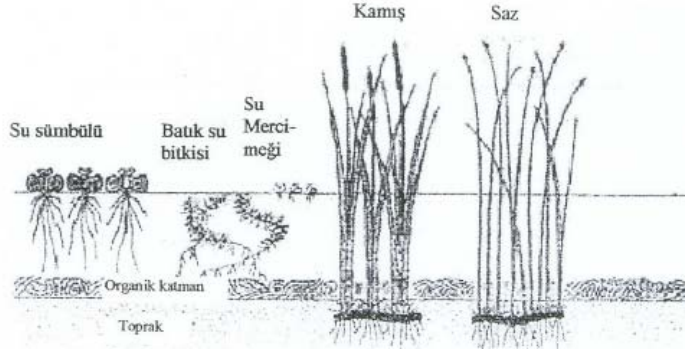
Organik yükün protein miktarınca zengin bitki biomasına dönüştürülmesi bitkilerle arıtımın cazip hale gelmesine neden olmaktadır.



Şekil 1.4. Arıtma Sistemlerinde kullanılan bitki türleri [14].

Su bitkileri ile arıtım için birincil amaç bitkilerle mikroorganizmaların ortamda beraber çoğalmasındır. Organik maddelerin bu işlem esnasında giderimi ortamda oluşan bitkilerin köklerinin etrafında veya üzerinde yaşayan mikroorganizmalarla sağlanmaktadır. Mikroorganizmalarla bitki simbiyotik bir ilişki içinde olduğu tespit edilmiştir.

Çevre kirleticileri bitkiler ve mikroorganizmalar arasında oluşan biyolojik reaksiyonların anlaşılması oldukça zor ve karışıktır.



Şekil 1.5. Sucul bitkiler [15].

1.3. Vanadyum'un Canlılar Üzerine, Büyüme ve Gelişmeye Etkisi

Çelik ve demir dışı alaşımların üretimi, katalizör olarak sülfürik asit üretimi ve plastik oluşumu için naftalinin ftalik anhidrite dönüştürülmesi, yarı iletkenlerin imalatı, fotoğraf basımında, renklendirici maddelerde, sarı pigmentlerde ve seramik üretimi gibi endüstriyel alanlarda vanadyum veya vanadyum bileşikleri kullanılmaktadır.

Vanadyum bileşiklerinin toksisitesi çok farklı faktörlere bağlıdır. Ağız yoluyla vücuda giren vanadyum bileşiklerinin toksisitesi genellikle düşüktür. Vanadyum bileşikleri solunum yoluyla da vücuda alınabilmekte ve Vanadyum bileşiklerinde yükseltgenme basamağı arttıkça toksisitesi artmakta, özellikle +5 yükseltgenme basamağındakiler en toksik olanlarıdır. Vanadyum bileşiklerinin asidik ortamda toksisitesi azalma eğiliminde olduğu bilinmektedir.[16]

Vanadyum bileşiklerinin klinik etkilerine bakıldığında, genel olarak sistemik toksisitelerden daha çok lokal olarak gözler ve üst solunum yollarına yaptıkları etkiler dikkat çekicidir. Vanadyumun toz halinde iken belgelenmiş yan etkileri burun kanaması, öksürük, boğaz ağrısı, üst solunum yolunda tahrişi v.b. rahatsızlıklar olarak sıralanabilir ve bu belirtilerden özellikle öksürük ve rinit, fueloil yakan kazanların temizlenmesi sırasında açığa çıkan V_2O_5 dumanının etkileridir. Belirtiler bir iki gün gecikmeli olarak ortaya çıkabilir ve genellikle iki ile beş gün içerisinde iyileşme gözlenir. Daha uzun süre vanadyuma maruz kalma sonucunda yorgunluk ve sindirim sorunlarıyla beraber solunum güçlüğü, hırıltı ve akut bronşit belirtileri ortaya çıkabilir.[17]

1.4.Kobalt'ın Canlılar Üzerine, Büyüme ve Gelişmeye Etkisi

Yeryüzünde 25 mg/ton ortalama ile kobalt en az sıklıkla bulunan elementler grubundadır. Okyanus diplerinde bulunan mangan yumruları (% 0,25 Co) dışında, tahmini rezerv 5,7x10⁶ ton olarak tahmin edilmektedir. [18]

Kobalt stratejik ve endüstriyel uygulamalarda ve askeri alanda önemli kullanım alanlarına sahiptir. Kobalt, en çok süper alaşım olarak jet motor türbinlerinde kullanılırken, malzemelere manyetiklik özelliği kazandırma, korozyondan korunma ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla alaşımlarda, yüksek hız çeliklerinde, takım çeliklerinde, elmas takımlarında ve kesici uçlarda alaşım elementi olarak da kullanılır. Bileşikleri ise petrol ve seramik endüstrisinde katalizör ve boyalarda pigment, mürekkep ve verniklerde kurutma maddesi olarak kullanılır.

Uzun süre kobalt tozuna maruz kalındığında, alerjik tepkilere ve kronik bronşite neden olmasına rağmen kobalt kaynaklı deri tahrişi ve hastalıklar çok nadir gözlenir ve etki iki ayrı gruba ayrılabilir. Birinci grup; vücudun bazı bölgelerinde meydana gelen kızarıklıklar (eritem) şeklinde; özellikle sıcak havalarda, ellerde kobalt temasından kısa süre sonra oluşur. İkinci grup; uzun yıllar kobalt bileşikleri ile temas sonucunda ortaya çıkan egzamadır.

Kobaltın vücuttaki normal miktarı 80-300 µg' dır ve kırmızı kan hücrelerinde, karaciğerde, dalakta, böbrekte, pankreasta depolanır . Et, karaciğer, böbrek, midye, istiridye, süt, balık ve deniz yosunları ve daha düşük miktarda olmakla beraber kara sebzeleri (bakla tohumu, ıspanak, lahana, salata, pancar, incir) de kobalt içerir. Diğer taraftan sigara dumanında da kobalt bulunmaktadır.[19]

1.5.Antimon'un Canlılar Üzerine, Büyüme ve Gelişmeye Etkisi

Kurşun alaşımlarında, ilaç sanayiinde, pil endüstrisinde ve elektronik sanayiinde yoğun kullanılan antimon insan vücudu için gerekli bir metal değildir. Bulunabildiği iki oksidasyon kademesine (3⁺, 5⁺) ait bileşikleri zehirlidir. Vücutta bıraktığı temel hasarlar; bağışıklık sisteminde çökme, sinir sisteminde, solunum ve sindirim sistemlerinde ve vücudun diğer sistemlerindeki negatif etkileri olarak tanımlanabilir.

Antimon ve bileşiklerine ait çalışmalar hayvanlar üzerinde yoğunlaştırılmış ve her türlü etki hemen hemen tespit edilmiştir.[18]

Antimon; madenlerinin işletilmesi, antimon ve antimon bileşiklerinin üretilmesi ve bunun yanında antimon içerikli diğer alaşım ya da bileşiklerin üretimi ve termik santrallerin baca tozu ile çevreye yayılır.

Canlılar için zehirli etkileri olan inorganik antimon bileşikleri; SbH_3 , SbF_3 , $SbCl_3$, $SbCl_5$, Sb_2O_3 , Sb_2O_5 , Sb_2S_3 , Sb_2S_5 ve metalik antimondur (Sb). Canlı bünyesine soluma, (antimon bileşikleri içeren hava / toz) yeme, içme ile ve deri teması ile geçer.

Antimonun insanlar üzerindeki negatif etkileri en fazla bu metal ve bileşiklerinin üretildiği bölgelerde ve termik santraller yakınlarında yaşayanlarda görülmektedir. Bir çok farklı sağlık kuruluşunun deneysel çalışmalar sonucunda elde ettiği verilerden yola çıkarak çalışma ortamlarında antimon oranının 0.5 mg/m^3 üzerine çıkmasına izin verilmemektedir.[19]

1.6.Kalay'ın Canlılar Üzerine, Büyüme ve Gelişmeye Etkisi

Kalay teneke yapımında, kaplamacılıkta, çeşitli alaşımlar, lehim ve kimyasal madde yapımında kullanılır. Otomotiv endüstrisinde de motor yataklarında, kaporta, radyatör, yağ ve hava filtrelerinde kullanılır. Uçak ve gemi endüstrisi ile elektrik ve elektronik sanayinde geniş bir kullanım alanı vardır. Kimya sanayinde boya, parfüm, sabun, poliüretan üretiminden diş macunu yapımına kadar geniş bir alanda tüketilir. Bunların yanında matbaacılıkta, mutfak malzemeleri ve cam endüstrisinde de kullanılmaktadır.[20]

Kalay çeşitli organik maddelerde kullanılır. Organik kalay bağları insanlar için en tehlikeli olan kalay formlarıdır. Kalay bileşikleri tarım alanında; tarım ilaçları gibi, plastik endüstrisi, boya endüstrisi gibi çok sayıda endüstride kullanılır. Organik kalay maddelerinin kullanıldığı alanların sayısı her gün artmaktadır.

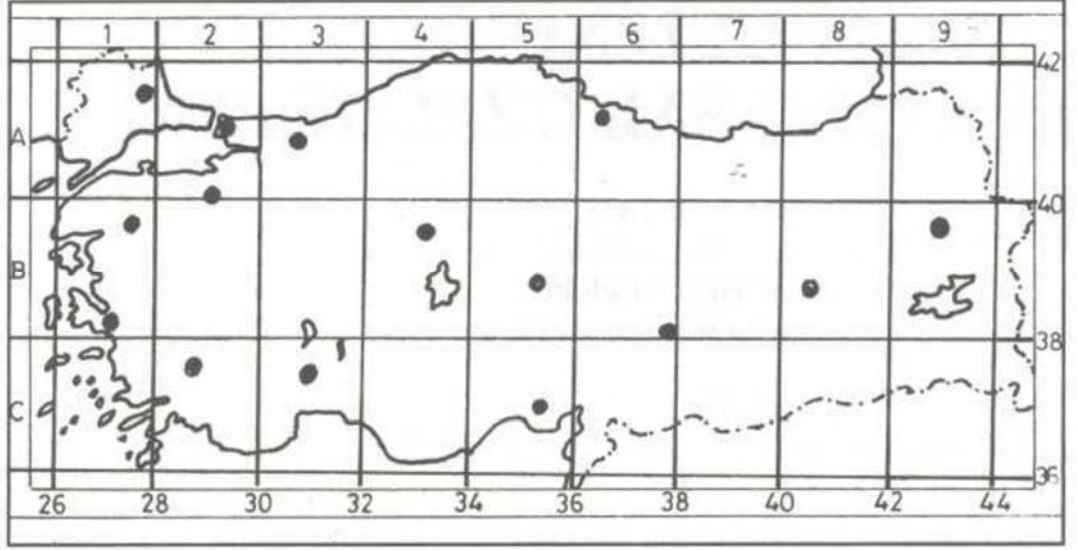
Organik kalay maddelerinin etkileri çeşitlilik gösterebilir. Bulunduğu maddenin çeşidine ve etki altında kalan organizmaya bağlıdır. Trietilkalay insanlar için en tehlikeli organik kalay maddesidir. İnsanlar kalay bağlarını gıdalarla, solunumla ve deri yoluyla alabilirler.[19]

Doğal sularda çeşitli etmenlerle olan kirlenmenin giderilmesinde bitkilerin kullanılması son yıllarda giderek artmakta ve çalışmamızda çeşitli yönleriyle incelediğimiz *Lemna* türleri atık su arıtılmasında kullanılan bitkiler arasında bulunmaktadır.

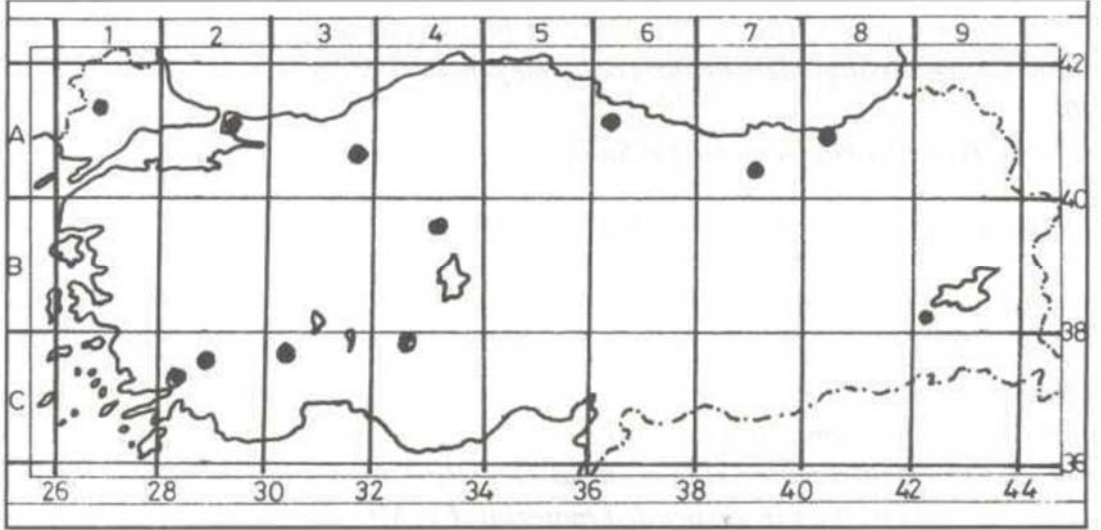
Yapılan bir araştırmaya göre *L. minor*, atıksulardan N bileşiklerini %95,5-98,5, P bileşiklerini de %80-90 oranında uzaklaştırmakta ve *L. minor* azotlu bileşik ve fosfat absorpsiyon bakımından önemli bir bitki olmakla birlikte, atık su havuzlarının Biyolojik Oksijen ihtiyacı= BOI 5 uzaklaştırma kapasitesini artırmaktadır.

L. gibba ötrifikasyona uğramış az oksijen fazla CO₂ içeren, az ışıklı ve çok tuzlu pis sularda gelişimini sürdürmektedir. Bu nedenle biyolojik indikatör özelliği taşımaktadır.[21]

Ülkemizde bulunan Lemnaceae türlerinden olan *L. minor* ve *L. gibba* atık su arıtılmasında kullanılan bir bitki olması nedeniyle önem kazanmaktadır. Atık sularda geniş bir büyüme potansiyeline sahip ve indikatör bitki durumundadır. Aşağıda Şekil 3 ve Şekil 4' de *Lemna minor* ve *gibba*'nın Türkiye'deki yayılış alanları gösterilmiştir.



Şekil 1.6. *Lemna gibba*'nın Türkiye'deki yayılış alanları



Şekil 1.7. *Lemna minor*'un Türkiye'deki yayılış alanları

2. GENEL BİLGİLER

Çeşitli etmenlerle kirlenen suların giderilmesinde bitkilerin kullanılması son yıllarda giderek artış göstermektedir. Çalışmamızda çeşitli yönleriyle incelediğimiz *Lemna* türleri arasında yer alan *L.minor* ve *L.gibba* su bitkileri atık su arıtılmasında kullanılan bitkiler arasında ulunmaktadır.[21]

Geleneksel arıtma tesisleri belirli bir arıtım kapasitesine sahip ve arıtmadan sonra çıkış suları arıtılmalarına rağmen kirletici içerebilmektedir. Bu sebeple ilave olarak ileri arıtım üniteleri kurmak gerekmektedir. Fazla miktarda organik madde, nutrient, ağır metal gibi giderilemeyen yükler alıcı sucul ortama girmekte ve kirlilik kontrol edilememektedir. İleri arıtmada su mercimeği kullanılmasıyla birlikte enerji ve tesis ünitelerinden tasarruf sağlanacağından yatırım ve işletim maliyetleri de düşük olmaktadır.[22]

Bu çalışmada, materyal olarak atık suların arıtımında çoğunlukla kullanılan *Lemna minor* ve *Lemna gibba*'nın; ağır metal alımları ve atık suyun bitkisel yolla iyileştirilmesi üzerine incelemeler yapmak hedef alınmıştır.

Jain vd. (1990) yapmış oldukları çalışmada, *Azolla pinnata* ve *L. minor* kullanılarak kirli sudan Zn ve Pb'nun giderimini incelemişler ve *Azolla* ve *Lemna*, 2 haftalık test periyodu süresince 1.0, 2.0, 4.0 ve 8.0 mg/L'lik konsantrasyonlara maruz bırakılmış. Su mercimeğiyle uygulama sonrasında, artık çözeltiler içindeki Pb ve Zn'nun kalan konsantrasyonları 1.0 ve 2.0 mg/L seviyelerinde ölçülmüştür.

Wahaab vd. (1995) yapmış oldukları çalışmada, Su mercimeğinin Cu ve Cr alımını araştırmışlar bunun sonucunda bitkiler 10 gün boyunca, 0.25 ve 1.0 mg/L Cu ve Cr çözeltilerine maruz bırakılmıştır.

Piston vd. (1999) yaptıkları çalışmada, Se'nin *L. minor* üzerindeki büyüme etkilerini araştırmış ve 50mg/L Se' nin 7 gün maruziyetinde, bitkilerin renginde solma meydana gelmiştir. Se' nin düşük konsantrasyonlarında bitkilerde önemli bir değişiklik kaydedilmezken bitkilerin kümelenerek bir arada yüzdüğü ve konsantrasyon arttıkça bitkilerde ayrılmalar ve tek başına yüzmeler gözlemlenmiştir.

Rahmani ve Sternberg (1999), önceden Pb ile uygulama yapılmış ama canlı *L. minor*'lerin Pb'u biyolojik temizlemeleri üzerinde çalışmış.

Axtell vd. (2003), *Microspora* ve *L. minor* kullanarak Pb ve Ni'in uzaklaştırılmasına yönelik bir çalışma yapmışlar ve deneyde kurşun nitrat ve nikel nitrat kullanılmış olup, deneyler 8 günlük periyotta 3 tekrar halinde yürütülmüş. Kontroller; metal ve biyomasın olmadığı sadece su, biyomassız-metalli ve biyomaslı-metalsiz gruplardan oluşturulmuş. *Microspora*'nın geniş Pb konsantrasyonlarımlere edebildiği belirlenmiş. Başlangıç konsantrasyonu 38 mg/L olan Pb, 1.2 mg/L'ye azalmıştır ve total uzaklaştırma oranı % 95'in üzerinde olduğu bulunmuş. *L. minor*'un genel uzaklaştırma oranları ise; Pb için % 76, Ni için % 82 olarak belirlenmiş.

Blinova (2004)'de; bir alg türü olan *Selenastrum capricornutum*, su mercimeği *Lemna minor*, bir krustase olan *Thamnocephalus platyurus* ve *Daphnia magna* üzerinde; Cr(III), Pb(II), Cu(II), Cd(II), pyrene' nin etkisini araştırmış ve çalışmanın sonucunda, *L. minor*' un, *Selenastrum*' a oranla; *D. magna*' nın ise bitki türlerine göre daha duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen *Lemna minor* EC₅₀ değerleri şu şekildedir: Pyrene EC₅₀: 0.30mg/L, Cd EC₅₀: 0.052mg/L, Pb EC₅₀: 0.085mg/L, Cr EC₅₀: 5.2mg/L, Cu EC₅₀: 0.15mg/L.

Oporta vd. (2006), Cr (VI)'un kirli sulardan *L. minor* kullanılarak kaldırılması üzerine bir örnekleme ve deneysel çalışma yapmışlardır.

Drost vd. (2007), *L. minor* üzerinde ağır metal toksisitesi çalışmışlar ve ağır metale maruz kalma sonrasında iyileşme ve büyüme inhibisyonunun zamana bağlı değişimi ortaya konmuş. Çalışmada, öncelikli olarak Zn, Cu, Ni ve Cd olmak üzere 4 metal kullanılmış. Çalışmanın amacı, gözlemlenen toksisite üzerinde maruz kalma süresinin etkisi ve iyileşme için potansiyelin tespit edilmesidir. 7 gün maruz kalma sonucunda, Zn ve Ni düşük toksisite (EC₅₀=56.3 ve 46.11 M) gösterirken, Cd ve Cu *Lemna*'da en yüksek toksisiteyi (EC₅₀=1.9 ve 9.71 M) göstermiş. Bu sonuçlar, belirlenmiş bir zaman boyunca sürekli maruz kalma sonrasında kaydedilen toksik etkilerin yerine, toksisitenin dinamiklerini daha fazla göz önünde bulundurma gereksinimine işaret etmektedir.

Hou vd. (2007), ağır metallerce kirletilmiş su kütlesi üzerinde Cu ve Cd'un etkisinin belirlenmesi ve *L. minor* kullanılarak suyun iyileştirilmesine yönelik bir çalışma yapmışlar ve çalışmada, bakır sülfat ve kadmiyum diklorid kullanılmış olup; *Lemna* yaprakları, Steinberg mediumuna göre belirlenmiş konsantrasyonlara (0.0,

0.05, 0.5, 5, 10, 20 mg/L maruz bırakılmış. Çalışma sonucunda; Cu ve Cd'un çözünebilir proteinler, fotosentetik pigmentler ve antioksidant enzimler ve MDA üzerine etkisi belirlenmiş. 4 günlük uygulama sonrasında, 0.05 mg/L Cu⁺²'ye maruz kalan *Lemna*'nın çözünebilir protein içeriğinde önemsiz bir düşüş olurken, 0.05 ve 0.5 Cd varlığında hızlı ve güçlü bir inhibisyon görülmüştür. *Lemna* yaprakları, 0.5 mg/L Cd'ye maruz kaldığında, antioksidan sistem düzensizleşmektedir.

Khellaf ve Zerdaoui (2009)' da yaptıkları çalışmada; ağır metal kirliliğindeki *Lemna minor*' ün büyüme tepkilerini çalışmış. Bulunan EC50 değerleri; Cu: 0.47 mg/L Ni: 1.29 mg/L Cd: 0.64 mg/L Zn: 5.64 mg/L Kullanılan yaprak miktarı: 9-20 yaprak arası. Kullanılan aralık Cu için: 0.1-1.0 mg/L. 24 saat sonra 0.5 mg/L Cu'nun yapraklar üzerinde klorozis (yapraklarda solma) ve yapraklarda parçalanma etkisi gösterdiği gözlemlenmiş. Bu da EC50 noktası olarak kabul edilebilmektedir.

Appenroth ve diğerleri 2010' da *Spirodela polyrhiza* ve *Lemna minor*' ün kloroplastları üzerinde Ni' nin etkisi ve bunların biyomonitör, fitoremediasyon ve biyoremediasyon üzerinde olası kullanımları konulu bir çalışma yapmışlar.

Dirilgen ve İnel (1994), Co-Cu ve Co-Zn' nun su mercimeğinin büyümesi üzerine etkisi ve metal akümüasyonu üzerine bir çalışma yapmışlar.

Dirilgen ve İnce (1995) yürüttükleri çalışmada, su mercimeği üzerinde SDS'nin büyüme ve birikimi de göz önünde tutularak inhibisyon etkilerini araştırmışlar.

Saygıdeğer (1996), *Lemna gibba* ve *L. minor*'un morfolojik, anatomik, ekolojik ve fizyolojik özellikleri üzerine karşılaştırmalı bir çalışma yapmış ve bu taksonomik çalışmada iki türün ayırt edici özellikleri şekillerle, ölçümlerle ve klorofil ve protein miktarlarının ölçümleriyle karşılaştırılmış.

Dirilgen (1998), pH'nın ve EDTA'nın Cr toksisitesi ve *L. minor*'de birikimi üzerine etkilerini çalışmış.

Hasar ve Öbek (2001), toksik metallerin sulu çözeltilerden su mercimeği (*L. minor*) kullanılarak kaldırılmasında hasatın ve adsorpsiyon izotermelerinin rolü üzerine bir çalışma gerçekleştirmişler.

Öbek ve Hasar (2002), biyolojik fosfatın sulardan kaldırılmasında su mercimeğinin (*L. minor*) rolü üzerine bir çalışma gerçekleştirmişler.

Özbay (2002), su derinliği ve *L. minor*'ün alg büyümesine etkilerinin deneysel olarak incelenmesi üzerine bir çalışma yapmış.

Kara vd. (2003), nikelin sucul makrofit *L. minor* tarafından biyolojik birikimi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiş.

Saygıdeğer vd. (2005) yapmış oldukları çalışmada, *L. minor*'ün Cd (II), Cu (II) ve Ni (II) adsorbsiyonu ve fizikokimyasal çevrenin etkisini araştırmışlar.

Yılmaz vd. (2005), Sakarya Üniversitesi kampüsü atık sularının karakterizasyonu ve su mercimeği (*L. minor*) ile arıtılabilirliği konulu bir çalışma yürütmüşler.

Gürtekin ve Şekerdağ (2008), son çökeltme havuzlarında su mercimeğinin (*L. minor* L.) rolü üzerine bir çalışma gerçekleştirmişler ve bu çalışmada, bir klasik biyolojik atık su arıtma tesisinin son çökeltme havuzunda oluşan su mercimeğinin, çıkış suyu kalitesine ve çökeltme karakteristiğine olan etkisi araştırılmış.

Uruç vd. (2008)' de farklı pH değerlerinin *Lemna gibba* L. ve *Lemna minor* L.' de Ni alınımı ve klorofil miktarına etkisi konulu bir çalışma yapmışlar ve farklı pH değerlerinin *Lemna minor* ve *Lemna gibba*' da Ni birikimi ve klorofil a ve b miktarı üzerindeki etkisini laboratuvar koşulları altında incelemişler.

Bekcan vd. (2009) yılında; farklı derecelerdeki likit gübrelerin, su mercimeği (*Lemna minor*) büyümesi üzerinde görüntü analizi tekniği ile etkilerinin ölçümü konulu bir çalışma yapmışlar.

Uysal ve Taner (2010) yılında; Cd' un *Lemna minor* kullanılarak farklı koşullardaki sucul ortamlardan kaldırılması üzerine bir çalışma yürütmüşler.

Duman vd. (2010) yılında yaptıkları çalışmada; inorganik arsenik türleri olan As (III) ve As (V)' e maruz bırakılan su mercimeğinin (*Lemna minor*) biyolojik tepkilerini araştırmışlar.

2.1. Tezin Amacı

Ağır metal giderimi son yıllarda sularda çok 6nemli çalışmalar arasına yer almaktadır. Çünkü ağır metallerin hücre fonksiyonlarına zarar vererek biyolojik aktiviteyi yavaşlattığı bilinmektedir. Yüzen su bitkileri sadece nutrient artımı değil aynı zamanda ağır metal gideriminde de başarılı sonuçlar alınabileceği dşnlmektedir. Bu amaçla tezimizde *Lemna minor* ve *Lemna gibba* karşılaştırılarak bazı ağır metal gideriminde nasıl bir sonuca ulaşacağı amaçlanmıştır. Bunun için *Lemna minor* ve *Lemna gibba*'nın laboratuvar şartlarında kültür için OECD(2002) standartlarına g6re seyreltme suyu hazırlanması, metal stresi altında kültürünün yapılması ve gerekli durumlarda kullanılmak üzere metal içermeyen besiyerinde kültürün devamlılığını sağlamak, *L. minor* ve *L. gibba*'nın 0.1, 1.0, 10, 100 ve 1000 mg/L'lik derişimlerde EC₅₀ değerinin saptanması, Saptanan EC₅₀ değerine g6re Kalay, Kobalt, Antimon, Vanadyum'un farklı konsantrasyonlarda remediasyon aralığının belirlenmesi, *L. minor* ve *L. gibba*'nın metal stresi altında meydana getirdiği remediasyon etkililiğinin saptanması, İnkübasyon süresi boyunca ilgili organizmanın ağır metal stresi altında mevcut karbonhidrat miktarının belirlenmesi, Makrofit canlıların ağır metal stresi altında mevcut klorofil a-b, karotenoid ve lipid değerlerinin belirlenmesi, Sonuçları 3'er tekrarlı olacak şekilde ve standart sapmalarıyla birlikte yapmak projenin amaçları arasındadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Materyal

Su mercimeğigiller (Lemnaceae):Lemnaceae, Alismatales takımına ait, kozmopolit bir familyadır. Lemnaceae familyasının *Landoltia*, *Lemna*, *Spirodela*, *Wolffia*, *Wolffiella* ve *Wolffiopsis* olmak üzere 6 cins ve 43 türü bulunmaktadır. *Lemna* ve *Spirodela* cinsleri Türkiye' de yaygın olarak görülmektedir. Bu familyaya ait türler; yüksek miktarda protein içermekte olup, suda yaşayan canlılar için önemli bir besin kaynağı oluşturmaktadır. Güneydoğu Asya ülkesinde yiyecek olarak tüketilmelerinin nedeni yaklaşık soya fasülyesi kadar protein içermeleridir.

Lemna türlerinin çoğu hızla yayılabildikleri tatlı su akvaryumlarında, havuzlarda, göletlerde bulunmaktadır. Bitkiler bu tatlı su sistemlerine; yerli türlerin tüyleri, kürkleri ya da kabukları üzerinde taşınarak doğal yollarla, pek çok nehir, göl, göleti ziyaret eden kaplumbağa, kuş ve sucul memelilerle birlikte gelebilmektedir. Sürekli akıntı halinde olan veya tasan su sistemlerinde, bu bitkiler, su kanallarına doğru taşınmakta, yayılmada büyük ve hızlı bir artış gösterememektedirler. [23]

Lemna minor (Linneaus 1753): Suya batık ya da su üstünde yüzer durumda bulunan tatlı sularda yaşayan basit yapılı, küçük sucul bitkilerdir. Çok yıllık monokotil bir bitki olup, Arales takımının Lemnaceae familyasındandır. L. minor, Dünya'nın her yerindeki tatlı sularda bulunmaktadır. Monoik bitkilerdir. Her yaprağın alt yüzeyinin merkezinden çıkan çok ince köklere sahiptir. Kökleri basit yapıdadır. Ilıman bölgelerde daha yaygın bulunmakla birlikte; CO₂ oranının yüksek olduğu ötrofik sularda sık görüldüğünden dolayı biyolojik indikatör olarak değerlendirilmektedir.[24]

Lemna türleri geniş bir yayılış alanına sahiptir. Ülkemizde de çoğu bölgede; göllerde, havuzlarda, bataklıklarda, kanallarda, pirinç tarlalarında bulunmaktadır. Özellikle ötrofikasyona uğramış CO₂ oranı yüksek olan sularda çok iyi gelişim göstermektedir. [23]



Şekil 3.1...Su mercimeğinin (*L. minor*) görüntüsü

Lemna minor'un sistematigi:

Kingdom : Plantae

Subkingdom : Tracheobionta

Division : Magnoliophyta Cronquist, Takht. & Zimmerm. ex Reveal

Class : Liliopsida Batsch

Subclass : Arecidae Takht.

Order : Arales Dumort.

Family : Lemnaceae Martynov

Species : *Lemna minor* Linneaus

Lemna gibba (Linneaus 1753): Yapraklan 1,5-7 mm, yuvarlak ovatımsı şekilde asimetric yapıdadır. Genellikle diş bükey kamburumsudur. Yapraklar tek tek veya birkaçı şeffaf bir sap ile birleşiktir. Yeşil, morumsu veya beyazımsı renklere sahiptir. Çiçek durumları bir diş ve iki erkek çiçekten oluşmuştur. Boyları 5-10 cm kadar olan tek köke sahiptirler. Köklerinde kloroplast vardır. Fotosentez yaparlar. *L. gibba* eutrofikasyona uğramış az oksijenik ve fazla CO₂ içeren, az ışıklı ve çok tuzlu pis sularda gelişimini sürdürmektedir. Bu nedenle biyolojik indikatör özelliği taşımaktadır. Bir araştırma sonucuna göre *L. gibba*'nın deterjanlı sularda yaşamını rahatlıkla sürdürdüğü belirtilmiştir.[21]



Şekil 3.2.Su mercimeginin (*L. gibba*) görüntüsü

Lemna gibba'nın sistematığı

Kingdom : Plantae

Subkingdom : Tracheobionta

Division : Magnoliophyta Cronquist, Takht. & Zimmerm. ex Reveal

Class : Liliopsida Batsch

Subclass : Arecidae Takht.

Order : Arales Dumort.

Family : Lemnaceae Martynov

Species : *Lemna gibba* Linneaus

Lemna bitkisinin tercih edilmesindeki sebepler;

- Su mercimekleri'nin büyüme hızı çok yüksektir.
- Su mercimekleri yüksek besin değerine sahiptir. Bunun sebebi, metabolik olarak aktif dokular içermeleridir.

•Su mercimeği hasatı kolaydır. Atık suda başarıyla gelişirler ve parçalanabilir kirleticileri doğrudan proteince zengin biyokütlelere dönüştürürler. [25]

Şekil 3.3. Sucul Bitkilerin ortam koşulları [26].

Bitki	Yayılım	Optimum Sıcaklık°C		Max. Tuzluluk Toleransı (mg/L)	Optimum pH
		Yaz	Kış		
Su sümbülü (<i>Eichornia crass</i>)	G.Amerika	20-30	10	800	5-7
Su Mercimeği (<i>Lemma minor</i> <i>Lemma gibba</i> <i>Wolffia spp.</i>)	Amerika	20-30	5	3500	5-7
Su Eğreltisi (<i>Azolia Caroliniana</i> <i>Azolina Filiculoides</i>)	Amerika	>10	5	2500	3.5-7

3.1.1.Organizmalar ve Kültür Ortamları:

Çalışmada Ege Üniversitesi Botanik Bahçesin ‘den temin edilen *Lemma* bitkileri uygun besiyeri ortamlarında steril bir şekilde kültüre edilmesi sağlanmış ve aşağıda yazılan büyüme ortamından inkübasyonu sağlanmıştır.

SIS (Swedish Standard) *Lemma* Büyüme Ortamı (Seyreltme Suyu) OECD (2002) standartlarına göre hazırlanmıştır.

3.1.2.SIS (Swedish Standard) Lemna Büyüme Ortamı (Seyreltme Suyu):

Seyreltme Suyu Stok I

NaNO₃: 8.50 g'ı damıtık veya iyonları giderilmiş suda çözündürülmüş ve bir litreye seyreltilmiştir.

KH₂PO₄: 1.34 g'ı damıtık veya iyonları giderilmiş suda çözündürülmüş ve bir litreye seyreltilmiştir.

Seyreltme Suyu Stok II

MgSO₄.7H₂O: 15 g'ı damıtık veya iyonları giderilmiş suda çözündürülmüş ve bir litreye seyreltilmiştir.

Seyreltme Suyu Stok III

CaCl₂.2H₂O: 7.2 g'ı damıtık veya iyonları giderilmiş suda çözündürülmüş ve bir litreye seyreltilmiştir.

Seyreltme Suyu Stok IV

Na₂CO₃: 4.0 g'ı damıtık veya iyonları giderilmiş suda çözündürülmüş ve bir litreye seyreltilmiştir.

Seyreltme Suyu Stok V

H₃BO₃: 1.0 g'ı damıtık veya iyonları giderilmiş suda çözündürülmüş ve bir litreye seyreltilmiştir. MnCl₂.4H₂O: 0.20 g'ı damıtık veya iyonları giderilmiş suda çözündürülmüş ve bir litreye seyreltilmiştir.

Na₂MoO₄.2H₂O: 0.010 g'ı damıtık veya iyonları giderilmiş suda çözündürülmüş ve bir litreye seyreltilmiştir.

ZnSO₄.7H₂O: 0.050 g'ı damıtık veya iyonları giderilmiş suda çözündürülmüş ve bir litreye seyreltilmiştir.

CuSO₄.5H₂O: 0.0050 g'ı damıtık veya iyonları giderilmiş suda çözündürülmüş ve bir litreye seyreltilmiştir.

Co(NO₃)₂.6H₂O: 0.010 g'ı damıtık veya iyonları giderilmiş suda çözündürülmüş ve bir litreye seyreltilmiştir.

Seyreltme Suyu Stok VI

$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 0.17 g'ı damıtık veya iyonları giderilmiş suda çözüldürülmüş ve bir litreye seyreltilmiştir.

$\text{Na}_2\text{-EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: 0.28 g'ı damıtık veya iyonları giderilmiş suda çözüldürülmüş ve bir litreye seyreltilmiştir.

Seyreltme Suyu Stok VII

MOPS tampon (3-(N-morpholino)propanesulfonic acid): 490 g'ı damıtık veya iyonları giderilmiş suda çözüldürülmüş ve bir litreye seyreltilmiştir. (pH ayarlaması için opsiyonel olarak miktarı değişebilir).

- 10 ml seyreltme suyu stok çözeltisi I
- 5 ml seyreltme suyu stok çözeltisi II
- 5 ml seyreltme suyu stok çözeltisi III
- 5 ml seyreltme suyu stok çözeltisi IV
- 1 ml seyreltme suyu stok çözeltisi V
- 5 ml seyreltme suyu stok çözeltisi VI
- 1 ml seyreltme suyu stok çözeltisi VII alınıp karıştırılmıştır. 1lt SIS ortamı hazırlamak için, 900 ml saf (iyonları alınmış) su eklenmiştir.



Şekil 3.4. Laboratuvarda kullanılan çeker ocak ve hassas terazi



Şekil 3.5. SIS besiyerinde kültüre alınmış *Lemna minor* ve *Lemna gibba*

3.2. Yöntem

3.2.1 Biyodenedeyde stok çözeltilerin hazırlanması:

Antimon: 2,520 g $C_8H_4K_2O_{12}Sb_2.H_2O$ 1000 mL saf suda çözünerek hazırlanmıştır. Elde edilen bu çözeltinin konsantrasyonu 1000 ppm (1000 mg/L) olarak hesaplanıp bu çözelti seyreltilerek 100; 50; 25; 10; 5; 2,5; 1; 0,5; 0,1 ppm antimon çözeltileri hazırlanmıştır.

Kobalt: 4,7698 g $CoSO_4.7H_2O$ 1000 mL saf suda çözünerek hazırlanmıştır. Elde edilen bu çözeltinin konsantrasyonu 1000 ppm (1000 mg/L) olarak hesaplanıp bu çözelti seyreltilerek 100; 50; 25; 10; 5; 2,5; 1; 0,5; 0,1 ppm antimon çözeltileri hazırlanmıştır.

Kalay: 3,5427 g $SnCl_2.2H_2O$ 1000 mL saf suda çözünerek hazırlanmıştır. Elde edilen bu çözeltinin konsantrasyonu 1000 ppm (1000 mg/L) olarak hesaplanıp

bu çözelti seyreltilerek 100; 50; 25; 10; 5; 2,5; 1; 0,5; 0,1 ppm antimon çözeltileri hazırlanmıştır.

Vanadyum: 3,9071 g $VOSO_4 \cdot 2H_2O$ 1000 mL saf suda çözünerek hazırlanmıştır. Elde edilen bu çözeltinin konsantrasyonu 1000 ppm (1000 mg/L) olarak hesaplanıp bu çözelti seyreltilerek 100; 50; 25; 10; 5; 2,5; 1; 0,5; 0,1 ppm antimon çözeltileri hazırlanmıştır.



Şekil 3.6. Stok çözeltilerin hazırlanması

Hazırlanan stok çözeltilerin seyreltilmesiyle elde edilen 5 farklı konsantrasyonda (EC_{50} değerinin belirlenmesiyle 5 farklı konsantrasyon aralığı belirlenmiştir.) ağır metal içeren çözeltilere (100'er mL) *L. minor* yaprakları (yaklaşık 25-30 yaprak) yaklaşık 20-25 gün boyunca uygulanmış ve yapraklardaki gelişim her gün düzenli olarak takip edilmiştir.

3.2.2. Kuru Ağırlık Analizi:

Kuru madde tayini için Whatman GF/C filtre kağıtları kullanılmıştır. 3'er tekrarlı olacak şekilde yaklaşık 25-30 L. *minor* yaprağı (3'lü yaprak) filtre kağıtlarına alınarak filtre edilip 80°C'de etüvde (memmert) 24 saat süre ile kurutulmuştur. Kurutma işlemi sonrası desikatörde 6 saat süreyle soğutulan filtre kağıtları hassas terazide 0,1 mg hassasiyetle tartılarak ve yine desikatöre alınmış ve bu işlem filtre sabit ağırlığa gelinceye kadar tekrarlanıp filtreler desikatörde muhafaza edilmiştir. Bu şekilde kuru ağırlığı belirlenecek olan filtre kağıtları kuru madde tayininde kullanılabilir hale gelmiştir. Buradan birim hacim materyal içindeki kuru madde miktarı mg mL⁻¹ olarak hesaplanmıştır. [27]



Şekil 3.7. Laboratuvarda kullanılan etüv ve desikatör

3.2.3. ICP-OES Analizi:

Biyomasların metallerle uygulama sonrasında santrifüjlenen her bir deney tüpünün süpernatant kısmı ICP-OES cihazında 3 tekrarlı olacak şekilde okunarak ortalamaları alınmıştır. Adsorbentlerin metal giderimi (mg g⁻¹) ve etkisi (%) aşağıdaki formüllere göre yapılmıştır.

Adsorbentin her bir gram başına metal giderimi:

$$q \text{ (mg g}^{-1}\text{)} = (c_i - c_t) * V / m$$

V: Çözelti hacmi (mL)

m: Adsorbentin kütlesi (g kuru ağırlık)

c_i ve c_t : Başlangıç ve bitiş metal konsantrasyonları (mg mL⁻¹)

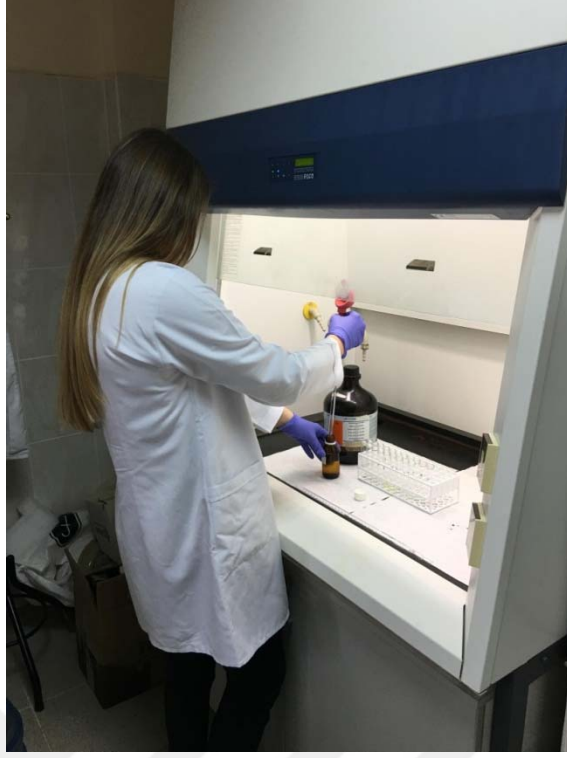
Adsorbentin metal giderim etkisi (%):

$$\text{Metal giderim yüzdesi} = 100 * (c_i - c_t) / c_i$$

3.2.4. Karbonhidrat Analizi:

Yaygın yöntem olan Fenol-Sülfürik Asit yöntemi ile organizmaların metal-nutrient uygulama öncesi ve sonrasında total karbonhidrat miktarı tayin edilmiştir. [26]

Karbonhidrat miktarını belirlemek için uygulamasız numunelerden ve ağır metal uygulama sonrası santrifüjle çöktürülen pelletlerden (süpernatantlar metal analizi için ICP-OES cihazında okutulmak üzere DEFAM (Deneysel Fen Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi)'a gönderilmiştir. 1'er mL alınarak cam deney tüplerine aktarılmış, 1 mL numune içeren her bir deney tüpüne 5 mL derişik sülfürik asit ve 1 mL % 5'lik fenol çözeltisi koyulup örnekler 10 dakika oda sıcaklığında, 20 dakika 30 °C'de su banyosunda bekletilmiştir. Ekstraksiyon süresi sonunda her bir tüp 4000 rpm'de 15 dakika santrifüj edildikten sonra (Nüve NF 800) üstteki süpernatant (berrak kısım) spektrofotometre kuvetlerine alınarak % 5'lik fenol-derişik sülfürik asit çözeltisine karşı 490 nm'de spektrofotometrede absorpsiyon değerleri ölçülmüştür.



Şekil 3.8. Karbonhidrat Analizi

Sonuçlar glukoz standart derişimleri ile absorbsanları arasındaki doğrusal ilişki kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.9. Laboratuvarda kullanılan U.V. Spektrofotometre cihazı

3.2.5. Klorofil 'a' ve 'b' Analizi:

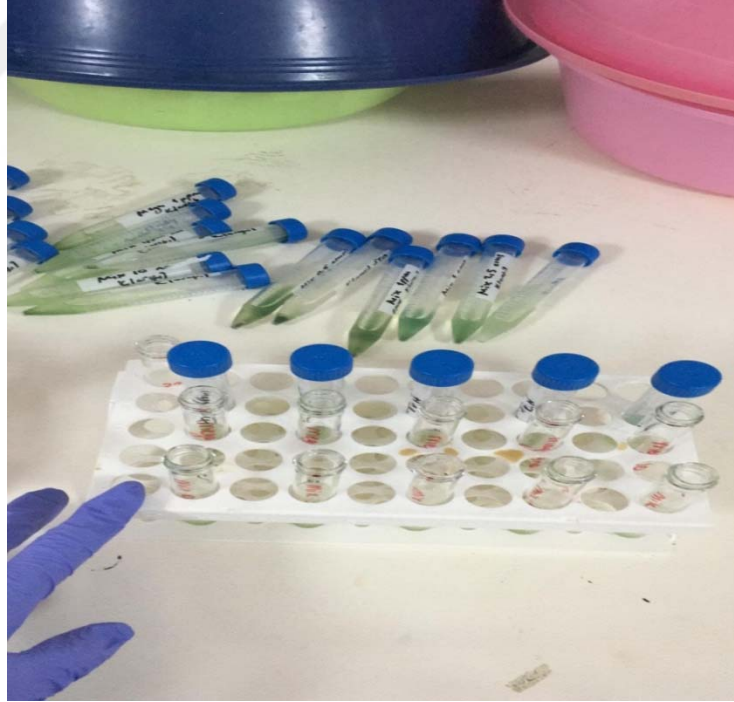
Klorofil a ve b analizleri Criado ve ark.2007, tarafından belirtilen yonteme g6re yapilmis ve 0.1 gr taze yaprak 6rneği alınarak 100 ml % 80'lik asetoniçerisinde 6ęüt6lmesinin akabinde filtre kağından s6z6lm6şt6r. S6z6nt6 6rnekleri UV spektrofotometrede klorofil a için 663 nm, klorofil b için 645 nm vetoplam klorofil için 450 nm klorofil absorbansları 6l6lm6şt6r. Bu işlem ile 6l6len absorbans değerleri aşağıda verilen form6lde yerine koyularak bitki yaprak dokusunun 1 gramında bulunan kl a, kl b ve toplamklorofil miktarları mg olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Klorofil a} = 11,6 \times D_{665} - 0,14 \times D_{630} - 1,31 \times D_{645}$$

$$\text{Klorofil b} = 20,7 \times D_{645} - 4,34 \times D_{665} - 4,42 \times D_{630}$$

$$\mu\text{g klorofil (a,b)} / \text{L} = \text{klorofil (a,b)} \times v / l \times V$$

V: % 80'lik asetonun son hacmi



şekil 3.10. Klorofil "a" ve "b" Analizi

3.2.6. Karotenoid Analizi:

Karotenoid miktar tayini de klorofil tayini için hazırlanan ekstraktın 450 nm dalga boyundaki absorbans değeri aşağıda verilen formülde yerine konmuş ve böylece yaprak yaş ağırlığının 0,1 gramındaki mg karotenoid miktarı belirlenmiştir.

Toplam karotenoid = [4,07 x D450 - (0,0435 x cla miktarı + 0,367 x klb miktarı)]

3.2.7. Lipid Peroksidasyonu Analizi (MDA):

Bitki örneklerinden 0,5 g alınarak, % 20'lik triklor asetik asit (TCA) ve % 5'lik tiobarbitürikasit (TBA) (toplam 3 ml) içerisinde homojenize edilmiş ve homojenat 30 dakika süre ile 95°C'de inkübe edildikten sonra, süre bitiminde reaksiyonu durdurmak için buz içerisine konulmuştur. Örnekler 10000 rpm'de 10 dakika santrifüj edilerek süpernatant kısmı alınıp 532 nm absorbans değeri ve 600 nm deki non-spesifik absorpsiyon için absorbans değeri okunmuştur. [28]



Şekil 3.11.Lipid Peroksidasyon Analizi

Lipidperoksidasyonu'nun hesaplanması için; 532 nm'de ölçülen absorbans değerinden 600 nm' de belirlenen değeri çıkarılıp 1ml çözeltildeki MDA (nmol/g): $[(A_{532}-A_{600})/155X \text{ (seyreltme faktörü)}] \times 1000$ (3.6) Formülüyle hesaplanmış ve sonuçlar MDA (nmol/gram doku) şeklinde verilmiştir.

$$\text{MDA (nmol mL}^{-1}\text{)} = [(A_{532}-A_{600}) / 155 000] 10^6$$

3.2.8.İstatistik:

Sonuçları 3'er tekrarlı olacak şekilde ve standart sapmalarıyla birlikte uygun istatistiksel yöntemlerle karşılaştırılarak ve SPSS 22 for Windows paket programıyla istatistiki olarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

3.2.9.Adsorpsiyon

Adsorbsiyon, malzeme derişiminin katı yüzeyde yığın derişimine göre artışı şeklinde tanımlanabilir ve yüzeyde tutunan malzemeye “adsorblanan maddde veya adsorbat” ve üzerinde adsorbsiyonun gerçekleştiği katıya ise “adsorbent veya adsorban” ismi verilmektedir. Ayrıca adsorbsiyon işleminin tersine adsorplanan maddenin ortama geri verilmesine yani yüzeyde derişimin azalması işlemine “desorbsiyon” denir.

Adsorpsiyon, iyon ve moleküllerin bir maddenin yüzeyine tutunması olayıdır ve maddenin sınır yüzeyinde moleküller arasındaki kuvvetlerin denkleşmemiş olmasından meydana gelir. Fiziksel, kimyasal ve iyonik olmak üzere üç tip adsorpsiyondan bahsedilebilir. Fiziksel adsorpsiyon: Gaz veya buhar, katının yüzeyine bağlı kaldığı zaman adsorplayıcı ile adsorplanan arasında yoğunlaşmaya benzer zayıf bir etkileşme meydana gelir. Bu olaya fiziksel adsorpsiyon veya Van der Waals adsorpsiyonu denir. Kimyasal adsorpsiyon: Gaz veya buhar, katının yüzeyine bağlı kaldığı zaman adsorplayıcı ile adsorplanan arasında kimyasal tepkimeye benzer kuvvetli bir etkileşme meydana gelebilir. Bu olaya ise kimyasal adsorpsiyon veya kemisorpsiyon adı verilir. Kimyasal adsorpsiyon, bir aktiflenme enerjisinin eşliğinde meydana geldiği için aktiflenmiş adsorpsiyon adını da alır. Van der Waals adsorpsiyonu hiç aktivasyon enerjisi gerektirmez ve bu sebeple kimyasal sorpsiyon

daha hızlı bir şekilde meydana gelir. İyonik adsorpsiyon: Yüzeydeki yüklü bölgelere, çözeltideki iyonik karakterli adsorplananların elektrostatik kuvvetler ile çekilmesi sonucu iyonik adsorpsiyon oluşur. Farklı özelliklerine rağmen çoğu durumda fiziksel, kimyasal ve iyonik adsorpsiyon arasında kesin bir ayırım yapılamaz.

Adsorpsiyon işlemi sırasında sistem dengeye geldiği anda, adsorban maddenin birim kütesinin adsorpladığı madde miktarı, sıcaklık, derişim, basınç veya denge basıncının bir fonksiyonudur. Sıcaklığın sabit tutulduğu durumlarda bu fonksiyon aşağıdaki denkleme eşittir;

$$q_e = (C_0 - C_e) \cdot V / m$$

q_e = Adsorbentin adsorpsiyon kapasitesi (mg/g, mol/g)

C_0 = Adsorbatın(adsorplanan maddenin) başlangıç derişimi (mg/L, mol/L)

C_e = Adsorbantın(adsorplanan maddenin) denge anındaki (adsorplanmadan kalan) derişimi (mg/L, mol/L)

V = Çözelti hacmi (L)

m = adsorbentin ağırlığı (g)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında *Lemna minor* ve *Lemna gibba*'nın belirlenen ağır metallere karşı adsorbsiyonu araştırılmıştır. Araştırma boyunca ağır metallere uygulama öncesi ve sonrası olmak üzere ölçümler yapılmış, tablo ve garfikleri çizilmiştir.

Khellaf ve Zerdaoui (2009)'un yapmış olduğu çalışma ile yapılan çalışma EC₅₀ değerleri hesaplanması bakımından benzerlik göstermektedir.

4.1. Karbonhidrat Analizi

Lemna minor ve *Lemna gibba* örneklerinde bulunan karbonhidrat miktarları uygulama öncesine bakılacak olursa *L.gibba*'nın *L.minor*'den yüksek olduğu ve uygulama sonrası ise sırasıyla tüm ağır metallerin giderimi ortaya konmuş ve karşılaştırmalı olarak tablolarda belirtilmiştir.

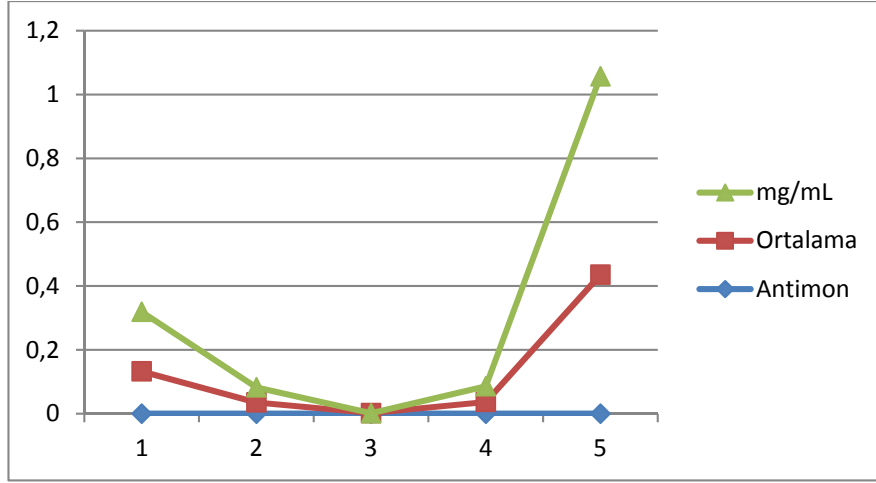
Tablo 4.1.Uygulama öncesi *Lemna minor* ve *Lemna gibba* karbonhidrat sonuçları

Uygulama öncesi <i>Lemna minor</i> karbonhidrat tayini sonucu	1.2663
Uygulama öncesi <i>Lemna gibba</i> karbonhidrat tayini sonucu	4.3261

Uygulama sonrası *Lemna minor* karbonhidrat sonuçları:

Tablo 4.2..*Lemna minor* Antimon ağır metali uygulama sonucu karbonhidrat sonuçları (ppm)

	Sb	Ortalama	mg/mL
1	5	0,1325	0,1867
2	10	0,0352	0,0471
3	25	0,002	-0,0005
4	50	0,0367	0,0492
5	100	0,4356	0,6215

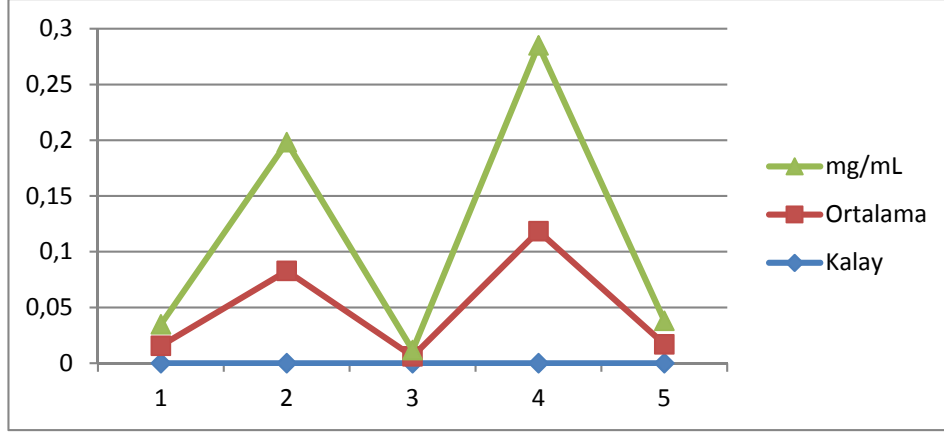


Şekil 4.1. *Lemna minor* Antimon ağır metali uygulama sonucu karbonhidrat analizleri

Lemna minor'e Antimon ağır metali uygulaması sonucu, 5 ppm'den başlayarak uygulama öncesi değerine göre 50 ppm'e kadar azalmış 100 ppm'de karbonhidrat miktarı artmıştır.

Tablo 4.3. *Lemna minor* Kalay ağır metali uygulama sonucu karbonhidrat sonuçları (ppm)

	Sn	Ortalama	mg/mL
1	5	0,0157	0,0191
2	10	0,0828	0,1154
3	25	0,0062	0,0055
4	50	0,1185	0,1666
5	100	0,017	0,0210

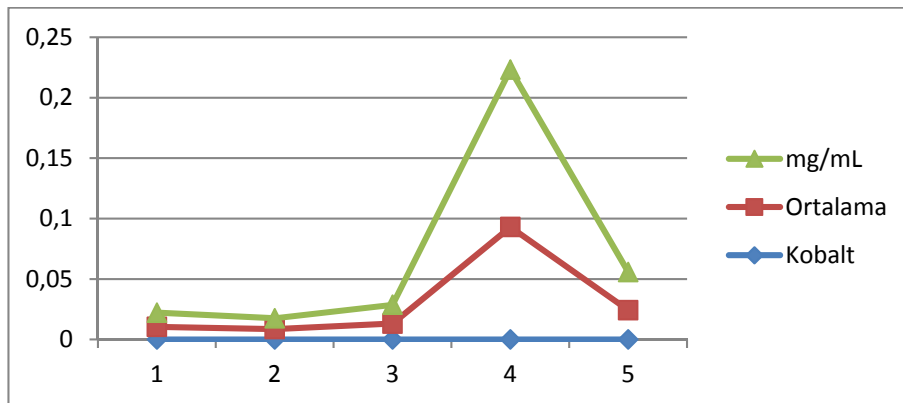


Şekil 4.2. *Lemna minor* Kalay ağır metali uygulama sonucu karbonhidrat analizleri

Lemna minor'e Kalay ağır metali uygulaması sonucu, 5 ppm'den başlayarak uygulama öncesi değerine göre 10 ppm'de artma, 25 ppm'de azalma ,50 ppm'de tekrar artma gözlemlenmiş ve 100 ppm'de karbonhidrat miktarı azalmıştır.

Tablo 4.4. *Lemna minor* Kobalt ağır metali sonucu uygulama karbonhidrat sonuçları (ppm)

	Co	Ortalama	mg/mL
1	5	0,0105	0,0116
2	10	0,0086	0,0089
3	25	0,0132	0,0155
4	50	0,0931	0,1302
5	100	0,0243	0,0314

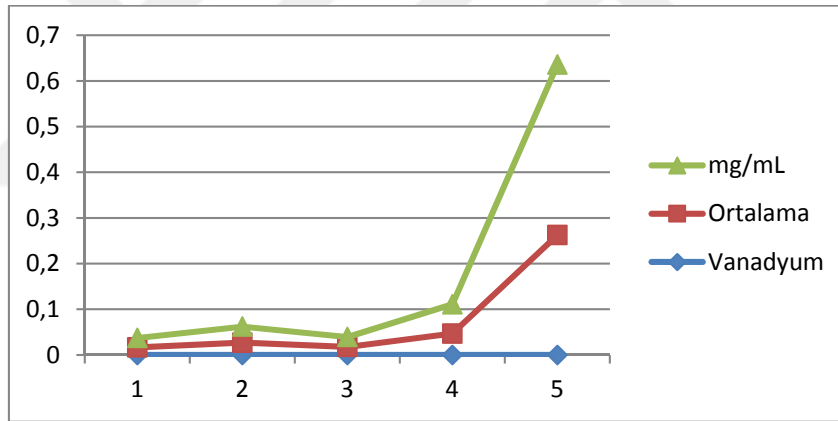


Şekil 4.3. *Lemna minor* Kobalt ağır metali uygulama sonucu karbonhidrat analizleri

Lemna minor'e Kobalt ağır metali uygulaması sonucu, 5 ppm'den başlayarak uygulama öncesi değerine göre 25 ppm'e kadar sabit kalmış 25 ppm'den 50 ppm'e çıkarken artmış ve 100 ppm'de karbonhidrat miktarı tekrar azalmıştır.

Tablo 4.5. *Lemna minor* Vanadyum ağır metali uygulama sonucu karbonhidrat sonuçları (ppm)

	V	Ortalama	mg/mL
1	5	0,0167	0,0205
2	10	0,0269	0,0352
3	25	0,0176	0,0218
4	50	0,047	0,0640
5	100	0,2626	0,3733



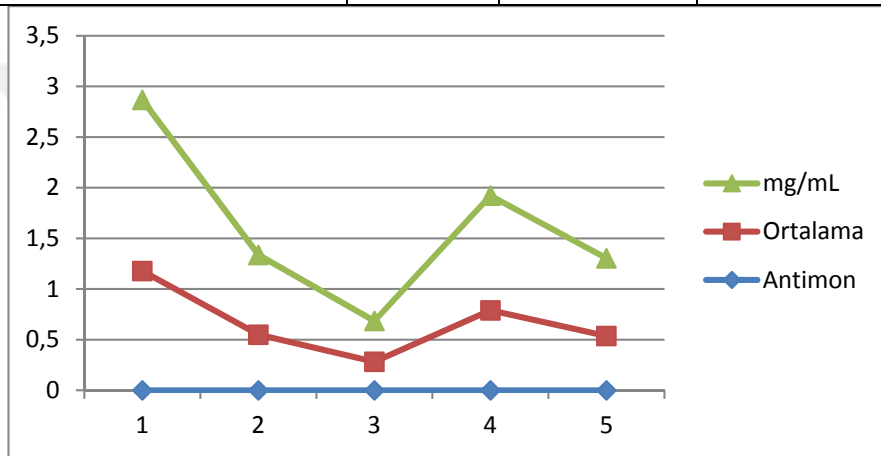
Şekil 4.4. *Lemna minor* Vanadyum ağır metali uygulama sonucu karbonhidrat analizleri

Lemna minor'e Vanadyum ağır metali uygulaması sonucu, 5 ppm'den 50 ppm'e kadar karbonhidrat miktarı sabit kalmış 50 ppm'den 100 ppm'e kadar karbonhidrat miktarı artmıştır.

Uygulama sonrası *Lemna gibba* karbonhidrat sonuçları:

Tablo 4.6. *Lemna gibba* Antimon uygulama sonucu karbonhidrat sonuçları (ppm)

	Sb	Ortalama	mg/mL
1	5	1	1,6881
2	10	0,5506	0,7865
3	25	0,283	0,4026
4	50	0,7912	1,1317
5	100	0,5372	0,7673

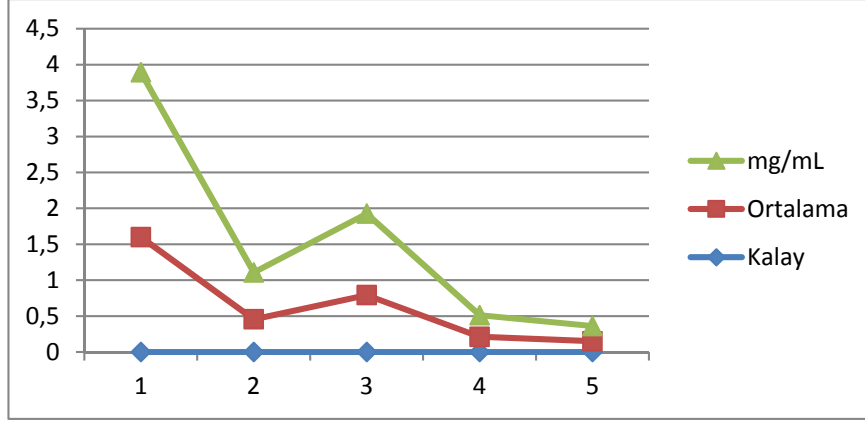


Şekil 4.5. *Lemna gibba* Antimon uygulama sonucu karbonhidrat analizleri

Lemna gibba'ya Antimon ağır metali uygulaması sonucu, 5 ppm'den başlayarak uygulama öncesi değerine göre 25 ppm'e kadar azalmalar gözlemlenmiş 25 ppm'den 50 ppm'e kadar artmış ve 100 ppm'de karbonhidrat miktarı azalmıştır.

Tablo 4.7. *Lemna gibba* Kalay uygulama sonucu karbonhidrat sonuçları (ppm)

	Sn	Ortalama	mg/mL
1	5	1,6008	2,2933
2	10	0,4566	0,6517
3	25	0,7928	1,1340
4	50	0,2124	0,3013
5	100	0,1498	0,2115

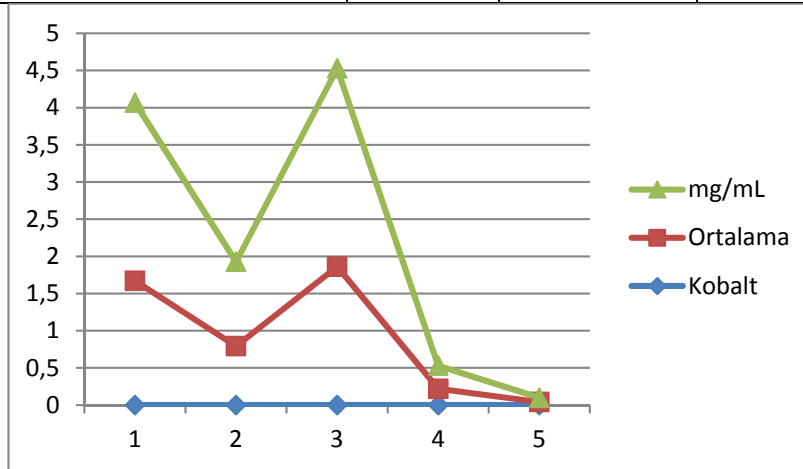


Şekil 4.6. *Lemna gibba* Kalay uygulama sonucu karbonhidrat analizleri

Lemna gibba'ya Kalay ağır metali uygulaması sonucu, 5 ppm'den başlayarak uygulama öncesi değerine göre 10 ppm'e kadar azalmalar gözlemlenmiş 25 ppm'den 50 ppm'e kadar azalmış ve 50 ppm ile 100 ppm'de karbonhidrat miktarı tekrar azalmıştır.

Tablo 4.8. *Lemna gibba* Kobalt uygulama sonucu karbonhidrat sonuçları (ppm)

	Co	Ortalama	mg/mL
1	5	1,6724	2,3960
2	10	0,7932	1,1346
3	25	1,8617	2,6676
4	50	0,2191	0,3109
5	100	0,042	0,0568

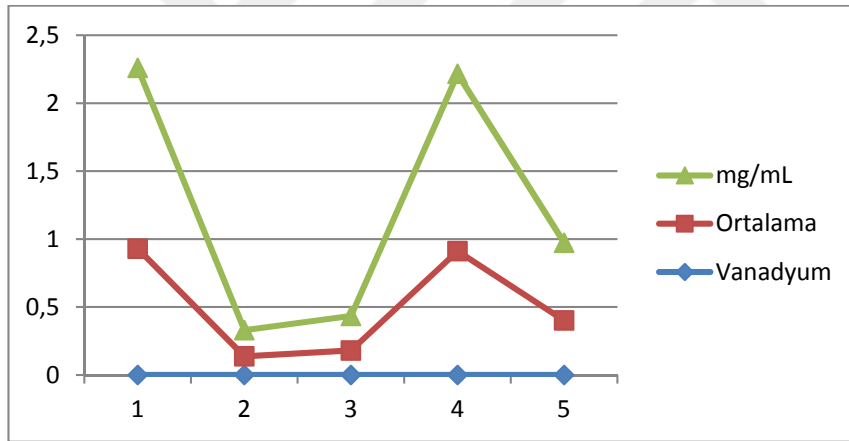


Şekil 4.7. *Lemna gibba* Kobalt uygulama sonucu karbonhidrat analizleri

Lemna gibba'ya Kobalt ağır metali uygulaması sonucu, 5 ppm'den başlayarak uygulama öncesi değerine göre 10 ppm'e kadar azalmalar gözlemlenmiş, 10 ppm'den 25 ppm'e kadar artı olup 50 ppm ve 100 ppm'de karbonhidrat miktarı azalmıştır.

Tablo 4.9. *Lemna gibba* Vanadyum uygulama sonucu karbonhidrat sonuçları (ppm)

	V	Ortalama	mg/mL
1	5	0,9294	1,3300
2	10	0,1369	0,1930
3	25	0,1799	0,2547
4	50	0,9116	1,3045
5	100	0,4009	0,5718



Şekil 4.8. *Lemna gibba* Vanadyum uygulama sonucu karbonhidrat analizleri

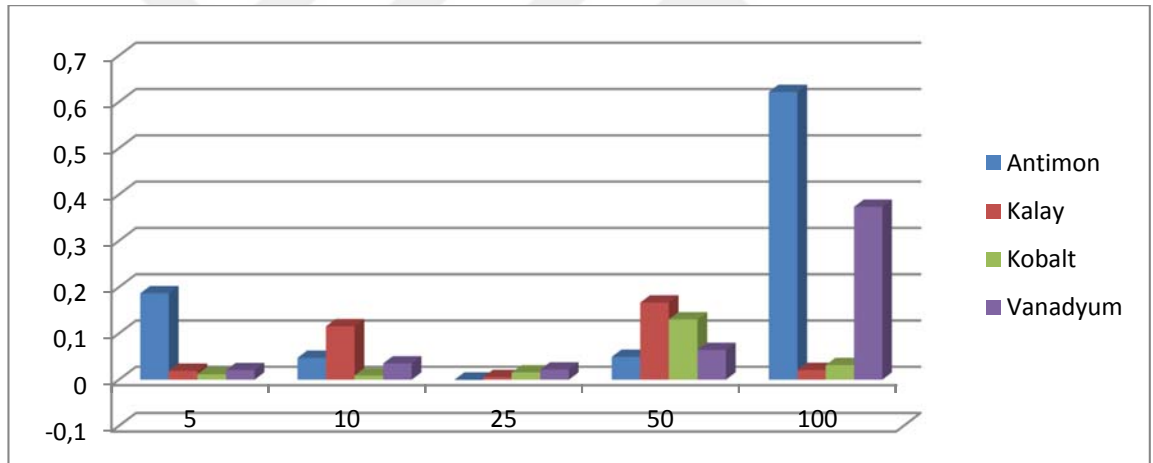
Lemna gibba'ya Vanadyum ağır metali uygulaması sonucu, 5 ppm'den başlayarak uygulama öncesi değerine göre 10 ppm'e kadar azalmalar gözlemlenmiş, 10 ppm ile 25 ppm arası sabit kalmış, 50 ppm'e kadar artmış ve 100 ppm'de karbonhidrat miktarı azalmıştır.

Uygulama öncesi karbonhidrat sonuçları ve 4 farklı ağır metal (Antimon, Kalay, Kobalt ve Vanadyum) uygulaması sonrası 5 farklı konsantrasyonda (5 ppm, 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm ve 100 ppm) karbonhidrat ölçümleri yapılmış ve yukarıdaki tablolarda verilmiştir.

Aşağıda verilen tablolarda ise 4 farklı ağır metalin uygulama sonrası karbonhidrat karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 4.10. *Lemna minor*'un 4 farklı ağır metalde 5 farklı konsantrasyonunda karbonhidrat karşılaştırılması

Total Ch. <i>Lemna minor</i> mg/mL	Sb	Sn	Co	V
5	0,1867	0,0191	0,0116	0,0205
10	0,0471	0,1154	0,0089	0,0352
25	-0,0005	0,0055	0,0155	0,0218
50	0,0492	0,1666	0,1302	0,0640
100	0,6215	0,0210	0,0314	0,3733

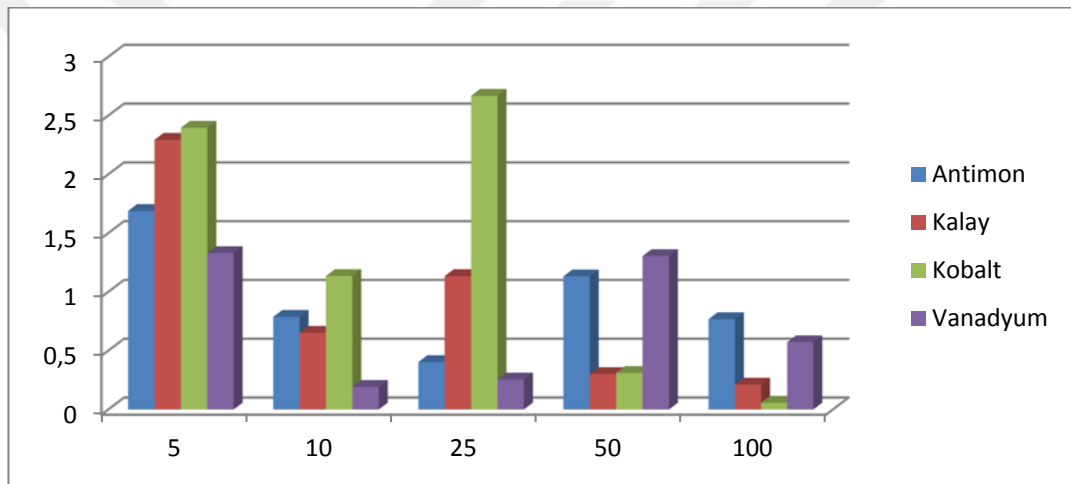


Şekil 4.9. *Lemna minor*'un 4 farklı ağır metalde 5 farklı konsantrasyonunda karbonhidrat karşılaştırılması

Lemna minor'un 4 farklı ağır metalde 5 farklı konsantrasyonunda karbonhidrat sonuçları karşılaştırıldığında en az karbonhidrat miktarının 25 ppm'lik derişimlerde ve Antimon ağır metalinde olduğu, en fazla karbonhidrat miktarının 100 ppm'lik derişimlerde Antimon ağır metalinde olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.11. *Lemna gibba*'nın 4 farklı ağır metalde 5 farklı konsantrasyonunda karbonhidrat karşılaştırılması

Total CH. <i>Lemna gibba</i> mg/mL	Sb	Sn	Co	V
5	1,6881	2,2933	2,3960	1,3300
10	0,7865	0,6517	1,1346	0,1930
25	0,4026	1,1340	2,6676	0,2547
50	1,1317	0,3013	0,3109	1,3045
100	0,7673	0,2115	0,0568	0,5718



Şekil 4.10. *Lemna gibba*'nın 4 farklı ağır metalde 5 farklı konsantrasyonunda karbonhidrat karşılaştırılması

Lemna gibba'nın 4 farklı ağır metalde 5 farklı konsantrasyonunda karbonhidrat sonuçları karşılaştırıldığında en az karbonhidrat miktarının 100 ppm'lik derişimlerde ve Kobalt ağır metalinde olduğu, en fazla karbonhidrat miktarının 25 ppm'lik derişimlerde Kobalt ağır metalinde olduğu ve 5 ppm'lik derişimlerde de Kobalt ağır metalinde olduğu tespit edilmiştir.

4.2.Klorofil 'a' ve 'b' Analizi

Lemna minor ve *Lemna gibba* örneklerinde bulunan klorofil a ve b miktarları uygulama öncesi ve uygulama sonrası olmak üzere sırasıyla belirlenmiş ve karşılaştırmalı olarak tablolarda belirtilmiştir.

Tablo 4.12.Uygulama öncesi *Lemna minor* ve *Lemna gibba* klorofil a ve klorofil b analizi sonucu

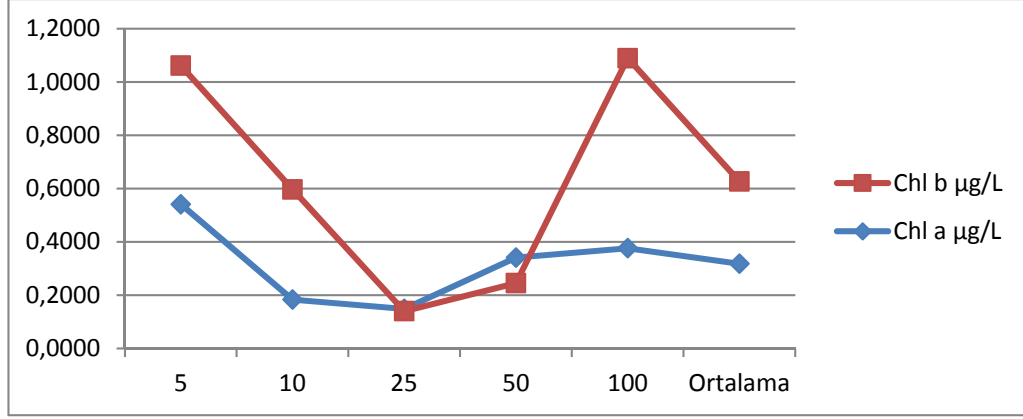
Uygulama öncesi <i>Lemna minor</i> klorofil a analizi sonucu	1.4267
Uygulama öncesi <i>Lemna minor</i> klorofil b analizi sonucu	1.4137
Uygulama öncesi <i>Lemna gibba</i> klorofil a analizi sonucu	2.5428
Uygulama öncesi <i>Lemna gibba</i> klorofil b analizi sonucu	1.4161

4 farklı ağır metal (Antimon, Kalay, Kobalt ve Vanadyum) uygulaması sonrası 5 farklı konsantrasyonda (5ppm, 10 ppm, 25ppm, 50ppm ve 100ppm) klorofil a ve b ölçümleri yapılmış ve aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Uygulama sonrası *Lemna minor* Klorofil a ve b sonuçları:

Tablo 4.13.*Lemna minor* Antimon uygulama sonucu klorofil a ve b sonuçları

Sb (ppm)	Chl a µg/L	Chl b µg/L
5	0,5413	0,5206
10	0,1834	0,4136
25	0,1486	-0,0084
50	0,3412	-0,0958
100	0,3764	0,7135
Ortalama	0,3182	0,3087

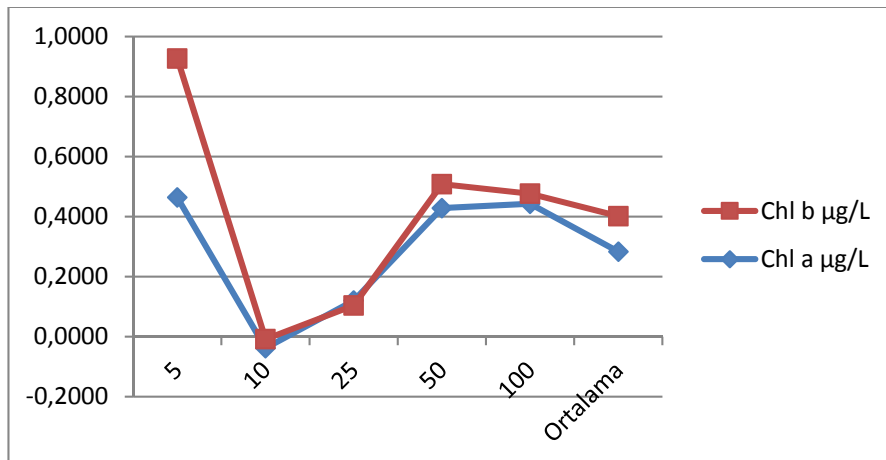


Şekil 4.11. *Lemna minor* Antimon uygulama sonucu klorofil a ve b analizleri

Lemna minor'e Antimon ağır metali uygulama sonucu klorofil a ve b analizlerine göre klorofil a ve b 5 ppm'den başlayarak 25 ppm'e kadar azalmış, 25 ppm'den sonra 50 ppm ve 100 ppm'de klorofil a artış b azalma göstermiştir.

Tablo 4.14. *Lemna minor* Kalay uygulama sonucu klorofil a ve b sonuçları

Sn (ppm)	Chl a µg/L	Chl b µg/L
5	0,4639	0,4634
10	-0,0384	0,0303
25	0,1204	-0,0163
50	0,4284	0,0799
100	0,4429	0,0339
Ortalama	0,2834	0,1182

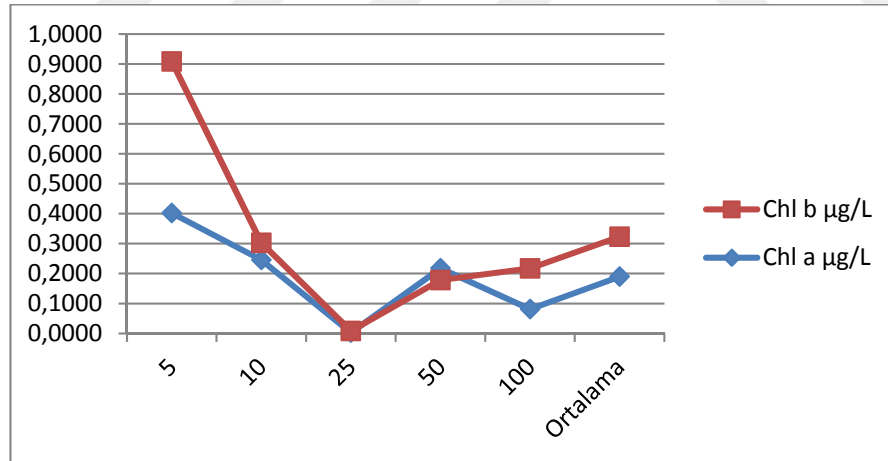


Şekil 4.12. *Lemna minor* Kalay uygulama sonucu klorofil a ve b analizleri

Lemna minor'e Kalay ağır metali uygulama sonucu klorofil a ve b analizlerine göre klorofil a 5 ppm'den 10 ppm'e kadar azalmış, 10 ppm'den 50 ppm'e kadar artmış ve 100 ppm'de azalma göstermiştir. Klorofil b ise 5 ppm'den 10 ppm'e kadar azalmış, 10 ppm'den 50 ppm'e kadar artmış ve 100 ppm'de tekrar azalma göstermiştir.

Tablo 4.15. *Lemna minor* Kobalt uygulama sonucu klorofil a ve b sonuçları

Co (ppm)	Chl a $\mu\text{g/L}$	Chl b $\mu\text{g/L}$
5	0,4022	0,5066
10	0,2458	0,0573
25	0,0027	0,0057
50	0,2177	-0,0392
100	0,0815	0,1360
Ortalama	0,1900	0,1333

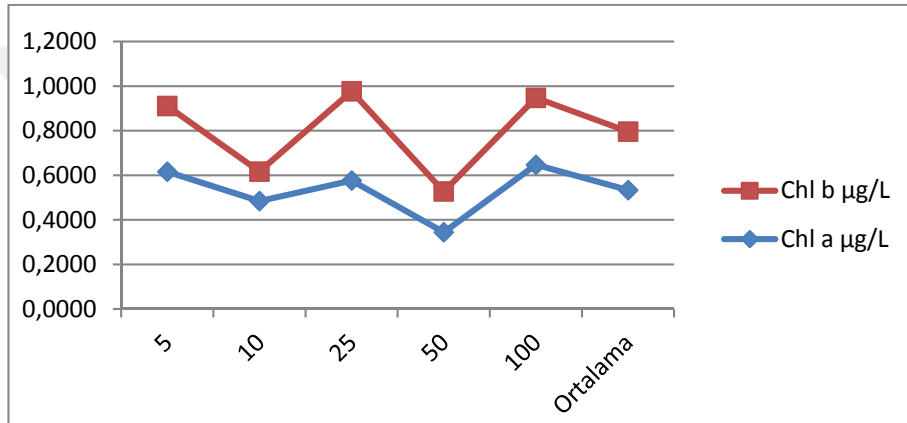


Şekil 4.13. *Lemna minor* Kobalt uygulama sonucu klorofil a ve b analizleri

Lemna minor'e Kobalt ağır metali uygulama sonucu klorofil a ve b analizlerine göre klorofil a 5 ppm'den 25 ppm'e kadar azalmış, 25 ppm'den 50 ppm'e kadar artmış ve 100 ppm'de azalma göstermiştir. Klorofil b ise 5 ppm'den 25 ppm'e kadar azalmış, 25 ppm'den 100 ppm'e kadar artış göstermiştir.

Tablo 4.16. *Lemna minor* Vanadyum uygulama sonucu klorofil a ve b sonuçları

V (ppm)	Chl a µg/L	Chl b µg/L
5	0,6162	0,2952
10	0,4848	0,1326
25	0,5768	0,4009
50	0,3448	0,1831
100	0,6475	0,3006
Ortalama	0,5340	0,2625



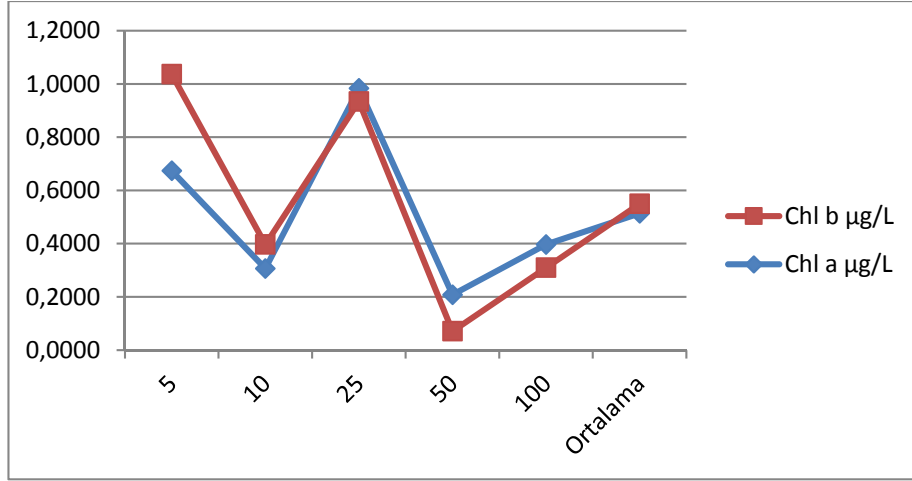
Şekil 4.14. *Lemna minor* Vanadyum uygulaması sonucu klorofil a ve b analizleri

Lemna minor'e Vanadyum ağır metali uygulama sonucu klorofil a ve b analizlerine göre klorofil a ve b, 5 ppm'den 100 ppm'e kadar azalış artış gösteren grafik çizmiştir.

Uygulama sonrası *Lemna gibba* Klorofil a ve b sonuçları:

Tablo 4.17. *Lemna gibba* Antimon uygulama sonucu klorofil a ve b sonuçları

Sb (ppm)	Chl a µg/L	Chl b µg/L
5	0,6737	0,3632
10	0,3066	0,0904
25	0,9839	-0,0493
50	0,2080	-0,1367
100	0,3969	-0,0869
Ortalama	0,5138	0,0362

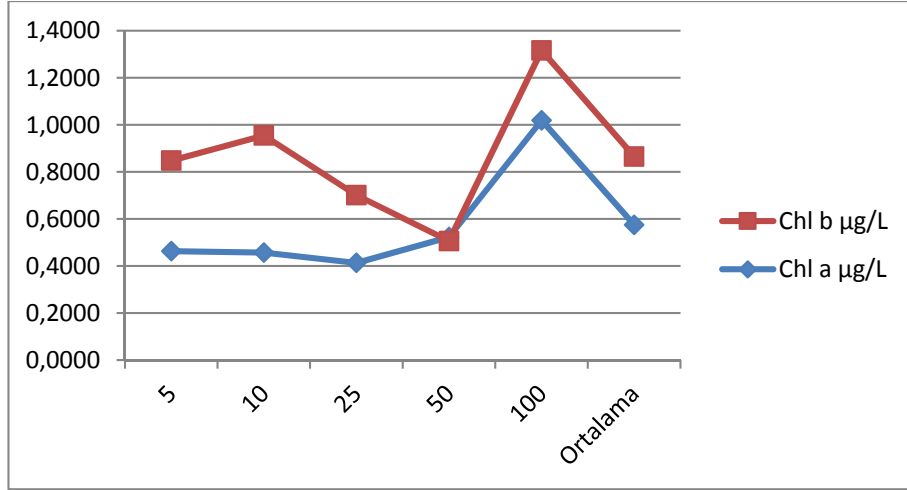


Şekil 4.15. *Lemna gibba* Antimon uygulama sonucu klorofil a ve b sonuçları

Lemna gibba'ya Antimon ağır metali uygulama sonucu klorofil a ve b analizlerine göre klorofil a ve b, 5 ppm'den 10 ppm'e kadar azalmış, 10 ppm'den 25 ppm'e kadar artmış, 50 ppm'de tekrar azalma göstermiş ve 100 ppm'de klorofil a ve b değeri artmıştır.

Tablo 4.18. *Lemna gibba* Kalay uygulama sonucu klorofil a ve b sonuçları

Sn (ppm)	Chl a µg/L	Chl b µg/L
5	0,4630	0,3852
10	0,4570	0,4982
25	0,4134	0,2878
50	0,5230	-0,0167
100	1,0193	0,2973
Ortalama	0,5751	0,2904

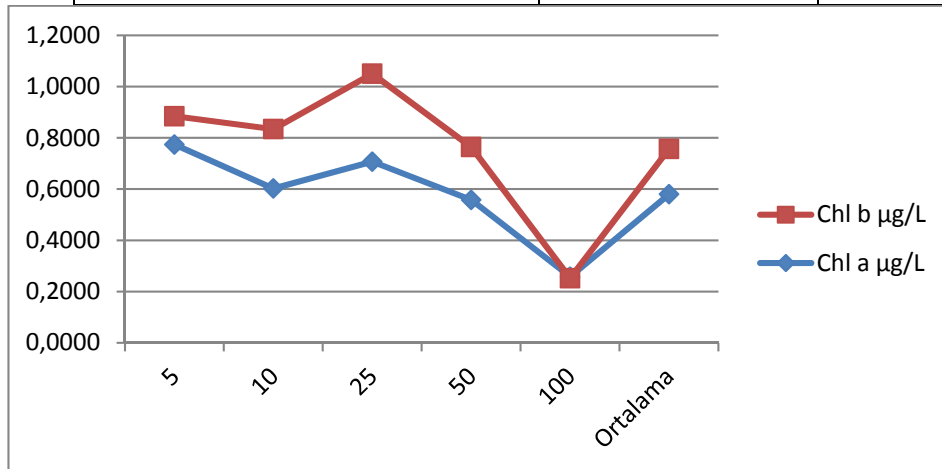


Şekil 4.16. *Lemna gibba* Kalay uygulama sonucu klorofil a ve b analizleri

Lemna gibba'ya Kalay ağır metali uygulama sonucu klorofil a ve b analizlerine göre klorofil a ve b, 5 ppm'den 50 ppm'e kadar azalmış, 50 ppm'den 100 ppm'e kadar artmış ve 100 ppm'den sonra klorofil a ve b değeri azalmıştır.

Tablo 4.19. *Lemna gibba* Kobalt uygulama sonucu klorofil a ve b sonuçları

Co (ppm)	Chl a (µg/L)	Chl b (µg/L)
5	0,7742	0,1105
10	0,6026	0,2318
25	0,7072	0,3436
50	0,5578	0,2067
100	0,2580	-0,0057
Ortalama	0,5800	0,1774

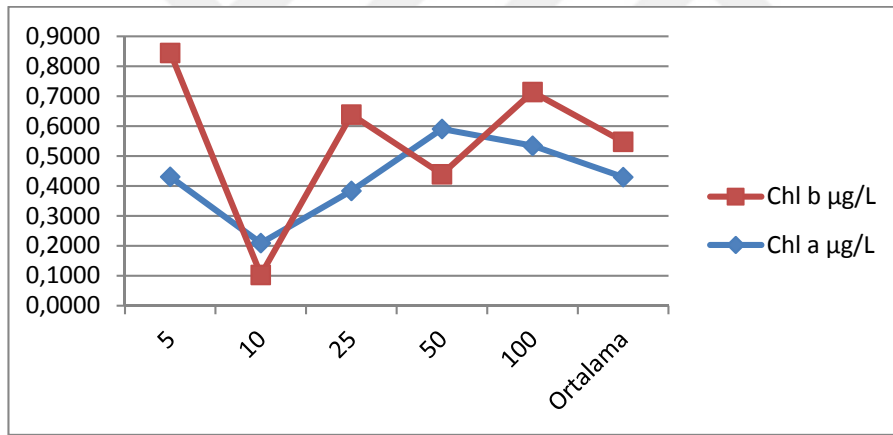


Şekil 4.17. *Lemna gibba* Kobalt uygulama sonucu klorofil a ve b analizleri

Lemna gibba'ya Kobalt ağır metali uygulama sonucu klorofil a ve b analizlerine göre klorofil a ve b, 5 ppm'den 10 ppm'e kadar azalmış, 10 ppm'den 25 ppm'e kadar artmış, 50 ppm'de tekrar azalma göstermiş ve 100 ppm'de klorofil a ve b değeri artmıştır.

Tablo 4.20. *Lemna gibba* Vanadyum uygulama sonucu klorofil a ve b sonuçları

Vanadyum (ppm)	Chl a µg/L	Chl b µg/L
5	0,4306	0,4144
10	0,2093	-0,1060
25	0,3840	0,2546
50	0,5906	-0,1511
100	0,5348	0,1793
Ortalama	0,4299	0,1182



Şekil 4.18. *Lemna gibba* Vanadyum uygulama sonucu klorofil a ve b analizleri

Lemna gibba'ya Vanadyum ağır metali uygulama sonucu klorofil a ve b analizlerine göre klorofil a, 5 ppm'den 10 ppm'e kadar azalmış, 10 ppm'den 50 ppm'e kadar artmış, 100 ppm'de azalmıştır. Klorofil b ise, 5 ppm'den 10 ppm'e kadar azalmış, 10 ppm'den 25 ppm'e artmış, 25 ppm'den 50 ppm'e azalmış ve 100 ppm de tekrar azalma göstermiş olup dalgalı bir grafik çizmiştir.

4.3.Karotenoid Analizi:

Lemna minor ve *Lemna gibba* örneklerinde bulunan karotenoid miktarları uygulama öncesine göre *L.gibba*'nın *L.minor*'den yüksek olduğu belirlenmiştir. Uygulama sonrası ise sırasıyla tüm ağır metallerin giderimi karşılaştırmalı olarak tablolarda belirtilmiştir.

Tablo 4.21. .Uygulama öncesi *Lemna minor* ve *Lemna gibba*'nın karotenoid analizleri sonucu:

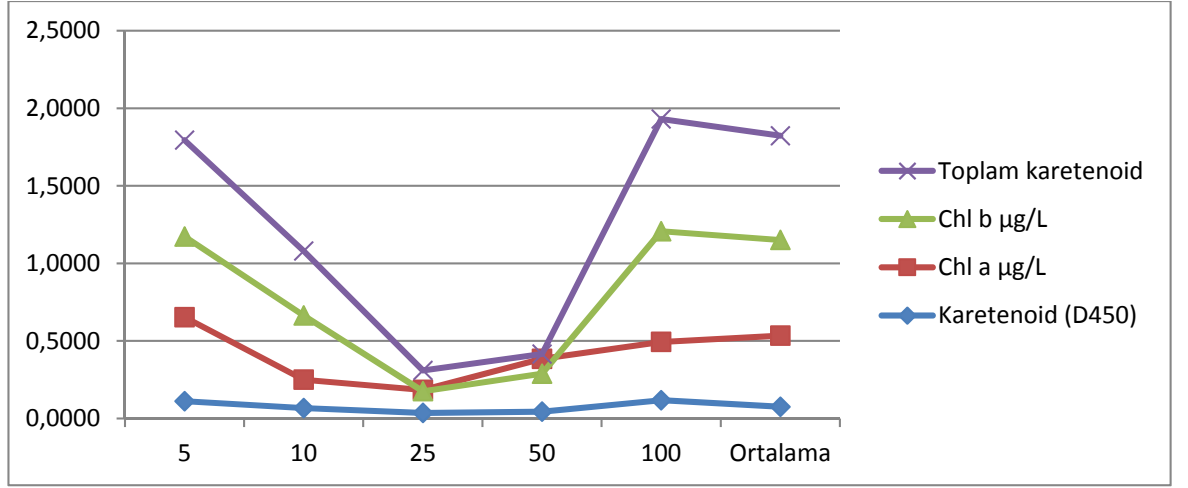
Uygulama öncesi <i>Lemna minor</i> karotenoid analizi sonucu	0.4244
Uygulama öncesi <i>Lemna gibba</i> karotenoid analizi sonucu	0.9171

4 farklı ağır metal (Antimon,Kalay,Kobalt ve Vanadyum) uygulaması sonrası 5 farklı konsantrasyonda (5ppm, 10 ppm, 25ppm, 50ppm ve 100ppm) karotenoid ölçümleri yapılmış ve aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Uygulama sonrası *Lemna minor* Karotenoid sonuçları:

Tablo 4.22.*Lemna minor* Antimon uygulama sonrası karotenoid sonuçları

Sb (ppm)	Karotenoid (D450)	Chl a µg/L	Chl b µg/L	Toplam karotenoid
5	0,1116	0,5413	0,5206	0,6217
10	0,0669	0,1834	0,4136	0,4160
25	0,0354	0,1486	-0,0084	0,1345
50	0,0435	0,3412	-0,0958	0,1270
100	0,1175	0,3764	0,7135	0,7237
Ortalama	0,0750	0,4589	0,61705	0,6727

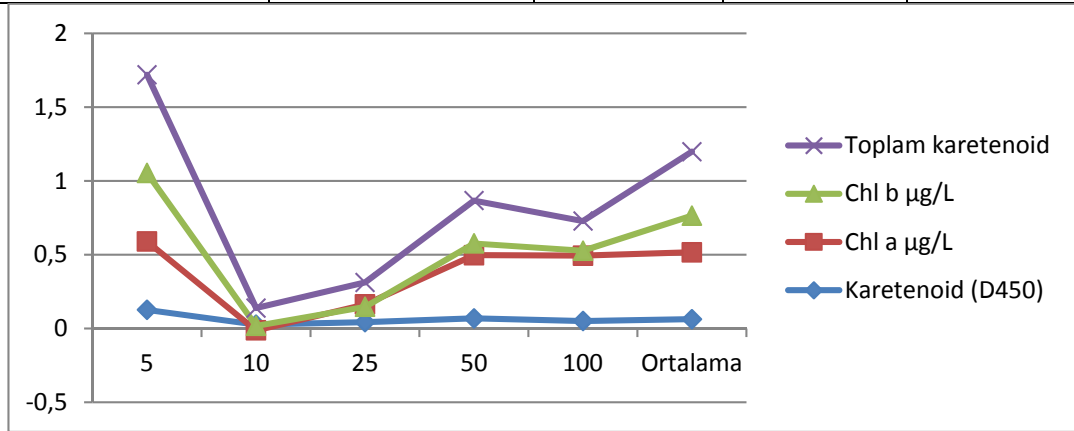


Şekil 4.19. *Lemna minor* Antimon uygulama sonrası karetenoid analizleri

Lemna minor'e Antimon ağır metali uygulama sonucu karetenoid analizlerine göre 5 ppm'den 25 ppm'e kadar azalmış, 25 ppm'den 50 ppm'e sabit kalmış ve 100 ppm'de artış göstermiştir.

Tablo 4.23. *Lemna minor* Kalay uygulama sonrası karetenoid sonuçları

Sn (ppm)	Karetenoid (D450)	Chl a µg/L	Chl b µg/L	Toplam karetenoid
5	0,1268	0,4639	0,4634	0,6659
10	0,0266	-0,0384	0,0303	0,1210
25	0,0434	0,1204	-0,0163	0,1654
50	0,0688	0,4284	0,0799	0,2907
100	0,051	0,4429	0,0339	0,2007
Ortalama	0,0633	0,4534	0,24865	0,4333

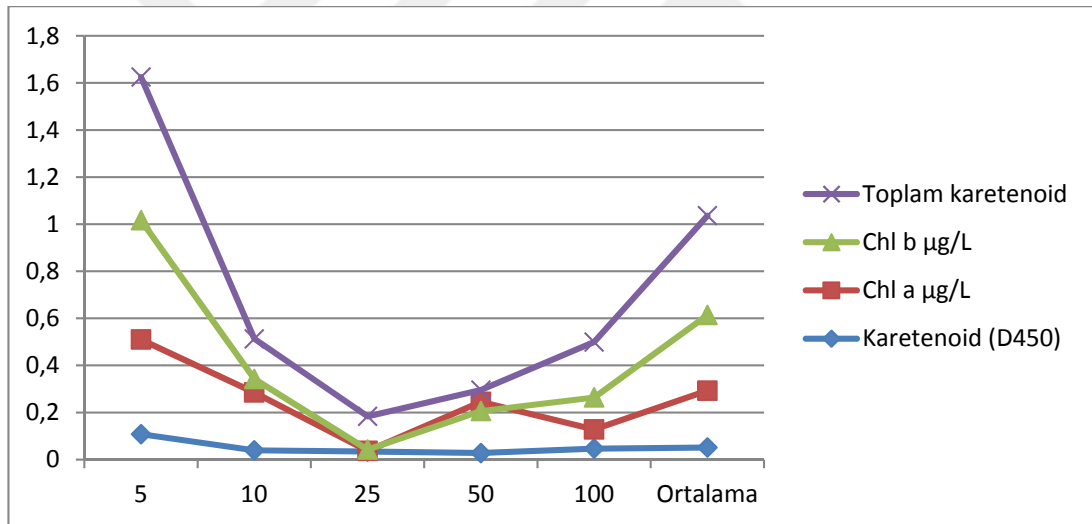


Şekil 4.20. *Lemna minor* Kalay uygulama sonrası karetenoid analizleri

Lemna minor'e Kalay ağır metali uygulama sonucu karetenoid analizlerine göre 5 ppm'den 10 ppm'e kadar azalmış, 25 ppm'den 50 ppm ve 100 ppm'e artış göstermiştir.

Tablo 4.24.*Lemna minor* Kobalt uygulama sonrası karetenoid sonuçları

Co (ppm)	Karetenoid (D450)	Chl a µg/L	Chl b µg/L	Toplam karetenoid
5	0,1081	0,4022	0,5066	0,6083
10	0,0394	0,2458	0,0573	0,1706
25	0,0342	0,0027	0,0057	0,1411
50	0,0278	0,2177	-0,0392	0,0892
100	0,0465	0,0815	0,136	0,2356
Ortalama	0,0512	0,2419	0,3213	0,4220

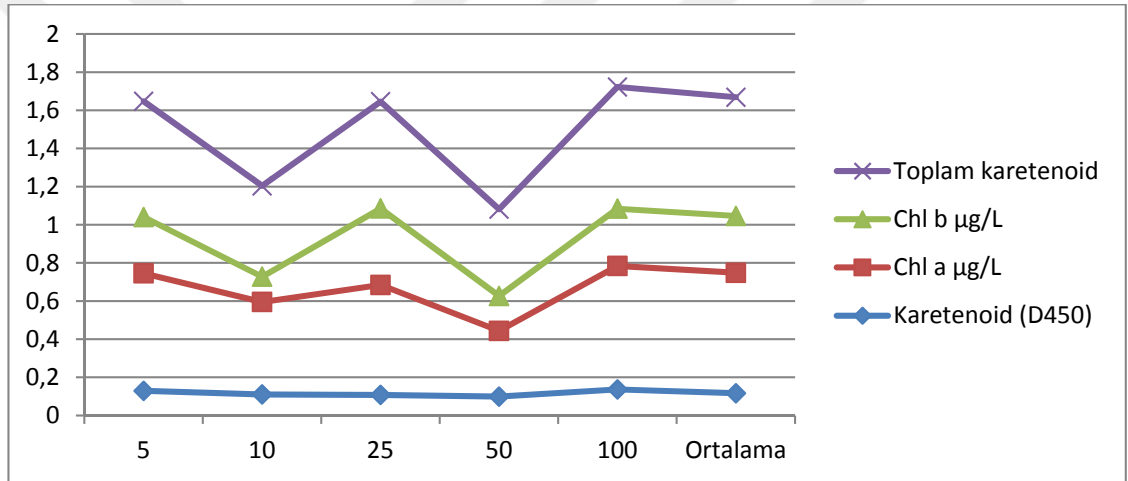


Şekil 4.21.*Lemna minor* Kobalt uygulama sonrası karetenoid analizleri

Lemna minor'e Kobalt ağır metali uygulama sonucu karetenoid analizlerine göre 5 ppm'den 25 ppm'e kadar azalmış, 25 ppm'den 100 ppm'e kadar artış göstermiştir.

Tablo 4.25. *Lemna minor* Vanadyum uygulama sonrası karetenoid sonuçları

V (ppm)	Karetenoid (D450)	Chl a µg/L	Chl b µg/L	Toplam karetenoid
5	0,1291	0,6162	0,2952	0,6069
10	0,1103	0,4848	0,1326	0,4764
25	0,1077	0,5768	0,4009	0,5603
50	0,099	0,3448	0,1831	0,4551
100	0,1366	0,6475	0,3006	0,6381
Ortalama	0,1165	0,6319	0,2979	0,6225



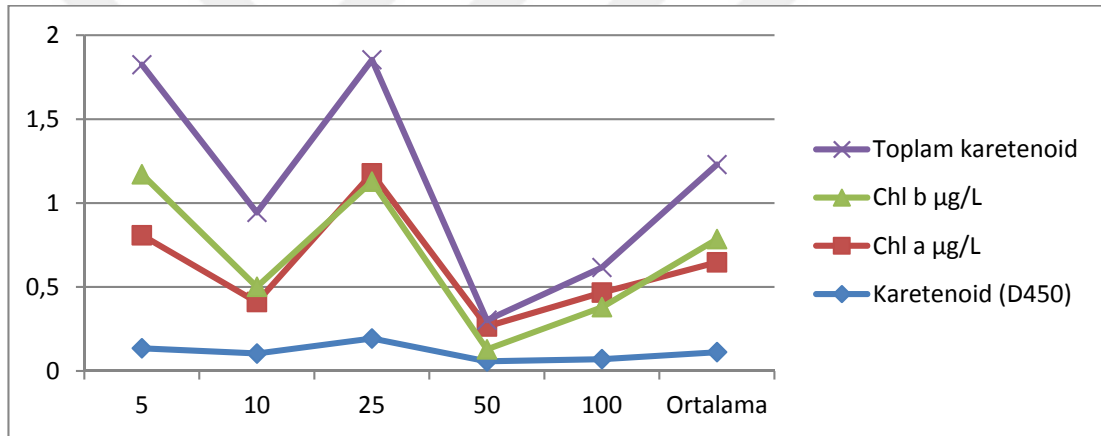
Şekil 4.22. *Lemna minor* Vanadyum uygulama sonrası karetenoid analizleri

Lemna minor'e Vanadyum ağır metali uygulama sonucu karetenoid analizlerine göre 5 ppm'den başlayarak 100 ppm'e kadar azalma ve artış göstererek dalgalı bir grafik çizmiştir.

Uygulama sonrası *Lemna gibba* Karetenuoid sonuçları:

Tablo 4.26. *Lemna gibba* Antimon uygulama sonrası karetenoid sonuçları

Sb (ppm)	Karetenuoid (D450)	Chl a µg/L	Chl b µg/L	Toplam karetenoid
5	0,1349	0,6737	0,3632	0,6530
10	0,1041	0,3066	0,0904	0,4435
25	0,1934	0,9839	-0,0493	0,7262
50	0,0573	0,208	-0,1367	0,1739
100	0,0702	0,3969	-0,0869	0,2365
Ortalama	0,1120	0,5353	0,13815	0,4447

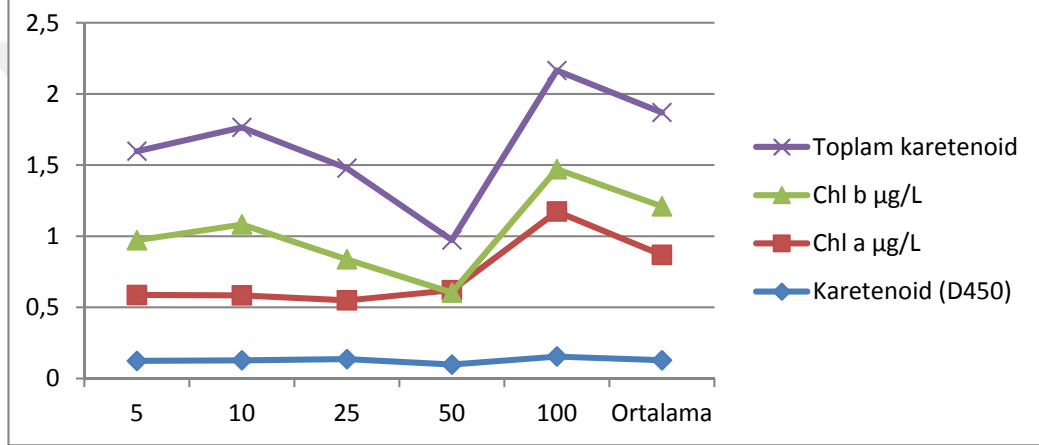


Şekil 4.23. *Lemna gibba* Antimon uygulama sonrası karetenoid analizleri

Lemna gibba'ya Antimon ağır metali uygulama sonucu karetenoid analizlerine göre 5 ppm'den 10 ppm'e azalış, 10 ppm'den 25 ppm'e artış, 25 ppm'den 50 ppm'e azalış ve 50 ppm'den 100 ppm'e tekrar artış göstermiştir.

Tablo 4.27. *Lemna gibba* Kalay uygulama sonrası karetenoid sonuçları

Sn (ppm)	Karetenoid (D450)	Chl a µg/L	Chl b µg/L	Toplam karetenoid
5	0,124	0,463	0,3852	0,6259
10	0,1277	0,457	0,4982	0,6826
25	0,1361	0,4134	0,2878	0,6415
50	0,0979	0,523	-0,0167	0,3695
100	0,1546	1,0193	0,2973	0,6939
Ortalama	0,1281	0,7412	0,34125	0,6599

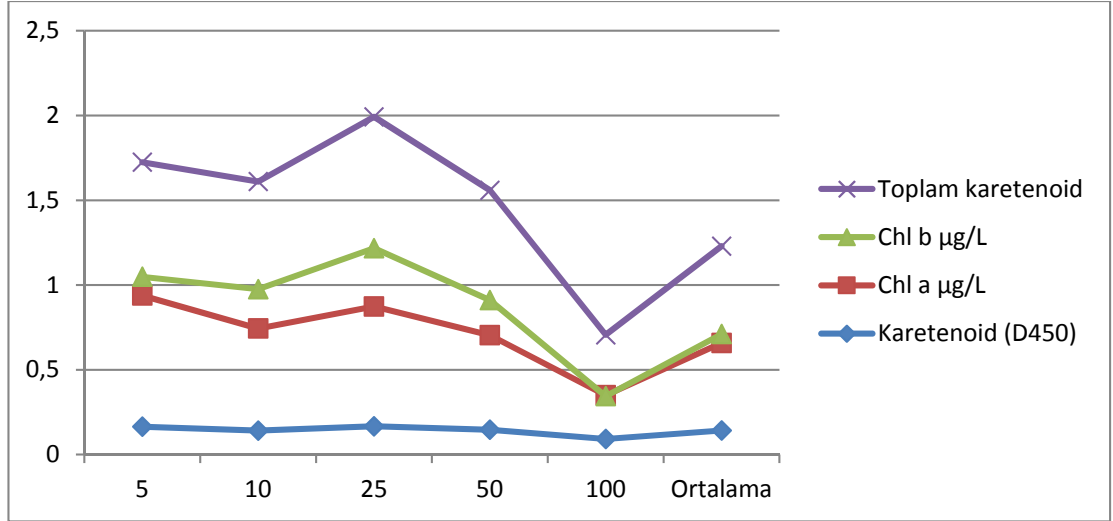


Şekil 4.24. *Lemna gibba* Kalay uygulama sonrası karetenoid analizleri

Lemna gibba'ya Kalay ağır metali uygulama sonucu karetenoid analizlerine göre 5 ppm'den 50 ppm'e kadar azalma, 50 ppm'den 100 ppm'e kadar artış göstermiştir.

Tablo 4.28. *Lemna gibba* Kobalt uygulama sonrası karetenoid sonuçları

Co (ppm)	Karetenoid (D450)	Chl a µg/L	Chl b µg/L	Toplam karetenoid
5	0,1644	0,7742	0,1105	0,6759
10	0,1415	0,6026	0,2318	0,6347
25	0,1669	0,7072	0,3436	0,7746
50	0,1466	0,5578	0,2067	0,6482
100	0,0923	0,258	-0,0057	0,3623
Ortalama	0,1423	0,5161	0,0524	0,5191

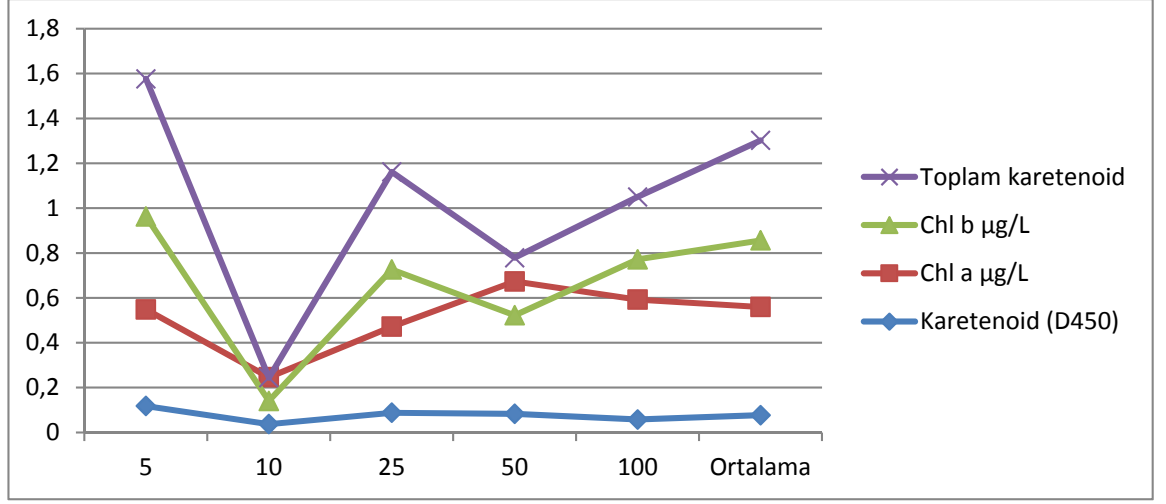


Şekil 4.25. *Lemna gibba* Kobalt uygulama sonrası karetenoid analizleri

Lemna gibba'ya Kobalt ağır metali uygulama sonucu karetenoid analizlerine göre 5 ppm'den 10 ppm'e azalış, 10 ppm'den 25 ppm'e artış, 25 ppm'den 100 ppm'e azalış göstermiştir.

Tablo 4.29. *Lemna gibba* Vanadyum uygulama sonrası karetenoid sonuçları

V (ppm)	Karetenoid (D450)	Chl a µg/L	Chl b µg/L	Toplam karetenoid
5	0,1181	0,4306	0,4144	0,6140
10	0,0373	0,2093	-0,106	0,1038
25	0,0881	0,384	0,2546	0,4353
50	0,083	0,5906	-0,1511	0,2566
100	0,0579	0,5348	0,1793	0,2781
Ortalama	0,0769	0,4827	0,29685	0,4461



Şekil 4.26. *Lemna gibba* Vanadyum uygulama sonrası karetenoid analizleri

Lemna gibba'ya Vanadyum ağır metali uygulama sonucu karetenoid analizlerine göre 5 ppm'den 10 ppm'e azalış, 10 ppm'den 25 ppm'e artış, 25 ppm'den 50 ppm'e azalış ve 50 ppm'den 100 ppm'e tekrar artış göstermiştir.

4.4. Lipid Peroksidasyonu Analizi (MDA):

Lemna minor ve *Lemna gibba* örneklerinde bulunan Lipid Peroksidasyon miktarları uygulama öncesine göre *L.gibba*'nın *L.minor*'den yüksek olduğu belirlenmiştir. Uygulama sonrası ise sırasıyla tüm ağır metallerin giderimi karşılaştırılmalı olarak tablolarda belirtilmiştir.

Tablo 4.30. Uygulama öncesi *Lemna minor* ve *Lemna gibba*'nın Lipid Peroksidasyonu analizi sonuçları

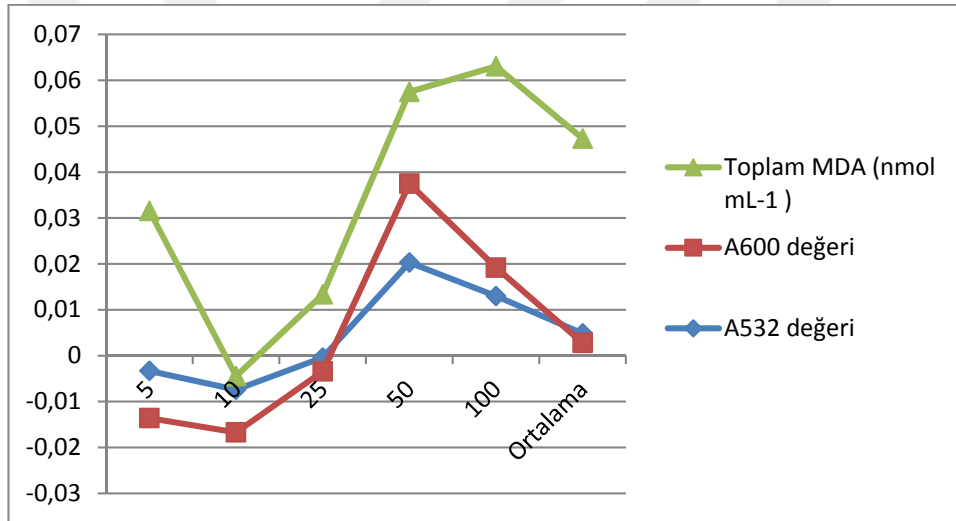
Uygulama öncesi <i>Lemna minor</i> Lipid Peroksidasyonu analizi sonucu	0,0096
Uygulama öncesi <i>Lemna gibba</i> Lipid Peroksidasyonu analizi sonucu	0,4090

4 farklı ağır metal (Antimon, Kalay, Kobalt ve Vanadyum) uygulaması sonrası 5 farklı konsantrasyonda (5 ppm, 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm ve 100 ppm) lipid peroksidasyonu ölçümleri yapılmış ve aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Uygulama sonrası *Lemna minor* Lipid Peroksidasyonu sonuçları:

Tablo 4.31. *Lemna minor* Antimon uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu sonuçları

Sb (ppm)	A532 değeri	A600 değeri	Toplam MDA (nmol mL ⁻¹)
5	-0,003	-0,0103	0,0451
10	-0,007	-0,0093	0,0122
25	-0,0004	-0,003	0,0167
50	0,0203	0,0172	0,02
100	0,013	0,0062	0,0438
Ortalama	0,0048	-0,0020	0,0445

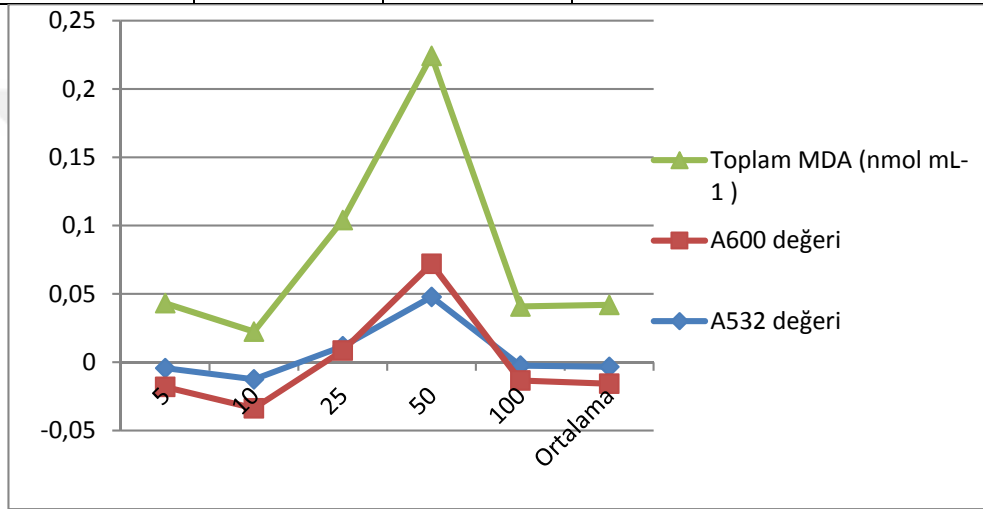


Şekil 4.27. *Lemna minor* Antimon uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu analizleri

Lemna minor'e Antimon ağır metali uygulama sonucu lipid peroksidasyonu analizlerine göre 5 ppm'den 10 ppm'e azalış, 10 ppm'den 100 ppm'e arta grafik göstermiştir.

Tablo 4.32. *Lemna minor* Kalay uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu sonuçları

Sn (ppm)	A532 değeri	A600 değeri	Toplam MDA (nmol mL ⁻¹)
5	-0,0043	-0,0138	0,0612
10	-0,0125	-0,0212	0,0561
25	0,0117	-0,0031	0,0954
50	0,0478	0,0242	0,1522
100	-0,0025	-0,0109	0,0541
Ortalama	-0,0034	-0,0123	0,0577

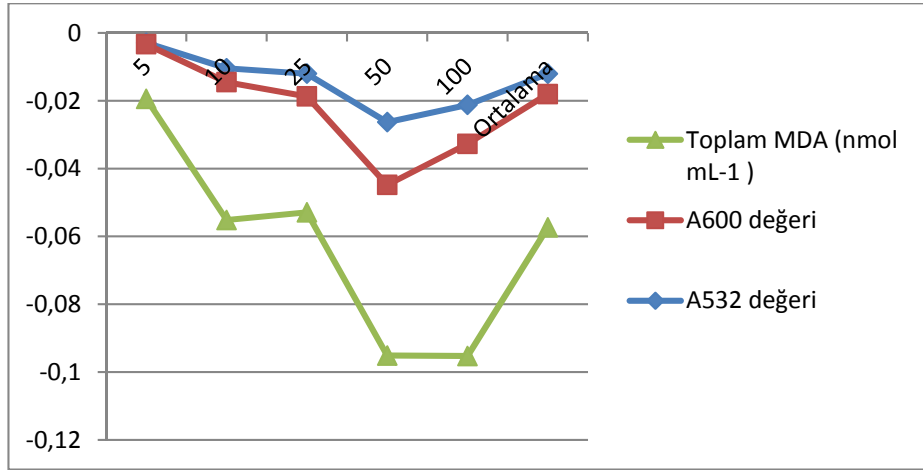


Şekil 4.28. *Lemna minor* Kalay uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu analizleri

Lemna minor'e Kalay ağır metali uygulama sonucu lipid peroksidasyonu analizlerine göre 5 ppm'den 10 ppm'e azalış, 10 ppm'den 50 ppm'e artış ve 100 ppm'e doğru azalma göstermiştir.

Tablo 4.33. *Lemna minor* Kobalt uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu sonuçları

Co (ppm)	A532 değeri	A600 değeri	Toplam MDA (nmol mL ⁻¹)
5	-0,0029	-0,0004	-0,0161
10	-0,0104	-0,0041	-0,0406
25	-0,012	-0,0067	-0,0341
50	-0,0263	-0,0185	-0,0503
100	-0,0212	-0,0115	-0,0625
Ortalama	-0,0120	-0,0059	-0,0393

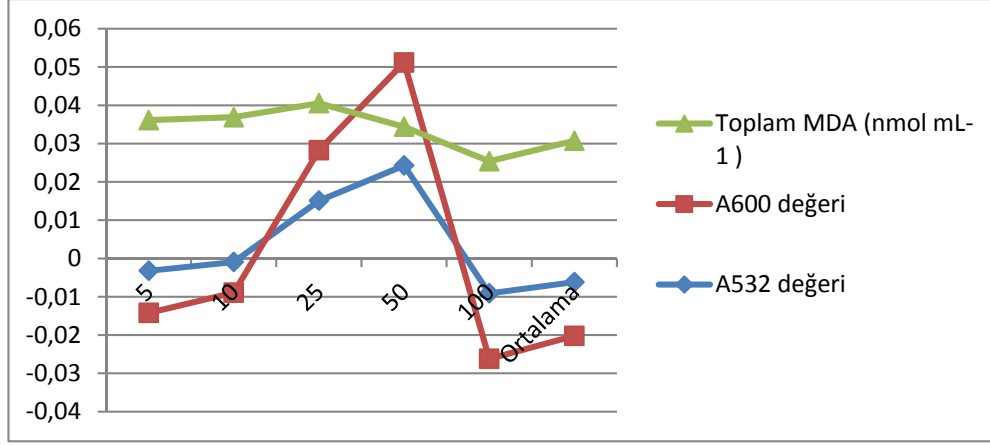


Şekil 4.29. *Lemna minor* Kobalt uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu analizleri

Lemna minor'e Kobalt ağır metali uygulama sonucu lipid peroksidasyonu analizlerine göre 5 ppm'den 100 ppm'e kadar tüm derişimlerde grafik negatif şekilde ilerlemiş ve buna bağlı olarak azalma ve artış göstermiştir.

Tablo 4.34. *Lemna minor* Vanadyum uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu sonuçları

V (ppm)	A532 değeri	A600 değeri	Toplam MDA (nmol mL-1)
5	-0,0032	-0,011	0,0503
10	-0,0009	-0,008	0,0458
25	0,0151	0,0132	0,0122
50	0,0243	0,0269	-0,0167
100	-0,0091	-0,0171	0,0516
Ortalama	-0,0061	-0,0140	0,0509



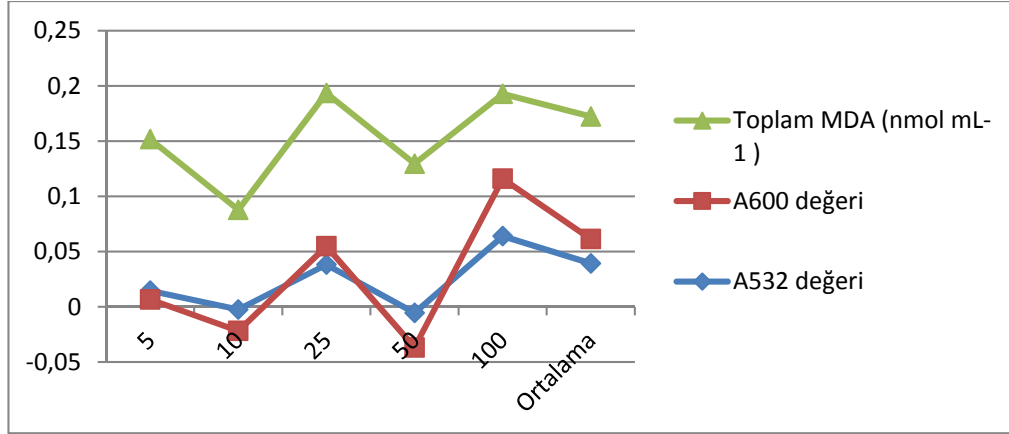
Şekil 4.30. *Lemna minor* Vanadyum uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu

Lemna minor'e Vanadyum ağır metali uygulama sonucu lipid peroksidasyonu analizlerine göre 5 ppm'den 100 ppm'e kadar sabit şekilde ilerleyen grafik çizilmiştir.

Uygulama sonrası *Lemna gibba* Lipid Peroksidasyonu sonuçları:

Tablo 4.35. *Lemna gibba* Antimon uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu sonuçları

Sb (ppm)	A532 değeri	A600 değeri	Toplam MDA (nmol mL-1)
5	0,0146	-0,0079	0,1451
10	-0,0024	-0,0194	0,1096
25	0,0382	0,0167	0,1387
50	-0,0055	-0,0313	0,1664
100	0,064	0,0521	0,0767
Ortalama	0,0393	0,0221	0,1109

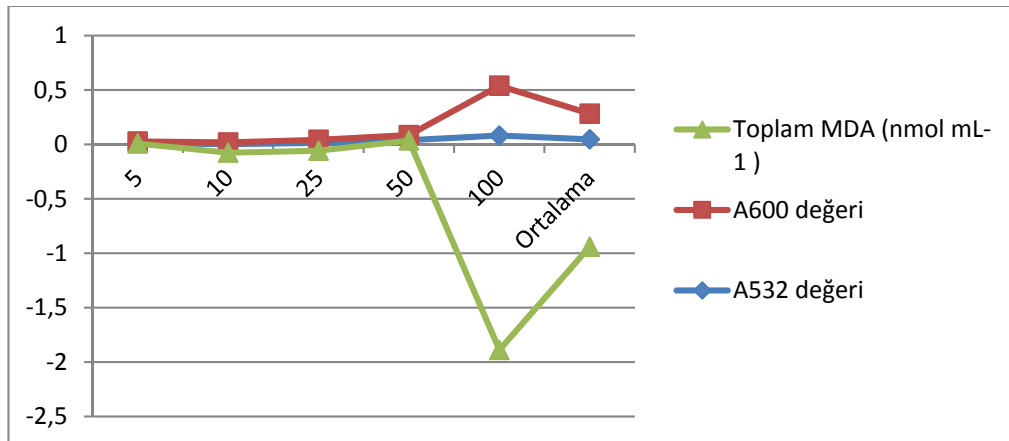


Şekil 4.31. *Lemna gibba* Antimon uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu analizleri

Lemna gibba'ya Antimon ağır metali uygulama sonucu lipid peroksidasyonu analizlerine göre 5 ppm'den 100 ppm'e kadar grafik azalma ve artış şeklinde ilerlemiştir.

Tablo 4.36. *Lemna gibba* Kalay uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu sonuçları

Sn (ppm)	A532 değeri	A600 değeri	Toplam MDA (nmol mL-1)
5	0,012	0,0148	-0,0180
10	0,0018	0,0162	-0,0929
25	0,0137	0,0292	-0,1
50	0,0392	0,0469	-0,0496
100	0,0817	0,4579	-2,4270
Ortalama	0,0468	0,2363	-1,2225

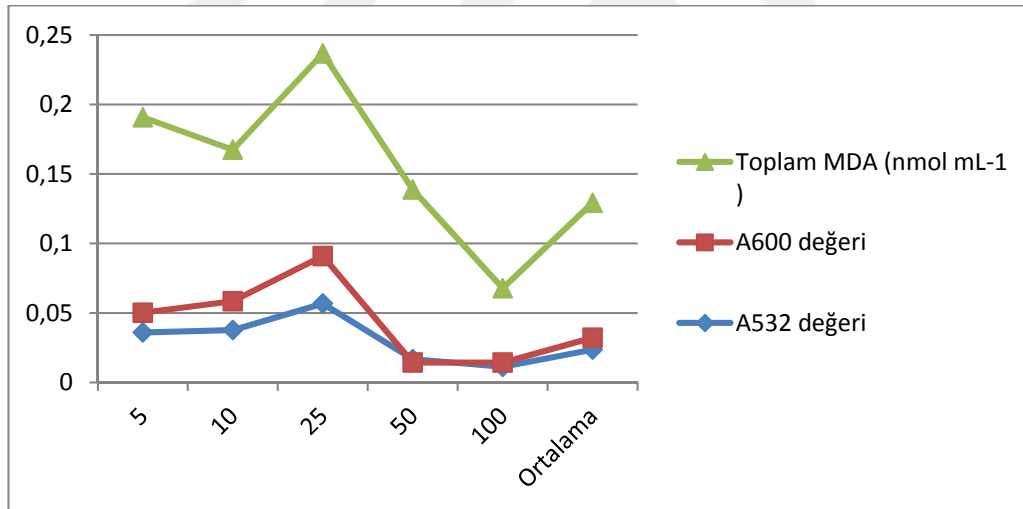


Şekil 4.32. *Lemna gibba* Kalay uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu analizleri

Lemna gibba'ya Kalay ağır metali uygulama sonucu lipid peroksidasyonu analizlerine göre 5 ppm'den 50 ppm'e sabit, 50 ppm'den 100 ppm'e çıktıkça grafik negatif değerlerde okunmuştur.

Tablo 4.37. *Lemna gibba* Kobalt uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu sonuçları

Co (ppm)	A532 değeri	A600 değeri	Toplam MDA (nmol mL-1)
5	0,036	0,0142	0,1406
10	0,0377	0,0208	0,1090
25	0,0568	0,0342	0,1458
50	0,0168	-0,0025	0,1245
100	0,0113	0,003	0,0535
Ortalama	0,0236	0,0086	0,0970

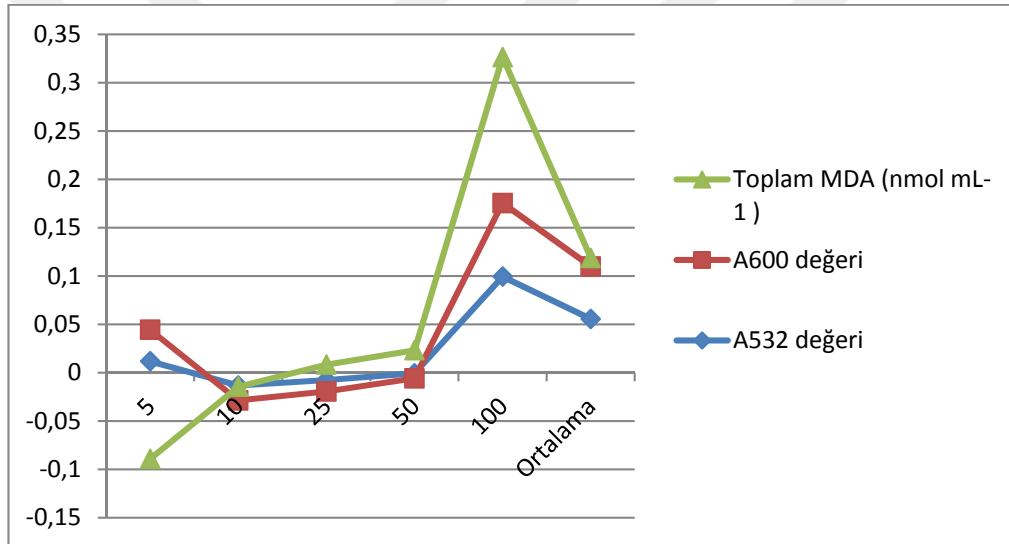


Şekil 4.33. *Lemna gibba* Kobalt uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu analizleri

Lemna gibba'ya Kobalt ağır metali uygulama sonucu lipid peroksidasyonu analizlerine göre 5 ppm'den 10 ppm'e azalma, 10 ppm'den 25 ppm'e artış, 25 ppm'den 100 ppm'e kadar değerlerde azalma gözlenmiştir.

Tablo 4.38. *Lemna gibba* Vanadyum uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu sonuçları

V (ppm)	A532 değeri	A600 değeri	Toplam MDA (nmol mL ⁻¹)
5	0,0119	0,0326	-0,1335
10	-0,0132	-0,0154	0,0141
25	-0,0075	-0,0118	0,0277
50	-0,0006	-0,0051	0,0290
100	0,0995	0,0761	0,1509
Ortalama	0,0557	0,0543	0,0087



Şekil 4.34. *Lemna gibba* Vanadyum uygulama sonrası Lipid Peroksidasyonu analizleri

Lemna gibba'ya Vanadyum ağır metali uygulama sonucu lipid peroksidasyonu analizlerine göre 5 ppm'den 100 ppm'e kadar grafik artarak ilerlemiştir.

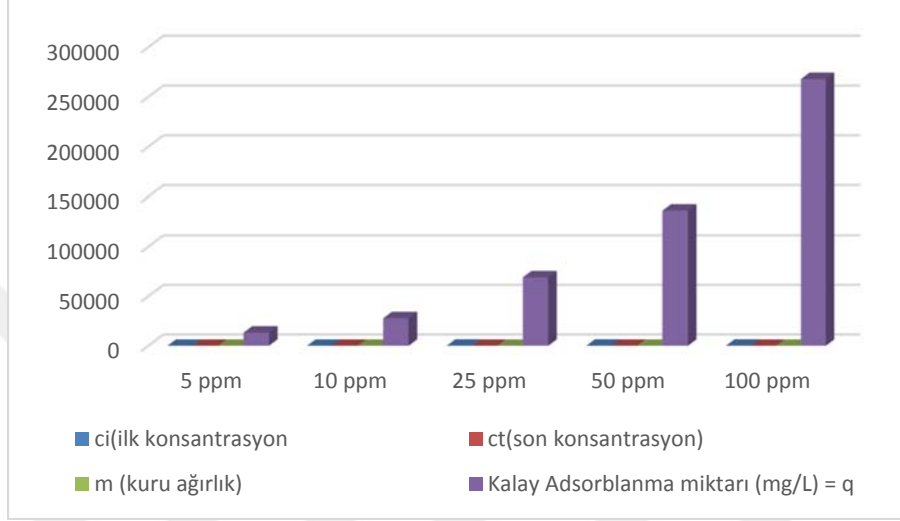
4.5. Adsorbsiyon

4.5.1. Adsorbsiyon Miktarları

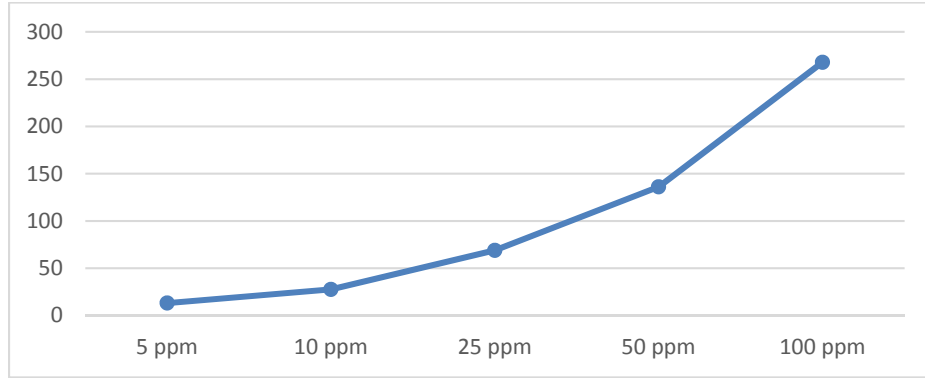
Lemna minor için;

4 farklı ağır metalin 5 ppm, 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm ve 100 ppm'deki adsorbsiyon miktarları aşağıdaki grafikler gibidir.

Kalay Adsorbsiyon Miktarı:



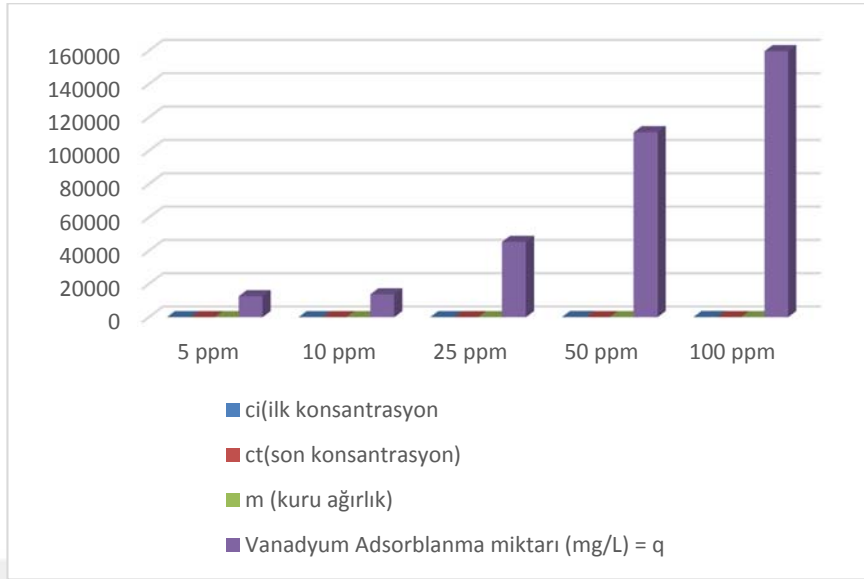
Şekil 4.35. Kalay adsorblanma miktarı



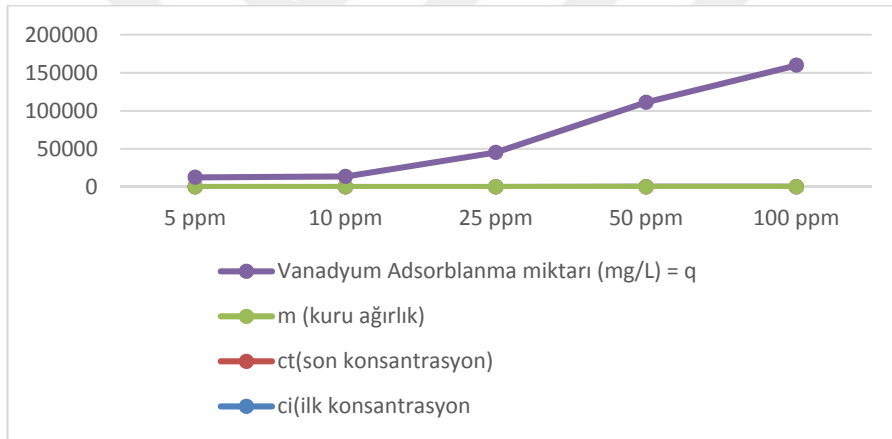
Şekil 4.36. Kalay adsorblanma miktarı

Lemna minor için Kalay adsorblama miktarı 5 ppm'den 100 ppm'e doğru ilerledikçe artmıştır.

Vanadyum Adsorbsiyon Miktarı:



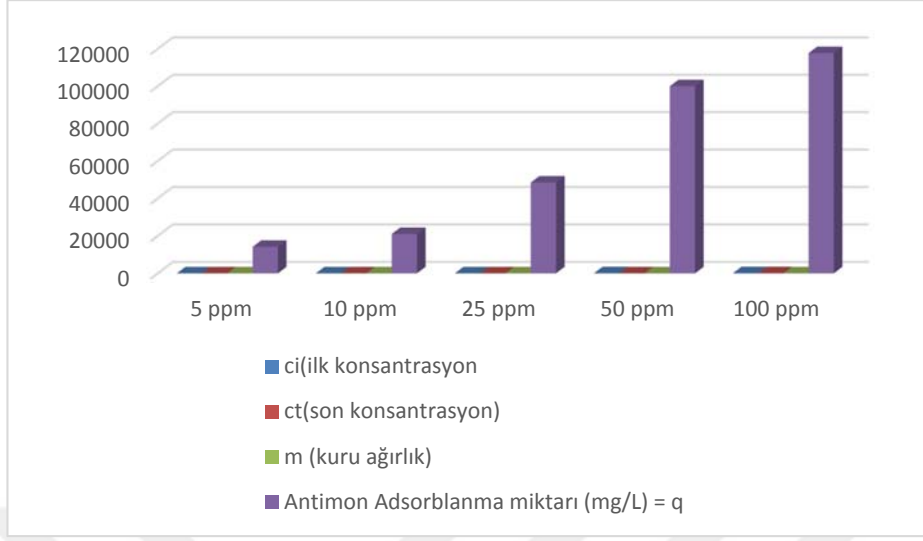
Şekil 4.37. Vanadyum adsorblanma miktarı



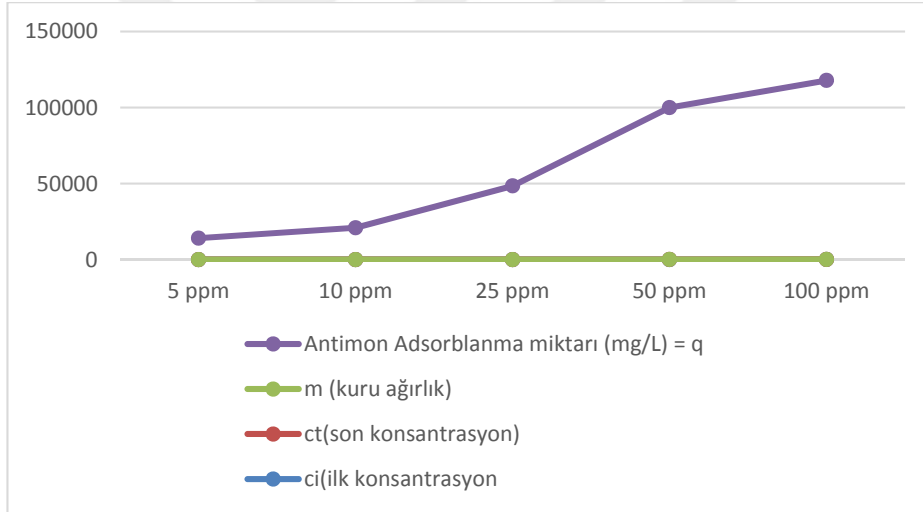
Şekil 4.38. Vanadyum adsorblanma miktarı

Lemna minor Vanadyum adsorblama miktarı 5 ppm'den 100 ppm'e doğru ilerledikçe artmıştır.

Antimon Adsorblanma Miktarı:



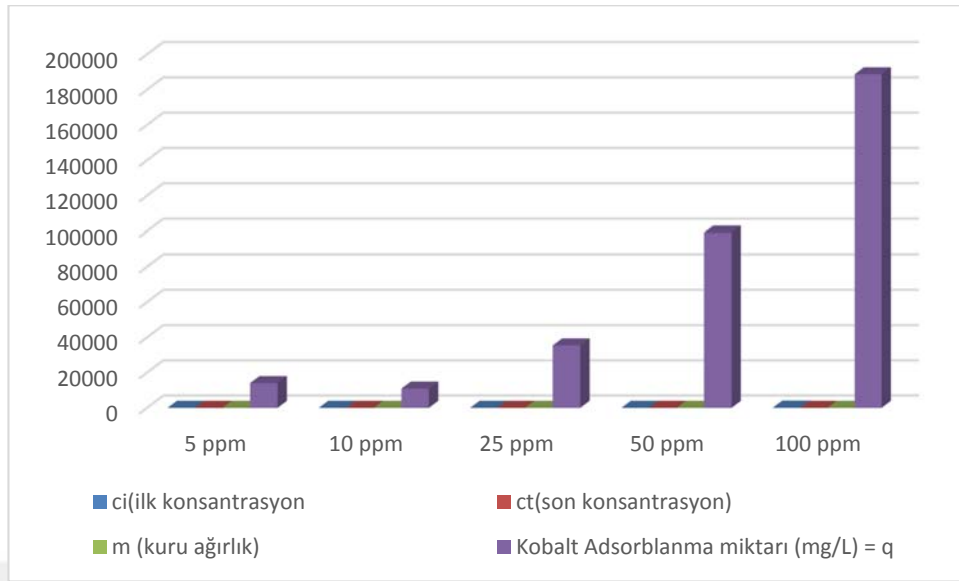
Şekil 4.39.Antimon adsorblanma miktarı



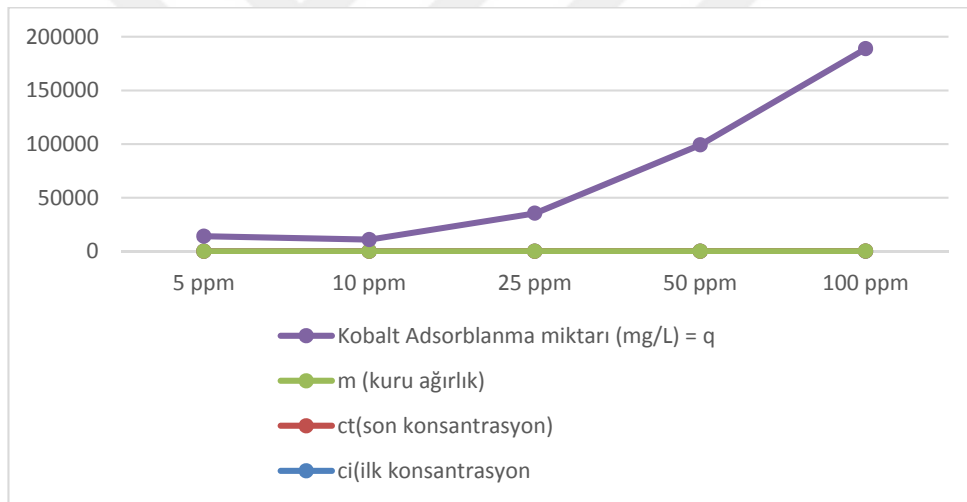
Şekil 4.40. Antimon adsorblanma miktarı

Lemna minor için Antimon adsorblama miktarı 5 ppm'den 100 ppm'e doğru ilerledikçe artmıştır.

Kobalt Adsorblanma Miktarı:



Şekil 4.41. Kobalt adsorblanma miktarı



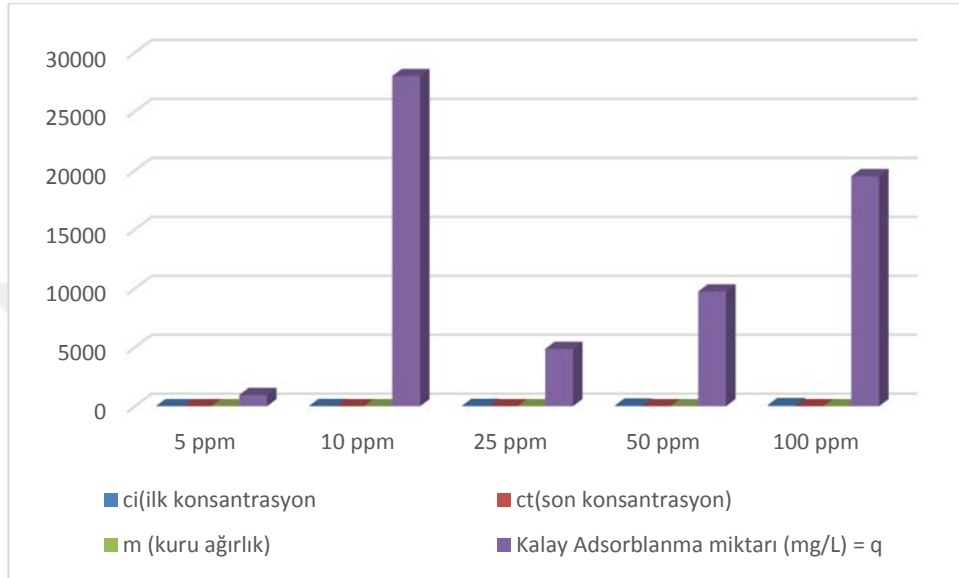
Şekil 4.42. Kobalt adsorblanma miktarı

Lemna minor için Kobalt adsorblama miktarı 5 ppm'den 100 ppm'e doğru ilerledikçe artmıştır.

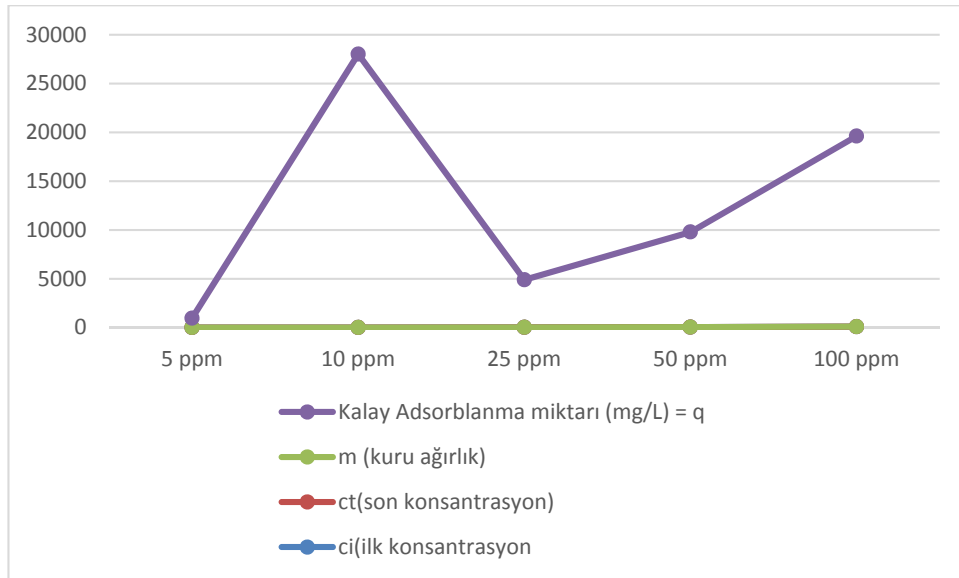
***Lemna gibba* için;**

4 farklı ağır metalin 5 ppm, 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm ve 100 ppm'deki adsorbsiyon miktarları aşağıdaki grafikler gibidir.

Kalay Adsorblanma Miktarı:



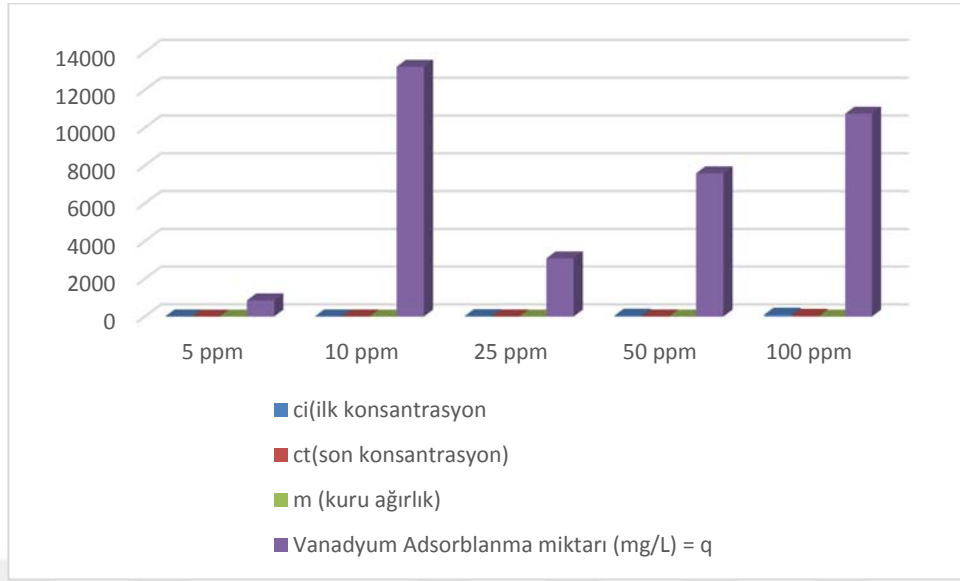
Şekil 4.43.Kalay adsorblanma miktarı



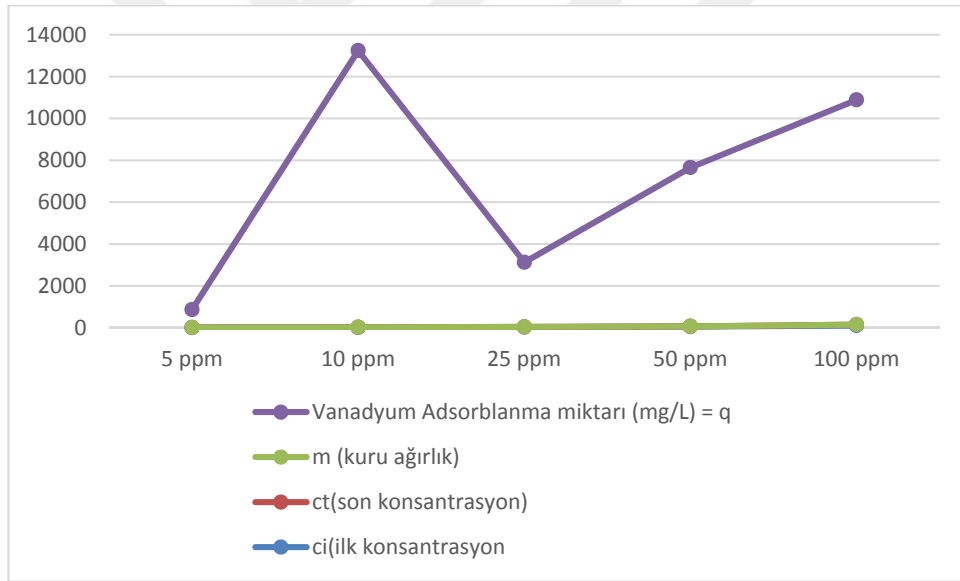
Şekil 4.44.Kalay adsorblanma miktarı

Lemna gibba için Kalay adsorblama miktarı en fazla 10 ppm'de gözlemlenmiştir.

Vanadyum Adsorblanma Miktarı:



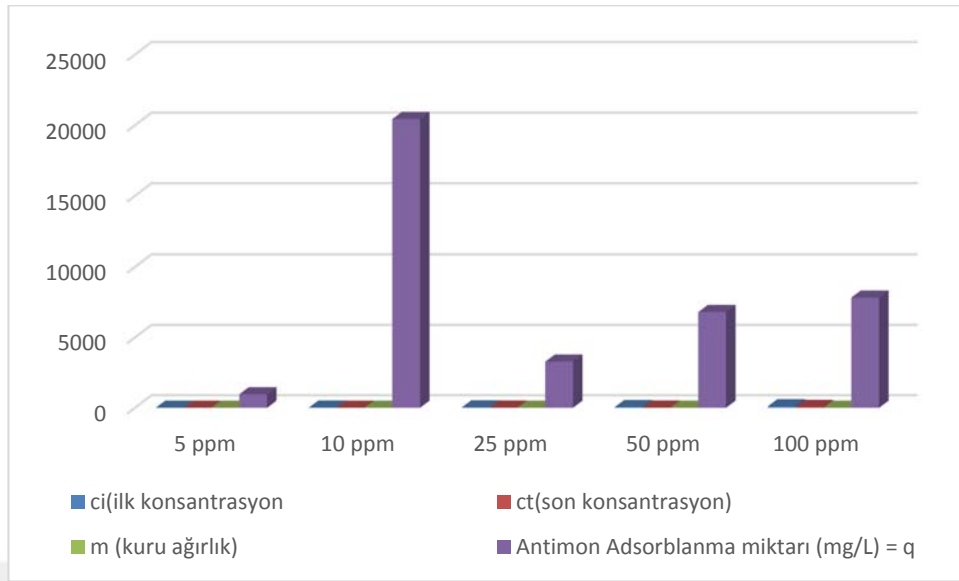
Şekil 4.45. Vanadyum adsorblanma miktarı



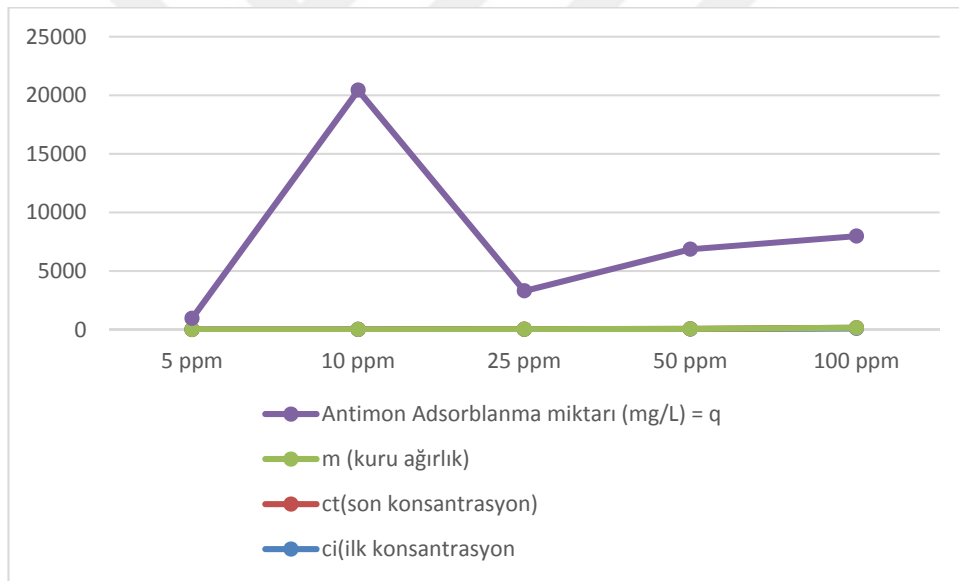
Şekil 4.46. Vanadyum adsorblanma miktarı

Lemna gibba için Vanadyum adsorblama miktarı 100 ppm'den sonra en fazla 10 ppm'de gözlemlenmiştir.

Antimon Adsorblanma Miktarı:



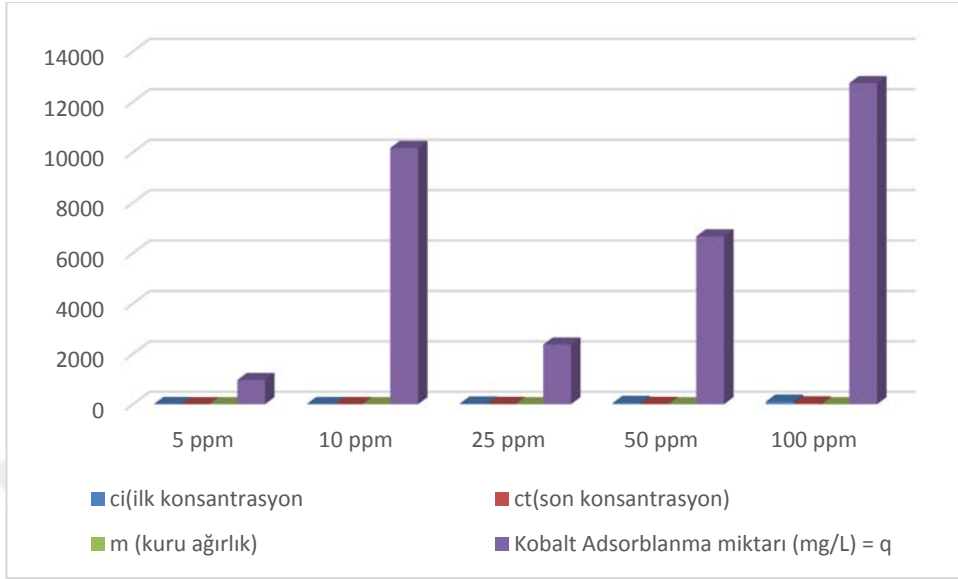
Şekil 4.47.Antimon adsorblanma miktarı



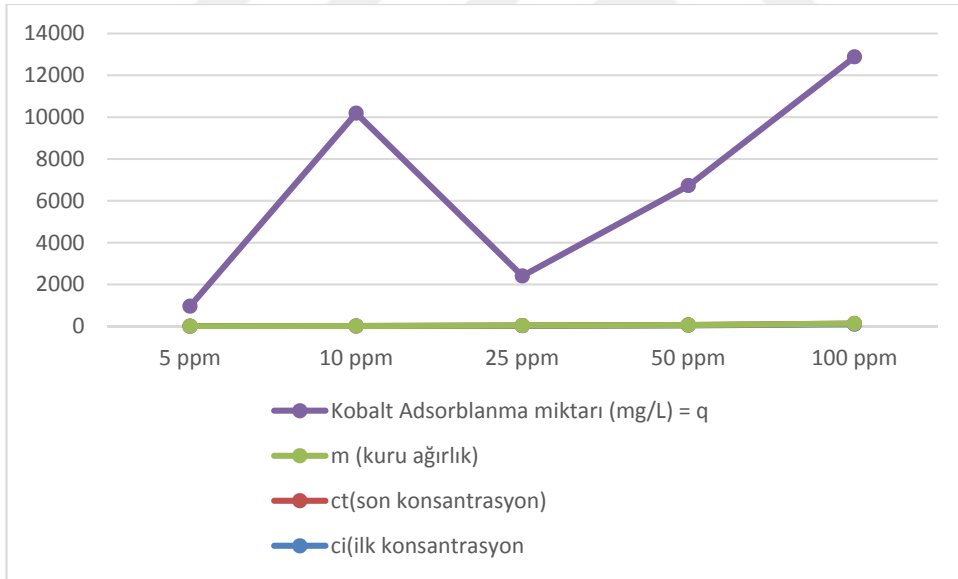
Şekil 4.48. Antimon adsorblanma miktarı

Lemna gibba için Antimon adsorblama miktarı en fazla 10 ppm'de tespit edilmiştir.

Kobalt Adsorblanma Miktarı:



Şekil 4.49. Kobalt adsorblanma miktarı



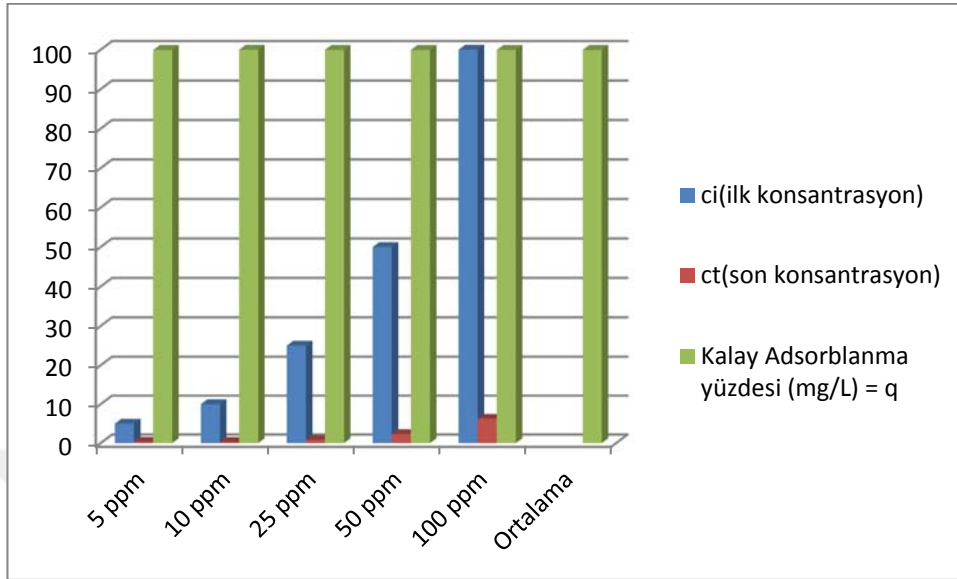
Şekil 4.50. Kobalt adsorblanma miktarı

Lemna gibba için Kobalt adsorblama miktarı 100 ppm'den sonra en fazla 10 ppm'de gözlemlenmiştir.

4.5.2. Adsorbsiyon Yüzdeleri:

Lemna minor için;

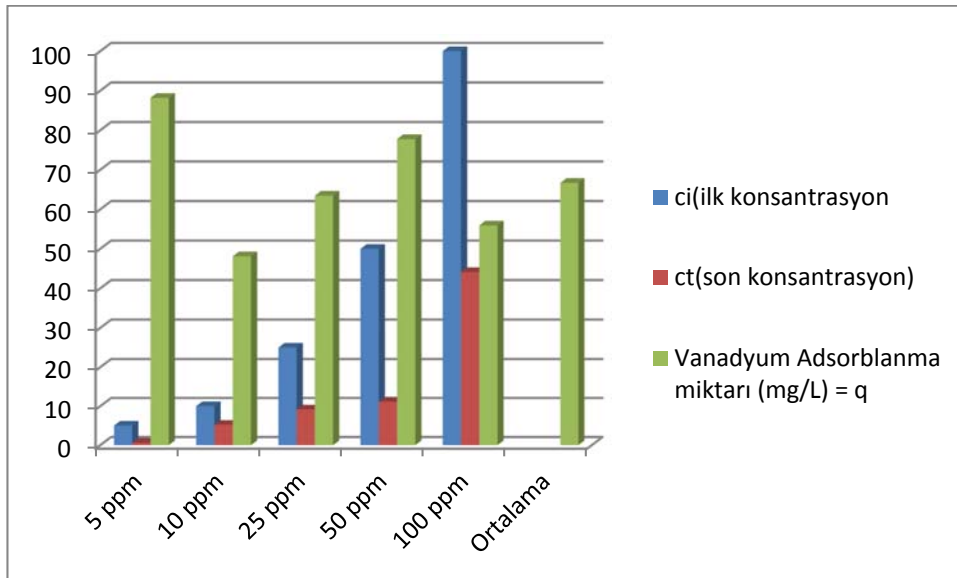
Kalay Adsorblanma Yüzdesi:



Şekil 4.51.Kalay adsorblanma yüzdesi

Ortalama Kalay Adsorblanma Yüzdesi : %99,95

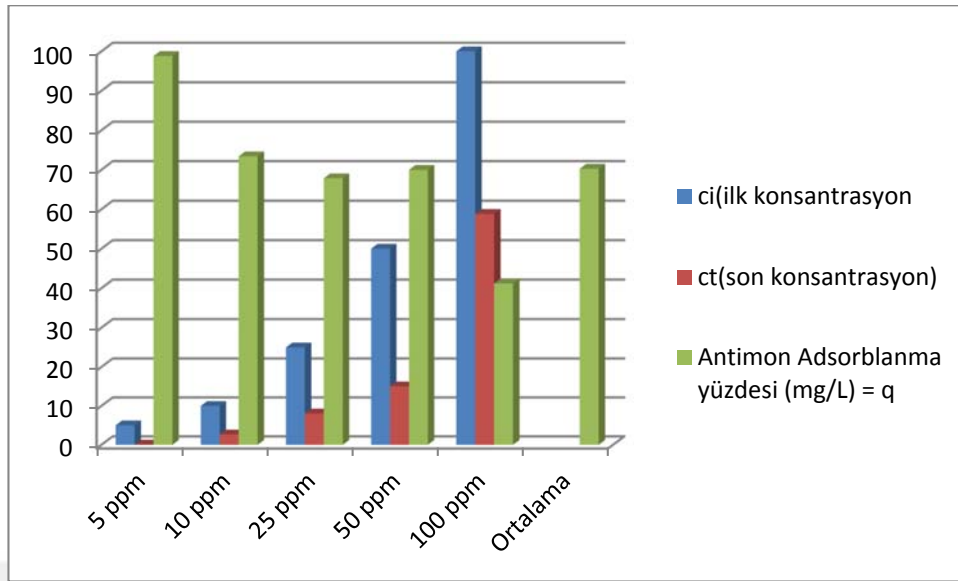
Vanadyum Adsorblanma Yüzdesi:



Şekil 4.52.Vanadyum adsorblanma yüzdesi

Ortalama Vanadyum Adsorblanma Yüzdesi : %66,68

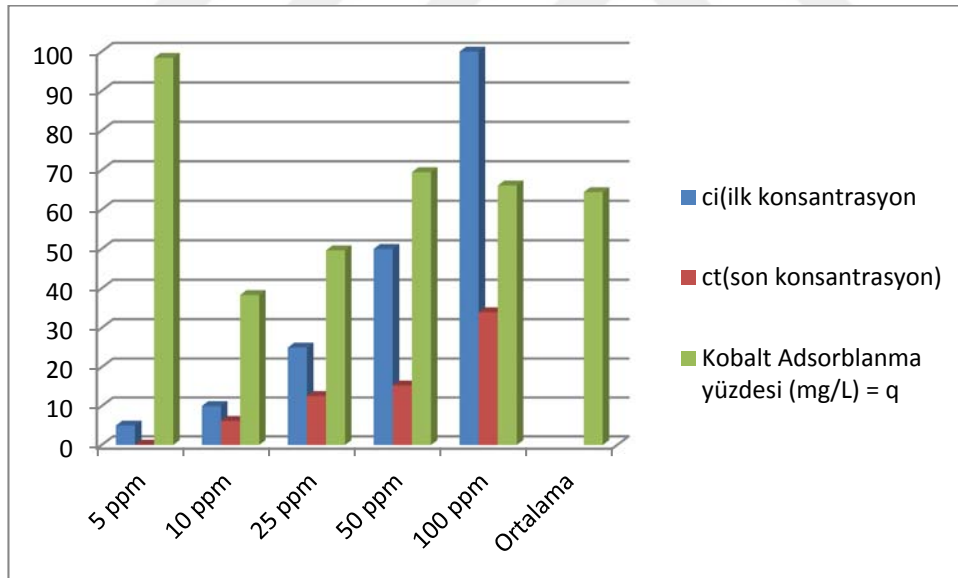
Antimon Adsorblanma Yüzdesi:



Şekil 4.53. Antimon adsorblanma yüzdesi

Ortalama Vanadyum Adsorblanma Yüzdesi : %70,24

Kobalt Adsorblanma Yüzdesi:

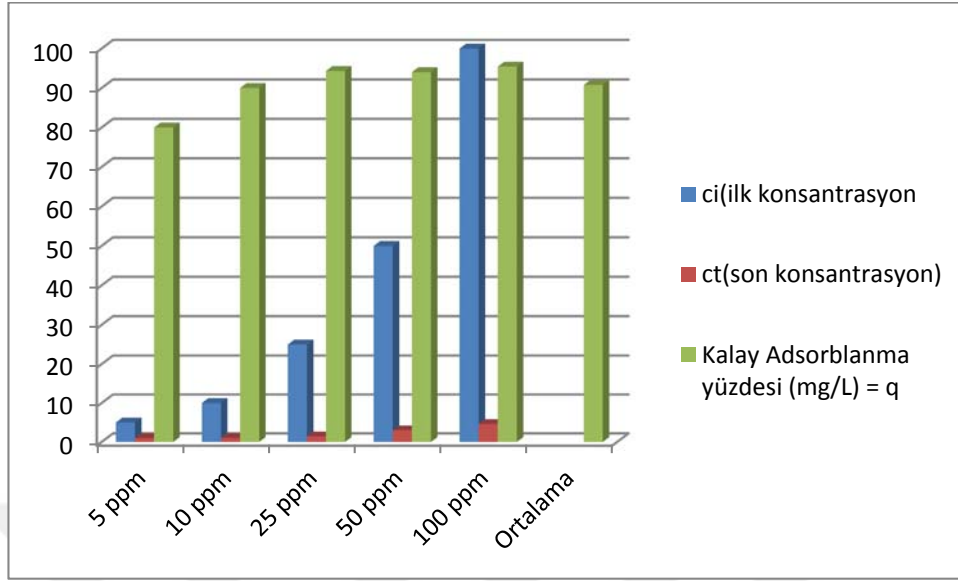


Şekil 4.54. Kobalt adsorblanma yüzdesi

Ortalama Vanadyum Adsorblanma Yüzdesi : %64,36

Lemna gibba için;

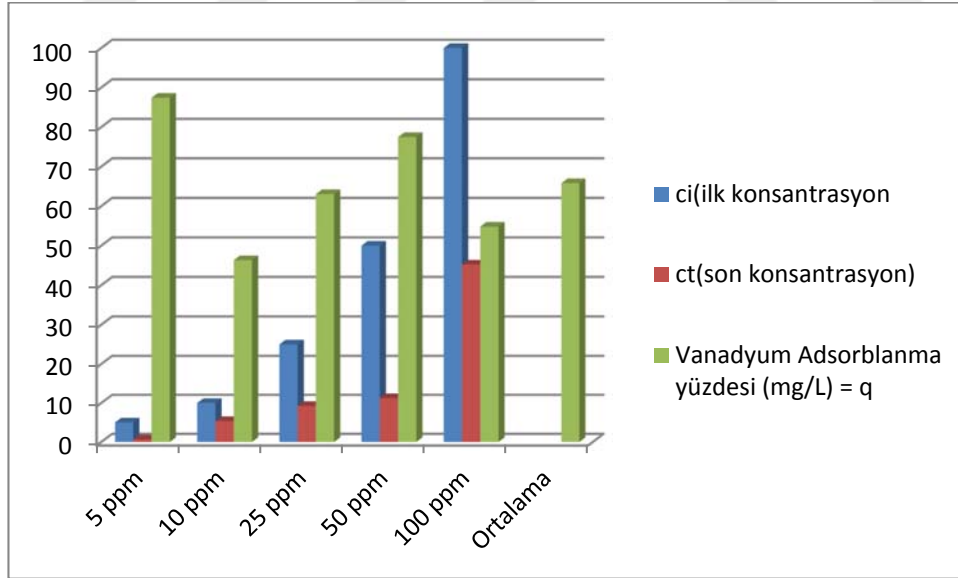
Kalay Adsorblanma Yüzdesi:



Şekil 4.55.Kalay adsorblanma yüzdesi

Ortalama Kalay Adsorblanma Yüzdesi : %90,75

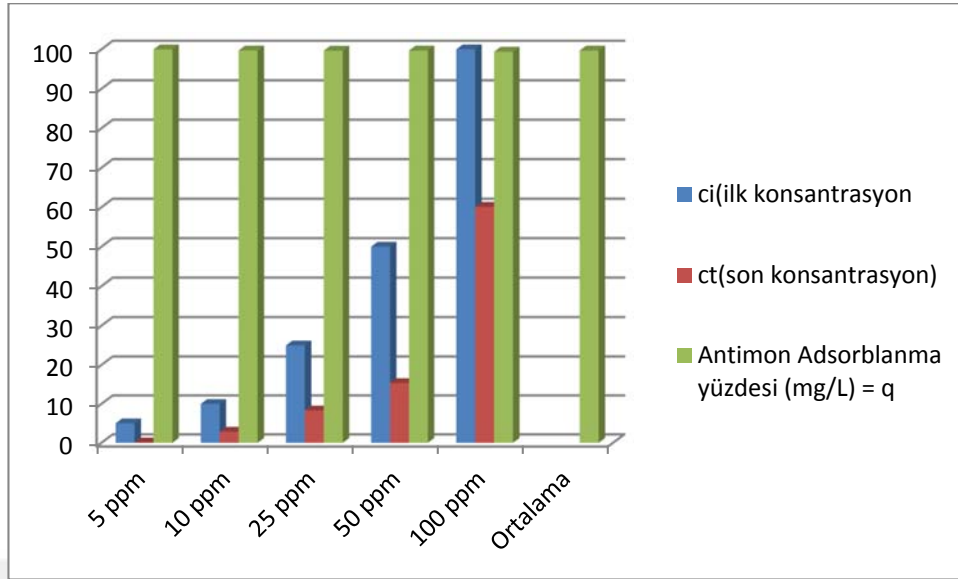
Vanadyum Adsorblanma Yüzdesi:



Şekil 4.56.Vanadyum adsorblanma yüzdesi

Ortalama Vanadyum Adsorblanma Yüzdesi : %65,8

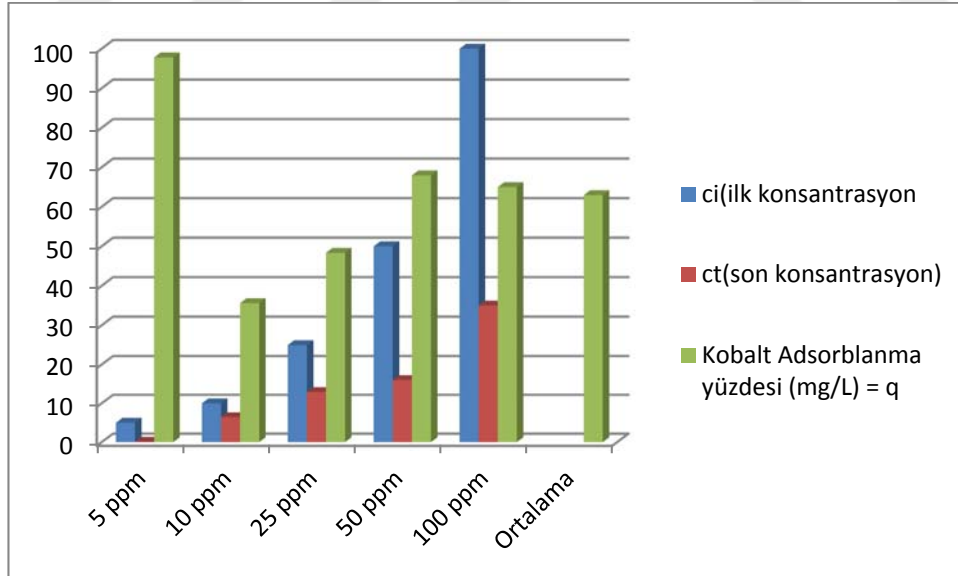
Antimon Adsorblanma Yüzdesi:



Şekil 4.57. Antimon adsorblanmayüzdesi

Ortalama Antimon Adsorblanma Yüzdesi : %99,69

Kobalt Adsorblanma Yüzdesi:



Şekil 4.58. Kobalt adsorblanmayüzdesi

Ortalama Kobalt Adsorblanma Yüzdesi : %62,94

Uysal ve Taner 2010 da yaptıkları çalışmada farklı akuatik ortam koşullarında kadmiyumun *Lemna minor* tarafından uzaklaştırılması başarılı sonuç vermiştir.

Wahaab vd. (1995) yapmış oldukları çalışmada, Cu ve Cr'un *lemna minor* tarafından alınımını araştırmış bitkiler 10 gün boyunca, 0.25 ve 1.0 mg/L Cu ve Cr çözeltilerine maruz bırakılmış Cu ve Cr un farklı konsantrasyonlarında bu çalışmada olduğu gibi başarı elde edilmiştir,

Drost vd. (2007), *L. minor* üzerinde ağır metal toksisitesi sonrasında iyileşme ve büyüme inhibisyonunun zamana bağlı değişimi gözlenmiştir. Çalışmada, Zn, Cu, Ni ve Cd olmak üzere 4 metal kullanılmıştır. Yapılan çalışma ise *L.minor* ve *L.gibba* karşılaştırmalı olarak farklı ağırmetal ve konsantrasyonlarda benzer sonuçlara ulaşılmıştır.

Saygıdeğer (1996), *Lemna gibba* ve *L. minor*'un morfolojik, anatomik, ekolojik ve fizyolojik özellikleri üzerine karşılaştırmalı bir çalışma yapmıştır. Çalışmada *L.gibba* ve *L.minor*'un anatomik ve fizyolojik özellikleri ortaya konmuş bu özelliklerden yola çıkarak bu projede *L.minor* ve *L.gibba*'nın klorofil a ve b, karetenoid, karbonhidrat, lipit ve ağır metal adsorbsiyonu karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Saygıdeğer vd. (2005) yapmış oldukları çalışmada, *L. minor*'ün Cd (II), Cu (II) ve Ni (II) adsorbsiyonunu inceleyerek en fazla adsorbsiyonun Cd(II) ağır metalinde olduğunu bulmuşlardır. Bu çalışmada ise Co, Sn, V ve Sb ağır metalleri kullanılarak adsorbsiyonlar incelenmiş ve sonuçlara göre en fazla adsorbsiyonun Sn ağır metalinde olduğu bulunmuştur.

Yılmaz vd. (2005), Sakarya Üniversitesi kampüsü atık sularının karakterizasyonu ve su mercimeği (*L. minor*) ile arıtılabilirliği konulu bir çalışma yürütmüşler ve bu çalışmada olduğu gibi *Lemna minor*'un biyoremediasyonda başarı elde ettiği sonucuna ulaşmışlardır.

Oporta vd. (2006), Cr (VI)'un kirliliğinden *L. minor* kullanılarak kaldırılması üzerine bir örnekleme ve deneysel çalışma yapmışlar ve Cr'nin bu çalışmada da *L.minor* ve *L.gibba*'ya uygulanması sonucunda benzer sonuçlara ulaşılmıştır.

Rahmani ve Sternberg (1999), önceden Pb ile uygulama yapılmış ama canlı *L. minor*'lerin Pb'u biyolojik temizlemeleri üzerinde çalışmış, bu çalışmada ise Cr, Co, Sn ve Sb'nin biyolojik temizlemeleri üzerine çalışılmış ve her iki çalışmada da başarı elde edilmiştir.

Piston vd. (1999) yaptıkları çalışmada, Se'nin *L. minor* üzerindeki büyüme etkilerini araştırmış ve 50mg/L Se' nin 7 gün maruziyetinde, bitkilerin renginde solma meydana geldiği gözlemlenmiştir, bu çalışmada ise 4 farklı ağır metalin (Cr, Co, Sn, Sb) 5 farklı konsantrasyonda (5,10,25,50 ve 100 ppm) maruziyetlerine bakılmıştır.

Wahaab vd. (1995) yapmış oldukları çalışmada, Su mercimeğinin Cu ve Cr alımını araştırmışlar bunun sonucunda bitkiler 10 gün boyunca, 0.25 ve 1.0 mg/L Cu ve Cr çözeltilerine maruz bırakmışlar, Cr ağır metali haricinde bu çalışmada Co, Sn ve Sb ağır metalleri uygulanmış ve her iki çalışmada da başarı elde edilmiştir.

Öbek ve Hasar (2002), biyolojik fosfatın sulardan kaldırılmasında su mercimeğinin (*L. minor*) rolü üzerine bir çalışma gerçekleştirmişler, *L.minor*'un biyoremediasyon yeteneğinin olduğu bu çalışmada da olumlu bir şekilde görülmüştür.

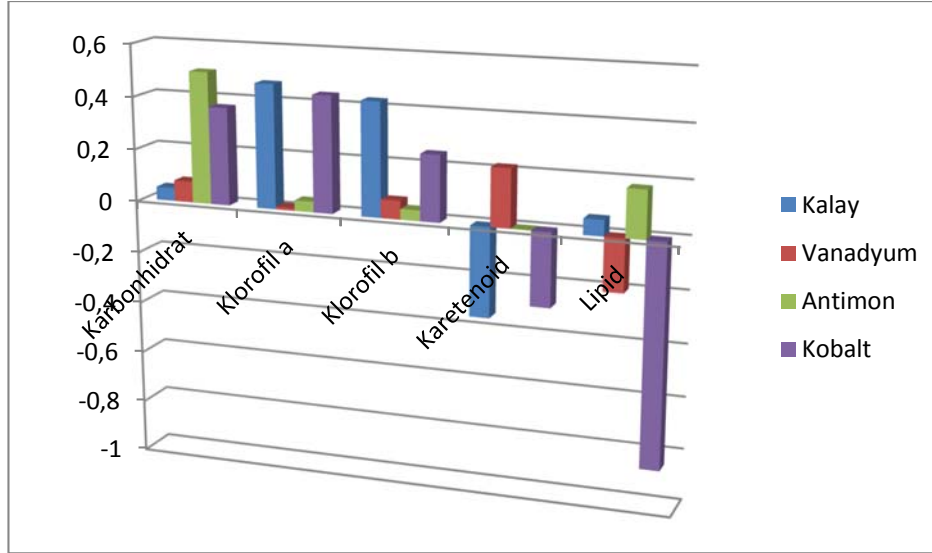
4.6. İstatistik Veriler

4 farklı ağır metalin (Vanadyum, Antimon, Kalay, Kobalt) 5 farklı konsantrasyonunun *Lemna minor* ve *Lemna gibba*'ya etkisinin 3'er tekrarlı olacak şekilde ve standart sapmalarıyla hesaplanmıştır. Çalışmalardan elde edilen veriler "SPSS 22 for Windows" programı ile analiz edilmiştir. Ortamlar arasındaki ilişki korelasyon analizi kullanılarak test edilmiştir. İstatistik verilerin ağır metal uygulamaları öncesi ve sonrası karbon, lipid, karotenoid ve klorofil a-b miktarları metal adsorblanma yüzdelere oranlanarak uygulama değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar tablo halinde verilmiştir.

Tablo 4.39 *Lemna minor* korelasyon sonuçları

	Kalay	Vanadyum	Antimon	Kobalt
Karbonhidrat	0,05	0,08	0,5	0,37
Klorofil a	0,47	0,01	0,04	0,44
Klorofil b	0,43	0,07	0,04	0,25
Karotenoid	-0,34	0,22	0,001	-0,28
Lipid	0,06	-0,20	0,18	-0,85

Tablodaki sonuçlara göre Antimon uygulama sonucu *Lemna minor*'de Karbonhidrat değerlerinde pozitif korelasyon görülürken Kobalt uygulama sonucu Lipid değerlerinde negatif korelasyon görülmektedir.

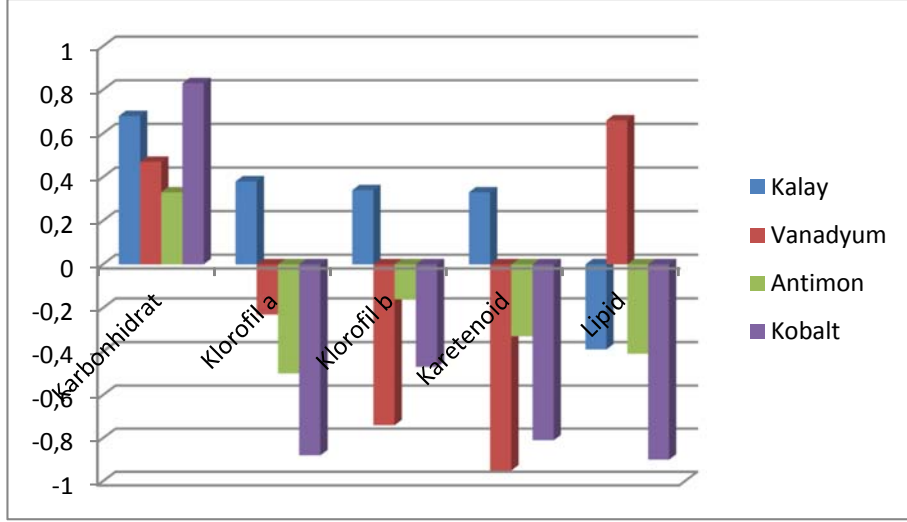


Şekil 4.59. *Lemna minor* korelasyon grafiği

Tablo 4.40. *Lemna gibba* korelasyon sonuçları

	Kalay	Vanadyum	Antimon	Kobalt
Karbonhidrat	0,68	0,47	0,33	0,83
Klorofil a	0,38	-0,23	-0,5	-0,88
Klorofil b	0,34	-0,74	-0,16	-0,47
Karetenoid	0,33	-0,95	-0,33	-0,81
Lipid	-0,39	0,66	-0,41	-0,90

Tablodaki sonuçlara göre Kobalt ağır metali uygulaması sonucunda *Lemna gibba*'da Karbonhidrat değerlerinde pozitif korelasyon, Klorofil a, Karetenoid ve Lipid değerlerinde ise negatif korelasyon görülmektedir. Antimon ağır metali uygulaması sonucu Klorofil a'da, Vanadyum ağır metali uygulaması sonucu Klorofil b ve Karetenoid'de negatif korelasyon Lipid'de ise pozitif korelasyon görülmektedir.



Şekil 4.60. *Lemna gibba* korelasyon grafiği

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma sonucunda *Lemna minor* ve *Lemna gibba*'nın günümüzde sıklıkla kullanılan ağır metaller olan Antimon, Vanadyum, Kobalt ve Kalay'ın uygulaması sonucunda remediasyon niceliği incelenmiş ve klorofil a ve b, karetenoid, karbonhidrat, lipid peroksidasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. İncelenen analizlerde *Lemna minor* ve *Lemna gibba*'nın remediasyon yeteneği tespit edilmiştir.

Çalışmamızın amacı, *Lemna minor* ve *Lemna gibba* türlerinin karşılaştırılmalı olarak ağır metallerle karşı streslerinin belirlenmesi ve adsorblanma miktarlarının ölçülmesidir. *Lemna minor* temiz suların, *Lemna gibba* ise kirli suların indikatör türleridir. Ağır metal adsorblanmalarının birbirlerinden farklı olması beklenmektedir. Ağır metaller seçilirken Manisa Organize Sanayi Bölgesinde çoğunlukla kullanılan ve sulara karışan ağır metaller olmasına dikkat edilmiştir.

Laboratuvar çalışmaları sonucunda; Karbonhidrat değerleri, uygulama öncesi *L.gibba*>*L.minor* olup, *L.minor* için uygulama öncesi 1,2663 iken uygulama sonrası 4 farklı ağır metal için sırasıyla Sb>V>Sn>Co, *L.gibba* için uygulama öncesi 4,3261 iken uygulama sonrası 4 farklı ağır metal için sırasıyla Sb>Co>Sn>V şeklindedir. Sonuç olarak en fazla karbonhidrat değeri Sb ağır metalinde gözlemlenmiştir.

Klorofil a ve b değerleri; uygulama öncesi *L.minor*>*L.gibba* olup, *L.minor* için klorofil a uygulama öncesi 1,4267 iken ağır metal uygulamaları sonucu sırasıyla V>Sb>Sn>Co, klorofil b uygulaması öncesi 1,4137 iken ağır metal uygulamaları sonucu sırasıyla Sb>V>Co>Sn şeklinde olup *L.gibba* için klorofil a uygulama öncesi 2,5428 iken ağır metal uygulamaları sonucu sırasıyla Co>Sn>Sb>V, klorofil b uygulama öncesi 1,4161 iken ağır metal uygulamaları sonucu sırasıyla Sn>Co>V>Sb şeklindedir. Sonuç olarak en fazla klorofil a *L.minor* 'de V ağır metalinde *L.gibba*'da Co ağır metalinde, en fazla klorofil b *L.minor*'de Co ağır metalinde *L.gibba*'da Sn ağır metalinde ortaya konmuştur.

Karetenoid değerleri, *L.minor* uygulama öncesi 0,4244 iken ağır metal uygulamaları sonucu sırasıyla Sb>V>Sn>Co, *L.gibba* uygulama öncesi 0,9171 iken ağır metal

uygulamari sonucu Sn>Co>V>Sb şeklindedir. Sonuç olarak en fazla karetenoid değeri *L.minor*'de Sb ağır metalinde, *L.gibba*'da Sn ağır metalinde bulunmuştur.

Lipid Peroksidasyonu değerleri, *L.minor*uygulama öncesi 0,0096 iken ağır metal uygulamari sonucu sırasıyla Sn>V>Sb>Co, *L.gibba*uygulama öncesi 0,4090 iken ağır metal uygulamari sonucu Sb>Co>V>Sn şeklindedir. Sonuç olarak en fazla lipid peroksidasyonu *L.minor*'de Sn ağır metalinde, *L.gibba*'da Sb ağır metalinde rastlanmıştır.

Adsorbsiyon miktarları *L.minor* için sırasıyla Sn>Co>V>Sb iken *L.gibba* için sırasıyla Sn>Sb>V>Co şeklindedir. Sonuç olarak iki su bitkisi içinde Kalay (Sn) ağır metali en fazla adsorbsiyon miktarına sahip olduğu belirlenmiştir.

Adsorbsiyon yüzdeleri *L.minor* için sırasıyla Sn>Sb>V>Co iken *L.gibba* için sırasıyla Sb>Sn>V>Co şeklindedir. Sonuç olarak *L.minor* için Kalay(Sn) ağır metali en fazla adsorbsiyon yüzdesine sahip iken *L.gibba* için Antimon (Sb) ağır metali en fazla adsorbsiyon yüzdesine sahip olduğu ortaya konmuştur.

Çalışmalar sonucundaki tüm değerler birbirleriyle karşılaştırılmış ve iki su bitkisinin de ağır metal adsorbsiyonları birbirlerine yakın değerlerde görülmüştür. *L.minor* temiz suların indikatör türleri olmasına karşın az kirli sularda biyoremediasyon yeteğine sahip olabileceği belirlenmiş, *L.gibba* kirli suların indikatör türü olması sebebiyle kirli sularda biyoremediasdyon yeteneğine sahip olduğu anlaşılmıştır.

Seçilen bu ağır metaller Manisa Organize Sanayi Bölgesi atık sularında fazla miktarda bulunduğu ve çalışmalar sonucunda iki su bitkisinin de bu ağır metalleri adsorbe edebilme yeteneğinden dolayı hem ekonomik hem de kolay bir şekilde arıtım yapılabileceği düşünölmektedir.

Bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda da bu bölgede bulunan diğer ağır metaller karşılaştırılmalı şekilde iki su bitkisine de uygulanabilir ve sonuçları bu çalışma ile karşılaştırılabilir.

6. KAYNAKLAR

1. Prasad, M.N.V., Malec, P., Waloszek, A., Bojko, M., Strzałka, K. Physiological Responses of *Lemna trisulca* L. (duckweed) to Cadmium and Copper Bioaccumulation. *Plant Science* 161(5), 881-889, 2001.
2. Artan R., Keskinan O. Kadmiyum İçeren Atık Suların İleri Arıtımında Su Mercimeği (*Lemna minor*) Bitkisinin Kullanılması, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Cilt:19-2, 2008.
3. Uysal Y., Taner, F. Bioremoval of Cadmium by *Lemna Minor* in Different Aquatic Conditions. *CLEAN - Soil, Air, Water*, Vol:38(4), pp.370 – 377, 2010.
4. Boniardi N, Rota R and Nano G. , Effect of dissolved metals on the organic load removal efficiency of *Lemna gibba*, *Water Res.*, 33, 2, 530-538, 1999.
5. Shen J., “Biosorption of cupric and cadmium ions by corncob particles” Master Thesis, Ottawa University, Canada, 2003.
6. Smith MD and Moelyowati I. , Duckweed based wastewater treatment (DWWT): Design guidelines for hot climates, *Water Sci. Technol.*, 43, 11, 291-299, 2001.
7. Bergmann BA, Cheng J, Classen J And Stomp AM. Nutrient removal from swine lagoon effluent by duckweed, *Transactions of ASAE*, 43, 2, 263-269, 2000.
8. Rahmani, G.N.H., Sternberg, S.P.K. Bioremoval of Lead from Water Using *Lemna minor*. *Bioresource Technology*, Vol:70(3), pp.225-230, 1999.
9. Gravilescu M. Removal of heavy metals from the environment by biosorption, *Engineering Life Science*, 3: 219-232, 2004
10. Özer A, Ekiz İ, Özer D, Kutsal T, Çağlar A. The adsorption of lead (II) ions to *R. Arrhizus* in a batch reactor, *Ekoloji ve Çevre Dergisi*, 21: 27-31, 1996.
11. Horsfall MJ, Spiff AI. Effects of temperature on the sorption of Pb⁺² and Cd⁺² from aqueous solution by *Caladium bicolor* (Wild Cocoyam) biomass. *Electron J Biotechn*, 8: 143–50, 2005.

12. Forster CF, Wase D, A. Biosorbents for Metal Ions, London, UK:CRC Press:1-9,1997
13. Sarı A. M. Gala Gölü Acil Su İhtiyacı ve Taşkın Koruması, Enez Çevre Sempozyumu, Edirne Valiliği Çevre Vakfı Yayınları No:1,1993
14. Bayhan H, Akça L, Altay A ve Şakar S. Yüzen Su Bitkileri ile Atıksulardan Nutrient Giderimi, Tarım-Çevre İlişkileri Sempozyumu,S: 589- 598, Mersin, 13-15 Mayıs 1996.
15. Wolverson BC. Aquatic plants and wastewater treatment, Proceedings of A Conference on Research and Applications of: Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery, July 20-24, Orlando, Florida,1986.
16. Çevik S. Vanadyum. AKÜ FEMÜBİD 14 (2014) 021202 (9-18), 2014.
17. www.food-info.net/tr/metal/intro.htm
18. Güven A., Kahvecioğlu Ö., Kartal G., Timur S., Metallerin Çevresel Etkileri –III, İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 2004.
19. Yılmaz, Z., Gür, K., Tarlan, E. S.Ü. Kampüs Atıksularının Karakterizasyonu ve Su Mercimeği (*Lemna minor* L.) ile Arıtılabilirliği. S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg., c.20, s.4, 2005.
20. <http://www.waldhang.de>
21. Saygıdeğer, S. *Lemna gibba* L. ve *Lemna minor* L. (Lemnaceae)' nin Morfolojik, Anatomik, Ekolojik ve Fizyolojik Özellikleri. Ekoloji Çevre Dergisi, 18, 8-11, 1996.
22. Axtell, N.R., Sternberg, S.P.K., Claussen, K. Lead and Nickel Removal Using Microspora and *Lemna minor*. Bioresource Technology, Vol: 89(1), pp.41-48, 2003.
23. Uruç, K., Yılmaz, D., Akbulut, H. Farklı pH Degerlerinin *Lemna gibba* L. Ve *Lemna minor* L.'de Nikel Alınımı ve Klorofil Miktarına Etkisi. Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi, Vol:1(2), pp.13-15, 2008.
24. Yıldız K, Sipahioğlu Ş,Yılmaz M. Çevre Bilimi, Ankara, Türkiye, 11-34-75,2000.

25. Eremektar, G., Tanık, A., Arslan-Alaton, İ., Övez, S., Orhon, D. Türkiye’de Doğal Arıtma Uygulamaları ve Projeleri, ODTÜ, Ankara, 2005.
26. Khellaf N., Zerdaoui M. Growth Response of the Duckweed *Lemna minor* to Heavy Metal Pollution, Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng., 6,3, 161-6, 2009.
27. Lewis M. A. Freshwater primary producers. In Handbook of Ecotoxicology Vol. 1 (Edited by Calow P.), pp. 28-38. Blackwell Scientific, Oxford, 1993.
28. Heath, R. L., Packer, L. Photoperoxidation in isolated chloroplast I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation, Archives of Biochemistry and Biophysics, 25, 189-198, 1968.
29. Jain, S.K., Vasudevan, P., Jha, N.K. *Azolla pinnata* r.br. and *Lemna minor* L. for Removal of Lead and Zinc from Polluted Water. Water Research, Vol:24(2), 1990.
30. Wahaab, R.A., Lubberding, H.J. and Alaerts, G.J. Copper and Chromium(III) Uptake by Duckweed, Water Science and Technology, Vol:32(11), pp.105-110, 1995.
31. Piston, G., Allinson, G., Stagnitti, F., Colville, S. Effect of Selenium on the Growth of *Lemna minor*. Toxicological & Environmental Chemistry, Vol:71(3 & 4), 271 – 277, pp.177-183, 1999.
32. Blinova, I. Use of Freshwater Algae and Duckweeds for Phytotoxicity Testing, 2004.
33. Oporto C. vd., Experimental study and modelling of Cr (VI) removal from wastewater using *Lemna minor*, Water Research Volume 40, Issue 7, Pages 1458-1464, 2006.
34. Drost, W., Matzke M., vd. Heavy metal toxicity to *Lemna minor*: studies on the time dependence of growth inhibition and the recovery after exposure, Chemosphere, 67,1, 36-43, 2007.
35. Hou W., Chen X., vd. Effects of copper and cadmium on heavy metal polluted waterbody restoration by duckweed (*Lemna minor*), Plant Physiology and Biochemistry, 45: 62-69, 2007.

36. Appenroth, K.J., Krech, K., vd, Effects of Nickel on the Chloroplasts of the Duckweeds *Spirodela polyrhiza* and *Lemna minor* and Their Possible Use in Biomonitoring and Phytoremediation, *Chemosphere*, 78, 216–23, 2010.
37. Dirilgen, N.,İnel, Y. Cobalt-copper and Cobalt-zinc Effects on Duckweed Growth and Metal Accumulation. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, Vol:29(1), pp. 63– 81, 1994.
38. Dirilgen, N., Ince, N. Inhibition Effect of the Anionic Surfactant SDS on Duckweed, *Lemna minor* with Considerations of Growth and Accumulation. *Chemosphere*, Vol: 31(9), pp.4185-4196, 1995.
39. Dirilgen N.,Mercury and Lead: Assessing the Toxic Effects on Growth and Metal Accumulation by *Lemna minor*, *Chemosphere* 37(4) ,1998
40. Hasar, H., Obek, E. Removal of Toxic Metals from Aqueous Solution by Duckweed (*Lemna minor* L):Role of Harvesting and Adsorbtion Isotherms. *Arabian Journal for Science and Engineering*, Vol: 26(2C), pp.47-54, 2001.
41. Obek, E., Hasar, H. Role Of Duckweed (*Lemna minor* L.) Harvesting In Biological Phosphate Removal From Secondary Treatment Effluents. *Fresenius Enviromental Bulletin*, Vol:11(1), pp.27-29, 2002.
42. Obek, E., Sasmaz, A. Bioaccumulation of aluminum by *Lemna gibba* L. from secondary treated municipal wastewater effluents. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 86: 217–220, 2011.
43. Ozbay, H. An Experimental Approach to Examining the Effect of Water Depth and *Lemna minor* L. on Algal Growth. *Tr. Journal of Botany*, Vol:26, pp.5-11, 2002.
44. Kara, Y., Basaran D., Kara, F., Zeytunluoglu, A., Genç, H. Bioaccumulation of Nickel by Aquatic Macrophyta *Lemna minor* (Duckweed). *International Journal Of Agriculture & Biology*, 1560–8530, 05–3–281–283, 2003.
45. Saygıdeger, S., Gulnaz, O., Istifli, E.S., Yucel, N. Adsorption of Cd (II), Cu (II) and Ni (II) ions by *Lemna minor* L.: Effect of physicochemical environment. *Journal of Hazardous Materials*, B126, pp.96-104, 2005.

46. Gürtekin, E., Sekerdağ, N. Son Çökeltme Havuzlarında Su Mercimeginin (*Lemna minor* L.) Rolü. SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi, Vol:12(1),pp. 28-31, 2008.
47. Bekcan, S., Atar, H.H., Beyaz, A. Measurement of the Effects of Liquid Fertilizers at the Different Levels on Duckweed (*Lemna minor* L.) Growth Using Image Analysis Technique. Biotechnology & Biotechnological Equipment, pp. 1205 – 1209, 2009.
48. Duman, F., Ozturk, F., Aydin, Z. Biological Responses of Duckweed (*Lemna minor* L.) Exposed to the Inorganic Arsenic Species As(III) and As(V): Effects of Concentration and Duration of Exposure. Ecotoxicology, Vol:19(5), pp.983-93, 2010.
49. Alcorlo, P., Otero, M., Crehuet, M., Baltanás, A., Montes, C. The use of the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*, Girard) as indicator of the bioavailability of heavy metals in environmental monitoring in the River Guadiamar (SW, Spain). Science of the Total Environment, Vol:366, pp. 380, 2006.
50. Antunes, A.P.M., Watkins, G.M.N., Duncan, J.R. Batch studies on removal of gold (III) from aqueous solution by *Azolla filiculoides*. Biotechnology 23,249–251, 2001.
51. Cardwell, A.J., Hawker, D.W., Greenway, M. Metal accumulation in aquatic macrophytes from Southeast Queensland, Australia. Chemosphere, 48:653-663, 2002.
52. Cossu, R., Haarstad, K., Lavagnolo, M.C., Littarru, P. Removal of municipal solid waste COD and NH₄-N by phyto-reduction: a laboratory-scale comparison of terrestrial and aquatic species at different organic loads. Ecol. Eng. 16, 459–470, 2001.
53. Çepel, N. Toprak Kirliliği Erozyon ve Çevreye Verdiği Zararlar. TEMA Vakfı Yayınları, İstanbul, 111s, 1997.
54. Doğan, M. Akuatik Makrofitlerde Ağır Metal Akümülyasyonu. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi 4 (2):33-36, 2011.

- 55.**Dubois, M., Gilles, A.K., Hamilton, J.K., Rebers, P.A., Smith, F. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Analytical Chemistry*. 28:350- 356, 1956.
- 56.**Hamutoğlu, R., Dinçsoy, A.B., Cansaran-Duman, D. Aras, S. Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları, *Türk Hij. Den. Biyoloji Dergisi*, 235-253, 2012.
- 57.**Kochert, G. Carbohydrate Determination by the Phenol-Sulfuric Method. *Handbook of Physiological Methods. Physiological and Biochemical Methods*. Cambridge University Pres, London, pp. 189-195, 1978.
- 58.**Maine, M.A., Suñe, N., Hadad, H., Sanchez, G., Bonetto, C. Nutrient and metal removal in a constructed wetland for wastewater treatment from a metallurgic industry. *Ecol. Eng.* 26, 341–347, 2006.
- 59.**Manny, B.A., Nichols, G.J., Schloesser, D.W. Heavy metals in aquatic macrophytes in drifting in a large river. *Hydrobiologia*, 219:333-344, 1991.
- 60.**Miretzky, P., Saralegui, A., Cirelli, A.F. Aquatic Macrophytes Potential for the Simultaneous Removal of Heavy Metals (Buenos Aires, Argentina). *Chemosphere*, Vol:57, pp. 997–1005. Mohan, 2004.
- 61.**Mkandawire, M., Dudel, E.G. Accumulation of arsenic in *Lemna gibba* L. (duckweed) in tailing waters of two abandoned uranium mining sites in Saxony, Germany. *Sci. Total Environ.* 336 (1–3), 81–89, 2005.
- 62.**Obek, E. Bioaccumulation of heavy metals from the secondary treated municipal wastewater by *Lemna gibba*. *Fres. Environ. Bull.*, 18 (11a); 2159–2164, 2009.
- 63.**Parsons, T.R., Strickland, J.D.H. Discussion of pectrophotometric Determination of Marine Plant Pigments, with Revised Equations for Ascertaining Chlophylls and Carotenoids. *Journal of marine research*. Vol:21, No:3, p.115-63, 1963.

64. Salt, D.E., Blaylock, M., Kumar, N.P.A., Dushenkov, V., Ensley, B.D., Chet, I., Raskin, I. Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Biotechnology*, 13:468-472, 1995.
65. Samecka-Cymerman, A., Kempers, A.J. Bioaccumulation of heavy metals by aquatic macrophytes around Wroclaw, Poland. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 35: 242-247, 1996.
66. Samsunlu, A. Çevre Mühendisliği Kimyası. Sam-Çevre Teknolojileri Merkezi Yayını, İstanbul, 394s, 1999.
67. Sasmaz A., Obek E. The accumulation of arsenic, uranium, and boron in *Lemna gibba* L. exposed to secondary effluents. *Ecological Engineering* 35, 1564–1567, 2009.
68. Sasmaz, A., Obek, E. The accumulation of silver and gold in *Lemna gibba* L. exposed to secondary effluents. *Chem. der Erde*, 72; 149–152, 2012.
69. Upadhyay, A.R., Mishra, V.K., Pandey Sudhir, K., Tripathi, B.D. Biofiltration of secondary treated municipal wastewater in a tropical city, *Ecological Engineering*, 30, 9–15, 2007.
70. Üçüncü, E. Su mercimeği kullanarak farklı konsantrasyonlardaki ağır metal karışımlarının laboratuvar ortamında biyoremediasyonu. A.Ü. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi. Ankara, 2011.
71. Yılmaz C. Sucul Bitkilerle Su Kalitesi Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 2003
72. <https://tr.wikipedia.org>
73. <http://www.kuleuven-kortrijk.be>
74. <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kalay>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Buse KURT
Doğum Yeri ve Yılı : Konak, 1992
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : busedolgun@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Özel Deniz Anadolu Lisesi, 2010
Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, 2014
Yüksek Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019

İş Deneyimi

- Manisa Ticaret Borsası Anadolu Lisesi 2015
- Fen Bilimleri Dershanesi 2016
- Takev Okulları 2016-halen

Bilgisayar Programları

- Office Programları (Word, Excel, Powepoint)
- Lego Education We-Do Software
- SPSS

Katıldığı Etkinlik Ve Programlar

- Office Programları (Word, Excel, Powepoint)
- Celal Bayar Üniversitesi Eğitim Fakültesi Pedagojik Formasyon Sertifikası
- Wall Street English Waystage1 Sertifikası
- Hijyen Eğitimi Sertifikası
- ISO9001:2008 Kalite Yönetimi Sistemi
- ISO14001:2004 Çevre Yönetimi Sistemi
- ISO18001:2007 OHSAS İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi
- ISO22000:2005 HACCP Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi
- ISO19011:2012 İç Denetçi Eğitimi
- Risk Analizi Eğitimi
- 18.Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu – Poster ve Sözlü Sunum
- Disleksi Dostu Öğretmen Sertifikası
- CSI 2018 Görevli Öğretmen
- Drone Kodlama ve Drone Ligi Öğretmen Eğitimi
- EÇEV 15.Yaratıcı Yenilikçi Öğretmen Semineri- Moderatörlük

Aldığı Ödüller

- Volvo Adventure United Nations Environment Programme 2009
- First Lego League Jr. 2018 Sezonu Meraklı Araştırmacılar Ödülü
- 12. Tübitak Ortaokul Öğrencileri Araştırma Projeleri Ege Bölge 1.liği
- Yaratıcı Fikirler Süper Zihinler Sağlık Bilimleri Ve Teknolojileri Proje Yarışması 2018 İzmir 3.lüğü
- First Lego League 2019 Sezonu Araştırma Ödülü