

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KADMİYUM ($\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), DEMİR (FeSO_4) VE KADMİYUM-DEMİR
KARIŞIMININ *Lemna minor* ÜZERİNE AKUT TOKSİK ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

Emrah ACARÖZ

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2016

Her hakkı saklıdır

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

07.04.2016

Emrah ACARÖZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KADMİYUM (CdCl₂.H₂O), DEMİR (FeSO₄) VE KADMİYUM-DEMİR KARIŞIMININ *Lemna Minor* ÜZERİNE AKUT TOKSİK ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Emrah ACARÖZ

Ankara Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet ALTINDAĞ

Bu çalışmada, demir(II) sülfat (FeSO₄), kadmiyum klorür (CdCl₂.H₂O) ve bu metallerin karışımlarının farklı konsantrasyonlarının 7 gün süresince *Lemna minor* üzerine akut toksik etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonunda elde edilen veriler probit analizi (SSPS 17.0) ile değerlendirilmiş ve *Lemna minor* üzerine demir, kadmiyum ve kadmiyum-demir karışımının 7 günlük süreç sonunda EC₅₀ değerleri sırasıyla 3873,4 mg/L, 190,4 µg/L, 144,3 µg/L hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlarda kadmiyumun demire göre daha toksik olduğu ortaya konmuş ve toksisite sıralaması Fe<Cd<Cd+Fe şeklinde oluşmuştur. 7 gün sonunda Cd ve Cd+Fe, Fe maruziyetine bırakılmış *Lemna minor* bitkisinin biyokütle inhibisyon oranları da sırasıyla % 53,73; % 41,85; % 19,43 olarak tespit edilmiştir. Bu süreçte demir ve kadmiyum sinerjistik bir etki oluşturduğu gözlemlenmiştir.

Nisan 2016, 51 sayfa

Anahtar Kelimeler: *Lemna minor*, toksisite, kadmiyum, demir, EC₅₀

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF ACUTE TOXICITY OF CADMIUM (CdCl₂.H₂O) – IRON(FeSO₄) INDIVIDUALLY AND MIXTURES TO *Lemna minor*

Emrah ACARÖZ

Ankara University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Biology

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet ALTINDAĞ

In this study, acute toxic effects of different concentrations of iron (II) sulfate (FeSO₄), cadmium chloride (CdCl₂.H₂O) and mixtures of these metals on *Lemna minor* have been investigated during seven days. Data, obtained by our experiments were analysed with Probit test (SPSS 17). After seven-day exposure, EC₅₀ values were determined as 3873,4 µgL⁻¹, 190,4 µgL⁻¹, 144,3 µgL⁻¹ for iron, cadmium and cadmium-iron mixtures, respectively. The results show that toxic effect of cadmium is more than iron. The toxicity of these metals and mixtures of them is determined as follows: Fe<Cd<Cd+Fe. After seven-day Cd, Cd+Fe and Fe exposure on *Lemna minor*, biomass inhibition rates of this plant were determined as 53,73 %; 41,85 %; 19,43 %, respectively. Moreover, it was observed that iron and cadmium show synergistic effect throughout the process.

April 2016, 51 pages

Key Words: *Lemna minor*, toxicity, cadmium, iron, EC₅₀

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin boyunca bilimsel katkılarıyla her zaman bana yol gösteren, bilgi, tecrübe ve yardımlarıyla yanımda olan, ilgisini, sabrını ve emeğini hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Ahmet ALTINDAĞ (Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı Öğretim Üyesi)'a eğitimim süresince bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her daim desteğini esirgemeyen saygıdeğer hocam Arş. Gör. Dr. Şeyda Fikirdeşici ERGEN (Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı)'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Hep yanımda olup bana destek olan abim Arş. Gör. Dr. Ulaş ACARÖZ (Afyon Kocatepe Üniversitesi Veteriner Fakültesi), annem Nuray ACARÖZ babam Ahmet ACARÖZ ve Arş. Gör. Damla Arslan ACARÖZ (Afyon Kocatepe Üniversitesi Veteriner Fakültesi)'e; bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım arkadaşlarım Berfu PARÇALI ve Gözde BİLGİLİ'ye; tez düzenlenmesinde yardımları dokunan Uzman Biyolog Caner ERBASAN ve Utku ARAS'a; hayatımda çok değerli yeri olan ve her zaman desteğini ve ilgisini üzerimde hissettiğim çok kıymetli Ezgi ÖZKURT'a sevgimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Emrah ACARÖZ

Ankara, Nisan 2016

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.2 Demir ile İlgili Genel Bigiler	4
1.3 Lemnaceae	6
1.4 <i>Lemna minor</i> (Linneaus, 1753).....	8
1.4.1 <i>Lemna minor</i> 'ün morfolojik yapısı	9
1.4.2 <i>Lemna minor</i> 'ün anatomik yapısı	9
1.4.3 <i>Lemna minor</i> 'ün ekolojisi	10
1.4.4 <i>Lemna minor</i> 'ün fizyolojisi	10
2. KAYNAK ÖZETLERİ	12
3. MATERYAL VE METOD.....	16
3.1 Kültür Şartları.....	16
3.2 Kullanılan Malzemeler	16
3.3 Deney Yöntemi	17
3.3.1 <i>Lemna minor</i> 'ün deneye hazırlanması	17
3.3.2 Stok çözeltilerin hazırlanması.....	17
3.4 EC ₅₀ Değerlerinin Hesaplanması	18
3.5 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	18
3.5.1 Ortalama spesifik büyüme oranı	18
3.5.2 Biyokütle inhibisyon hesabı.....	19
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	20
4.1 Büyüme Oranı ve Biyokütle İnhibisyon Hesabı	21
4.2 EC ₅₀ Çalışması ve Sonuçları.....	29
5.SONUÇ.....	36
KAYNAKLAR	37
EKLER.....	45
EK 1 Toksikolojik Tanımlar	46

EK 2	<i>Lemna minor</i>'ün metal maruziyetine kalmadan önceki hali	47
EK 3	Kadmiyumun 0,25 mg/L konsantrasyonunda <i>Lemna minor</i>'ün görüntüsü	48
EK 4	Demirin 0,4g/L konsantrasyonunda <i>Lemna minor</i>'ün görüntüsü	49
EK 5	Kadmiyum-Demir karışımının 0,2 mg/L konsantrasyonunda <i>Lemna minor</i>'ün görüntüsü.....	50
ÖZGEÇMİŞ	51

SİMGELER DİZİNİ

%	Yüzde
μ	Mikron
μl	Mikrolitre
As	Arsenik
°C	Santigrat derece
Ca	Kalsiyum
Cd	Kadmiyum
Cr	Krom
Cu	Bakır
EC	Elektriksel iletkenlik
EC ₅₀	Ortalama Etkili Konsantrasyon
Fe	Demir
g	Gram
H ₂ O	Su
kg	Kilogram
L	Litre
LC ₅₀	Ortalama Öldürücü Konsantrasyon
Mg	Magnezyum
mg	Miligram
Pb	Kurşun
ppm	Milyonda bir kısım
U	Uranyum
Zn	Çinko

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Su mercimeğinin (<i>Lemna minor</i>) görüntüsü.....	8
Şekil 4.1 Cd etkisinde su mercimeklerinin 7. gün sonundaki büyüme oranları.....	22
Şekil 4.2 Cd etkisinde su mercimeklerinin 7. gün sonundaki biyokütle inhibisyon oranları	23
Şekil 4.3 Fe etkisinde su mercimeklerinin 7. gün sonundaki büyüme oranları	24
Şekil 4.4 Fe etkisinde su mercimeklerinin 7. gün sonundaki biyokütle inhibisyon oranları	25
Şekil 4.5 Cd+Fe etkisinde <i>Lemna minor</i> 'ün 7. gün sonundaki büyüme oranları.....	26
Şekil 4.6 Cd+Fe etkisinde <i>Lemna minor</i> 'ün 7. gün sonundaki biyokütle inhibisyon oranları	27
Şekil 4.7 7 gün sonunda <i>Lemna minor</i> üzerine Cd, Fe ve Cd+Fe karışımların artan konstransyonlardaki karşılaştırmalı büyüme oranları	28
Şekil 4.8 7 gün sonunda <i>Lemna minor</i> üzerine Cd, Fe ve Cd+Fe karışımların artan konstransyonlardaki karşılaştırmalı biyokütle inhibisyon oranları	28
Şekil 4.9 <i>Lemna minor</i> üzerinde Cd metali için hesaplanan 7 günlük probit değerleri ve regresyon grafiği.....	30
Şekil 4.10 <i>Lemna minor</i> üzerinde Fe metali için hesaplanan 7 günlük probit değerleri ve regresyon grafiği.....	31
Şekil 4.11 <i>Lemna minor</i> üzerinde Cd+Fe karışımı için hesaplanan 7 günlük probit değerleri ve regresyon grafiği.....	32

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Kadmiyum ile ilgili genel bilgiler.....	3
Çizelge 1.2 Demir ile ilgili genel bilgiler.....	5
Çizelge 1.3 <i>Lemna minor</i> 'ün sistematığı.	9
Çizelge 4.1 Cd maruziyetindeki <i>Lemna minor</i> yapraklarının artış miktarı (7 gün).....	21
Çizelge 4.2 Cd maruziyetindeki su mercimeklerinin 7. gün sonundaki büyüme oranları	21
Çizelge 4.3 Cd etkisinde su mercimeklerinin 7. gün sonundaki biyokütle inhibisyon oranları	22
Çizelge 4.4 Fe maruziyetindeki <i>Lemna minor</i> yapraklarının artış miktarı (7 gün).....	23
Çizelge 4.5 Fe maruziyetindeki su mercimeklerinin 7. gün sonundaki büyüme oranları	24
Çizelge 4.6 Fe etkisinde su mercimeklerinin 7. gün sonundaki biyokütle inhibisyon oranları	25
Çizelge 4.7 Cd+Fe maruziyetindeki <i>Lemna minor</i> yapraklarının artış miktarı (7 gün).....	26
Çizelge 4.8 Cd-Fe maruziyetindeki <i>Lemna minor</i> 'ün 7. gün sonundaki büyüme oranları	26
Çizelge 4.9 Cd+Fe etkisinde su <i>Lemna minor</i> 'ün 7. gün sonundaki biyokütle inhibisyon oranları	27
Çizelge 4.10 Cd'nin farklı konsantrasyonlarının <i>Lemna minor</i> bitkisi üzerine etkileri.....	29
Çizelge 4.11 Fe'nin farklı konsantrasyonlarının <i>Lemna minor</i> bitkisi üzerine etkileri.....	29
Çizelge 4.12 Cd+Fe karışımının farklı konsantrasyonlarının <i>Lemna minor</i> bitkisi üzerine etkileri.....	29
Çizelge 4.13 Cd'nin <i>Lemna minor</i> bitkisi üzerine etkisinin EC ₅₀ değerleri	30
Çizelge 4.14 Fe'nin <i>Lemna minor</i> bitkisi üzerine etkisinin EC ₅₀ değerleri	31
Çizelge 4.15 Cd+Fe karışımının <i>Lemna minor</i> bitkisi üzerine etkisinin EC ₅₀ değerleri.....	32
Çizelge 4.16 Fe, Cd ve Cd+Fe karışımlarının 7 gün sonundaki EC ₅₀ değerleri	33

1. GİRİŞ

Onlarca yılı aşkın bir süredir tatlı suların çok çeşitli kirleticiler tarafından kirlenmesi endişe verici bir konu olmuştur (Canli vd. 1998, Voegborlo vd. 1999, Dirilgen 2001, Vutukuru 2005). Genellikle potansiyel toksisite, ekotoksisite ve kirlilik ile ilişkilendirilen metal ve yarı metal grupları için kullanılan bir terim olan ağır metallerin de çevresel kirleticiler olduğu uzun bir süredir bilinmektedir (Duffus 2002).

Ağır metaller, yer kabuğunda doğal olarak bulunan elementlerdir. Bu elementler kimyasal ve jeokimyasal süreçler sonucunda su ve besin döngüsüne girmektedirler (Tinsley 1979). Atmosferde, toprakta ve suda iz miktarda bulunması bile organizmalarda ciddi problemlere yol açabilmektedir (Li vd. 2004). Ağır metaller, tatlı su sistemlerinde düşük konsantrasyonlarda doğal olarak bulunurlar (Le Faucheur vd. 2006). Fakat doğal su sistemleri, evsel, endüstriyel ve diğer antropojenik faaliyetler sonucu yayılan ağır metaller ile yoğun bir şekilde kirlenmektedir (Conacher vd. 1993, Velez ve Montoro 1998). Ağır metal kirliliği sucul organizmalardaki çeşitlilik ve alıcı ortamın ekolojik dengesi üzerinde yıkıcı etkilere neden olmaktadır (Vosyliene ve Jankaite 2006, Farombi vd. 2007) Buna ek olarak, sucul ortama giren metal iyonları insan sağlığı için ciddi sorunlara yol açmaktadır (Waisberg vd. 2003).

Ağır metaller, toprakta, sedimentte, suda veya organizmalarda birikme özelliğine sahiptir. Esansiyel veya esansiyel olmayan tüm metallerin biyolojik sistemlerde birikmeleri belli bir eşik değerden sonra zehirleyici etkiye sahiptir (Antón vd. 2000). Bitkilerde belirli bir miktara ulaşan ağır metallerin, bitkinin biyokimyasal döngülerini ve bazı fizyolojik fonksiyonlarını dolaylı ya da doğrudan etkilediği bilinmektedir. Bitki dokularında eşik değer üzerinde ağır metal birikimi olduğunda çimlenme, terleme, fotosentez, mineral madde alımı, çekirdek yapısı, klorofil sentezi, enzim aktivitesi, zarlarda hasar, hormonal dengesinin bozulması ve su ile ilişkisinin değişmesi gibi bazı fizyolojik olaylar gözlenmektedir (Kennedy 1988, Nussbaum 1988, Poschenrieder 1989, Ouzounidou, 1992, Somashekaraiah 1992, Lidon 1993, Doncheva 1996, Munzuroğlu 2002).

Bazı metaller organik moleküllere geri dönüşümsüz olarak bağlandığı için toksik özellik göstermektedir. Örneğin civa neredeyse tüm proteinlerin sülfidril (-SH) gruplarına bağlanarak, proteinleri ve onların hücre içerisindeki fonksiyonlarını inaktive eder (Uruç 2008).

Bu tez çalışmasında, kadmiyum ve demirin hem tek başına hem de karışımlarının biyoindikatör bir tür olan *Lemna minor* (su mercimeği) üzerindeki toksik etkilerini anlamak ve canlının büyümesi üzerine etkisini değerlendirmek amaçlanmıştır. Çalışmada esansiyel bir metal olan demir ile esansiyel olmayan kadmiyum metali tercih edilmiş ve bu metallerin canlı üzerindeki etkilerinde farklılık yaratacak bulguların elde edilip edilemeyeceğini anlamak hedeflenmiştir. Su mercimeğinin seçilmesinde, sucul ortamlarda bulunan metal içeriğinin, ilk bağlantısının sucul bitkiler ile olması (Singh vd. 2006), ağır metalleri bünyelerinde biriktirebilmelerinin bilinmesi (Rahmani ve Sternberg 1999, Singh vd. 2000, Axtell vd. 2003, Miretzky vd. 2004), metal kirliliğinin izlenmesi ve belirlenmesinde ekolojik biyoindikatör olması (Garczarska ve Ratajczak 2000), susuz çöller ve tunduralar hariç, her iklimde çok geniş alanlarda yaygın bir şekilde bulunmasıdır (Hillman ve Culley 1978). Ayrıca Duckweed olarak bilinen *Lemna minor* (Kuhn 1969) uygun koşullarında çok çabuk büyümesi ve bir hafta içerisinde kütlesini iki katına çıkarabilmesi, laboratuvar koşullarına uygun ve hasatının kolay olması bu canlının seçilmesinde önemli etkenlerdir (Axtell vd. 2003).

Ağır metaller ile kirlenmiş ekosistemlerde, ağır metaller karışım halinde bulunmaktadır. Bu metaller, sinerjistik (birbirlerinin etkilerini artırıcı), antagonistik (birbirlerinin etkilerini azaltıcı) veya basit etkileşim gösterebilmektedirler (Paustenbach 2000). Yapılan çalışmalarda kadmiyumun farklı metaller ile karışımları denenmiştir. Fakat demirin diğer metaller ile karışımının *Lemna minor* üzerindeki etkisi ile ilgili yapılan çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Bu nedenle yapılan bu tez çalışmasında, seçilen 2 elementin farklı konsantrasyonları ve karışımları denenmiştir.

EC₅₀; deneyde kullanılan organizmaların % 50'sinde anormallikler, yapraklarda sararma, beyazlama ve ayrılma gibi morfolojisinde bozulmalar şeklinde etki oluşturan

konsantrasyondur. Bu tez çalışmasında, 7 gün boyunca Fe ve Cd'nin farklı konsantrasyonlarına maruz bırakılan *Lemna minor*'ün EC₅₀ değerleri de tespit edilmiştir.

1.1 Kadmiyum ile İlgili Genel Bilgiler

Yer kabuğunda ortalama 0,15-2 ppm içeriği bulunan ve homojen olarak dağılmış kadmiyum nadir toprak elementlerindedir (Fleischer vd. 1974).

Çizelge 1.1 Kadmiyum ile ilgili genel bilgiler (Anonim 2015a)

Sembol	Cd
Atom ağırlığı	112.4 g.mol ⁻¹
Atom numarası	48
Buharlaştırma noktası	767 °C
Elektron kabuğu	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ²
Elektronegatiflik	1.7
Erime noktası	321 °C
İlk iyonlaşma enerjisi	866 kJ.mol ⁻¹
İyonik yarıçap	0.097 nm (+2)
İzotopları	15
Keşfi	1817
Madde hali	Katı
Vanderwaals yarıçapı	0.154 nm
Yoğunluk	20 °C'de 8.7 g.cm ⁻³

Kadmiyum tuzlarının toprakta nispeten yüksek devinirliği, suda yüksek çözünürlüğü ve düşük dozlarda dahi çok yüksek toksisite göstermesi bakımından son derece tehlikeli çevresel kirleticiler olduğu bilinmektedir (Das vd. 1997). Sucul ve karasal ekosistemlerde kadmiyum seviyesi, metal endüstrisi, madencilik, batarya kullanımı, atık su arıtımı, pestisit ve gübre kullanımı gibi antropojenik faaliyetler sonucu artmaktadır (Sanita di Toppi ve Gabbrielli 1999). Sucul organizmalar, kadmiyumu doğrudan kirlenmiş sulardan ya da besin zinciri yoluyla alabilirler (Hart ve Scaife 1977). Sucul ortamları kirlilikten korumak amacıyla, bütün uluslararası anlaşmalarda kadmiyum; süreklilik, biyobirikim ve toksisite gibi olumsuz özelliklerinden dolayı kara listeye alınmıştır (Tylor 1983).

Kadmiyumun sucul ortamlara verdiği zararların yanısıra insan ve diğer canlıların sağlığına da ciddi zararlar verdiği yapılan çalışmalar sonucunda ortaya konmuştur. Dünya Sağlık Örgütü'nün bildirdiği verilere göre 60 kg'lık kütleyle sahip bir insanın haftada ancak 0,4-0,5 mg kadmiyumu tolere edebildiği belirtilmiştir. İnsan bünyesine karışan kadmiyumun yaklaşık % 50'si böbrek ve ciğerlerde birikir. Kadmiyumun biyolojik yarılanma ömrünün 19-38 yıl olması nedeniyle, yaş ile doğru orantılı olarak ciğer ve böbreklerde birikimi artar ve bunun sonucunda kadmiyum nedenli böbrek hastalıkları genelde 50 yaşını aşan insanlarda rastlanmaktadır (Özbek vd. 1995). Ayrıca düşük dozlarda uzun müddet kadmiyum ile temas halinde bulunmak kemik kaybına yol açmaktadır. Doğum öncesi süreçte meydana gelen kadmiyum teması sonucunda, hayvanlarda yavru kaybı, normal olmayan iskelet yapıları, davranış ve kavrama sorunları gözlemlenmiştir (Petering vd 1979, Baranski 1985).

1.2 Demir ile İlgili Genel Bigiler

Yer kabuğunda en çok bulunan ikinci metal, en çok bulunan dördüncü element olan demir, hemen hemen yaşayan bütün canlılar için temel elementtir (Taylor 1964, Xing ve Liu 2011).

Çizelge 1.2 Demir ile ilgili genel bilgiler (Anonim 2015b)

Sembol	Fe
Atom ağırlığı	55.85 g.mol ⁻¹
Atom numarası	26
Birinci iyonlaşma enerjisi	761 kJ.mol ⁻¹
Elektron kabuğu	[Ar] 3d ⁶ 4s ²
Erime noktası	1536 °C
İyonik yarıçap	0.076 nm (+2) ; 0.064 nm (+3)
İzotopları	8
Kaynama noktası	2861 °C
Pauling'e göre elektronegatifliği	1.8
Standart potansiyel	- 0.44 V (Fe ²⁺ / Fe) ; 0.77 V (Fe ³⁺ / Fe ²⁺)
Vanderwaals yarıçapı	0.126 nm
Yoğunluk	20 °C'de 7.8 g.cm ⁻³

Tatlı su sistemlerine demir girişi birçok kaynaktan olabilmektedir. Demir doğal koşullarda ilk olarak, yağış, sıcaklık, toprak kompozisyonu ve jeolojik süreç gibi birçok faktör tarafından kontrol edilen parçalanmış kaya ve çevredeki toprak ürünleri tarafından sisteme giriş yapmaktadır (Harris 1992). Havanın getirdiği tortu da önemli bir demir kaynağıdır. Ayrıca azot, fosfor ve demir gibi besin elementleri, yağmur ve toz ile ya da doğrudan basitçe yer çekimi ile göl sistemlerine girer. En önemli demir kaynağı ise antropojenik etkilerle oluşan atık sulardır (Xing 2006).

Demir suda 2 farklı değerlikte bulunabilir. Bunlar; +2 veya +3 değerlikli olabilir, +2 değerlikli ferro-demir kararlı bir yapıda olmadığından oksijenle tepkimeye girerek demir (III) hidroksit olarak suda çökebildiği gibi, bu reaksiyonun terside gerçekleşip suda bolca ferro-demir bulunabilir. Genellikle alkali sularda +3 değerlikli ferri-demir koloidal yapıda olup havanın veya klorun etkisi ile demir, ferri (+3)'e yükseltgenir ve hidrolize olup çözünmeyen demir (III) hidroksit (Fe(OH)₃) haline gelir (Güler 1997). Sucul bitkiler için uzun süreli demir birikimi ve toksisitesi, bitkilerin morfolojisi, anatomisi, yaşama özellikleri, tür kompozisyonu, komünite dinamikleri ve ekolojileri gibi sebeplere bağlı olarak değişebilir (Xing, 2011).

Demir insan kanındaki hemoglobinin yapı taşıdır. Oksidasyonun hareketi için gerekli ve vücut dokularının % 10-12'sinde bulunmaktadır. Dalak, karaciğer, kemik iliğinde hemosiderin ve ferritin biçiminde demir bulunmaktadır. İnsan vücudundaki demir seviyesinin kontrolü ve devamı nörohumoral mekanizma tarafından yapılır. Askorbik asitin varlığında ise demirin emilimi artar. Esansiyel bir element olan demir, oksijen taşınması ve hücrel oksidasyon sistemleri ile ilişkilidir. Ayrıca insan vücudu farklı sebeplerden dolayı demir takviyesine ihtiyaç duyar. Bu sebepler; gebelik, laktasyon, menstrual döngü, aşırı büyüme ve gelişme sırasında meydana gelen demir kayıplarıdır (Morse vd. 1997, Bošnjir ve Čulig 2005). Demirin günlük alınımı 14-30 mg olarak tavsiye edilmektedir (Bošnjir ve Čulig 2005). Morse vd. (1997) yaptığı uzun süreli araştırmada, 6 yaş ve 6 yaş altı 20.000 çocuğa tedavi amaçlı demir takviyesi yapılmış ve bunun sonucunda ne yazık ki birçok zehirlenme hatta ölümlerin meydana geldiği rapor edilmiştir. Bu nedenle, reçete yazımı ve demir takviyeleri günümüzde hala tartışmalı bir konudur.

1.3 Lemnaceae

Kozmopolit bir yapıda olan Lemnaceae familyası *Lemna*, *Landoltia*, *Spirodela*, *Wolffia*, *Wolffiopsis* ve *Wolffiella* olmak üzere bünyesinde 6 cins ve 43 türü barındırmaktadır. Arales takımına ait Lemnaceae familyasının Türkiye'de 2 cins ve 5 türü olduğu bilinmektedir. Bu türler; *Lemna minor*, *Lemna gibba*, *Lemna triscula*, *Lemna turionifera*, *Spirodela polyrhiza*'dır (Anonymous. 2015a).

Neredeyse tüm dünyaya yayılmış olan, çok küçük ve serbestçe yüzen bu su yabancıotları, göllerde, kanallarda, durgun su yüzeylerinde veya su yüzeyinin hemen altında, tatlı ya da tuzlu sularda gelişebilirler (Altınyar 1988). Su mercimekleri; su kuşları, küçük memeli hayvanlar ve suyun hareketleriyle farklı bölgelere taşınabilirler (Hutchinson 1975). Serbest yüzen bitkilerin doğal yaşam alanları durgun veya az hareketli ortamlardır. Su mercimekleri de rüzgar ve akıntıya karşı hassastırlar. Bu nedenle, rüzgarlı ve akıntılı alanlarda sürüklenerek kıyılarda yığılır ve sonrasında ölürler (Iqbal 1999). Sürekli akıntılar ya da taşkınlar olan su kütlelerinde bu bitkiler, kanallara taşınabilir ve bunun sonucunda hızlı çoğalma gösterirler. Yoğun olarak geliştiklerinde ise tüm su yüzeyini kaplayabilirler. Monoik olan bu bitkiler genellikle yapraksız gövdelerin ürettiği tomurcuklar veya tohumla ürerler. Kışı tomurcuk veya tohum olarak su tabanındaki çamur içerisinde geçirir ve bir sonraki yıl yeniden su yüzeyine ulaşırlar (Altınyar 1988).

Temiz yüzeyle su kütleleri ile su mercimekleriyle kaplı küçük su kütleleri karşılaştırıldığında, su mercimeği ile kaplı alanlarda buharlaşmanın daha az olduğu görülmüştür. Suyun muhafaza edilmesinde önemli bir rol oynayabilirler. Bu küçük bitkiler, birçok sucül türün üzerini örterek, gölge bir alan oluşturmakta ve onları yoğun güneş ışığından korumaktadır. Bu bitkiler, süs havuzlarında bulunan boğa kurbağası ve ay balığı gibi sucül canlılar için sığınak vazifesi görür. Su mercimeğinin düşük lif oranı, yüksek besin değeri ve soya fasulyesinden daha fazla protein içeriğinin olması onu insanlar ve hayvanlar için kaliteli bir besin veya besin bileşeni yapar (Gijzen ve Khondker 1997).

Ayrıca yüksek nem ve azot içeriğinden dolayı tarım alanlarında organik gübre olarak kullanılabilir. Su mercimeğinin balık, ördek, at, yenilebilir salyangoz, tatlı su karidesi, domuz, tavuk ve geviş getirenler için bir gıda maddesi olduğu bilinmektedir. Fakat atık su alanlarında yetişen su mercimeklerinin yüksek miktarda ağır metal ve toksik madde bileşenlerini bünyelerinde biriktirmeleri, yüksek oranda (yaklaşık % 95) nem içermesinden dolayı taşıma ve kurutma maliyetlerinin artırması, yüksek miktarda kalsiyum oksalat içermesi, beslenme ve gübrelemede kullanılmasını kısıtlamaktadır (Gijzen ve Khondker 1997).

Su mercimekleri kolay büyüdüleri, özellikle fosfat ve azot gibi mineral maddeleri bünyelerinde biriktirebildikleri için biyoremediasyon çalışmalarında önemli bir yere sahiptirler (Anonymous. 2015b). Domuz ve sığır gübrelerinin, septik atıkların, ham veya seyreltilmiş atık suların arıtımında kullanılmaktadır. Ayrıca bu bitkiler üreyebilmek için yeterli besin içeriği bulunduran, gıda, gübre işleme fabrikaları ve çeşitli endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılır (Iqbal 1999). Türlerine bağlı olarak optimum gelişme sıcaklığı 25-31 °C arasında değişen bu bitkilerin atık suların arıtımında kullanılabilmesi için su sıcaklığının minimum 7 °C olması gerekmektedir (Reed vd. 1988, Anonymous. 1990a). Bangladeş’deki bir çalışmada *Spirodela* ve *Lemna* cinslerine ait türlerde 17 °C’nin altındaki sıcaklıklarda üreme ve bunun yanında arıtım etkinliği ciddi bir azalış göstermiş, 35 °C’nin üzerinde şiddetli sıcaklık stresine girdiği görülmüştür (Anonymous 1990b).

1.4 *Lemna minor* (Linneaus, 1753)



Şekil 1.1 Su mercimeğinin (*Lemna minor*) görüntüsü (Foto orijinal 2016)

Akuatik sistemlerde sucul bitkiler, elementlerin biyojeokimyasal döngüsünde önemli rol oynamakla birlikte oksijen seviyesinin ayarlanmasında görev aldıkları ve primer üreticiler oldukları için besin zincirinde önemli bir yere sahiptir (Sinha vd. 2005). Su mercimeği de bu bitkilerden biridir.

Çizelge 1.3 *Lemna minor*'ün sistematığı (Anonymous 2015a).

Alem	Plante
Alt Alem	Tracheobionta
Şube	Magnoliophyta
Sınıf	Liliopsida
Alt sınıf	Arecidae
Takım	Arales
Familya	Lemnaceae
Cins	<i>Lemna</i>
Tür	<i>Lemna minor</i>

1.4.1 *Lemna minor*'ün morfolojik yapısı

Lemna minor'ün yaprakları 1,5-5 mm uzunlukta, oval eliptik bir şekle sahiptir. Yapraklarının herbiri veya birkaç tanesi şeffafimsı bir kök ile bir arada tutulur. Yaprakların rengi yeşil veya mordur. Kamburluğun bulunmadığı, simetrik bir yapıya sahiptir. Monoik yapıdadır ve çiçek, bir dişi iki erkek çiçekten oluşur ve torba benzeri bir kılıfın içindedir. Meyveleri bir tohum bulundurur ve torba şeklindedir. Tohumu 10-16 damarlı ve kök uzunlukları 14 cm'ye kadar ulaşabilir. Kloroplast içerir ve fotosentez yaparlar. Yaprak üzerinde kökün çıktığı bölge içbükey durumdadır (Saygıdeğer 1996).

1.4.2 *Lemna minor*'ün anatomik yapısı

Bu bitkinin su üzerinde durması, yaprakçıkların hücre arası boşluklar ile ayrılmış kollenkima hücrelerinden oluşması sayesinde. Üst bölgede bulunan epiderma kütinleşmiş ve geçirimsiz durumdadır. Besin maddelerinin alımı ise yaprakçıkların alt yüzeyi ile sağlanır. Yaprakçıkların üst yüzeyinde stoma bulunur ve iki komşu hücresi

vardır (Saygıdeğer 1996). Bol kloroplasta sahip kollenkima hücreleri arasında boşluklar oldukça fazladır. Elips şeklinde olan kloroplastları büyük nişasta taneleri içerir (Simard vd. 1990).

1.4.3 *Lemna minor*'ün ekolojisi

Avrupa'nın neredeyse tamamında, Afrika'nın güney ve kuzey kısımlarına, Avusturalya ve Yeni Zelanda'ya kadar yayılış gösteren bu tür, göl, gölet, kanal, bataklık, pirinç tarlaları ve tatlı su kaynaklarında bulunurlar. Ortam şartları *Lemna* türleri için uygun olmadığı, düşük sıcaklık ve kuraklık gibi durumlarda bile uyku (dormansi) durumuna geçerek yaşama olanağına sahiptirler. Dormans ortam şartları tekrar uygun hale gelene kadar su altına çekilir ve orada tohum ya da tomurcuk durumunda kalırlar (Simard vd. 1990).

Lemna türlerinin en iyi geliştiği ortam şartları pH'nin 4,5-7,5, sıcaklığın 20-30 °C olduğu yerlerdir. *Lemna* türleri ışığa karşı geniş tolerans sahibi olmasına karşın ışık şiddetinin yüksek olduğu durumlar bitkide fotosentetik inaktivasyona neden olmaktadır (Örencik 1983).

Sıcaklığın artması ve su bileşiminde değişiklikler meydana gelmesiyle çiçek ve meyve gelişimi artmaktadır. Suda nitrat durumundaki azot ve fosfatın düşük seviyelerde olması klorofil oranını, çoğalışını, yaprak yüzeyini ve solunumunu azaltmaktadır. CO₂ miktarının yüksek olduğu ötrofik göllerde çok iyi gelişim göstermesi ve bunun yanında hızlı bir şekilde büyüme potansiyeli ve kolay bulunabilir olmasından dolayı indikatör bitki durumundadır.

1.4.4 *Lemna minor*'ün fizyolojisi

Hızlı büyüme yeteneğine sahip olan *Lemna* türleri çok yıllık bitkilerdir. Az bir miktarıyla kısa bir sürede popülasyonda önemli miktarda artış elde edilebilmektedir. Bu özelliği ile laboratuvarında çalışmaya uygun bir bitkidir.

Geoffroy vd. (2004) algler ve *Lemna minor*'e flumioxazin (herbisit) uygulayarak yaptıkları bir çalışmada büyüme oranları, pigment içeriği ve klorofil a ışınımı gibi fizyolojik yanıtlarına bakılmıştır. Flumioxazin uygulandıktan 24 saat sonra sırasıyla *Lemna minor*'de klorofil a, klorofil b ve karotenoid miktarlarında % 27,16 ve 29 ve toplam pigment miktarında % 40 oranında azalma olduğu ve büyüme oranlarında önemli bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Dünya’da ağır metallerin *Lemna minor*’ün üzerinde akut toksik etkisine dair çalışmalar uzun bir süredir mevcuttur. Nasu vd. (1984) yaptıkları bir çalışmada, M sükröz ortamına eklenen bakır iyonunun *Lemna paucicostata*’nın yaprak çoğalması ve büyümesini baskıladığı fakat Cd iyonunun yalnızca yaprak çoğalmasını etkilediği, büyümeyi etkilemediğini gözlemlemişlerdir. Eş zamanlı Cd uygulanması ile Cu iyonunun bu bitkideki çiçek indüklemeye aktivitesinin geçerliliğini bitirdiğini ortaya koymuşlardır.

Devi vd. (1996) yaptıkları bir çalışmada, steril kültürde yetiştirilen *Lemna gibba*’nın vejetatif üremesiyle ilgili olarak Cd’nin toksik etkisi belirlenmiş ve EC₅₀ değeri 800 ppb olarak bulunmuştur. Kültür ortamında 2,24 ppm Cd bulunan *Lemna gibba*’nın, 7 günde ortamda bulunan kadmiyum miktarının % 98,5’ini bünyesinde biriktirmiş olduğu bulunmuştur.

Stanković vd. (2000) yaptıkları çalışmada, Provala Gölü’nde yaygın olarak bulunan sualtı ve yüzücü sucul bitkilerde (*Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum spicatum* ve *Nymphoides flava*) demir içeriğini değerlendirmişlerdir. Sualtı türlerinin demir içeriği yüzen sucul bitkilere oranla önemli derecede yüksek bulunmuştur. Bu durumun, sualtı makrofitlerinin bozunmasının bir nedeni olabileceğini öne sürmüşlerdir. Van der Welle vd. (2007), sulak alan bitki türlerinin kompozisyonu ve dağılımının demir tarafından ciddi bir şekilde etkilendiğini kanıtlamışlardır.

Sucul damarlı bir bitki olan *Lemna trisulca* üzerinde 2001 yılında yapılan bir çalışmada, 10 mM’a kadar Cd ve 50 µM’a kadar Cu konsantrasyonları uygulanmış, bu bitkinin fizyolojik tepkileri değerlendirilmiştir. *Lemna* yapraklarının Cd ve Cu biriktirme yeteneği olduğu bulunmuş fakat bakır uygulanmış bitkinin kadmiyum ile karşılaştırıldığında 1000 kat daha az toksik olduğu ortaya konulmuştur. *Lemna trisulca* 10 mM’a kadar olan yüksek seviyedeki kadmiyumu, fotosentetik pigment konsantrasyonunda önemli bir değişiklik olmadan tolere ettiği bulunmuştur. Buna karşılık 25 ve 50 µM bakır konsantrasyonlarında önemli derecede pigment bozulması gözlenmiştir. *Lemna* yapraklarında toplam gaz değişimi ve net fotosentez aktivitesi, Cd

ile ilişkili olan klorofil a ve karotenoid miktarının azalmasına ek olarak çiçeklerin çürümesi sonucu inhibe oldukları görülmüştür (Prasad vd. 2001).

Singh vd. (2006) yaptıkları çalışmada, *Bocapa monnieri* sucul bitkisini 10, 50, 100 ve 200 µM gibi farklı konsantrasyolardaki Cd'ye maruz bırakmışlardır. 48. 96. ve 144. saatlerdeki metal birikimine ilişkin, enzimatik veya enzimatik olmayan antioksidanları, TBARS, fotosentetik pigment ve protein miktarları üzerindeki çeşitli etkilerini analiz etmişlerdir. Cd birikimi, süre ve konsantrasyon artışına bağlı olarak bitki köklerinde de Cd miktarının paralel olarak arttığını gözlemişlerdir. Artan konsantrasyon ve süre ile metale maruz bırakılmış kök ve yaprakların TBARS içeriğinin arttığı gözlenmiş bu da oksidatif stres varlığını göstermiştir. *Bocapa monnieri* bitkisinin, Cd'nin artan konsantrasyonlarında ve maruz kalma süresinde toplam klorofil ve protein içeriğinin azaldığını rapor etmişlerdir. Kadmiyumun toksik konsantrasyonları, lipid peroksidasyonunda artışa neden olması ile oksidatif hasar, toplam klorofil ve protein içeriğinde azalmaya yol açtığı sonuç olarak belirtilmiştir.

Hou vd. (2007) yaptıkları çalışmada, *Lemna minor*'ün bakır sülfat ve kadmiyum klorid metal tuzlarına maruz bırakılması ile çözünebilir protein ve fotosentetik pigmentlere ek olarak antioksidan enzimlerin aktivitesinde meydana gelen değişiklikleri araştırmışlardır. Sonuçlar göstermiştir ki yüksek miktarda metal konsantrasyonları ($\text{Cu} > 10 \text{ mg L}^{-1}$, $\text{Cd} > 0,5 \text{ mg L}^{-1}$) *Lemna minor*'ün antioksidan sisteminin dağılmasına neden olmuştur. Ayrıca yüksek seviyede metal stresinde fotosentetik pigment ve çözülebilir protein içeriğinde önemli bir düşüş olduğu gözlenmiştir. Buna ek olarak Cd'nin Cu'ya göre bitkilerde daha toksik olduğu bulunmuştur.

Lin vd. (2007), *Triticum aestivum* üzerinde yaptıkları çalışmada farklı konsantrasyonlarda (0-33 mg/kg) Cd'ye maruz bırakarak büyüme, oksidatif stres ve antioksidan tepkilerini araştırmışlardır. Özellikle düşük konsantrasyonlarda (3,3 mg/kg'den küçük) fidelerin büyümesinde hafif uyarıcı etki gösterdiği gözlenmiş, artan Cd konsantrasyonlarında ise yapraklardaki serbest radikallerde önemli derecede azalış olduğu saptanmıştır. John vd. (2008), *Lemna polyrrhiza* bitkisini Pb ve Cd'nin farklı konsantrasyonlarına maruz bırakarak çeşitli fizyo-biyokimyasal parametreleri (yaş

ağırlık, klorofil ve prolin içeriği, metal Emilimi, çözünebilir protein ve şekerler) çalışmışlardır. Düşük metal konsantrasyonlarında, prolin, şeker ve protein içeriğinde artış gözlemlenmiş fakat yüksek konsantrasyonlarda (>30mg/L) bu değerlerde düşüş olduğu fark edilmiştir. Metallerin alımı yoğunluğa ve zamana bağlıdır. 1, 10, 20 mg/L Cd ve Pb sinerjistik etki gösterirken 30 ve 40 mg/L uygulandığında metal alımı sırasında antagonistik etki göstermiştir.

Bekcan vd. (2009) yaptıkları çalışmada içeriği % 3 N, % 6 P₂O₅, % 6 K₂O, % 0,01 B, % 0,02 Cu, % 0,02 Fe, % 0,01 Mg olan sıvı gübrenin farklı konsantrasyonlarının 28 gün boyunca su mecmesinin büyümesi üzerine etkisini görüntüleme analizi metodu ile gerçekleştirmiştir. Başlangıçta 1,2 mg olan ağırlık deney sonunda artan konsantrasyonlarda sırasıyla, 16,9; 45,2; 83,88; 48,9 olarak tespit etmişlerdir. Ayrıca haftalık büyüme oranlarını sırasıyla, 0,30; 0,18; 0,15; 0,13 olarak görüntüleme analiz tekniği ile tespit etmişlerdir.

Xing ve Lui (2011) yaptıkları çalışmada, aşırı demir fazlalığının klorofil, protein, karbonhidrat sentezini ayrıca fosfat ve azot tutunmasını ciddi bir şekilde inhibe ettiğini gözlemlemişlerdir.

Üçüncü vd. (2013) *Lemna minor*'ün Cu, Pb ve Cr karışımlarının doğal çevreden uzaklaştırma kapasitesini ve bu metal karışımlarının bitkinin büyüme oranına ve biyokütle inhibisyon oranına etkisini anlamak için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. *Lemna minor*'ün artan konsantrasyonlarda kromu ve kurşunu, bakıra oranla bünyelerinde daha fazla biriktirebildikleri gözlemlemişlerdir. Cu'nun *Lemna minor*'ün büyümesini düşük dozlarda dahi engellediğini gözlemlemişlerdir. 7 günlük deney sonucunda Cu+Cr ve Cu+Pb karışımlarının *L. minor* biyokütle inhibisyon oranlarını % 82,89 ve büyüme oranlarını da 0,03 olarak bulunmasına rağmen Cu+Cr+Pb karışımının biyokütle inhibisyon oranını % 68,42 ve büyüme oranını 0,06 olarak hesaplamışlardır. Horemans vd. (2015). *Lemna minor*'ü uranyum ve kadmiyumun farklı konsantrasyonlarına maruz bırakarak 7 günlük büyüme inhibisyon deneyi yapmışlardır. 7 gün sonunda Cd ve U'nun EC₅₀ değerleri sırasıyla, 24,1 µM ve 29,5 µM olarak bulunmuştur. 10 µM'a kadar Cd ve U varlığında klorofil a, b ve karotenoid seviyesinin

arttığını gözlemlemişlerdir. Gopalapillai ve Hale (2015) *Lemna minor* üzerinde Ni, Cu, Cd metallerin tek tek ve karışımlarının toksik etkilerini araştırmışlardır. Ni, Cu ve Cd'nin EC₅₀ değerlerini sırasıyla, 26 µg/L, 66 µg/L ve 34 µg/L olarak tespit etmişlerdir. Verma vd. (2015) yaptıkları bir çalışmada, Pb ve Cd'nin pH 5, pH 7 ve pH 9'da *Lemna gibba* tarafından giderim potansiyelini araştırmışlar ve pH 7'de optimum giderimin yapıldığını gözlemlemişlerdir. Fakat doz-pH ilişkisinde, 5-10 mg/L aralığında pH 5 ile optimum giderim sağlandığını belirtmişler ve *Lemna gibba*'nın kirlenmiş su kütleleri için uygun bir aday olabileceğini belirtmişlerdir.

3. MATERYAL VE METOD

Bu çalışma, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Sucul Canlıları Araştırma Laboratuvarında ve yine Ankara Üniversitesine ait Tandoğan yerleşkesinde bulunan serada gerçekleştirilmiştir.

3.1 Kültür Şartları

Daha önce yapılmış bir çalışma için göl ortamından alınan test organizması *Lemna minor* Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi serasında bulunan havuzlara ekilmiş ve burada yetiştirilmiştir. *Lemna minor*'ün kültürü OECD standartlarına göre hazırlanmıştır (Anonymous 2002). Test organizmasını deney ortamına alıştırmak için, örnekler deneyden 7 gün önce, hijyenik aletlerle yeni steril kültür kaplarına alınarak, test koşullarına alıştırmıştır.

Serada doğal koşullar, doğal aydınlatma ve ısı değişimi altında yarı kontrollü olarak bir deney gerçekleştirilmiştir. Seradaki sıcaklık değeri 15-32 °C arasında değişkenlik göstermiştir.

3.2 Kullanılan Malzemeler

Deney sırasında test ortamıyla temas halinde olan bütün malzemeler, kimyasal maddeler ile reaksiyona girmemesi adına cam malzeme ve tepkimeye girmeyen diğer malzemeler kullanılmıştır. Test sırasında kullanılan kaplar, test edilen organizmaların yapraklarının üst üste gelmesini engellemek için yeterince geniş olması gerekmektedir, her bir test için derinliğin en az 20 mm, hacmin ise en az 100 mL olmasına özen gösterilerek seçilmiştir (Anonymous 2002). Ayrıca çözeltinin hacmi ile kullanılan kabın oranının 2:5 olması önerilmektedir (Anonymous 1996). Bu sebeplerden dolayı, her bir test için kullanılan kabın içerisinde 100 mL çözelti olacak biçimde, 250 mL'lik cam beherler kullanılmıştır. Deney kaplarının üstü, istenmeyen kontaminasyonları, buharlaşmayı önlemek ve fotosentezi engellemek adına cam kapaklar ile kapatılmıştır.

Test sırasında kullanılan su, organizmanın yeni ortamına uyum sorunu yaşamaması adına doğal olarak bulunduğu Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi serasında bulunan havuzdan alınmıştır. pH ölçümü için Consort C535 marka pH metre kullanılmıştır.

3.3 Deney Yöntemi

3.3.1 *Lemna minor*'ün deneye hazırlanması

Deneye başlarken, herbirinin 3 yapraklı ve kök yapısının tam olmasına dikkat edilerek, daha öncesinde bir deney için Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi'ne ait olan serada yetiştirilmiş su mercimeklerinden 7 adet seçilerek 21 adet *Lemna minor* yaprağı toplanmıştır. Deney sırasında, dışarıdan gelebilecek bir organizma tarafından kontamine olması engellenmiştir.

Bu deneyde toksik madde olarak kadmiyum klorür ($\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), demir sülfat (FeSO_4) ve bu metallerin karışımı kullanılmıştır. Çözeltilerin hazırlanmasında, kullanılan cam malzemeler büyüklük olarak yeterli ve kimyasal olarak aktif değildir. Tüm malzemeler % 30'luk HCl ve aseton ile temizlemiş ve saf su ile durulanmıştır.

3.3.2 Stok çözeltilerin hazırlanması

Kadmiyum klorür bir sulu ($\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ve demir sülfat (FeSO_4) metalleri litrede 1 gram demir ve kadmiyum olacak şekilde tartılıp cam şişelerde distile su ile çözülüp ve deney çözeltileri ise seyreltme suyuna belirlenen miktarlarda stoklardan ilave edilerek hazırlanmıştır. 5 farklı konsantrasyon oluşturulmuş ve *Lemna minor* yaprakları bu çözeltilerde 7 gün süresince izlenmiştir. pH'nin *Lemna* türlerinde metal alımlarında belirleyici bir oyanması dolayısıyla deneyde kullanılacak çözeltilerin pH'lerinin 7 olmasına özen gösterilmiştir (Verma vd. 2015).

3.4 EC₅₀ Değerlerinin Hesaplanması

EC₅₀ değerinin hesaplaması için, kültürden yaklaşık aynı ölçülerde, her biri 3 yaprak içeren 7 bitki (toplamda 21 yaprak) seçilerek, sterilize edilmiş 250 mL'lik cam beherlere 1 hafta süresince alıştırmıştır. Test ortamına alıştırmış su mercimekleri, EPA'nın önerdiği prosedür göz önüne alınarak ilk olarak 0.1, 1.0, 10, 100 ve 1.000 mg/L'lik konsantrasyonlara maruz bırakılmıştır. Aynı deney koşullarında bir de kontrol grubu kullanılmıştır (Anonymous 1996). Daha sonra bu aralıklarda her bir metal için 5 farklı konsantrasyon belirlenerek deneye devam edilmiş ve su mercimeği üzerinde bu metallerin 7. gün sonunda EC₅₀ değerleri tespit edilmiştir

3.5 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

3.5.1 Ortalama spesifik büyüme oranı

Her bir kontrol grubu ve her bir konsantrasyondaki ortalama büyüme oranlarını hesaplamak için kontrol, Fe ve Cd'un farklı konsantrasyonuna maruz kalmış örneklerdeki yaprakların her bir gözlem zamanındaki sayısı, zamana göre yarı logaritmik grafikte yerine konulmuş ve büyüme eğrisi oluşturulmuştur.

Belirli zamandaki ortalama büyüme oranı denklemlerden gelen logaritmik büyüme eğrisinin eğimi olarak hesaplanır. Bu denklem aşağıda gösterilmiştir:

$$\mu_{i-j} = \ln(N_j) - \ln(N_i) / t_j - t_i$$

- μ_{i-j} : i zamanından j zamanına kadar ortalama spesifik büyüme oranı.
- N_i : i zamanında kontrol ya da test kaplarında gözlenen yaprak sayısı.
- N_j : j zamanında kontrol ya da test kaplarında gözlenen yaprak sayısı.
- t_i : Periyodun başladığı zaman.
- t_j : Periyodun sonlandığı zaman.

3.5.2 Biyokütle İnhibisyon Hesabı

Aşağıdaki formül yardımı ile biyokütle inhibisyon hesabı yapılır.

$$\% Ib = (bc - bt) / bc \times 100$$

- % Ib: Biyokütle azalma yüzdesi
- bc : Kontrol grubu için; $\ln(\text{son biyokütle}) - \ln(\text{başlangıç biyokütlesi})$
- bt: Metale maruz bırakılan grup için; $\ln(\text{son biyokütle}) - \ln(\text{başlangıç biyokütlesi})$

Deney sonuçları SPSS 17.0 programında probit testi yapılarak analiz edilmiştir. Değişimler, herbir metal ve karışımlarının farklı konsantrasyonları için karşılaştırmalı olarak grafikler düzeyinde verilmiş ve yorumlar görsel olarak desteklenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kadmiyum, demir ve kadmiyum-demir karışımınının 5 farklı konsantrasyonu *Lemna minor* bitkisine uygulanmış ve 7 günlük büyüme oranları, biyokütle inhibisyon oranları ve probit regresyon analizi ile EC₅₀ değerleri hesaplanmıştır.

Yapılan bu biyodenedeyde, deneyin yapıldığı şekil ve şartlarda kontrol grubu kullanılmıştır. Her bir kontrol grubunda, metal konsantrasyonlarına maruz bırakılan deney gruplarında olduğu gibi 7 adet 3 yapraklı *Lemna minor* sucul bitkisi kullanılmıştır. Kontrol grubu ile Fe, Cd ve Cd+Fe karışımının farklı konsantrasyonlarına maruz bırakılan gruplar arasındaki değişimler deney süresince karşılaştırılmıştır.

Deney boyunca kontrol gruplarında, doğal süreçlerde gözleendiği gibi *Lemna minor*'ün yaprak sayılarında artış ve sararmalar gözlenmiş ve yüksek konsantrasyonda metale maruz bırakılan gruplarda sararan yaprak sayısında artma ve yaprak sayısındaki artış miktarının azaldığı görülmüştür. Metal maruziyetine bırakılan her grupta oluşan yeni yaprakların çoğunun renginin sarı olduğu gözlenmiştir.

Ön deney çalışmasının ardından ara konsantrasyonlar belirlenerek asıl deney aşamasına geçilmiştir. Ana deney de ön deney gibi 3 tekrarlı şekilde gerçekleştirilmiş ve her konsantrasyonda, yaprak sayısındaki artış, ortalama büyüme oranları ve biyokütle inhibisyon oranları hesaplanmıştır (Çizelge 4.1-4.9).

4.1 Büyüme Oranı ve Biyokütle İnhibisyon Hesabı

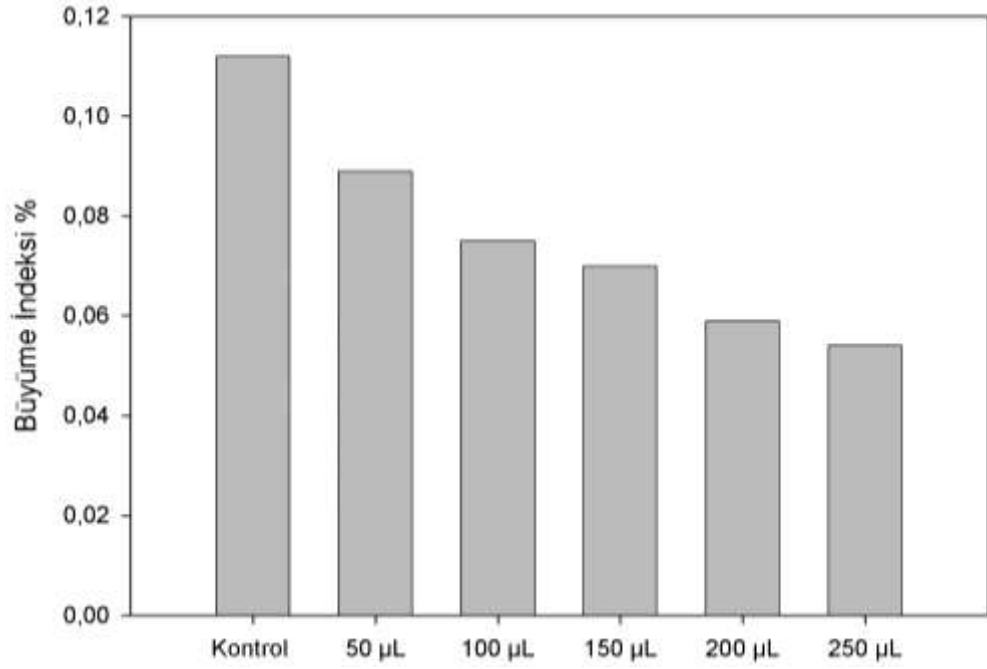
7 gün boyunca 50 µL ile 250 µL arasında Cd'nin değişen konsantrasyonlarında yaprak artışıdaki miktarlar ve büyüme oranları sırasıyla aşağıda çizelge 4.1-4.2'de tablolar halinde özetlenmiş ve şekil 4.1'de büyüme oranları grafik halinde gösterilmiştir. Canlılar için toksik etkiye sahip kadmiyumun konsantrasyonu arttıkça yaprak sayısında düşüş gözlenmiş ve buna paralel olarak kontrol grubunda 0,112 olan büyüme oranınının 250 µL'de 0,054'e kadar düzenli olarak azaldığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.1 Cd maruziyetindeki *Lemna minor* yapraklarının artış miktarı (7 gün)

Yaprak Artışı							
Konsantrasyon	I. Gün	II. Gün	III. Gün	IV. Gün	V. Gün	VI. Gün	VII. Gün
Kontrol	0	2	3	9	10	18	20
50µL	0	2	3	6	9	11	15
100µL	0	2	2	5	6	7	12
150µL	0	2	2	6	7	9	11
200µL	0	2	2	5	6	8	9
250µL	0	1	1	4	5	6	8

Çizelge 4.2 Cd maruziyetindeki su mercimeklerinin 7. gün sonundaki büyüme oranları

Konsantrasyon	Büyüme oranları
Kontrol Grubu	0,112
50 µL	0,089
100 µL	0,075
150 µL	0,070
200 µL	0,059
250 µL	0,054

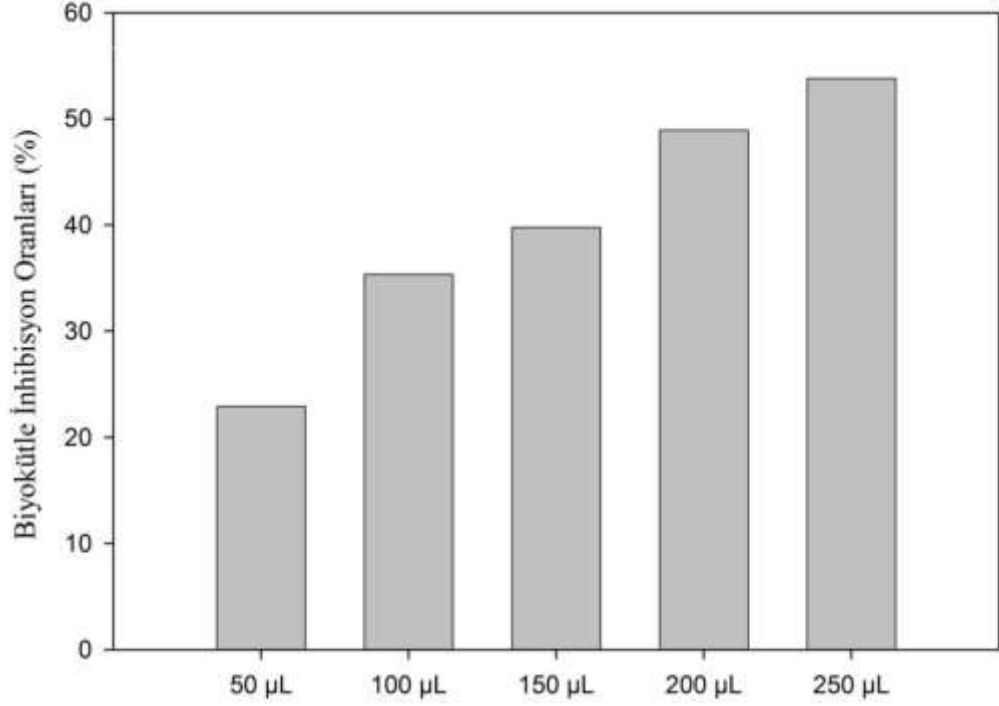


Şekil 4.1 Cd etkisinde su mercimeklerinin 7. gün sonundaki büyüme oranları

Biyokütle inhibisyon oranlarının, büyüme oranlarına paralel olarak Cd konsantrasyonu arttıkça azaldığı hesaplanmış ve elde edilen veriler çizelge 4.3’de tablo halinde özetlenmiştir. Şekil 4.2’de biyokütle inhibisyon oranları grafik halinde gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 Cd etkisinde su mercimeklerinin 7. gün sonundaki biyokütle inhibisyon oranları

Konsantrasyon	Biyokütle inhibisyon oranları
50 µL	% 22,89
100 µL	% 35,34
150 µL	% 39,77
200 µL	% 48,93
250 µL	% 53,79



Şekil 4.2 Cd etkisinde su mercimeklerinin 7. gün sonundaki biyokütle inhibisyon oranları

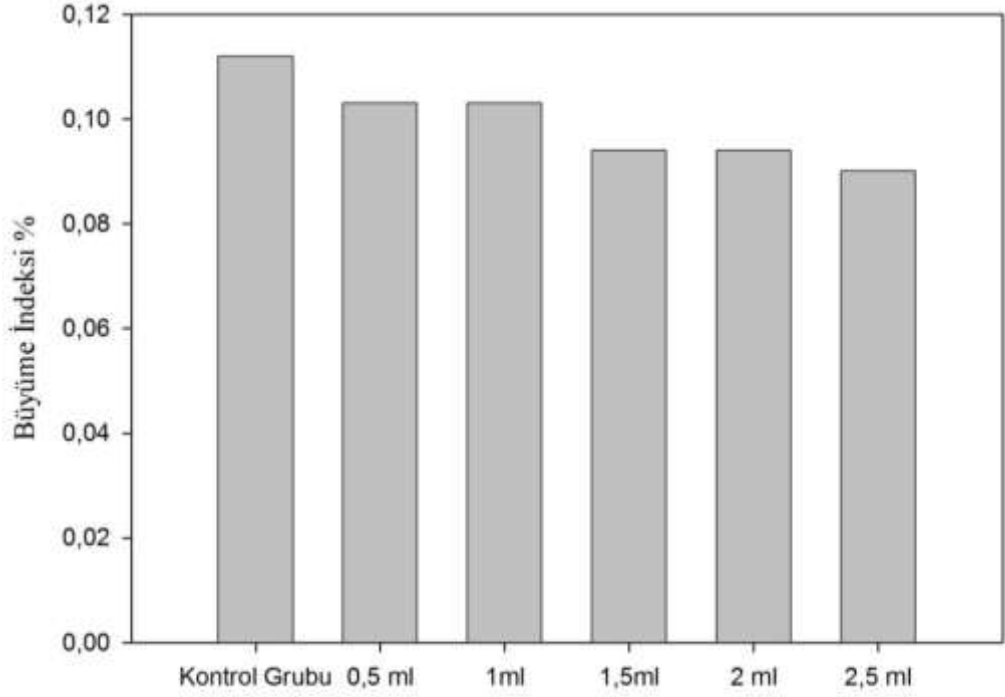
7 gün boyunca demirin artan konsantrasyonlarına (0,5 mL-2,5 mL) maruz bırakılan *Lemna minor* sucul bitkisinin yaprak sayısındaki değişimler ve büyüme oranları sırasıyla Çizelge 4.4-4.5’de özetlenmiş ve büyüme oranları grafik olarak şekil 4.3’de verilmiştir. Canlılar için esansiyel bir metal olan demirin yaprak sayısındaki artış ve büyüme oranlarında kontrol grubuna göre ciddi derecede azalma gözlenmemiştir (Xing ve Liu 2011).

Çizelge 4.4 Fe maruziyetindeki *Lemna minor* yapraklarının artış miktarı (7 gün)

Konsantrasyon	Yaprak Artışı						
	I.gün	II.gün	III.gün	IV.gün	V.gün	VI. Gün	VII. Gün
Kontrol	0	2	3	9	10	18	20
0,5 mL	0	2	3	5	12	16	18
1 mL	0	1	3	5	9	11	18
1,5 mL	0	1	2	4	9	13	16
2 mL	0	0	3	5	10	14	16
2,5 mL	0	1	2	5	8	10	15

Çizelge 4.5 Fe maruziyetindeki su mercimeklerinin 7. gün sonundaki büyüme oranları

Konsantrasyon	Büyüme oranları
Kontrol Grubu	0,112
0,5 mL	0,103
1mL	0,103
1,5mL	0,094
2 mL	0,094
2,5 mL	0,090

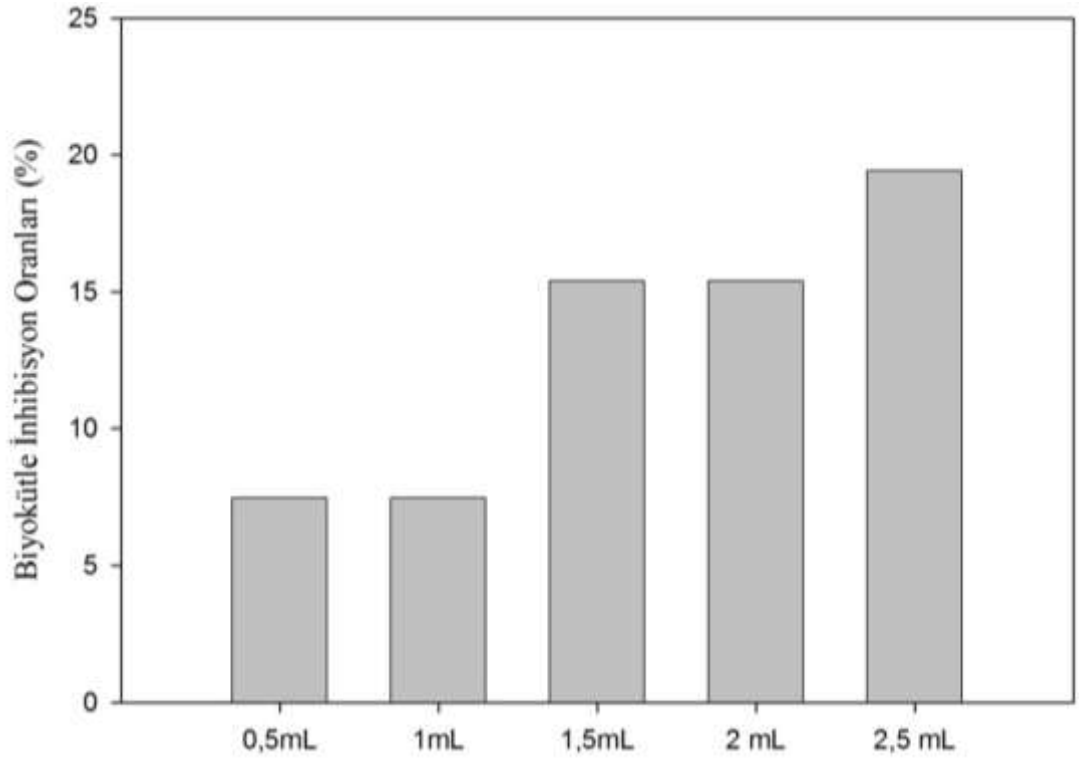


Şekil 4.3 Fe etkisinde su mercimeklerinin 7. gün sonundaki büyüme oranları

Demirin farklı konsantrasyonlarına (0,5 mL-2,5 mL) maruz kalan *L. minor*'ün biyokütle inhibisyon oranları çizelge 4.6'da özetlenmiştir. Artan konsantrasyonlarda biyokütle inhibisyon oranları % 7,47'den (0,5 mL) %19,43'e (2,5 mL) kademeli bir artış göstermiştir.

Çizelge 4.6 Fe etkisinde su mercimeklerinin 7. gün sonundaki biyokütle inhibisyon oranları

Konsantrasyon	Biyokütle inhibisyon oranları
0,5 mL	% 7,47
1 mL	% 7,47
1,5 mL	% 15,40
2 mL	% 15,40
2,5 mL	% 19,43



Şekil 4.4 Fe etkisinde su mercimeklerinin 7. gün sonundaki biyokütle inhibisyon oranları

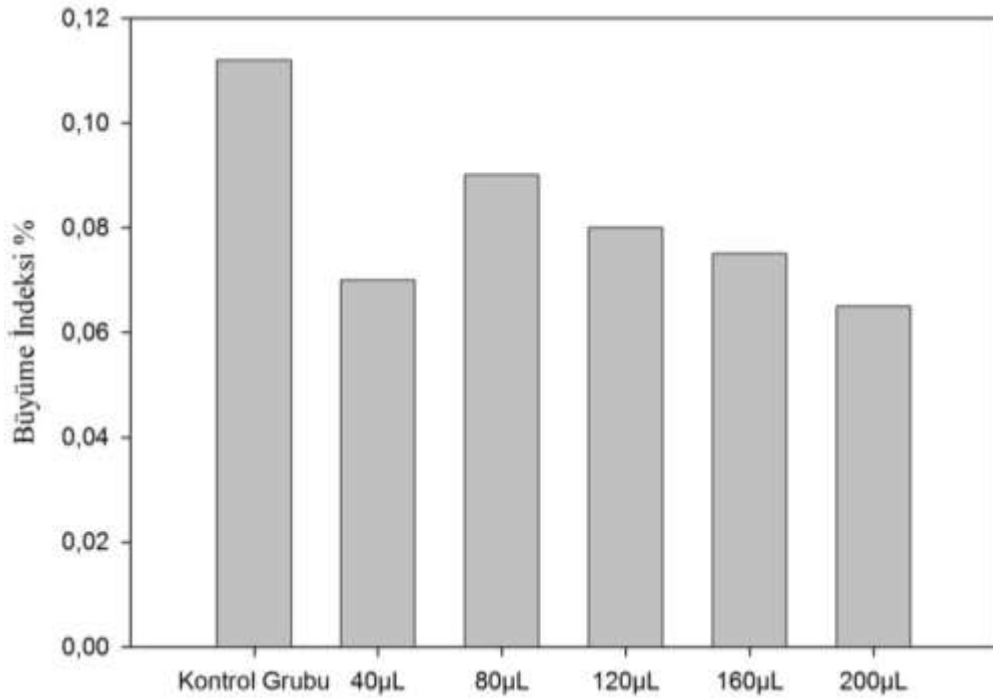
Cd+Fe karışımının kademeli olarak artan konsantrasyonlarına (40 μ L-200 μ L) maruz kalan *Lemna minor*'ün yaprak sayılarındaki değişim çizelge 4.7'de özetlenmiş ve büyüme oranları çizelge 4.8'de verilmiştir. Yaprak sayısı 40 μ L'de ani bir düşüş göstermiştir. Diğer konsantrasyonlarda yaprak sayılarında kademeli bir azalış gözlenmiştir.

Çizelge 4.7 Cd+Fe maruziyetindeki *Lemna minor* yapraklarının artış miktarı (7 gün)

Yaprak Artışı							
Konsantrasyon	I. Gün	II. Gün	III. Gün	IV. Gün	V. Gün	VI. Gün	VII. Gün
Kontrol	0	2	3	9	10	18	20
40 μ L	0	0	1	3	7	8	11
80 μ L	0	0	2	4	9	10	15
120 μ L	0	0	1	5	8	10	13
160 μ L	0	0	1	4	8	10	12
200 μ L	0	0	1	4	8	9	10

Çizelge 4.8 Cd+Fe maruziyetindeki *Lemna minor*'ün 7. gün sonundaki büyüme oranları

Konsantrasyon	Büyüme oranları
Kontrol Grubu	0,112
40 μ L	0,070
80 μ L	0,090
120 μ L	0,080
160 μ L	0,075
200 μ L	0,065

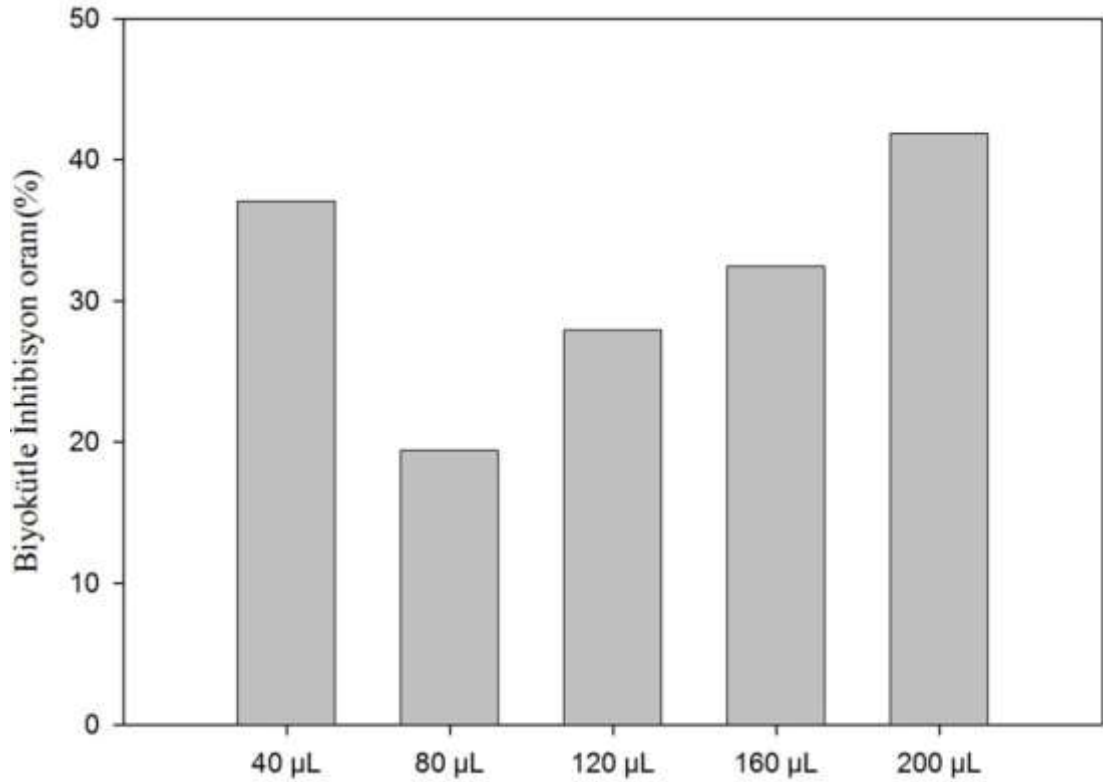


Şekil 4.5 Cd+Fe etkisinde *Lemna minor*'ün 7. gün sonundaki büyüme oranları

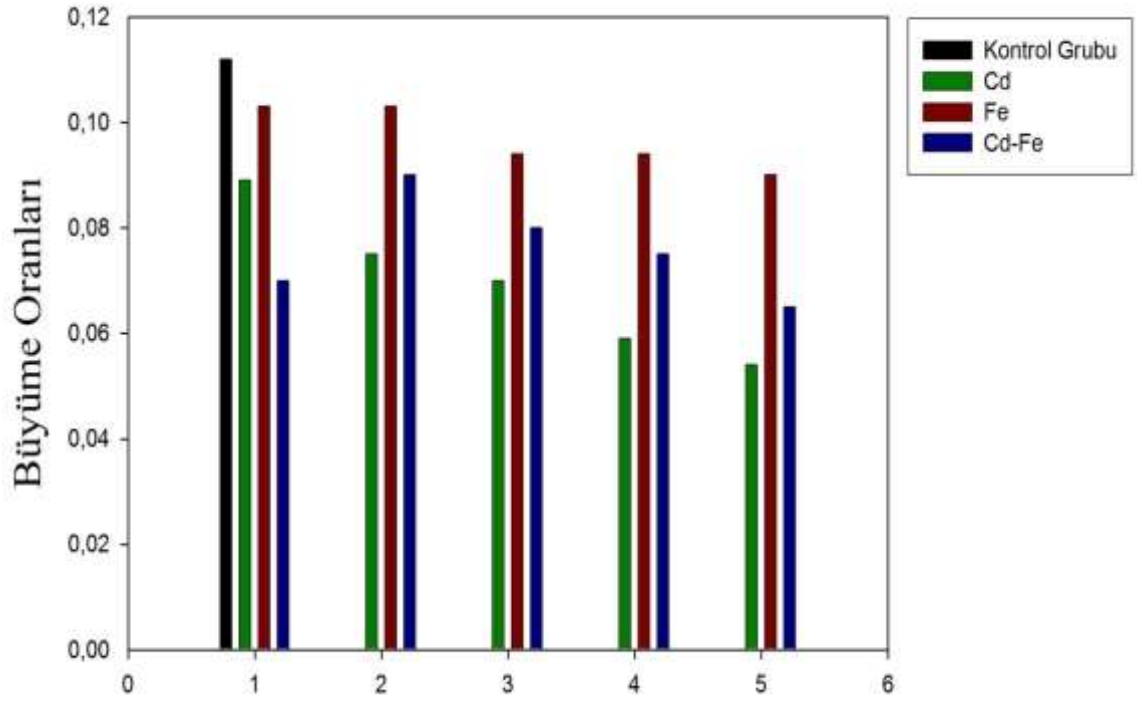
Cd+Fe karışımının artan konsantrasyonlarına maruz kalan *Lemna minor* bitkisinin biyokütle inhibisyon oranları çizelge 4.9’da özetlemiş olup, şekil 4.6’da grafik olarak gösterilmiştir. Elde edilen bulgularda 40 µL Cd+Fe karışımına maruz kalan bitkinin biyokütle inhibisyon oranının ani bir yükselme gösterdiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.9 Cd+Fe etkisinde *Lemna minor*’ün 7. gün sonundaki biyokütle inhibisyon oranları

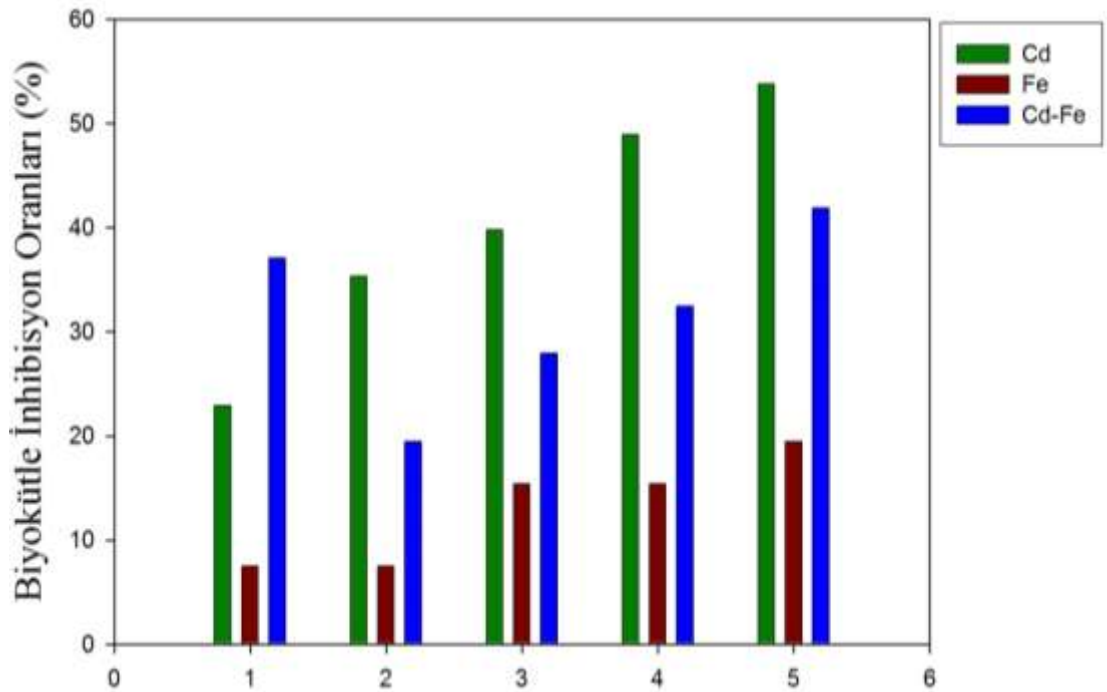
Konsantrasyon	Biyokütle inhibisyon oranları
40 µL	% 37,07
80 µL	% 19,43
120 µL	% 27,95
160 µL	% 32,44
200 µL	% 41,85



Şekil 4.6 Cd+Fe etkisinde *Lemna minor*’ün 7. gün sonundaki biyokütle inhibisyon oranları



Şekil 4.7 7 gün sonunda *Lemna minor* üzerine Cd, Fe ve Cd+Fe karışımların artan konstransyondaki karşılaştırmalı büyüme oranları



Şekil 4.8 7 gün sonunda *Lemna minor* üzerine Cd, Fe ve Cd+Fe karışımların artan konstransyondaki karşılaştırmalı biyokütle inhibisyon oranları

4.2 EC₅₀ Çalışması ve Sonuçları

Kadmiyum, demir (II) ve kadmiyum-demir karışımlarının farklı konsantrasyonlarının 7 gün sonunda *Lemna minor* bitkisi üzerinde EC₅₀ değeri probit analizi ile hesaplanmıştır. Yapılan probit analizi sonucunda Cd'nin, Fe'nin ve Cd+Fe karışımının EC₅₀ değerleri sırasıyla 190,429 µg/L, 3873,419 mg/L, 144,329 µg/L olarak bulunmuş ve Çizelge (4.13-4.15)'de tablo olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.10 Cd'nin farklı konsantrasyonlarının *Lemna minor* bitkisi üzerine etkileri

Konsantrasyon µg/L	Yaprak Sayısı	Sararan Yaprak Sayısı
Kontrol Grubu	50	16
50	50	18
100	50	24
150	50	26
200	50	25
250	50	25

Çizelge 4.11 Fe'nin farklı konsantrasyonlarının *Lemna minor* bitkisi üzerine etkileri

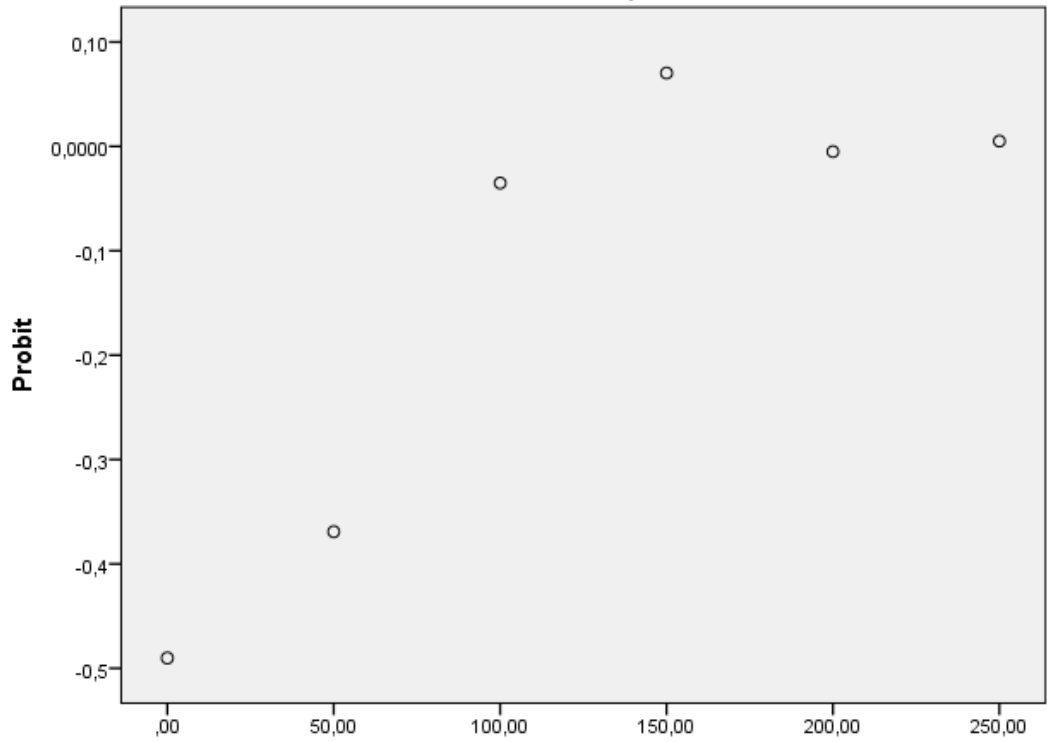
Konsantrasyon µg/L	Yaprak Sayısı	Sararan Yaprak Sayısı
Kontrol Grubu	50	16
80	50	19
160	50	17
240	50	17
320	50	18
400	50	17

Çizelge 4.12 Cd+Fe karışımının farklı konsantrasyonlarının *L. minor* bitkisi üzerine etkileri

Konsantrasyon µg/L	Yaprak Sayısı	Sararan Yaprak Sayısı
Kontrol Grubu	50	16
40	50	22
80	50	23
120	50	24
160	50	26
200	50	27

Çizelge 4.13 Cd'nin *Lemna minor* bitkisi üzerine etkisinin EC₅₀ değerleri

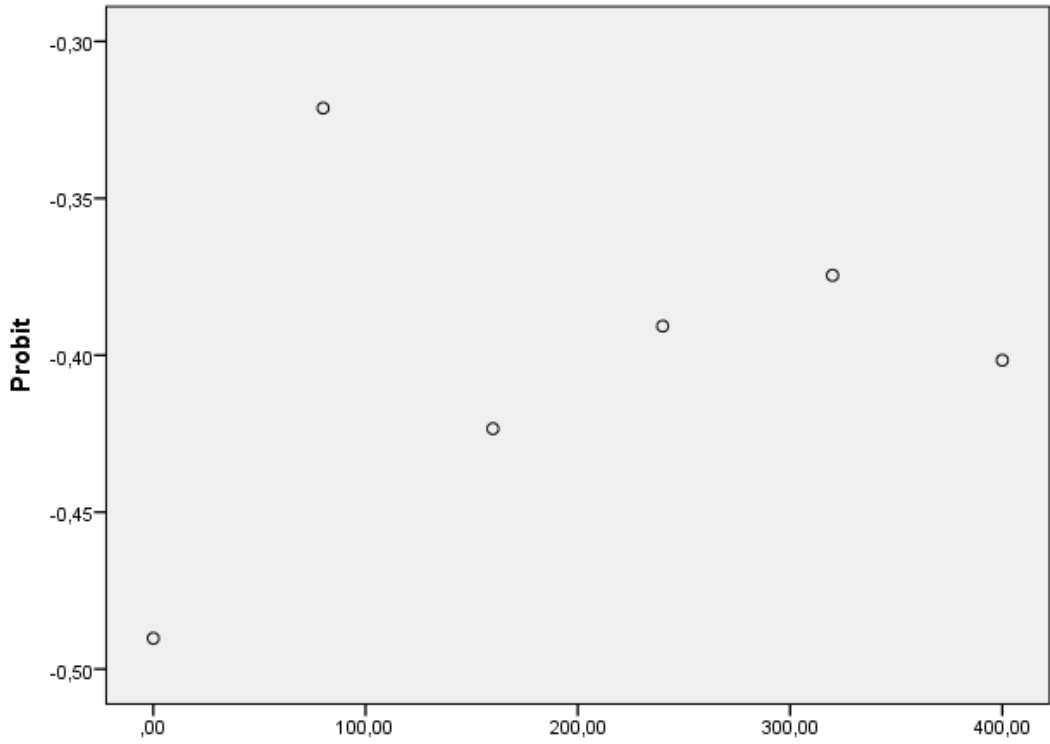
95% Cd için güven aralığı			
Nokta	EC değerleri	Alt sınır	Üst sınır
,010	-931,32	-5524,2	-454,16
,050	-602,71	-3771,4	-271,63
,100	-427,53	-2837,5	-173,72
,250	-134,81	-1280,8	-6,411
,500	190,429	121,28	506,972
,750	515,663	333,834	2209,91
,900	808,384	498,532	3769,21
,990	1312,18	778,284	6456,58



Şekil 4.9 *Lemna minor* üzerinde Cd metali için hesaplanan 7 günlük probit değerleri ve regresyon grafiği

Çizelge 4.14 Fe'nin *Lemna minor* bitkisi üzerine etkisinin EC₅₀ değerleri

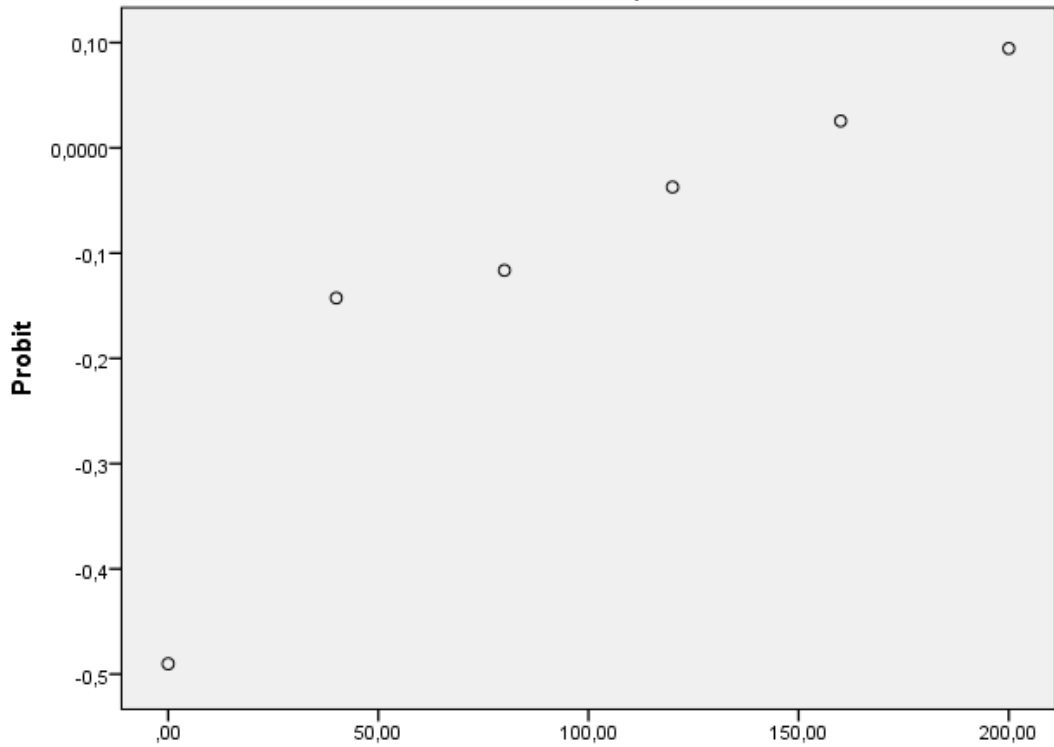
95% Fe için güven aralığı			
Nokta	EC değerleri	Alt sınır	Üst sınır
,010	-17501,1	.	.
,050	-11239,6	.	.
0,10	-7901,52	.	.
,250	-2323,82	.	.
,500	3873,419	.	.
,750	10070,65	.	.
,900	15648,36	.	.
,990	25247,98	.	.



Şekil 4.10 *Lemna minor* üzerinde Fe metali için hesaplanan 7 günlük probit değerleri ve regresyon grafiği

Çizelge 4.15 Cd+Fe karışımının *Lemna minor* bitkisi üzerine etkisinin EC₅₀ değerleri

95% Kadmiyum-demir karışımı için güven aralığı			
Nokta	EC değerleri	Alt sınır	Üst sınır
,010	-795,535	-5853,52	-381,564
,050	-520,206	-4026,61	-231,719
,100	-373,429	-3053,14	-151,38
,250	-128,171	-1429,28	-14,387
,500	144,329	85,023	427,749
,750	416,828	265,613	2203,6
,900	662,086	400,928	3829,14
,990	1084,193	630,669	6629,958



Şekil 4.11 *Lemna minor* üzerinde Cd+Fe karışımı için hesaplanan 7 günlük probit değerleri ve regresyon grafiği

Hesaplanan Fe'nin, Cd'nin ve Cd+Fe karışımının EC₅₀ değerleri çizelge 4.16'da özetlenmiştir. Fe, Cd ve Cd+Fe karışımlarının 7 gün sonunda EC₅₀ değerleri sırasıyla,

3873,4 µg/L, 190,4 µg/L, 144,3 µg/L olarak bulunmuş ve toksisite sıralaması Fe<Cd<Cd+Fe şeklinde oluşmuştur.

Çizelge 4.16 Fe, Cd ve Cd+Fe karışımlarının 7 gün sonundaki EC₅₀ değerleri

Ağır Metaller	Fe	Cd	Cd+Fe
EC ₅₀	3873,4 µg/L	190,4 µg/L	144,3 µg/L

Cd, Avrupa Komisyonuna göre sucul ekosistemleri tehdit eden tehlikeli bir ağır metaldir (Anonymous 2007). Suda çözünürlüğü çok yüksek olan Cd, canlı yapısına kolay bir şekilde girer. İlk olarak sudaki mikroorganizmalara ardından besinler aracılığıyla hayvan ve insanlara geçmektedir. Cd hücre dejenerasyonu, hücre dengesinin bozulması (Pinto vd. 2003), DNA yapısında bozulmalar (Badisa vd. 2007) gibi canlı yaşamı için hayati öneme sahip fizyolojik yapılarda ciddi etkilere sahiptir. Bu sebeplerden dolayı, Cd'nin esansiyel bir metal olan Fe'ye oranla çok daha toksik olduğu beklenildiği sonuçlar dahilinde bulunmuştur. Esansiyel bir metal olan Fe ve esansiyel olmayan Cd'nin sinerjistik bir etki göstermiş olduğu saptanmıştır.

Gerçekleştirilen çeşitli deneyler sonucunda farklı veya aynı tür üzerinde yapılan çalışmalarda EC₅₀ değeri, ortam sıcaklığı, deneyde kullanılan canlının büyüklüğü, ortamın pH'ı gibi faktörler nedeniyle farklılık gösterebilmektedir. Huebert ve Shay (1991) *Lemna trisulca* üzerinde 13 gün boyunca Cd'nin toksik etkilerini araştırmış ve EC₅₀ değerini 76 ppm olarak bulmuşlardır. Devi vd. (1996) tarafından Cd'nin *Lemna gibba* üzerine 7 günlük EC₅₀ değerini 800 ppb olarak tespit etmişlerdir. Muysen ve Janssen (2004) indikatör bir tür olan *Daphnia* üzerinde Cd'nin EC₅₀ değerini 615 µg/L olarak tespit etmişlerdir. Boonyapookana vd. (2002) *Wolffia globosa* üzerinde Cr ve Cd ağır metallerinin toksik etkileri değerlendirilmiş, 3, 6 ve 9. günlerdeki Cd'nin EC₅₀ değerlerini sırasıyla, 48,9 mg/L, 3,3 mg/L, and 1,5 mg/L olarak bulmuşlardır. Mohan ve Hosetti (2006) *Salvia natans* üzerinde Cd'nin 4 gün sonunda toksik etkisini değerlendirmiş ve 48 saatlik Cd'nin EC₅₀ değerini 0,476 mg/L olarak bulmuşlardır. Drost vd. (2007) *Lemna minor* üzerinde yaptıkları çalışmada Cd için EC₅₀ değeri 1.9 µM olarak bulunmuştur. Ferreira vd. (2008) yaptıkları bir çalışmada *D. magna*

üzerinde Cd'nin farklı konsantrasyonlarını denemiş ve 24 saatlik EC₅₀ değerini 35 µg/L olarak tespit etmişlerdir. Gopalapillai ve Hale (2015) *Lemna minor* üzerinde yaptıkları çalışmada Cd'nin EC₅₀ değerini 34 µg/L olarak tespit etmişlerdir. Horemans vd. (2015) *Lemna minor* üzerinde yaptıkları 7 günlük büyüme inhibisyon deneyi sonucunda Cd'nin EC₅₀ değerini 24,1 µM olarak tespit etmişlerdir. Yapılan bu tez çalışmasında Cd için hesaplanan 7 günlük EC₅₀ değeri 190,426 µg/L hesaplanmıştır, Drost'un (2007) çalışması ile uyumlu bir sonuç göstermiştir.

Haghiri (1974) Bitkilerin yaşam alanlarında yüksek miktarda Cd bulunması organizmaya Fe alınımını azalttığını belirtmiştir. Fe eksikliği de yapraklarda kloroza neden olabildiği bilinmektedir (Das vd. 1997). Yapılan bu tez çalışmasında *Lemna minor* üzerinde Fe'nin farklı konsantrasyonları denenmiş ve EC₅₀ değeri 3873,4 mg/L olarak tespit edilmiştir.

Su mercimeği ile yapılan toksisite çalışmalarında (EC₅₀) metallerin genellikle tek tek etkileri araştırılmıştır. Oysaki ağır metaller tarafından kirletilmiş sucul ekosistemlerde genellikle metaller karışım halindedirler. Bu çalışmada metallerin tek tek etkileri yanında karışımlarının farklı konsantrasyonlarının etkisi de incelenmiştir. Doğal tatlısu ekosistemlerinde metaller birbiri ile etkileşim içindedirler ve birbirleri üzerinde antagonistik veya sinerjistik etki gösterebilmektedirler. Örneğin civa-nikel, bakır-nikel karışımları birçok sucul tür üzerinde sinerjistik etki gösterirken, nikel-kadmiyum-civa, çinko-nikel ve nikel-kadmiyum karışımlarında genellikle antagonistik etki gösterirler (Moore 2012). Huebert ve Shay (1992) *Lemna trisulca* üzerinde Zn ve Cd'nin toksik etkilerini araştırmış ve çinkonun artan konsantrasyonlarında Cd'nin bitkinin üremesi üzerindeki inhibe etme özelliğini azalttığını saptamışlardır. John. vd. (2008) *Lemna polyrrhiza* bitkisini Pb ve Cd'nin farklı konsantrasyonlarına maruz bırakmışlardır. 1, 10, 20 mg/L'de Cd ve Pb sinerjistik bir etki gösterirken 30 ve 40 mg/L'de antagonistik bir etki göstermiştir. Metallerin birbirleriyle ve etki ettikleri organizmalar üzerinde yaptıkları etki birbirinden farklı sonuçlar gösterebilir. Yapılan bu biyodeneş sonucunda kadmiyum demir karışımının sinerjistik bir etki göstererek kadmiyum ve demirden daha toksik olduğu EC₅₀ (144,3 µg/L) çalışması sonucu ortaya konmuştur. Bu durum

ekosistemde tek başına bulunmayan ağır metallerin toksisite çalışmalarında karışımlarının çalışılmasının daha sağlıklı sonuçlar verebileceği söylenebilir.

Deney sonucunda büyüme oranları ve biyokütle hesaplamaları sonucunda elde edilen veriler birbiri ile uyumlu sonuçlar göstermiştir. Taklec vd. (2008) ise CdCl₂'ü *Lemna minor* üzerinde denemiş ve her iki günde bir büyüme oranlarını hesaplayıp deney sonucunda büyüme oranının % 54 oranında azaldığını ortaya koymuşlardır. Megateli vd. (2009) Cd, Cu, ve Zn ağır metallerinin *Lemna gibba*'nın büyümesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. 4 gün sonunda 10⁻³-10⁻¹ mg/L Cd konsantrasyonlarında büyümeyi % 25-100 arasında inhibe ettiğini gözlemlemişlerdir. Yapılan bu tez çalışmasında, 250 µL Cd maruziyetinde biyokütle inhibisyon oranı 7. günün sonunda % 53,79 bulunmuş olup bu çalışmalar birbirleriyle paralellik göstermektedir. 2,5 mL Fe maruziyetinde 7 gün sonunda biyokütle inhibisyon oranı % 19,43, 200 µL Cd+Fe karışımında % 41,85 olarak bulunmuştur. 40 µL Cd+Fe maruziyetinde biyokütle inhibisyon oranı (% 37,07) daha yüksek konsantrasyonlardaki oranlara göre çok yüksek bulunmuştur. Bu durum John vd. (2008) yaptıkları çalışmada *Lemna polyrrhiza*'da düşük dozlarda Cd'nin ve Pb'nin daha çok sinerjistik bir etki gösterdiğini belirttiği çalışma ile benzerlik göstermektedir.

6.SONUÇ

Günümüzde insan etkisi ile ortaya çıkan ağır metal kirliliği ekosistemlerde bulunan ağır metal konsantrasyonunun günden güne artmasına neden olmaktadır. Düşük konsantrasyonlarda dahi canlılara ciddi derecede olumsuz etkilere sahip ağır metallerin, özellikle sucul ekosistemlere kolayca karışabilmesi nedeniyle canlılar için oldukça tehdit edicidir. Sucul bitkiler de ekosistemlerinde ağır metallerle ilk olarak temasta bulunan canlılardır (Singh 2006).

Yapılan bu çalışmada, metal biriktirme yeteneğine sahip olduğu bilinen *Lemna minor* sucul bitkisinin esansiyel ve esansiyel olmayan elementlerle (Fe, Cd) ve bunların karışımı ile nasıl bir etkileşime girdiğini ve nasıl etkilendiği ortaya konmuştur. Yapılan çalışma sonunda kadmiyumun toksik etkisinin demire oranla çok daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Ekonomik bir öneme sahip olma potansiyeli ve bünyelerinde metalleri biriktirebildiği bilinen *Lemna minor* günümüz toksikoloji çalışmalarında ön plana çıkmıştır. Ağır metalleri bünyesinde biriktirme yeteneği olan bu canlının bu metallerden nasıl etkilendiği de ayrıca merak konusudur. Doğada metaller tek tek değil karışım halinde bulunmaktadır. Bu çalışmada araştırılan Fe ve Cd metallerinin aynı sulak alanda bir arada bulunması durumunda *Lemna minor* bitkisi üzerinde toksik etkisini arttırdığı (sinerjistik) tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Altınyar, G. 1988. Su Yabancıotları. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı, 124-127, Ankara.
- Anonim. 1998. T.S.E Su Kirliliği Kontrolü, Metod ve Kuralları, Zehirlilik Denemeleri, ANKARA
- Anonim. 2015a. Web Sitesi: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kadmiyum>, Erişim Tarihi: 27.04.2015.
- Anonim. 2015b. Web Sitesi: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Demir>, Erişim Tarihi: 27.04.2015.
- Anonymous. 1990a. Water Pollution Control Federation (WPCF). Natural systems for wastewater treatment. Manual of practice FD-16. Alexandria, VA.
- Anonymous. 1990b. PRISM. 1990. Shobuj Shona Progress Report 3. Bangladesh.
- Anonymous. 1996. Ecological Effects Test Guidelines. Aquatic Plant Toxicity Test Using *Lemna* spp., Tiers I and II, EPA712-C-96-156.
- Anonymous. 2002. Guidelines for the testing of chemicals. *Lemna* sp. Growth Inhibition Test, Draft guideline, 221.
- Anonymous 2007 Framework for Metals Risk Assessment. Risk Assessment Forum EPA-120/R-07/001.U.S.EPA, Washington DC, USA.
- Anonymous. 2015a. Web Sitesi: <http://www.iucnredlist.org/details/164057/0>, Erişim Tarihi: 25.04.2015.
- Anonymous. 2015b. Web Sitesi: <http://en.wikipedia.org/wiki/Lemnoideae>, Erişim Tarihi: 26.04.2015.
- Antón, A., Serrano, T., Angulo, E., Ferrero, G. ve Rallo, A. 2000. The use of two species of crayfish as environmental quality sentinels: the relationship between heavy metal content, cell and tissue biomarkers and physicochemical characteristics of the environment. The Science of the Total Environment, 247, 239-251.
- Axtell, N.R., Sternberg, S.P.K. ve Claussen, K. 2003. Lead and nickel removal using *Microspora* and *Lemna minor*. Bioresource Technology, 89(1), 41-48.

- Badisa, V.L., Latinwo, L.M., Odewumi, C.O., Ikediobi, C.O., Badisa, R.B., Ayuk-Takem, L.T. ve West, J. 2007. Mechanism of DNA damage by cadmium and interplay of antioxidant enzymes and agents. *Environmental Toxicology*, 22(2), 144-151.
- Baranski, B. 1985. Effect of exposure of pregnant rats to cadmium on prenatal and postnatal development of the young. *Journal of Hygiene, Epidemiology, Microbiology and Immunology* 29, 253-262.
- Bekcan, S., Atar, H.H. ve Beyaz, A. 2009. Measurement of the effects of liquid fertilizers at the different levels on duckweed (*Lemna Minor* L.) growth using image analysis technique. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 23(2), 1205-1209.
- Bošnjir, J. ve Čulig, J. 2005. *Metals and Semimetals in The Environment*. Zdravstveno veleuciliste, 82, Zagreb.
- Boonyapookana, B., Upatham, S.E., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P. ve Singhakaew, S. 2002. Phytoaccumulation and phytotoxicity of cadmium and chromium in duckweed *Wolffia globosa*. *International Journal of Phytoremediation* 4, 87–100.
- Canli, M., Ay, O. ve Kalay, M. 1998. Levels of heavy metals (Cd, Pb, Cu, and Ni) in tissue of *Cyprinus carpio*, *Barbus capito* and *Chondrostoma regium* from the Seyhan river. *Turkish Journal of Zoology*, 22 (3), 149-157.
- Conacher, H.B., Page, B. D. ve Ryan, J.J. 1993. Industrial chemical contamination of foods [Review]. *Food Additives & Contaminants*, 10 (1), 129-143.
- Das, P., Samantaray, S. ve Rout, G.R. 1997. Studies on cadmium toxicity in plants: a review. *Environmental Pollution*, 98(1), 29-36.
- Devi, M., Thomas, D.A., Barber, J.T. ve Fingerman, M. 1996. Accumulation and physiological and biochemical effects of cadmium in a simple aquatic food chain. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 33(1), 38-43.
- Dirilgen, N. 2001. Accumulation of heavy metals in freshwater organisms: Assessment of toxic interactions. *Turkish Journal of Chemistry*, 25 (3), 173-179.
- Doncheva, S., Nicolov, B. ve Ogneva, V. 1996. Effect of copper excess on the morphology of the nucleus in maize root meristem cells, *Physiology Plantarum*, 96, 118-122.
- Drost, W., Matzke, M. ve Backhaus, T. 2007. Heavy metal toxicity to *Lemna minor*: studies on the time dependence of growth inhibition and the recovery after exposure. *Chemosphere*, 67(1), 36-43.
- Duffus, J.H. 2002. "Heavy metals" a meaningless term? (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 74(5), 793-807.

- Farombi, E.O., Adelowo, O.A. ve Ajimoko, Y.R. 2007. Biomarkers of oxidative stress and heavy metal levels as indicators of environmental pollution in African cat fish (*Clarias gariepinus*) from Nigeria Ogun River. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 4(2), 158-165.
- Ferreira, A.L., Loureiro, S. ve Soares, A.M. 2008. Toxicity prediction of binary combinations of cadmium, carbendazim and low dissolved oxygen on *Daphnia magna*. *Aquatic Toxicology*, 89(1), 28-39.
- Fleischer, M., Sarofim, A.F., Fassett, D.W., Hammond, P., Shacklette, H.T., Nisbet, I.C. ve Epstein, S. 1974. Environmental impact of cadmium: a review by the panel on hazardous trace substances. *Environmental Health Perspectives*, 7, 253.
- Garnczarska, M. ve Ratajczak, L. 2000. Metabolic responses of *Lemna minor* to lead ions I. Growth, chlorophyll level and activity of fermentative enzymes. *Acta Physiologiae Plantarum*, 22(4), 423-427.
- Geoffroy, L., Frankart, C. ve Eullaffroy, P. 2004. Comparison of different physiological parameter responses in *Lemna minor* and *Scenedesmus obliquus* exposed to herbicide flumioxazin. *Environmental Pollution*, 131(2), 233-241.
- Gijzen, H.J. ve Khondker, M. 1997. An overview of the ecology, physiology, cultivation and applications of duckweed. Inception Report. Annex 1. Literature Review. Duckweed Research Project (DWRP), 53, Dhaka, Bangladesh.
- Gopalapillai, Y. ve Hale, B. 2015. Evaluating the concentration addition approach for describing expected toxicity of a ternary metal mixture (Ni, Cu, Cd) using metal speciation and response surface regression. *Environmental Chemistry*.
- Güler, Ç. 1997. Su kalitesi. T.C. Sağlık Bakanlığı, 62-64, Ankara
- Haghiri, F. 1974. Plant uptake of cadmium as influenced by cation exchange capacity, organic matter, zinc and soil temperature. *Journal of Environmental Quality*, 3, 180-183.
- Harris, J.E. 1992. Weathering of rock, corrosion of stone and rusting of iron. *Meccanica*, 27, 233-250.
- Hart, B.A. ve Scaife, B.D. 1977. Toxicity and bioaccumulation of cadmium in *Chlorella pyrenoidosa*. *Environmental Research*, 14, 401-413.
- Hillman, W.S. ve Culley Jr., D.D. 1978. The uses of duckweed. *American Scientist*, 66, 442-451.
- Horemans, N., Van Hees, M., Van Hoeck, A., Saenen, E., De Meutter, T., Nauts, R. ve Vandenhove, H. 2015. Uranium and cadmium provoke different oxidative stress responses in *Lemna minor* L. *Plant Biology*, 17(S1), 91-100.

- Hou, W., Chen, X., Song, G., Wang, Q. ve Chang, C.C. 2007. Effects of copper and cadmium on heavy metal polluted waterbody restoration by duckweed (*Lemna minor*). *Plant Physiology and Biochemistry*, 45(1), 62-69.
- Huebert, D.B. ve Shay, J.M. 1991. The effect of cadmium and its interaction with external calcium in the submerged aquatic macrophyte *Lemna trisulca* L. *Aquatic Toxicology*, 20(1), 57-71.
- Huebert, D.B. ve Shay, J.M. 1992. Zinc toxicity and its interaction with cadmium in the submerged aquatic macrophyte *Lemna trisulca* L. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 11(5), 715-720.
- Hutchinson, G.E. 1975. *A Treatise on Limnology: Vol. 3: Limnological Botany*. John Wiley & Sons, 660, New York.
- Iqbal, S. 1999. Duckweed aquaculture. Potentials, possibilities and limitations, for combined wastewater treatment and animal feed production in developing countries. SANDEC report, (6), Switzerland.
- John, R., Ahmad, P., Gadgil, K. ve Sharma, S. 2008. Effect of cadmium and lead on growth, biochemical parameters and uptake in *Lemna polyrrhiza* L. *Plant Soil and Environment*, 54(6), 262.
- Kennedy, C.D. ve Gonsalves, F.A.N. 1988. The action of divalent zinc, cadmium, mercury, copper and lead on the trans-root potential and efflux of excised roots. *Journal of Experimental Botany*, 38, 800-817.
- Kuhn, D.J. 1969. The duckweed. *The American Biology Teacher*, 31, 328– 329
- Le Faucheur, S., Schildknecht, F., Behra, R. ve Sigg, L. 2006. Thiols in *Scenedesmus vacuolatus* upon exposure to metals and metalloids. *Aquatic Toxicology*, 80(4), 355-361.
- Li, T.Y. ve Xiong, Z.T. 2004. Cadmium-induced colony disintegration of duckweed (*Lemna paucicostata* Hegelm.) and as biomarker of phytotoxicity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 59(2), 174-179.
- Lidon, F.C., Ramalho, J. ve Henriques, F.S. 1993. Copper inhibition of rice photosynthesis. *Plant Physiology*, 142, 12-17.
- Lin, R., Wang, X., Luo, Y., Du, W., Guo, H. ve Yin, D. 2007. Effects of soil cadmium on growth, oxidative stress and antioxidant system in wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.). *Chemosphere*, 69(1), 89-98.
- Megateli, S., Semsari, S. ve Couderchet, M. 2009. Toxicity and removal of heavy metals (cadmium, copper, and zinc) by *Lemna gibba*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(6), 1774-1780.

- Miretzky, P., Saralegui, A. ve Cirelli, A.F. 2004. Aquatic macrophytes potential for the simultaneous removal of heavy metals (Buenos Aires, Argentina). *Chemosphere*, 57, 997-1005.
- Mohan, B.S. ve Hosetti, B.B. 2006. Phytotoxicity of cadmium on the physiological dynamics of *Salvinia natans* L. grown in macrophyte ponds. *Journal of Environmental Biology*, 27(4), 701-704.
- Moore, J.W., ve Ramamoorthy, S. 2012. Heavy metals in natural waters: applied monitoring and impact assessment. Springer Science & Business Media, 174.
- Morse, S.B., Hardwick Jr, W.E. ve King, W.D. 1997. Fatal iron intoxication in an infant. *Southern Medical Journal*, 90(10), 1043-1047.
- Munzuroğlu, Ö. ve Geçkil, H. 2002. Effects of metals on seed germination, root elongation and coleoptile and hypocotyl growth in *Triticum aestivum* and *Cucumis sativus*. *Archives of Environmental Contamination & Toxicology*, 43, 203-213.
- Muysen, B.T. ve Janssen, C.R. 2004. Multi-generation cadmium acclimation and tolerance in *Daphnia magna* Straus. *Environmental Pollution*, 130(3), 309-316.
- Nasu, Y., Kugimoto, M., Tanaka, O., Yanase, D. ve Takimoto, A. 1984. Effects of cadmium and copper co-existing in the medium on the growth and flowering of *Lemna paucicostata* in relation to their absorption. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological*, 33(3), 267-274.
- Nussbaum, S., Shemutz, D. ve Brunold, C. 1988. Regulation of assimilatory sulfate reduction by cadmium *Zea mays* L. *Plant Physiology*, 88, 1407.
- Ouzounidou, G., Eleftheriou, E.P., ve Karataglis, S. 1992. Ecophysical and ultrastructural effects of copper in *Thlaspi ochroleucum* (Cruciferae). *Canadian Journal of Botany*, 70(5), 947-957.
- Örencik, S., Karatüfençki, M. ve Güreşçi L.U. 1983. Bazı kirleticilerin su mercimeklerinden (Lemnaceae) *Lemna gibba*'da klorofil miktarına etkisi. *Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi*, 50, 461-467.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M ve Kaptan, H., 1995. Toprak Bilimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 73, Ders Kitapları Yayın No: 16, Adana.
- Paustenbach, D.J. 2000. The practice of exposure assessment: A state-of-the-art review. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part B*, 3(3), 179-291.
- Petering, H.G., Choudhury, H., ve Stemmer, K.L. 1979. Some effects of oral ingestion of cadmium on zinc, copper, and iron metabolism. *Environmental Health Perspectives*, 28, 97-106.

- Pinto, E., Sigaud-Kutner, T., Leitao, M.A., Okamoto, O.K., Morse, D., ve Colepicolo, P. 2003. Heavy metal-induced oxidative stress in algae. *Journal of Phycology*, 39(6), 1008-1018.
- Poschenrieder, C.H., Gunse, B. ve Barcelo, J. 1989. Influence of cadmium on water relations, stomatal resistance and abscisic acid content in expanding bean leaves. *Plant Physiology*, 190,1365-1371.
- Prasad, M.N.V., Malec, P., Waloszek, A., Bojko, M., ve Strzalka, K. 2001. Physiological responses of *Lemna trisulca* L.(duckweed) to cadmium and copper bioaccumulation. *Plant Science*,161(5), 881-889.
- Rahmani, G.N.H. ve Sternberg, S.P. 1999. Bioremoval of lead from water using *Lemna minor*. *Bioresource Technology*, 70(3), 225-230.
- Reed, S.C., Middlebrooks, E.J. ve Crites, R.W. 1988. *Natural Systems for Waste Management and Treatment*. McGraw-Hill, New York.
- Sanita` di Toppi, L. ve Gabbrielli, R. 1999. Response to cadmium in higher plants. *Environmental and Experimental Botany*, 41, 105-130.
- Saygıdeger, S. 1996. *Lemna gibba* L. ve *Lemna minor* L. (Lemnaceae)'nin morfolojik, anatomik, ekolojik ve fizyolojik özellikleri. *Ekoloji Çevre Dergisi*, 18, 8-11.
- Simard, S., Grenier, G. ve Beaumont, G., 1990. morphometric analysis of ultrastructural changes induced by a sublethal concentration of atrazine on young *Lemna minor* chloroplasts. *Plant Physiology and Biochemistry*, 28(1), 49-55.
- Singh, S., Pradhan S. ve Rai L.C. 2000. Metal removal from single and multimetallic systems by different biosorbent materials as evaluated by differential pulse anodic stripping voltammetry. *Process Biochemistry*, 36, 175-182.
- Singh, S., Eapen, S. ve D'Souza, S.F. 2006. Cadmium accumulation and its influence on lipid peroxidation and antioxidative system in an aquatic plant *Bacopa monnieri* L. *Chemosphere*, 62(2), 233-246.
- Sinha S., Saxena R. ve Singh S. 2005. Chromium induced lipid peroxidation in the plants of *Pistia stratiotes* L.:role of antioxidants and antioxidant enzymes. *Chemosphere* 58, 595-604.
- Somashekaraiyah, B.V., Padmaja, K. ve Prasad, A.R.K. 1992. Phytotoxicity of cadmium ions on germinating seedlings of mung bean (*Phaseolus vulgaris*) involvement of lipid peroxides in chlorophyll degradation. *Physiology Plantarum*, 85, 85-89.
- SPSS Statistics Data Editor 17.0 License Authorization Wizard (<http://cs.its.uiowa.edu/software/documents/SPSS17.0MacintoshSiteLicenseInstallationInstructions.pdf>)

- Stanković, Ž., Pajević, S., Vučković, M. ve Stojanović, S. 2000. Concentrations of trace metals in dominant aquatic plants of the lake Provala (Vojvodina, Yugoslavia). *Biologia Plantarum*, 43, 583-585.
- Taylor, S.R. 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 28, 1273-1285.
- Taylor, D. 1983. The significance of the accumulation of cadmium by aquatic organisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 7(1), 33-42.,
- Tinsley, I.J. 1979. *Chemical Concepts in Pollutants Behavior*. J.Wiley and Sons Inc., 304, New York.
- Tkalec, M., Prebeg, T., Roje, V., Pevalek-Kozlina, B., ve Ljubešić, N. 2008. Cadmium-induced responses in duckweed *Lemna minor* L. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(6), 881-890.
- Uruç, K., Yılmaz, D.D. ve Akbulut, H. 2008. Farklı pH değerlerinin *Lemna gibba* L. ve *Lemna minor* L.'de nikel alınımı ve klorofil miktarına etkisi. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(2), 13-15.
- Üçüncü, E., Tunca, E., Fikirdeşici, Ş., Özkan, A.D. ve Altındağ, A. 2013. Phytoremediation of Cu, Cr and Pb mixtures by *Lemna minor*. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 91(5), 600-604.
- Van Der Welle, M.E., Smolders, A.J., Op Den Camp, H.J., Roelofs, J.G., ve Lamers, L. P. 2007. Biogeochemical interactions between iron and sulphate in freshwater wetlands and their implications for interspecific competition between aquatic macrophytes. *Freshwater Biology*, 52(3), 434-447.
- Velez, D. ve Montoro, R. 1998. Arsenic speciation in manufactured seafood products: a review. *Journal of Food Protection*, 61 (9), 1240-1245.
- Verma, R. ve Suthar, S. 2015. Lead and cadmium removal from water using duckweed–*Lemna gibba* L.: Impact of pH and initial metal load. *Alexandria Engineering Journal*, 54(4), 1297-1304.
- Voegborlo, R.B., Methnani, A.M.E. ve Abedin, M.Z. 1999. Mercury, cadmium and lead content of canned Tuna fish. *Food Chemistry*, 67(4), 341-345.
- Vosyliene, M.Z. ve Jankaite, A. 2006. Effect of heavy metal model mixture on rainbow trout biological parameters. *Ekologija*, 4, 12-17.
- Vutukuru, S.S. 2005. Acute effects of hexavalent chromium on survival, oxygen consumption, hematological parameters and some biochemical profiles of the Indian major carp, *Labeo rohita*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2(3-4), 456-62.

- Waisberg, M., Joseph, P., Hale, B. ve Beyersmann, D. 2003. Molecular and cellular mechanisms of cadmium carcinogenesis. *Toxicology*, 192(2), 95-117.
- Xing, W., Huang, W.M., Shen, Y.W., Li, D.H., Li, G.B. ve Liu, Y.D. 2006. Changes in the concentrations of size- fractionated iron and related environmental factors in northeastern part of Lake Dianchi (China). *Fresenius Environmental Bulletin*, 15(6), 563-570.
- Xing, W. ve Liu, G. 2011. Iron biogeochemistry and its environmental impacts in freshwater lakes. *Fresenius Environmental Bulletin*, 20(6), 1339-10345.

EKLER

EK 1 Toksikolojik Tanımlar

EK 2 *Lemna minor*'ün metal maruziyetine kalmadan önceki hali

EK 3 Kadmiyumun 0,25 mg/L konsantrasyonunda *Lemna minor*'ün görüntüsü

EK 4 Demirin 0,4 g/L konsantrasyonunda *Lemna minor*'ün görüntüsü

EK 5 Kadmiyum-Demir karışımının 0,2 mg/L konsantrasyonunda

***Lemna minor*'ün görüntüsü**

EK 1 Toksikolojik Tanımlar

Akut Zehirlilik Deneyleri: Deney organizmalarında kısa sürede olumsuz değişikliğe sebep olan deney konsantrasyonlarını belirleme işlemidir (Anonim 1998).

Ortalama Etkili Konsantrasyon (EC₅₀): Deney organizmalarının % 50'sinde denge kaybı, felç, anormallikler veya vücut bozuklukları gibi etki meydana getiren konsantrasyondur (Anonim 1998).

Ortalama Öldürücü Doz (LD₅₀): Uygulandığında organizmaların yarısını öldüren dozdur (Anonim 1998).

Ortalama Ölüm Zamanı (LT₅₀): Zehir etkisini gösteren bir maddenin öldürücü dozunun organizmaya girdikten sonra, organizmaların yarısının ölümü için geçen süredir (Anonim 1998).

Öldürücü Doz: Ölüm meydana getiren dozların en küçüğüdür (Anonim 1998).

Toksikoloji: Kimyasal maddelerin biyolojik dokulara kantitatif tesirlerinin mekanizmalarıyla birlikte araştırılmasını inceleyen ve elde edilen bilgilerden insan popülasyonuna ve çevreye zararları ve etkileri hakkında tahmin eden bir bilim dalıdır (Anonim 1998).

Zehirlilik Deneyleri: Zehirli maddeye belirli bir maruz kalma süresinden sonra ölüm, hareketsizlik, üremenin engellenmesi gibi zehir etkilerini belirleyen konsantrasyonu tespit etmek için yapılan deneylerdir (Anonim 1998).

Zehirlilik Dozu (Toksik Doz): Ölüm meydana getirmemekle beraber, zehirlenme belirtilerine sebep olan dozdur (Anonim 1998).

EK 2 *Lemna minor*'ün metal maruziyetine kalmadan önceki hali



EK 3 Kadmiyumun 0,25 mg/L konsantrasyonunda *Lemna minor*'ün görüntüsü



EK 4 Demirin 0,4g/L konsantrasyonunda *Lemna minor*'ün görüntüsü



EK 5 Kadmiyum-Demir karışımın 0,2 mg/L konsantrasyonunda *Lemna minor*'ün görüntüsü



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Emrah ACARÖZ
Doğum yeri: Bodrum/MUĞLA
Doğum Tarihi: 28.04.1989
Medeni Hali: Bekar
Yabancı Dil: İngilizce

Eğitim Durumu

Lise: Bodrum Lisesi(YDA) (2007)
Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü (2012)
Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı (Eylül 2012- Mayıs 2016)