



***EYLAYS SETOSA* (ACARI, HYDRACHNIDIA) TÜRÜNDE  
KADMIYUM (Cd<sup>2+</sup>) UYGULAMALARI VE  
ANTIOKSİDAN ENZİM AKTİVİTELERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gamze Kübra ÇETİN

Danışman

Doç. Dr. Ferruh AŞÇI

MOLEKÜLER BİYOLOJİ VE GENETİK  
ANABİLİM DALI

Aralık 2019

Bu tez çalışması 118Z558 numaralı proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

***EYLAIS SETOSA* (ACARI, HYDRACHNIDIA) TÜRÜNDE  
KADMİYUM (Cd<sup>2+</sup>) UYGULAMALARI VE  
ANTIÖKSİDAN ENZİM AKTİVİTELERİNİN BELİRLENMESİ**

**Gamze Kübra ÇETİN**

**Danışman**  
**Doç. Dr. Ferruh AŞÇI**

**MOLEKÜLER BİYOLOJİ VE GENETİK**  
**ANABİLİM DALI**

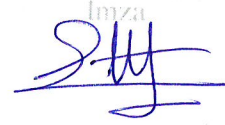
**Aralık 2019**

## TEZ ONAY SAYFASI

Gamze Kübra ÇETİN tarafından hazırlanan “*Eylais setosa* (Acari, Hydrachnidia) Türünde Kadmiyum (Cd<sup>2+</sup>) Uygulamaları ve Antioksidan Enzim Aktivitelerinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 23/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. Ferruh AŞÇI

**Başkan** : Prof. Dr. Safiye Elif KORCAN  
Uşak Üniversitesi,  
Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu

İmza  


**Üye** : Doç. Dr. Abuzer ACAR  
Afyon Kocatepe Üniversitesi,  
Veteriner Fakültesi



**Üye** : Doç. Dr. Ferruh AŞÇI  
Afyon Kocatepe Üniversitesi,  
Fen Edebiyat Fakültesi



Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
...../...../..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....  
Prof. Dr. İbrahim EROL  
Enstitü Müdürü

**BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım  
bu tez çalışmasında;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

23/12/2019



**Gamze Kübra ÇETİN**

**ÖZET**  
Yüksek Lisans Tezi

**EYLAIS SETOSA (ACARI, HYDRACHNIDIA) TÜRÜNDE  
KADMIYUM (Cd<sup>2+</sup>) UYGULAMALARI VE  
ANTIÖKSİDAN ENZİM AKTİVİTELERİNİN BELİRLENMESİ**

Gamze Kübra ÇETİN  
Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı  
**Danışman:** Doç. Dr. Ferruh AŞÇI

Bu tez kapsamında, *Eylais setosa* (Acari, Hydrachnidia) türü su kenesinde kadmiyumun antioksidan sistem üzerine etkisi araştırıldı. Çalışmanın ana materyali olan su kenesi türü Çivril-Işıklı Gölü'ndeki sazlıklardan ve sığ sulardan arazi çalışmaları sonucunda temin edildi. Kadmiyum nitratın farklı konsantrasyonlarına [ $10^{-5}$  M Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>,  $10^{-4}$  M Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ve  $10^{-3}$  M Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] bir hafta süre ile maruz bırakılan *Eylais setosa* türünde ICP-MS analizi ve enzim aktivite tayinleri (CAT, SOD, GSH-Px, GSH-ST ve GSH-Rd) gerçekleştirildi. Elde edilen veriler doğrultusunda ağır metal absorplama oranları ve enzim aktivitelerindeki değişimler değerlendirildi.

ICP-MS analizi sonucunda *Eylais setosa* türünün kadmiyum ağır metalini artan konsantrasyonlarla doğru orantılı bir şekilde bünyesinde biriktirdiği tespit edildi. Kadmiyuma maruz kalmış grupların enzim aktivitelerinde ise kontrole göre istatistiksel açıdan önemli oranda düşüşlerin olduğu ( $p < 0.05$ ) belirlendi. Çalışmada elde edilen veriler bir bütün olarak değerlendirildiğinde enzim aktiviteleri ile sucul kirlilik arasındaki ilişkinin kullanışlı biyobelirteçler olduğu açıkça görülmektedir.

**2019, ix + 85 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Su keneleri, Ekotoksikoloji, Kadmiyum, ICP-MS, Antioksidan enzimler

**ABSTRACT**  
M.Sc. Thesis

**CADMIUM (Cd<sup>2+</sup>) APPLICATIONS  
IN THE *EYLAIS SETOSA* (ACARI, HYDRACHNIDIA) SPECIES AND  
DETERMINATION OF ANTIOXIDANT ENZYME ACTIVITIES**

Gamze Kübra ÇETİN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Molecular Biology and Genetic

**Supervisor:** Assoc. Prof. Ferruh AŞÇI

In this thesis, the effect of cadmium on antioxidant system was investigated in *Eylais setosa* (Acari, Hydrachnidia) species. The main material of the study was obtained from the reeds and shallow waters of Çivril-Işıklı Lake as a result of field studies. ICP-MS analysis and enzyme activity determinations (CAT, SOD, GSH-Px, GSH-ST and GSH-Rd) were performed in *Eylais setosa* species exposed to different concentrations of cadmium nitrate [ $10^{-5}$  M Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>,  $10^{-4}$  M Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> and  $10^{-3}$  M Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] for one week. Changes in heavy metal absorption rates and activities were evaluated according to the obtained data.

As a result of ICP-MS analysis, it was determined that *Eylais setosa* species deposited cadmium heavy metal in their bodies in direct proportion with increasing concentrations. There was a statistically significant decrease in the enzyme activities of the cadmium exposed group ( $p < 0.05$ ). When the data obtained in the study are evaluated as a whole, the relationship between enzyme activities and aquatic pollution is clearly shown to be useful biomarkers.

**2019, ix + 85 pages**

**Keywords:** Water mite, Ecotoxicology, Cadmium, ICP-MS, Antioxidant enzymes

## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi ve yüksek lisans eğitimim boyunca hoşgörüsünün yanında fikir ve görüşleriyle yapmış olduğu katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Ferruh AŞÇI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim süresince fikir ve görüşlerine başvurduğum, her konuda desteğini esirgemeyen değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Dursun KISA'ya, yüksek lisans eğitimim süresince yaptıkları öneri ve eleştirileriyle katkılarını esirgemeyen kıymetli hocalarım, Sayın Prof. Dr. Gülderen Uysal AKKUŞ'a, Sayın Doç. Dr. Abuzer ACAR'a ve Prof. Dr. İsmet DOĞAN'a teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmam boyunca arazi ve laboratuvar çalışmalarındaki katkıları, fikirleri ve değerli dostluklarıyla her zaman yanımda olan çalışma arkadaşlarım Nazife ALPASLAN, Bülent ALTUNYÜZÜK, Nazif HACIMURAT ve Afyon Kocatepe Üniversitesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü öğrencilerine çok teşekkür ederim.

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 118Z558 proje numarası ile desteklenmiştir. Maddi desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında sabırla bana destek olan, her türlü konuda maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bana olan inançlarını ve sevgilerini her zaman hissettiren sevgili ailem, babam Adil ÇETİN, annem Ayfer ÇETİN, kardeşlerim Yasin ve Ömür'e sonsuz teşekkür ederim.

Gamze Kübra ÇETİN  
Afyonkarahisar 2019

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....	3
2.1 Su Keneleri (Acari; Hydrachnidia) Hakkında Genel Bilgiler.....	3
2.2 Ağır Metaller.....	7
2.2.1 Ağır Metalin Tanımı ve Özellikleri.....	7
2.2.2 Ağır Metalin Taşınması ve Birikimi .....	9
2.2.3 Ağır Metallerin Sucul Canlılara Etkisi .....	12
2.2.4 Kadmiyum (Cd <sup>2+</sup> )’un Genel Özellikleri.....	13
2.2.5 Kadmiyum ve Oksidatif Stres .....	16
2.3 Serbest Radikaller ve Antioksidan Savunma Sistemleri.....	18
2.3.1 Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzimi .....	21
2.3.2 Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) Enzimi.....	22
2.3.3 Glutasyon S-Transferaz (GSH-ST) Enzimi .....	23
2.3.4 Katalaz (CAT) Enzimi.....	23
2.3.5 Glutasyon Redüktaz (GSH-Rd) Enzimi.....	24
2.4 Yapılan Çalışmalar .....	25
2.4.1 Ağır Metal Birikim Çalışmaları .....	25
2.4.2 Antioksidan Enzimlerle Yapılan Çalışmalar .....	28
3. MATERYAL ve METOT .....	32
3.1 Çalışmanın Yapıldığı Işıklı Gölü’nün Tanıtımı.....	32
3.2 Su Kenesi Örneklerinin Çalışma Alanından Toplanması.....	33
3.3 Çalışmanın Ana Materyali .....	34
3.4 Akvaryumların Hazırlanması.....	36



3.5 ICP-MS Analizi .....	37
3.6 Enzim Aktivite Tayinleri .....	38
3.6.1 Örneklerin Homojenizasyonu.....	38
3.6.2 Total Protein Tayini.....	38
3.6.3 Katalaz (CAT) Enzim Aktivitesi Tayini.....	40
3.6.4 Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzim Aktivitesi Tayini .....	41
3.6.5 Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) Enzim Aktivitesi Tayini.....	42
3.6.6 Glutasyon S-Transferaz (GSH-ST) Enzim Aktivitesi Tayini .....	42
3.6.7 Glutasyon Redüktaz (GSH-Rd) Enzim Aktivitesi Tayini.....	46
3.7 İstatistiksel Değerlendirme .....	47
4. BULGULAR .....	48
4.1 ICP-MS Analizi Bulguları .....	48
4.2 Enzim Aktivite Tayinlerindeki Değişiklikler .....	49
4.2.1 Katalaz (CAT) Enzim Aktivitesi.....	50
4.2.2 Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzim Aktivitesi.....	50
4.2.3 Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) Enzim Aktivitesi .....	51
4.2.4 Glutasyon S-Transferaz (GSH-ST) Enzim Aktivitesi.....	52
4.2.5 Glutasyon Redüktaz (GSH-Rd) Enzim Aktivitesi .....	52
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	54
6. KAYNAKLAR.....	62
ÖZGEÇMİŞ.....	84

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

$Cd(NO_3)_2$	Kadmiyum nitrat
ddH <sub>2</sub> O	Çift distile su
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Hidrojen peroksit
HNO <sub>3</sub>	Nitrik asit
OH <sup>·</sup>	Hidroksil radikali
M	Molarite
µm	Mikrometre
µM	Mikromolar
mM	Milimolar
µg	Mikrogram
µL	Mikrolitre
ppb	Milyarda bir değer
ppm	Milyonda bir değer
O <sub>2</sub> <sup>-·</sup>	Süperoksit radikali
·O-O <sup>-</sup>	Süperoksit anyonu
R-O-O <sup>·</sup>	Peroksil Radikali
OH <sup>·</sup>	Hidroksil Radikali
RO <sup>·</sup>	Alkoksi Radikali

### Kısaltmalar

---

AAS	Atomik Absorbsiyon Spektrometresi
AdM	Adrenomedullin
BCA	Bikinkoninik Asit
CAT	Katalaz
DNA	Deoksiribonükleik Asit
GSH	Glutasyon
GSSG	Okside Glutasyon
GSH-Px	Glutasyon Peroksidaz
GSH-Rd	Glutasyon Redüktaz
GSH-ST	Glutasyon S-Transferaz
G6PD	Glukoz-6-Fosfat Dehidrojenaz
ICP-MS	İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi
ICP-OES	İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi
LC50	Letal Konsantrasyon 50
MDA	Malondialdehit
MT	Metallotionin
NADPH	Nikotinamid Adenin Dinükleotit Fosfat
Nrf2	Eritroid-2 İle İlişkili Faktör-2
PBS	Phosphate Buffered Saline
pH	Power of Hydrogen
PPC	Propiconazole
ROT	Reaktif Oksijen Türleri
SOD	Süperoksit Dismutaz
SOR	Serbest Oksijen Radikalleri

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Su kenesinin morfolojisi .....	4
Şekil 2.2 Su kenesine ait gnathostoma, keliser ve palp yapısı .....	5
Şekil 2.3 Su kenesine ait idiosoma yapısı .....	6
Şekil 2.4 Su kenesinin yaşam döngüsü .....	7
Şekil 2.5 Toksisitelerine göre ağır metallerin sınıflandırılması .....	8
Şekil 2.6 Metallerin ekolojik devri.....	10
Şekil 2.7 Ağır metallerin hücre içi etkileri .....	11
Şekil 2.8 İnsanların kadmiyuma maruziyet kaynakları .....	15
Şekil 2.9 Kadmiyumun neden olduğu oksidatif stres tablosu .....	17
Şekil 3.1 Bikinkoninik asit (BCA) yöntemi reaksiyonları .....	39
Şekil 4.1 <i>Eylais setosa</i> 'daki kontrol grubu ve diğer durumlara bağlı olarak kadmiyum (Cd <sup>2+</sup> ) absorblama oranları.....	49
Şekil 4.2 <i>Eylais setosa</i> 'da katalaz (CAT) enzim aktivitesi .....	50
Şekil 4.3 <i>Eylais setosa</i> 'da süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesi.....	51
Şekil 4.4 <i>Eylais setosa</i> 'da glutatyon peroksidaz (GSH-Px) enzim aktivitesi .....	52
Şekil 4.5 <i>Eylais setosa</i> 'da glutatyon S-transferaz (GSH-ST) enzim aktivitesi .....	52
Şekil 4.6 <i>Eylais setosa</i> 'da glutatyon redüktaz (GSH-Rd) enzim aktivitesi.....	53

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 2.1</b> Bazı metallerin hücre içindeki biyolojik fonksiyonları.....	9
<b>Çizelge 2.2</b> Endüstriyel sektörlerden çevreye yayılan başlıca metaller .....	9
<b>Çizelge 2.3</b> Kadmiyumun fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	14
<b>Çizelge 2.4</b> Serbest radikaller ve yol açtıkları reaksiyonlar .....	19
<b>Çizelge 2.5</b> Biyolojik sistemlerdeki antioksidanlar .....	21
<b>Çizelge 3.1</b> Total protein kitinin çalışma prosedürü .....	39
<b>Çizelge 3.2</b> Katalaz (CAT) kitinin çalışma prosedürü .....	40
<b>Çizelge 3.3</b> Süperoksit dismutaz (SOD) kitinin çalışma prosedürü.....	41
<b>Çizelge 3.4</b> Glutatyon peroksidaz (GSH-Px) kitinin çalışma prosedürü.....	43
<b>Çizelge 3.5</b> Glutatyon S-transferaz (GSH-ST) kitinin çalışma prosedürü .....	45
<b>Çizelge 3.6</b> Glutatyon redüktaz (GSH-Rd) kitinin çalışma prosedürü.....	46
<b>Çizelge 4.1</b> <i>Elylais setosa</i> 'da kadmiyum (Cd <sup>2+</sup> ) birikiminin ICP-MS sonuçları .....	49

## RESİMLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 3.1</b> Çalışma alanı: Işıklı Gölü haritası .....	32
<b>Resim 3.2</b> Işıklı Gölü'nde su kenesi örneklerinin toplanması .....	33
<b>Resim 3.3</b> Çalışma alanından toplanan su kenelerinin ekstraksiyonu .....	34
<b>Resim 3.4</b> <i>Eylais setosa</i> dorsal ve ventral görünüm .....	35
<b>Resim 3.5</b> Kontrol grubu ve üç farklı konsantrasyon kadmiyum nitrat ağır metali için hazırlanan akvaryumlar .....	36
<b>Resim 3.6</b> <i>Eylais setosa</i> 'nın ICP-MS analizi için cam tüplere alınıp etiketlenmesi.....	37
<b>Resim 3.7</b> Katalaz (CAT) enzim aktivitesi tayini .....	40
<b>Resim 3.8</b> Süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesi tayini.....	42
<b>Resim 3.9</b> Glutatyon peroksidaz (GSH-Px) enzim aktivitesi tayini .....	44

## 1. GİRİŞ

Son dönemlerde nüfus oranındaki artış, insanlardaki aşırı tüketim isteği ve teknolojiye hızlı ilerlemeler, çevre kirliliğinde önemli bir sorun haline gelmiştir. Bu kirlilik su ekosistemini de etkileyerek bu ortamda yaşayan canlı gruplarının ya yaşadığı alanı terk etmesine ya da neslinin tükenmesine neden olmaktadır (Taylan ve Özkoç 2007).

Sucul ekosistemde yaşayan canlılar birbirleri üzerinden beslenen bir döngü oluştururlar ve bir grupta meydana gelen bozulma diğer grupları da etkilemektedir. Çevre kirliliği sebebiyle su içeriğinin bozulması, bu ortamdaki canlıların beslenme zincirini bozmakta ve yaşamlarını tehlikeye atmaktadır (Özhan 2007).

Ağır metaller su ortamındaki inorganik kirleticilerin en önemli kaynağıdır. Ağır metal tuzlarının iç sularda çok düşük konsantrasyonlarda bulunması dahi, sucul ekosistemdeki canlılar üzerinde ölümcül etki oluşturmaktadır. Ağır metallerin bu etkileri sistematik olarak alt basamaklarda bulunan omurgasız türlerinde daha belirgindir (Kirubagaran and Joy 1992, Kumar and Mathur 1996, De Conto Cinier *et al.* 1997, Katalay and Parlak 2004).

Kadmiyum (Cd), cıva (Hg), krom (Cr), kurşun (Pb) ve nikel (Ni) gibi toksik ekili ağır metallerin düşük derişimlerde, demir (Fe), çinko (Zn) ve bakır (Cu) gibi eser elementlerin yüksek derişimlerde sucul ortamlarda bulunması, sucul ekosistemdeki canlıların ölümlerine sebep olmakta, ayrıca yüksek toleranslı türlerde ise metabolik bakımdan aktif doku ve organlarda birikerek besin zinciri ile artan oranlarda üst gruptaki canlılara iletilmektedir. Bu durum çeşitli sağlık ve çevre sorunlarına sebep olmaktadır (Heath 1995, Montero *et al.* 2005). Ağır metaller, hücre metabolizmasından başka DNA, lipid ve protein gibi hücresel yapılara etki ederek yapısal ve işlevsel bozukluklara sebep olmakta ve oksidatif reaksiyonları katalizlemeleri ile reaktif oksijen türlerinin (ROT) derişimini arttırmaktadır (Halliwell 1994).

ROT'lar yüksek reaktif bileşikler olup DNA, protein ve lipid gibi makromoleküler hücresel yapılara bağlanarak bu yapıların, fonksiyonlarını bozmakta ve yapısal hasar oluşturmaktadır (Yu 1994).

ROT'un zararlı etkileri enzimatik ve nonenzimatik antioksidanları içeren bir savunma sistemi tarafından nötralize edilir. Antioksidanlar, ROT oluşumunu önleyerek ya da ROT'ları etkisiz hale getirerek etkilerini göstermektedir (Benzie 2000).

Çevre kirliliğinin takibi ve tespitinde kullanılan birçok biyokimyasal teknik geliştirilmiştir. Akuatik sistemler, kimyasal analizlere göre daha düşük maliyet ve kolay uygulanabilirliği dışında eşsiz bilgiler veren enzim testleri biyobelirteç olarak tercih edilmektedir (Carvalho *et al.* 2012, Stoliar and Lushchak 2012). Kirleticilere verilen ilk yanıtın antioksidan savunma sistemi tarafından verilmesi ve ekotoksikolojik risk değerlendirmesine uygun ve güvenilir olması nedeniyle antioksidan enzimler biyobelirteç olarak önerilmektedir (Farombi *et al.* 2007, Alak vd. 2011).

Çevresel kirliliğin belirlenmesinde akuatik organizmalar ekonomik önemleri ve sucul ekosistemlerdeki yapısal, işlevsel ve ekolojik farklılıkları nedeniyle yaygın bir biçimde kullanılmaktadır (Williams and Dusenbery 1990). Ekotoksikoloji çalışmalarında akuatik organizmaların kullanılması, sucul organizmalar üzerine çevresel kirleticilerin etkilerini araştırmak ve bazı indikatör organizmaları kullanarak su kalitesinin izlenmesinde oldukça önemlidir (Sheedy *et al.* 1991).

Günümüzde Türkiye'de ve dünyada sucul ekosistemdeki canlı gruplarında ağır metallerin antioksidan savunma sistemleri üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmalar oldukça artmıştır (Kirubakaran and Joy 1992, De Conto Cinier *et al.* 1997, Kumar and Mathur 1996, Sağlamtimur *et al.* 2003, Katalay and Parlak 2004). Ancak literatürdeki çalışmalara bakıldığında göl ve akarsu ekosistemlerinde baskın ve yaygın olarak bulunan su keneleri (Acari, Hydrachnidia) türlerinde bu konu ile ilgili bir araştırma mevcut değildir.

Bu tez çalışması kapsamında, kadmiyum nitratın farklı konsantrasyonlarına [ $1 \times 10^{-5}$  M Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>,  $1 \times 10^{-4}$  M Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ve  $1 \times 10^{-3}$  M Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] maruz bırakılan *Eylais setosa* (Acari, Hydrachnidia) türü su kenesinde bu ağır metal tuzunun katalaz (CAT), süperoksit dismutaz (SOD), glutatyon peroksidaz (GSH-Px), glutatyon S-transferaz (GSH-ST) ve glutatyon redüktaz (GSH-Rd) antioksidan enzim aktiviteleri üzerine etkilerinin tespiti amaçlanmıştır.

## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

### 2.1 Su Keneleri (Acari; Hydrachnidia) Hakkında Genel Bilgiler

Sucul ekosistemlerin önemli fauna gruplarından olan su keneleri Acari alt sınıfında yer almaktadır. Göz alıcı ve parlak renkleri, değişken morfolojik yapıları ve 0.2–10 mm arasında değişen büyüklükleri ile 8 üst familya içinde, 57 familya, 400 üzerinde cins ve 6000'den fazla türü barındırmaktadır (Di Sabatino *et al.* 2008). Türkiye su kenesi faunasında ise şimdiye kadar 25 familya, 65 cins ve 335 tür tanımlanmıştır (Erman *et al.* 2019).

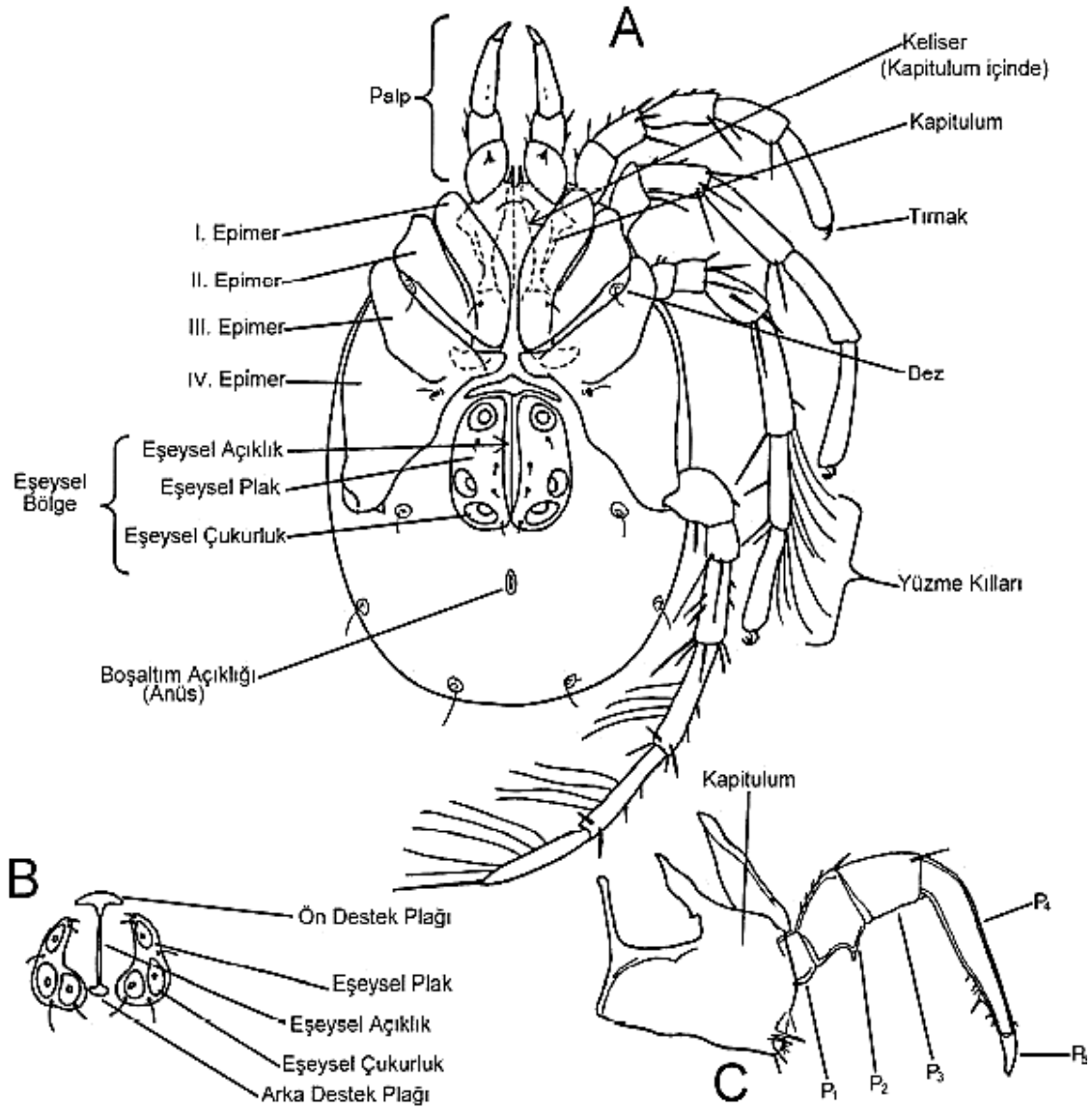
Bu grup Antarktika hariç dünyanın tüm bölgelerinde yayılış göstermekle birlikte durgun sular, kaynak, göl, dere, yeraltı suları, nehir ve bataklıklarda yaşarlar (Cook 1974).

Göl ve akarsu ekosistemlerinde yaygın ve baskın olarak bulunan su keneleri, birçok ekolojik araştırmada dikkate alınan önemli bir gruptur. Ayrıca Miccoli vd. (2013), yapmış olduğu bir araştırmada su kenelerinin temiz su ekosistemlerinin izlenmesinde biyolojik indikatör organizma olarak kullanılabileceğini bildirmiştir.

Su keneleri genellikle örümceklere benzemekle birlikte örümceklerden baş ve boyunun birleşmesi, abdomenin tek parça olması ve segmentlerin kaybolması gibi ciddi farklılıkları vardır. Vücutları çoğunlukla küresel veya ovaldır. Vücut yüzeyleri yumuşak, ince, pürüzlü, çizgili veya papillalıdır. Vücut yapıları, biri ventralde diğeri dorsalde olmak üzere iki plaka tarafından büsbütün kaplanmışta olabilmektedir (Pennak 1991). Vücut yüzeyinde porlar haricinde setalar, çıkıntı veya kıvrımlar ile çeşitli pigment tabakaları bulunmaktadır (Jeppson *et al.* 1975). Su kenelerinde gözlerle birlikte ışığa duyarlı organlar da bulunur. Çoğunlukla canlı renklidirler (Vacante 2010).

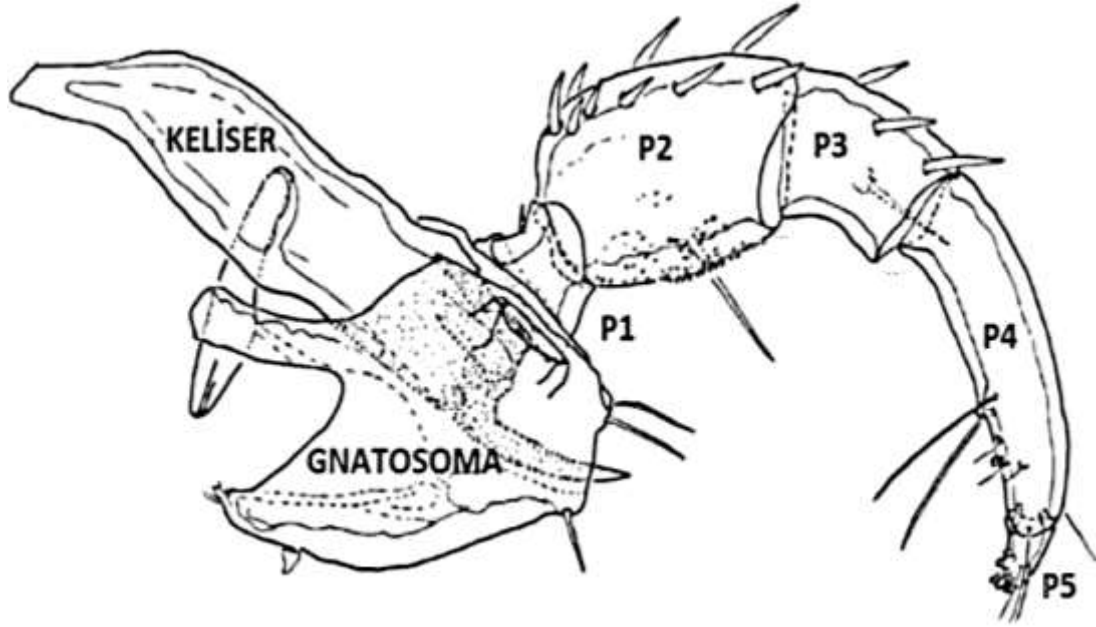
Kenelerde vücut idiosoma ve gnathostoma olarak iki bölümden oluşmakta ayrıca baş oluşumu görülmemektedir. İdiosomada bacaklar, gnathosomada ise keliser ve palp çiftleri ile vücudun diğer bölümleri bulunmaktadır (Krantz and Walter 2009, Hoy 2011). Su kenelerine ilişkin genel vücut morfolojisi Şekil 2.1'de gösterilmiştir.





**Şekil 2.1** Su kenesinin morfolojisi: A = *Limnesia* dişi alttan görünüş, B = *Hygrobates* dişi eşeyel bölge, C = *Limnesia* kapitulum ve palp (Esen 2011).

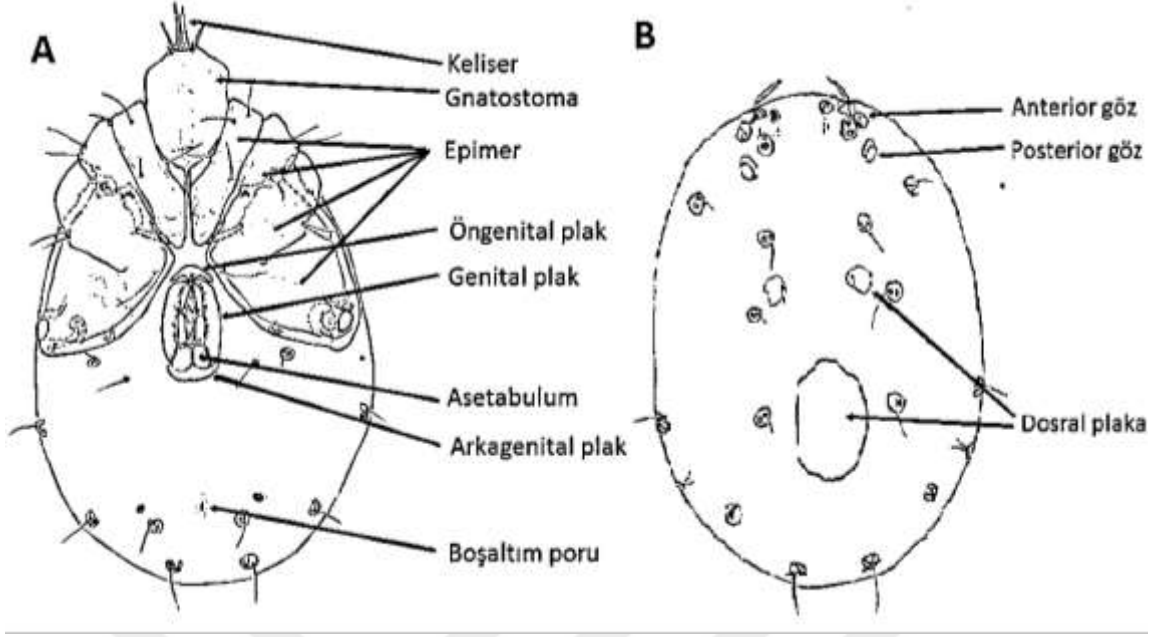
Gnathosoma vücudun ön kısmıdır ve bir sutur ile idiosomadan ayrılmaktadır (Şekil 2.2). Dışta palp çifti, içte ağız açıklığı ve keliser çifti yer almaktadır (Gerson *et al.* 2003). Kesme ve delme işleminde kullanılan keliserler karakteristik olarak üç segmentten oluşmaktadır. Besinleri idrak etmek ve ayırt etmek için kullanılan palpler ise beş segmentten oluşmaktadır (Zhang 2003).



Şekil 2.2 Su kenesine ait gnathosoma, keliser ve palp yapısı. Panesar (2000)'dan uyarlanmıştır.

Su kenesi vücudu (İdiosoma) bazen dorso-ventral yassılaştırmış yahut uzunlamasına olmasına karşın çoğunlukla küreseldir (Şekil 2.3). İdiosomada karakteristik olarak anterio-lateralde iki çift göz, bazı primitif türlerde ise ortada median göz bulunmaktadır. Su kenelerinde sırt ve karında yer alan salgı açıklıkları tür ve cinslerin sınıflandırılmasında önemli yapılar olup, bu açıklıklardan salgılanan fenolik salgılar aracılığıyla bu organizmaların predatör avcılarını uzaklaştırdığı bilinmektedir. Bu organizmaların karın bölgesinde bacaklar, salgı açıklıkları, boşaltım poru ve genital açıklıklar bulunmakta, sırt bölgelerinde ise gözün önünde ve arkasında olmak üzere iki çift sensör setaları bulunmaktadır (Harvey 1998).

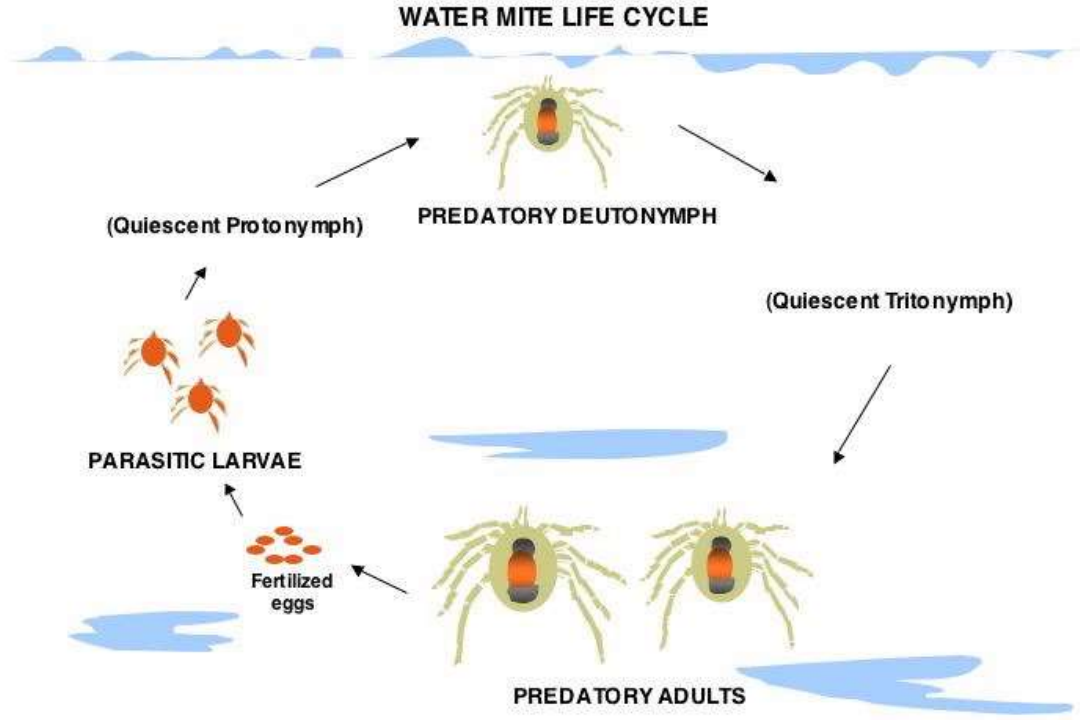
Her bacak genus, tibia, tarsus, trakanter, femur, koksa ve apotel olmak üzere altı segmentten oluşmaktadır. Bacak segmentlerinde değişen sayıda seta, spin ve uzun kıllar bulunmaktadır. Bacaklar sklerize olmuş ve epimer olarak adlandırılan ventral plakalardan orjinlenmiştir (Pennak 1991).



Şekil 2.3 Su kenesine ait idiosoma yapısı. A: Ventral, B: Dorsal (Panesar 2000).

Su kenelerinin hayat döngüsü 7 farklı evreden oluşur. Bu evreler; yumurta, prelarva, larva, protonimf, deutonimf, tritonimf ve ergin evreleridir (Şekil 2.4). Bu canlılar larval evrelerinde parazit olarak yaşamlarını sürdürürler ve su yüzeyinde yaşayan, özellikle Odonata, Hemiptera, Coleoptera'da gelişimlerini sürdürürler. Deutonimf ve ergin evrelerinde ise suda serbest halde yaşamlarına devam ederler (Panesar 2000, Martin and Gerecke 2009). Bu özellikleri ile su keneleri sivrisinek larvaları gibi birtakım zararlılarla biyolojik mücadele aracı olarak da etkili olmaktadır (Di Sabatino *et al.* 2008). Çoğunlukla parazitlerin konak seçiminde konağın cinsiyetinin önemi yoktur (Martin and Stur 2006). Bireyler konağını yalnızca beslenmek için değil nimfe dönüşmek için de kullanmaktadır (Smith 1998).

Su keneleri bahar ve yaz aylarında lotik ve lentik habitatlarda yaşamaktadır. Özellikle bahar aylarında bazı ekosistemlerde yumuşakçalardan sonra en fazla tür sayısının su keneleri olduğu tespit edilmektedir. Genellikle canlı ve parlak renklere sahip olan bu gruplar, avcı balıklar tarafından dikkat çektiği için diğer soluk renkli olanlara göre daha sık bulunmaktadır (Proctor and Garga 2004). Küçük habitatlara kolaylıkla uyum sağlaması ve diğer omurgasızlar üzerindeki av ve parazitik etkileşimleri önemli özellikleridir (Di Sabatino *et al.* 2000, 2003, 2008).



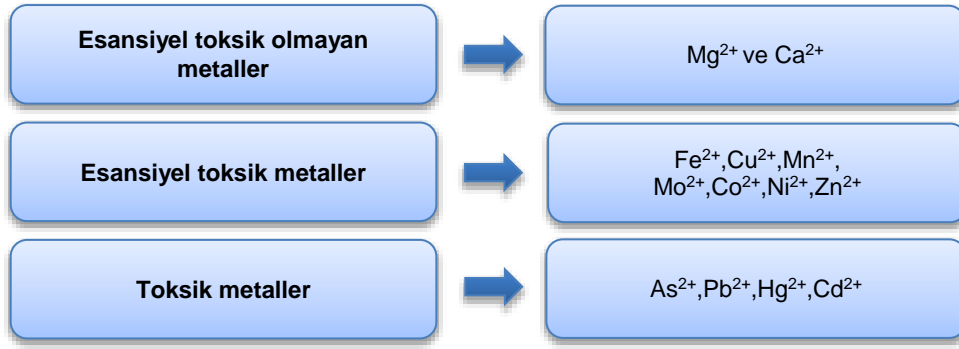
Şekil 2.4 Su kenesinin yaşam döngüsü (İnt.Kyn. 1).

## 2.2 Ağır Metaller

### 2.2.1 Ağır Metalin Tanımı ve Özellikleri

Özgül ağırlığı  $5 \text{ g/cm}^3$ 'den yüksek, periyodik cetveldeki atom numarası 92 ile 222 arasında olan metaller, ağır metal olarak adlandırılmaktadır (Förstner and Wittmann 1981). Tıpta ise ağır metal tanımı, elementlerin atomik ağırlıklarına bakılmaksızın tüm toksik özelliği taşıyan metaller olarak tanımlanır (Özbolet ve Tuli 2016). Bu grup kadmiyum (Cd), nikel (Ni), kurşun (Pb), mangan (Mn), demir (Fe), krom (Cr), kobalt (Co), bakır (Cu), cıva (Hg) ve çinko (Zn) olmak üzere 60'tan fazla metal elementini içermektedir (Hu 2000, Türkman vd. 2001).

Ağır metaller çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Toksisitelerine göre ağır metaller Şekil 2.5'de görüldüğü gibi üç grupta incelenmektedir (Muneer *et al.* 2016).



**Şekil 2.5** Toksisitelerine göre ağır metallerin sınıflandırılması

Çok sayıda kullanım alanı olan metaller biyolojik bakımdan üç sınıfa ayrılmaktadır (Clark 1992).

**Esansiyel elementler:** Canlı yaşamı için mutlaka ihtiyaç duyulan metallerdir. Sıvı ortamlarda hareketli katyonlar olarak taşınırlar. Kalsiyum, potasyum, sodyum, magnezyum gibi.

**Yan elementler (Geçiş elementleri):** Düşük konsantrasyonlarda esansiyel olan fakat yüksek konsantrasyonlarda toksik etki yapan elementlerdir. Demir, bakır, kobalt, mangan, çinko, molibden, krom gibi.

**Eser elementler (Metaloitler):** Metabolik aktivite için genellikle gerekli olmayan ve oldukça düşük konsantrasyonlarda hücrede toksik etki oluşturan elementlerdir. Kadmiyum, arsenik, cıva, kurşun, kalay, selenyum, berilyum gibi.

Bu üç sınıftan geçiş elementleri ve metaloitler genelde ağır metal olarak adlandırılmaktadır (Förstner and Wittmann 1981).

Metaller yüksek konsantrasyonlarda canlılar için zararlı olmasına rağmen, bazı canlılar yaşam faaliyetlerini devam ettirebilmek için düşük oranlarda metale ihtiyaç duyarlar (Çizelge 2.1).

**Çizelge 2.1** Bazı metallerin hücre içindeki biyolojik fonksiyonları (Aktan 2001).

<b>Gruplar</b>	<b>Fonksiyon</b>
Sodyum	Yük taşıyıcı, osmotik denge
Potasyum	Yük taşıyıcı, osmotik denge
Magnezyum	Yapısal görev, hidrolaz ve izomeraz enzimlerinde kofaktör
Kalsiyum	Yapısal görev, uyarıcı, sinyal verici, yük taşıyıcı
Vanadyum	Azot fiksasyonu, oksidaz enzim kofaktörü
Molibden	Azot fiksasyonu, oksidaz kofaktörü
Mangan	Fotosentez, oksidaz kofaktörü, yapısal görev
Demir	Oksidaz kofaktörü, O <sub>2</sub> taşınması ve depolanması, elektron transferi
Kobalt	Oksidaz, alkil grup transferi
Nikel	Hidrojenaz, hidrolaz kofaktörleri
Bakır	Oksidaz, O <sub>2</sub> taşınması, elektron transferi
Çinko	Yapısal görev, hidrolaz kofaktörü

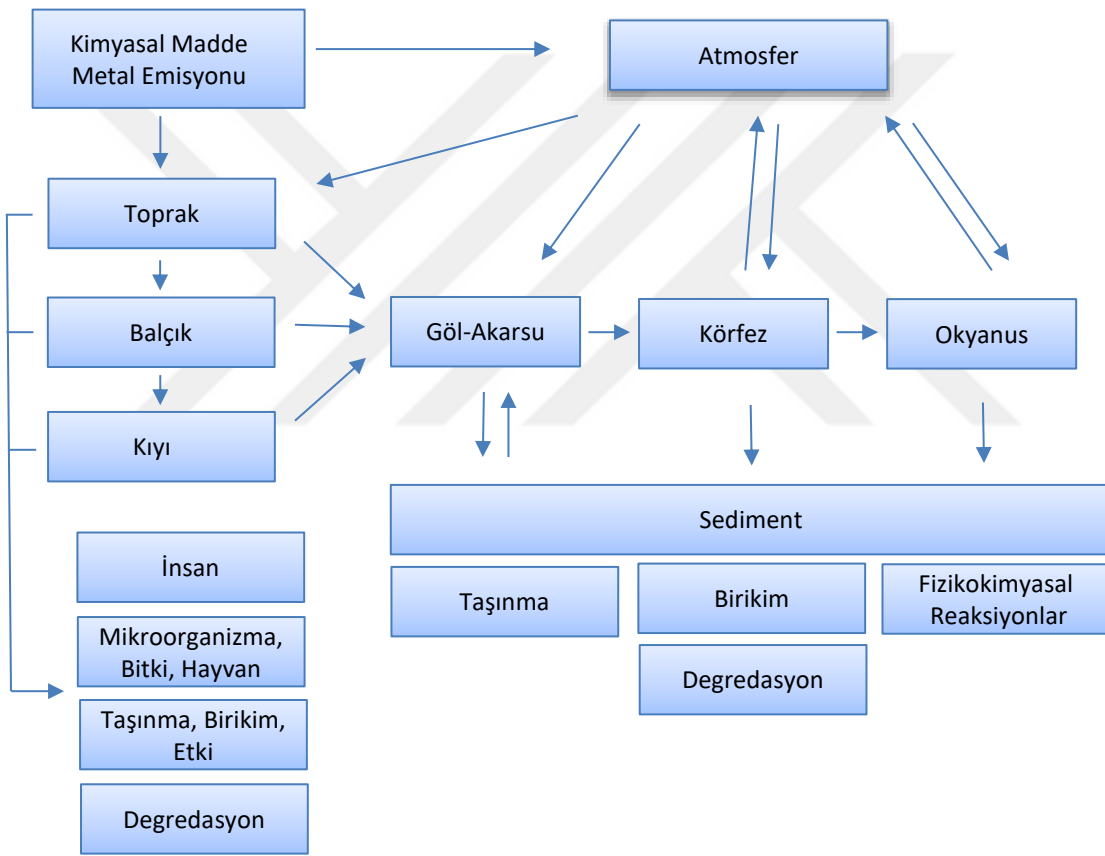
### 2.2.2 Ağır Metalin Taşınması ve Birikimi

Son dönemlerde nüfus oranındaki artış endüstrideki hızlı ilerlemeler sonucunda sucul ekosistemlerde toksik ağır metal oranlarının arttığını gösteren çalışmalar yoğunluk kazanmıştır. İnorganik kirlenmenin en önemli kaynağını oluşturan ağır metaller ve çeşitli mineraller göller, nehirler, körfez ve okyanuslar ile bunların sedimentlerinde geniş yayılım gösterirler (Kalay *et al.* 2004, Yazkan vd. 2004). Endüstriyel sektörlerden çevreye yayılan metaller Çizelge 2.2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.2** Endüstriyel sektörlerden çevreye yayılan başlıca metaller (Kahvecioğlu vd. 2003).

<b>Endüstri kolu</b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Pb</b>	<b>Ni</b>	<b>Sn</b>	<b>Zn</b>
Kâğıt Endüstrisi	-	+	+	+	+	+	-	-
Klor-Alkali Üretim	+	+	-	+	+	-	+	+
Gübre Sanayi	+	+	-	+	+	-	+	+
Demir-Çelik Sanayi	+	+	+	+	+	+	-	+
Enerji Üretimi (Termik)	+	+	+	+	+	+	+	+

Ağır metaller, akuatik ortamlara doğal kaynaklarla ve insan faaliyetleri sonucunda dahil olmaktadır (Şekil 2.6). Denizel ortama erozyonla taşınan kaya parçalarıyla, rüzgar yoluyla taşınan tozlarla, nehirlerle ve volkanik aktivitelerle ulaşabilirler. Hatta, akarsuların kentsel veya endüstriyel bölgelerden geçmesi sırasında insan atıklarının da suya karışması, bu birikimin artmasına neden olmaktadır. Sudaki metalin organizma üzerindeki etkisi, besin, metabolizma, ekolojik ihtiyaçlar, suyun bulaşma ölçüsü, sediment ve diğer fiziko-kimyasal etmenlerle değişim göstermektedir (Canlı and Furness 1995).

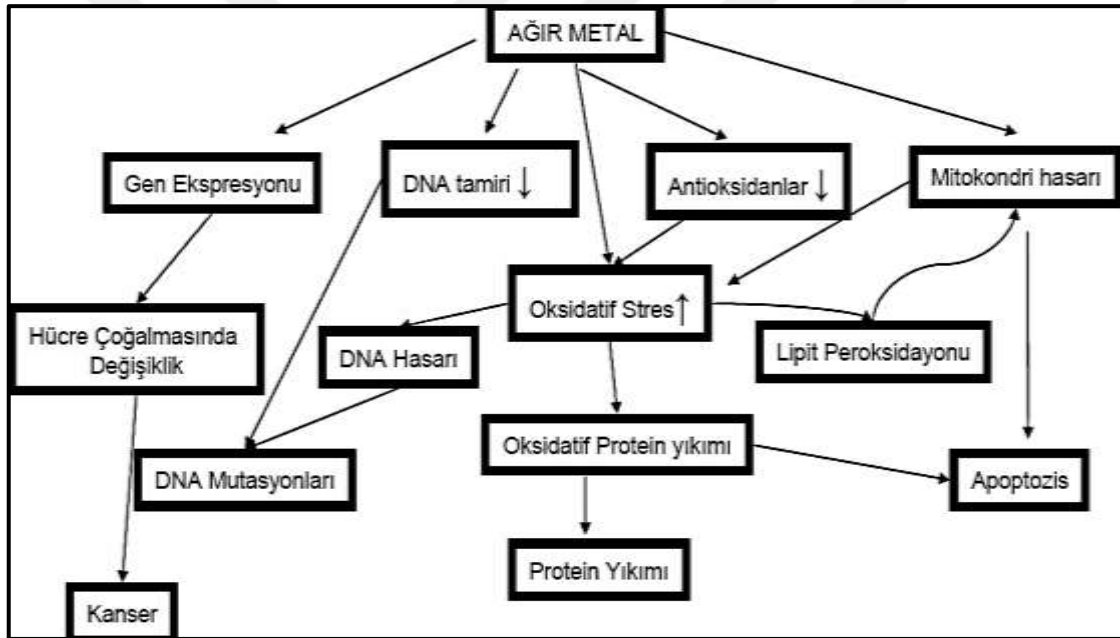


Şekil 2.6 Metallerin ekolojik devri (Vural 2005).

Endüstriyel atıkların akarsu, yeraltı suları ve su kaynaklarına karışmasıyla taşınan ağır metaller yüksek oranda seyrelip; kısmen karbonat, sülfat ve sülfür halinde katı madde oluştururlar. Su tabanına çöken ağır metaller de bu bölgede zenginleşirler. Sediment tabakasının adsorpsiyon kapasitesinin sınırlı olması nedeniyle sudaki ağır metal miktarı gittikçe yükselir (Kahvecioğlu vd. 2003).

Suda çözünür haldeki metaller çökerek sediment parçaları tarafından adsorbe olurlar. Özellikle nehirlerin denize döküldüğü geniş alanlarda ağır metal birikimi daha yoğundur, dolayısıyla göl ve deniz sedimentlerinde ağır metal birikimi yüksektir (Karadere 1997).

Deniz, göl ve akarsular gibi su kaynaklarının atıklar için alıcı ortam olarak kullanılması sonucu, derişimleri sürekli artan ağır metaller sucul organizmalar tarafından bünyelerine alınmakta ve besin zinciri aracılığı ile tüm canlılara ulaşmaktadır. Ayrıca metabolik bakımdan aktif doku ve organlarda birikerek hücresel ve moleküler düzeyde işlevsel ve yapısal bozukluklara neden olmaktadır (Güner 2008). Ağır metallerin hücre içi etkileri Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Ağır metallerin hücre içi etkileri (İstanbuluoğlu 2011).

Sucul organizmalardaki ağır metal birikimi; metalin türüne, ortamdaki derişimine (Canpolat and Çalta 2003), türün beslenme durumuna, gelişme evresine, yaşına, metabolik aktivitesine, doku ve organlara (Newman and Doubet 1989), suyun fizikokimyasal özelliklerine ve ortamda bulunan diğer metallere bağlı olarak değişim göstermektedir (Canlı and Atlı 2003).



Ağır metallerin canlılarda enzimatik aktivite için gereklilik oranları yalnızca belli konsantrasyonlardadır ve normal koşullarda doğadaki seviyeleri düşüktür. Ağır metallerin doğal konsantrasyon düzeylerinin artması durumunda özellikle cıva (Hg), kadmiyum (Cd), gümüş (Ag) ve kurşun (Pb) gibi metaller toksik etki göstermekte ve enzimleri inhibe etmektedir. Bu sebeple gerekli olsun veya olmasın ağır metaller canlı organizmalar için potansiyel toksik ajanlardır (Kayhan 2006). Düşük dozlarda bile zararlı olabilen bu metallerin organizmalardaki birikim durumları sürekli olarak izlenmeli ve bu konu hakkında çeşitli çalışmalar yapılmalıdır (Bryan 1976).

### 2.2.3 Ağır Metallerin Sucul Canlılara Etkisi

Ağır metallerin etkisine maruz kaldıklarında canlılarda genellikle üç faz görülür. Bunlar; şok, iyileşme ve aklimasyon fazlarıdır. Şok fazında, başta solungaçlarda olmak üzere canlının çeşitli dokularında tahribatlar görülür, fizyolojik denge bozulur. İyileşme fazında, protein sentezindeki artış sonucunda fizyolojik bozukluklar düzelmeye ve hasarlar onarılmaya başlar. Ayrıca bu fazda metallothioneinlerin oluşumunun artmasıyla birlikte metallerle rekabetin başladığı gözlemlenir. Aklimasyon fazında ise, organizma ağır metallerle karşı toleransını arttırarak bir denge kurmaya başlar (Büyükkargacı 2011).

Metallerin toksik etkileri, öncelikle hangi dokuda birikeceği, metalin çeşidine, özelliğine ve canlının türüne göre değişir. Ağır metaller organizmalar üzerindeki toksik etkisini molekül üzerinde aktif olmayan bölgeye bağlanarak ya da enzimin aktif bölgesindeki yararlı metallerle yer değiştirerek gösterebilir (Çoğun 2008).

Çevre kirlenmesi sonucu, canlılar için hayati öneme sahip eser elementlerin biraz yüksek dozda olması organizma üzerinde toksik etkiler yapar. Örneğin; solunum güçlüğüne yol açan solungaçlarda yüksek oranda demir birikimi, balık ölümlerine neden olabilir. Ortamdaki yavru balıkları etkileyerek popülasyonun gelişmesini önleyebilir. Buna karşın, eser elementlerin vücutta bulunması gereken miktardan daha düşük düzeylerde olması da çeşitli rahatsızlıklara neden olur (Köse 2007).

Su ekosistemindeki ağır metaller hücre zarının yapısını bozmakta ve fizyolojik bakımdan olumsuz etki ederek canlıların hücre, doku ve organlarına zarar vermektedir. Ayrıca inorganik katyonların düzeylerini değiştirerek yaşamsal öneme sahip iyon dengesini bozmaktadır (Çoğun 2008). Ağır metallerin neden olduğu yapısal işlev bozuklukları, DNA kırılmaları frekanslarında artışa yol açarak üremeyi olumsuz etkilemekte ve ölüm oranını arttırmaktadır (Uysal ve Atalay 2007, Kayhan vd. 2009).

Yüksek miktarda ağır metal konsantrasyonu, yüzme performansında düşmeye ve yüzme hareketlerinde koordinasyon bozukluğuna, operkulum hareketlerinde artışa, besin alımına karşı duyarsızlık gibi davranış değişikliğine sebep olurlar (Sağlamtimur vd. 2004, Uysal ve Atalay 2007). Ayrıca balıklarda hemotokrit, hemoglobin, kan hücrelerinin yapısı ve sayısı, kandaki glukoz, serbest yağ asidi ve kolesterol düzeyleri gibi kan parametrelerini de subletal derişimler değiştirebilir (Köse 2007).

#### **2.2.4 Kadmiyum ( $Cd^{2+}$ )'un Genel Özellikleri**

Endüstriyel ve çevresel kirleticilerin en önemlilerinden birisi olarak karşımıza çıkan kadmiyum esansiyel olmayan, toksik ağır metallerden biridir. Toksik Maddeler ve Hastalıklar Kayıt Ajansı (ATSDR) kadmiyumu en tehlikeli 20 madde listesinde 7. madde olarak sıralarken, Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) ise kadmiyumu 1. sınıf karsinojen olarak nitelendirmiştir (Singh and Sankhla 2010).

Kadmiyum, 1817 yılında Friedrich Stromeyer tarafından keşfedilmiş olup, periyodik cetvelde çinko (Zn) ve cıvanın (Hg) arasında yer alan katı bir geçiş elementidir. Kadmiyum elementi doğada tek başına bulunmayıp, başlıca kadmiyum ( $Cd^{2+}$ ) tuzları kadmiyum sülfid ( $CdS$ ), kadmiyum klorür ( $CdCl_2$ ) ve kadmiyum sülfat ( $CdSO_2$ ) şeklinde bulunmaktadır (Nriagu 1979).

Kadmiyumun fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2.3'te verilmiştir.

**Çizelge 2.3** Kadmiyumun fiziksel ve kimyasal özellikleri (Friberg *et al.* 1974, Krajčovičová-Kudláčková *et al.* 2006, WHO 2010).

Grup numarası	12
Atom numarası	48
Atom ağırlığı	112 g mol <sup>-1</sup>
Dansitesi	8,69 gr/cm <sup>3</sup>
Oksidasyon derecesi	+2
Erime noktası	321.069 °C
Kaynama noktası	767 °C
İzotopları	<sup>106</sup> Cd, <sup>108</sup> Cd, <sup>110</sup> Cd, <sup>116</sup> Cd, <sup>114</sup> Cd, <sup>112</sup> Cd, <sup>111</sup> Cd, <sup>110</sup> Cd

Son yıllarda toksik ve ağır metallerin tarımsal alanlarda oldukça fazla miktarlarda kullanımı, bunların kimyasal ve endüstriyel faaliyetler esnasında ortaya çıkışı ile çevre kirliliği birçok bölgede bariz olup, genel olarak canlı organizmalar için tehdit edici boyutlara ulaşmıştır. Özellikle kadmiyum gibi toksik elementlerin, içme suları veya bu ağır metal ile kontamine besinlerin tüketilmesi sonucu hayvan ve insanlarda önemli sağlık sorunları oluşturduğu bildirilmektedir (Schwartz and Reis 2000).

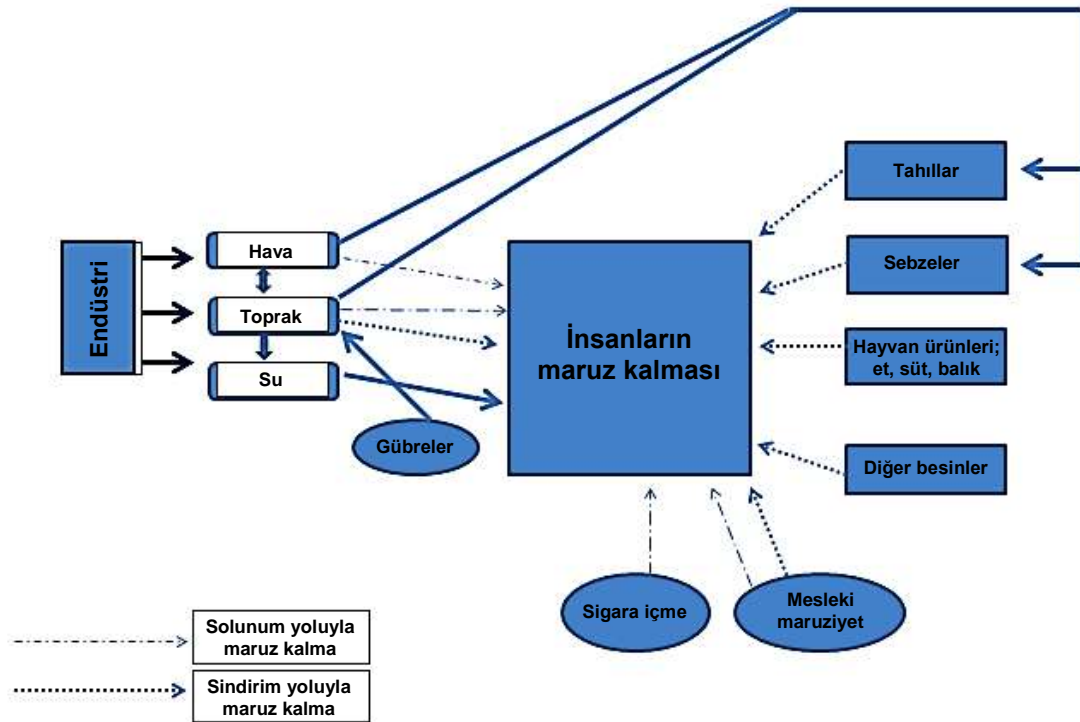
Kadmiyumun neden olduğu sağlık sorunları ishal, kansızlık, kemik kırılması, üreme bozuklukları, merkezi sinir sisteminde hasar, bağışıklık sisteminde hasar, DNA hasarı veya kanser gelişimi ihtimali şeklinde sıralanabilir. Gıdalardan gelen kadmiyum toksisitesi nadirdir ve sadece çevresel kirlenmeden sonra veya kadmiyum miktarı yüksek gıdaların kronik alımından sonra meydana gelmektedir (İnt.Kyn. 2).

1947 yılında Japonya’da Jinitsu Nehri kıyısındaki kasabada “İtai-İtai” adı verilen romatizmal bir hastalık ortaya çıkmıştır. Bu hastalık kemiklere ve iskelete zarar vermektedir (Friberg *et al.* 1974). 1961’de bu hastalığın ortaya çıkmasında aşırı kadmiyumun rol oynadığı tespit edilmiştir. Ayrıca 1968 yılında Japonya Sağlık Bakanlığı “İtai-İtai hastalığının kronik kadmiyum zehirlenmesinden olduğunu” açıklamıştır (Hagino and Yoshioka 1961).

Ülkemizde Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Su Ürünleri Yönetmeliği (2003) ve Tebliğine (2004) göre Cd<sup>2+</sup> için kabul edilebilir en yüksek değer 0.1 mg L<sup>-1</sup>’dir.

Kadmiyum, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından halk sağlığını tehdit eden önemli kimyasal maddelerden birisi olarak görülmektedir (Satarug and Moore 2012). Zirai ve endüstriyel birçok etmen kadmiyumun çevreye yayılmasına sebep olmaktadır. Suda erime derecesinin yüksek olmasından dolayı kadmiyum bileşikleri bitkiler tarafından kolayca emilebilmektedir. Kadmiyum maruziyetinin en önemli kısmını bu bitkiler oluşturmaktadır (Sarwar *et al.* 2010). Bitkilerin yanı sıra et ve et ürünleri, balık, kabuklular, yumuşakçalar ve deniz ürünlerinin birçoğu da kadmiyum kaynakları arasında yer almaktadır (Satarug *et al.* 2000).

Diğer kaynakları ise sigara, çöp ve endüstriyel ürünlerin neden olduğu mesleki maruziyet oluşturmaktadır (Şekil 2.8). Mesleki maruz kalmalara örnek olarak; çinko eritme merkezleri, pil fabrikaları, metal geri dönüşüm merkezleri, kadmiyum rafinelere, boya ve pigment üretim merkezleri ve diğer antropojenik faktörler gösterilebilir (Satarug and Moore 2004).



Şekil 2.8 İnsanların kadmiyuma maruziyet kaynakları

Cıva, su ortamında besin zinciri boyunca artarak birikir. Oysa kadmiyumun biyoakümülyasyonu selektiftir; organik bileşikler oluşturmayan kadmiyum için, su bitkileri ve yumuşakçalar gibi ara tuzaklar vardır. Kadmiyum düzeyi balıklarda 10-60 ppb dolayında bulunmasına karşılık, kabuklu ve yumuşakçalarda 500-1.500 ppb'ye ulaşabilmektedir. Bu verilere göre su ürünleri ile kontaminasyon beslenme tarzı ile yakından ilgilidir. Ağır metaller çevre kirlenmesine neden olmalarından ve çok düşük yoğunluklarda bile deniz organizmalarına ve dolayısıyla insanlara zehirleyici etki gösterdiğinden sucul ekosistemde sürekli etki gösterirler (Hapke 1991, Şanlı ve Kaya 1995).

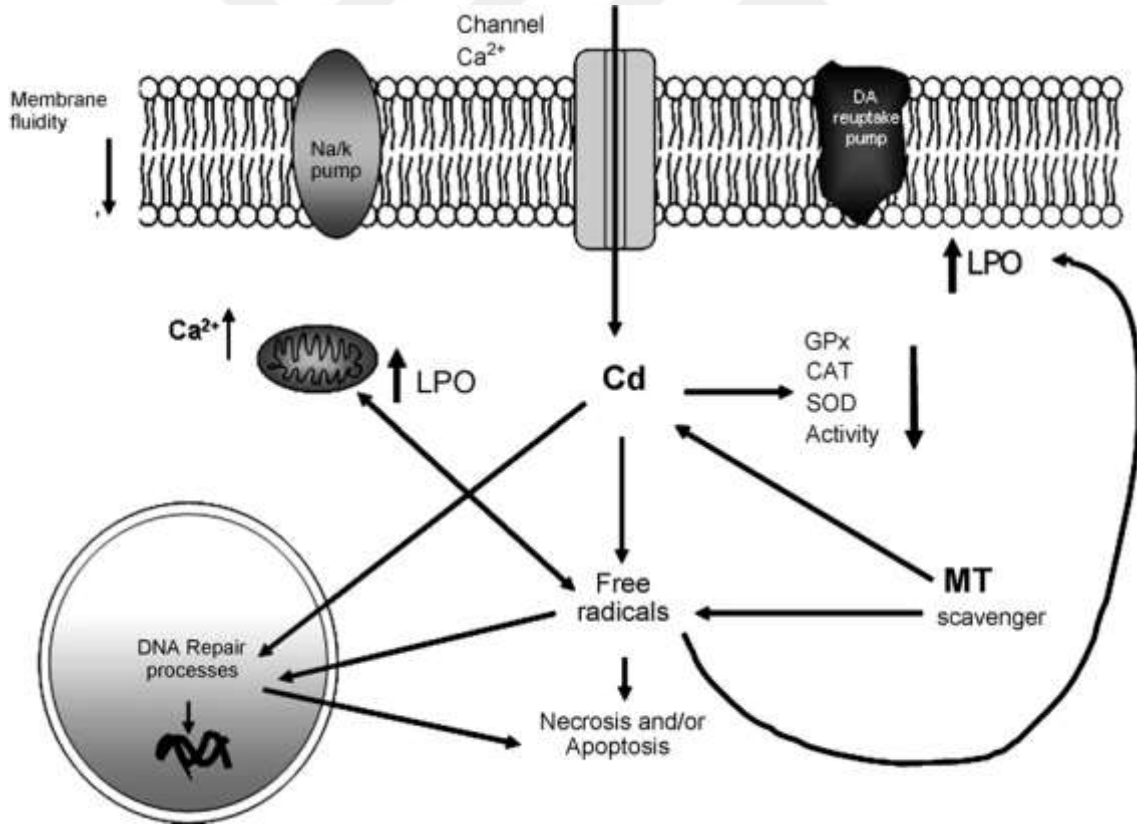
### **2.2.5 Kadmiyum ve Oksidatif Stres**

Kadmiyumun organlarda oksidatif stres oluşturarak doku hasarına sebep olduğu bildirilmektedir. Proteinlerin sülfidril gruplarına bağlanarak yapısal bozukluğa neden olan kadmiyumun, hücredeki glutasyon tüketimini önemli derecede artırdığı görülmektedir (Valko *et al.* 2007).

Kadmiyum toksikasyonu sonucunda, DNA ekspresyonunda epigenetik değişiklikler, hücre metabolizmasının inhibisyonu ve özellikle böbrek tübüllerinin proksimal S-1 segmentindeki taşıyıcı yolların yapısında bozulmalar meydana gelmektedir. Diğer patolojik mekanizmaları ise, çinko veya magnezyumun kompetatif etkileşimi sonucu eritrosit yapımı için gerekli "hem" molekülünün sentezinin engellenmesi ayrıca apoptozisi uyaran mitokondrial fonksiyonların potansiyel olarak bozulması olarak bildirilmektedir (Bernhoft 2013).

Bu etkiler kurşun, arsenik ve bunun gibi toksik diğer maddelerin etkileşimleriyle, çinko-selenyum seviyelerinin düzeltilmesi ve Eritroid-2 ile ilişkili faktör-2 (Nrf2) seviyesinin artırılmasıyla meydana gelmektedir (Wu *et al.* 2012, Wang and Gallagher 2013).

Kadmiyumun neden olduğu serbest radikal üretimi için dolaylı bir mekanizma öne sürülmektedir (Şekil 2.9). Kadmiyum, metalloenzimlerdeki çinko, kalsiyum, bakır ve demirin yerini alarak bu metallerin bağlı olmayan formlarının miktarını artırır, glutatyon gibi serbest radikal süpürücülerin tiyol gruplarına bağlanır, CAT, SOD ve GSH-Px gibi antioksidan enzimleri inhibe eder. Fenton metali olmamasına rağmen, süperoksit ve nitrik oksidinde içinde olduğu birçok serbest radikalın üretimine neden olduğu ve böylece hücre membranındaki yapıların peroksidasyonuna, DNA hasarına ve protein oksidasyonuna yol açtığı düşünülmektedir. Membran lipidlerinin oksidasyonu, membran yapısının polimerizasyonuna ve çapraz bağlarla bozulmasına neden olur. Mitokondri membranındaki hasar, kalsiyumun mitokondriden hücre içine salıverilmesini sağlar. Bu da DNA hasarına, apoptoza ve nekroza yol açan kaspaz-3 aktivasyonuna neden olur (Göktaş 2007).



Şekil 2.9 Kadmiyumun neden olduğu oksidatif stres tablosu (Méndez-Armenta and Ríos 2007).

### 2.3 Serbest Radikaller ve Antioksidan Savunma Sistemleri

Oksijen, canlıların yaşamı için çok önemli bir yere sahip olmasına rağmen, hücrelerde meydana gelen metabolizma sırasında üretilen bazı reaktif oksijen türleri insan vücuduna önemli derecede zarar verme potansiyeline sahiptir (Diplock 1998). Çoğunluğunu serbest radikallerin oluşturduğu reaktif oksijen türleri, normal oksijen moleküllerine oranla kimyasal reaktivite bakımından daha aktif olan oksijen formlarıdır. Serbest radikaller, dış orbitallerinde bir veya daha fazla serbest elektron içeren yüksek enerjiye sahip, stabil olmayan bileşiklerdir (McCord 1985, Siesjö *et al.* 1989).

Serbest radikal oluşturan bazı mekanizmalar arasında, otooksidasyon (Misra 1974, Saez *et al.* 1982, Devasagayam *et al.* 2004), geçiş metal iyonlarının etkisi (Gutteridge and Halliwell 1990), fotooksidasyon (Sheu and Foote 1995), enzimatik oksidasyonlar (Meydani 2001) ve halojenlenmiş hidrokarbonlar (Chen and Tappel 1996) yer almaktadır. Serbest radikallere örnek olarak; tekli oksijen ( $^1O_2$ ), süperoksit anyonu ( $^{\cdot}O-O^-$ ), hidroksi ( $OH^{\cdot}$ ), peroksi ( $R-O-O^{\cdot}$ ) ve alkoksi ( $RO^{\cdot}$ ) radikalleri verilebilir (Ishar *et al.* 2001).

Bu eşleşmemiş serbest elektronlar, oksijen radikallerine büyük bir reaktivite kazandırarak protein, lipid, DNA ve nükleotid koenzimler gibi birçok biyolojik yapıya zarar vermektedir. Bu zararların yaşlanmayı teşvik ettiği, kalp-damar hastalıklarına sebep olduğu, çeşitli kanser türlerini tetiklediği, katarakt, bağışıklık sisteminde zayıflama, sinir sisteminde dejenerasyon gibi birçok patolojik duruma neden olduğu bildirilmektedir (Diplock 1998).

Hücrelerde serbest radikallerin oluşumunun artmasına bağlı olarak antioksidan sistemin yetersiz kalması, serbest radikal/antioksidan dengesinin bozulması hücrelerde oksidatif stresin meydana gelmesine sebep olmaktadır (Birben *et al.* 2012).

**Çizelge 2.4** Serbest radikaller ve yol açtıkları reaksiyonlar (Halliwell and Gutteridge 1999).

Süperoksit	$\cdot\text{O-O}^-$	$\text{Fe}^{2+}$ ve $\text{Cu}^+$ iyonlarını geri kazanım yoluyla Haber-Weiss reaksiyonunu katalizleme, hidrojen peroksit veya peroksinitrit oluşumu
Hidrojen peroksit	$\text{HO-OH}$	Hidroksil radikali oluşumu, enzim inaktivasyonu, biyomoleküllerin oksidasyonu
Hidroksil radikali	$\text{OH}\cdot$	Hidrojen çıkarılması, serbest radikallerin ve lipit peroksidlerin üretimi, tiyol oksidasyonu
Ozon	$\text{O} = \text{O}^+ - \text{O}^-$	Bütün biyomoleküllerin özellikle çift bağ içerenlerin oksidasyonu, sitotoksik aldehit ve ozonit oluşumu
Oksijen	$\text{O} = \text{O}$	Çifte bağlarla reaksiyon, peroksitlerin oluşumu, aminoasitlerin ve nükleotidlerin oluşumu
Nitrik oksit	$\cdot\text{N} = \text{O}$	Peroksinitrit oluşumu, diğer radikallerle reaksiyon
Peroksinitrit	$\text{O} = \text{N} - \text{O} - \text{O}^-$	Hidroksil radikali oluşumu, tiyollerin ve aromatik grupların oksidasyonu, ksantin dehidrojenazın ksantin oksidaza dönüşümü, biyomoleküllerin oksidasyonu
Hipoklorit	$\text{ClO}^-$	Amino ve kükürt içeren grupların oksidasyonu, klorin oluşması
Radikal	$\text{R}\cdot$	Hidrojen çıkarılması; peroksil radikalleri ve diğer radikallerin oluşumu, lipitlerin ve diğer biyomoleküllerin bozulması
Hidroperoksit	$\text{R} - \text{O} - \text{OH}$	Biyomoleküllerin oksidasyonu, biyolojik membranların bozulması
Peroksil radikali	$\text{R} - \text{O} - \text{O}\cdot$	Hidrojen çıkarılması, radikallerin oluşumu; lipitlerin ve diğer biyomoleküllerin bozulması
Bakır ve demir iyonlar	$\text{Cu}^{2+}$ ve $\text{Fe}^{3+}$	Fenton ve Haber-Weiss reaksiyonlarıyla hidroksil radikali oluşumu



Serbest radikallerin oluşumunu ve meydana getirdikleri hasarları önlemek ve detoksifikasyonunu sağlamak için normal fizyolojik şartlarda çeşitli “antioksidan savunma sistemleri” gelişmiştir. Kısaca antioksidanlar olarak da adlandırılan bu sistemdeki moleküller, serbest radikallerin ortadan kaldırılmasında ve dolayısıyla oksidatif hasarın önlenmesinde önemlidirler (Halliwell and Gutteridge 1999, Gutteridge and Halliwell 2000, Urso and Clarkson 2003).

Antioksidanlar, oksijeni uzaklaştırarak, geçiş metal iyonlarını uzaklaştırarak, reaktif oksijen türlerini baskılayarak veya temizleyerek ve başlamış olan zincir reaksiyonunu kırarak etkili olurlar (Halliwell 1997).

Endojen kaynaklı antioksidanlar, enzimatik ve non-enzimatik olarak sınıflandırılmaktadır. Hücresel düzeyde etkin olan enzimatik sistemler içinde birincil antioksidan enzimler arasında SOD, CAT, GSH-Px ve GSH-ST bulunur. Bu birincil enzimlerden başka dolaylı olarak antioksidan sistem içinde yer alan GSH-Rd ve glukoz-6-fosfat dehidrojenaz (G6PD) enzimleri de ikincil antioksidan enzimler olarak adlandırılmaktadır. Non-enzimatik antioksidanlar ise, indirgenmiş glutatyon (GSH), N-asetilsistein ve tiyoller gibi protein olmayan sülfhidriller, A, C ve E vitaminleri ve daha başka moleküllerdir (Halliwell and Gutteridge 1999, Aydın vd. 2001). Biyolojik sistemlerdeki antioksidanlar Çizgelge 2.4’te verilmiştir.

Biyobelirteçlerin, kirleticilerin ve çevresel stresin organizmalara etkilerinin izlenmesinde önemli araçlar olduğu kabul edilmektedir (Beliaeff and Burgeot 2002, Güngördü 2007). Shugart vd. (1992)’ne göre biyobelirteç “biyolojik bir sistemde ya da örnekte ölçülebilen hücresel, biyokimyasal, fizyolojik fonksiyon ya da yapılarda ksenobiyotiklerce indüklenen bir değişimdir”.

*Eylais setosa* (Acari, Hydrachnidia) türü su kenesine uygulanan farklı kadmiyum ( $Cd^{2+}$ ) dozlarının oluşturduğu toksisitenin değerlendirilmesinde kullanılan enzimatik biyobelirteçler SOD, GSH-Px, GSH-ST, CAT ve GSH-Rd enzimleridir.

**Çizelge 2.5** Biyolojik sistemlerdeki antioksidanlar (Sies 1991).

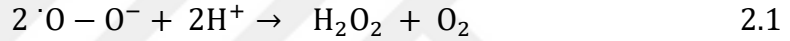
<b>Sistem</b>	<b>Özellikler</b>
<b>Nonenzimatik</b>	
$\alpha$ -Tokoferol	Membrana bağlı kromanoksil radikalına dönüşüp rejenere olur
Askorbik asid	Suda çözünür
Glutatyon	Glutatyon peroksidaz ve glutatyon S-transferaz için kofaktördür
Flavonoidler	Bitki antioksidanları (rutin, kersetin)
Kimyasallar	Butil hidroksianisol (BHA), BHT gibi gıda katkı maddeleri
$\beta$ -Karoten	Singlet oksijen baskılayıcı
Ürik asid	Singlet oksijen baskılayıcı, radikal temizleyici
Plazma proteinleri	Seruloplazmin
<b>Enzimatik</b>	
Süperoksid dismutazlar	CuZn-SOD enzimi, Mn-SOD enzimi
Glutatyon peroksidazlar	Selenoenzim; non-Se enzim: Bazı glutatyon-S transferazlar
Katalaz	Hem enzimi; peroksizomal matrikste yoğun
<b>Yardımcı enzimler</b>	
NADPH-kinon oksidoredüktaz	İki elektron redüksiyonu, dikumarole duyarlı
Epoksid hidrolaz konjugasyon enzimleri	UDP-glukuroniltransferaz, sülfoniltransferaz, Glutatyon S-Transferazlar
Glutatyon redüktaz	
NADPH	Glukoz-6-fosfat dehidrojenaz, 6-fosfo-glukonat dehidrojenaz, izositrat dehidrojenaz, enerji bağımlı transhidrojenaz
Transport sistemleri	GSSG taşınması, konjugat taşınması

### **2.3.1 Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzimi**

Süperoksit dismutaz enzimi, ilk olarak 1968 yılında McCord ve Fridovich tarafından tanımlanan enzimdir. Toksik ve reaktif olan süperoksit anyon radikalinin ( $O_2^-$ ) ondan daha az reaktif olan hidrojen peroksite ( $H_2O_2$ ) indirgenmesini katalize eder. Hidrojen iyonu kullanır ve oksijen üretir.

Aktif merkezlerinde bulunan geçiş metalinin tipine göre SOD'lar üç şekilde sınıflandırılabilir. Bunlar; bakır/çinko (Cu/Zn) SOD, manganez (Mn) SOD ve demir (Fe) SOD'dur. Cu/Zn SOD öncelikle ökaryotların sitozolünde, kloroplastlarda ve bazı bakteri türlerinde bulunur, Mn-SOD ökaryotlar ve prokaryotların mitokondrisinde ve Fe-SOD da prokaryotlarda bulunur. Genellikle hücrede en bol bulunan izomer sitozolik Cu/Zn SOD'dur (Mruk *et al.* 2002).

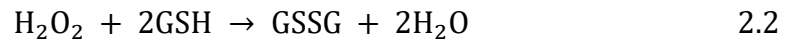
SOD enzimi, süperoksidin hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ve moleküler oksijene (O<sub>2</sub>) dönüşümünü katalizler. Bütün canlılardaki süperoksit dismutaz enzimleri, kofaktör olarak içerdiği metal iyonuna göre sınıflandırılmaktadır (Fridovich 1995). SOD enzimi iki tane  $\cdot\text{O}-\text{O}^-$  radikalinin reaksiyonunu katalizlemekte ve sonuçta ürün olarak H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O oluşmaktadır.



Yakın zamana kadar, ökaryotik organizmalarda önemli antioksidan enzim aileleri süperoksit dismutazlar (SOD), glutatyon peroksidazlar (GSH-Px) ve katalaz (CAT) olduğu kabul edilmiştir (Southorn and Powis 1988, Sies 1993). Yapılan çalışmalar sonucunda, Pb<sup>2+</sup>'un yüksek konsantrasyonlarda, SOD enzimi aktivitesi için gerekli olan Cu, Fe ve Mn ağır metallerinin yerine geçebildiği (Sharma and Dubey 2005) veya bu metallerin alınımını engellediği bildirildi (Walker *et al.* 1977, Haussling *et al.* 1988).

### 2.3.2 Glutatyon Peroksidaz (GSH-Px) Enzimi

Glutatyon peroksidaz, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'lerin indirgenmesinden sorumlu enzim olup, sitozolde bulunmaktadır. Diğer antioksidan enzimlerle birlikte GSH-Px, oksijen tüketiminin hızla arttığı sırada serbest radikal peroksidasyonu sonucunda fagositik hücrelerin zarar görmesini engeller. Eritrositlerde oksidatif strese karşı en etkili antioksidanın GSH-Px olduğu bildirilmektedir (Bayır 2005, Esenbuğa 2013, Erdoğan 2015).



1921 yılında Hopkins tarafından keşfedilen Glutatyon ( $\gamma$ -glutamilsisteinilglisin: GSH), GSH'nin hemen hemen tüm organizmalarda mevcut olduğu ve oksidatif olayların önlenmesi ve hücre içi protein tiyol gruplarının korunması olmak üzere birçok biyokimyasal reaksiyonda bir indirgeyici görevi gördüğü bilinmektedir. GSH-Px, doku metabolizması sırasında oluşan peroksitlerin, hücre içi metabolitlerinin zararlı etkilerinin önlenmesinde önemli bir rol oynar.

### 2.3.3 Glutatyon S-Transferaz (GSH-ST) Enzimi

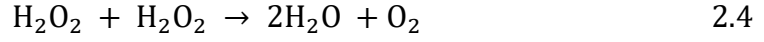
GSH-ST'ler, GSH molekülleri ile eşlenerek zararlı organik bileşikleri detoksifiye eden ve çeşitli endojen fonksiyonlarda da rol oynayan çok yaygın bulunan ve her yerde görülen dimerik enzimler ailesidir. Ek olarak GSH-ST, lipid peroksidasyonunu veya hidroperoksit ürünlerini hücrelerden uzaklaştırır (Dubovskiy *et al.* 2008, Meng *et al.* 2009). Toplam antioksidan kapasite, bir organizmada bulunan tüm antioksidanların oksidasyonuna karşı koyma kabiliyetinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu enzim, hücre membranlarını, lipid peroksidasyonundan kaynaklanan hasarlardan korur (Ghiselli *et al.* 2000).



GSH-ST antioksidan bir enzim ailesi olup indirgenmiş glutatyon konjugasyonunu sağlar. Bu reaksiyon sonunda aktif olmayan, suda çözünebilen daha az zararlı ürünler ortaya çıkar (Dat *et al.* 2000). GSH-ST aktivitesi bitkilerde, böceklerde, mayalarda, bakterilerde ve karaciğerde olmak üzere çoğu memeli dokularında bulunduğu ve detoksifikasyonda anahtar rol oynadığı bilinmektedir (Lo *et al.* 2007).

### 2.3.4 Katalaz (CAT) Enzimi

Peroksizomlarda lokalize, yapısında  $\text{Fe}^{3+}$  bulunduran, her biri prostetik grup olan 4 hem grubundan oluşmuş bir hemoproteindir (Guemouri *et al.* 1991). Katalaz, SOD'ın oluşturduğu  $\text{H}_2\text{O}_2$ 'yi peroksidazlarla beraber oksijen ve suya parçalar.



CAT, başlıca peroksizomlarda (hücrelerde hidrojen peroksitleri parçalayan organ) bulunur ve peroksizomlarda uzun zincirli yağ asitlerinin metabolizmasında üretilen  $\text{H}_2\text{O}_2$ 'nin azaltılması için glutasyon peroksidazla birlikte sorumludur. CAT aktivitesindeki azalma enzim aktivitesini inhibe ettiği için belirlenen süperoksit anyon radikalinin Propiconazole (PPC) etkisinde artan üretimiyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Hücreler CAT aktivitesindeki azalan aktiviteye bağlı olarak daha savunmasız duruma dönüşebilmektedirler (Ballesteros *et al.* 2009).

### 2.3.5 Glutasyon Redüktaz (GSH-Rd) Enzimi

Glutasyon redüktaz (GSH-Rd) enzimi ilk defa 1951'de tanımlanmıştır. GSH-Rd okside glutasyonu tekrar kullanılmak üzere redükte glutatyona dönüştüren enzimdir. Koenzim olarak NADPH'ı kullanır. Glutasyon redüktaz (GSH-Rd) hücre içi glutasyon (GSH) seviyelerini korunmasına yardımcı olarak hücre içinde oksidatif hasarın önlenmesi açısından dolaylı ama önemli bir rol oynamaktadır (Meister 1994).



Glutasyon redüktaz enziminin katalizlediği reaksiyonun bilinen en önemli hedeflerinden biri hücre ortamındaki GSH/GSSG oranını korumaktır. Bu oran eritrosit hücrelerinde yaklaşık 1/500'dir. Bu oranın daha düşük olduğu zaman eritrosit hücreleri hemoliz olmaktadır (Keha ve Küfrevioğlu 2000).

Bir flavoprotein olan GSH-Rd hidrojen donör olarak  $\beta$ -nikotinamid dinükleotid fosfat (NADPH) kullanarak okside glutasyonu (GSSG) indirgenmiş glutatyona (GSH) katalizler (Massey and Willams 1965). Böylelikle güçlü antioksidan etkisine sahip glutasyon muhafaza edilir (Kasnak ve Palamutoğlu 2015). Glutasyon redüktaz, organizmalann hücrelerinde okside glutasyonu redükte glutatyona dönüştürmeden sorumlu bütün dokularda bulunan bir flavoproteindir.

## 2.4 Yapılan Çalışmalar

### 2.4.1 Ağır Metal Birikim Çalışmaları

Türkiye’de ve dünyada ağır metallerin pek çok tatlı su ve deniz balığı üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çok sayıda çalışma bulunmaktadır; kadmiyum ve bakırın, sazan (*Cyprinus carpio*), tatlı su çipurası (*Oreochromis niloticus*) ve alabalığın (*Salmo trutta*) karaciğer, böbrek ve kas dokularındaki birikimi incelenmiştir. Kadmiyumun önce böbrek ve karaciğerde biriktiği ve eşik değeri aştıktan sonra kaslarda ve solungaçlarda biriktiği gözlenmiştir (De Conto Cinier *et al.* 1997, Kumar and Mathur 1996, De Smet and Blust 2001, Olsvik *et al.* 2001).

Ağır metallerin ortam derişimindeki artışının balıklar üzerinde başlıca etkisi doku ve organlarda birikmesidir. Ayrıca çeşitli kan parametrelerini, enzim aktivitelerini, büyüme ve gelişmeyi de etkiledikleri belirtilmiştir. Balık doku ve organlarında biriken metal düzeyi, ortam derişimine ve etkide kalma süresine bağlı olarak artar. Ancak metalin hangi dokuda öncelikle birikeceği metalin çeşidine ve canlının türüne bağlı olarak değişir (Altındağ and Yiğit 2005, Cicik 2003, Cearley and Coleman 1974).

Cearley ve Coleman (1974), *Lepomis macrochims* ve *Micropterus salmoides* balıklarıyla yaptıkları araştırmada ortamdaki kadmiyum derişiminin artışıyla dokulardaki Cd birikimininde arttığını saptamışlardır.

Ağır metallerin toksik etkisi üzerine yapılan diğer çalışmalara bakıldığında, bu çalışmaların özellikle büyük omurgasızlarda yapıldığı görülmektedir. Bunlardan dikkat çekenleri Everaarts ve Nieuwenhuize (1995) tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada laboratuvar ortamında makroomurgasızlara Cu, Cd, Zn ve Pb metallerini uygulamışlar ve sonuç olarak diğer metallerin yanında Cu ve Cd metal değerlerinde bir artış gözlemişlerdir.

Ağır metallerin bazı denizel Amphipoda türlerine olan etkisi, ağır metale maruz kalma süresine, sıcaklığa ve canlıya göre değişmektedir (Reish 1993, Prato 2008).

Ağır metallerin canlı bünyesinde birikmesi ve canlıya olan etkisi türlere göre değişiklik göstermektedir. *Plectrocnemia conspersa*, *Moina monogolic*, *Hydropsyche pellucidula*, *Stenopsyche marmorata* gibi bazı türlere letal etki eden LC50 değerleri belirlenerek ve morfolojik değişikliklere bakılarak su kalitesinin belirlenmesinde indikatör tür olarak kullanılmaktadır (Darligton *et al.* 1987, Vuori and Kukkonen 1996, Aizawa *et al.* 2009, Wang *et al.* 2009).

Havens (1993), sucül ekosistemde *Enallagma sp.*, *Chironomidae*, *Hyaella sp.* vb. yaygın bulunan canlıların, asidik ortamda alüminyum varlığında ölüm oranı artarken Hydracarina grubunun bu durumdan etkilenmediğini belirtmiştir.

Bjerregaard ve Depledge (1994) yapmış oldukları bir çalışmada, deniz suyunun tuz konsantrasyonu arttıkça yumuşakçalarda ve eklem bacaklılarda biriken ağır metal konsantrasyonunun da türlere göre değişiklik gösterdiğini ayrıca, kadmiyum birikimi, *Mytilus edulis* ve *Carcinus maenas*'ın kabuğunda ve *Littorina littorea*'nın kabuk ve yumuşak dokusunda tuzluluk arttıkça azaldığını bildirmişlerdir.

*Daphnia magna*'da toksik etki gösteren ağır metal sıralaması  $Hg^{2+} > Cu^{2+} > Cd^{2+} > Zn^{2+} > Fe^{3+} > Mn^{2+}$  şeklindeyken bu sıralama at nalı yengeci larvasında (*Limulus polyphemus*)  $Hg > Cd > Cr > Zn > Pb \geq Cu$  şeklindedir (Sorvari and Sillanpää 1996, Itow *et al.* 1998).

Rayms-Keller vd. (1998), *Aedes aegypti* türünde ağır metallerin biyolojik etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada ppm düzeyinde Hg, Cu, Cd metallerine maruz kalan canlılar incelenmiş ağır metal miktarları 33 ppm düzeyine çıkarıldığında canlıların öldüğünü gözlemişlerdir.

Kahle ve Zauke (2002), *Calanus propinquus*, *Rhincalanus gigas*, *Metridia curticauda* akar türlerindeki Cd, Co, Cu, Ni, Pb ve Zn miktarlarını atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS) ile belirlemişler ve bu türlerde en yüksek oranda Cd metali bulunurken, en düşük oranda da Co metalinin bulunduğunu belirtmişlerdir.

Küçükgülmez (2005), yapmış olduğu tez çalışmasında, yurt dışına ihracatı yapılan mavi yengecin farklı dokularında ağır metal konsantrasyonları ve mineral madde içeriklerini incelemiştir. Çalışma sonucunda ağır metallerin tüm dokularda bulunma miktarına göre sırasıyla; çinko>bakır>demir>kurşun>kadmiyum>cıva şeklinde olduğunu belirtmiştir.

Duman (2005), yapmış olduğu tez çalışmasında, Sapanca ve Abant göllerinde bazı sucul canlılarda (*Phragmites australis*, *Schoenoplectus lacustris*, *Potamogeton lucens* ve *Nuphar lutea*) ağır metal birikiminin mevsimsel değişimini incelemiştir. Bu çalışmada Pb, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn ve Cd konsantrasyonları ICP-OES cihazı ile belirlenmiştir. Çalışmasının sonucunda *P. australis*'in Pb, Cr, Cu ve Ni, *S. lacustris*'in ise Mn, Zn ve Cd metallerini önemli ölçüde absorpladığını saptamıştır.

Zauke ve Schmalenbach (2006), Barents Denizi'ndeki zooplankton ve kabuklu canlılarda Cd, Cu, Pb ve Zn ağır metallerinin analizini yapmışlardır. Analiz sonuçlarında Pb metalinin analiz limitinin altında çıktığını gözlemişlerdir. Diğer metal miktarlarının ise mevsimsel olarak değişiklik gösterdiğini belirtmişlerdir.

Bergin vd. (2006), Foraminifera türü olan *Ammonia tepida*'nın ağır metal kirliliği indikatörü olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Skubala ve Kafel (2004), Oribatid akar türleri ve orman ekosistemlerindeki ağır metal birikimlerini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda Cd ve Cu metallerinin birikimi analiz edilen diğer metaller arasında en yüksek düzeyde olduğunu bildirmişlerdir.

El-Sharabasy ve Ibrahim (2010), Oribatid akarlar ve Mısır'daki tarım topraklarındaki akar türlerinde ağır metal birikimini incelemiştir. Tarımsal topraklarda metallerin limit değerinin altında ancak sulama yapılan suda ağır metal düzeylerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Cd, Pb, Cu, Zn metallerinin analizleri yapılmış ve sonuç Zn>Pb>Cu>Cd bu şekilde belirlenmiştir.



Skubala ve Zaleski (2012) yaptıkları çalışmada, akarlardaki ağır metal hassasiyetini ve artan ağır metal konsantrasyonlarına karşı canlı türlerinin verdiği farklı tepkileri belirlemişlerdir. Cd, Zn ve Cu metallerinin analizi atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS) ile yapılmıştır.

Aşçı vd. (2009)'nin yaptığı çalışmada, su kenelerinin (Hydrachnidae) ağır metal çalışmalarında kirlilik indikatörü olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Aşçı vd. (2016) bir diğer çalışmada ise, *Hydrodroma despiciens* türünde ağır metal tuzlarının [Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ve Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] toksikolojik etki düzeylerini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlarda bu ağır metallerin su kenelerinin bünyelerinde kolaylıkla difüze olduğunu ve canlıda biriktiğini göstermişlerdir. Bu çalışmada ayrıca bu ağır metal tuzlarından toksik etkisi en yüksek olan Hg, en düşük olan ise Ni olduğu saptanmıştır.

#### **2.4.2 Antioksidan Enzimlerle Yapılan Çalışmalar**

Kadmiyumun antioksidatif savunma sistemi üzerine etkilerinin araştırılmasına yönelik yapılan çalışmalardan birinde, Venugopal vd. (1997), farklı sürelerde Cd etkisinde bırakılan tatlı su yengeci *Barytelphusa guerinfi*'nin antioksidan enzim aktiviteleri ve lipid peroksidasyonu ölçümü sonucunda hem solungaçlarda hem de hepatopankreasta uygulanan tüm sürelerde antioksidan enzim aktivitesi ve lipid peroksidasyonunda önemli bir artış olduğunu belirlemiştir.

Diğer bir çalışmada, CdCl<sub>2</sub>'nin kemikli balık *Sparus aurata*'ya 3 ve 6 günlük uygulanmasının sonucunda karaciğerindeki enzim aktivite değişimleri incelenmiştir. Karaciğerde antioksidan enzimler olan GSH-Px, GSH-Rd ve CAT aktivitesinin 3 ve 6 günlük Cd uygulaması sonucunda önemli derecede düştüğü gözlenmiştir (Vaglio and Landriscina 1999).

Meyer vd. (1991), kadmiyumun *Astacus astacus*'ta önce sindirim sistemi, karapaks ve solungaçlarda biriktiğini, zamanla bu organlardan vücuda dağılarak diğer organlarda da birikmeye başlamadığını ve organlardaki kadmiyum birikimi arttıkça GSH-ST enziminin aktivitesini de azaldığını belirlemişlerdir.

Romeo vd. (2000)'nin yapmış olduğu bir çalışmada, *Dicentrarchus labrax* balıklarının böbrek dokusundaki CAT aktivitesi kadmiyum etkisinde (500, 1000 ve 2000 ng g<sup>-1</sup>) azalırken, bakır etkisinde ise (50, 250 ve 1000 ng g<sup>-1</sup>) önemli bir değişiklik gözlenmediği bildirilmiştir.

Bir başka çalışmada ise farklı dozlarda in vivo kadmiyum kontaminasyonuna maruz bırakılan tatlı su çipurasında (*Oreochromis niloticus*) oluşan oksidatif stres ve metabolik değişikliklerin değerleri ölçülmüştür. 0.35, 0.75, 1.5 ve 3.0 mg L<sup>-1</sup>'lik konsantrasyonlarda Cd<sup>2+</sup>'un (CdCl<sub>2</sub>) suya karıştırılması suretiyle 60 günlük uygulama süresi sonucunda SOD ve GSH-Px aktiviteleri balığın karaciğeri ile kırmızı ve beyaz kaslarında ölçülmüştür. Bu ölçümlere dayanılarak, balıkta kadmiyum toksisitesinin bir göstergesi olarak serbest oksijen radikallerinin üretildiği gözlenmiş ve 0.35 mg L<sup>-1</sup>'den daha yüksek konsantrasyonlarda (1.5 mg L<sup>-1</sup> ve 3.0 mg L<sup>-1</sup>) kadmiyumun toksik olduğu ve balıklarda ölümlere yol açtığı saptanmıştır (Almeida *et al.* 2002).

Basha ve Rani (2003), CdCl<sub>2</sub>'ün 5 ppm ortam derişimine 1, 7, 15 ve 30 gün süre ile bıraktıkları *O. mossambicus*' un karaciğer ve böbrek dokularında antioksidan savunma sistemlerini incelemişler ve her iki dokuda da SOD ve CAT aktivitesinde artış olduğunu saptamışlardır.

Almeida vd. (2004), doku ve organlardaki antioksidan enzim aktivitesi ve lipid peroksidasyonunun, ortamda bulunan metale bağlı olarak değişim gösterdiğini bildirmiştir. *P. perna*'nın sindirim bezinde belirli sürelerde Cd ve Cu metallerinin ayrı ayrı uygulanmasından sonra MDA düzeylerinde ve CAT aktivitesinde artış, GSH-Px aktivitelerinde ise azalma olduğu gözlenmiştir.

Karakaya Baraj Gölü'nde 2000-2001 yılları arasında kirlilik düzeyinin mevsimsel olarak saptanması ve bu kirliliğe bağlı olarak sazın balıkları (*Cyprinus carpio*) üzerine toksik etkilerin belirlenmesini amaçlayan bir çalışma yapılmış ve balık dokularında çeşitli metallerin birikimi de izlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, baraj gölünde çeşitli metal düzeylerinin ve diğer kirleticilerin miktarının yüksek düzeyde olduğu, balık dokularında kadmiyum, kurşun ve bakır gibi metallerin biriktiği saptanmıştır. Ayrıca, baraj gölünden yakalanan balıklarda çeşitli enzim değerlerinin de kirlilik düzeyine ve lokasyonlara göre önemli düzeyde değiştiği bulunmuştur (Özmen vd. 2003).

Cd, Cr, Se, Cd+Se ve Cr+Se'a bir hafta süreyle maruz bırakılan gökkuşağı alabalıklarının karaciğer ve solungaç dokularında selenyum bağımlı glutatyon peroksidaz (Se-GSHPx), süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz aktiviteleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda Cd, Cr, Cd+Se ve Cr+Se'a maruz kalmış grupların enzim aktivitelerinde kontrole göre istatistiksel açıdan önemli oranda düşüşlerin olduğu ( $p<0.05$ ) gözlenmiştir. Se maruzatının ise enzim aktiviteleri düzeylerinde önemli değişimlere yol açmadığı belirlenmiştir (Alkan 2005).

Chandran vd. (2005)'nin yaptığı başka bir çalışmada, Zn ve Cd'un etkisine bıraktıkları *Achatina fulica*'da SOD ve CAT enzim aktivitelerinde maksimum inhibisyon görüldüğünü belirtmişlerdir.

Kostaropoulos vd. (2005), kadmiyum ve kromun *Rana ridibunda*'nın çeşitli dokularındaki GSH-ST ve P450 Monooksijenaz aktiviteleri üzerine etkisini araştırmaya yönelik yapılan bir çalışmada ergin kurbağalar  $10 \text{ mg L}^{-1}$  Cr ve  $10 \text{ mg L}^{-1}$  Cr +  $10 \text{ mg L}^{-1}$  Cd karışımına 14 gün süreyle maruz bırakılmıştır. Araştırmacılar kontrol grubundaki hayvanlarda en yüksek ve en düşük P450-MO aktivitesinin sırasıyla karaciğer ve bağırsakta gözlemlerken en yüksek GSH-ST aktivitesini ise karaciğer ve böbrekte gözlemlemişlerdir. Bundan başka Cr ya da Cr+Cd karışımının kurbağalarda karaciğer GSH-ST ve P450-MO ile böbrek GSH-ST aktivitelerinde bir azalışa neden olduğunu ve hem GSH-ST hem de P450-MO aktiviteleri ile metal karışımına maruz kalan bireylerin karaciğerindeki her iki metalin konsantrasyonu arasında negatif bir korelasyon olduğunu rapor etmişlerdir.

Atlı vd. (2006) yapmış olduğu bir çalışmada, 96 saat süreyle Ag, Cd, Cr, Cu ve Zn nin farklı derişimlerinin (0.1, 0.5, 1.0 ve 1.5 ppm) in vivo ve in vitro koşullarda *O. niloticus*'un karaciğer, böbrek, solungaç, bağırsak ve beyin dokularında CAT aktivitesi üzerine etkisi araştırılmıştır. Cd etkisindeki balıkların karaciğer dokusunda in vivo koşullarda enzim aktivitesinde genel olarak artış göstermiştir. Böbrek dokusunda in vivo koşullarda enzim aktivitesinde Ag, Cr ve Cu etkisinde azalış gözlenirken, Cd ve Zn etkisinde herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir. Solungaç dokusunda ise enzim aktivitesi in vivo koşullarda 0.1 ppm Cu etkisinde azalırken, diğer Cu derişimlerinde artmıştır. Cd etkisinde ise değişiklik gözlenmemiştir.

Cd, Cu ve Cd-Cu'nun karışımlarına 15 ve 30 günlük sürelerle bıraktıkları *Oreochromis niloticus*'un bakırın yüksek derişimlerinde karaciğer ve solungaç dokusunda katalaz (CAT) aktivitesi azalmıştır. 30. günde kadmiyumun yüksek derişimleri, böbrek, solungaç ve kas dokusu CAT aktivitesini kontrol değerlerine göre önemli derecede artırmıştır. Bakırın yüksek derişimlerinin etkisinde her iki sürede de karaciğer süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi azalırken, böbrek, solungaç ve kas dokusunda ise artışı belirlenmiştir. 15. günde yüksek kadmiyum derişimlerinin etkisinde SOD aktivitesi karaciğerde bir azalma göstermiş, böbrek dokusunda ise artmıştır (Yüzeroğlu 2011).

Othman vd. (2012)'nin yaptıkları çalışmada, yabancı *Fejervarya limnochairs* türü kurbağalarda karaciğer Cd düzeyleri ile karaciğer GSH-ST ve MT düzeyleri arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Araştırma sonuçları kirli bölgeden alınan kurbağa örneklerinde GSH-ST aktivitesi ve MT miktarının kontrol grubu olarak seçilen bölgedeki kurbağalardan önemli düzeyde yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca araştırmacılar karaciğer Cd miktarı ile GSH-ST aktivitesi arasında pozitif bir ilişki olduğu ancak karaciğer MT düzeyi ile Cd miktarı arasında pozitif bir ilişki olmadığı sonucuna varmışlardır.

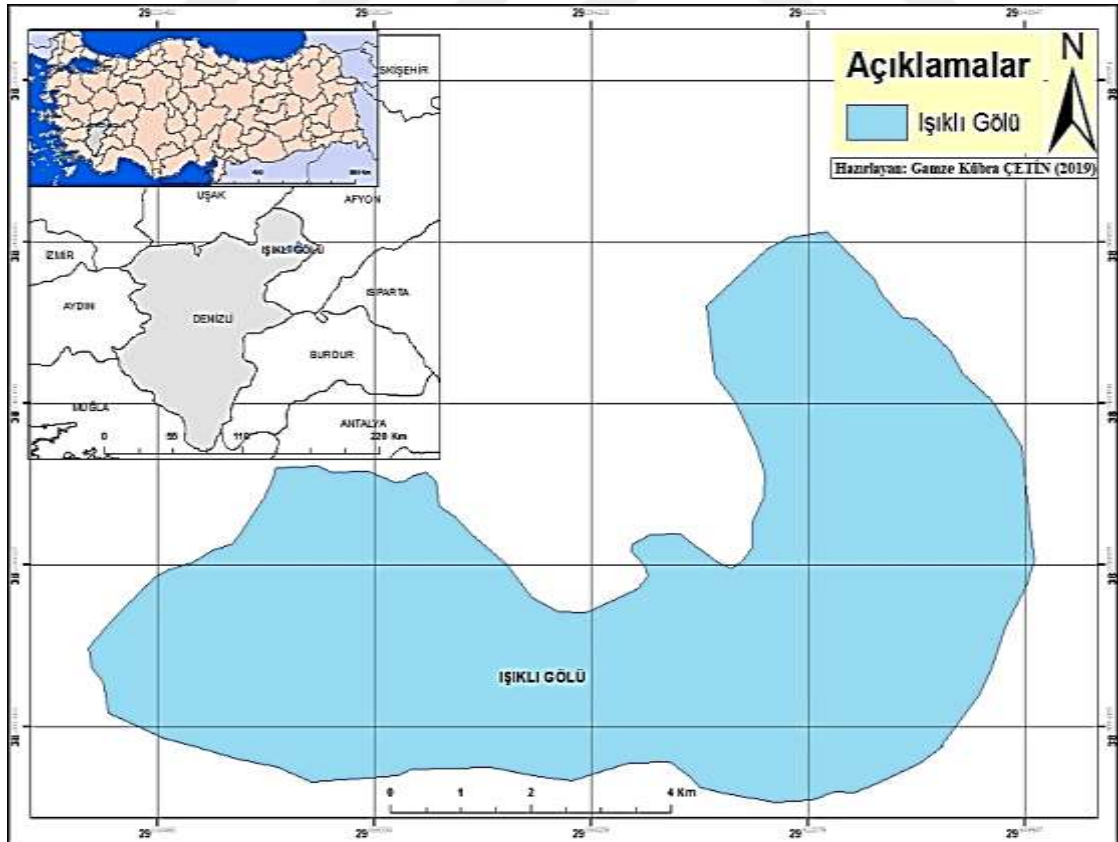
Ağır metal uygulamalarının antioksidan enzim aktivitelerindeki değişikliklerin değerlendirilmesi üzerine yapılan çalışmaların omurgalı hayvanlar ve makro omurgasızlar üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Literatür taramaları sonucunda ise su kenelerinde (Acari, Hydrachnidia) bu konu ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1 Çalışmanın Yapıldığı Işıklı Gölü'nün Tanıtımı

Işıklı Gölü, Yukarı Menderes Havzası'nda, Denizli ili Çivril ilçesi sınırları içerisinde ve Akdağ'ın güney eteklerinde yer almaktadır (Resim 3.1).

Coğrafi konum koordinatları; 38°15' kuzey, 29°50' doğudur. Yağışların bol olduğu zamanda göl alanı genişlemekte ve civardaki yerleşme alanları ile tarım alanlarına zarar vermektedir. Aşırı yağıştan kaynaklanan taşkınları önleme sebebiyle, 1939 yılında DSİ tarafından başlatılan çalışmalar 1963 yılında tamamlanmış, gölün çevresi setle çevrilmiştir. Bundan sonra göl, baraj gölü niteliği kazanmıştır. Gölün yüzey alanı çok değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenlik göl havzasının yapısından kaynaklanmaktadır. Özellikle ağustos ve eylül aylarında su seviyesi en alt seviyeye inmektedir. Gölün maksimum yüzey alanı 65865 km<sup>2</sup>'dir (Dişçi 2002).



Resim 3.1 Çalışma alanı: Işıklı Gölü haritası

Sulamanın başladığı haziran ayından itibaren, su seviyesindeki azalışa paralel olarak göl yüzeyinin büyük bir kısmını su içi bitkileri kaplaması sebebiyle avcılık yapılamamaktadır (Aygen ve Balık 2005).

Gölü besleyen su kaynakları; Küfi Çayı, Işıklı Pınarları, Büyük Menderes Nehri ve Akçay Deresi ve yer altı sularıdır. Gölü % 60 Küfi Çayı, % 40 Işıklı Pınarları ve Büyük Menderes Nehri beslemektedir. Yağış ve mevsime göre bu oranlar değişkenlik göstermektedir. Bütün kaynaklardan yıl boyunca göle gelen su miktarı, ortalama  $400 \times 10^3 \text{ m}^3$  civarındadır. Gölden sulama amacıyla alınan su miktarı da ortalama  $178.848 \times 10^3 \text{ m}^3$ 'dür (Dişçi 2002).

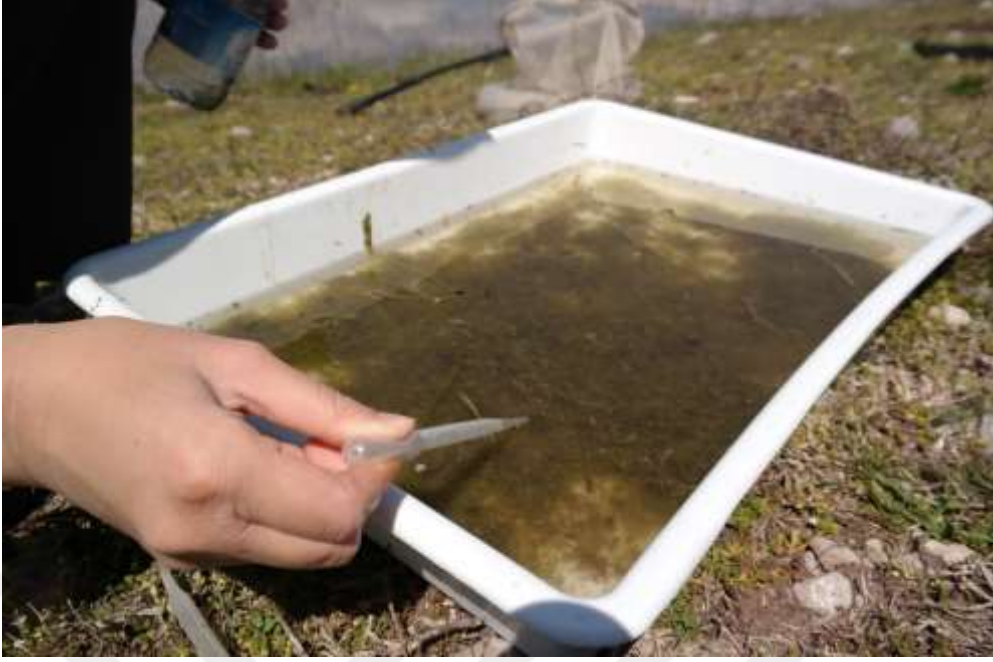
### 3.2 Su Kenesi Örneklerinin Çalışma Alanından Toplanması

Su kenesi örnekleri nisan, mayıs ve haziran ayları içerisinde Çivril-Işıklı Gölü'ndeki sazlıklardan ve sığ sulardan belirli aralıklarla istasyon oluşturularak tül den yapılmış akvaryum kepçeleri ile alındı (Resim 3.2).



**Resim 3.2** Işıklı Gölü'nden su kenesi örneklerinin alınması.

Gölden alınan su kenesi örnekleri beyaz zeminli küvetlere aktarıldı. Örneklerin küvetlerden ekstraksiyonu pasteur pipeti ile yapıldı (Resim 3.3). Ekstraksiyon işlemi yapılan su keneleri pet şişelere aktarılarak laboratuvara götürüldü.



**Resim 3.3** Çalışma alanından toplanan su kenelerinin ekstraksiyonu.

Laboratuvara getirilen su keneleri içerisinde bir miktar su bulunan beyaz zeminli küvetlere aktarıldı. Her bir su kenesinin stereomikroskop altında, tür tanımları yapıldı. Bu çalışmada kullanılmak için *Eylais setosa* türleri akvaryumlara alındı.

### 3.3 Çalışmanın Ana Materyali

Çalışmanın ana materyalini *Eylais setosa* türleri oluşturmaktadır (Resim 3.4).

*Eylais setosa*'nın sistematigi;

<b>Şube</b>	: Antropoda
<b>Alt Şube</b>	: Chelicerata
<b>Sınıf:</b>	: Arachnida
<b>Alt sınıf</b>	: Acari
<b>Familya</b>	: Hydrachnidia
<b>Cins</b>	: <i>Eylais</i>
<b>Tür</b>	: <i>Eylais setosa</i> (Koenike 1897)



**Resim 3.4** *Eylais setosa* dorsal ve ventral görünüm (Nikon SMZ445 marka mikroskop ile çekildi).

**Dişi:** Türkiye’den tespit edilen örneklerin vücut büyüklükleri 2760/1250 µm arasındadır. Deri yüzeyi parmak izi gibi çizgilidir bu çizgilerin arası noktacıklıdır. Göz kapsülleri böbrek biçimde ve birbirine paraleldir, merceklein bulunduğu kısımlar saydam ve düzken diğer bölgeler nokta çukurlucludur. Gözler arası uzaklık 48/30 µm arasındadır Bacaklarda çok sayıda uzun kıl vardır. Eşeyssel açıklığı birinci grup epimerler arasındadır ve çevresi kıllarla kaplıdır (Erman 1990, Uysal 2005).

**Erkek:** Vücut ve göz yapısı dişilerdeki gibidir. Türkiye’den tespit edilen örneklerin vücut büyüklükleri 1640-1780/1339-1380 µm (En/Boy), gözler arası uzaklık 73-50 µm arasındadır. Dış yüzeyinde salgı bezi açıklıkları ve çıkıntılar mevcuttur (Erman 1990, Boyacı 1995, Aşçı 2002).

**Türkiye’deki Yayılışı:** Elazığ, Erzurum, Ardahan, Afyonkarahisar, Erzincan ve Bingöl’den kaydedilmiştir (Sezek 1998, Erman ve Özkan 2000, Aşçı 2002, Özkan vd. 2003, Erman vd. 2006, Boyacı ve Özkan 2003, Aşçı vd. 2006-2007, Uysal ve Aşçı 2008, Boyacı *et al.* 2013, Esen *et al.* 2013, Esen ve Erman 2013).

**Dünyadaki Yayılışı:** Amerika hariç, diğer kıtalarda yaygındır. Asya’da Sumatra, Hindistan, Çin ve Keşmir’de bilinmektedir (Viets 1956).



### 3.4 Akvaryumların Hazırlanması

Deneyde kontrol grubu ve üç farklı kadmiyum nitrat konsantrasyonları [ $1 \times 10^{-5}$  M  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ ,  $1 \times 10^{-4}$  M  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  ve  $1 \times 10^{-3}$  M  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ ] için  $30 \times 15 \times 25$  cm boyutlarında dört farklı cam akvaryum hazırlanıp etiketlendi (Resim 3.5). Işıklı Gölü'nden arazi çalışmaları sırasında alınan göl suyu filtre kâğıdı ile süzüldü. Her bir akvaryuma beşer litre süzülen göl sularından ilave edildi. Akvaryumlar için belirlenen kadmiyum nitrat konsantrasyonları hesaplandı. Hesaplanan kadmiyum nitrat miktarı hassas terazide tartıldı. Ardından etiketlenen akvaryumlara ilave edildi. Kontrol grubuna herhangi bir ağır metal yüklemesi yapılmadı.

Belirlenen kadmiyum nitrat konsantrasyonları aşağıda verilen formül ile hesaplandı;

$$M = \frac{1000 \cdot a}{V \cdot M_a} \quad 3.1$$

M : Molarite

a : 1 litre çözültide çözünen madde miktarı

V : Hacim

$M_a$  : Molekül ağırlığı

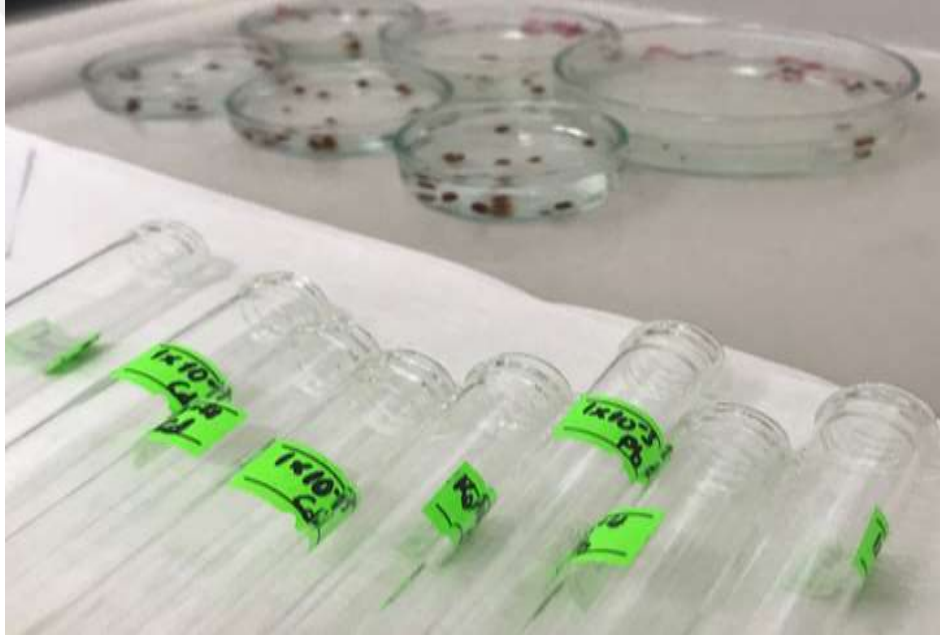


**Resim 3.5** Kontrol grubu ve üç farklı konsantrasyon kadmiyum nitrat [ $1 \times 10^{-5}$  M  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ ,  $1 \times 10^{-4}$  M  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  ve  $1 \times 10^{-3}$  M  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ ] ağır metali için hazırlanan akvaryumlar.

Akvaryumlar hazırlandıktan sonra eşit sayıda *Eylais setosa* türleri akvaryumlara alındı ve bir hafta süreyle kadmiyum nitrata maruz bırakıldı. Bu süre zarfında *Eylais setosa* türleri beslenmedi. Bir hafta sürenin ardından su kenesi türleri ICP-MS analizi ve antioksidan enzim aktivite tayinlerinde kullanıldı. Deney istatistiksel analiz için üç kez tekrarlandı.

### 3.5 ICP-MS Analizi

Kontrol grubu ve diğer kadmiyum nitrata maruz bırakılan akvaryumlardaki *Eylais setosa* türleri yedi günün sonunda akvaryumlardan alındı. Su kenesi örnekleri saf sudan geçirildikten sonra 15 mL'lik cam tüplere aktarılıp +4 °C'de muhafaza edildi (Resim 3.6).



**Resim 3.6** *Eylais setosa*'nın ICP-MS analizi için cam tüplere alınıp etiketlenmesi.

ICP-MS analizi için 4 °C'de muhafaza edilen su kenesi örnekleri, 48 saat boyunca 80 °C'de etüvde kurutmaya bırakıldı (Resim 3.7). Kurutulan dokuların ağırlıkları tartılarak net kuru ağırlıkları tespit edildi. Eşit miktarda doku örnekleri krozelere alınıp, 3 mL nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) ilave edilerek 30 dakika süresince 100 °C'de hot-plate üzerinde çeker ocak altında yakma yapıldı (Núñez-Nogueira 2013). Örnekler homojen bir biçimde yakılıp soğutulduktan sonra saf su ile 10 mL'ye tamamlandı (Hoyle *et al.* 2007).

Dokulardaki metal ölçümleri ICP-MS cihazında gerçekleştirildi. Hazırlanan bu çözelti, ICP-MS ölçümleri öncesinde yapılacak kalibrasyon işlemi için standart çözeltiler hazır hale getirildi. Doku sonuçları referans materyaline göre düzenlendi.

### **3.6 Enzim Aktivite Tayinleri**

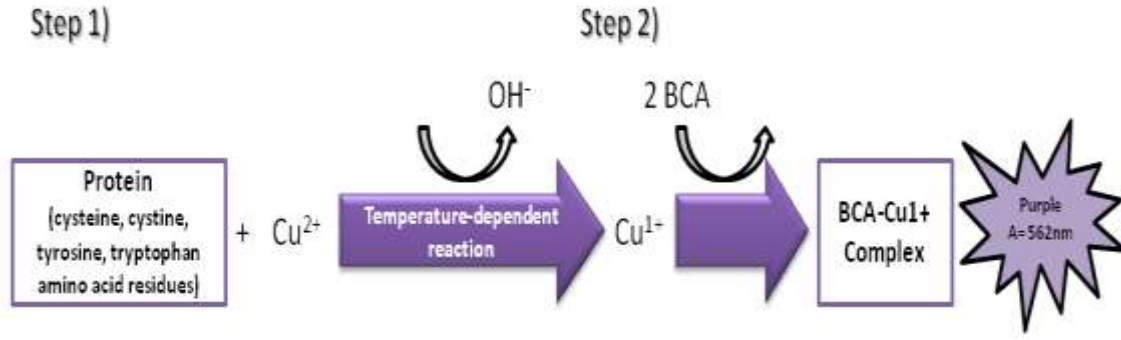
#### **3.6.1 Örneklerin Homojenizasyonu**

Ağır metal uygulanan örnekler hassas terazide tartıldı ve ağırlıklarının 1:9 oranında 0.1 M, pH 7.4 Phosphate Buffered Saline (PBS) çözeltisi ilave edilip buz üzerinde mekanik bir homojenizatör (VWR, 47747-370) ile homojen hale getirildi. Elde edilen doku homojenatları ependorf tüplere alındı ve 4 °C’de 15 dakika 14.000 g’de santrifüj edildi. Santrifüj sonrasında süpernatantlar ayrı ependorflara alınarak total protein ve enzim aktivite tayinlerinde kullanılmak üzere 0-4 °C’de muhafaza edildi.

#### **3.6.2 Total Protein Tayini**

Süpernatantlardaki total protein ölçümleri ticari kit (Bioassay Technology Laboratory, SH0018) kullanılarak üretici firmanın prosedürüne uygun olarak yapıldı. Absorbans ölçümleri spektrofotometre cihazında 562 nm’de okunarak kaydedildi. Total protein ölçümlerinden elde edilen sonuçlar, enzim aktivitelerinin hesaplanmasında kullanıldı.

Kit çalışma prensibi olarak Bikinkoninik asit (BCA) yöntemini baz alır. Bu yöntem Smith vd. (1985) tarafından bulunmuştur ve yeni bir yöntemdir. Lowry yöntemine göre farklı bir uygulamadır. Yine iki reaksiyonu vardır. Birinci reaksiyon biüret reaksiyonudur.  $Cu^{2+}$  iyonları peptid azotlarına bağlanarak  $Cu^{1+}$  iyonunu indirger. İkinci reaksiyonda ise bu indirgenmiş  $Cu^{1+}$  iyonları BCA ile renkli bir kompleks oluştururlar ve bu rengin şiddeti protein yoğunluğu ile orantılıdır. Oluşan bu renk kompleksi 562 nm’de maksimum absorbans gösterir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Bikinkonik asit (BCA) yöntemi reaksiyonları.

Çizelge 3.1 Total protein kitinin çalışma prosedürü.

Reaktif adı	Kör tüpü	Standart tüpü	Örnek tüpü
Çift distile su (ddH <sub>2</sub> O)	20 µL		
563 µL mL <sup>-1</sup> Standart		20 µL	
Test edilen süpernatant			20 µL
Çalışma çözeltisi	250 µL	250 µL	250 µL
Karıştırılıp 37 °C'de 30 dakika bekletildi.			
Durdurma çözeltisi	750 µL	750 µL	750 µL

Çözelti karıştırılıp 5 dakika bekletildi. Spektrofotometre çift distile su ile sıfırlandı ve her tüpün absorbans değerleri 562 nm'de ölçüldü.

Total protein tayini aşağıdaki verilen formüle göre hesaplandı;

$$C_{\text{prot}} (\mu\text{g/mL}) = \frac{OD_A - OD_B}{OD_{ST} - OD_B} \times C_{ST} \times 563 \mu\text{g/mL} \times D_F \quad 3.2$$

- OD<sub>A</sub> : Örnek tüpü optik dansite değeri  
 OD<sub>B</sub> : Kör tüpü optik dansite değeri  
 OD<sub>ST</sub> : Standart tüpü optik dansite değeri  
 C<sub>ST</sub> : Standart konsantrasyonu  
 D<sub>F</sub> : Seyreltme katsayısı

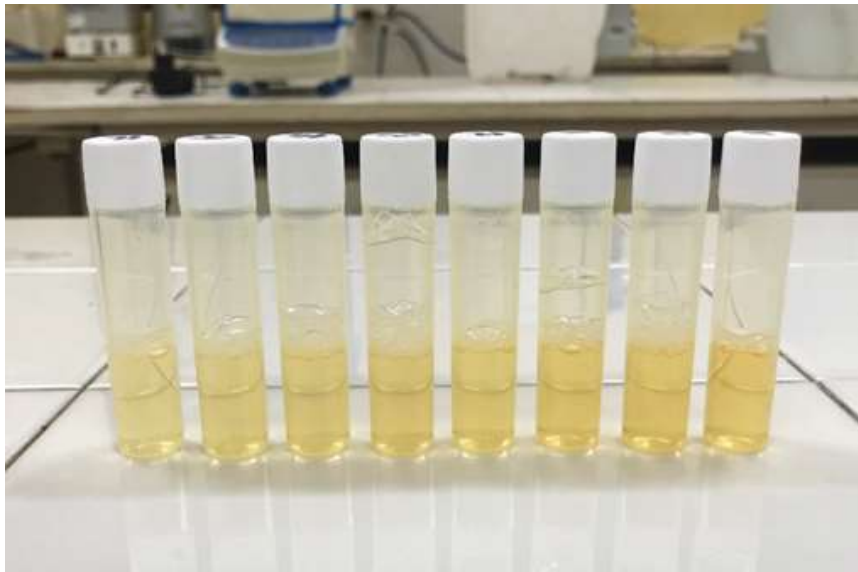
### 3.6.3 Katalaz (CAT) Enzim Aktivitesi Tayini

Katalaz (CAT) aktivitesinin belirlenmesinde Bioassay Technology, SH0021 marka ticari kit kullanıldı. Absorbans değerleri spektrofotometrede 405 nm’de ölçüldü (Resim 3.7). Enzimin spesifik aktivitesi  $\text{mmol mg}^{-1}$  protein olarak hesaplandı.

**Çizelge 3.2** Katalaz (CAT) kitinin çalışma prosedürü.

Reaktif adı	Kontrol Tüpü	Örnek Tüpü
Test edilen süpernatant (mL) (37 °C’de önceden ısıtıldı)		0.1 mL
Reaktif 1 (mL) (37 °C’de önceden ısıtıldı)	1.0 mL	1.0 mL
Reaktif 2 (mL) (37 °C’de önceden ısıtıldı)	0.1 mL	0.1 mL
Tamamen karıştırılıp 37 °C’de 1 dakika bekletildi.		
Reaktif 3 (mL)	1.0 mL	1.0 mL
Reaktif 4 (mL)	0.1 mL	0.1 mL
Test edilen süpernatant (mL)	0.1 mL	

Hazırlanan karışımlar oda sıcaklığında 10 dakika bekletildi. Spektrofotometre çift distile su ile sıfıra ayarlanarak her tüpün OD değerleri 405 nm’de ölçüldü.



**Resim 3.7** Katalaz (CAT) enzim aktivitesi tayini.

Katalaz aktivite aşağıdaverilen formüle göre hesaplandı;

$$\text{CAT aktivitesi (mmol/mgprot)} = \text{OD}_C - \text{OD}_A \times \frac{271^*}{60 \times V_A} \times D_F \div C_{Prot} \quad 3.3$$

$\text{OD}_A$  : Örnek tüpü optik dansite değeri

$\text{OD}_C$  : Kontrol tüpü optik dansite değeri

$V_A$  : Örnek hacmi (0.1 mL)

$D_F$  : Seyreltme faktörü

$C_{Prot}$  : Test edilen örneğin protein konsantrasyonu (mgprot/mL)

$271^*$  : Karşılıklı eğim

### 3.6.4 Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzim Aktivitesi Tayini

Süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivite tayini için Bioassay Technology, SH0011 marka kit kullanıldı. İşlem basamakları üretici firmanın belirlediği prosedüre uygun olarak gerçekleştirildi. ELISA cihazında 450 nm’de absorbans ölçümü yapıldı (Resim 3.8). Hesaplamalar yapıldıktan sonra aktivite  $\text{U mg}^{-1}$  protein olarak verildi.

**Çizelge 3.3** Süperoksit dismutaz (SOD) kitinin çalışma prosedürü.

Reaktif adı	Kontrast tüpü	Kontrast kör tüpü	Örnek tüpü	Örnek kör tüpü
Test edilen süpernatant			20 $\mu\text{L}$	20 $\mu\text{L}$
Çift distile su (ddH <sub>2</sub> O)	20 $\mu\text{L}$	20 $\mu\text{L}$		
Enzim çalışma çözeltisi	20 $\mu\text{L}$		20 $\mu\text{L}$	
Enzim dilusyonu		20 $\mu\text{L}$		20 $\mu\text{L}$
Substrat çalışma çözeltisi	200 $\mu\text{L}$	200 $\mu\text{L}$	200 $\mu\text{L}$	200 $\mu\text{L}$

Yeterince karıştırıldıktan sonra 37 °C’de 20 dakika inkübe edildi. Absorbans ölçümü ELISA cihazında 450 nm’de okunarak kaydedildi.



**Resim 3.8** Süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesi tayini

SOD aktivite ünitesi (U) aşağıdaki verilen formüllere göre hesaplandı;

$$\text{SOD inhibisyon oranı(\%)} = \frac{(\text{OD}_{\text{CT}} - \text{OD}_{\text{CB}}) - (\text{OD}_{\text{A}} - \text{OD}_{\text{AB}})}{\text{OD}_{\text{CT}} - \text{OD}_{\text{CB}}} \times 100\% \quad 3.4$$

$$\text{SOD aktivitesi (U/mgprot)} = \text{SOD inhibisyon oranı} \div 50\% \times D_{\text{F}} \div C_{\text{Prot}} \quad 3.5$$

$\text{OD}_{\text{A}}$  : Örnek tüpü optik dansite değeri

$\text{OD}_{\text{AB}}$  : Örnek kör tüpü optik dansite değeri

$\text{OD}_{\text{CT}}$  : Kontrast tüpü optik dansite değeri

$\text{OD}_{\text{CB}}$  : Kontrast kör tüpü optik dansite değeri

$D_{\text{F}}$  : Seyreltme faktörü

$C_{\text{Prot}}$  : Test edilen örneğin protein konsantrasyonu ( $\text{mgprot mL}^{-1}$ )

### 3.6.5 Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) Enzim Aktivitesi Tayini

Glutasyon peroksidaz (GSH-Px) aktivitesinin belirlenmesinde Bioassay Technology, SH0028 marka ticari kit kullanıldı. Absorbans değerleri spektrofotometrede 412 nm’de ölçüldü (Resim 3.9). Enzimin spesifik aktivitesi  $\text{nmol mg}^{-1}$  protein olarak hesaplandı.

**Çizelge 3.4** Glutasyon peroksidaz (GSH-Px) kitinin çalışma prosedürü.

**Enzimatik reaksiyon:**

Reaktif adı	Enzimsiz Tüp	Enzimli Tüp
1mmol/L GSH (mL)	0.2 mL	0.2 mL
Test edilen süpernatant		0.2 mL
37 °C'ye ayarlanan su banyosunda 5 dakika inkübe edildi.		
Reaktif 1 (mL) (37 °C'de önceden ısıtıldı)	0.1 mL	0.1 mL
37 °C'ye ayarlanan su banyosunda 5 dakika reaksiyon için bekletildi.		
Reaktif 2 (mL)	2 mL	2 mL
Süpernatant	0.2 mL	

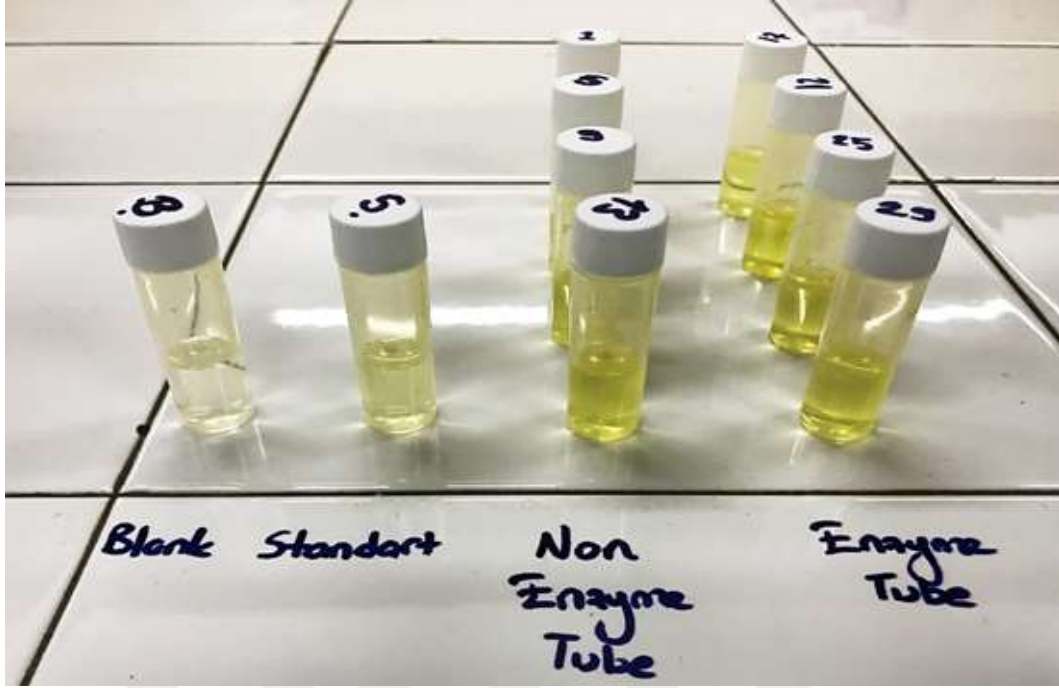
Yeterince karıştırılarak 4000 rpm'de 10 dakika santrifüf edildi. Santrifüjden sonra kromojenik reaksiyon için süpernatantlardan 1 mL alındı.

**Kromojenik reaksiyon:**

Reaktif adı	Kör tüpü	Standart Tüpü	Enzimsiz Tüp	Enzimli tüp
GSH standart çözücü çalışma çözeltisi	1 mL			
20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ GSH standart çözeltisi		1 mL		
Test edilen süpernatant			1 mL	1 mL
Reaktif 3 çözeltisi	1 mL	1 mL	1 mL	1 mL
Reaktif 4 çözeltisi	0.25 mL	0.25 mL	0.25 mL	0.25 mL
Reaktif 5 çözeltisi	0.05 mL	0.05 mL	0.05 mL	0.05 mL

Yeterince karıştırıldıktan sonra oda sıcaklığında 15 dakika inkübe edildi. İnkübasyonun ardından tüm tüplerin OD değerleri spektrofotometre cihazında 412 nm'de ölçüldü.





**Resim 3.9** Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) Enzim Aktivitesi Tayini

GSH-Px aktivite ünitesi (U) aşağıdaki verilen formüllere göre hesaplandı;

$$\text{GSH-Px aktivitesi (U/mgprot)} = \frac{\text{OD}_{\text{NE}} - \text{OD}_{\text{E}}}{\text{OD}_{\text{ST}} - \text{OD}_{\text{B}}} \times C_{\text{ST}} \times D_{\text{T}} \div R_{\text{T}} \div (V_{\text{A}} \times C_{\text{Prot}}) \quad 3.6$$

$\text{OD}_{\text{E}}$  : Enzimli tüp optik dansite değeri

$\text{OD}_{\text{NE}}$  : Enzimsiz tüp optik dansite değeri

$\text{OD}_{\text{ST}}$  : Standart tüpü optik dansite değeri

$\text{OD}_{\text{B}}$  : Kör tüpü optik dansite değeri

$C_{\text{ST}}$  : Standart çözücü konsantrasyonu ( $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ )

$D_{\text{T}}$  : Seyreltme süresi

$R_{\text{T}}$  : Reaksiyon süresi

$V_{\text{A}}$  : Örnek hacmi

$C_{\text{Prot}}$  : Test edilen örneğin protein konsantrasyonu ( $\text{mgprot mL}^{-1}$ )

### 3.6.6 Glutasyon S-Transferaz (GSH-ST) Enzim Aktivitesi Tayini

Glutasyon S-transferaz (GSH-ST) aktivitesinin belirlenmesinde Bioassay Technology, SH0120 marka ticari kit kullanıldı. Absorbans değerleri ELISA test cihazında 450 nm’de ölçüldü. Enzimin spesifik aktivitesi  $\mu\text{mol mg}^{-1}$  protein olarak hesaplandı.

**Çizelge 3.5** Glutasyon S-transferaz (GSH-ST) kitinin çalışma prosedürü.

#### Enzimatik reaksiyon:

Reaktif adı	Örnek Tüpü	Kontrast Tüpü
Matriks çözeltisi (mL)	0.3 mL	0.3 mL
Test edilen süpernatant (mL)	0.1 mL	
Reaktif 2 çözeltisi (mL)	1 mL	1 mL
Dehidrat alkol (mL)	1 mL	1 mL
Test edilen süpernatant (mL)		0.1 mL

Yeterince karıştırılarak 4000 rpm’de 10 dakika santrifüf edildi. Santrifüjden sonra kromojenik reaksiyon için süpernatantlardan 2 mL alındı.

#### Kromojenik reaksiyon:

	Kör tüpü	Standart Tüpü	Örnek Tüpü	Kontrast Tüpü
GSH standart çözücü çalışma çözeltisi (mL)	2 mL			
20 $\mu\text{mol/L}$ GSH standart çözeltisi (mL)		2 mL		
Test edilen süpernatant (mL)			2 mL	2 mL
Reaktif 3 çözeltisi (mL)	2 mL	2 mL	2 mL	2 mL
Reaktif 4 çözeltisi (mL)	0.5 mL	0.5 mL	0.5 mL	0.5 mL

Yeterince karıştırıldıktan sonra oda sıcaklığında 15 dakika inkübe edildi. İnkübasyonun ardından tüm tüplerin OD değerleri spektrofotometre cihazında 412 nm’de ölçüldü.

GSH-ST aktivite ünitesi (U) aşağıdaki verilen formüllere göre hesaplandı;

$$\text{GSH-Px aktivitesi (U/mgprot)} = \frac{\text{OD}_C - \text{OD}_A}{\text{OD}_{ST} - \text{OD}_B} \times C_{ST} \times D_T \div R_T \div (V_A \times C_{Prot}) \quad 3.7$$

$\text{OD}_A$  : Örnek tüpü optik dansite değeri

$\text{OD}_B$  : Kör tüpü optik dansite değeri

$\text{OD}_{ST}$  : Standart tüpü optik dansite değeri

$\text{OD}_B$  : Kör tüpü optik dansite değeri

$C_{ST}$  : Standart çözücü konsantrasyonu ( $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ )

$D_T$  : Seyreltme süresi

$R_T$  : Reaksiyon süresi

$V_A$  : Örnek hacmi

### 3.6.7 Glutasyon Redüktaz (GSH-Rd) Enzim Aktivitesi Tayini

Glutasyon redüktaz (GSH-Rd) aktivitesinin belirlenmesinde Bioassay Technology, SH0026 marka ticari kit kullanıldı. NADPH absorbans değerlerinin değişimi spektrofotometre 340 nm'de ölçüldü. Enzimin spesifik aktivitesi U gprot<sup>-1</sup> olarak hesaplandı.

**Çizelge 3.6** Glutasyon redüktaz (GSH-Rd) kitinin çalışma prosedürü.

Reaktif adı	Kör tüpü
Test edilen süpernatant ( $\mu\text{L}$ )	20 $\mu\text{L}$
Çalışma çözeltisi (mL)	2.4 mL

Çözelti hızlı bir şekilde karıştırıldı, ardından spektrofotometre cihazında 340 nm'de absorbans değeri 30 saniyede okunarak  $A_1$  olarak kaydedildi.

Daha sonra çözelti 37 °C su banyosunda 2 dakika inkübe edildildi.

İnkübasyonun ardından spektrofotometre cihazında 340 nm'de absorbans değeri 2 dakika 30 saniyede okunarak  $A_2$  olarak kaydedildi.

Glutatyon redüktaz (GSH-Rd) aktivitesi aşağıdaki verilen formüle göre hesaplandı;

$$\text{GSH - Rd aktivitesi (U/gprot)} = \frac{\text{OD}_1 - \text{OD}_2}{6.22 \times 1\text{cm}} \div R_T \div (V_A \times C_{\text{Prot}}) \times D_F \quad 3.8$$

OD<sub>1</sub> : Substratın 30 saniyede ölçülen OD (optik dansite) değeri

OD<sub>2</sub> : Substratın 37 °C su banyosunda inkübe edildikten sonra okunan OD değeri

R<sub>T</sub> : Reaksiyon süresi (2 dakika)

V<sub>A</sub> : Örnek hacmi

D<sub>F</sub> : Seyreltme faktörü

C<sub>Prot</sub> : Test edilen örneğin protein konsantrasyonu (gprot mL<sup>-1</sup>)

### 3.7 İstatistiksel Değerlendirme

Kontrol grubu ve farklı konsantrasyonlarda kadmiyum nitrat [ $1 \times 10^{-5}$  M Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>,  $1 \times 10^{-4}$  M Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ve  $1 \times 10^{-3}$  M Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] uygulanan *Eylais setosa*'da enzim aktivitelerinin istatistiksel olarak belirlenmesinde gruplar arası karşılaştırmada Kruskal-Wallis H testi; grup içi karşılaştırmalarda ise Mann-Whitney U testi (SPSS for Windows Paket programında) kullanıldı. Gruplar arası farklar  $p < 0.05$  seviyesinde tespit edildi. Bütün istatistiksel hesaplamalar SPSS 17.0 istatistik programı kullanılarak yapıldı.

## 4. BULGULAR

Yapılan bu çalışmada artan konsantrasyonlardaki kadmiyum nitrata maruz bırakılan *Eylais setosa* (Acari, Hydrachnidia) türü su keneleri bir hafta süre boyunca gözlemlendi. Deneyin ilk günlerinde bu türlerin oldukça aktif harekete sahip olduğu dikkat çekti. Kadmiyum nitrata maruziyet süresi arttıkça su kenesi türlerinde zaman zaman kontrolsüz yüzme, akvaryum yüzeyine yönelme, hareketlerinde azalma veya sabit noktada durma gibi değişiklikler saptandı. Deney süresi boyunca *E. setosa* türlerinde herhangi bir mortalite gözlemlenmedi.

Bir haftanın sonunda akvaryumlardan alınan örnekler üzerinden ICP-MS analizi ve enzim aktivite tayinleri gerçekleştirildi. Elde edilen veriler doğrultusunda ağır metal absorplama oranları ve enzim aktiviteleri arasındaki ilişki düzeyi belirlendi.

### 4.1 ICP-MS Analizi Bulguları

İşiklı gölü'nden alınan su örneklerindeki kadmiyum ( $Cd^{2+}$ ) konsantrasyonu  $0.00108 \pm 0.00011$  ppm olarak belirlendi. Bu değer in Dünya Sağlık Örgütü WHO (2011) sınır değeri olan 3 ppb'yi aşmadığı görülmektedir. Ülkemizde Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Su Ürünleri Yönetmeliği (2003) ve Tebliğine (2004) göre kadmiyum için kabul edilebilir en yüksek değer  $0.1 \text{ mg L}^{-1}$ 'dir.

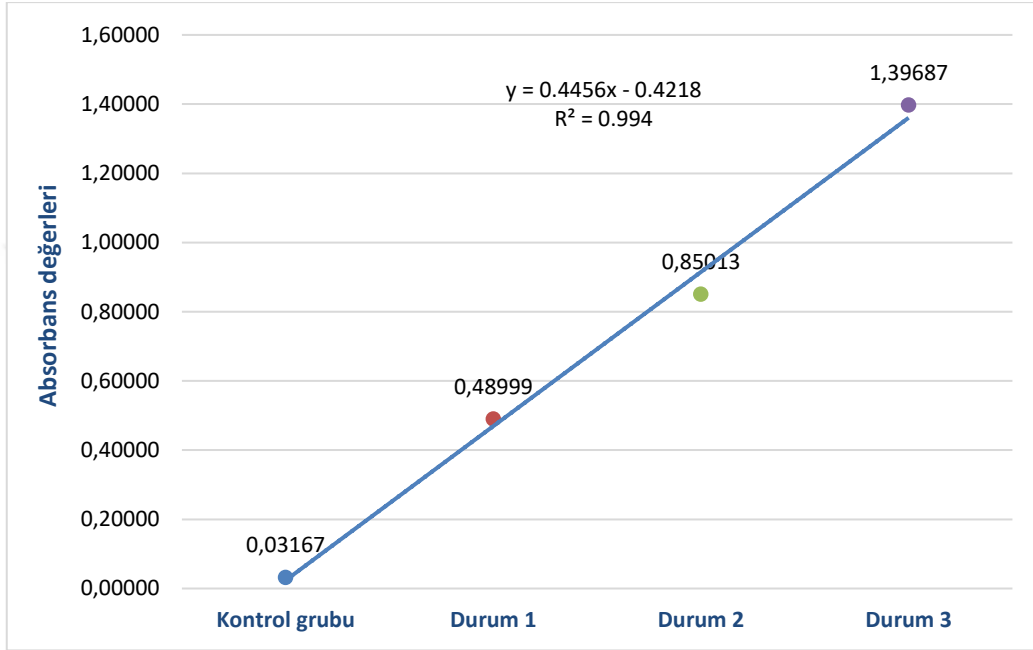
Kadmiyum nitratin farklı dozlarına maruz bırakılan *E. setosa* türlerindeki kadmiyum birikiminin ICP-MS analiz sonuçları Çizelge 4.1'de verildi.

**Çizelge 4.1** *Eylais setosa*'da kadmiyum ( $Cd^{2+}$ ) birikiminin ICP-MS sonuçları.

Gruplar	$\bar{X} \pm S\bar{x}$ :
Kontrol grubu	$0.03167 \pm 0.0003$ ppm
$1 \times 10^{-5}$ $Cd(NO_3)_2$ M	$0.48999 \pm 0.0237$ ppm
$1 \times 10^{-4}$ $Cd(NO_3)_2$ M	$0.85013 \pm 0.0136$ ppm
$1 \times 10^{-3}$ $Cd(NO_3)_2$ M	$1.39687 \pm 0.0223$ ppm

$\bar{X} \pm S\bar{x}$ : Aritmetik ortalama  $\pm$  Standart hata

*E. setosa* türlerine uygulanan  $1 \times 10^{-5}$  M  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  konsantasyonu durum 1,  $1 \times 10^{-4}$   $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  M durum 2,  $1 \times 10^{-3}$   $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  M durum 3 olarak adlandırıldı. En yüksek kadmiyum absorpsyonu 1.39687 ppm ile durum 3'te belirlendi. Analiz sonuçlarında su kenesi türleri kadmiyum ağır metalini artan konsantrasyonlarla doğru orantılı bir şekilde vücutlarında biriktirdiği sonucuna varıldı (Şekil 4.1).



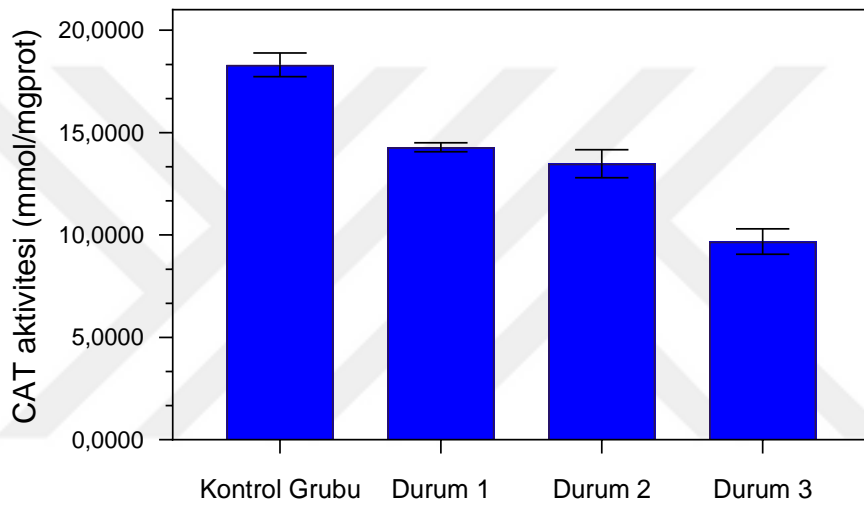
Şekil 4.1 *Eylais setosa*'daki kontrol grubu ve diğer durumlara bağlı olarak kadmiyum ( $\text{Cd}^{2+}$ ) absorpsiyon oranları.

#### 4.2 Enzim Aktivite Tayinlerindeki Değişiklikler

Kadmiyum nitrat uygulamasına bağlı olarak *E. setosa* türlerinde CAT, SOD, GSH-Px, GSH-ST ve GSH-Rd enzim aktivitelerindeki değişimler kontrol grubu ile karşılaştırılarak değerlendirildi.  $1 \times 10^{-5}$  M  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  konsantasyonu durum 1,  $1 \times 10^{-4}$  M  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  durum 2,  $1 \times 10^{-3}$  M  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  durum 3 olarak adlandırıldı. Çalışmanın amacına yönelik olarak yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen veriler Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verildi.

#### 4.2.1 Katalaz (CAT) Enzim Aktivitesi

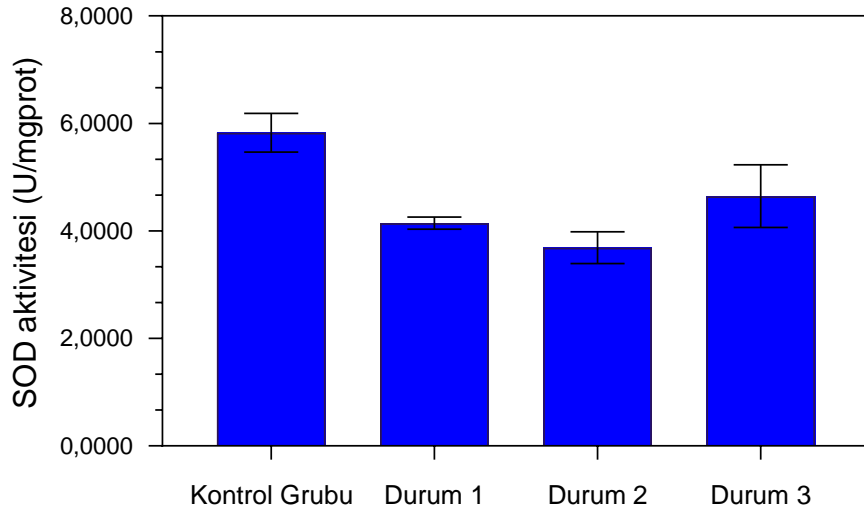
Hücrede hidrojen peroksitin ( $H_2O_2$ ) suya ve oksijene indirgenmesini katalizleyen katalaz (CAT) enzim aktivitesi kontrol grubuna kıyasla değerlendirildi. Buna göre; kontrol grubu ile diğer gruplar (durum 1, durum 2 ve durum 3) karşılaştırıldığında aralarında istatistiksel açıdan farkın önemli düzeyde olduğu tespit edildi ( $p=0.016$ ). Katalaz enzim aktiviteleri diğer gruplarda kontrol grubuna göre istatistiksel açıdan önemli bir azalış gösterirken, en düşük CAT aktivitesi durum 3 grubunda ölçüldü (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 *Eylais setosa*'da katalaz (CAT) enzim aktivitesi.

#### 4.2.2 Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzim Aktivitesi

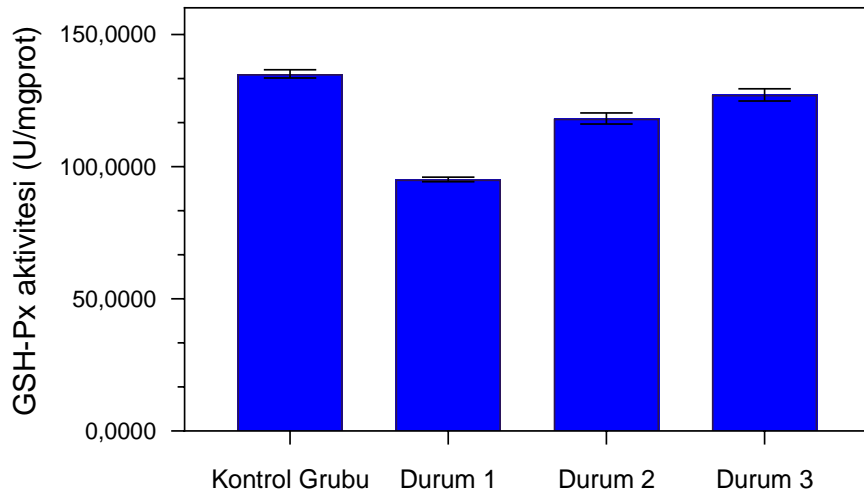
Hücrede süperoksit radikallerinin hidrojen peroksit ve suya dismutasyonunu katalizleyen süperoksit dismutaz (SOD) enziminin aktivitesindeki değişiklikler kontrol grubu ile karşılaştırılarak değerlendirildi. Buna göre; kontrol grubu ile diğer gruplar aralarında istatistiksel açıdan farkın önemli düzeyde olduğu tespit edildi ( $p=0.016$ ). Kadmiyum uygulamasına bağlı olarak *E. setosa*'da SOD enzim aktivitesinde en yüksek değer kontrol grubunda en düşük değer ise durum 2'de ölçüldü (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 *Eylais setosa*'da süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesi.

#### 4.2.3 Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) Enzim Aktivitesi

Hücrede hidroperoksitlerin indirgenmesinden sorumlu olan glutasyon peroksidaz (GSH-Px) enziminin aktivitesindeki değişiklikler kontrol grubu ile karşılaştırılarak değerlendirildi. Buna göre; durum 1, durum 2 ve durum 3 gruplarındaki GSH-Px aktivite değerlerinde kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli bir fark olduğu tespit edildi ( $p=0.015$ ). Kadmiyum nitrat uygulamasına bağlı olarak GSH-Px enzim aktivitelerinde artışın olduğu gözlemlendi. Durum 3 grubundaki aktivite kontrol grubu seviyesine ulaşırken, en düşük aktivite ise durum 1 grubunda ölçüldü (Şekil 4.4).

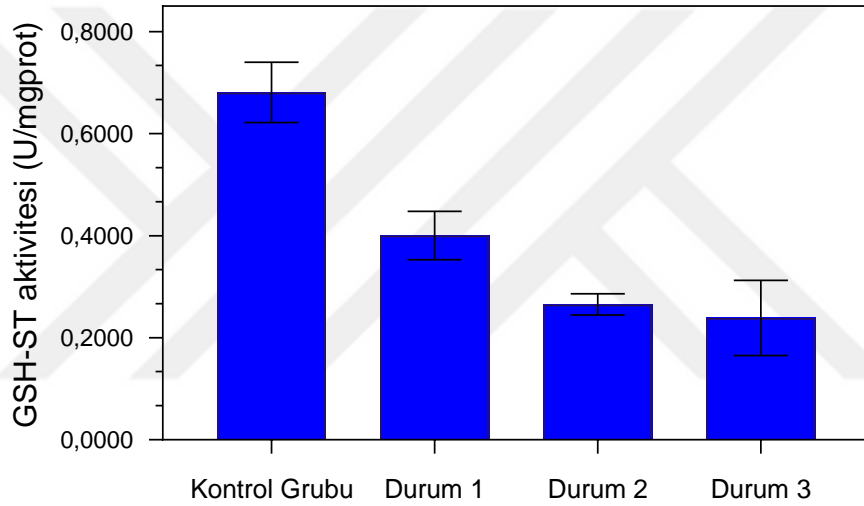


Şekil 4.4 *Eylais setosa*'da glutasyon peroksidaz (GSH-Px) enzim aktivitesi.



#### 4.2.4 Glutasyon S-Transferaz (GSH-ST) Enzim Aktivitesi

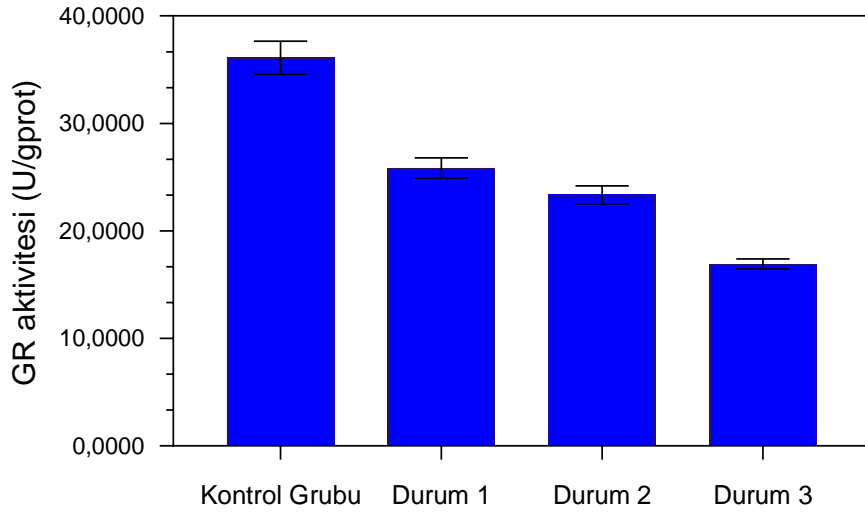
Ksenobiyotiklerin biyotransformasyonunda önemli rol oynayan glutasyon S-transferaz (GSH-ST) enzim aktivitesindeki değişiklikler kontrol grubuna kıyasla değerlendirildi. Buna göre; durum 1, durum 2 ve durum 3 gruplarında kontrol grubuna oranla istatistiksel açıdan çok önemli bir farklılık olduğu ( $p=0.021$ ) saptandı. Bu gruplardaki farklılık kontrol grubuna göre GSH-ST enzim aktivitelerinin azalışı yönündedir. GSH-ST enzim aktivitesi en yüksek kontrol grubunda, en düşük ise durum 3 grubunda ölçüldü (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 *Eylais setosa*'da glutasyon S-transferaz (GSH-ST) enzim aktivitesi.

#### 4.2.5 Glutasyon Redüktaz (GSH-Rd) Enzim Aktivitesi

Okside glutasyonu (GSSG) redükte form olan GSH'a dönüştüren glutasyon redüktaz (GSH-Rd) enzim aktivitesindeki değişiklikler kontrol grubuna kıyasla değerlendirildi. Buna göre; durum 1, durum 2 ve durum 3 gruplarında kontrol grubuna oranla istatistiksel açıdan çok önemli bir farklılık olduğu ( $p=0.016$ ) saptandı. Bu gruplardaki farklılık kontrol grubuna göre GSH-Rd enzim aktivitelerinin azalışı yönündedir. GSH-Rd enzim aktivitesindeki en yüksek ölçüm kontrol grubunda, en düşük ölçüm ise durum 3 grubunda tespit edildi (Şekil 4.6).



**Şekil 4.6** *Eylais setosa*'da glutatyon redüktaz (GSH-Rd) enzim aktivitesi.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

İç sulardaki kirlenmenin temel nedenlerinden biri olan endüstriyel atıklar, akuatik ortamlarda yüksek miktarda toksik metal bırakırlar. Bu durum sudaki canlılar için toksik etkiye neden olur. Bu kimyasallar tatlı su ekosistemlerine büyük oranda olumsuz tesir eder. İç sularda yaşayan fungus, alg, bitki, omurgalı ve omurgasız canlılarda kirliliğe karşı su kalitesini izlemek için biyosorpsiyon yöntemi kullanılmaktadır. Günümüzde bu yöntem biyoindikatör olarak sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır (Aydın 2018).

Sudaki inorganik kirlenmenin en önemli kaynağını ağır metaller oluşturur. Bu ağır metaller uygun konsantrasyonlarda canlı yaşamı için gerekli olup eksikliklerinde çeşitli semptomatik bozukluklar ortaya çıkar. Ancak bu metaller doğal konsantrasyonlarındaki miktarları aşıldığında önemli bir enzim engelleyici grubu oluştururlar. Kadmiyum, cıva, bakır, gümüş ve kurşun gibi metaller canlılar için bu sebeple zehirlidir (Förstner and Wittmann 1981).

Sucul omurgasızlar, ağır metal maruziyeti sonucu bünyelerinde eser miktarda birikim gösterirler. Çeşitli yollardan canlı bünyesine alınan ağır metaller her organ ve dokuda farklı seviyelerde birikmektedir (Kayhan vd. 2009).

Omurgasız canlılarda biriken metal konsantrasyonları, sucul ortamdaki toksik metalin biyo-kullanılabilirliğinde coğrafik ve geçici değişimler üzerine bilgi potansiyeli sağlar. Bünyeleri için gerekli olmayan kadmiyum, cıva ve kurşun gibi metaller minimum konsantrasyonda dahi metabolizmadan detoksifiye edilmelidir (Rainbow 2002).

Özellikle sucul ortamda ağır metal kirliliği bu ortamda yaşayan organizmaların bünyelerinde birikerek besin zinciri yoluyla sucul ortamdaki diğer canlılara hatta insanlara aktarılmaktadır. Bu sebeple ağır metal atıklarının giderimi veya geri dönüşümü sağlanmalıdır.

Ağır metallerin canlıları giderek daha fazla oranda etkilemesi nedeniyle literatürde ağır metaller ile indüklenen toksisite ile ilgili araştırmaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır.

Ancak ağır metallerin neden oldukları toksisitenin ortaya çıkmasında rolü olan moleküler mekanizmalar henüz tam olarak aydınlatılabilmüş değildir. Bununla birlikte deneysel çalışmalardan elde edilen veriler, ağır metal toksisitesinde indüklenen oksidatif hasarın, toksik etkilerin ortaya çıkmasında rol alabileceğini göstermektedir (Casalino *et al.* 2002, Shalan *et al.* 2005).

Kimyasal stres altında antioksidan sistemler indüklenebilir veya inhibe edilebilirler. İndüklenme adaptasyondur ve organizma güvensiz kirli ortamında kısmen veya tamamen stres ile baş edebilir demektir. Diğer durumda organizma toksik ajana daha duyarlı hale gelir ve toksisite başlar. Bu nedenle antioksidan sistemler sadece kontaminant etkisine değil toksisitede biyobelirteç olurlar (Cossu *et al.* 1997). Bu biyobelirteçler çevre kirleticilerin arazide değerlendirilmesinde güvenli göstergelerdir (Walker 1995).

Ağır metal stresine bağlı olarak oluşan oksidatif strese karşı antioksidanların oluşturduğu direnç mekanizmaları su kenelerinin metal toleranslarını güçlendirmek için önemli bir strateji sağlamaktadır. Metal stresine karşı oluşturulan antioksidan aktivite değişimlerinin sebebinin bilinmesi daha sonraki biyosorpsiyon çalışmaları için önem taşımaktadır.

Sucul organizmalarda antioksidan savunma sistemleri, çevre şartlarına göre değişmekte ve adaptif bazı yanıtlar geliştirmektedir. Sucul canlıların doku ve organlarında görülebilen yanıtlar, aslında ekosistemin olumsuz etkilendiğinin bir göstergesidir (Akbulut vd. 2014).

Bu sebeple sucul ortamlarda ağır metallerin birçok su ürünü ve balık türündeki birikimleri üzerine araştırmalar yapılmıştır (Canyurt 1982, İnan ve Uysal 1995, Canlı *et al.* 1998, Dirilgen 2001, Işık 2007, Hoyle *et al.* 2007, Federici *et al.* 2007, Kaya 2012, Özdemir 2014).

Aşçı vd. (2015)'nin yaptığı çalışmada, Karamık Gölü'nden toplanan su kenesi örnekleri üzerinde ekolojik bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada tür dağılımı üzerindeki iklimik fraktörlerin ve element düzeylerinin etki düzeylerine bakılmıştır.

Diğer bir çalışmada ise yine Aşçı vd. (2016), Karamık Gölü'nden toplanan çok yaygın bulunan bir su kenesi türü olan *Hydrodroma despiciens*'te ağır metallerin toksik etkisi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada gölden toplanıp laboratuvara getirilen canlı örnekler akvaryumlara konulup üzerlerine değişik konsantrasyonlarda tekrarlı olarak farklı ağır metal tuzları ilave edilmiştir. Daha sonra akvaryumdaki su keneleri izlenmiş ve bu metal tuzlarına karşı dayanıklılıkları gözlenmiştir.

Bazı araştırmacılar, bu antioksidan enzimlerin inhibisyonunun ve indüklenmesinin, suda yaşayan hayvanlarda ağır metal kirliliği için potansiyel bir gösterge olduğunu öne sürmüştür (Company *et al.* 2004, Timofeyev *et al.* 2008). Yapılan literatür taramalarında ağır metallerin antioksidan enzim aktivitelerine etkisinin besin zincirindeki temel organizma grubu olan su kenelerinde çalışılmamış olması bu çalışmanın önemini artırmaktadır.

Bu çalışma ile Işıklı Gölü'nden nisan, mayıs ve haziran aylarında yapılan arazi çalışmalarıyla alınan su ve *Eylais setosa* türü su kenesindeki kadmiyum ( $Cd^{2+}$ ) birikimi ICP-MS ile tespit edildi. ICP-MS sonuçlarında Işıklı Gölü'nden alınan su örneklerindeki kadmiyum ( $Cd^{2+}$ ) konsantrasyonu 0.00108 ppm olarak belirlendi. Bu değer Dünya Sağlık Örgütü WHO (2011) sınır değeri olan 3 ppb'yi aşmadığı görülmektedir.

Mevcut çalışmada, *Eylais setosa* türü su kenesinde ICP-MS analizinde herhangi bir ağır metal yüklemesi yapılmayan kontrol grubunda kadmiyum ( $Cd^{2+}$ ) absorpsiyonu 0.03167 ppm olarak tespit edildi. Kadmiyumun farklı dozlarının uygulandığı durum 1, durum 2 ve durum 3'te ise kadmiyum absorpsiyonları sırasıyla 0.48999, 0.85013 ve 1.39687 ppm olarak ölçüldü.

Analiz sonuçlarında *Eylais setosa* türlerinin kadmiyum ( $Cd^{2+}$ ) ağır metalini artan konsantrasyonlarla doğru orantılı bir şekilde bünyelerinde biriktirdiği sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlar literatürdeki çalışmalar ile uygunluk göstermektedir (Altındağ and Yiğit 2005, Cicik 2003, Cearley and Coleman 1974).

Bu çalışmada kadmiyuma maruz bırakılan *E. setosa*'da bu metalin antioksidan enzim aktiviteleri üzerine etkileri çalışıldı. *E. setosa* için optimum şartlarda yürütülen çalışmada kontrol grubu ile durum 1, durum 2 ve durum 3 derişimlerinde akvaryumlar oluşturuldu. Kontrol grubu ile diğer konsantrasyonlarda belirlenen akvaryumlara 3 tekrarlı olacak şekilde su keneleri ilave edildi. Kadmiyuma maruziyet sonucunda kontrol grubundaki su keneleriyle, farklı konsantrasyon derişimlerine maruz kalan su keneleri arasındaki değişiklikler karşılaştırıldı.

Elde edilen sonuçlara göre, ekotoksikolojik olarak ağır metal stresine verilen cevaplar ağır metalin değişen konsantrasyonlarına bağlı olarak değiştii görülmektedir. Bu ve benzer çalışmalar, iç sular bakımından zengin olan Türkiye'nin çeşitli nedenlerle su kaynaklarının gittikçe kirlendiği düşünülürse besin zincirinin en alt tabakasından başlayarak en üst canlı grubuna kadar metal kirliliğinin etki düzeylerini belirlemede oldukça önemlidir.

Kadmiyum nitrat uygulamasına bağlı olarak *E. setosa* türlerinde CAT, SOD, GSH-Px, GSH-ST ve GSH-Rd enzim aktivitelerindeki değişimler kontrol grubu ile karşılaştırılarak değerlendirildi.

Katalaz enzim aktivitesi kontrol grubuna kıyasla değerlendirildi. *E. setosa*'da katalaz aktivitesi kontrol grubu, durum 1, durum 2 ve durum 3'te sırasıyla 18.309, 14.287, 13.487 ve 9.687 (mmol mgprot<sup>-1</sup>) olarak belirlendi. Buna göre; kontrol grubu ile diğer gruplar (durum 1, durum 2 ve durum 3) karşılaştırıldığında aralarında istatistiksel açıdan farkın önemli düzeyde olduğu tespit edildi (p=0.016). Katalaz enzim aktiviteleri diğer gruplarda kontrol grubuna göre istatistiksel açıdan önemli bir azalış gösterirken, en düşük CAT aktivitesi durum 3 grubunda ölçüldü.

Kadmiyum uygulamasına bağlı olarak CAT enzim aktivitesi kontrol grubuna göre önemli düzeyde azalmıştır. Bu sonuçlar literatürdeki çalışmalar ile paralellik göstermektedir (Alkan 2005, Romeo *et al.* 2000, Chandran *et al.* 2005).

Süperoksit dismutaz enziminin (SOD) aktivitesindeki değişiklikler kontrol grubu ile karşılaştırılarak değerlendirildi. *E. setosa*'da SOD aktivitesi kontrol grubu, durum 1, durum 2 ve durum 3'te sırasıyla 5.826, 4.143, 3.687 ve 4.647 (U mgprot<sup>-1</sup>) olarak belirlendi. Buna göre; kontrol grubu ile diğer gruplar arasında istatistiksel açıdan farkın önemli düzeyde olduğu tespit edildi (p=0.016). Kontrol grubuna oranla durum 1 ve durum 2'de önemli oranda azalma tespit edilirken, en yüksek kadmiyum nitratın uygulandığı durum 3'te belli bir seviyede artış gözlemlendi. Kadmiyum uygulamasına bağlı olarak *E. setosa*'da SOD enzim aktivitesinde en yüksek değer kontrol grubunda en düşük değer ise durum 2'de ölçüldü.

Kurşun ve kadmiyum gibi ağır metaller çinko gibi elementler ile yarışabilmektedirler (El-Sokkary *et al.* 2005, Abdollahi *et al.* 2000). Bu ağır metallerin SOD enzimidaki çinko ile olan etkileşimleri sonucu SOD aktivitesi inhibe edilebilir. Kontrol grubuna göre diğer durumlardaki (durum 1, durum 2 ve durum 3) SOD enzim aktivitesindeki azalma bu şekilde açıklanabilir. Bununla birlikte Bauer vd. (1980)'in yapmış oldukları çalışmada <sup>111</sup>Cd'nin CuZnSOD molekülünde çinko (Zn)'nun yerini alabilme ve bu enzimin inaktif formunu (Cu<sup>111</sup>CdSOD) oluşturabilme yeteneğinde olduğunu göstermiştir. Mevcut çalışmada Cd<sup>2+</sup> uygulamasına bağlı olarak SOD enzim aktivitelerinde meydana gelen azalma bu durumdan da kaynaklanabilir.

Glutasyon peroksidaz enziminin (GSH-Px) aktivitesindeki değişiklikler kontrol grubu ile karşılaştırılarak değerlendirildi. *E. setosa*'da GSH-Px aktivitesi kontrol grubu, durum 1, durum 2 ve durum 3'te sırasıyla 135.056, 95.158, 118.164 ve 127.139 (U mgprot<sup>-1</sup>) olarak belirlendi. Buna göre; durum 1, durum 2 ve durum 3 gruplarındaki GSH-Px aktivite değerlerinin kontrol grubundan düşük olduğu ve gruplar arası farkın istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edildi (p=0.015).

Ancak artan dozlardaki kadmiyum uygulamasına bağlı olarak GSH-Px aktivitelerinde belli oranda artışın olduğu, en yüksek kadmiyum uygulanan durum 3'te ise artışın kontrol grubu seviyesine yaklaştığı belirlendi. Kısa dönemli kurşun ve kadmiyum gibi ağır metaller maruz kalma in vitro ve in vivo olarak antioksidan enzimlerin aktivitelerinde genelde azalmaya yol açmaktadır. Buna karşın yükselen doz ile birlikte

maruz kalınan sürenin uzamasıyla bazı antioksidan enzim aktivitelerinde artışlar literatürde yer almaktadır. Bu durumun genlerin adaptif olarak indüklenmesinden kaynaklandığı düşünülebilir (Waisberg *et al.* 2003).

Glutasyon-S transferaz (GSH-ST) enzim aktivitesindeki değişiklikler kontrol grubuna kıyasla değerlendirildi. *E. setosa*'da GSH-ST aktivitesi kontrol grubu, durum 1, durum 2 ve durum 3'te sırasıyla 0.680, 0.400, 0.265 ve 0.239 (U mgprot<sup>-1</sup>) olarak belirlendi. Buna göre; durum 1, durum 2 ve durum 3 gruplarında kontrol grubuna oranla istatistiksel açıdan çok önemli bir farklılık olduğu (p=0.021) saptandı. Bu gruplardaki farklılık kontrol grubuna göre GSH-ST enzim aktivitelerinin azalışı yönündedir. GSH-ST enzim aktivitesi en yüksek kontrol grubunda, en düşük ise durum 3 grubunda ölçüldü. Bu sonuçlar literatürdeki çalışmalar ile paralellik göstermektedir (Meyer *et al.* 1991, Kostaropoulos *et al.* 2005).

Glutasyon redüktaz (GSH-Rd) enzim aktivitesindeki değişiklikler kontrol grubuna kıyasla değerlendirildi. *E. setosa*'da GSH-Rd aktivitesi kontrol grubu, durum 1, durum 2 ve durum 3'te sırasıyla 36.106, 25.846, 23.347 ve 16.921 (U gprot<sup>-1</sup>) olarak belirlendi. Buna göre; durum 1, durum 2 ve durum 3 gruplarında kontrol grubuna oranla istatistiksel açıdan çok önemli bir farklılık olduğu (p<0.016) saptandı. Bu gruplardaki farklılık kontrol grubuna göre GSH-Rd enzim aktivitelerinin azalışı yönündedir. GSH-Rd enzim aktivitesindeki en yüksek ölçüm kontrol grubunda, en düşük ölçüm ise durum 3 grubunda tespit edildi. Mevcut çalışma ile paralel olarak, *Sparus aurata*'da karaciğerde antioksidan enzimler olan Glutasyon peroksidaz, Glutasyon redüktaz ve Katalazın aktivitesinin 3 ve 6 günlük Cd uygulaması sonucunda önemli derecede düştüğü gözlenmiştir (Vaglio and Landriscina 1999).

Cu ve Cd direk ya da indirekt olarak hücrel demir düzeylerinin yükselmesine neden olarak antioksidan aktiviteyi engellerler, hücrel glutasyon kullanımına neden olur ya da glutasyon ilişki enzimleri inhibe eder (Kang 1997, Lagadic 1999). Kadmiyum uygulanan su kenelerinde kontrol grubuna oranla GSH-Rd enzimindeki düşüşler literatür ile uyumluluk göstermiştir.



Akuatik organizmalardaki metabolik ve enzimatik aktivitelerin çalışılması, tatlı su ve deniz ortamına giren kirleticilerin ekolojik etkilerini anlamaya olanak verdiği için önemlidir. Bu sebeple akuatik canlılar üzerine etkisi olan kimyasal maddelerin ve canlıları etkileme biçimlerinin bilinmesi oldukça önem arz etmektedir (Jiminez and Stegeman 1990).

Önceleri kirlilik ölçümleri kimyasal olarak suların ve organizmaların metal içeriğinin ölçülmesiyle yapılmaktaydı. Günümüzde ise bu çalışmalar yeterli görülmemektedir. Çünkü organizmalar birçok bölgede çok düşük düzeylerde bulunabilmekte fakat kronik olarak metal etkisine maruz kalabilmektedir. Bu sebeple organizmalardaki metabolik etkileri moleküler düzeyde belirlemek ancak çeşitli biyomarkerlar kullanarak mümkün olmaktadır. Böylece hem organizmalarda hem de insanlarda ciddi bir toksik etki görülmeden biyomarkerlar ile durum tespiti yapılması sağlanmış olur ki buna “erken uyarı sistemi” de denilebilir.

Bir ekosistemde madde iletimi canlılar arasında besin zinciri ile sağlanır. Besin zinciri bir canlının diğerisi üzerinden beslenmesi sonucu oluşan bir piramittir. Ağır metaller gibi bazı kirleticiler besin zincirinin ilk halkalarında düşük düzeylerde bulunsalar bile, birbirini izleyen halkalarda artan yoğunluklarda bulunabilirler. Bu olay biyolojik birikim olarak adlandırılır (Vural 1993).

Ülkemizde ve dünyada sucul organizmalarda ağır metallerin antioksidan enzim aktiviteleri üzerine etkileri hakkında çok sayıda çalışma mevcuttur. Sucul ortamlardaki ağır metal kirliliğin belirlenmesinde genellikle balık, midye ve alg türleri kullanılmaktadır. Fakat su ekosisteminin temel düzeyindeki baskın ve yaygın gruplarından olan su keneleri türlerinde bu konu ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu tez kapsamında besin zincirinin temel düzeyinde bulunan *E. setosa*'da ilk kez kadmiyumun antioksidan sistemler üzerindeki etkileri değerlendirildi. Bu alışma serbest radikal kaynaklı toksisiteye karşı savunma yapısını ve hücrelerin adaptif mekanizmasını açıkça göstermektedir.

Bu çalışma ile ağır metallerle kirlenmiş bir su ekosisteminde kirliliğe maruz kalan, su keneleri (*Eylais setosa*) türlerinin belirli dozlara kadar enzimatik savunma sistemlerini harekete geçirdiği tespit edilmiştir.

Enzim aktiviteleri ile sucul kirlilik arasındaki ilişkinin kullanışlı biyobelirteçler olduğu, bu tez çalışmasıyla ortaya konulmuştur. Ancak aktiviteleri etkileyen farklı parametrelerin ileriki çalışmalarda detaylı olarak araştırılması konunun daha anlaşılır olması açısından önem arz edecektir. Çalışmanın detaylandırılması türlerin dişi ve erkek bireyler arasında fark olup olmadığı, diğer ağır metallerin de eklenerek karşılaştırılması ve çalışılan ayların ilkbahar ile sonbahar arasında periyodik olarak yapılması ile tespitler güçlendirilmelidir.



## 6. KAYNAKLAR

- Abdollahi, M., Dehpour, A. and Kazemian, P. (2000). Alteration by cadmium of rat submandibular gland secretory function and the role of the L-arginine/nitric oxide pathway. *Pharmacological research*, **42**: 591-597.
- Aizawa, S., Tsunoda, A., Yasuda, M., Tsunoda, K. and Itabashi, H. (2009). Concentrations of heavy metals in caddisfly larvae of the tone river system and their seasonal variations. *Bunseki Kagaku*, **58**: 273-285.
- Akbulut, C., Kaymak, G., Esmer, H.E., Yön, N.D. ve Kayhan, F.E. (2014). Balıklarda ağır metal ve pestisitler tarafından indüklenen oksidatif stres mekanizmaları. *Su Ürünleri Dergisi*, **31**: 155-160.
- Aktan, N. (2011). Antalya Körfezi'nin suyunda ve körfezde yaşayan kolyoz (*Scomber japonicus* Houttuyn, 1782)'un kas, karaciğer ve solungaçlarındaki bazı ağır metal düzeylerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Alak, G., Sönmez, A. ve Hisar, O. (2011). Bazı pestisitlerin balıkların antioksidan enzim aktiviteleri üzerine etkileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, **42**: 91-93.
- Alkan, A. (2005). Bazı ağır metal ve selenyum bileşiklerine maruz kalan alabalıklarda antioksidan enzim aktivitelerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Almeida, J.A., Diniz, Y.S., Marques, S.F.G., Faine, L.A., Ribas, B.O., Burneiko, R.C. and Novelli, E.L.B. (2002). The use of the oxidative stress responses as biomarkers in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) exposed to in vivo cadmium contamination. *Environment International*, **27**: 673-679.
- Almeida, E.A., Miyamoto, S., Bainy, A.C.D., de Medeiros, M.H.G. and Di Mascio, P. (2004). Protective effect of phospholipid hydroperoxide glutathione peroxidase (PHGPx) against lipid peroxidation in mussels *Perna perna* exposed to different metals. *Marine Pollution Bulletin*, **49**: 386-392.

- Altındağ, A. and Yiğit, S. (2005). Assessment of heavy metal concentrations in the food web of lake Beyşehir, Turkey. *Chemosphere*, **60**: 552-556.
- Aşçı, F. (2002). Kars, Ardahan, Artvin ve Rize illeri su kenelerinin (Acari, Hydrachnellae) sistematik yönden incelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Aşçı, F., Bursalı, A. ve Özkan, M. (2006-2007). Afyonkarahisar İli Su Kenesi (Acari; Hydrachnidia) Faunası. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, **2**: 46-49.
- Aşçı, F., Fıçıcı, E.K. ve Konuk, M. (2009). Eber ve Karamık Göllerindeki kontaminasyonun belirlenmesine yeni bir yaklaşım. *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **2**: 1-4.
- Aşçı, F., Bahadır, M. and Akkuş, G.U. (2015). Study on the impact of elements in water on the diversity of water mites (Acari, Hydrachnidia) species. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, **6**: 259.
- Aşçı, F., Akkuş, G.U. and Yaman, İ. (2016). Accumulation of heavy metals by a common water mite *Hydrodroma despiciens* (Müller, 1776) in laboratory condition. *Pakistan Journal of Zoology*, **48**: 345-348.
- Atlı, G., Alptekin, Ö., Tükel, S. and Canlı, M. (2006). Response of catalase activity to  $Ag^+$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Cr^{6+}$ ,  $Cu^{2+}$  and  $Zn^{2+}$  in five tissues of freshwater fish *Oreochromis niloticus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology and Pharmacology*, **143**: 218-224.
- Aygen, C. ve Balık, S. (2005). Işıklı Gölü ve kaynaklarının (Çivril-Denizli) Crustacea faunası. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, **22**: 371-375.
- Aydın, P. (2018). Bitkisel biyokütle üzerine pasif immobilize *Phlebia gigantea*'nın  $Pb^{2+}$  biyosorpsiyonu karakteristikleri. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Aydın, A., Sayal, A. ve Işimer, A. (2001). Serbest radikaller ve antioksidan savunma sistemi. Gülhane Askeri Tıp Akademisi, Ankara.

- Ballesteros, M.L., Wunderlin, D.A. and Bistoni, M.A. (2009). Oxidative stress responses in different organs of *Jenynsia multidentata* exposed to endosulfan. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **72**: 199-205.
- Basha, P. S. and Rani, A.U. (2003). Cadmium-induced antioxidant defense mechanism in freshwater teleost *Oreochromis mossambicus* (Tilapia). *Ecotoxicology and environmental safety*, **56**: 218-221.
- Bauer, R., Demeter, I., Hasemann, V. and Johansen, J.T. (1980). Structural properties of the zinc site in Cu, Zn-superoxide dismutase; perturbed angular correlation of gamma ray spectroscopy on the Cu, <sup>111</sup>Cd-superoxide dismutase derivative. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, **94**: 1296-1302.
- Bayır, A. (2005). Hıms Çayı (Murat havzası)'nda yaşayan siraz balığı (*Capoeta capoeta umbla*)'nın antioksidan enzim aktiviteleri, serum lipidleri, lipoproteinleri ve hematolojik parametrelerinin mevsimsel değişimlerinin incelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Beliaeff, B. and Burgeot, T. (2002). Integrated biomarker response: a useful tool for ecological risk assessment. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, **21**: 1316-1322.
- Benzie, I.F. (2000). Evolution of antioxidant defence mechanisms. *European journal of nutrition*, **39**: 53-61.
- Bergin, F., Kucuksezgin, F., Uluturhan, E., Barut, I. F., Meric, E., Avsar, N. and Nazik, A. (2006). The response of benthic foraminifera and ostracoda to heavy metal pollution in Gulf of Izmir (Eastern Aegean Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **66**: 368-386.
- Bernhoft, R.A. (2013). Cadmium toxicity and treatment. *The Scientific World Journal*, **2013**: 1-7.
- Birben, E., Şahiner, Ü.M., Sackesen, C., Erzurum, S. and Kalaycı Ö. (2012). Oxidative stress and antioxidant defense. *World Allergy Organization Journal*, **5**: 9-19.
- Bjerregaard, P. and Depledge, M.H. (1994). Cadmium accumulation in *Littorina littorea*, *Mytilus edulis* and *Carcinus maenas*: the influence of salinity and calcium ion concentrations. *Marine Biology*, **119**: 385-395.

- Boyacı, Y.Ö. (1995). Konya ili ve çevresi su kenelerinin (Hydrachnellae, Acari) sistematik yönden incelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Boyacı, Y.Ö. ve Özkan, M. (2003). Işıklı Gölü (Denizli) faunası su keneleri (Hydrachnellae, Acari). *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, **20**: 357–366.
- Boyacı Y.Ö., Güllü P. and Didinen, H. (2013). Water mites of the genus *Unionicola* (Haldeman 1842) (Acari, Hydrachnidia, Unionicolidae) and a new species for Turkey. *Zookeys*, **238**: 23-30.
- Bryan, G. (1976). Heavy metal contamination in the sea in: R.Johnston. *Marine pollution*, London, 185-302.
- Büyükkargacı, N. (2011). Gemlik körfezinden avlanan ekonomik balık türlerinde ağır metal birikiminin tespiti. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Canlı M. and Furness R. (1995). Mercury and cadmium uptake from seawate and from food by the norway lobster *Nephrops norvegicus*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, **14**: 819-828.
- Canlı, M., Ay, Ö. and Kalay, M. (1998). Levels of heavy metals (Cd, Pb, Cu, Cr and Ni) in tissue of *Cyprinus carpio*, *Barbus capito* and *Chondrostoma regium* from the Seyhan River, Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, **22**: 149-158.
- Canlı, M. and Atlı, G. (2003). The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environmental Pollution*, **121**: 129-136.
- Canpolat, Ö. and Çalta, M. (2003). Heavy metals in some tissues and organs of *Capoeta capoeta umbla* (Heckel, 1843) fish species in relation to body size, age, sex and seasons. *Fresenius Environmental Bulletin*, **12**: 961-966.
- Canyurt, M.A. (1982). Bazı tarım ilaçlarının aynalı sazan, tilapia ve yılan balıkları için toksik konsantrasyonları üzerine araştırmalar. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- Carvalho, C.S., Bernusso, V.A., Araújo, H.S., Espíndola, E.L. and Fernandes, M.N. (2012). Biomarker responses as indication of contaminant effects in *Oreochromis niloticus*. *Chemosphere*, **89**: 60-69.
- Casalino, E., Calzaretto, G., Sblano, C. and Landriscina, C. (2002). Molecular inhibitory mechanisms of antioxidant enzymes in rat liver and kidney by cadmium. *Toxicology*, **179**: 37-50.
- Cearley, J.E. and Coleman, R.L. (1974). Cadmium toxicity and bioconcentration in largemouth bass and bluegill. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **11**: 146-151.
- Chandran, R., Sivakumar, A.A., Mohandass, S. and Aruchami, M. (2005). Effect of cadmium and zinc on antioxidant enzyme activity in the gastropod, *Achatina fulica*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology and Pharmacology*, **140**: 422-426.
- Chen, H. and Tappel, A.L. (1996). Protection of multiple antioxidants against heme protein oxidation and lipid peroxidation induced by CBrCl<sub>3</sub> in liver, lung, kidney, heart, and spleen. *Journal of agricultural and food chemistry*, **44**: 854-858.
- Cicik, B. (2003). Bakır-çinko etkileşiminin sazan (*Cyprinus carpio* L.)'nin karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki metal birikimi üzerine etkileri. *Ekoloji Çevre Dergisi*, **12**: 32-36.
- Clark, R.B. (1992). Marine Pollution. Clarendon Press, Third Edition, Oxford, 248.
- Company, R., Serafim, A., Bebianno, M.J., Cosson, R., Shillito, B. and Fiala Me'dioni, A. (2004). Effect of cadmium, copper and mercury on antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in the gills of the hydrothermal vent mussel *Bathymodiulus azoricus*. *Marine Environment Research*, **58**: 377-381.
- Cook, D.R. (1974). Water mite genera and subgenera. *Memories of the American Entomological Institute*, **21**: 1-860.
- Cossu, C., Doyotte, A., Jacquin, M.C., Babut, M., Exinger, A. and Vasseur, P. (1997). Glutathione reductase, selenium-dependent glutathione peroxidase, glutathione levels, and lipid peroxidation in freshwater bivalves, *unio tumidus*, as biomarkers of aquatic contamination in field studies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **38**: 122-131.

- Çoğun, H.Y. (2008). *Oreochromis niloticus* ve *Cyprinus carpio*'da bakır ve kurşun birikiminin solungaç, kas, karaciğer, böbrek ve kan dokularındaki iyon dağılımı üzerine etkisi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Darlington, S.T., Gower, A.M. and Ebdon, L. (1987). Studies on plectrocnemia conspersa (curtis) in copper contaminated streams in South West England. *Proceedings of the Fifth International Symposium on Trichoptera Series Entomologica*, **39**: 353-357.
- Dat, J., Vandenabeele, S., Vranova, E., Van Montagu, M., Inze, D. and Van Breuegem, F. (2000). Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. *Cellular and Molecular Life Sciences*, **57**: 779-795.
- De Conto Cinier, C., Ramel, M.P., Faure, R. and Garin, D. (1997). Cadmium bioaccumulation in carp (*Cyprinus carpio*) tissues during long-term high exposure: Analysis by inductively coupled plasma-massspectrometry. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **38**: 137-143.
- De Smet, H. and Blust, R. (2001). Stress responses and changes in protein metabolism in carp *Cyprinus carpio* during cadmium exposure. *Ecotoxicology and environmental safety*, **48**: 255-262.
- Devasagayam, T.P.A., Tilak, J.C., Bloor, K.K., Sane, K.S., Ghaskadbi, S.S. and Lele, R.D. (2004). Free radicals and antioxidants in human health: current status and future prospects. *Japi*, **52**: 4.
- Diplock, A. (1998). Healty lifestyles nutrition and physical activity: Antioxidant nutrients. *ILSI Europe concise monograph series*, 59.
- Dirilgen, N. (2001). Accumulation of heavy metal in freshwater organism: assessment of toxic interactions. *Turkish Journal Chemisrty*, **25**: 173-179.
- Di Sabatino, A., Gerecke, R. and Martin, P. (2000). The biology and ecology of lotic water mites (Hydrachnidia). *Freshwater Biology*, **44**: 47-62.
- Di Sabatino, A., Cicolani, B. and Gerecke, R. (2003). Biodiversity and distribution of water mites (Acari, Hydrachnidia) in spring habitats. *Freshwater Biology*, **48**: 2163-2173.



- Di Sabatino, A., Smit, H., Gerecke, R., Goldschmidt, T., Matsumoto, N. and Cicolani, B. (2008). Global diversity of water mites (Acari, Hydrachnidia) in freshwater. *Hydrobiologia*, **595**: 303-315.
- Dişçi, H. (2002). Işıklı Baraj Gölü'nde yaşayan Turna balığı (*Esox Lucius* L., 1758)'nın endoparazitlerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Dubovskiy, I.M., Martemyanov, V.V., Vorontsova, Y.L., Rantala, M.J., Gryzanova, E.V. and Glupov, V.V. (2008). Effect of bacterial infection on antioxidant activity and lipid peroxidation in the midgut of *Galleria mellonella* larvae (Lepidoptera, Pyralidae). *Comparative Biochemistry and Physiology*, **148**: 1-5.
- Duman F. (2005). Sapanca ve Abant Gölü su, sediment ve sucul bitki örneklerinde ağır metal konsantrasyonlarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- El-Sharabasy, H.M. and Ibrahim. A. (2010) . Communities of oribatid mites and heavy metal accumulation in oribatid species in agricultural soils in Egypt. *Impacted by Wastewater*, **46**: 159-170.
- El-Sokkary, G.H., Abdel-Rahman, G.H. and Kamel, E.S. (2005). Melatonin protects against lead-induced hepatic and renal toxicity in male rats. *Toxicology*, **213**: 25-33.
- Erdoğan, M.D. (2015). Munzur akarsuyunda yaşayan alabalıklarda (*Salmo trutta macrostigma*) antioksidan enzim aktivitelerinin mevsimsel değişimlerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Tunceli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Tunceli.
- Erman, O. (1990). Elazığ ili su kenelerinin (Hydrachnellae, Acari) sistematik yönden incelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Erman, O. ve Özkan, M. (2000): Elazığ ili su kenesi (Hydrachnellae, Acari) faunası. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **12**: 19–28.
- Erman, O., Tellioglu, A., Orhan, O., Çitil, C. ve Özkan, M. (2006). Hazar Gölü ve Behremaz Çayı su kenesi (Hydrachnidia: Acari) faunası ve mevsimsel dağılımı. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **18**: 1-10.

- Erman, O., Gülle, P., Özkan, M., Candoğan, H. and Boyacı, Y.Ö. (2019). Checklist of the water mites (Acari: Hydrachnidia) of Turkey: First supplement. *Zootaxa*, **4686**: 376-396.
- Esen, Y. (2011). Bingöl ili su kenelerinin (Acari, Hydrachnidia) sistematik yönden incelenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Esen, Y., Dilkaraoğlu, S. and Erman, O. (2013). A systematic study on water mites (Acari: Hydrachnidia) of Kemaliye district (Erzincan). *Turkish Journal of Entomology*, **37**: 263-276.
- Esen, Y. and Erman, O. (2013). Bingöl ili su keneleri (Acari: Hydrachnidia) faunası. *Firat University Journal of Science*, **25**: 105-114.
- Esenbuğa, H. (2013). SDS (sodium dodecyl sulphate)'nin farklı dozlarının gökkuşacağı (*Oncorhynchus mykiss*)'nin yüzme performansı, hematoloji parametreleri ve bazı antioksidan enzim aktiviteleri üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Everaarts, J.M. and Nieuwenhuize, J. (1995). Heavy metals in surface sediment and epibenthic macroinvertebrates from the coastal zone and continental slope of Kenya. *Marine Pollution Bulletin*, **31**: 281-289.
- Farombi, E.O., Adelowo, O.A. and 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**: 158-165.
- Federici G., Shaw B.J. and Handy, R.D. (2007). Toxicity of titanium dioxide nanoparticles to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): gill injury, oxidative stress and other physiological effects. *Aquatic Toxicology*, **84**: 415-430.
- Friberg, L., Piscator, M., Nordberg, G.F. and Kjellström, T. (1974). Cadmium in the Environment. Cleveland, 142.
- Fridovich, I. (1995). Superoxide radical and superoxide dismutases. *Annual Review of Biochemistry*, **64**: 97-112.

- Förstner, G. and Wittmann, T. (1981). Metal pollution in the aquatic environment, Berlin Heidelberg. Newyork Springer Verlag, **3**: 271-318.
- Gerson, U., Smiley, R.L. and Ochoa, R. (2003). Mites (Acari) for Pest Control. Blackwell Publishing, UK.
- Ghiselli, A., Serafini, M., Natella, F. and Scaccini, C. (2000). Total antioxidant capacity as a tool to assess redox status: critical view and experimental data. *Free Radical Biology and Medicine*, **29**: 1106-1114.
- Göktaş, Ö. (2007). Kadmiyumun neden olduğu oksidatif stres üzerine resveratrolün koruyucu etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Guemouri, L.Y.B.C.G.G., Artur, Y., Herbeth, B., Jeandel, C., Cuny, G. and Siest, G. (1991). Biological variability of superoxide dismutase, glutathione peroxidase, and catalase in blood. *Clinical Chemistry*, **37**: 1932-1937.
- Gutteridge, J.M. and Halliwell, B. (1990). The measurement and mechanism of lipid peroxidation in biological systems. *Trends in Biochemical Sciences*, **15**: 129-135.
- Gutteridge, J. M. and Halliwell, B. (2000). Free radicals and antioxidants in the year 2000: a historical look to the future. *Annals of the New York Academy of Sciences*, **899**: 136-147.
- Güner, U. (2008). Effects of copper and cadmium interaction on total protein levels in liver of *Carassius carassius*. *Journal of Fisheries Sciences. com*, **2**: 54-65.
- Güngördü, A. (2007). Karakaya Baraj Gölü'nün su kalitesinin ekotoksikolojik yaklaşımla değerlendirilmesi. Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Hagino, N. and Yoshioka, K. (1961). Study on the cause of Itai-Itai disease. *The Japanese Orthopaedic Association*, **35**: 812-815.
- Halliwell, B. (1990). Role of free radicals and catalytic metal ions in human disease: Overview. *Methods Enzymology*, **186**: 1-85.
- Halliwell, B. (1994). Free radicals, antioxidants, and human disease: curiosity, cause, or consequence?. *The lancet*, **344**: 721-724.

- Halliwell, B. (1997). Antioxidants and human disease: a general introduction. *Nutrition reviews*, 55: S44-S49.
- Halliwell, B. and Gutteridge J.M.C. (1999). Free Radicals in Biology and Medicine. 3rd ed. New York: Oxford.
- Hapke, J. (1991). Effects of metal on domestic animals. VCH Verlagsgesellschaft mbH.
- Harvey, M.S. (1998). The Australian water mites: a guide to families and genera. Csiro Publishing, 4. Edition, Collingwood, Australia.
- Hausling, M., Jorns, C.A., Lehmbecker, G., Hecht-Buchholz, C. and Marschner, H. (1988). Ion and water uptake in relation to root development of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst). *Journal Plant Physiology*, **133**: 486-491.
- Havens, K.E. (1993). Acid and aluminum effects on the survival of littoral macro-invertebrates during acute bioassays. *Environmental Pollution*, **80**: 95-100.
- Heath, A.G. (1995). Water pollution and fish physiology. Department of Biology Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, Virginia, **4**: 67-76.
- Hoy, M.A. (2011). Agricultural Acarology: Introduction to integrated mite management. CRC Press, Florida, USA.
- Hoyle, I., Shaw, B.J. and Handy, R.D. (2007). Dietary copper exposure in the african walking catfish, *Clarias gariepinus*: transient osmoregulatory disturbances and oxidative stress. *Aquatic Toxicology*, **83**: 62-72.
- Hu, H. (2000). Exposure to metals. *Occupational and Environmental Medicine*, **27**: 983-996.
- Ishar, M.P.S., Kumar, K., Kaur, S., Kumar, S., Girdhar, N.K., Sachar, S., Marwaha, A. and Kapoor, A. (2001). Facile, regioselective [4+ 2] cycloaddition involving 1-aryl-4-phenyl-1-azadienes and allenic esters: An efficient route to novel substituted 1-aryl-4-phenyl-1, 4-dihydropyridines. *Organic letters*, **3**: 2133-2136.
- Işık, İ. (2007). Bazı zirai mücadele ilaçlarının balıkların solungaç karaciğer ve kas dokularındaki antioksidan enzim aktivitelerinin glutasyon ve lipid peroksidasyon seviyeleri üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.

- Itow, T., Loveland, R.E. and Botton, M.L. (1998). Developmental abnormalities in horseshoe crab embryos caused by exposure to heavy metals. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, **35**: 33-40.
- İnan, V. ve Uysal, H. (1995). Batı Anadolu Gölleri'nde (Apolyon, Manyas, Eğirdir, Çivril ve Marmara) yaşayan tatlısu ıstakozunda (*A. Ieptodactylus* ESCH, 1823) bazı ağır metal birikimleri ve bu elementlerin toksik etkilerinin araştırılması. *Turkish Journal of Biology*, **19**: 55-65.
- İstanbulluoğlu H. (2011). Piyasada satılan süt ve süt ürünlerinde ağır metal kirliliği. Tıpta Uzmanlık Tezi, Gülhane Askeri Tıp Akademisi, Ankara.
- Jeppson, L.R., Keifer, H.H. and Barker, E.W. (1975). Mites injurious to economic plants. University of California Press, California, USA.
- Jiminez, B.D. and Stegeman, J.J. (1990). Detoxification enzymes as indicator of environmental stress on fishes. *In American Fish Society Symposium*, **8**: 69-79.
- Kahle, J. and Zauke, G.P. (2002). Trace metals in Antarctic copepods from the Weddell Sea (Antarctica). *Chemosphere*, **51**: 409-417.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S. (2003). Metallerin çevresel etkileri-I. *Metallurji Dergisi*, **136**: 47-53.
- Kalay, M., Koyuncu C.E. and Dönmez A.E. (2004). Comparison of Cd levels in the muscle and liver tissues of *Mullus barbatus* and *Sparus aurata* caught from the Mersin Gulf. (in Turkish). *Ekoloji Dergisi*, **13**: 23-27.
- Kang, Y. J. (1997). Alteration of antioxidant system. In Handbook of Human Toxicology. CRC Press Boca Raton, Florida, USA, 275-284.
- Karadere, H. (1997). Atatürk Baraj Gölü'nde su, sediment ve balık türlerinde ağır metal biriminin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Kasnak, C. ve Palamutoğlu, R. (2015). Doğal antioksidanların sınıflandırılması ve insan sağlığına etkileri. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **3**: 226-234.
- Katalay, S. and Parlak, H. (2004). The effects of cadmium on erythrocyte structure of black goby (*Gobius niger* L,1758). *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, **21**: 99-102.

- Kaya, H. (2012). Tilapia’da (*Oreochromis mossambicus*) kurşun toksisitesi: oksidatif stres ve bazı fizyolojik etkiler. Doktora Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Çanakkale.
- Kayhan, F.E. (2006). Su ürünlerinde kadmiyumun biyobirikimi ve toksitesi. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, **23**: 215-220.
- Kayhan, F.E., Muşlu, M.N. ve Koç, N.D. (2009). Bazı ağır metallerin sucul organizmalar üzerinde yarattığı stres ve biyolojik yanıtlar. *Journal of Fisheries Sciences.com*, **3**: 153-162.
- Keha, E. ve Küfrevioğlu, Ö.İ. (2004). Biyokimya. Aktif Yayınevi, Erzurum.
- Kirubakaran, R. and Joy, K.P. (1992). Toxic effects of mercury on testicular activity in the freshwater teleost, *Clarias batrachus*. *Journal of Fish Biology*, **41**: 305-315.
- Kostaropoulos, I., Kalmanti, D., Theodoropoulou, B. and Loumbourdis, N.S. (2005). Effects of exposure to a mixture of cadmium and chromium on detoxification enzyme (GST, P450-MO) activities in the frog *Rana ridibunda*. *Ecotoxicology*, **14**: 439-447.
- Köse, E. (2007). Enne Barajı’nda yaşayan balıklarda ağır metal birikiminin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Krajčovičová-Kudláčková, M., Ursínyová, M., Mašánová, V., Béderová, A. and Valachovičová, M. (2006). Cadmium blood concentrations in relation to nutrition. *Central Europe Journal of Public Health*, **14**: 126-129.
- Krantz, G.W. and Walter, D.E. (2009). A manual of acarology: Third edition. Texas Tech University Press, Lubbock, Texas.
- Kumar, A. and Mathur, R.P. (1996). Bioconcentration kinetics and organ distribution of cadmium in a fresh water teleost *Colisafasciatus*. *Environmental Technology*, **17**: 391-398.
- Küçükgülmez, A. (2005). Akyatan Lagün’ünden avlanan pastörize edilmiş mavi yengeç (*Callinectes sapidus*, Rathbun, 1896) etinin ağır metal ve mineral madde içerikleri. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Lagadic, L. (1999). Biomarkers in invertebrates. In Biomarkers: A Pragmatic Basis for Remediation of Severe Pollution in Eastern Europe. *Springer*, 153-175.

- Lo, W.J., Chiou, Y.C., Hsu, Y.T., Lam, W.S., Chang, M.Y., Jao, S.C. and Li, W.S. (2007). Enzymatic and nonenzymatic synthesis of glutathione conjugates: application to the understanding of a parasite's defense system and alternative to the discovery of potent Glutathione S-Transferase inhibitors. *Bioconjugate Chemistry*, **18**: 109-120.
- Martin, P. and Gerecke, R. (2009). Diptera as hosts of water mite larvae-an interesting relationship with many open questions. *Lauterbornia*, **68**: 95-103.
- Martin, P. and Stur, E. (2006). Parasite-host associations and life cycles of spring-living water mites (Hydrachnidia, Acari) from Luxembourg. *Hydrobiologia*, **573**: 17-37.
- Massey, V. and Willams, C.H. (1965). On the reaction mechanism of yeast Glutathione Reductas. *Journal of Biological Chemistry*, **240**: 4470-4480.
- McCord, J.M. (1985). Oxygen-derived free radicals in postischemic tissue injury. *New England Journal of Medicine*, **312**: 159-163.
- Meister, A. (1994). The glutathione-ascorbic acid antioxidant systems in animal. *Journal of Biological Chemistry*, **269**: 9397-9400.
- Méndez-Armenta, M. and Ríos, C. (2007). Cadmium neurotoxicity. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, **23**: 350-358.
- Meng, J.Y., Zhang, C.Y., Zhu, F., Wang, X.P. and Lei, C.L. (2009). Ultraviolet light-induced oxidative stress: effects on antioxidant response of *Helicoverpa armigera* adults. *Journal of Insect Physiology*, **55**: 588-592.
- Meydani, M. (2001). Vitamin E and atherosclerosis: beyond prevention of LDL oxidation. *The Journal of nutrition*, **131**: 366-368.
- Meyer, W., Kretschmer, M., Hoffmann, A. and Harisch, G. (1991). Biochemical and histochemical observations on effects of low-level heavy metal load (lead, cadmium) in different organ systems of the freshwater crayfish, *Astacus astacus* L. (Crustacea: Decapoda). *Ecotoxicology and environmental safety*, **21**: 137-156.
- Miccoli, F.P., Lombardo, P. and Cicolani, B. (2013). Indicator value of lotic water mites (Acari: Hydrachnidia) and their use in macroinvertebrate-based indices for water quality assessment purposes. *Knowledge and management of aquatic ecosystems*, **411**: 08.

- Misra, H.P. (1974). Generation of superoxide free radical during the autoxidation of thiols. *Journal of Biological Chemistry*, **249**: 2151-2155.
- Montero, S.M., Mancera, J.M., Fernandes, A.F. and Sousa, M. (2005). Copper induced alterations of biochemical parameters in the gill and plasma of *Oreochromis niloticus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology and Pharmacology*, **141**: 375-383.
- Mruk, D.D., Silvestrini, B., Mo, M.Y. and Cheng, C.Y. (2002). Antioxidant superoxide dismutase a review: its function, regulation in the testis, and role in male fertility. *Contraception*, **65**: 305-311.
- Muneer, B., Iqbal, M.J., Shakoori, F.R. and Shakoori, A.R. (2016). Isolation, identification and cadmium processing of *Pseudomonas aeruginosa* (EP-Cd1) Isolated from soil contaminated with electroplating industrial wastewater. *Pakistan Journal of Zoology*, **48**.
- Newman, M.C. and Doubet, D.K. (1989). Size-dependence of mercury (II) accumulation kinetics in the mosquitofish, *Gambusia affinis* (Baird and Girard). *Archives of Environmental Contamination Toxicology*, **18**: 819-825.
- Nriagu, J.O. (1979). Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere. *Nature*, **279**: 409.
- Núñez-Nogueira, G. (2013). Ni accumulation and regulation after experimental exposure to a Cd, Pb, and Zn mixture in the Pacific white shrimp *Penaeus vannamei*. *Water, Air, and Soil Pollution*, **224**: 1644.
- Olsvik, P.A., Gundersen, P., Andersen, R.A. and Zachariassen, K.E. (2001). Metal accumulation and metallothionein in brown trout, *Salmo trutta*, from two Norwegian rivers differently contaminated with Cd, Cu and Zn. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology and Pharmacology*, **128**: 189-201.
- Othman, M.S., Khonsue, W., Kitana, J., Thirakhupt, K., Robson, M., Borjan, M. and Kitana, N. (2012). Hepatic metallothionein and Glutathione-S-Transferase responses in two populations of rice frogs, *Fejervarya limnocharis*, naturally exposed to different environmental cadmium levels. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, **89**: 225-228.



- Özbolet, G. ve Tuli, A. (2016). Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, **25**: 502-521
- Özdemir, Z.K. (2014). Kocabaş Çay'ındaki (Çanakkale) evsel ve endüstriyel kirliliğin tatlı su kefali (*Leuciscus cephalus* L. 1758) üzerindeki etkilerinin biyomarkırlar kullanılarak araştırılması. Yüksek lisans tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- Özhan, D. (2007). Karakaya Baraj Gölü su kalitesinin zooplankton kompozisyonu ile değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Özkan, M., Boyacı, Y.Ö. ve Erman, O. (2003). Sultan sazlığı, çapalı ve ışıklı gölü su kenisi faunasının tür çeşitliliği, rastlanma sıklığı ve baskınlık değerleri üzerine bir araştırma. I. Ulusal Erciyes Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 303–309.
- Özmen, M., Küçükbay, F.Z., Güngördü, A. ve Güler, R.E. (2003). Karakaya Baraj Gölü'nde su kirliliğinin balıklar üzerine etkileri. Ulusal Su Günleri, Ankara.
- Rainbow, P.S. (2002). Trace metal concentrations in aquatic invertebrates: Why and so What?. *Environmental Pollution*, **120**: 497-507.
- Panesar, A.R. (2000). Evolution in water mites (Hydrachnellae, Actinedidia, Acari) a revision of the Anisitsiellidae, Koenike, 1910. Zoologisches Forschungsinstitut und Museum Alexander Koenig.
- Pennak, R.W. (1991). Fresh-water invertebrates of united state protozoa to mollusca. A Wiley-Interscience Publication, 3. edition, Colorado, USA.
- Romeo, M., Bennani, N., Gnassia-Barelli, M., Lafaurie, M. and Girard, J.P. (2000). Cadmium and copper display different responses towards oxidative stress in the kidney of the sea bass *Dicentrarchus labrax*. *Aquatic Toxicology*, **48**: 185-194.
- Prato, E., Scardicchio, C. and Biandolino, F. (2008). Effects of temperature on the acute toxicity of cadmium to *Corophium insidiosum*. *Environmental monitoring and assessment*, **136**: 161-166.
- Proctor, H.C. and Garga, N. (2004). Red, distasteful water mites: Did fish make them that way?. *Experimental and Applied Acarology*, **34**: 127-147.

- Rayms-Keller, A., Olson, K.E., McGaw, M., Oray, C., Carlson, J.O. and Beaty, B.J. (1998). Effect of Heavy Metals on *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) Larvae. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **39**: 41-47.
- Reish, D.J. (1993). Effects of metals and organic compounds on survival and bioaccumulation in two species of marine gammaridean amphipod, together with a summary of toxicological research on this group. *Journal of Natural History*, **27**: 781-794.
- Saez, G., Thornalley, P.J., Hill, H.A.O., Hems, R. and Bannister, J.V. (1982). The production of free radicals during the autoxidation of cysteine and their effect on isolated rat hepatocytes. *Biochimica et Biophysica Acta- General Subjects*, **719**: 24-31.
- Sağlamtimur, B., Cicik, B. and Erdem, C. (2003). Effects of different concentrations of Cu alone and Cu<sup>+</sup>, Cd mixture on the accumulation of Cu in the gill, liver, kidney and muscle tissues of *Oreochromis niloticus*. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, **27**: 813-820.
- Sağlamtimur, B., Cicik, B. ve Erdem, C. (2004). Kısa süreli bakır-kadmiyum etkileşiminde tatlısu çipurası (*Oreochromis niloticus* L. 1758)'nın karaciğer, böbrek, solungaç ve kas dokularındaki kadmiyum birikimi. *Ekoloji*, **14**: 33-38.
- Sarwar, N., Malhi, S.S., Zia, M.H., Naeem, A., Bibi, S. and Farid, G. (2010). Role of mineral nutrition in minimizing cadmium accumulation by plants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **90**: 925-937.
- Satarug, S., Haswell-Elkins, M.R. and Moore, M.R. (2000). Safe levels of cadmium intake to prevent renal toxicity in human subjects. *British Journal of Nutrition*, **84**: 791-802.
- Satarug, S. and Moore, M.R. (2004). Adverse Health Effects of Chronic Exposure to Low-Level Cadmium in Foodstuffs and Cigarette Smoke. *Environmental Health Perspectives*, **112**: 1099-1103.
- Satarug, S. and Moore, M.R. (2012). Emerging roles of cadmium and heme oxygenase in type-2 diabetes and cancer susceptibility. *The Tohoku journal of experimental medicine*, **228**: 267-288.

- Schwartz, G.G. and Reis, I.M. (2000). Is cadmium a cause of human pancreatic cancer?. *Cancer Epidemiology and Prevention Biomarkers*, **9**: 139-145.
- Sezek, F. (1998). Erzurum ili Hydrachnidae ve Eylaidae türlerinin sistematik yönden incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Shalan, M.G., Mostafa, M.S., Hassouna, M.M., Hassab El-Nabi, S.E. and El-Refaie, A. (2005). Amelioration of lead toxicity on rat liver with vitamin C and silymarin supplements. *Toxicology*, **206**: 11-15.
- Sharma, P. and Dubey, R.S. (2005). Lead toxicity in plants. *Brazilian journal of plant physiology*, **17**: 35- 52.
- Sheedy, B.R., Lazorchak, J.M., Grunwald, D.J., Pickering, Q.H., Pilli, A., Hall, D. and Webb, R. (1991). Effects of pollution on freshwater organisms. *Research journal of the water pollution control federation*, **63**: 619-696.
- Sheu, C. and Foote, C.S. (1995). Reactivity toward singlet oxygen of a 7, 8-dihydro-8-oxoguanosine (8-hydroxyguanosine) formed by photooxidation of a guanosine derivative. *Journal of the American Chemical Society*, **117**: 6439-6442.
- Shugart, L.R., McCarthy, J.F. and Halbrook, R.S. (1992). Biological markers of environmental and ecological contamination: an overview. *Risk Analysis*, **12**: 353-360.
- Sies, H. (1991). Oxidative stress: from basic research to clinical application. *The American journal of medicine*, **91**: S31-S38.
- Sies, H. (1993). Strategies of antioxidant defense. *European Journal of Biochemistry*, **215**: 213-9.
- Siesjö, B.K., Agardh, C.D. and Bengtsson, F. (1989). Free radicals and brain damage. *Cerebrovascular and brain metabolism reviews*, **1**: 165-211.
- Singh, P. and Sankhla, V. (2010). In situ protective effect of curcumin on cadmium chloride induced genotoxicity in bone marrow chromosomes of Swiss albino mice. *Journal of Molecular Cell Biology*, **8**: 57-64.

- Skubala, P. and Kafel, A. (2004). Oribatid mite communities and metal bioaccumulation in oribatid species (Acari, Oribatida) along the heavy metal gradient in forest ecosystems. *Environmental Pollution*, **132**: 51-60.
- Skubala, P. and Zaleski, T. (2012). Heavy metal sensitivity and bioconcentration in oribatid mites (Acari, Oribatida): gradient study in meadow ecosystems. *Science of the Total Environment*, **414**: 364-372.
- Smith, B.P. (1998). Loss of larval parasitism in parasitengonine mites. *Experimental and Applied Acarology*, **22**: 187-199.
- Smith, P.K., Krohn, R.I., Hermanson, G.T., Mallia, A.K., Gartner, F.H., Provenzano, M.D., Fujimoto, E.K., Goeke, N.M., Olson, B.J. and Klenk, D.C. (1985). Bikinfonik asit kullanılarak protein ölçümü. *Analytical Biochemistry*, **150**: 76-85.
- Sorvari, J. and Sillanpää, M. (1996). Influence of metal complex formation on heavy metal and free EDTA and DTPA acute toxicity determined by *Daphnia magna*. *Chemosphere*, **33**: 1119-1127.
- Southorn, P.A. and Powis, G. (1988). Free radicals in medicine. I. Chemical nature and biologic reactions. *Mayo Clinic Proceedings*, **63**: 381-9.
- Stoliar, O.B. and Lushchak, V.I. (2012). Environmental pollution and oxidative stress in fish. Book: Oxidative Stress–Environmental Induction and Dietary Antioxidants/Ed. Lushchak V. InTech, 131-166.
- Şanlı, Y. ve Kaya, S. (1995). Veteriner Klinik Toksikoloji. Medisan Yayın Serisi, Ankara.
- Taylan, Z. ve Özkoç H. (2007). Potansiyel ağır metal kirliliğinin belirlenmesinde akuatik organizmaların biokullanılabilirliği. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **9**: 17-33.
- Timofeyev, M.A., Shatilina, Z.M. and Bedulina, D.S. (2008). Evaluation of biochemical responses in Palearctic and Lake Baikal endemic amphipod species exposed to CdCl<sub>2</sub>. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **70**: 99-105.
- Türkman, A., Aslan, Ş. ve Ege, İ. (2001). Doğal zeolitlerle atıksulardan kurşun giderimi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, **3**: 13-19.

- Uysal, G. (2005). Karamık Gölü su keneleri (Acari; Hydrachnellae) üzerine sistematik bir çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Uysal, G. ve Aşçı, F. (2008). Karamık Gölü (Afyonkarahisar) su kenesi (Acari: Hydrachnida) faunası. *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **1**: 75-80.
- Uysal, K. ve Atalay, M.A. (2007). DPÜ Göleti'nde ekstantif yetiştiriciliği yapılan aynalı sazanların (*Cyprinus carpio*) gelişimi ve ağır metal akümülyasyon oranlarının değerlendirilmesi. *Türk Sucul Yaşam Dergisi*, **5**: 663-670.
- Urso, M.L., Clarkson, P.M. (2003). Oxidative stress, exercise, and antioxidant supplementation. *Toxicology*, **189**: 41-54.
- Vacante, V. (2010). Citrus Mites: İdentification, biomy and control. MPG Books Group, Prenston, UK.
- Vaglio, A. and Landriscina, C. (1999). Changes in liver enzyme activity in the Teleost *Sparus aurata* in response to cadmium intoxication. *Ecotoxicology and environmental safety*, **43**: 111-116.
- Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M.T., Mazur, M. and Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The international journal of biochemistry and cell biology*, **39**: 44-84.
- Venugopal, N.B.R.K., Ramesh, T.V.D.D., Reddy, D.S. and Reddy, S.L.N. (1997). Effect of cadmium on antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in a freshwater field crab, *Barytelphusa guerini*. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, **59**: 132-138.
- Viets, K. (1956). Die Milben des Süßwassers und des Meeres. Hydrachnellae et Halacaridae (Acari), Bibliographie, Katalog Nomenklator, Veb Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Vuori, K.M. and Kukkonen, J. (1996). Metal concentrations in *Hydropsyche pellucidula* larvae (Trichoptera, Hydropsychidae) in relation to the anal Papillae Abnormalities and Age of Exocuticle. *Water Research*, **30**: 2265-2272.

- Vural, H. (1993). Ağır metal iyonlarının gıdalarda oluşturduğu kirlilikler. *Çevre Dergisi*, **3**: 4-6.
- Vural, N. (2005). Toksikoloji. Ankara Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi Yayınları, **506**: 508- 509.
- Waisberg, M., Joseph, P., Hale, B. and Beyersmann, D. (2003). Molecular and cellular mechanisms of cadmium carcinogenesis. *Toxicology*, **192**: 95-117.
- Walker, C.H. (1995). Biochemical biomarkers in ecotoxicology-some recent developments. *The Science of The Total Environment*, **171**: 189-195.
- Walker, W.M., Miller, J.E. and Hassett, J.J. (1977). Effect of lead and cadmium upon the calcium, magnesium, potassium and phosphorus concentration in young corn plants. *Soil science*, **124**: 145-151.
- Wang, Z., Yan, C. and Zhan, X. (2009). Acute and chronic cadmium toxicity to a saltwater cladoceran *moina monogolica* daday and its relative importance. *Ecotoxicology*, **18**: 47-54.
- Wang, L. and Gallagher, E.P. (2013). Role of Nrf2 antioxidant defense in mitigating cadmium-induced oxidative stress in the olfactory system of zebrafish. *Toxicology and applied pharmacology*, **266**: 177-186.
- WHO and EXPOSURE, T. (2010). Cadmium: A major public health concern. Geneva, Switzerland.
- WHO, G. (2011). Guidelines for drinking-water quality. World Health Organization, **216**: 303-4.
- Williams, P.L. and Dusenbery, D.B. (1990). Aquatic toxicity testing using the nematode, *Caenorhabditis elegans*. *Environmental toxicology and chemistry*, **9**: 1285-1290.
- Wu, K.C., Liu, J.J. and Klaassen, C.D. (2012). Nrf2 activation prevents cadmium-induced acute liver injury. *Toxicology and applied pharmacology*, **263**: 14-20.
- Yazkan, M., Özdemir, F. ve Gölükcü, M. (2004). Antalya Körfezinde avlanan bazı yumuşakçalar ve karideste Cu, Zn, Pb ve Cd içeriği. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, **28**: 95-100.

- Yu, B.P. (1994). Cellular defenses against damage from reactive oxygen species. *Physiological Reviews*, **7**.
- Yüzeroğlu, T.A. (2011). *Oreochromis niloticus*'da bakır, kadmiyum ve bakır-kadmiyum etkileşiminde metallerin doku ve organlarda birikimi, eliminasyonu ve antioksidant enzim aktivitelerine etkileri. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Zauke, G.P. and Schmalenbach, I. (2006). Heavy metals in zooplankton and decapod crustaceans from the Barents Sea. *Science of the total environment*, **359**: 283-294.
- Zhang, Z. (2003). Mites of Greenhouses: Identification, biology and control. CABI Publishing, Wallingford, UK.

## İnternet Kaynakları

1) [http://watermites.uark.edu/watermite\\_lifecycle.html](http://watermites.uark.edu/watermite_lifecycle.html), 22.11.2019

2) <http://www.food-info.net/tr/metal/cadmium.htm>, 25.11.2019





## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gamze Kübra ÇETİN  
Doğum Yeri ve Tarihi : Erdemli, 1994  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim : gamzekubra.ctn@gmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Manavgat Lisesi, (2008-2012)  
Lisans : Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi,  
Moleküler Biyoloji ve Genetik (2012-2016)

### Yayınları (SCI ve diğer) :

Aşçı, F., Çetin, G.K., Alpaslan, N. ve Boyacı, Y.Ö. (2018). Türkiye faunası için yeni bir su kenisi türü (Acari, Hydrachnidia) *Lebertia (Pilolebertia) pachydermis* Koenike, 1908. *Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa Bilimleri Dergisi*, **2**: 17-20.

Aşçı, F., Uysal Akkuş, Korcan, S.E., Aydın, B., G., Çetin, G.K. (2018). Sanayi atık suyundan izole edilen *Pseudomonas aeruginosa*'da kurşun (Pb) toleransının belirlenmesi. Poster Sunumu, 24. *Ulusal Biyoloji Kongresi*, 10-14 Eylül Manisa, 71 - 71.

Aşçı, F., Alpaslan, N., Çetin, G.K. ve Boyacı, Y.Ö. (2019). Türkiye su kenisi (Acari, Hydrachnidia) faunası için yeni bir tür; *Atractides gracilipes* (Angelier, 1951). *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **19**: 1-4.

Aşçı, F., Boyacı, Y.Ö., Çetin, G.K. ve Alpaslan, N. (2019). Türkiye su kenisi (Acari, Hydrachnidia) faunası için yeni kayıt; *Arrenurus (Micruracarus) biscissus* Lebert 1869. *Acta Aquatica Turcica*, **15**: 247-251.

Aşçı, F., Uysal Akkuş, Korcan, S.E., Aydın, B., G., Çetin, G.K. ve Alpaslan, N. (2019). Organize sanayi bölgesi (Uşak) atıklarından kurşun (Pb) biyobirikimi yapabilen bakterilerin izolasyonu ve identifikasyonu. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **19**: 496-507.

Aşçı, F., Uysal Akkuş, G., Alpaslan, N. and Çetin, G.K. (2019). Chemical taxonomy applications of some water mite species (Acari, Hydrachnidia) using fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) methods. *Hacettepe Journal Biology and Chemistry*, **47**: 429-433.

Aşçı, F., Çetin G.K. and Alpaslan, N. (2019). Cadmium (Cd) applications in the species of water mites (Acari, Hydrachnidia) and determination of antioxidant enzyme activities, Oral Presentation, *3rd International Congress on Advances in Bioscience and Biotechnology (ICABB)*, 10-14 July Kyiv/Ukraine.

Aşçı, F., Alpaslan, N. and Çetin G.K. (2019). Lead (Pb) applications in the species of water mites (Acari, Hydrachnidia) and determination of enzyme activities, Oral Presentation, *3rd International Congress on Advances in Bioscience and Biotechnology (ICABB)*, 10-14 July Kyiv/Ukraine.