

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SAPANCA GÖLÜ'NDE AĞIR METAL BİRİKİMİNİN
BALIK DOKULARINDA BİYOKİMYASAL VE
HİSTOPATOLOJİK İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Güllü KAYMAK

Enstitü Anabilim Dalı : BİYOLOJİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Nazan Deniz YÖN ERTUĞ

Haziran 2017

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

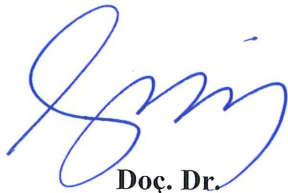
**SAPANCA GÖLÜ'NDE AĞIR METAL BİRİKİMİNİN
BALIK DOKULARINDA BİYOKİMYASAL VE
HİSTOPATOLOJİK İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Güllü KAYMAK

Enstitü Anabilim Dalı : **BİYOLOJİ**

Bu tez 15 / 06 /2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Doç. Dr.
Figen Esin KAYHAN
Jüri Başkanı

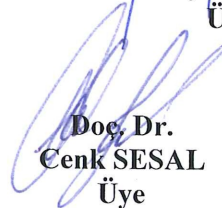


Doç. Dr.
Nazan Deniz YÖN ERTUĞ
Üye



Doç. Dr.
Hüseyin AKSOY
Üye

Doç. Dr.
Sibel ÇOLAK
Üye



Doç. Dr.
Cenk SESAL
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Güllü KAYMAK

25.04.2017

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, araştırmanın tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Sakarya Üniversitesi Biyoloji Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Nazan Deniz YÖN ERTUĞ'a ve tez izleme komitesi üyeleri Marmara Üniversitesi Biyoloji Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Figen Esin KAYHAN ve Sakarya Üniversitesi Biyoloji Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr.Hüseyin AKSOY'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Sakarya Üniversitesi Kimya Bölüm Başkanı Prof. Dr. Mustafa Şahin DÜNDAR'a ve Arş. Gör. Celal CANER'e teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmam sırasında deneyimlerini, bilgisinin ve fikirlerini benimle paylaşmaktan çekinmeyen her aşamada yardımını esirgemeyen Arş. Gör. Cansu AKBULUT'a ve değerli ekip arkadaşlarım Uzman Biyolog Şeyma TARTAR ve Uzman Biyolog Harika Eylül ESMER'e çok teşekkür ederim. Sonsuz ve koşulsuz sevgilerini, desteklerini ve ellerinden gelen tüm imkanları benden esirgemeyen beni her halimle seven canım aileme çok teşekkür ederim.

Doktora tez çalışması sürecinde maddi destek sağladığı için TÜBİTAK-BİDEB 2211-C Öncelikli Alanlara Yönelik Yurtiçi Doktora Burs Programına teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2015-50-02-007) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
ÖZET.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. Su Kirliliği.....	4
2.2. Göllerdeki Kimyasal Kirleticiler.....	9
2.2.1. Ağır metaller.....	10
2.2.2. Pestisitler.....	11
2.2.3. Poliklorlubifeniller (PCB's).....	13
2.3. Kirliliğin Biyolojik İzlenmesi ve Biyobelirteçler.....	14
2.4. Oksidatif Stres ve Serbest Radikaller.....	19
2.4.1. Lipid peroksidasyonu.....	21
2.4.2. Antioksidan savunma mekanizmaları.....	22
2.4.2.1. Glutasyon	23
2.4.2.2. Katalaz	24
2.5. Tatlı Su Balıklarının Ekotoksikolojik Önemleri.....	25
2.5.1. Sazan (<i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1758) genel özellikleri...	27

2.5.2. Yayın (<i>Silurus glanis</i> Linnaeus, 1758) genel özellikleri.....	29
2.5.3. Kızılkanat (<i>Scardinius erythrophthalmus</i> Linnaeus, 1758) genel özellikleri.....	31
2.5.4. Kadife (<i>Tinca tinca</i> Linnaeus, 1758) genel özellikleri.....	32
2.6. Balıklarda Ağır Metal Birikimi ve Analizi.....	33
2.7. Balıklarda Histopatolojik İncelemelerin Önemi.....	37
2.7.1. Histopatolojinin avantaj ve sınırları	38
2.7.1.1. Histopatolojinin avantajları	38
2.7.1.2. Histopatolojini sınırları.....	39
2.8. Kemikli Balıklarda Karaciğer ve Solungaç Dokularının Yapısı ve Önemi.....	39
2.8.1. Kemikli balıklarda karaciğerin yapısı.....	40
2.8.2. Kemikli balıklarda solungacın yapısı.....	41
2.9. Sapanca Gölü'nün Coğrafi Konumu ve Gölün Özellikler.....	42
 BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	46
3.1. Materyal	46
3.1.1. Sazan (<i>Cyprinus carpio</i>) sistematikteki yeri.....	47
3.1.2. Yayın (<i>Silurus glanis</i>) sistematikteki yeri.....	48
3.1.3. Kızılkanat (<i>Scardinius erythrophthalmus</i>) sistematikteki yeri.....	49
3.1.4. Kadife (<i>Tinca tinca</i>) sistematikteki yeri	50
3.2. Yöntem.....	51
3.2.1. Biyolojik parametrelerin incelenmesi.....	51
3.2.2. Biyokimyasal analizler.....	51
3.2.2.1. Doku homojenatlarının hazırlanması.....	51
3.2.2.2. Dokularda total protein tayini.....	52
3.2.2.3. Dokularda lipid peroksidasyonu tayini.....	54
3.2.2.4. Dokularda total glutatyon tayini.....	56
3.2.2.5. Dokularda katalaz enzim aktivitesi tayini.....	57
3.2.3. Histolojik analizler.....	59

3.2.3.1. Fiksasyon.....	59
3.2.3.2. Dehidratasyon.....	59
3.2.3.3. Şeffaflaştırma ve parafine gömme.....	60
3.2.3.4. Kesit alma.....	60
3.2.3.5. Boyama ve inceleme.....	61
3.2.4. Ağır metal analizi.....	62
3.2.4.1. ICP-OES çalışma prensipi.....	62
3.2.4.2. Dokularda ağır metal analizi.....	63
3.2.5. İstatistiksel analizler.....	64
 BÖLÜM 4.	
ARAŞTIRMA BULGULARI.....	65
4.1. Suda Ağır Metal Miktarları.....	65
4.2. Sazan Balığı (<i>Cyprinus carpio</i>) İle İlgili Bulgular.....	67
4.2.1. Parametrik bulgular.....	67
4.2.2. Ağır metal bulguları.....	68
4.2.3. Biyokimyasal bulgular.....	72
4.2.3.1. Total protein.....	72
4.2.3.2. Lipid peroksidasyonu.....	73
4.2.3.3. Total glutatyon.....	75
4.2.3.4. Katalaz enzim aktivitesi.....	77
4.2.4. Histolojik bulgular.....	78
4.2.4.1. Karaciğer.....	78
4.2.4.2. Solungaç.....	80
4.3. Yayın Balığı (<i>Silurus glanis</i>) İle İlgili Bulgular.....	80
4.3.1. Parametrik bulgular.....	80
4.3.2. Ağır metal bulguları.....	82
4.3.3. Biyokimyasal bulgular.....	84
4.3.3.1. Total protein.....	85
4.3.3.2. Lipid peroksidasyonu.....	87
4.3.3.3. Total glutatyon.....	88
4.3.3.4. Katalaz enzim aktivitesi.....	89

4.3.4. Histolojik bulgular.....	91
4.3.4.1. Karaciğer.....	91
4.3.4.2. Solungaç.....	91
4.4. Kızılkanat Balığı (<i>Scardinius erythrophthalmus</i>)İle İlgili Bulgular..	93
4.4.1. Parametrik bulgular.....	93
4.4.2. Ağır metal bulguları.....	94
4.4.3. Biyokimyasal bulgular.....	98
4.4.3.1. Total protein.....	98
4.4.3.2. Lipid peroksidasyonu.....	99
4.4.3.3. Total glutatyon.....	101
4.4.3.4. Katalaz enzim aktivitesi.....	102
4.4.4. Histolojik bulgular.....	104
4.4.4.1. Karaciğer.....	104
4.4.4.2. Solungaç.....	105
4.5. Kadife Balığı (<i>Tinca tinca</i>) İle İlgili Bulgular.....	106
4.5.1. Parametrik bulgular.....	106
4.5.2. Ağır metal bulguları.....	107
4.5.3. Biyokimyasal bulgular.....	111
4.5.3.1. Total protein.....	111
4.5.3.2. Lipid peroksidasyonu.....	112
4.5.3.3. Total glutatyon.....	114
4.5.3.4. Katalaz enzim aktivitesi.....	115
4.5.4. Histolojik bulgular.....	117
4.5.4.1. Karaciğer.....	118
4.5.4.2. Solungaç.....	117
 BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE SONUÇ.....	120
 KAYNAKLAR	138
ÖZGEÇMİŞ.....	158

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Ag	: Gümüş
Be	: Berilyum
Cd	: Kadmiyum
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
FAO	: Gıda ve Tarım Örgütü
Fe	: Demir
Hg	: Civa
ICP-OES	: İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi
KOK	: Kalıcı organik kirleticiler
mg	: Miligram
mL	: Mililitre
Ni	: Nikel
Pb	: Kurşun
PCB	: Poliklorlu bifeniller
PUFA	: Çoklu doymamış yağ asitleri
ROT	: Reaktif oksijen türleri
TBA	: Tiyobarbutirik asit
TGK	: Türk Gıda Kodeksi
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
VOC	: Uçucu organik madde
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
WWC	: Dünya Su Konseyi
Zn	: Çinko
µg	: Mikrogram
µL	: Mikrolitre

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Kemikli balıkların genel anatomisi.....	39
Şekil 2.2. Kemikli balıklarda karaciğerin yapısı.....	41
Şekil 2.3. Kemikli balıklarda solungaç yapısı.....	42
Şekil 2.4. Türkiye haritasında Sapanca Gölü'nün konumu	43
Şekil 2.5. Sapanca Gölü'ne bağlantılı akarsular ve yerleşim merkezleri.....	43
Şekil 2.6. Sapanca Gölü'nün 2017 yılına ait uydu görüntüleri.....	44
Şekil 3.1. Sapanca Gölünün genel görünümü	46
Şekil 3.2. Sazan balığının genel görünümü.....	47
Şekil 3.3. Yayın balığının genel görünümü.....	48
Şekil 3.4. Kızılkanat balığının genel görünümü.....	49
Şekil 3.5. Kadife balığının genel görünümü.....	50
Şekil 3.6. Dokuların homojenize edilmesi.....	52
Şekil 3.7. Standartların renk göstergesi.....	53
Şekil 3.8. Lipid peroksidasyonu için dokuların 95 °C de inkübasyonu.....	55
Şekil 3.9. Lipid peroksidasyonu için örneklere bütanol eklenmesi ve santrifüj edilmesi.....	55
Şekil 3.10. GSH miktarının belirlenmesi için yapılan santrifüj aşaması.....	57
Şekil 3.11. Parafin blokların hazırlanması.....	60
Şekil 3.12. Mikrotom ile parafin bloklardan kesit alınması.....	60
Şekil 3.13. Hazırlanan preparatların boyanması.....	61
Şekil 3.14. Dokuların ağır metal analizine hazırlanması ve ölçümü.....	63
Şekil 4.1. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının kas dokusunda belirlenen total protein miktarları ($\mu\text{g}/\mu\text{L}$).....	72
Şekil 4.2. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının karaciğer dokusunda belirlenen total protein miktarları ($\mu\text{g}/\mu\text{L}$).....	73

Şekil 4.3. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının solungaç dokusunda belirlenen total protein miktarları ($\mu\text{g}/\mu\text{L}$).....	73
Şekil 4.4. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının kas dokusunda belirlenen lipid peroksidasyonu miktarları (nmol/g).....	74
Şekil 4.5. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının karaciğer dokusunda belirlenen lipid peroksidasyonu miktarları (nmol/g).....	74
Şekil 4.6. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının solungaç dokusunda belirlenen lipid peroksidasyonu miktarları (nmol/g).....	75
Şekil 4.7. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının kas dokusunda belirlenen total glutatyon miktarları (nmol/g protein).....	76
Şekil 4.8. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının karaciğer dokusunda belirlenen total glutatyon miktarları (nmol/g protein).....	76
Şekil 4.9. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının solungaç dokusunda belirlenen total glutatyon miktarları (nmol/g protein).....	76
Şekil 4.10. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının kas dokusunda belirlenen katalaz enzim aktivitesi (U/mg protein).....	77
Şekil 4.11. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıkların karaciğer dokusunda belirlenen katalaz enzim aktivitesi (U/mg protein).....	77
Şekil 4.12. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıkların solungaç dokusunda belirlenen katalaz enzim aktivitesi (U/mg protein).....	78
Şekil 4.13 Sazan balığı karaciğer dokusunda merkezi vena (mv), hepatositler (oklar), kupfer hücreleri (ok başları), hepatopankreas (hp), portal alan (pa) ve hepatositlerde ve sinüzoidlerde kanlanma (yıldız), H&E.....	79
Şekil 4.14. Sazan balığı solungaç dokusunda, sekonder lamellerde hiperplazi (oklar), primer lamellerde seperasyon (çift yönlü oklar), sekonder lamellerde deskuamasyon (yıldız), sekonder lamellerin karşılıklı füzyonu (dikdörtgen), primer lamelde vakuolizasyon (üçgen), sekonder lamel uçlarında ödem (elips), ayrıca lameller arası mukus benzeri yığılım (çarpı). H&E.....	81
Şekil 4.15. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının kas dokusunda belirlenen total protein miktarları ($\mu\text{g}/\mu\text{L}$).....	86
Şekil 4.16. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının karaciğer	

dokusunda belirlenen total protein miktarları ($\mu\text{g}/\mu\text{L}$).....	86
Şekil 4.17. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıkların solungaç dokusunda belirlenen total protein miktarları ($\mu\text{g}/\mu\text{L}$).....	86
Şekil 4.18. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının kas dokusundan belirlenen lipid peroksidasyon miktarları (nmol/g).....	87
Şekil 4.19. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıkları karaciğer dokusundan belirlenen lipid peroksidasyon miktarları (nmol/g).....	87
Şekil 4.20. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıkların solungaç dokusundan belirlenen lipid peroksidasyon miktarları (nmol/g).....	88
Şekil 4.21. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının kas dokusundan belirlenen total glutatyon miktarları (nmol/g protein).....	88
Şekil 4.22. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıkları karaciğer dokusundan belirlenen total glutatyon miktarları (nmol/g protein).....	89
Şekil 4.23. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıkları solungaç dokusundan belirlenen total glutatyon miktarları (nmol/g protein).....	89
Şekil 4.24. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının kas dokusundan belirlenen katalaz enzim aktivitesi (U/mg protein).....	90
Şekil 4.25. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıkları karaciğer dokusundan belirlenen katalaz enzim aktivitesi (U/mg protein).....	90
Şekil 4.26. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıkları solungaç dokusundan belirlenen katalaz enzim aktivitesi (U/mg protein).....	90
Şekil 4.27. Yayın balığı karaciğer dokusunda merkezi vena (mv), hepatositler (oklar), kupfer hücreleri (ok başları), hepatopankreas (hp), safra kanalları (sk), hepatik arter (ha), fibrozis (dikdörtgen) ve hepatositlerde ve sinüzoidlerde kanlanma (yıldız), H&E.....	92
Şekil 4.28. Yayın balığı solungaç dokusunda, sekonder lamellerde hiperplazi (oklar), primer lamellerde seperasyon (çift yönlü oklar), sekonder lamellerde deskuamasyon (yıldız), primer lamelde vakuolizasyon (üçgen), ayrıca lameller arası mukus benzeri yığılım (çarpı). H&E.....	92
Şekil 4.29. Sapanca Gölü'nden yakalanan kızkıkanat balıklarının kas dokusunda belirlenen total protein miktarları ($\mu\text{g}/\mu\text{L}$).....	98

Şekil 4.30. Sapanca Gölü'nden yakalanan kıızıkanat balıklarının karaciğer dokusunda belirlenen total protein miktarları ($\mu\text{g}/\mu\text{L}$).....	99
Şekil 4.31. Sapanca Gölü'nden yakalanan kıızıkanat balıklarının solungaç dokusunda belirlenen total protein miktarları ($\mu\text{g}/\mu\text{L}$).....	99
Şekil 4.32. Sapanca Gölü'nden yakalanan kıızıkanat balıkları kas dokusundan belirlenen lipid peroksidasyon miktarları (nmol/g).....	100
Şekil 4.33. Sapanca Gölü'nden yakalanan kıızıkanat balıklarının karaciğer dokusundan belirlenen lipid peroksidasyon miktarları (nmol/g).....	100
Şekil 4.34. Sapanca Gölü'nden yakalanan kıızıkanat balıklarının solungaç dokusundan belirlenen lipid peroksidasyon miktarları (nmol/g).....	100
Şekil 4.35. Sapanca Gölü'nden yakalanan kıızıkanat balıklarının kas dokusundan belirlenen total glutatyon miktarları (nmol/g protein).....	101
Şekil 4.36. Sapanca Gölü'nden yakalanan kıızıkanat balıklarının karaciğer dokusundan belirlenen total glutatyon miktarları (nmol/g protein).....	101
Şekil 4.37. Sapanca Gölü'nden yakalanan kıızıkanat balıklarının solungaç dokusundan belirlenen total glutatyon miktarları (nmol/g protein).....	102
Şekil 4.38. Sapanca Gölü'nden yakalanan kıızıkanat balıklarının kas dokusundan belirlenen katalaz enzim aktivitesi (U/mg protein).....	102
Şekil 4.39. Sapanca Gölü'nden yakalanan kıızıkanat balıklarının karaciğer dokusundan belirlenen katalaz enzim aktivitesi (U/mg protein).....	103
Şekil 4.40. Sapanca Gölü'nden yakalanan kıızıkanat balıklarının solungaç dokusundan belirlenen katalaz enzim aktivitesi (U/mg protein).....	103
Şekil 4.41. Kıızıkanat balığı karaciğer dokusunda merkezi vena (mv), hepatositler (oklar), kupfer hücreleri (ok başları), hepatopankreas (hp), portal alan (pa), safra kanalı (sk), melanomakrofaj (m) ve hepatositlerde ve sinüzoidlerde kanlanma (yıldız), H&E.....	104
Şekil 4.42. Kıızıkanat balığı solungaç dokusunda, sekonder lamellerde hiperplazi (oklar), primer lamellerde seperasyon (çift yönlü oklar), sekonder lamellerde deskuamasyon (yıldız), sekonder lamellerin karşılıklı füzyonu (dikdörtgen), primer lamelde vakuolizasyon (üçgen), sekonder lamel uçlarında ödem (elips), ayrıca lameller arası mukus benzeri yığılma (çarpı). H&E.....	105

Şekil 4.43. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının kas dokusunda belirlenen total protein miktarları ($\mu\text{g}/\mu\text{L}$).....	111
Şekil 4.44. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının karaciğer dokusunda belirlenen total protein miktarları ($\mu\text{g}/\mu\text{L}$).....	112
Şekil 4.45. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının solungaç dokusunda belirlenen total protein miktarları ($\mu\text{g}/\mu\text{L}$).....	112
Şekil 4.46. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının kas dokusundan belirlenen lipid peroksidasyon miktarları (nmol/g).....	113
Şekil 4.47. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının karaciğer dokusundan belirlenen lipid peroksidasyon miktarları (nmol/g).....	113
Şekil 4.48. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının solungaç dokusundan belirlenen lipid peroksidasyon miktarları (nmol/g).....	113
Şekil 4.49. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının kas dokusundan belirlenen total glutatyon miktarları (nmol/g protein).....	114
Şekil 4.50. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının karaciğer dokusundan belirlenen total glutatyon miktarları (nmol/g protein).....	114
Şekil 4.51. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının solungaç dokusundan belirlenen total glutatyon miktarları (nmol/g protein).....	115
Şekil 4.52. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının kas dokusundan belirlenen katalaz enzim aktivitesi (U/mg protein).....	116
Şekil 4.53. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının karaciğer dokusundan belirlenen katalaz enzim aktivitesi (U/mg protein).....	116
Şekil 4.54. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının solungaç dokusundan belirlenen katalaz enzim aktivitesi (U/mg protein).....	116
Şekil 4.55. Kadife balığı karaciğer dokusunda merkezi vena (mv), hepatositler (oklar), kupfer hücreleri (ok başları), hepatopankreas (hp), portal alan (pa), safra kanalı (sk) ve hepatositlerde ve sinüzoidlerde kanlanma (yıldız), H&E.....	118
Şekil 4.56. Kadife balığı solungaç dokusunda, sekonder lamellerde hiperplazi (oklar), primer lamellerde seperasyon (çift yönlü oklar), sekonder lamellerde deskuamasyon (yıldız), sekonder lamellerin karşılıklı füzyonu (dikdörtgen), primer lamelde vakuolizasyon (üçgen),	

sekonder lamel uçlarında ödem (elips), ayrıca lameller arası mukus benzeri yığılım (çarpı). H&E.....	119
--	-----



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Sapanca Gölünde bulunan balık türleri.....	27
Tablo 3.1. Bradford yöntemi ile protein tayininde kullanılan çözeltiler ve hacimleri.....	53
Tablo 3.2. Ledwozyw yöntemi ile MDA tayini.....	54
Tablo 3.3. Beutler yöntemi ile GSH tayini.....	56
Tablo 3.4. Aebi yöntemi ile katalaz enzim aktivite tayininde kullanılan çözeltiler ve hacimleri.....	58
Tablo 3.5. Işık mikroskobu için fiksasyon (tespit) uygulaması.....	59
Tablo 3.6. Işık mikroskobu için dehidratasyon uygulaması.....	59
Tablo 3.7. Işık mikroskobu için Hematoksilen-Eozin boyama yöntemi.....	61
Tablo 3.8. ICP-OES çalışma koşulları.....	62
Tablo 4.1. Sapanca Gölü suyunda ağır metal sonuçları ortalama±standart hata olarak verilmiştir.....	66
Tablo 4.2. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının parametrik bulguları. Sonuçlar ortalama±standart hata (SH), minimum-maksimum olarak verilmiştir.....	68
Tablo 4.3. Sazan kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki Cu, Fe, Zn, Pb ve Cd miktarları. Sonuçlar ortalama±standart hata olarak verilmiştir....	71
Tablo 4.4. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının parametrik bulguları. Sonuçlar ortalama±standart hata, minimum-maksimum olarak verilmiştir.....	82
Tablo 4.5. Yayın kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki Cu, Fe, Zn, Pb ve Cd miktarları. Sonuçlar ortalama±standart hata olarak verilmiştir....	84
Tablo 4.6. Sapanca Gölü'nden yakalanan kıızıkanat balıklarının parametrik bulguları. Sonuçlar ortalama±standart hata, minimum-maksimum olarak verilmiştir.....	94

Tablo 4.7. Kızılkanat kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki Cu, Fe, Zn, Pb ve Cd miktarları. Sonuçlar ortalama±standart hata olarak verilmiştir.	97
Tablo 4.8. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının parametrik bulguları. Sonuçlar ortalama±standart hata, minumum-maksimum olarak verilmiştir.....	107
Tablo 4.9. Kadife kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki Cu, Fe, Zn, Pb ve Cd miktarları. Sonuçlar ortalama±standart hata olarak verilmiştir....	110



ÖZET

Anahtar kelimeler: Sapanca Gölü, ağır metal, oksidatif stres, histopatoloji

Bu tez çalışmasının amacı Sapanca Gölü'ndeki ağır metal kirliliğinin balıklar üzerinde yarattığı toksik etkilerin biyokimyasal ve histolojik açıdan belirlenmesidir. Bu nedenle gölün Kırkpınar mevkinden 2015 yılının her ayında profesyonel balıkçı yardımıyla balık ve su örnekleri alınmıştır. Balık seçiminde ekonomik öneme sahip balık türleri olan sazan (*Cyprinus carpio*), yayın (*Silurus glanis*), kızılkanat (*Scardinius erythrophthalmus*) ve kadife (*Tinca tinca*) seçilmiştir. Alınan su ve balık dokularında (kas, karaciğer, solungaç) ağır metal (Cu, Fe, Zn, Pb ve Cd) analizleri ICP-OES cihazı ile tespit edilmiş ve referans maddeler ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca dokularda oksidatif stres biyoindikatörü olan katalaz enzim aktivitesi (CAT), total glutatyon (GSH) ve lipid peroksidasyonu (MDA) seviyeleri spektrofotometrik yöntemlerle ölçülmüştür. Karaciğer ve solungaç dokuda histopatolojik bulgular hematoksilin&eoizin boyama yapılarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak, sudaki ağır metal konsantrasyonları Fe>Zn>Pb>Cu>Cd olarak belirlenmiş. Ancak Pb miktarının belirlenen standartlardan fazla olduğu gözlenmiştir. Sazan ve yayın balıklarında Cu, Fe, Pb ve Cd'nin, kızılkanatta Cu, Fe ve Pb'nin, kadifede Cu, Fe, Zn ve Pb'nin dokulardaki birikimleri karaciğer>solungaç>kas şeklinde, Sazan ve yayın balıklarında Zn'nin, kızılkanatta Zn ve Cd'nin, kadifede Cd'nin birikimi solungaç>karaciğer>kas şeklinde olmuştur. Dokularda GSH seviyesi havaların ısınmasına bağlı olarak tüm dokularda azalmaya başlamış, yaz aylarında ise en düşük seviyelere ulaşmıştır. Bu çalışmada en yüksek MDA seviyesi sıcaklığın arttığı yaz aylarında tespit edilmiş olup, bu sonuç düşük çözünmüş oksijen miktarı ile birlikte önemli bir kontaminasyonun varlığını da doğrulamaktadır. CAT aktivitesinin yaz aylarında azaldığı bazı kış aylarında en yüksek seviyeye ulaştığı belirlenmiştir. Balıkların solungaç dokularında lamellerin düzensizleşmesi, füzyon, ödem, hiperplazi gibi genel tahribat bulguları gözlenmiştir. Karaciğer dokusunda sinüzoidlerde tıkanma, kupffer hücrelerinde artış, hepatositlerde karyoliz gibi nekrotik durumlar gözlenmiştir.

Genel olarak su ve balık dokularında ağır metal yükünün belirlenen standartlardan çok fazla çıkmaması, buna rağmen balık dokularında saptanan biyokimyasal ve histopatolojik bulguların varlığı, gölün sadece ağır metallerin değil diğer kirlilik kaynaklarının da etkisi altında olduğunu düşündürmektedir. Bu çalışma ile enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidanların ve histolojik analizlerin çevre kirliliğinin biyolojik izlenmesinde yararlı yöntemler olduğu gösterilmiştir.

THE BIOCHEMICAL AND HISTOPATHOLOGICAL ANALYZES OF ACCUMULATION OF HEAVY METAL ON FISH TISSUES IN LAKE SAPANCA

SUMMARY

Keywords: Lake Sapanca, heavy metal, oxidative stress, histopathological

The aim of this thesis is to determine biochemical and histological aspects of the toxic effects of heavy metal pollution on Lake Sapanca. For this reason, fish and water samples were taken by professional fisherman every month of the year 2015 from the Kirkpınar site of the lake. The common carp (*Cyprinus carpio*), wels catfish (*Silurus glanis*), rudd (*Scardinius erythrophthalmus*) and tench (*Tinca tinca*) were selected as fish species with an economic prescription in fish selection. Analyzes of heavy metals (Cu, Fe, Zn, Pb, and Cd) in water and fish tissues (muscle, liver, and gill) were determined by ICP-OES and compared with reference materials. In addition, catalase enzyme activity (CAT), total glutathione (GSH) and lipid peroxidation (MDA) levels, which are oxidative stress bioindicators in tissues, were measured by spectrophotometric methods. Histopathological findings in the liver and gill tissue were determined by hematoxylin & eosin staining.

As a result, the heavy metal concentrations in the water were determined as Fe> Zn> Pb> Cu> Cd. However, the amount of Pb was observed to be higher than the specified standards. The accumulation of Cu, Fe, Pb and Cd in common carp and wels catfish; Cu, Fe, and Pb in rudd; Cu, Fe, Zn and Pb in tench liver>gill>muscle has been determined. The accumulation of Zn in common carp and wels catfish; Zn and Cd in rudd; Cd in tench gill>liver>muscle has been identified. The GSH level in tissues began to decrease in all tissues due to the heating of the air and reached the lowest levels in summer. The highest level of MDA in this study was determined during the summer months when the temperature increased, confirming the presence of significant contamination with low dissolved oxygen content. It has been determined that CAT activity reached its highest level in some winter months when it declined in the summer months. In the gill tissues of fish, general irregularities of lamellae, fusion, edema, and hyperplasia were observed. In the liver, blockage of sinusoids, increase in kupffer cells, and necrotic conditions such as karyolysis in hepatocytes have been observed.

In general, the presence of biochemical and histopathological findings in fish tissues suggests that the lake is under the influence of not only heavy metals but also other sources of pollution. This study demonstrated that enzymatic and nonenzymatic antioxidants and histological analyses are useful methods for the biological monitoring of environmental pollution.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Çevre, insan veya başka bir canlının yaşamı boyunca ilişkilerini sürdürdüğü dış ortamdır. Ekosistem ise insan ve diğer canlıların bir arada uyum ve denge içinde varlık ve gelişmelerini sürdürebilmeleri için var olan şartların tamamıdır ve ekosistemde var olan bütün şartlar birbirlerine zincirleme olarak bağlıdır. Bu noktada bir tanımlama yapmak gerekirse çevre sorunları sanayileşme, kentleşme, teknolojik gelişme ve hızlı nüfus artışı sonucunda ortaya çıkar. Böylece bütün canlıları olumsuz yönde etkileyerek, onların yaşamlarını tehlikeye sokar ve doğal yapının bozulmasına neden olur. Dünden bugüne insanoğlu doğal çevresini kirletmeye, değiştirmeye ve doğada var olan dengeleri bozmaya başlamıştır. İçinde yaşadığımız yüzyılda ise doğal çevremiz düzensiz ve denetimsiz gelişen endüstri, nüfusun hızla artması ve aşırı tüketim gibi faktörlerle tahrip olmaktadır. Hayatın temel öğeleri olan hava, su ve toprakta oluşan kirlilik yüzünden başta insanlar olmak üzere, tüm canlı varlıklar zarar görmekte ve olumsuz yönde etkilenmektedirler (Kahvecioğlu ve ark., 2003; Katalay ve ark., 2005; Özyürek, 2016). Artan çevre sorunları ekosistemlerde telafisi olmayan değişikliklerin görülmesine neden olmaktadır. Sanayi ve endüstri faaliyetleri hava, toprak ve su ekosistemlerini olumsuz etkilediği gibi havada oluşan çevre kirliliği yalnızca havanın olumsuz etkilememekte, su ve toprak ekosistemlerinin kirletmektedir. Kirlilik kaynağı sadece bulunduğu alanı etkilemez, oluşan çevre problemleri direk ya da dolaylı yoldan diğer alanlarında olumsuz etkilenmesine sebep olmaktadır. Tarımsal faaliyetler sonucu toprakta meydana gelen ağır metal kirliliği yağmurlarla yeraltı suyunun kirlenmesine ve yüzeysel akışlarla yüzeysel sularında kirlenmesine neden olmakta, yine ısınma amaçlı ve enerji için kullanılan ağır metal içeren yakıtlarda suların kirlenmesine neden olabilmektedir.

Su bütün canlıların yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmeleri için en önemli kaynaklardan biridir. Su, insanoğlu ve diğer varlıklar için hayati değere sahip

olmasının yanı sıra içme suyu, temizlik, evsel ve tarımsal amaçlarla da kullanılmaktadır. Günümüzde teknolojinin çok hızlı gelişmesi sonucunda endüstriyel ve sanayi kaynaklı atıkların yer aldığı kanalizasyon suları baraj ve doğal göllere boşaltılmaktadır. Böylece insanoğlunun kullanabildiği su kaynakları gittikçe azalmakta ve kirlenmektedir (Çalışkan, 2005). Türkiye sahip olduğu deniz alanları ve iç sularıyla oldukça zengin kaynakları olan bir ülkedir. Üç tarafı denizlerle çevrili olan Türkiye, 8.333 km kıyı şeridine, 200 adet doğal göle, 1000'den fazla gölete, 223 adet baraj gölüne ve 177.714 km uzunluğunda akarsulara sahiptir (Anonim, 1989). Ancak Türkiye'yi kullanılabılır su açısından değerlendirecek olursak, dünya ortalamasının altında yağış alan Türkiye su zengini bir ülke değildir. Türkiye'de kişi başına düşen su miktarı yıllık 1500 m³'tür. TÜİK 2030 yılında nüfusun 100 milyon'a ulaşacağını tahmin etmektedir, böyle bir durumda su sorunu için belirlenen 1000 m³ rakamının bile sağlanabilmesi için gerekli çalışmaların acilen yapılması önem arz edecektir (DPT, 2007). Bu nedenle su kirliliği en önemli çevre sorunlarından biridir. Su kirliliğine neden olan kirleticinin ekosisteme hangi ölçüde katıldığı ve ne düzeyde zarar verdiği kirleticinin türüne, miktarına, kirlenme ortamının fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısına, büyüklüğüne ve etkilenen canlıların tür ve büyüklüklerine bağlıdır (Tanyolaç, 2006). Kirlilik, kirleticiler çeşitlerine göre fiziksel, biyolojik ve kimyasal kirlilik olarak üç grupta incelenir. Doğal hayata isteyerek veya istemeyerek bırakılan kimyasal maddelerle endüstri kaynaklı atıkların karışması sonucu ortaya çıkan kirlilik kimyasal kirliliktir. Bu kirliliğe neden olan etkenler, boyalar, deterjanlar, pestisitler, ağır metaller ve petrol ürünleridir (Uzunoğlu, 1999). Özellikle doğal su kaynaklarının sulama ve elektrik enerjisi elde etmek için baraj ve göletlerde toplanması, kanalizasyon ve sanayi atık sularının bu kaynaklara arıtma işlemine tabi tutulmadan verilmesi, tarımsal mücadelede kullanılan kimyasal ilaçların çeşitli yollarla bu sulara karışması, suların kirlenmesine ve doğal özelliklerini kaybetmelerine neden olmaktadır. Günümüzde su kirliliği, gelişmiş ve gelişmekte olan tüm ülkeler için büyük bir sorun haline gelmiştir. Sucul ekosistemlerde çeşidi ve miktarı artan kirleticiler, duyarlı türlerin yaşam ortamlarını terk etmelerine ya da tamamen ortadan kalkmalarına neden olmaktadır. Ayrıca istilacı türlerin çoğalmasına, toleransı yüksek olan türlerde birikime, fizyolojik, biyokimyasal olaylarla davranışlarda değişikliklere ve besin zinciri aracılığı ile üst trofik düzeylerde önemli

sağlık sorunlarına neden olabilmektedirler (Romanenko ve Yevtushenko, 1985; Çağlar ve Saler, 2014).

Sucul ortamlardan göller akarsulara göre daha durgun ve insan etkisine açık olduklarından insan faaliyetlerinin etkisini daha fazla hissetmektedirler. Göl ortamının bulunduğu enlem dereceleri, iklim özellikleri ve beslendiği kaynaklar su kalitesini etkilemektedir. Göllerdeki kirliliğin araştırılmasında ortamın biyolojik, fiziksel ve kimyasal parametrelerinin birbirleriyle ilişkileri ve zamanla değişimlerinin değerlendirilmesi önemlidir. Özellikle endüstriyel atıklar ve bazı pestisitler içerisinde bulunan ve suları kirleten en önemli inorganik faktörler ağır metallerdir. Ağır metaller deşarj edildikleri ortamda uzun süre kalabilmeleri, sucul canlılarda toksik etkiler meydana getirmeleri ve besin zincirinde akümüle olarak insan sağlığını tehdit etmeleri nedeniyle büyük önem taşırlar. Sucul ekosistemlerde ağır metallerle kirlenmiş sedimentler ekosistem sağlığını tehdit eden büyük bir stres kaynağıdır ve sediment ile ilişki halinde olan su canlıları için büyük bir risk faktörü oluşturmaktadır. Bu nedenle kirlenmiş ekosistemlerde yaşayan ve dokularında ağır metalleri biriktiren sucul canlılar, bulundukları ortamın kirlilik derecesini ve kontaminantların etkilerini belirlemek için biyomonitör olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda kirlilik araştırmalarında biyomonitör türlerle ilgili çalışmalar artış göstermiştir. Sapanca Gölü, Marmara Bölgesi için önemli bir su kaynağı olduğundan ve pek çok türü bünyesinde barındırdığından daha önce Sapanca Gölü ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Ancak bu çalışmalar genellikle sadece su kalitesi ve kirlilik ile ilgilidir. Diğer çalışmalardan farklı olarak bu tez, su kirliliğinin, balık dokularındaki ağır metal birikimi ve dokuların biyokimyası ve histolojisi üzerine etkilerinin birlikte tayin edilmesini amaçlamaktadır. Ayrıca hem kirlilik kaynağının tespiti hem de içme suyu kaynağı olan Sapanca Gölü'nde yaşayan balıkların insan sağlığı üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde de büyük öneme sahiptir.

BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER

2.1. Su Kirliliği

Su yaşamın temel öğelerinden biridir. Su, bir besin maddesi olmasının yanında, içerisinde bulundurduğu mineral ve bileşiklerle vücudumuzdaki her türlü biyokimyasal reaksiyonların gerçekleşmesinde inanılmaz derecede etkin rol oynamaktadır. Vücudumuzun pH dengesinin korunmasından başlayarak, hücrelerdeki moleküllere ve organellere dağılma ortamı oluşturmaya; besinlerin, artık maddelerin ilgili yerlere taşınmasına kadar pek çok görev alır. Su, aynı zamanda canlılar için bir yaşam ortamıdır (Himes, 1991; Benjamin ve ark., 1997; Atabey, 2005). Yeryüzünün $\frac{3}{4}$ 'ünün sularla kaplı olması, dünyada su bolluğu olduğu görünümü veriyorsa da, içilebilir nitelikteki su oranı ancak % 0.74 civarındadır. 18. yüzyılın son çeyreğinde, Sanayi Devrimi başlangıcında 1 milyar olan dünya nüfusu, 1950 yılında 2.5 milyar, 2016 sonunda ise yaklaşık 7.5 milyara ulaşmıştır. Dünya nüfusunun çok hızlı artışı, sanayi ve teknolojinin aşırı gelişmesi, ayrıca çevre bilincinin yeterince yerleşmemesi veya yaygınlaşmaması gibi nedenler dünyada içilebilir su miktarının giderek azalmasına sebep olmaktadır. Bunların yanı sıra, içilebilir su kaynaklarının sorumsuzca kirlenmesi, geri dönüşümü olanaksız sorunların yaşanmasına zemin hazırlamaktadır (Haviland, 2002; Dağlı, 2005; Atalık 2006; Özyürek, 2016).

İçilebilir sulara sahip göl ve akarsular azalmaya başlamış; sulak alanların birçoğu kirlilik nedeniyle tahrip olmuştur (Kazancı, 2003). Çevreyi oluşturan temel unsurlardan hava, su ve toprakta doğal koşullarda ekolojik bir denge bulunmaktadır. Bu denge sonucu canlılar gelişim süreçlerini bir aksaklık göstermeden bu ortamda yürütürler. Bu ortamlar için yabancı olan maddeler ve ortamda bulunup da konsantrasyonları yönetmeliklerde belirtilen değerlerin üzerine çıkan maddeler belirli sınırlardan sonra kirlenici olarak nitelendirilirler. Bunların doğaya karşı zararları

sadece varlıkları ile değil aynı zamanda miktarları ile de ilgilidir. Kirlilik ortamın doğal özelliklerinin canlılar ile çevre arasındaki tabii dengeyi bozacak şekilde değişimi olarak tanımlanabilir. İnsanoğlunun endüstriyel, tarımsal ve sosyal faaliyetleri çevrenin kirlenmesine ve dünya ekosistemlerinin dengesinin bozulmasına neden olmaktadır. Ekosistemlerde ortaya çıkan bu denge bozukluğu sistem içindeki başta insan olmak üzere tüm canlı organizmaları etkilemektedir (Pendias, 1984; Özyürek, 2016).

İnsanlığın gelecekteki yaşam kalitesini belirleyecek en önemli faktörlerden biri olan çevre kirliliği kapsamındaki su kirliliği her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. Su, atıklar için bir alıcı ve uzaklaştırıcı olarak kullanıldığından, ekosistemde hava ve toprağa kıyasla daha fazla kirlenmeye uğramaktadır. Su kirliliği; endüstriyel ve evsel atıkların, arıtılmaksızın su ortamlarına boşaltılması ve zirai mücadele için kullanılan ilaçlar yüzünden çeşitli yollarla su kaynaklarına taşınması ile meydana çıkmaktadır. Su kirliliği, doğal ve yapay yoldan olmak üzere iki şekilde ortaya çıkmaktadır. Doğal yoldan su kirliliği, erozyon nedeniyle toprak ve onun getirdiği çeşitli kirleticiler ile havanın içerdiği ve buradan suya karışan polenler gibi çeşitli kirleticiler nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Doğal yoldan suya karışan kirleticiler, suyun kendi kendini temizlemesi (otopürasyon) ile zararsız hale getirilebilmektedir. Sulardaki zararlı maddeleri zararsız hale getiren bakterilerin bu işlevi yerine getirebilmesi sudaki biyolojik oksijen (erimiş oksijen) miktarına bağlı bulunmaktadır. Ancak suya karışan organik ve toksik madde biçimindeki atıkların fazla olması durumunda biyolojik oksijen miktarı azaldığından, sudaki otopürasyonu meydana getiren bakterilerde azalmaktadır. Böylece sular kirlenmektedir (Ertürk, 1999). Çeşitli yollarla sucul sistemlere katılan kirleticiler, burada bulunan canlılara zarar verecek ölçüde suyun kimyasal bileşimini, sıcaklığını veya mikrobiyal bileşimini değiştirerek su kalitesinin bozulmasına ve su kirliliğine yol açarlar (Lloyd, 1992).

Su Kirliliğinin Çeşitleri

a-) Organik Maddelerden Oluşan Kirlenme: Organik kirlilik, oksijen azlığında, akarsularda yaşayan organizmaları etkilemektedir. Organik madde miktarının aşırı artışı sonucunda, su ortamında bulanıklık oluşacak, güneş ışığının suya girişi

azalacak ve fotosentez olayları olumsuz şekilde etkilenecektir. Organik kirleticiler; evsel veya endüstriyel kökenli olabilir. Şeker, süt, bira, konserve ve diğer gıda sanayi atıkları bu grupta yer alır. Sulara organik atıkların karışması durumunda, organik maddeler, bakteri faaliyetiyle biyokimyasal ayrışmaya uğrarlar.

Aerobik bakteriler, organik maddeleri ayrıştırarak karbondioksit, su ve kararlı bileşiklere dönüştürürler (Göksu, 2003).

Organik su kirleticileri:

- Deterjanlar
- Kimyasal olarak arıtılmış içme suları
- Gıda işleme atıkları
- Böcek ilaçları ve bitki ilaçları
- Petrol hidrokarbonları, benzin, dizel yakıt, jet yakıtı, fuel oil ve motor yağı
- Orman atölyelerinden saçılan ağaç ve çalı enkazları
- Yanlış depolama sonucu ortaya çıkan sanayi solventleri gibi uçucu gazlar (VOC)
- Hijyen ve kozmetik atıkları

b-) İnorganik Maddelerden Oluşan Kirlenme: Organik kökenli kimyasal maddeler toprakta ve suda genellikle bozunmaya uğrar ve yan ürün olarak inorganik maddeler açığa çıkarır. Bazı organik maddelerin parçalanması zor veya uzun süre alır. İnorganik ve radyoaktif maddelerin uzaklaşması ise oldukça zordur (Özmen, 1998). Başlıca metal endüstrilerini oluşturan metal kaplama sanayi, otomotiv sanayi, elektrik ve elektronik malzemeleri, mutfak ve ev eşyaları işlenmesi esnasında kullanılan su içerisinde bol miktarda ağır metal tespit edilmiştir. Sularda kirlenmeye neden olan ağır metaller inorganik karakterli olup çoğunlukla asidiktir. Bu metaller çok küçük konsantrasyonlarda dahi suda yaşayan canlı organizmalar için öldürücü olabilir. Ayrıca ekosistem içerisindeki besin zincirine girerek insan sağlığını da tehdit edebilir (Çalta ve Girgin, 1998). Metaller boşaltım ortamlarındaki canlı yaşam üzerinde, konsantrasyonları ile orantılı olarak toksik (zehirli) etki yaparlar. Eser miktarda bile sakıncalı olabilen bu maddeler arasında en önemli grubu “ağır

metaller” diye adlandırılan Sb, Ag, Be, Cd, Cr, Hg, Ni ve Se gibi elementler oluşturur (Göksu, 2003).

İnorganik su kirleticileri:

- Kükürt dioksit gibi asidik fabrika atıkları
- Gıda işleme atıkları arasında yer alan amonyak
- Kimyasal fabrika atıkları
- Gübrelerdeki azotlu ve fosforlu bileşikler
- Ağır metaller
- Çeşitli insan kaynaklı alüvyonlar

c-) Katı Maddelerden Oluşan Kirlenme: Bu maddeler, organik veya inorganik kökenli olabilirler. Atık sular alıcı suya karıştığı zaman, atık yapısına göre çökerek çökelebilen katı maddeleri; yüzerek yüzücü maddeleri ve suda asılı durumda kalarak, askıda katı maddeleri oluşturular (Göksu, 2003). İri ölçekli kirleticiler ise gözle görülebilir maddelerin suya karışmasıyla oluşan fiziksel bir kirlilik türüdür. Özellikle su taşkınları veya fırtınalar sonucunda büyük maddeler su havzalarına geçebilir. Bu kirleticiler:

- Kâğıt, plastik veya besin artıkları gibi çöpler
- Gemilerle taşınan çeşitli plastikler
- Gemi batıkları

d-) Isıl Kirlenme (Termal Kirlenme): Doğa sularına salıverilen artık ısıya termal kirlenme adı verilmektedir. Ekoloji uzmanları ısıyı dünyadaki hayatı kontrol eden bir olay olarak düşünürler. Balıklar poikilotermdir, yani değişken kanlı canlılardır ve suyun sıcaklığına göre vücut sıcaklıklarını ayarlayabilirler. Su altı bitkileri ve hayvanlar, su içindeki mevsimsel değişikliklere uyum sağlaması pek kolay olmamaktadır. Suyun ısısı balıkların iştahı ile yakından ilgilidir. Isının iştahı ayarlaması ve yiyeceklerin vücut ağırlığına dönüştürülmesi ve vücut ağırlığının artması yumurtlama gücünü çoğaltır. Su sıcaklığının artması, suyun gazlara olan doygunluk derecesini etkileyeceğinden, ortamdaki suyun oksijene olan doygunluk seviyesini de azaltacaktır. Böylece, alıcı suyun ısınması ile, bir yandan sudaki

çözünebilen oksijen miktarı azalacak, diğer yandan da, ortamdaki organizmaların oksijen tüketimi artacaktır. Sonuçta su ortamındaki oksijen miktarı azalacak, böylece ortamda oksijensiz koşullar ortaya çıkacaktır (Göksu, 2003).

e-) Radyoaktif Kirlenme: Radyasyon kirliliğinin en önemli nedenleri arasında atmosfere toprak altında yapılan nükleer denemeleri sayabiliriz. Nükleer reaktör kazaları bir diğer nedendir. Toprağa gömülen radyoaktif atıkların sızarak toprak aracılığı ile yeraltı sularına karışması, radyoaktif elementlerin bitkilere ve hayvanlara ulaşmasına yol açabilir. Nükleer yakıtla çalışan araçlardan olan sızıntılar, bir diğer faktör olabilir. Radyasyon tedavi birimlerinin çevresi, radyoaktif yöntemler kullanan laboratuvar atıkları da radyasyon kirlenmesi nedeni olabilir (Güngördü ve ark., 2012).

Gelecek 50 yıl içerisinde, dünya nüfusunun %40–50 oranında artacağı düşünülmektedir. Bu nüfus artışının endüstrileşme ve kentleşme ile birleşmesi, su isteğinin artması ile sonuçlanacak ve çevre üzerinde çok önemli olumsuz sonuçlara yol açacaktır. Geçmiş zamanlarla kıyaslandığında, günümüzde atık su üretimi ve bunun dağılımı zaten en üst seviyededir. İnsanlar tarafından su kullanımının artışı sadece endüstriyel ve tarımsal gelişim için gerekli olan su miktarını azaltmamakta, ayrıca sucul ekosistemler ve bunların bağımlı türleri için yıkıcı etkilere neden olmaktadır (WWC, 2006). Kirleticiler doğal sulara ulaştıkları zaman sucul organizmaların organlarında birikerek zararlı etkiler meydana getirirler. Bu nedenle balıklar sudaki çevresel kirleticilere daha duyarlıdır ve kirleticiler önemli doku hasarları ile sonuçlanabilecek belirli fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerde önemli bozukluklara neden olabilir (Balint ve ark., 1997). Kimyasalların yabancı türlerin üreme, büyüme ve gelişmesi üzerine etkilerini ve çeşitli metabolizma ve biyotransformasyon yeteneklerindeki değişimleri belirlemek için araştırmacılar önemli düzeyde çaba göstermektedir. Tüm dünyada son yıllarda bu amaçla ekotoksikolojik çalışmalar yürütülmesine ve çevresel kirleticilerin olumsuz etkilerinin ortaya konulmasına karşın, yurdumuzda bugüne kadar su kaynaklarımızın kirlilik düzeyi ile kirleticilerin ekotoksikolojik etkilerini saptamaya yönelik sınırlı sayıda araştırma

gerçekleştirilmiştir. (Canyurt, 1982; İnan ve Uysal, 1995; Canlı ve Kalay, 1998; Dirilgen, 2001; Canpolat ve Çalta, 2001; Işık, 2007; Kaya, 2012).

2.2. Göllerdeki Kimyasal Kirleticiler

Göller karasal ortamlardaki büyük çukurların sularla dolması sonucu oluşan buharlaşma ile kurumayan ve suları doğal olarak tamamen boşaltılamayan durgun sulardır. İç suların önemli bir bölümünü oluştururlar (Kurtoğlu, 2006). Yeryüzünde kullanılabilir tatlısuların % 98'i göllerde toplanmıştır. Göller, konutsal ve endüstriyel su temini ile rekreasyonel, taşkın kontrolü, ticari balıkçılık, sulama ve enerji üretimi gibi amaçlarla kullanılırlar. Bu kullanımlara ek olarak göllere evsel ve endüstriyel atıklar da boşaltılır. Göller, oldukça büyük arazi parçalarının drenaj sularını aldıklarından göl ve gölü çevreleyen kara arasında sürekli bir alışveriş vardır. Bu sular bir süre göllerde bekletildikten sonra ya denize doğru boşalırlar ya da buharlaşma yoluyla atmosfere yükselirler (Akdeniz, 2005). Yüzeysel sular içinde kirlenmeye karşı en hassas olan göllerdir. Özellikle dışarıya akışlı olmayan göllerin havzasında toplanarak, gerek akarsular ve gerekse de yüzey akışıyla gelen her türlü çözünmüş ve askıdaki maddeler gölde birikmeye başlar. Çeşitli insan aktiviteleri sonucunda oluşan ve çok değişken yapıya sahip olan atık sular göller gibi alıcı ortamlara boşatıldıklarında ortam suyunun fizikokimyasal ve biyolojik yapısında önemli ölçüde değişikliklere neden olmaktadır (Kökmen ve ark., 2007). Gerek endüstriyel üretim kirlilikleri, gerekse tarımsal aktivitelerde kullanılan mücadele ilaçları çeşitli yollardan göllere ulaşır ve birikirler. Büyük göllerde 1000'den fazla kimyasal madde tespit edilmiştir (Telefoncu ve Zihnioğlu, 1992). Bunlardan bazıları memeli hayvanlar için de toksik etkiye sahiptirler. Özellikle göle giren kirleticiler örneğin; ağır metaller, güç parçalanabilir pestisitler gibi, bozunmayan tipte ise, bu kirleticiler gölde giderek artan konsantrasyonlar meydana getirirler. Kolay parçalanabilir organik maddeler, gölde doğal biyokimyasal süreçler aracılığı ile son ürünlere dönüşerek stabilize olurlar. Ancak gölün doğal arıtma kapasitesini (asimilasyon) aşan organik yükler, göldeki oksijeni tüketerek gölün anaerobik duruma dönüşmesine sebep olurlar (Bartolomeo ve ark., 2004).

2.2.1. Ağır metaller

Canlılar için hayati öneme sahip metaller, endüstri ve uygarlığın temelini oluşturmaktadır. Taş devrinde bakırı işlemeyi öğrenen insan giderek değişik metallerle uğraşmaya başlamıştır. Bu şekilde bir taraftan kendisi bu metallere maruz kalmış, diğer taraftan da çevresini kirletmeye başlamıştır. Biyolojik anlamda metaller 3 gruba ayrılabilir (Özan, 2005):

1. Esas elementler (Hafif metaller): Sıvı ortamlarda hareketli katyonlar olarak taşınırlar. Sodyum, potasyum, kalsiyum vb.

2. Yan elementler (Geçiş elementleri): Düşük konsantrasyonlarda esansiyel olan fakat yüksek konsantrasyonlarda toksik etki gösteren elementler. Demir, bakır, kobalt, mangan vb.

3. İz elementler (Metalloitler): Metabolik aktivite için genelde gerekli olmayan fakat oldukça düşük konsantrasyonlarda hücrede toksik etki yapan elementler. Civa, kurşun, kalay, selenyum, arsenik vb.

Bunlardan yan elementler ve iz elementler genelde ağır metal olarak adlandırılırlar.

Bunlardan yan elementler ve iz elementler genelde ağır metal olarak adlandırılırlar. Ağır metallerin doğaya karışmasına sebep olan başlıca kaynaklar; maden ocakları, çeşitli metal ve kağıt endüstrilerinin atık suları, gübreler, fosil yakıtlar, pestisitler, çeşitli kimyasallar ve evsel atıklardır (Kalay ve ark., 2004). Ekosistemin çok önemli bir kısmını oluşturan su ortamı, pek çok atık için alıcı bölge halindedir. Ekosistemdeki kirliliği oluşturan en temel unsurlardan biri de ağır metallerdir. Esasen doğal sular, toksik etki yapmayacak düzeyde ağır metal içermektedir. Ancak günümüzde endüstriyel gelişme, kentleşme ve modern tarımın yaygınlaşması doğadaki ağır metal yükünü önemli oranda arttırmıştır (Muşlu, 2008).

2.2.2. Pestisitler

Bitkilerin veya hayvanların üretimi, tüketimi ve depolanmaları sırasında besin değerini bozan ve besinleri yok eden, zarar veren haşereleri, mikroorganizmaları ve diğer zararlıları (pestleri) yok etmek için kullanılan fiziksel, kimyasal veya biyolojik savaş maddelerine pestisitler denir (Vural, 1996; Duru, 2002). Kimyasal maddeler, tarımda ve halk sağlığına zarar veren mikroorganizmalar ve diğer pestlerin kontrolünde yüzyıllardan beri kullanılmaktadır. M.Ö. 1550 yılında yazılan “Ebers Papyrus”da evlerden pire kovmaya yönelik bazı maddelerin kullanıldığına dair kanıtlar vardır. Örneğin, kükürt ilk kez fumigan olarak M.Ö. 1000 yıllarında Çin’liler tarafından kullanılmıştır. Ayrıca Antik Yunanistan’da kükürt ve arseniğin toksik gücü biliniyordu (Uluocak, 2000).

1930’lu yıllara kadar daha çok bitkisel kaynaklı (*Nicotiana tobacum*, *Strychnos nux-vomica*) veya anorganik (bakır sülfat, kurşun arsenit, bakır arsenit) gibi maddeler pestisit aktif maddesi olarak kullanılmıştır (Vural, 1996). 1935-1950 yılları arasında DDT ve diğer klorlu hidrokarbon insektisitlerin gelişimi başlamıştır. 1874’de Zeidler tarafından ilk defa sentez edilmesine rağmen, 1939’da Dr. Paul Muller, diklorodifeniltrikloroethan’ı (DDT) sinek, sivrisinek ve diğer böceklerle karşı kontakt etkili zehir olarak bulmuştur. DDT’nin tarımsal zararlılara karşı başarısı nedeniyle 1948 yılında Muller’e Nobel ödülü verilmiştir. DDT’nin sağladığı bu başarı diğer organik insektisitlerin keşfedilmesi, zararlılara karşı kimyasal savaş çalışmalarını daha da hızlandırmıştır. Bunlardan heksaklorosiloheksan (BHC=benzenheksaklorid) 1825’de Faraday tarafından sentezlenmiş fakat bunun insektisit etkisi 100 yıldan daha uzun bir süre bilinmemiştir. 1940’da İngiliz ve Fransız bilim adamları BHC’nin gamma izomerini (Lindan) tanımlamışlardır. Klordan’ın insektisit etkisi 1945’de, Heptaklor 1948’de, Malathion 1950’de, Diazinon ve Triklorfon 1952’de, Karboril 1956’da, Tetrametrin 1968’de ve Permetrin ise 1973 yılında sentezlenmiş ve tarımsal zararlılara karşı kullanılmak üzere pazara sunulmuştur (Uluocak, 2000). 1960’larda ABD’de DDT üretimi pik yapmış ve daha sonra dereceli olarak azalmıştır. 1962’de Rachel Carson “Silent Spring” adlı kitabında DDT’nin çevredeki birikimini ve kuşların üremesi üzerine etkilerini ilk

defa açıklamıştır. Bu kitap federal hükümeti, su ve hava kirliliğine karşı kalıcı pestisitler üzerine önlem almaya itmiştir. Sonuç olarak DDT'nin satış ve üretimi 1970'de İsveç, 1973'de ABD, 1985'den sonrada Türkiye'de yasaklanmıştır (Vural, 1996; Uluocak, 2000). Zamanımızda büyük bir kısmı organik sentetik kimyasal maddeler olmak üzere yaklaşık 1500 pestisit aktif maddesinin 2000 zararlı türüne karşı kullanıldığı kaydedilmiştir. Pestisitler, gaz toz granül ve sıvı halde bulunmaktadır. Pestisitleri kimyasal yapılarına göre sınıflandırmak oldukça zordur. Bu nedenle genelde etkiledikleri canlı gruplarına göre sınıflandırılırlar (Pire, 2001).

- İnsektisitler (Böceklere karşı)
- Herbisitler (Yabani otlara karşı)
- Akarisitler (Mitisit) (Uyuz böceklerine ve parazitlere karşı)
- Fungisitler (Mantarlara karşı)
- Rodentisitler (Kemirgenlere karşı)
- Nematisitler (Kurtlara karşı)
- Mollusisitler (Yumuşakçalara karşı)
- Afisitler (Yaprak bitlerine karşı)
- Avisitler (Kuşlara karşı)
- Pissisitler (Balıklara karşı)
- Bakterisitler (Bakterilere karşı)

Pestisitlerin kullanımı, hedef olmayan organizmaların doğal populasyonlarında istenmeyen düzensizliklere, tüm ekosistemde dengesizliğe besin ağının değişimine veya besin zincirinin kırılmasına yol açabilir (Cengiz, 2002). Pestisitler kullanıldıkları yerlerde toprağı, suyu kirllettikleri gibi bulundukları yerlerden biyolojik ve fiziksel yollarla çok uzak bölgelere kadar taşınmaktadırlar (Pire, 2001). Pestisitler su içindeki veya kenarındaki bitkilerle ya da böceklerle savaş sırasında, pestisitlerin doğrudan doğruya uygulanması, bitki ve toprak yüzeylerinden ilaçların yağmur suları ile yıkanmasıyla, ilaç endüstrisi artıklarının akar ve durgun sulara ve toprağı boşaltılması halinde; bunların topraktaki hareketleri, boş ambalaj kaplarının su kaynaklarında yıkanması suretiyle sulara erişir. Ayrıca, uygulama sırasında atmosfere yayılan katı ve sıvı pestisit zerreciklerinin, su kaynaklarına taşınması sonucunda da sular etkilenir. Bu çeşit sulara, planktonik organizmalarda ve

balıklarda pestisit birikir, buradan da bunları yiyen kuşlara ve diğer canlılarla insanlara geçer (Kaymak, 2011).

2.2.3. Poliklorlubifeniller (PCB's)

PCB'ler çevrede doğal yollardan oluşmayan, iki birbirine bağlı benzen halkalı bifenil yapısında aromatik sentetik kimyasallardır (WHO, 2000). PCB'ler KOK sınıfında yer alan bir grup aromatik klorlu bileşik olan çoklu klorlanmış bifenil bileşiklerine verilen genel isimdir. Poliklorlu bifeniller, poliklorlu terfeniller, monometiltetraklorodifenilmetan, monometildiklorodifenilmetan, monometildibromodifenilmetan veya toplamda ağırlık olarak %0005'den (veya 500 ppm) daha fazla yukarıda bahsedilen maddelerin herhangi birisini ya da birkaçını içeren kimyasal karışımları PCB olarak tanımlanmaktadır.

PCB'lere benzer kimyasallar ilk olarak 1865 yılında kömür katranında bulunmuş, 1881 yılında ise ilk PCB'ler sentezlenmiştir (Safe, 1992). Doğada ilk kez 1914 yılında bazı kuşların tüylerinde tespit edilmişlerdir. İlk olarak 1927'de yalıtkan özelliklerinden ötürü elektrik endüstrisinde kapasitör ve transformatörde kullanılmaya başlanan PCB'ler giderek daha da yaygınlaşmıştır. 1933'ten başlayarak PCB üretiminde çalışan işçilerde toksik etkiler gözlenmeye başlanmış, ancak ve doğal yaşamı tehdit edici özelliklerinin yanısıra besin zinciri boyunca zenginleşerek toplumun diğer bireylerine de yüksek konsantrasyonlarda ulaşabilecekleri ancak 1960'lardan sonra anlaşılabilmektedir (Jensen, 1966). 1970'lerin başlarında, PCB'lerin çevrede uzun süre parçalanmadan kalması ve toksisitesi hakkında ortaya çıkan veriler, Avrupa ve Amerika'da PCB'lerin pazarlanması ve açık uygulamalarda kullanımı konusunda sınırlamalar getirilmesine yol açmıştır.

PCB'ler lipofilik özelliklerinden dolayı, sediment içerisinde organik maddelere bağlanırlar, suda ise çok az miktarda bulunurlar. Uçucu olmadıklarından havada kalıcı değildirler, toprak ve sediment başlıca biriktikleri ortamlardır. PCB'ler sediment içerisinde yaşayan organizmalarda birikir ve balıklar tarafından ya bu organizmaların yenmesi, ya da balıkların diğer balıkları yemesi ile besin zincirine

girerler. Alınan PCB'lerin bir kısmı balıklar tarafından metabolize edilebilmesine karşın bir kısmı da yağ dokuda birikir. Bu yüzden balıklardaki PCB varlığı, sudaki PCB düzeyinin göstergesi olarak kabul edilmektedir (Ross, 2004).

PCB'lerin taşınımında en önemli yolun buharlaşma olduğu gösterilmiştir (Swackhamer ve Armstrong, 1986). Bunun yanı sıra adsorpsiyon ve sedimentasyon, PCB'lerin sucul sistemde uzun süre kalmalarına neden olmaktadır. PCB'lerin sedimentten tekrar suya geçmesi ve sudan havaya buharlaşması, sıcaklıkla arttığından yaz aylarında daha hızlı olmaktadır.

Sucul ortamda PCB'lerin yıkımlanmasında biyolojik parçalanma asıl rolü oynarken hidroliz ve oksidasyon önemsizdir. Çevresel ortamda elde edilen deneysel veriler yetersiz olmakla birlikte PCB'lerin abiyotik yıkımlanmasında fotoliz, tek yol olarak görülmektedir (Filazi ve ark., 2015). PCB'ler doğrudan üretilebildikleri gibi PVC üretimi veya atık yakma gibi endüstriyel işlemlerin yan ürünleri olarak da oluşabilmektedirler. Uygun olmayan koşullardaki yanma işlemlerinin sonucunda çevreye salınan PCB'lere maruziyet, deri, solunum, sindirim ve sinir sistemi üzerinde bir takım toksik etkilere yol açar. Ayrıca üreme sistemi üzerine olumsuz etkilerinin yanı sıra genler üzerinde değişiklik yaparak mutasyona da neden olabilirler (Güvenç ve Aksoy, 2007).

2.3. Kirliliğin Biyolojik İzlenmesi ve Biyobelirteçler

Çevreye herhangi bir materyalin girişi, bu maddenin insan veya doğal kaynaklardan köken almasına bağlı olmaksızın, biyolojik sistemler üzerinde bir etkiye sahiptir. Bu nedenle hem insanların çevreye zarar vermedeki ahlaki sorumlulukları ve hem de çevresel bozulmanın insanın ekosistemi kullanması ile tezat teşkil edebilmesi sebebiyle insan aktivitelerinin doğal ekosistemleri etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi gerekir. Günümüzde çevreye verilen kimyasalların yarattığı veya yaratacağı etkilerin belirlenmesi ve olası çözüm yollarının bulunması amacıyla çeşitli çevresel izleme çalışmaları yapılmaktadır. UNEP (United Nations Environmental Program: Birleşmiş Milletler Çevre Programı) tanımına göre çevresel izleme:

karşılaştırılabilir ve standartlaşmış yöntemler kullanılarak, belirli bir zaman ve yer üzerinde önceden planlanmış bir programa göre bir ya da daha çok kimyasalın ya da biyolojik ögenin belirlenen amaçlar için gözlenmesidir (Van Der Oost ve ark., 2003). Aşağıda belirtilen beş çevresel izleme metodu, organizmalar için kirleticilerin yarattığı riskin ve ekosistemlerin çevresel kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılabilir.

Kimyasal İzleme (Kİ): Abiyotik çevresel kompartımanlarda bir dizi iyi bilinen kirleticinin düzeyinin ölçülmesi ile maruz kalmanın değerlendirilmesi.

Biyolojik Birikimin İzlenmesi (BBİ): Kritik bir alanda kritik dozun (biyolojik birikim) belirlenmesi veya biyotada kirletici düzeylerinin ölçülmesi ile maruz kalmanın değerlendirilmesi

Biyolojik Etkinin İzlenmesi (BEİ): Kısmen veya tamamen geri dönüşümlü biyobelirteçlerde erken olumsuz değişimlerin belirlenmesi ile maruz kalma veya etkinin değerlendirilmesi.

Sağlığın İzlenmesi (Sİ): Organizmalarda geri dönüşsüz hastalık ya da hasarların varlığını belirleyerek etkinin değerlendirilmesi.

Ekosistemin İzlenmesi (Eİ): Tür kompozisyonu, yoğunluğu ve çeşitliliği gibi bir envanterin yapılarak bir ekosistemin doğruluk-tamlığının belirlenmesi.

Kimyasal izleme çalışmalarında kimyasalların kabul edilebilir düzeylerinin belirlenmesinin birkaç olası eksikliği söz konusudur:

(1) toksik maddelerin çevredeki biyolojik bulunurlukları, askıdaki partiküllere veya humik asitlere bağlanma nedeniyle değişebilir; (2) toksik maddelerin karışımları, belirlenmesi güç sinerjistik veya antagonistik etkilere neden olabilir; (3) maruz kalan organizma kirliliğin varlığına adapte olabilir ya da onun varlığında şiddetli bir şekilde duyarlılaşabilir. Bu problemlerden sakınmanın olası mekanizmalarından biri,

her bir alanda uygun toksik madde düzeyinin belirlenmesi, alana özgü su kalitesinin standardının belirlenmesidir. Periyodik olarak bu standart değerlerin doğruluğunun yeniden değerlendirilmesi de gerekmektedir. Bu yöntem oldukça masraflı olacağından ikinci olarak biyolojik izleme veya biyoizleme (biomonitoring) önerilmektedir (Steadmen, 1986). Çevre veya su kalitesindeki değişimleri değerlendirmede BBİ, BEİ, Sİ ve Eİ çalışmalarında organizmaların düzenli ve sistematik bir şekilde kullanımı biyolojik izleme olarak adlandırılmaktadır (Zwart, 1995). Van Gastel ve Van Brummelen (1996), biyolojik izlemede biyobelirteçler, biyoölçümler, biyoindikatörler ve ekolojik indikatörler kullanılarak dört farklı biyolojik izleme düzeyinden oluşan basamaklı ve bütünlenmiş bir çevresel risk değerlendirme önermişlerdir.

Biyoundikatörler; bir ortamda bulunuşları, bollukları, iyi bir gelişim göstermeleri, belirli koşullarda da ortadan kaybolmalarıyla, belirli bir yetişme ortamı koşulları hakkında bir yargıya varma olanağı sağlayan canlı türleridir. Biyoindikatörler, çevresel kirliliğe yaşam fonksiyonlarını değiştirerek veya toksinleri vücudunda biriktirerek cevap verirler (Ellenberg ve ark., 1991). Biyoindikatör olarak kullanılacak organizma grupları bazı kriterlere göre belirlenmektedir. Bu organizma grupları öncelikle kolay teşhis edilebilmeli, kolaylıkla toplanabilmeli (yani az sayıda ve ucuz elde edilebilecek toplama malzemesinin yeterli olması), kozmopolit bir dağılım göstermeli, indikatör olarak seçilecek organizmanın hakkında otoekolojik veri zengin olmalı (bu bilgiler yorumlarda ve nümerik analizlerin uygulanmasında kolaylık sağlar), kirlilik etmeni olan zararlı maddeyi vücudunda biriktirmiş olmalı, laboratuarda kolayca üretilebilmeli, genetik yönden ve biyolojik komünitedeki rolleri açısından düşük değişim özellikleri göstermelidir. Biyolojik indikatör olarak kullanılabilecek organizmalar; balıklar, bakteriler, protozoalar, bentik algler, taban büyük omurgasızları, makrofitlerdir (Kazancı ve ark., 1997).

Biyolojik izleme çalışmalarında kullanılan “biyobelirteç” terimi için birkaç tanım verilebilir, genel olarak kullanılan tanım “bir biyolojik sistemin kimyasal, fiziksel veya biyolojik, potansiyel bir tehlike ile etkileşimini yansıtan herhangi bir ölçüm”

şeklindedir. Biyobelirteç, çevresel kimyasallara maruz kalma sonucu canlının verdiği biyolojik yanıtta bir değişim olarak da tanımlanır (Van Der Oost ve ark., 2003).

Biyobelirteçler kullanılarak yapılan biyolojik izleme çalışmaları geleneksel kimyasal ölçümlere göre önemli avantajlar sağlamaktadır (Wu ve ark., 2005). Bu avantajlar:

1. Biyobelirteç kullanımı ile çevrede kirleticilerin çevresel kaderi, biyolojik bulunurluğu ve kirleticilerin birbirileri ile etkileşimleri dikkate alınmaktadır. Böylece çevredeki kimyasal kalıntıların düzeylerinin basit ölçümü ile sağlanamayacak aktüel veya potansiyel zararlı etkiler üzerinde bilgi sağlanabilir.
2. Kirleticilerin veya stresin çevresel düzeyinin zamana bağlı değerlendirmesi sağlanabilir. Özellikle de çevrede kirletici düzeylerindeki dalgalanmaların yüksek olduğu göz önünde bulundurulursa, bu sayede sık örnekleme ve analizlere gereksinim azaldığından maliyet de azalır.
3. Kirleticiler ortamda parçalandıklarında veya belirlenemez düzeye azaldıklarında dahi biyobelirteç yanıtlar sıklıkla kalıcı olduklarından, rutin kimyasal izleme yapılamazsa da biyobelirteçler ile bu kimyasallar izlenebilir.
4. Dokularda kirleticilerin konsantrasyonunun daha yüksek oluşu kimyasal analizleri kolaylaştırır.
5. Maruz kalma ve olumsuz etkiler kirletici ile ilişkili olabilir, bu da etkilerin mekanizmalarının anlaşılmasını ve nedensel ilişki kurulmasını sağlar.
6. Biyobelirteçler çevresel kirliliğin neden olduğu olumsuz etkilerin komünite ve populasyonlar zarar görmeden önce, erken biyolojik değişimlerin değerlendirilmesinde iyi bir araç sağlar.
7. Ölçülen biyolojik etkiler çevresel sonuçlar ile ilgili olduklarından, elde edilen veriler çok daha anlamlı olacaktır. Böylece çevresel sorunlar doğrudan ve daha hızlı bir şekilde belirlenebilir.

Ksenobiyotikler organizmaya girdikten sonra, hücre yüzeyinde veya hücre içinde sitoplazmada ya da hücre organellerinde lokalize olmuş, reseptör denilen spesifik hücresel yapılara bağlanırlar. Ksenobiyotiğin reseptörü ile bağlanması, hücre için toksik olan veya istenmeyen etkilere yol açabilecek hücresel süreçleri indükleyebilir. Makroorganizmalarda, bu tür süreçler, organları, sistemleri, organizmanın tamamını veya ait olduğu tüm popülasyonu etkileyebilmektedir (Siroka ve Drastichova, 2004). Bu nedenle balıklar, sucul çevredeki değişimlere oldukça yüksek duyarlılıkla tepki oluşturabildikleri ve su kirliliğinin izlenmesinde önemli bir rol oynamaları nedeniyle çevresel biyoizleme çalışmalarında kullanılan türlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Balıkların ani ölümü yüksek derecede kirliliğe işaret ederken, ölümcül düzeyin altında kirleticilere maruziyetin oluşturduğu etkiler, balık organizmasında gözlenen biyokimyasal, fizyolojik veya histolojik değişimler yoluyla ölçülebilir. Kirli olduğu düşünülen bölgede yaşayan balık popülasyonunun yaşında ve türlerin dağılımında oluşan değişiklikler, su kirliliğinin genel bir göstergesi olmakla birlikte, tek bir kirleticinin veya kirletici gruplarına karşı oluşan daha özgül cevaplar da bulunmaktadır (Guyonnet ve ark., 2003). Aynı toksik aktivite mekanizmasına sahip spesifik bir grup kimyasal varlığında indüklenen biyokimyasal değişimler, biyokimyasal belirteçler olarak adlandırılmakta olup (Siroka ve Drastichova, 2004), sucul çevrede oluşmuş olan kirliliğinin izlenmesinde oldukça sık başvurulan bir yöntemdir. Sucul kirliliğin izlenmesinde balıklar kullanılarak yapılan biyobelirteç çalışmaları, kontamine sularda yaşayan organizmaların ksenobiyotiklere maruziyeti sonucunda oluşan ölçülebilir tepkilerine dayanır. Genellikle spesifik olarak kimyasalın kendisine değil, bu kimyasaldan dolayı oluşan toksik aktivite mekanizmasına tepki verirler. Böylece aynı yolla etki gösteren benzer veya heterojen ksenobiyotik gruplarının da varlığında spesifik tepki gözlenebilmektedir. Biyobelirteçler toksisitenin türünü saptarlar; hatta birçok durumda, cevabın şiddeti kirliliğin derecesi ile orantılıdır (Van Der Oost ve ark., 2003; Siroka ve Drastichova, 2004). Biyobelirteçler toksikolojik, ekotoksikolojik ve farmakolojik çalışmalarda kullanılmaktadırlar. Çalışmaların çoğu in vitro deneyleri kapsasa da (White ve ark., 1997; Kuiper ve ark., 2004) sucul çevrenin konu edildiği çalışmalarda in vivo yöntemlere başvurulmuştur (Chen ve White, 2004; Sarkar ve ark., 2006; Udrou, 2006). Biyobelirteçlerin en önemli avantajı, özellikle pek çok kimyasal ya da kirletici

ajanın bir arada bulunması ile ortaya çıkabilecek kirlilik durumlarını, bu kimyasalların/kirleticilerin sinerjistik ve antagonistik etkilerinin tamamını içerecek şekilde yansıtabilmeleridir (Siroka ve Drastichova, 2004).

2.4. Oksidatif Stres ve Serbest Radikaller

Oksidatif stres, vücudun antioksidan savunması ile hücrelerin lipid tabakasının peroksidasyonuna neden olan serbest radikal üretimi arasındaki dengesizlik sonucu oluşan metabolik süreçteki aksamalardır ve oksidatif hasarın başlamasına neden olur (Oruç, 2010). Oksidatif stres hücre metabolizması ile ilişkili olarak DNA’da iplik kırılmaları, intraselüler serbest Ca^{+2} ’un artması, iyon taşıyıcı veya diğer özel proteinlerin membranlarında hasar oluşması ve lipidlerin peroksidasyonu gibi bozukluklara neden olabilir (Halliwell ve Aruoma, 1991). Antioksidan savunma sistemini azaltan oksiradikal ürünlerin artması biyokimyasal ve fizyolojik etkilere neden olduğundan, oksidatif stres, toksisitenin olası bir mekanizması olarak son yıllarda toksikolojik araştırmaların odağı haline gelmiştir (Almroth ve ark., 2005). Aerob canlıların tüm hücrelerinde gerçekleşen metabolik reaksiyonlar için gerekli olan oksijen, aynı zamanda çok tehlikeli toksik formlar olan reaktif oksidan ürünlere dönüşebilmektedir (Fang ve ark., 2002).

Oksijen metabolizması sonucu oluşan bir veya daha fazla eşleşmemiş elektrona sahip, kısa ömürlü, molekül ağırlığı düşük, çok etkin aktif ara bileşikler, serbest radikaller olarak tanımlanmaktadır (Abdollahi ve ark., 2003). Serbest radikaller, besinlerin oksijen kullanılarak enerjiye dönüştürülmesi sırasında meydana gelen kararsız ve reaktif moleküllerdir. Serbest radikal hasarına karşı koymak üzere mevcut antioksidanlar kullanılabilecek durumda değilse veya radikal oluşumu baş edilemeyecek kadar fazla ise, oksidan-antioksidan dengesi oksidanlar lehine bozulur ve oksidatif stres ortaya çıkar (Ören, 2009). Hücrelerde meydana gelen tüm metabolik aktivitelerde oluşabilen serbest radikaller oldukça reaktif olup, çevrelerindeki atom ve moleküllere saldırırlar. Çok kısa ömürlü olmalarına rağmen, radikal olmayan maddeler ile reaksiyona girip ve bir dizi reaksiyon başlatıp onları da radikal moleküllere dönüştürüp oldukça tehlikeli durumlar oluşturabilirler (Mercan,

2004). Serbest radikallere süperoksit ($O_2^{\cdot-}$) ve hidroksil ($OH^{\cdot}$) gibi oksijen merkezli radikaller, $thil$ ($RS^{\cdot}$) gibi sülfür merkezli radikaller, triklorometil gibi karbon merkezli radikaller ve nitrik oksit örnek verilebilir. Radikaller çeşitli yollarla diğer moleküller ile reaksiyona girme yeteneğindedirler. Bu yüzden eğer iki radikal karşılaşırsa kombine oluşturur ve paylaşılmamış elektronlarını eşleşmiş elektron çifti yapısına dönüştürürler (Halliwell ve Chirico, 1993).

Reaktif oksijen türleri (ROT) oksidatif fosforilasyon veya mitokondrial elektron transportu ile kirleticilerin metabolizması gibi süreçler sırasında hücrelerde sürekli üretilirler (Cnubben ve ark., 2001). Moleküler oksijen tetravalent ya da univalent redüksiyona uğrayabilmekte ve O_2 'nin univalent redüksiyonu sırasında radikal ara ürünleri ya da yüksek reaktif substratlar meydana gelebilmektedir. O_2 'e bir elektron transferi ile süperoksit radikali ($O_2^{\cdot-}$) meydana gelmektedir. $O_2^{\cdot-}$ 'ne ikinci bir elektronun eklenmesi ile peroksit radikallerinin oluşumunu başlatan hidrojen peroksit (H_2O_2) oluşmaktadır. O_2 'e üçüncü elektronun transferi, oldukça toksik ve reaktif bir bileşik olan hidroksil radikalının ($HO^{\cdot}$) oluşumu ile sonuçlanmaktadır (Piner, 2009). Reaktif oksijen türlerinin DNA, protein gibi makromoleküllere katılarak hücresel bileşenlere ve dokulara zarar verme gibi özellikleri vardır. Serbest radikaller hidroksil, süperoksit, nitrik oksit ve lipid peroksit radikalleri gibi değişik kimyasal yapılara sahiptir (Ören, 2009).

Reaktif oksijen türleri, organik olmayan $O_2^{\cdot-}$, hidrojen peroksit (H_2O_2) ve $OH^{\cdot}$ ile alkoksil ve peroksil radikalleri gibi organik molekülleri içerir (Dringen, 2000). Moleküler oksijen (O_2) biradikaldır, dış kabuğunda paylaşılmamış iki elektron taşır. Eğer paylaşılmamış iki elektrondan biri uyarılır ve spinini değiştirirse singlet oksijen (1O_2) olarak bilinen oldukça güçlü bir oksidant meydana gelir (Turrens, 2003). Bir elektron tarafından oksijenin indirgenmesiyle oldukça kararlı ara ürünler ortaya çıkar. Süperoksit; O_2 'nin bir elektron alarak indirgenmesiyle üretilir, çoğu ROT'un öncüsüdür ve oksidatif zincir reaksiyonlarında aracılık yapar. Süperoksitin dismutasyonu ya da O_2 'nin iki elektron alarak indirgenmesi yoluyla H_2O_2 meydana gelir (Livingstone, 2001).

Reaktif oksijen türlerinden $\text{OH}^\cdot$, canlı sistemlerde Fenton reaksiyonu yoluyla oluşturulan oldukça reaktif oksijen radikalidir (Sun ve ark., 2008). Genellikle bu radikalin canlı sistemlerde moleküler hasara neden olabilen oksidatif metabolizmanın zararlı bir ürünü olduğu düşünülür, aynı zamanda $\text{OH}^\cdot$ oksijenin var olduğu durumlarda çeşitli radikal reaksiyonların uyarılması ve başlatılmasında kritik bir rol oynar (Cheng ve ark., 2002). Hidroksil radikali canlı organizmalarda en az iki mekanizma ile üretilir. Bunlar; 1. Hidrojen peroksidaz ile geçişli metal iyonlarının reaksiyonu 2. İyonize radyasyona maruz kalan suyun homolitik fizyonudur. Süperoksit ve H_2O_2 ; $\text{OH}^\cdot$ 'e göre daha az reaktif olmalarına rağmen tamamen zararsız değildirler. Üretilen $\text{O}_2^{\cdot-}$ 'lerin bazıları otooksidasyon reaksiyonları ve elektron transport zincirinden bir elektronun kaçması nedeniyle *invivo* koşullarda oluşurken, diğerleri fagositlerin aktive edilmesiyle kaçınılmaz olarak üretilir (Halliwell ve Chrigo, 1993).

Serbest radikaller oldukça reaktif ve aşırı kısa ömürlüdür bu yüzden yakalanmaları ve belirlenmeleri zordur. Serbest radikallerin üretildiğini doğrulamak ya da fonksiyonlarını açıklamak için sıklıkla en son ürünleri ya da radikalle uyarılan reaksiyonların ürünlerini araştırmak gerekir (Sachdev ve Davies, 2008).

2.4.1. Lipid peroksidasyonu

Lipid peroksidasyonu oksidatif stres koşulları altında hücre fonksiyonlarının azalmasına neden olur (Storey, 1996). Lipid peroksidasyonu poliunsature yağ asitlerinin (PUFAs) oksidatif parçalanma sürecidir ve biyolojik membranlarda meydana gelerek membran fonksiyonlarını zayıflatır, membran geçirgenliğini azaltır ve membrana bağlı çoğu enzimin inaktivasyonuna neden olur (El-Gendy ve ark., 2010). Lipid peroksidasyonu yan zincirdeki bir metilen karbondan bir hidrojen atomunun uzaklaştırılması ile yeterli reaktiviteye sahip olan herhangi bir kimyasal türün yağ açıl ya da yağ asidi yan zincirine saldırması ile başlatılmış olur. Yağ asidi yan zincirinde çift bağların sayısı fazladır ve bir hidrojen atomu kolaylıkla uzaklaştırılır (Halliwell ve Chirico, 1993). Lipid peroksidasyonu genellikle doymamış yağ asitlerinden bir hidrojen atomunun ayrılmasıyla başlayan zararlı

radikal zincir reaksiyonlarının en son ürünüdür. Yağ asitinden bir hidrojen atomu ayrıldıktan sonra orjinal radikal ($R\cdot$) nötralize olur, fakat bir lipid radikali ($L\cdot$) oluşur. Bu lipid radikali oksijen tarafından hızlıca bastırılarak bir lipid peroksil ($LOO\cdot$) radikali üretilir. Oldukça kararsız olan $LOO\cdot$ komşu yağ asitleri ile tepkimeye girerek kendi kendine yayılan lipid peroksidasyon zincir reaksiyonunu başlatır (Sachdev ve Davies, 2008). Membran yapısında zincir reaksiyonunun yayılma uzunluğu; ortamdaki lipid-protein oranına, yağ asidi miktarına, oksijen konsantrasyonuna, zincir kırıcı antioksidanların varlığına bağlı olarak değişiklik gösterir. Membran lipidleri LPO'ya oldukça hassastırlar ve mitokondri, plazma membranları, endoplazmik retikulum, lizozom, peroksizom gibi çoğu hücresel organellerin temel yapısındaki membranlarda LPO tarafından hasara uğrattılır (Devasagayam ve ark., 2003). Malondialdehit (MDA) lipid peroksidasyonun doğal bir parçalanma ürünüdür (Munnia ve ark., 2004). Lipoproteinlerde PUFAs'ların üretiminin oksidasyonu ile karakterize edilir (Halliwell ve Aruoma, 1991). Nükleik asitler, enzimler, proteinlerin amino grupları ve tiyoller için yüksek affinite göstermesi nedeniyle MDA hücreler için aşırı derecede toksiktir (Oropesa ve ark., 2009). Lipid peroksidasyonun belirlenmesinde bioindikatör olarak kullanılır (Dinçel ve ark., 2009).

2.4.2. Antioksidan savunma mekanizmaları

Reaktif oksijen türlerinin oluşumunu ve bunların meydana getirdiği hasarı önlemek için vücutta birçok savunma mekanizması geliştirilmiştir. Bunlar 'antioksidan savunma sistemleri' ya da kısaca 'antioksidanlar' olarak bilinirler. Bu moleküller, serbest oksijen radikallerine bir hidrojen iyonu vererek, bu radikalleri kendilerine bağlayarak ya da onları daha zayıf bir moleküle çevirerek radikal hasarını önlerler. Hücreler hasarlı makromoleküllerin onarılması ve oksidatif stresin hafifletilmesi için farklı mekanizmalara sahiptir. Birincil savunma ROT ve serbest radikallerin uzaklaştırılmasında görev alan enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidanları kapsar (El-Gendy ve ark., 2010). Ekotoksikolojik çalışmalarda kontamine ortamlarda antioksidant enzim aktivitesi ölçümlerinin biyobelirteç olarak önemlerini gösteren deliller giderek artmaktadır (Lopes ve ark., 2001). Bu enzimler hemen tüm omurgalıların dokularında bulunur; ancak genelde en yüksek aktivitelerini

ksenobiyotik alınımı ve reaktif oksijen türlerinin (ROT) enzimatik dönüşümleri için temel organ olan karaciğerde gösterirler. Bu enzimlerden bazıları oksidatif stresin belirgin moleküler biyoindikatörleri olup metal ve diğer ksenobiyotikler gibi kirleticilerin etkisindeki populasyonlarda tepki düzeyini gösterirler. Bu antioksidan enzimler katalaz (CAT), süperoksit dismutaz (SOD), glutatyon redüktaz (GR), glutatyon peroksidaz (GPx), glukoz-6-fosfat dehidrogenaz (G6PD) ve glutatyon-S-transferaz (GST), enzimatik olmayan glutatyon (GSH), Vitamin E (α -tokoferol), Vitamin A ile Vitamin C (askorbik asit) kapsamaktadır (Bebe ve Panemangalore, 2005). Diğer enzimatik olmayan antioksidantlar ise; melatonin, ürik asit, albümin, sistein, bilirübin, seruplazmin, ferritin, mannitol, oksipurinol, lipoik asit ve flavinoidlerdir. Küçük moleküllü antioksidan bileşikler (vitaminler, flavonoidler, karotenoidler, ürik asit ve GSH) antioksidan savunmanın ikinci hattında görev alır. Enzimatik olmayan antioksidanlar kontrolsüz serbest radikal oluşumunu önler, biyolojik bileşenler ile serbest radikallerin reaksiyonlarını kısıtlar ve endojen antioksidanların oksidasyonundan sorumlu tutulan pek çok serbest radikalin yok edilmesini sağlar (Zama ve ark., 2007).

2.4.2.1. Glutatyon

Glutatyon ve GSH'a bağlı süreçler antioksidan savunmada merkezi bir role sahiptir. Glutatyon γ -L-glutamil-L-sisteinil-glisin olarak bilinen bir tripeptittir, hücrelerde sentezlenen düşük molekül ağırlıklı en önemli antioksidantır (Forman ve ark., 2009). Antioksidan olarak ksenobiyotiklerin detoksifikasyonu için reaksiyon partnerliği, isomerizasyon reaksiyonlarında kofaktörlük, sistein yapısının taşınması ve depolanması gibi önemli fonksiyonlara sahiptir. Glutatyon hücre çoğalması için gereklidir ve indirgenmiş formda proteinlerin sülfidril gruplarını tutarak hücrelerin tiol-redoks potansiyelini korur (Cotgreave ve Gerdes, 1998).

Glutatyon birbirini izleyen iki enzimin faaliyeti ile *invivo* sentezlenir. Sentezin ilk adımında sistein ve glutamat kombine olarak γ -glutamilsisteini (γ GluCys) üretirler. Bu reaksiyon glutamat sistein ligaz (GCL ya da γ -glutamilsistein sentetaz) tarafından uyarılmaktadır (Forman ve ark., 2009). γ -glutamilsisteine glutatyon sentetaz

tarafından uyarılan bir reaksiyon ile glisininde eklenmesiyle GSH üretilir. Adenozin trifosfat (ATP) her iki enzim için cosubstrattır. Glutasyonun intraselüler düzeyi GSH'nın en son ürünü tarafından γ GluCys sentetazın feedback inhibisyonu ile düzenlenmektedir. Bu yüzden GSH'nın hücresel sentezi ve tüketilmesi denge halindedir (Dringen, 2000). Reaktif oksijen türlerinin detoksifikasyonu süresince GSH iki tip reaksiyona karışır. 1. Glutasyon $O_2^{\cdot-}$, OH. veya nitrik oksit gibi radikallerle enzimatik olmayan reaksiyonlara girer (Singh ve ark., 1996). 2. Glutasyon GPx reaksiyonunda peroksitlerin indirgenmesi için elektron donörüdür. Glutasyon oksidasyonunun en son ürünü glutasyon disülfiddir (GSSG). Hücre içindeki GSH GR tarafından uyarılan bir reaksiyon sayesinde GSSG'den yeniden üretilir. Glutasyon peroksidaz reaksiyonunun ürünü GR flavoenziminin substratı olan GSSG'dir. Bu enzim nikotinamid adenin dinükleotid fosfattan (NADPH) GSSG'e elektron transfer eder bu sayede GSH yenilenir. Glutasyon peroksidaz ve GR tarafından katalizlenen reaksiyonlar süresince GSH tüketilmez, geri dönüşümlüdür (Dringen, 2000). Hücrelerin indirgeyici kapasitesi yetersiz olduğu zaman GSH/GSSG oranı azalır. İntraselüler GSSG içeriği oksidatif stresin indeksi kabul edilir (Cnubben ve ark., 2001).

2.4.2.2. Katalaz

Katalaz tüm hücre tiplerinde değişik konsantrasyonlarda bulunan hem ihtiva eden bir enzimdir. Özellikle eritrositlerde ve karaciğer dokusunda bol bulunur. Enzim; %20 oranında sitoplazmada, %80 oranında da peroksizomlarda lokalizedir. Katalaz, her biri yaklaşık 60 kDa ağırlığındaki dört alt ünitenin tetrahedral düzenlenmesiyle oluşan, tetramerik bir enzimdir. Molekül alt birimlerinin ayrılması ise; enzimin inaktive olmasına yol açar. Enzimler arasında en yüksek katalitik dönüşüm hızına sahip olan katalazın aktivitesi için demir gerekmektedir (Yemişen. 2008). CAT tüm enzimler içinde, en büyük reaksiyon hızına sahip olanıdır. Bir molekül CAT bir dakikada 6 milyon hidrojen peroksit molekülünü su ve oksijene dönüştürebilir (Göktaş, 2007). Dokularda enzimin aktivitesi büyük farklılık gösterir. Karaciğer ve böbrekte en yüksek aktivite, destek dokuda ise en düşük aktivite gösterdiği tespit edilmiştir. Katalaz, metil hidroperoksit ve etil hidroperoksit gibi küçük moleküllerin

indirgenmesini de sağlar, ancak büyük molekül ağırlıklı lipid hidroperoksitlere karşı etki göstermez.

H₂O₂'in yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu ortamlarda oldukça etkilidir. Ortamda oluşan H₂O₂'yi okside edici enzimlerin etkisiyle direkt olarak suya dönüştürür. Katalazın bu reaksiyonu iki basamakta gerçekleşir. Birinci basamakta, kompleks-I olarak ifade edilen ara ürün oluşur. Bu ara ürün, hidrojen peroksidin enzime bağlanması ile oluşur. Kompleks-I'in ikinci hidrojen peroksit molekülüyle reaksiyonu, su ve moleküler oksijen oluşumuyla sonuçlanır.

Ortamdaki H₂O₂ konsantrasyonu düşük olduğu durumlarda hidrojen peroksiti substrat olarak kullanan diğer antioksidan enzimler (GSH-Px gibi) devreye girerek hidrojen peroksiti ortamdan uzaklaştırırlar. CAT ve GSH-Px enzimlerinin benzer etkisi olduğu halde hücre içindeki yerleşim ve etki yerleri bakımından farklılık vardır. GSH-Px enzimi başlıca sitozol ve mitokondride bulunurken, CAT enzimi peroksizomlarda mevcuttur (Cüce, 2007). Böyle yerleşerek hem birbirlerini tamamlayıcı etki gösterirler hem de hücre içindeki H₂O₂'nin konsantrasyonu kontrol altına alınmaktadır.

2.5. Tatlısu Balıklarının Ekotoksikolojik Önemleri

Tatlısu balıklarının ekotoksikolojideki önemi, ekonomik öneme sahip olmalarından ve besin zincirinin önemli ve üst basamağında bulunmalarından kaynaklanmaktadır. Balıklar ekosistemlerin ilk predatör nişlerini işgal ederler. Çoğu omnivor veya herbivor olmalarına rağmen, yaşam döngüleri boyunca çok farklı şekillerde beslenerek gelişirler. Benzer nedenlerden dolayı balıklar tatlısu çevresinin sağlığı için nöbetçi organizmalar olarak kabul edilmektedir. Sucul habitatın bütün zonlarında suyun hızı, türbülansı, oksijen içeriği ve kalitesinin uygun olduğu durumlarda yaşayabilirler. Buna rağmen sucul çevrede su kalitesine eşit veya daha yüksek duyarlılığa sahip çok sayıda tür vardır. Balıklar, tek başına hacimleri ve ticari balıkçılarca onlara verilen önemden dolayı mükemmel indikatör organizmalar olarak kabul görmektedirler. Yaşam döngülerinde balıklar; algler, rotiferler,

mikrokrustaseler, mikroinvertebralar, yüksek bitkiler ve diğer balıklarla beslenebilirler. En büyük ayrıcalıkları kuşlar, amfibiler ve küçük memeliler tarafından bile avlanabilmeleridir. Balıkların çoğu beslenme alanlarında çok sayıda etkileşim içindedir; az sayıda besleyici türe bağlı kalmazlar. Suyun yüzeyinde, orta derinlikte ya da gölün zemininde beslenebilirler. Bu çeşitlilik balıkları, türler arası etkileşimin ve tür içi rekabetin üzerinde kimyasalların olası etkilerinin incelenmesine izin veren ekotoksikolojik çalışmalar için kullanışlı nesneler haline getirir. Buna rağmen doğal veya doğala yakın ekosistemlerdeki balıklarda biyolojik birikim çalışılması son olarak balığa girmeden önce bir kimyasalın olası rotasının çeşitliliği nedeniyle son derece karışık bir hal alır. Balıklar ksenobiyotik bileşikler, özellikle suda çözünürlüğü az olanları, sudan ya da besinlerden alarak vücutlarında biriktirirler.

Sudan ksenobiyotik alınımı kimyasalları taşıyan solüsyon ve süspansiyon halindeki ortam ile çok sıkı ilişki nedeniyledir. Ayrıca balıklar ortamdan oksijen almak için muazzam miktarda suyu solungaçlarından geçirmek zorundadırlar. Buna bağlı olarak, ortamda bulunan kirleticilere maruz kalırlar. Sonuç olarak, balıklar sudaki kirletici etmenlere tüm vücutları ile maruz kalmaktadırlar. Türkiye'nin farklı ekosistemlere sahip olması nedeni ile iç sularımızdaki biyolojik çeşitlilik değişiklik göstermektedir. İç sularımızda balıklardan 26 familyaya ait 236 tür ve alttürün yaşadığı tespit edilmiştir (Kuru, 2004). Son yıllarda suyun kimyasal maddelerle kirlenmesi ve teleost balık sağlığı arasında önemli bir ilişki olduğu saptanmıştır. Kanıtlar, göl, ırmak ve denizlerde kimyasalların artışının yaşam için sınırlayıcı bir faktör olduğunu göstermektedir. Tüm bu nedenlerden dolayı balıklar, ekotoksikoloji çalışmalarında önemli bir yere sahiptir.

Sapanca Gölünde önceki yıllarda yapılmış çalışmalar, gölde 32 balık türünün olduğu belirtilmesine karşın son yıllardaki çalışmalar bu sayının 22'ye indiğini göstermektedir (Okgerman ve ark., 2006; Kuş, 2012).

Sapanca Gölü'nde ağır metal kirliliğinin araştırıldığı bu çalışmada, balık seçiminde ekonomik öneme sahip balık türleri seçilmiştir.

Tablo 2.1. Sapanca Gölünde bulunan balık türleri.

<i>Abramis brama</i> (L., 1758)	<i>Leuciscus borystenicus</i> (Kessler, 1859)
<i>Alburnus alburnus</i> (L., 1758)	<i>Leuciscus cephalus</i> (L., 1758)
<i>Alburnoides bipunctatus</i> (Bloch, 1782)	<i>Mesogobius gymnotrachelus</i> (Kessler, 1857)
<i>Anguilla anguilla</i> (L., 1758)	<i>Neogobius fluviatilis</i> (Palas, 1811)
<i>Aspius aspius</i> (L., 1758)	<i>Nemacheilus angorae</i> (Steindachner, 1897)
<i>Atherina mochon</i> (Cuvier, 1829)	<i>Perca fluviatilis</i> (L., 1758)
<i>Atherina boyeri</i> (Risso, 1810)	<i>Pomatoschistus caucasicus</i> (Sözer, 1941)
<i>Bilicca bjoerkna</i> (L., 1758)	<i>Proterorinus marmoratus</i> (Palas, 1811)
<i>Carassius carassius</i> (L., 1758)	<i>Rhodeus sericeus</i> (Bloch, 1782)
<i>Caspialosa maeotica</i> (Grimm, 1901)	<i>Rutilus rutilus</i> (L., 1758)
<i>Chalcalburnus chalcoides</i> (Guldenstadt, 1772)	<i>Salmo gairdneri</i> (Richardson, 1836)
<i>Cobitis taenia</i> (L., 1758)	<i>Scardinius erythrophthalmus</i> (L., 1758)
<i>Cyprinus carpio</i> (L., 1758)	<i>Slurus glanis</i> (L., 1758)
<i>Esox lucius</i> (L., 1758)	<i>Syngnatus abaster</i> (Risso, 1826)
<i>Gobius melanostomus</i> (Palas, 1811)	<i>Tinca tinca</i> (L., 1758)
<i>Gobius syrman</i> (Nordmann, 1840)	<i>Vimba vimba</i> (Nordmann, 1840)

2.5.1. Sazan (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) genel özellikleri

Cyprinus carpio, dünyada hemen hemen her yerde bulunan hızlı büyüyen ve üreme yeteneği iyi olan, eti lezzetli tatlısu balığıdır. Sazan balığı, tatlısularda yaşayan kemikli bir balıktır. Sırtı koyu yeşil, yan tarafları ve karnının altı yeşilimsi kahverengidir 3-30°C sıcaklıkta yaşarlar. Kışın toplu olarak kendilerini çamura gömerler ve kış uykusuna yatarlar. Nisan-haziran ayları arasında yumurtlarlar. Uzun bir sırt yüzgecine, kısa anüs yüzgeçlerine sahiptir. Vücut kambur ve kafa küçüktür. Ağız nispeten küçük ve uç kısımda yer almıştır. Dudaklar iyi gelişmiş ve etlidir. Ağız etrafında üst dudak üzerinden çıkan ve fazla uzun olmayan iki çift bıyık bulunur.

Dorsal ve anal yüzgeçlerin 3. basit ışınlarının arka kenarı testere dişi gibi tırtıklıdır. Renk genellikle sırt tarafta yeşilimsi siyah, yan taraflarda kirli sarı, karın bölgesinde ise gri-beyazdır. Pulları üzerinde çok fazla mukus maddesi bulunur (Geldiay ve Balık, 2007).

Başında (ağız altı) dört adet bıyık bulunur. Yüzgeçleri yumuşaktır. Yüzgeçlerin ön tarafında kuvvetli dikenler bulunur. Göğüs yüzgeçleri, karının altına doğrudur. Pulları birbirleri üzerine kiremit gibi dizilmiş, kemiksi, kaygan ve antiseptiktir. Antiseptik mukus salgısı, üzerine yapışan bakteri ve sporları yok eder. Yüzme kesesi bir kanalla yemek borusuna bağlıdır. Bir bölümü kemikleşmiş olan ilk omurlar, kulakları yüzme kesesine bağlayan Weber aygıtını meydana getirirler. Bu tip aygıtı sahip balıklar arasında (kemik destekli keseliler) çene dişi bulunmayıp, yutak dişi bulunan balıklar sadece bunlardır. Sıcak ve ılıman bölgelerde, deniz seviyesine yakın sularda yaşayan yüzlerce varyetesi (alt türü) vardır. Sazan kendi cinsinin tek türüdür. Bazı sazan çeşitleri pulludur, bazıları tüm pulstuzdur (Deri sazanı), bazılarında ise az sayıda büyük pullar bulunur (Aynalı sazan). Boyu 1 m. den fazla, ağırlıkları 40 kg. kadar olabilir. Doğal gölleri, göletleri, havuzları ve özellikle dip kısımları çamurlu, etrafı bol vejetasyona sahip, yavaş akan derin akarsuları tercih ederler. Oksijene toleransları çok yüksek olup, 0,5 mg/L sularda bile rahatlıkla yaşamlarını sürdürebilirler. Her türlü gıdayı yiyebilmesi (Omnivor), çok çabuk büyümesi, kapalı ortamlarda kolayca muhafaza edilmesi ve etinin de nispeten lezzetli olması gibi nedenlerle yapay balık üretiminde önemli bir yer tutarlar. Bu tür en çok yumurta veren balıklardan olup, yapışkan ve 1 mm çapında, genellikle vücut ağırlığının her kilogramı için 120000 kadar yumurta verebilmektedir. Yapay balık üretiminde önemli bir yer tutması nedeniyle, asıl vatanı Güneydoğu Asya (Özellikle Çin) olduğu halde, zamanla bütün Avrupa'ya (Sibirya hariç), İngiltere ve Amerika'ya kadar yayılmıştır. Anadolu'da fazla soğuk olan dağ gölleri dışındaki birçok gölde ve bazı büyük nehirlerin durgun akan derin zonlarında da bulunurlar (Geldiay ve Balık, 2007).

Sazan dünyada geniş ölçüde transferlere ve aşılama çalışmalarına konu olmuş ilk balık türüdür. Geçen yüzyılın ortalarına doğru başlatılan, ülkeler ve kıtalar arası

nakiller ve aşılamlar sonucunda bugün tüm dünyaya yayılmıştır. Sazan Türkiye’de birçok göl ve akarsuda doğal yayılım göstermesinin yanında, 1970’li yıllardan sonra gerek yeni oluşturulmuş su kaynaklarına, gerekse halen balık yaşayan sulara geniş ölçüde kültür formları aşılanmıştır. Bu çalışmaların bir kısmında fertlerde her hangi bir kritere bakılmaksızın kaynaklara aşılamlar yapılmıştır. Aşılanan fertler doğada yaşayan pullu doğal sazana göre bazı üstün özelliklere sahip olmakla birlikte büyüme, yaşama gücü ve verimlilik bakımından dejenere olabildiği görülmektedir (Soylu, 1998; Elp ve ark., 2007; Kanyılmaz, 2008).

2.5.2. Yayın (*Silurus glanis* Linnaeus, 1758) genel özellikleri

Siluridae familyasından olan yayın balığı tatlısuların en çok ağırlığa ve boya ulaşabilen balığıdır. Çok hızlı büyümeleriyle bilinen *Silurus glanis* bireyleri, bugüne kadar kayıt altına alınan en büyüğünün total boyu 5 m olup, toplam ağırlığı 306 kg’dır (Copp ve ark. 2009). Vücudu pullarla kaplı olmayıp, yumuşak ve vizkoz karakterli bir deri ile örtülüdür. Baş ön kısmında yuvarlak olsa da, dorso-ventral olarak hafifçe yassılaşmıştır. Bu görünümüyle üstten bakınca adeta bir kurbağa başını andırır. Çenelerinde oldukça gelişmiş dişlere sahiptirler. Ağızları oldukça büyük ve etrafında uzunlukları birbirinden farklı 3 çift bıyık bulunur. Bunlardan iki çifti alt çenede, daha uzun olan diğer çift ise başın üst kısmında bulunur. Alt çene üst çeneye nazaran biraz daha uzamıştır. Gözleri çok küçüktür ve çapları baş boyunun ancak 1/13’ü kadardır. Linea lateral sırta daha yakın olan düz bir çizgi şeklinde uzanır. Vücut anüsün bulunduğu bölgeden kuyruğa doğru gidildikçe yassılaşır. Dorsal yüzgeç çok küçüktür ve baş kısmına oldukça yakın bulunur. Anal yüzgeç ise gayet uzun olup, Ventral’lerin hemen gerisinden başlar ve kuyruk yüzgecinin çok yakınına kadar uzanır. Kuyruk yüzgeci tek loplu ve serbest kenarı yuvarlaktır. Pektoral yüzgeçlerde, çok kuvvetli birer diken radius bulunur. Solungaç kapağının üzerini deri kaplamıştır (Geldiay ve Balık, 2009). Yayın balığının eti kemiksiz, lezzetli ve yüksek protein içeriğine sahiptir. Gerek Avrupa ve gerekse ülkemizde tüketimi oldukça yaygındır. Karnivor ve saldırgan bir tür olup, diğer balıkların değerlendirmedeği besin kaynaklarını ete dönüştürür. Besinlerini daha çok su insektleri ve onların larvaları, çeşitli balıklar, tatlısu ıstakozları, dalgıç kuşları, ördek yavruları, solucan,

kurbağa ve su sıçanları oluşturur. Ayrıca sazanla birlikte yapılan yetiştiricilikte, havuzdaki yabancı yumurtlamadan gelişen larvalar yayın tarafından tüketilerek oluşabilecek rekabet ortamı giderilir. Ekonomik ve hijyenik açıdan ele alındığında da çok önemli bir tür olduğu görülür. Zira hasta ve ölmüş balık materyallerini yiyerek, suda bir çöpçü ödevini yerine getirirler ve herhangi bir enfeksiyonunun yayılmasını önler. Ayrıca kemikleri ve hava keseleri de tutkal yapımında önemli bir hammadde kaynağıdır. (Yılmaz, 2004) *Silurus glanis* türleri genellikle zemini yumuşak topraktan veya balçıktan oluşmuş göllerde ve akarsuların durgun akan zonlarında yaşarlar. Daha çok yumuşak zeminleri tercih ettiklerinden devamlı şekilde çamur üzerinde bulunan tipik bir zemin balığıdır. Gündüz genelde hareketsiz ve pasif olarak taş ve ağaç kökleri arasında, çamur içinde gizlenirken geceleri ise tamamen aktiftirler. Bundan dolayı aktif olduğu zaman, özellikle az derin sularda dolaşarak yakınından geçen avlarını büyük bir ustalıkla ve çok gayret sarf etmeden yakalayabilirler (Geldiay ve Balık, 2007). Diğer tatlısu balıklarından biraz farklı olarak üreme eş tutma şeklinde, erkek ve dişinin bir süre birlikte yaşaması, yumurtanın dökülmesi ve döllemesi şeklinde olup, daha sonra erkek tarafından yumurtalar koruma altına alınması ile devam eder. Çiftleşme dönemi bitiminde tek olarak yaşar, sürü oluşturmaz. Turna balığı gibi belli bir bölgede yer edinir ve burayı (kuraklık, sel, kirlenme, rahatsız edilme gibi nedenlerle) mecbur kalmadıkça veya avlanmadıkça terk etmez. Yayın balığının yumurtlama mevsimi, Mayıs'ın sonu ile Haziran ayının ilk yarısı arasındadır. Bu, su sıcaklığının 22-24°C'ye ulaşmasına ve geceleyin 18-19°C'nin altına düşmemesine bağlıdır. Genellikle dişiler su sıcaklığına bağlı olmakla birlikte eşeysel olgunluğa erkeklerden sonra ulaşırlar. Sulardaki yüksek yıllık ortalama sıcaklıklar, balıkları cinsel olgunluğa daha erken ulaştırır. Cinsel olgunluk vücut büyüklüğü ile orantılı değildir (Yılmaz, 2004). Cinsel olgunlaşma 4-5 yılda meydana gelir ve her bir dişi balık 500000 kadar yumurta verebilir. Yumurtaları ortalama olarak 3 mm çapında ve açık sarı renklidirler. Kuluçka süresi aşağı yukarı 8-10 gündür. Yumurtalarını bırakacağı zaman özellikle fazla derin olmayan bol vejetasyonlu kıyı zonlarına geçer ve orada basitçe bir 3 yuva oluşturur. Yumurtalar yapışkan özellikte olduğundan, bilhassa otların gövdelerine tutturulur ve açılıncaya kadar erkek balık tarafından kısmen korunurlar (Yılmaz, 2007). Yayın larvaları çıkıştan 3-4 gün sonra yüzmeye başladıklarında erkek yuvayı

terk eder. Bu süre zarfında larvalar, yuvanın en karanlık köşesinde kalır ve oksijence zengin taze suya ihtiyaç duyarlar. (Yılmaz, 2004).

2.5.3. Kızılkanat (*Scardinius erythrophthalmus* Linnaeus, 1758) genel özellikleri

Kızılkanat (*Scardinius erythrophthalmus*), Sazangiller (Cyprinidae) familyasına ait bir tatlısu balığı türüdür. Orta ve Doğu Avrupa'da çok yaygın olan Kızılkanat, ülkemizin özellikle Batı ve Kuzeybatı Anadolu bölgelerinde yaşamaktadır. Vücut oval şekilli ve çoğunlukla iri pullarla örtülüdür. Baş boyu her zaman vücut yüksekliğinden daha kısadır. Ağız ventral durumdadır ve keskin kenarlı sertleşmiş dudaklara sahiptir. Bu sayede söz konusu balıklar taşların yarığındaki hayvanları ve taşlar üzerindeki yosunları kemirerek kolayca sökebilirler. Gözler gayet iridir. Dış görünüşü ile *Rutilus rutilus*'a benzemesine karşın pektoral, ventral, anal ve kaudal yüzgeçlerinin kırmızımsı renklerde olması nedeniyle kolaylıkla ayırt edilir. Dorsal yüzgeç daima ventral yüzgeçlerin gerisinde bulunur. Farinks dişlerinin uçları kıvrık ve kenarları testere dişi şeklinde çentiklidir. Ventral yüzgeçlerin arkasındaki bölge belirgin şekilde yassılaştırmıştır ve pullarla kaplı bir karina oluşturur. Renk sırtta kahverengi yeşil, yan taraflarda ve karın bölgesinde ise gümüşü beyazdır. Dorsal yüzgeç dışındaki diğer yüzgeçler kırmızımsı renktedir. Üreme periyodunda erkeklerin baş ve vücutları üzerinde tüberküller oluşur. Kızılkanat balıkları göllerin ılıman ve su bitkilerinin çok bulunduğu kesimlerinde ve nehirlerin aşağı bölgelerinde yaşarlar. Genellikle ayrı gruplar halinde veya diğer Cyprinidae balıklarla karışık halde hareket ederler. Kışlamak için derin bölgeleri seçerler. Besinlerinin büyük bir kısmını değişik su bitkileri, daha az oranda da yumuşakçalar, böcek larvaları oluşturur. Büyümeleri yavaştır, üç sene sonunda 12 cm lik bir büyüklüğe ulaşabilirler. Yumurtlama periyodu Nisan ve Haziran aylarındadır. Dişi balık 1.5 mm çapında yaklaşık 200000 yumurtayı su bitkileri üzerine bırakır. Su ısısına bağlı olarak yumurtalar 3-10 gün sonunda açılırlar (Geldiay ve Balık, 2007) Kızılkanatlar ortalama 20-30 cm (en büyükleri 50 cm) uzunluğundadır. Ağırlıkları ortalama 250-300 gr (en büyükleri 2-3 kilo) civarındadır. Kızılkanat bireylerinin herbivor beslendiğini ve bu türün genellikle subtropikal ve tropikal göllerde yaygınlık gösterdiğini Prokes ve Rebicova (1987) belirtmişlerdir. Kızılkanat balığı tatlısu

ekosistemlerindeki önemli etkisi ve baskın olmasından dolayı Avrupa da ötrofik göllerin restorasyonunda kullanılmaya başlamıştır. Avrupa'da Ural Dağları'ndan İspanya'nın doğusuna kadar ve Finlandiya'dan İtalya'nın kuzeyine kadar yaygındır. Türkiye'nin sadece kuzeyinde bulunur. Türkiye'de Marmara Denizi'ne dökülen tatlısularla, Sakarya ve Kızılırmak'ta yaşamaktadır (Gürsoy, 2008).

2.5.4. Kadife (*Tinca tinca* Linneae, 1758) genel özellikleri

Cyprinidae familyasına mensup olan *Tinca tinca* Türkiye'nin tüm Karadeniz sahili ile Marmara Bölgesi'nin Trakya kısmı ve İç Anadolu Bölgesi'nin bazı göllerinde yayılmıştır. Avlanan balıkların boyları 20-30 cm, ağırlıkları ise 500-600 g civarında olmasına rağmen, maksimum 60-70 cm boya ve 2,8-3,0 kg nadirense 6-7 kg ağırlığa kadar ulaşabilmektedir (Çelikkale, 2002). Ağzlarının yanında birer küçük bıyık bulunur. Vücutları kısa ve yüksek, yan çizgide 85 – 100 pul bulunur (Kuru 1994). Pulları deride kısmen derine gömülmüş şekildedir, bu yüzden oldukça kaygan bir balıktır. Solungaçları çok yuvarlaklaşmıştır. Erkeklerde karın yüzgeçlerinin ikinci dallanmış ışını kalınlaşmıştır. Kuyruk yüzgeçleri düzdür. Gözlerinin kenarları kırmızı; sırtı zeytin yeşili; yüzgeçleri koyu; yüzgeçlerinin kaidesi ve iri dudakları et rengindedir (Demirsoy, 1998). Cinsi olgunluğa 3-4 yaşında ulaşır. Mayıs-Haziran aylarında 18-20 °C'de sığ durgun sulardaki otların arasına yeşil renkli yumurtalarını bırakır. Yumurtaların çapı 0,8-1,2 mm'dir Bir dişi 1 kg canlı ağırlığa 0,5-1,0 milyon yumurta verir. Yumurtalar 60-70 günde açılır (Çelikkale, 2002). Kuvvetli ot gelişimi olan sakin sular veya çok yavaş akan yumuşak tabanlı suları tercih ederler. Bir su kaynağına yerleştirilince oraya hâkim olurlar. Bu balığı o su kaynağından uzaklaştırmak oldukça zor olur. Yetiştirildiği su kaynağındaki diğer balık türlerinin oranlarını düşürerek kendi oranını yükseltirler (Demirsoy, 1998).

Omnivor beslenme özelliği gösterirler. Besinlerini; mollusklar, chironomid ve böcek larvaları, istakoz benzeri hayvanların yumurtaları, yosun ve diğer bentik omurgasızları oluşturur (Çelikkale, 2002). Soğuk sulara ve düşük oksijen kapsayan ortamlara karşı toleranslıdır. Bu özelliklerinden dolayı kirli göllerde diğer balık türlerine nazaran daha fazla çoğalabilirler. Ilık sularda yaşadıkları için yavaş ve

uyuşuk hareket ederler. Kışın beslenme olmadan çamur içerisinde kalırlar (Billard ve ark., 1997).

Kadife balığı, Uluslararası Doğal Hayatı ve Doğal Kaynakları Koruma Birliği (IUCN) tarafından nesli tükenme tehlikesi altında olan türlerin kırmızı listesinde “Asgari Endişe (LC)” olarak sınıflandırılmıştır (Freyhof ve Kottelat, 2008). Türkiye’de balıklandırıldığı bazı habitatlarda baskın hale gelmiştir. Ticari olarak daha değerli balık türleri ile besin rekabetine girmektedir (Balık ve ark., 2004b).

2.6. Balıklarda Ağır Metal Birikimi ve Analizi

Metaller erozyonla taşınan kaya parçalarıyla, rüzgarın taşıdığı tozlarla, volkanik aktivitelerle, ormanların yanmasıyla ve bitki örtüsüyle sulara taşınır. Kimyasal kirleticiler atmosfer yoluyla da önemli ölçüde sucul ortama karışır. Çünkü atmosferde bulunan bu elementler zamanla rüzgâr ve yağışlarla suya geçmekte ve sucul sistem üzerinde etkili olmaktadır (Tümen ve ark., 1992). Bu metaller daha sonra atmosferik etkilerle çözünerek yeryüzü ve yeraltı sularına geçmektedir. Önemli kirleticiler arasında bulunan bu ağır metaller sonuçta organizmalarda birikerek zararlı seviyelere ulaşmakta ve canlı hayatını tehdit etmektedir. Ağır metallerin sudaki konsantrasyonu ortamın pH değerinden etkilenir. Ortamın asidik olması durumunda ağır metaller daha çözünür durumda olacaklarından ortamda daha fazla tespit edilirler. Suyun pH’ının bazik olduğu durumlarda ise metallerin birleştikleri iyonlardan ayrılmaları zorlaşmaktadır (Kılıç ve Köseoğlu, 1996).

Canlı organizmalar Fe, Co, Zn, Cu, Mn, Cr, Mo, Se, Ni ve Sn gibi yan ve iz elementlere ihtiyaç duyarlar. Bunlar enzim aktivitesi için çok önemli olup, genellikle biyokimyasal işlemlerde proteinlerle birleşirler. Bunlar ya metaloproteinlerde olduğu gibi sıkı bağlı veya metal-protein bileşiklerinde olduğu gibi gevşek bağlıdır. Hemoglobin ve hemosiyanin gibi oksijen taşıyıcıları metaloproteinler olup Fe ve Cu ihtiva ederler (Taylan ve Özkoç, 2016). Biyolojik fonksiyona sahip metallerin yanında herhangi bir fonksiyonu olmayan metallerde vardır. Bunlara örnek olarak Cd, Hg, Ag, Pb ve As verilebilir. Vücut için esansiyel olan eser miktarlardaki

metaller metabolize edilebildiği halde esansiyel olmayanlar metabolize edilememektedir. Esansiyel olmayan bu ağır metaller ne parçalanarak zararları azaltılabilmekte ne de vücuttan atılabilmektedirler. Dolayısıyla bunlar metabolik fonksiyonda görev almadıklarından hücreler için toksiktirler (Ergönül ve Altındağ, 2011). Ağır metallere karşı biyolojik tolerans farklıdır. Biyolojik sistemlerde birçok element eser halde bulunduğundan bunları zararsız halde iletmek ve depolamak için gerekli mekanizmalar geliştirilmiştir. Bu gibi taşıma ve depolama işini çoğunlukla proteinler yapmaktadır. Cd, büyüme ve gelişme için gerekli olmadığı halde herhangi bir biyolojik sistemle karşılaştığında organizma için gerekli elementler olan Zn ve Cu gibi davranır. Burada Cd esansiyel iz elementlerinin metabolizmasını fonksiyonel olarak yerine getiren proteinlere bağlanarak karaciğer ve böbreklerde birikir (Çetin, ve ark., 2016). Ağır metallerin balıklardaki konsantrasyonu, balık türünün beslenme alışkanlığına ve vücuda alınan metale bağlı olup, doku ve organlar arasında farklılık göstermektedir. Genellikle karnivor balıklardaki ağır metal konsantrasyonu, herbivor balıklardaki konsantrasyondan daha yüksektir. Besin zincirinin üst basamaklarında bulunan balıklar besin yoluyla diğer canlılarda bulunan metalleri de alırlar. Böylece fazla biriken bu metaller akut veya kronik zehirlenmelere yol açarlar (Sorensen, 1991). Balıklar ağır metalleri vücut yüzeyinden, solungaçlardan ve sindirim sisteminden olmak üzere 3 yolla alırlar. Bunlardan en önemli olanı solungaçlardan absorpsiyondur. Ağır metallerin vücut yüzeyinden alınması ise oldukça azdır.

1. Solungaçlardan absorpsiyon: Balıklar, ağız yoluyla alınan sudaki oksijenin solungaçlardaki kılcal damarlardan geçmesi sırasında suda çözünmüş veya askıda bulunan materyalleri de alırlar. Bu sırada suda bulunan ağır metallerde solungaçlardaki lameller tarafından vücut içerisine alınır.

2. Sindirim sisteminden absorpsiyon: Balıklarda en çok zehirlenmeler ağız yoluyla alınan toksik maddelerle olmaktadır. Bu nedenle gastrointestinal absorpsiyon oldukça önemlidir. Sindirim kanalından absorbe olan toksik madde, kan dolaşımı yolu ile tüm vücuda dağılarak zehirlenmeye yol açabilir. Bu zehirlenme; zehrin türüne, şiddetine ve absorbe konsantrasyonuna bağlı olarak değişiklik gösterir. Ağız yoluyla vücuda giren toksik maddelerin absorpsiyonlarının fazla olduğu yer ince bağırsaklardır.

3. Deriden absorbsiyon: Deri genellikle toksik maddelerle temas halindedir. Ancak derinin ağır metallere karşı fazla geçirgen olmayışı nedeniyle canlıların bu yolla zehirlenmeleri daha az görülür. Deride epidermis bölgesinde bulunan stratum corneum tabakası epidermik bir bariyer olarak birçok kimyasal maddenin geçişini önlemektedir (Sorensen, 1991).

Balık dokuları suda ve sedimentte bulunan ağır metalleri alma ve biriktirme özelliğine sahip olduklarından ekosistem kirliliğini yansıtan biyolojik indikatörler olarak kullanılırlar. Ağır metallerin balıklardaki birikimi ve toksik etkisi suda bulunan oksijen miktarına, tuz miktarına, ışık miktarına, suyun sertliğine, suyun organik bileşimine, suyun PH değerine ve metal derişimine göre değişmektedir. Örneğin, suda artan kalsiyum konsantrasyonu; bakır, kadmiyum ve çinkonun alınmasını azaltır. Ayrıca balıkların türüne, mevsimsel değişmelere, vücut kütlesine, balığın cinsiyetine ve balığın üremesine göre de değişir (Çoğun, 2008). Balıklardaki ağır metal miktarı, balığın beslendiği besin türüne göre de çeşitlilik gösterir. Genel itibariyle karnivor balık türlerinde, herbivor türlere nazaran ağır metal birikiminin daha fazla olduğu görülür. Besin zincirinin üst trofik düzeyinde bulunan balıklar besin yoluyla daha alt basamaktaki canlılardan ağır metal alırlar. Bunun sonucunda vücutta biriken ağır metaller kronik ve akut zehirlenmelere neden olurlar (Haesloop ve Schirmer, 1985). Genelde en yüksek birikim karaciğerde en düşük birikim ise kas dokusunda görülmektedir (Kargın ve Erdem, 1992). Bunun en önemli nedeni ise genellikle ağır metallerin ölümcül olmayan konsantrasyonlarda balıkların metabolik olarak aktif olan organlarında daha fazla birikmesidir.

Balıklar, suda çözünmüş halde bulunan ağır metalleri aktif veya pasif yollarla vücutlarına alabilir ve bu ağır metaller balıkların vücutlarında birikir (Kurt, 2006). Toksik bir maddenin hücre membranlarından geçişi difüzyon ya da özel transport olmak üzere iki şekilde olur (Karadede, 2002). Kimyasal maddelerin hücre zarından geçişi, zarın iki yüzü arasındaki yoğunluk farkına bağlı olarak değişir. Difüzyonda moleküller çok yoğun olduğu ortamdan az yoğun olduğu ortama doğru geçiş yapar. Pasif transportta ise zarın iki yüzü arasındaki osmatik basınç farkından dolayı sıvı molekülleri ile birlikte küçük moleküllerde porlardan geçerler. Bu şekilde hücreye ağır metaller de taşınabilir (Karadede, 2002). Özel transportta ise hücre zarının dış

yüzeyinde bulunan maddeler integral veya taşıyıcı protein adı verilen özel bir proteinle kompleks bir yapı oluşturarak hücre içine alınır. Oluşan bu kompleks yapı zarın diğer tarafında bozularak taşıyıcı protein serbest kalır ve tekrar transport yapmak için geri döner. Kompleksten ayrılan madde hücre içine alınmış olur (Dökmeci, 1988). Balıkların kas dokusunda biriken metaller besin yolu ile insanlara geçmekte ve insan vücuduna giren oranlarına bağlı olarak çeşitli metabolizma bozukluklarına hatta ölümlere sebep olmaktadır (Kayhan ve ark., 2009). Solungaçlar balığın gaz değişim organıdır ve bu değişim sırasında filamentler yoğun olarak suda bulunan metallerle temas halindedir. Metaller sürekli anyon (negatif yüklü iyon) oluşturma eğilimindedir ve solungaçlarda solunum sırasında seçici geçirgen yapıdaki hücre zarında bulunan semipermeableteyi sağlayan katyonlara (pozitif yüklü metaller) bağlanarak hücre içine geçebilmektedir. Özellikle suda bulunan metallerin oranları ile yakın ilişki gösteren solungaç dokularındaki metal seviyeleri de bu tip çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Canbek ve ark., 2007; Javed ve ark. 2016; Wilson ve ark., 2017). Sudan veya sedimentten vücuda alınan ağır metaller boşaltım yolu ile vücuttan atılmaya çalışılır. Ancak, boşaltım işlemi bunun için yeterli değilse ağır metaller karaciğer ve böbrekte gibi aktif organlarda birikirler (Squadrone ve ark., 2013). Balıkların karaciğer dokusu ağır metallerin taşınmasında ve detoksifikasyonunda görev yapan metal bağlayıcı proteinler (metallothionein) ve buna benzer proteinlerin başlıca sentez yerlerinden biridir. Metallothionein, temel iyonların depolanmasında, hayati olmayan metallerin detoksifikasyonunda ve oksiradikallerin temizlenmesinde rol oynayan, katalitik olmayan peptitlerdir (Vergani, 2005). Ağır metalleri yüksek oranda biriktirdiğinden dolayı karaciğer dokusu ağır metallerin balıklardaki birikim çalışmalarında kullanılan önemli organlardan biridir (Kargın ve Erdem, 1991; Canlı ve Atlı, 2003; Öztürk vd., 2009; Uysal, et al., 2009; Abdel-Baki, et al., 2011).

Ağır metallerin toksik etkilerini birçok başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar: (Vural, 2005).

Enzim inhibisyonu: Metallerin birçoğu çok sayıda organ sistemini etkiler. Metallerin toksik etki yaptıkları yerler biyokimyasal işlemlerin yer aldığı hücre zarları ve organellerdir. Toksik etkisi yüksek olan metaller esas aminoasitlerin sülfidril, histidil

ya da karboksil gruplarına yüksek afinite gösterirler ve amino asitlerle etkileşim içerisine girerek enzimatik reaksiyonları inhibe ederler.

Esansiyel elementlerin yerini alma: Bazı metaller, metabolik açıdan benzedikleri elementlerin yerlerini alarak toksik etkiye neden olurlar. Kurşunun merkezi sinir sistemi üzerindeki etkisi buna örnek olarak verilebilir. Kurşun metabolizma açısından kalsiyuma benzerlik gösterir. Bu sayede “hem” metabolizmasını etkileyerek demir ve çinkonun yerini alabilir.

Proteinlerle birleşme: Bazı metaller proteinler ile birleşerek intersellüler birikmelerine rağmen herhangi bir hücre hasarına yol açmazlar. Metallerin proteinlerle kompleks oluşturması detoksikasyon ya da koruyucu bir mekanizmanın oluşmasını sağlar.

Metallerin oksidasyon basamağı ve bileşik şekli: Metallerin oksidasyon basamağı ve bileşik şekli metallerin toksisitelerini etkiler. Buna örnek olarak Cr^{+6} bileşiklerinin Cr^{+3} ’ten daha toksik olması ve bunun sonucunda organik yapıli metal bileşiklerin (alkil kursun ve alkil civa gibi) inorganik yapıli bileşiklere (kursun asetat ve civa-2-klorür gibi) göre daha fazla toksik olması örnek olarak verilebilir.

Dış faktörler: Toksik metallerin besin, endüstri ve çevre ile etkileşimi, esansiyel elementlerin organizmada bulunma (hücre, doku, organ, molekül) düzeyini etkileyebilir. Buna örnek vermek gerekirse çok aşırı miktarda çinkoya maruziyet sonucu bakır eksikliği görülür.

2.7. Balıklarda Histopatolojik İncelemelerin Önemi

Histopatoloji, özellikle insanlarda yabancı maddelerin yarattığı risk derecesini belirlemek amacıyla farelerle yapılan toksikoloji çalışmaları sonucunda saptanması zorunlu ve kullanışlı bir yöntem olarak belirlenmiştir (Wester ve Canton, 1991). Temeli toksik maddeye duyarlılık, hedef organ ve etki mekanizmasının şekline dayanır. Balıklarda yapılan toksikolojik çalışmalarda ise özellikle maddenin subletal konsantrasyonlarını belirlemek açısından histopatoloji önem taşımaktadır. Tüm diğer yöntemlerde olduğu gibi histopatolojinin de avantaj ve sınırları bulunmaktadır.

Toksikolojik çalışmalarda en sağlıklı yöntem, organizmada oluşabilecek tüm yanıtların çok yönlü (histopatolojik, hematolojik, biyokimyasal etkileri vb.) olarak değerlendirilmesidir. Ancak tüm bu işlemlerin yapılması zaman ve maliyet gerektirmektedir. Bunun için genellikle en uygun yöntemin seçilmesi çok önemlidir. Hayvan dokularındaki histopatolojik değişiklikler çevresel stres yapan etkenlere (stresörlere) maruz kalmanın öncelikli göstergeleridir (Teh ve ark., 1997).

2.7.1.Histopatolojinin avantaj ve sınırları

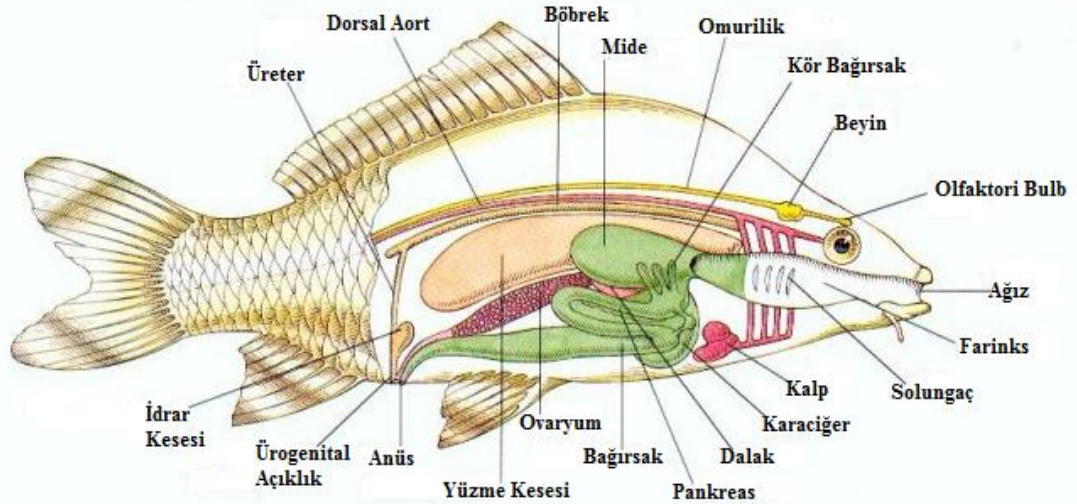
2.7.1.1. Histopatolojinin avantajları

Her ne kadar biyokimyasal, fizyolojik ve histopatolojik özelliklerin birlikte değerlendirilmesi daha uygunsa da histopatolojik değişiklikler ani değişimler olmadığı için daha gerçek sonuçları yansıtmaktadır. Histopatoloji organ sistemlerinin toplanma sonrası değerlendirilmesi ve spesifik hücre lezyon tiplerinin belirlenmesi diğer yöntemlere göre daha hızlıdır. Yani histopatolojik değişiklikler subletal stres yapan etkenlere (stresöre) ortalama yanıt olarak belirir ve histoloji özellikle kronik çalışmalarda değişik doku ve organlarda etkinin araştırılmasında en hızlı metottur. Kısaca hiçbir teknik histopatoloji kadar hızlı bir şekilde hasarın olduğu birçok bölgeden örnek almaya olanak tanımamaktadır. Kullanılan örneğin büyüklüğü (larva ya da anaç) ne olursa olsun maddenin etkilediği hedef organ ya da dokularda homojen değişiklikler görülmektedir (Hinton ve Lauren, 1990). Histopatoloji saha çalışmalarında da en uygun metot olarak karşımıza çıkmaktadır. Doğada kolay yakalanamayan ya da yetiştiriciliği yapılamayan türlerde yapılan çalışmalarda balığın ölüm sonrası incelenmesinden dolayı histolojik analiz biyokimyasal analize göre daha avantajlıdır. Diğer yöntemlerin aksine bir örneği histopatolojik olarak hemen incelemeniz gerekmemektedir. Uygun saklama yöntemi (Balıklarda Bouin's fiksativi ve nötral %10 formalin önerilmektedir.) kullanılarak inceleme daha sonra gerçekleştirip tüm organ sistemleri değerlendirebilmektedir (Teh ve ark., 1997).Biyokimyasal olarak değerlendirilemeyecek kadar küçük olan örneklerde dahi patoloji kolaylıkla kullanılabilir. Yumurta ve larvaların gözlenmesinde de önemlidir (Hinton ve Lauren, 1990).

2.7.1.2. Histopatolojinin sınırları

Eğer türün normal histolojik yapısı önceden bilinmiyorsa histopatolojik deneylerde hata olabilmektedir (Hinton ve Lauren, 1990). Histopatolojik çalışmanın gerçekleştirilmesinde örneğin öldürülmesi gerekmektedir (Teh ve ark., 1997). Bilindiği gibi balıklarda kimyasal kontaminantlara maruz kalma sonucunda değişik organlarda lezyonlar oluşmaktadır. Nekropsi (hayvanlara yapılan otopsi) sonucunda çoğunlukla tüm organlar incelenmektedir. Ancak histopatolojik çalışmalarda su ortamıyla ilişkisi dolayısıyla solungaç, böbrek, karaciğer ve deri kirliliğin etkisini saptamada kullanılan en uygun hedef organlardır. Bu organlar akuatik kirlilik için primer indikatörlerdir. Özellikle solungaçlar, su kalitesinin aynası olarak görülmektedir. Deri de solungaçlarla birlikte mevcut (potansiyel) maddelerle direkt temasın gerçekleştiği yüzeylerdir. Karaciğer metabolizmada kilit rol oynarken, böbrek ise balığın iç ortamı ile su-tuz dengesinin stabilizasyonu, atılımı ve ksenobiotik (organizmaya yabancı maddeler) metabolizma için önemlidir (Kaur ve Dua, 2014).

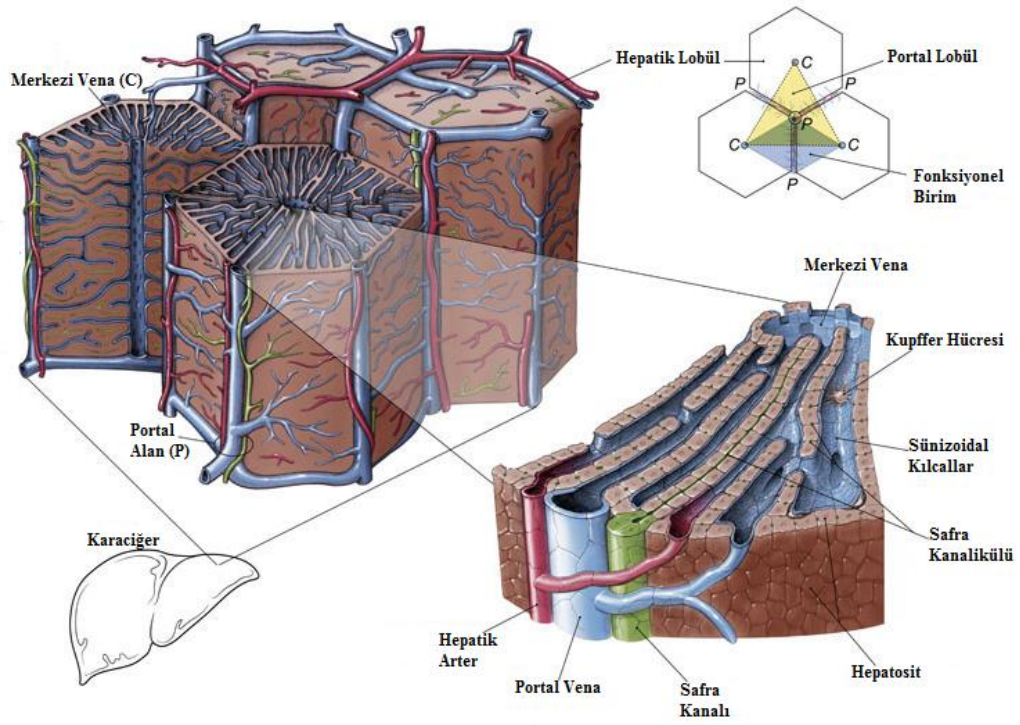
2.8. Kemikli Balıklarda Karaciğer ve Solungaç Dokularının Yapısı ve Önemi



Şekil 2.1. Kemikli balıkların genel anatomisi. (https://en.wikipedia.org/wiki/Fish_anatomy)

2.8.1. Kemikli balıklarda karaciğerin yapısı

Kemikli balıklarda vücut boşluğunun ön kısmında yer alan karaciğer, kırmızı kahverengi olup genellikle iki lobludur. Midenin üzerinde ve mideyi kısmen sararak uzanır (Şekil 2.1.) Safra kesesi karaciğerin içerisinde gömülü olarak bulunur. Karaciğerin her iki lobundan bir hepatik kanal (ductus hepaticus) çıkar ve safra kesesinden çıkan sistik kanal (ductus cyticus) ile birleşerek ana safra kanalını oluşturur (Demirsoy, 1988), (Demir, 1992). Karaciğer dıştan seröz bir membran ile çevrilmiştir. Kemikli balıklarda yüksek omurgalılardan farklı olarak, merkezi vena ihtiva eden lobüler yapı görülmez. Hepatik arter ile portal vena karaciğerlere girerler ve portal vena birçok kollara ayrılarak daha sonra sinüzoidleri meydana getirir. Sinüzoidlerin aralarında, paranşimayı oluşturan karaciğer hücreleri (hepatik hücreler), hücre kordonları teşkil edecek şekilde yerleşmişlerdir (Şekil 2.2.). Paranşim hücreleri poligonal hücreler olup yuvarlak çekirdekleri ve genellikle çekirdekçikleri vardır (Hibiya, 1982). Karaciğer hücrelerinden salgılanan safra, hücrelerin aralarındaki ince kanalcıklarla toplanarak daha büyük kanallara taşınırlar ve bu kanallar safra kanallarına açılırlar. Safra kanalları ile safra ana kanalının bağlandığı bölgede hepatik arteriol de bulunur. Karaciğer sinüzoidleri endotelial hücreler ile astarlanmıştır. Makrofajlar sinüzoidlere bitişik veya hepatositlerin aralarında bulunur. Bazı kemikli balıklarda karaciğer basit ve kompakt bir organ olarak bulunurken sazan (*Cyprinus sp.*), *Sillago japonica*, *Chrysophrys major*, *Heliochoeres poecilopterus*, *Stephanolepis cirrhifer* ve *Platycephalus indicus* gibi balık türlerinde pankreatik doku portal vena kolları boyunca karaciğere sarılmış durumdadır. Hepatik ve pankreatik dokunun birleştiği bu yapı “hepatopankreas” olarak adlandırılmaktadır (Hibiya, 1982), (Ferguson, 1989), (Roberts, 2001). Balık karaciğerinde hepatik kan akışı, kardiak kan akışına göre oransal olarak yavaş olduğundan toksik maddenin yarattığı hasarlara daha duyarlıdır (Benli, 2006).

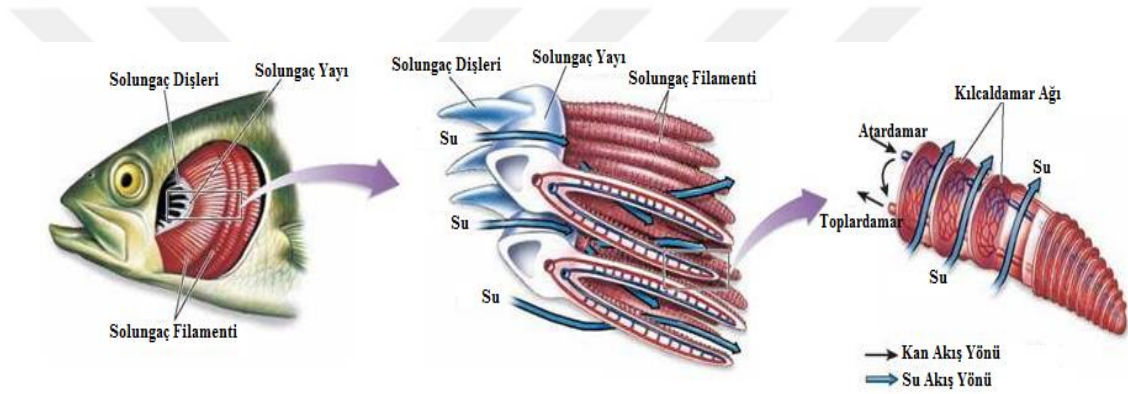


Şekil 2.2. Kemikli balıklarda karaciğerin yapısı. (<http://webders.net/ksenobiyyotiklerin-metabolizması>)

2.8.2. Kemikli balıklarda solungaç yapısı

Solungaçlar teleostlarda tipik olarak farenksin altında bulunan 4 çift holobranştan ibarettir. Her holobranşın, branşiyal yay ya da solungaç yayının posterior kenarında, iki hemibranş bulunur. Taze bir balık hemibranşı yakından incelendiğinde primer lamella adı verilen bir dizi uzun kalın filamentten oluşur. Yay üzerinde tarak dişleri görünümündedir (Şekil 2.3.). Primer lamellanın yüzey alanı, dorsal ve ventral yüzeyinde düzgün yarı yay benzeri (semi lunar) sekonder lamella olarak adlandırılan oluşumlar bulunmaktadır. Her primer lamella üzerinde dorsal ve ventral sıralar halinde sekonder lamellalar düzenlenmiştir, böylece bitişik filamentin lamella sıraları boşlukları tamamlamaktadır (Roberts, 2001). Solungaç lamellasının yüzeyi basit skamoz epitel hücrelerden ve yüzey boyunca paralel olan pillar hücrelerce ayrılmış birçok kapilerle kaplanmıştır. Pillar hücreler, kapilerlerden endotel hücrelerle ayrılır (Srivastava ve ark., 2014). Gaz değişimi sekonder lamella yüzeyinde meydana gelir. 9-10 µm aralıklarla dizilmiş pillar hücrelerle ayrılan bir kalın katman, destekleyici zarf gibi epitel hücrelerden oluşur. Pillar hücreler, amiplerde bulunan kontraktıl

(bükülebilir) protein benzeri sütunlar içerir. Kan, ventral aortadan direk olarak yüksek basınçla gelirse, kontraktıl elemanlar normal şartlar altında bu yüzeyleri genişleterek dayanmasına hizmet eder. Ayrıca pillar hücrelerin daralması, (bükülebilmesi) gaz değişim yüzeylerinde kan akış oranının kontrolünde kullanılır. Pillar hücreler 0.5-4 μm arasındadır (Roberts, 2001). Sekonder lamellanın bazı kısımlarında ve bazal epitelinde mukus hücreleri vardır. Klorit hücreler sekonder lamellanın tabanında yer alır. Asidofiliktir. Genellikle deniz balıklarında, tatlısu balıklarına oranla daha fazladır. Sekonder lamellalar parazit, fiziksel ya da kimyasal etkenler tarafından çabuk etkilenir ve patolojik değişiklikler çok kısa bir sürede oluşur (Hibiya, 1982).



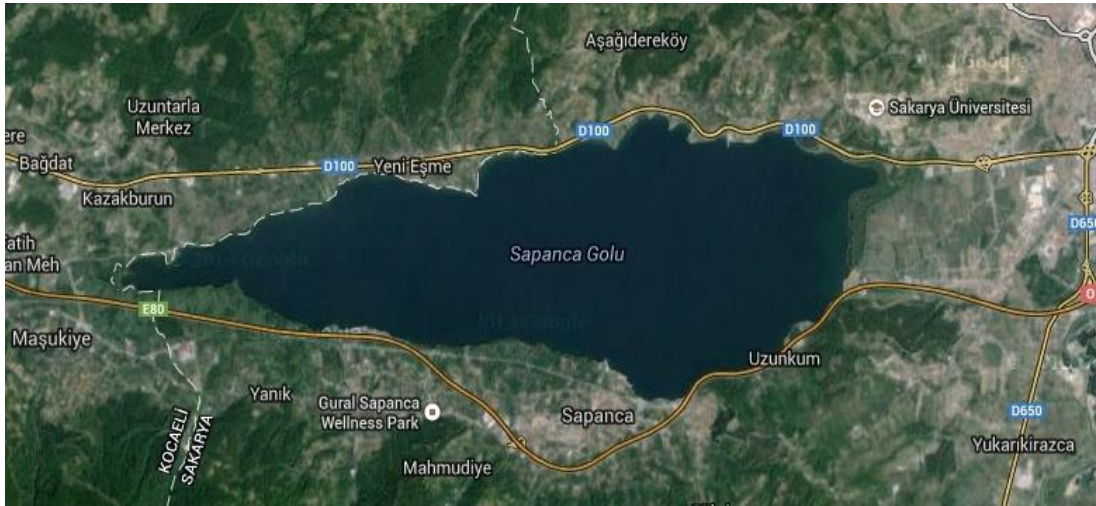
Şekil 2.3. Kemikli balıklarda solungaç yapısı. (<http://www.kln.ac.lk/science/depts/zoology/images>)

2.9. Sapanca Gölünün Coğrafi Konumu ve Gölün Özellikleri

Çalışma kapsamında incelenmesi planlanan Sapanca Gölü, Sakarya ve Kocaeli illerinin çevrelediği, deniz seviyesinden 30 m yükseklikteki, tektonik bir çukurda bulunan bir tatlısu gölüdür. Marmara Bölgesi içerisinde yer alan Sapanca Gölü, bölgenin en önemli tatlısu kaynaklarından birini oluşturmaktadır (Adasu, 2003).

çekilmektedir. Dolayısıyla göl, kendi kendini besleyemez hale gelmiştir. Sapanca gölü havzasında; mutlak, kısa, orta ve uzun mesafeli koruma alanlarındaki konutların kanalizasyon sistemlerinin olmamasından dolayı evsel atıkları fosseptiklere verilmektedir. Toprağa indirekt olarak sızan kirli sular, jeolojik yapı gereği sonuçta yeraltı ve yağmur suları ile tekrar göl suyuna karışmaktadır (Çakır, 2010).

Eskiden Marmara Denizi'ne bağlı olan ve Sakarya Nehri ile beslenen bir tatlısu gölüdür. Sakarya'nın taşıdığı sedimanlar gölü denizden ayırmış, bunun sonucunda nehirde yatağını değiştirerek Karadeniz'e akmaya başlamıştır. Gölün tek gideri Adapazarı'nın kuzeyinde Sakarya Nehri'ne karışan Çark Suyu'dur. Gölün bütünüyle tarım alanları, meyve bahçeleri ve büyük kavaklıklarla çevrilmiştir. Kıyılarda küçük sazlık alanlar vardır, ancak geniş bataklık bitki örtüsü sadece doğudadır. Gölün kuzey ve güneyinden büyük otoyollar ve bir demiryolu geçmektedir. Göl'ün çevresinde çok sayıda tarım arazisi bulunmaktadır. Meyve yetiştiriciliği, süs bitkisi yetiştiriciliği, alabalık üretimi yapılmasının yanı sıra gölün güney yamaçlarında kıyıya yakın alçak kesimde orman alanı büyük çapta tahrip görmüş, yerini maki benzeri topluluklara bırakmıştır. Kıyılarda küçük sazlık alanlar olmakla birlikte doğu bölgesinde geniş bataklık alanlar da mevcuttur.



Şekil 2.6. Sapanca Gölü'nün 2017 yılına ait uydu görüntüsü. (<https://www.google.com.tr/maps/place/Sapanca>)

Gölün çevresi 39 km uzunluğunda olup, bunun 26 km'lik kısmı Sakarya, 13 km'lik kısmı ise Kocaeli sınırları içerisinde yer almaktadır. Gölün uzun eksenini doğu-batı,

kısa eksenı güney-kuzey doğrultusundaır. Uzunluğu 16 km, maksimum genişliği ise 6 km'dir. Doğu ucu Sakarya Nehri'ne 5 km uzaklıktadır. Batı ucu ise İzmit Körfezi'ne 20 km uzaklıktadır. Gölün ortalama derinliği 31–33 m olmakla beraber maksimum derinliği 61 m'dir. Sapanca Gölü alanı yaklaşık 45,7 km², hacmi 1.322.067.000106 m³ ve deniz seviyesinden yüksekliği 32 metredir. Gölün en derin yeri Sapanca ile Aşağıdereköy arasında 53 m olup, deniz seviyesinden 23 m daha aşağıdadır.

1984 yılında tamamlanan bir taşkın kontrolü çalışması, gölün doğusunda 120 hektar alan bataklığı kurutmuştur. Son 30 yılda, güneybatı tarafındaki geniş subasar ormanlar tahrip edilerek, kavaklık ve mısır tarlalarına dnştrlmştur. Gl suyu tarımsal sulamada kullanılmamaktadır. Yüksek kalitedeki suyuyla tanınan gl bugün su toplama havzasında sayıları hızla artan endüstri tesislerinin, yerleşim birimlerinin ve tarım alanlarının arıtılmamış atıksularının yol atığı kirlilik sorunuyla karşı karşıyadır. Gl suyu çevredeki çeşitli endüstriyel tesisler tarafından da çekilmektedir.

Sakarya Büyükşehir Belediyesi ve evre iller için önemli içme suyu kaynağı olan Sapanca Gölü, endüstri suyu temini ve su ürünleri üretimi açısından da önemli bir su kaynağıdır. Gölün uzun dönemde kalite izleme noktası olarak DSİ tarafından Beşköprler istasyonu seçilmiştir. İçme suyu kaynağı olabilecek ham yüzey suları için geliştirilen standartlar esas alınarak yapılan değerlendirme sonucunda, ortofosfat ve kjeldahl azotu (organik azot ve amonyak azotunun toplamı) dışındaki tüm parametreler için elde edilen değerlerin %90 oranında, standartlarda (Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Standartları) verilen değerlerin altında kaldığı grlmştur (Adasu, 2003).

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Araştırma için, diğer balık türleri ile karşılaştırıldığında Sapanca Gölü'nde (Şekil 3.1.) yoğun olarak bulunan, ekonomik önemleri nedeniyle yoğun olarak avlanan ve beslenmealışkanlıkları nedeniyle çevresel kirleticilerin etkisini iyi temsil eden sazan (*Cyprinus carpio*) (Şekil 3.2.), yayın (*Silurus glanis*) (Şekil 3.3.), kıızıkanat (*Scardinius erythrophthalmus*) (Şekil 3.4.) ve kadife (*Tinca tinca*) (Şekil 3.5.) türleri kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında Ocak-Aralık 2015 aylarında Kırkpınar mevkiinden örneklerin toplanmıştır. Bu nedenle öncelikle Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Su Ürünleri Müdürlüğü'nden gerekli izinler alınmıştır. Profesyonel balıkçı yardımıyla Ocak ayından itibaren düzenli olarak balık numuneleri ağ ile yakalanıp göl suyu içerisinde canlı olarak Sakarya Üniversitesi Biyoloji Bölümü Histoloji ve Embriyoloji Laboratuvarına getirilmiştir. Balık örnekleri alındığı dönemlerde ayrıca su örnekleri alınarak kahverengi şişeler içerisinde, buz üzerinde laboratuvara taşındı.



Şekil 3.1. Sapanca Gölü'nün genel görünümü (Orijinal).

3.1.1. Sazan (*Cyprinus carpio*) Sistematikteki Yeri



Şekil 3.2. Sazan balığının genel görünümü (Orijinal).

Filum: Chordata

Subfilum: Vertebrata

Süperklasis: Osteichthyes

Klasis: Actinopterygii

Subklasis: Neopterygii

Infraklasis: Teleostei

Superordo: Acanthopterygii

Ordo: Cypriniformes

Familya: Cyprinidae

Genus: *Cyprinus*

Tür: *Cyprinus carpio* (Linneaus, 1758)

3.1.2. Yayın (*Silurus glanis*) Sistematikteki Yeri



Şekil 3.3. Yayın balığının genel görünümü (Orijinal).

Filum: Chordata

Subfilum: Vertebrata

Süperklasis: Osteichthyes

Klasis: Actinopterygii

Subklasis: Neopterygii

Infraklasis: Teleostei

Superordo: Acanthopterygii

Ordo: Siluriformes

Familya: Siluridae

Genus: *Silurus*

Tür: *Silurus glanis* (Linnaeus, 1758)

3.1.3. Kızılkanat (*Scardinius erythrophthalmus*) Sistematikteki Yeri



Şekil 3.4. Kızılkanat balığının genel görünümü (Orijinal).

Filum: Chordata

Subfilum: Vertebrata

Süperklasis: Osteichthyes

Klasis: Actinopterygii

Subklasis: Neopterygii

Infraklasis: Teleostei

Superordo: Acanthopterygii

Ordo: Cypriniformes

Familya: Cyprinidae

Genus: *Scardinius*

Tür: *Scardinius erythrophthalmus* (Linnaeus, 1758)

3.1.4. Kadife (*Tinca tinca*) Sistematikteki Yeri



Şekil 3.5. Kadife balığının genel görünümü (Orijinal).

Filum: Chordata

Subfilum: Vertebrata

Süperklasis: Osteichthyes

Klasis: Actinopterygii

Subklasis: Neopterygii

Infraklasis: Teleostei

Superordo: Acanthopterygii

Ordo: Cypriniformes

Familya: Cyprinidae

Genus: *Tinca*

Tür: *Tinca tinca* (Linnaeus, 1758)

3.2. Yöntem

3.2.1. Biyolojik parametrelerin incelenmesi

Yakalanarak laboratuvara getirilen balık örneklerinin, canlı ağırlıkları 0,1 g hassasiyetli dijital terazi ile tartıldı. Total boy ve baş-kuyruk arası (çatal) boyları milimetrik bölmeli cetvel yardımıyla ölçüldü.

Kondüsyon faktörü;

$$\frac{\text{vücut ağırlığı (g)}}{[\text{boy (cm)}]^3} \times 100 \quad \text{formülü kullanılarak hesaplandı.}$$

Laboratuvarda, ağırlıkları ve boyları ölçüldükten sonra kafalarına sert bir cisimle, şiddetli bir şekilde vurulmak suretiyle öldürülen balık örneklerinden kas, karaciğer ve solungaç dokuları alındı. Dokuların bir kısmı, histolojik analizler için nötral formaldehit içine konularak fiske edildi. Bir kısmı da ağır metal analizleri için yakalanış tarihi ve örnek numarası belirtilen bir etiket ile plastik kaplar içine konulduktan sonra çalışılacağı güne değin -20 °C derin dondurucuda saklandı. Biyokimyasal analizler için eppendorf içine alınan dokular ise, kurubuz ortamında deneylerin yapılacağı Marmara Üniversitesi Biyoloji Bölümü Zooloji Araştırma Laboratuvarına getirildi.

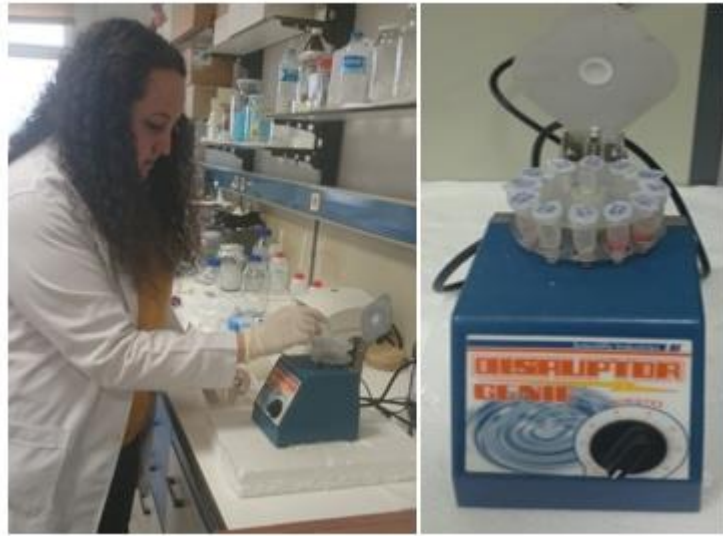
3.2.2. Biyokimyasal analizler

3.2.2.1. Doku homojenatının hazırlanması

Homojenizasyon amacı ile dondurucudan alınan dokuların buz üzerinde çözünmesi sağlandı. Kas, karaciğer ve kas örneklerinin homojenizasyonu amacıyla tartılan dokular, %10 (w/v) oranda soğutulmuş homojenat tamponu ile eppendorf tüplerine

alınarak, cam boncuklar yardımı ile homojenizatörde parçalandı (Şekil 3.6.). Çalışmaların tüm aşamalarında örnekler buz içerisinde korundu. Homojenat 4 °C’de 10000 rpm devirde 20 dakika süre ile santrifüj edildi. Santrifüj sonrası süpernatant kısmı alınarak, pellet kısmı atıldı.

Homojenat tamponu: 0.356 g sodyum fosfat ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 8.25 g sakkaroz bir miktar destile suda çözüldü. pH=8’e ayarlanıp toplam hacim 100 mL’ye tamamlandı



Şekil 3.6. Dokuların homojenize edilmesi.

3.2.2.2. Dokularda total protein tayini

Coomassie Brilliant Blue G-250 boyası ile proteinlerin boyanarak 595 nm’de absorbansta ölçümlerin yapılması ilkesine dayanmaktadır (Bradford,1976).

Protein Ölçümü Yapmak için Gerekli Çözeltiler:

- % 10 mg albümin stok çözeltisi: 10 mg albümine 100 mL distile su eklendi.
- Protein standart çözeltileri: Stok çözeltiden sırası ile 20 µg, 40 µg, 60 µg, 80 µg albumin ihtiva edecek şekilde distile su ile seyreltilerek hazırlandı.
- Bradford reaktifi: Ticari olarak temin edildi.

Deneyin Yapılışı: Her bir deney tüpü; numune, standart 1, standart 2, standart 3, standart 4 ve kör olacak şekilde işaretlendi ve çalışma Tablo 3.1.'de belirtilen miktarlara göre yapıldı.

Tablo 3.1. Bradford yöntemi ile protein tayininde kullanılan çözeltiler ve hacimleri.

	Numune	Standart 1	Standart 2	Standart 3	Standart 4	Kör
Albumin (% 10mg)	–	20 µL	40 µL	60 µL	80 µL	–
Doku Homojenatı	25 µL	–	–	–	–	–
Distile su	775 µL	780 µL	760 µL	740 µL	720 µL	800 µL
Vortekste karıştırıldı.						
Bradford reaktifi	200 µL	200 µL	200 µL	200 µL	200 µL	200 µL

Hazırlanan çözeltiler vorteks yardımı ile karıştırıldı ve oda sıcaklığında 15 dakika inkübasyona bırakıldı. Daha sonra 595 nm dalga boyunda köre karşı absorbanslar kaydedildi.

Protein Örneklerinin Konsantrasyonlarının Hesaplanması: Protein miktarı standart grafiğe göre hesaplandı.



Şekil 3.7. Standartların renk göstergesi (En sağdaki tüp kör tüpüdür).

3.2.2.3. Dokularda lipid peroksidasyonu tayini

Lipid peroksidasyonu ürünü olan MDA ile tiyobarbitürik asit (TBA) arasındaki reaksiyon sonucu oluşan pembe rengin absorbansının spektrofotometre ile değerlendirilmesi prensibine dayanmaktadır (Ledwozyv, 1986).

MDA Tayini Yapmak için Gerekli Çözeltiler:

- TBA çözeltisi (0047 M) : 500 mg TBA ile 6 mL 1 M lık NaOH ile karıştırıldı ve üzerine 69 mL distile su ilave edildi.
- NaOH (1 M) : 4 gram NaOH tartıldı ve 100 mL distile su ile karıştırıldı.
- Triklorasetik asit (TCA) çözeltisi (1.22 M, 0.6 M HCl'deki): 20 mL TCA (%100 TCA) ile 5 mL HCl (% 37 lik, d=1.19 g/dl lik HCl) karıştırıldı ve hacmi distile su ile 100 mL ye tamamlandı.
- n-butanol: Ticari olarak temin edildi.

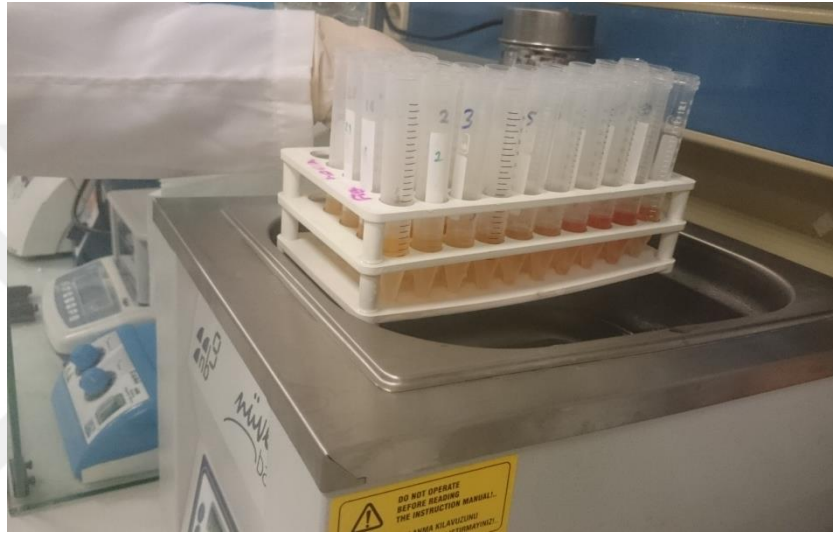
Deneyin Yapılışı: Deney tüpleri numune ve kör olarak işaretlendi ve çalışma Tablo 2.2.'de belirtilen miktarlara göre yapıldı.

Tablo 3.2. Ledwozyw yöntemi ile MDA tayini.

	Numune	Kör
Doku homojenatı	0.25 mL	—
Distile su	—	0.25 mL
TCA	1.25 mL	1.25 mL
Vortekste karıştırıldı ve 15 dk bekletildi		
TBA	0.75 mL	0.75 mL
Vorteks ile karıştırıldı ve 30 dk 95 °C'lik su banyosunda inkübe edildi (Şekil 3.8.).		
n-Butanol	2 mL	2 mL

Hazırlanan çözeltiler vorteks yardımıyla karıştırıldı ve 10 dakika 3000 rpm’de santrifüj edildi (Şekil 3.9.). Butanol fazı alınarak 532 nm’de dalga boyunda köre karşı absorbanslar kaydedildi.

MDA Miktarının Hesaplanması: Doku homojenatında lipit peroksidaz düzeyleri malondialdehit için oluşturulmuş ekstinksiyon kat sayısı ($1,56 \cdot 10^5 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) kullanılarak nmol MDA/ mg protein olarak hesaplandı.



Şekil 3.8. Lipid peroksidasyonu için dokuların 95 °C de inkübasyonu.



Şekil 3.9. Lipid peroksidasyonu için örneklere bütanoleklenmesi ve santrifüj edilmesi.

3.2.2.4. Dokularda total glutatyon tayini

Total glutatyon (GSH) seviyesini ölçmek için elmann ayıracı, 5-5' ditiyobis 1-2 nitro benzoik asid (DTNB) ile sülfidril gruplarının reaksiyonu sonucu oluşan ürünün spektrofotometrik olarak değerlendirilmesi prensibine dayanmaktadır (Beutler,1975).

GSH Tayini Yapmak için Gerekli Çözeltiler:

- Sodyum sitrat çözeltisi (% 1) : 1 g sodyum sitrat tartıldı ve distile su ile hacmi 100 mL'ye tamamlandı.
- Elmann ayıracı (% 40 DTNB) : 40 mg DTNB (5-5' ditiyobis 1-2 nitrobenzoik asit) tartıldı hacmi % 1'lık sodyum sitrat çözeltisi ile 100 mL'ye tamamlandı.
- Proteinsizleştirme çözeltisi: 1.67 g metafosforik asit, 0.2 g etilen diamin tetra asetik asit sodyum tuzu (EDTA-Na), 30 g sodyum klorür 100 mL distile su ile karıştırıldı.
- Disodyum fosfat (Na_2HPO_4) çözeltisi (0.3 M) : 4.26 gram Na_2HPO_4 (veya 5.34 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 100 mL distile su ile karıştırıldı.

Deneyin Yapılışı: Deney tüpüne 0.2 mL doku homojenatı konuldu ve vorteks yardımı ile karıştırıldı. Üzerine 0.3 mL proteinsizleştirme çözeltisinden ilave edildi ve vorteks yardımı ile karıştırıldı 5 dk. oda sıcaklığında inkübasyona bırakıldıktan sonra 4000 rpm'de 10 dakika santrifüj edildi (Şekil 3.10.). Süpernatant alındı ve çökelti atıldı.

İki deney tüpü numune ve kör olarak işaretlendi çalışma Tablo 3.3.'te belirtilen miktarlara göre yapıldı.

Tablo 3.3. Beutler yöntemi ile GSH tayini.

	Numune	Kör
Distile su	—	0.2 mL
Doku Homojenatı	0.2 mL	—
Na_2HPO_4	0.8 mL	0.8 mL
Elmann ayıracı	0.1 mL	0.1 mL

Hazırlanan çözeltiler vorteks yardımıyla karıştırıldı ve oda sıcaklığında 5 dakika bekletildi. Köre karşı 412 nm dalga boyundaki absorbanslar kaydedildi.

GSH Miktarının Hesaplanması: GSH miktarı, seyreltme faktörü ve oluşan ürünün 412 nm dalga boyundaki ekstinksiyon katsayısı ($13600 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$) kullanılarak GSH $\mu\text{g}/\text{mg}$ protein türünden hesaplandı.



Şekil 3.10. GSH miktarının belirlenmesi için yapılan santrifüj aşaması.

3.2.2.5. Dokularda katalaz aktivitesi tayini

Katalaz enzimi; hidrojen peroksitin, suya dönüşümünü katalizler. Bu dönüşüm 240 nm'de absorbans seviyesinin azalması ile takip edilmektedir. 1 dakika sonrasındaki absorbanstaki azalma seviyesi katalaz aktivitesi ile ilgilidir (Aebi, 1974).

Katalaz Aktivitesi Tayini İçin Gerekli Çözeltiler:

- Fosfat tamponu (50 mM, pH=7,0): a) 6.81 g KH_2PO_4 ve b) 8.90 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ tartıldı ve distile su ile 1000 mL'ye tamamlandı. Deney yapılmadan önce a'dan 1 hacim b'den 1,5 hacim alınarak pH=7,0 olacak şekilde karışım hazırlandı.
- H_2O_2 çözeltisi (30 mM) + Fosfat tamponu: Yoğunluğu 1.11 g/mL olan % 30 hidrojen peroksit çözeltisinden 0.31 mL alındı ve 50 mM'lık fosfat tamponu (pH=7,0) ile 100 mL'ye seyreltildi.

Katalaz Aktivite Deneyinin Yapılışı: Hücre homojenatı 10 dakika 4000 rpm’de santrifüj edildi. Sıvı olan üst bölüm alındı ve 1/10, 1/20 veya 1/50 oranında seyreltilerek çalışıldı. İki deney tüpü numune ve kör olarak işaretlendi çalışma Tablo 3.4.’te belirtilen miktarlara göre yapıldı.

Tablo 3.4. Aebi yöntemi ile katalaz enzim aktivite tayininde kullanılan çözeltiler ve hacimleri.

	Numune	Kör
Fosfat tamponu	–	0.2 mL
Doku Homojenatı	0.4 mL	0.4 mL
H ₂ O ₂ çözeltisi + fosfat tamponu	0.2 mL	–

Hazırlanan çözeltiler karıştırıldı ve 1 dakika sonra 240 nm dalga boyundaki absorbansları okunarak kaydedildi.

Hesaplama: Katalaz enzim aktivitesi bu çalışma için tespit edilmiş ekstinksiyon katsayısı 0,004 (0,00394) mM⁻¹ mm⁻¹ kullanılarak ve seyreltme kat sayıları dikkate alınarak U/mg protein dk cinsinden hesaplandı.

3.2.3. Histolojik analizler

3.2.3.1. Fiksasyon

Solungaç ve karaciğer dokularının genel fiksasyonu için Nötral Formaldehit kullanıldı. Yalnız solungaç dokuları daha sonrasında 1 gece Bouin çözeltisinde fiske edildi (Tablo 3.5.).

Tablo 3.5. Işık mikroskobu için fiksasyon (tespit) uygulaması.

Çözelti Adı	Çözeltinin İçerdiği Maddeler	Madde Miktarı	Uygulama Süresi
Nötral Formaldehit	%40 Formaldehit	100 mL	7-10 gün
	Distile Su	900 mL	
	NaH ₂ PO ₄	4 g	
	Na ₂ HPO ₄	6,5 g	
Bouin	Suda Doymuş Pikrik Asit	75 mL	2-24 saat
		25 mL	
	%40 Formaldehit	5 mL	
	Glisiyal Asetik Asit		

3.2.3.2. Dehidratasyon

Solungaç ve karaciğer dokularının dehidratasyonu için dokular alkol serilerinden Tablo 3.6.'da verilen sıra ve süre ile bekletildi.

Tablo 3.6. Işık mikroskobu için dehidratasyon uygulaması.

Çözelti Adı	Çözeltinin İçerdiği Maddeler	Madde Miktarı	Uygulama Süresi
%70 Alkol	Etanol	70 mL	12-24 saat
	Distile su	30 mL	
%80 Alkol	Etanol	80 mL	12-24 saat
	Distile su	20 mL	
%95 Alkol	Etanol	95 mL	12-24 saat
	Distile su	5 mL	
%100 Alkol	Etanol	100 mL	12-24 saat

3.2.3.3. Şeffaflaştırma ve parafine gömme

Solungaç ve karaciğer dokularındaki su, yükselen alkol seviyeleriyle uzaklaştırıldıktan sonra, parafin çözücü bir sıvı olan ksilol ile 2 kere 12-24 saat muamele edilerek şeffaflaştırma işlemi uygulandı. Böylece dokudaki alkol ortamdan

uzaklaştırıldı. Hemen ardından dokular sıvı parafin içerisine kesit alma düzlemine göre gömüldü (Şekil 3.11.).



Şekil 3.11. Parafin blokların hazırlanması.

3.2.3.4. Kesit alma

Parafin blok içerisine gömülmüş olan solungaç ve karaciğer dokuları Leica marka döner mikrotom ile 5 μ m kalınlığında kesitler alındı (Şekil 3.12.). Alınan kesitler su banyosuna atılarak üzerine albumin mayer sürülmüş lamlara alındı ve 1 gece kuruyup lam üzerine yapışması beklendi.



Şekil 3.12. Mikrotom ile parafin bloklardan kesit alınması.

3.2.3.5. Boyama ve inceleme

Kesit alınan dokular Tablo 3.7.'de verilen protokele uygun olarak Hematoksilen & Eosin boyama yöntemi ile boyanmıştır (Şekil 3.13.).

Daha sonra ışık mikroskobu ile görüntülenerek fotoğraflanmıştır.

Tablo 3.7. Işık mikroskobu için Hematoksilen-Eozin boyama yöntemi.

1. Parafinden kurtarma	
Ksilol	2x3 dk.
2. Hidratasyon	
% 100 Etanol	3 dk.
% 90 Etanol	30 sn.
% 70 Etanol	30 sn.
3. Akarsu altında	30 sn.
4. Hematoksilen	1 dk.
5. Distile su	4 dk.
6. % 95 Etanol	30 sn.
7. % 95 Etanol	30 sn.
8. Eozin	1 dk.
9. % 100 Etanol	2x1,5 dk.
10. Ksilol	45 sn.
11. Entellan ile kapama	



Şekil 3.13. Hazırlanan preparatların boyanması.

3.2.4. Ağır metal analizi

3.2.4.1. ICP-OES çalışma prensibi

İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy) (ICP-OES) cihazının çalışma prensibi plazma enerjisi analiz edilecek olan örneğe verildiğinde elementlerin atomlarının ve iyonlarının uyarılması üzerine kurulmuştur. Uyarılan atomlar daha düşük enerji seviyelerine geri döndüklerinde, yayınan ışınlar serbest bırakılır ve foton dalga boylarına tekabül eden bu emisyon ışınları ölçülür. Element türü foton ışınlarının durumuna göre belirlenir, element içerikleri ise ışınların yoğunluğu temel alınarak bulunur. Plazmayı oluşturmak için, öncelikle argon gazı hamlaç (torç) bobinine verilir, daha sonra ise yüksek frekanslı elektrik akımı hamlacın uç kısmında olan bobine uygulanır. Yüksek frekans akımı ile hamlaç tüpünde oluşturulan elektromanyetik alan, argon gazını iyonlaştırır ve plazmayı oluşturur. Bu plazma yüksek elektron yoğunluğuna ve sıcaklığa (10000 K) sahiptir ve bu enerji örneğin soğurma ve yayınma işlemlerinde kullanılır. Çözelti örnekleri hamlacın merkezindeki dar bir tüp vasıtasıyla atomlaştırılmak üzere plazmaya sokulur (Caner, 2015).

Tablo 3.8. ICP-OES çalışma koşulları.

Cihaz	SPECTRO ARCOS
Görüş yüksekliği	12 mm
Dalgaboyu	nm
Replikasyon	3
RF	1400W
Plazma gaz akışı	15.0 L/dk
Yardımcı gaz akışı	1.0 L/dk
Pompa hızı	30 rpm

3.2.4.2. Ağır metal analizi

Ağır metal analizleri Sakarya Üniversitesi Kimya Bölümü Analitik Kimya Laboratuvarında yapıldı. Yakalanış tarihi ve örnek numarası belirtilen bir etiket ile plastik kaplar içine konulduktan sonra -20 °C derin dondurucuda saklanan örnekler, sıcaklık kontrol programı ile donanımlı Milestone Start D (İtalya) marka mikrodalga fırında nitrik asit (HNO_3) ile birlikte yaş yakmaya tabi tutuldu. Bunun için her bir örnek ve duplikasyonu ayrı ayrı 1,5 g (yaş ağırlık) olacak şekilde Radwag marka hassas terazide tartıldı. Tartım işlemlerinin ardından mikrodalga çözündürme için özel olan önce %10'luk HNO_3 ile yıkanmış ve sonrasında ultra saf su ile tekrar tekrar durulanmış yüksek basınçlı teflon kaplara konularak, üzerine 20 mL % 65'lik HNO_3 eklenerek cihaza yerleştirildi. Teflon bombalara konulan karışımlar mikrodalga fırında, 200°C/10 dk, 200°C/5dk, 220°C/5dk, 220°C/5dk (sıcaklık/zaman) takip eden sıra ile ısıtıldı. Oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra, bu çözeltiler balon jöjeler içine alındı. Metal konsantrasyonları İndüktif Eşleşmiş Plazma - Optik Emisyon Spektrometresi(ICP-OES; Spectro Arcos, Almanya) ile belirlendi. Standart olarak High Purity- ICP- 200-7-5 marka ICP-OES multielement standartı kullanıldı. Kahverengi şişelerde alınan su örneklerindeki ağır metal analizleri ise %10 oranda % 65'lik HNO_3 eklenerek ICP-OES ile belirlendi.



Şekil 3.14. Dokuların ağır metal analizine hazırlanması ve ölçümü.

3.2.5. İstatistiksel değerlendirme

İstatistiksel analizler IBM SPSS Statistic 23 bilgisayar programı kullanılarak yapıldı. Çalışma bulguları ortalama±standart hata (SH) şeklinde ifade edildi. İki grup arasındaki karşılaştırmalar parametrik Student's t testi ve eşit olmayan varyanslarda nonparametrik Mann-Whitney U testi ile, ikiden fazla grup arasındaki karşılaştırmalar ise tek yönlü ANOVA; istatistiki olarak anlamlı sonuçlarda ANOVA'yı takiben gruplar arası anlamlı farkı karşılaştırmak için Tukey's post hoc test yapıldı. Tüm istatistikî karşılaştırmalarda anlamlılık düzeyi $p<005$ den küçük olanlar anlamlı olarak kabul edildi.



BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan çalışma Sapanca gölündeki ağır metal kirliliğinin balıklar üzerinde yarattığı toksik etkilerin biyokimyasal ve histolojik açıdan belirlenmesine yönelik olduğu için, gölün Kırkpınar mevkiinden 2015 yılının her ayında profesyonel balıkçı yardımıyla balık ve su örnekleri alındı. Ancak istenilen balık türlerinin yaşam alanlarının farklı olması, yumurtlama zamanlarının farklı olması dolayısıyla her tür balık her ay elde edilememiştir. Göl suyu örneklerindeki ağır metal miktarları belirlendikten sonra, balıkların kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki ağır metal miktarları arasındaki ilişki belirlenmiştir. Ayrıca dokularda biyokimyasal ve histolojik parametreler belirlenerek, elde edilen ağır metal miktarları ile arasındaki ilişki değerlendirilmiştir.

4.1. Suda Ağır Metal Miktarları

Sapanca Gölü'nden alınan su örneklerindeki ve referans olarak kullanılan NWKEJIM-02'deki metal (Cu, Fe, Zn, Pb ve Cd) konsantrasyon değerleri Tablo 4.1.'de gösterilmiştir. Buna göre;

- Cu en yüksek aralık ayında $22,25 \pm 1,7 \mu\text{gL}^{-1}$, en düşük ocak ayında $15,4 \pm 3,72 \mu\text{gL}^{-1}$;
- Fe en yüksek ocak ayında $360,8 \pm 24 \mu\text{gL}^{-1}$, en düşük temmuz ayında $12,84 \pm 2,9 \mu\text{gL}^{-1}$;
- Zn en yüksek kasım ayında $108,8 \pm 21,3 \mu\text{gL}^{-1}$, en düşük haziran ayında $16,17 \pm 3,2 \mu\text{gL}^{-1}$;
- Pb en yüksek mart ayında $43,34 \pm 9,6 \mu\text{gL}^{-1}$, en düşük ocak ayında $18,4 \pm 1,5 \mu\text{gL}^{-1}$;
- Cd ise en yüksek mart ayında $3,023 \pm 0,72 \mu\text{gL}^{-1}$, en düşük ocak ayında $1,89 \pm 0,40 \mu\text{gL}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Cu değeri referans olarak kullanılan NWKEJIM-02 ile karşılaştırıldığında ocak, mart, nisan, mayıs ve haziran aylarında önemli bir azalma ($p<0,05$); ağustos, eylül, ekim, kasım ve aralık aylarında önemli bir artma ($p<0,05$) göstermiştir.

Fe değeri ocak ve mart aylarında önemli bir artma ($p<0,01$), diğer aylar ise önemli bir azalma ($p<0,05$) göstermiştir.

Zn değeri ocak, mart, nisan, ağustos, eylül, ekim, kasım ve aralık aylarında oldukça önemli artma ($p<0,01$), haziran ayında önemli bir azalma ($p<0,05$) gösterirken diğer aylarda istatistiksel olarak önemli ($p>0,05$) bir değişim gözlenmemiştir.

Pb değeri mart, ekim, kasım ve aralık aylarında önemli bir artma ($p<0,05$), ocak ayında önemli bir azalma ($p<0,05$), gösterirken diğer aylarda istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) bir değişim gözlenmemiştir.

Cd değeri mart ve nisan aylarında önemli bir artma ($p<0,05$), ocak ayında önemli bir azalma ($p<0,05$), gösterirken diğer aylarda istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) bir değişim gözlenmemiştir.

Tablo 4. 1. Sapanca Gölü suyunda ağır metal sonuçları ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

Aylar	Cu (μgL^{-1})	Fe (μgL^{-1})	Zn (μgL^{-1})	Pb (μgL^{-1})	Cd (μgL^{-1})
Ocak	15,40±3,72 ^b	360,80±24 ^a	90,80±18,69	18,40±1,50 ^b	1,89±0,40 ^b
Mart	17,89±2,80	303,01±11,37	73,121±12,39	43,34±9,6 ^a	3,023±0,72 ^a
Nisan	16,21±3,4	41,41±5,4	34,92±5,7	39,14±11,2	3,011±1,04
Mayıs	16,82±5,78	27,13±4,3	18,93±3,9	40,7±10,3	2,694±0,47
Haziran	16,27±1,2	21,74±3,75	16,17±3,2 ^b	39,26±2,46	2,66±0,08
Temmuz	18,41±1,37	12,84±2,9 ^b	20,36±1,9	40,45±6,42	2,70±0,9
Ağustos	20,46±1,1	68,73±5,8	22,85±2	39,15±7,6	2,84±0,42
Eylül	20,83±4,32	67,31±14,7	57,67±8,45	40,35±13,7	2,75±0,09
Ekim	20,2±1,4	61,94±6,7	60,29±15,3	42,4±9,36	2,94±0,51
Kasım	22,17±6,15	63,75±9,1	108,8±21,3 ^a	43,06±11,2	2,88±0,64
Aralık	22,25±1,7 ^a	45,44±2,7	82,95±11,7	43,22±7,65	2,94±0,7
NWKEJIM-02	18,78±0,4	119,3±8,5	19,63±2,84	38,19±0,59	2,6195±0,06

a:Maksimum Değer, b:Minimum Değer

Sapanca Gölü su kalitesi, SKKY (2004)'ye göre değerlendirildiğinde Cu açısından ilk altı ay I. Sınıf, diğer aylarda II. Sınıf su kalitesine; Fe açısından I. Sınıf; Zn açısından I. Sınıf; Pb açısından III. Sınıf; Cd açısından II. Sınıf su kalitesine girmektedir. Genel olarak sudaki ağır metal konsantrasyonları $Fe > Zn > Pb > Cu > Cd$ olarak belirlenmiştir.

4.2. Sazan Balığı (*Cyprinus carpio*) İle İlgili Bulgular

Sapanca Gölü'nde olası su kirliliğinin, balık dokularındaki ağır metal birikimi ve dokuların biyokimyası ve histolojisi üzerine etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada 2015 yılının her ayında özel izinle çıkılan avlanmada yalnızca şubat ayında sazan balığı elde edilememiştir. Diğer aylarda yakalanan sazan balıklarının parametrik bulguları; kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki Cu, Fe, Zn, Pb ve Cd miktarları; total protein, lipid peroksidasyonu, total glutatyon seviyeleri ve katalaz enzim aktivitesi; karaciğer ve solungaç dokularının histopatolojisi incelenmiştir

4.2.1. Parametrik bulgular

Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının parametrik bulguları Tablo 4.2.'de verilmiştir. 2015 yılının her ayında özel izinle çıkılan avlanmada toplam 41 adet canlı sazan balığı yakalanmıştır. Toplam olarak 25 adet erkek birey, 16 adet dişi birey yakalanmıştır. En fazla sazan mart ve mayıs aylarında 6'sar adet yakalanmıştır.

Ortalama ağırlık olarak en yüksek bireyler ekim ayında $2897,6 \pm 162,54$ g, en düşük bireyler ocak ayında $282 \pm 48,2$ g olarak belirlenmiştir.

Ortalama olarak total boy, en yüksek nisan ayında $73,2 \pm 0,20$ cm, en düşük ocak ayında $27 \pm 1,73$ cm; çatal boy ise en yüksek nisan ayında $70,75 \pm 0,25$ cm, en düşük ocak ayında $24,3 \pm 1,20$ cm olarak belirlenmiştir.

Kondüsyon faktörü en yüksek ekim ayında $1,915 \pm 0,094$, en düşük nisan ayında $0,690922 \pm 0,00056$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.2. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının parametrik bulguları. Sonuçlar ortalama $\pm$ standart hata (SH), minimum-maksimum olarak verilmiştir.

Aylar	n sayısı cinsiyet	Ağırlık ($\pm$ SH) (min.-max., g)	Total Boy ($\pm$ SH) (min.-max., cm)	Çatal Boy ($\pm$ SH) (min.-max., cm)	Kondüsyon Faktörü ($\pm$ SH) (min.-max.)
Ocak	3 (2 ♂ + 1 ♀)	$282 \pm 48,2^b$ (200-367)	$27 \pm 1,73^b$ (24-30)	$24,3 \pm 1,2^b$ (22-26)	$1,41 \pm 0,026$ (1.35-1.44)
Mart	6 (4 ♂ + 2 ♀)	$623,8 \pm 77,96$ (445-950)	$33,83 \pm 1,3$ (30-39)	$31,9 \pm 0,63$ (29,5-34)	$1,57 \pm 0,057$ (1,37-1,78)
Nisan	2 (2 ♂)	2710 ± 20 (2690-2730)	$73,2 \pm 0,2^a$ (73-73,4)	$70,75 \pm 0,25^a$ (70,5-71)	$0,690922 \pm 0,00056^b$ (0,690358-0,691486)
Mayıs	6 (4 ♂ + 2 ♀)	$1192,6 \pm 269,2$ (188-1884)	$40,25 \pm 4,48$ (25-55)	$36,75 \pm 4,34$ (21-50,5)	$1,73 \pm 0,34$ (1,089-3,36)
Haziran	3 (2 ♂ + 1 ♀)	$455,66 \pm 92,4$ (270-671)	$28,83 \pm 1,92$ (26-32,5)	$27 \pm 2,08$ (24-31)	$1,81 \pm 0,052$ (1,536-1,954)
Temmuz	3 (1 ♂ + 2 ♀)	$1187 \pm 137,99$ (949-1427)	$43,3 \pm 2,18$ (39-46)	$41,16 \pm 2,08$ (37-43,5)	$1,455 \pm 0,086$ (1,3-1,59)
Ağustos	3 (2 ♂ + 1 ♀)	$2328 \pm 467,13$ (987-4232)	$53 \pm 8,326$ (41-69)	$51,16 \pm 8,207$ (39,5-67)	$1,4 \pm 0,062$ (1,28-1,5)
Eylül	3 (3 ♂)	$2133 \pm 290,5$ (1600-2600)	$50,3 \pm 1,85$ (48-54)	47 ± 2 (45-51)	$1,65 \pm 0,122$ (1,44-1,86)
Ekim	3 (1 ♂ + 2 ♀)	$2897,6 \pm 162,54^a$ (2643-3200)	$53,3 \pm 1,85$ (57-51)	$50,3 \pm 1,33$ (49-53)	$1,915 \pm 0,094^a$ (1,72- 2,02)
Kasım	5 (2 ♂ + 3 ♀)	$562,8 \pm 81,7$ (322- 759)	$33 \pm 1,51$ (28- 36)	$30,9 \pm 1,57$ (26- 34,5)	$1,517 \pm 0,065$ (1,41- 1,77)
Aralık	4 (2 ♂ + 2 ♀)	$557 \pm 160,89$ (949- 161)	$30,5 \pm 3,37$ (22- 38)	$28,5 \pm 3,38$ (20- 36)	$1,769 \pm 0,168$ (1,51- 2,25)

a:Maksimum Değer, b:Minimum Değer

4.2.2. Ağır metal bulguları

Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının kas, karaciğer ve solungaç dokularından ve referans olarak kullanılan NRC Dorm-3'ten belirlenen Cu, Fe, Zn, Pb ve Cd miktarları, FAO ve Türk Gıda Kodeksinin (TGK) belirlediği metallerin balıklarda bulunabileceği maksimum değerler Tablo 4.3.'de verilmiştir. Buna göre,

- Kas dokuda Cu değeri, en yüksek aralık ayında $462,13 \pm 35,2 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük temmuz ayında $3,064 \pm 1,2 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenirken mart ve haziran aylarında cihazın analiz limitinin altında kaldığından belirlenememiştir.
- Kas dokuda Fe değeri, en yüksek aralık ayında $1864 \pm 142,6 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük mart ayında $200,84 \pm 11,37 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Kas dokuda Zn değeri, en yüksek aralık ayında $1344,89 \pm 112,3 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük ekim ayında $268,43 \pm 61,3 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Kas dokuda Pb değeri, bütün aylarda cihazın analiz limitinin altında kaldığından belirlenememiştir.
- Kas dokuda Cd değeri, yalnızca kasım ve aralık aylarında belirlenebilmiş diğer aylarda analiz limitinin altında kalmıştır.
- Karaciğer dokuda Cu değeri, en yüksek $1634,15 \pm 97,45 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük kasım ayında $412,25 \pm 27,3 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Karaciğer dokuda Fe değeri, en yüksek ağustos ayında $8998,3 \pm 305 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük $2428,43 \pm 218,4 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Karaciğer dokuda Zn değeri, en yüksek $21083 \pm 367,9 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük aralık ayında $2347,21 \pm 512 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Karaciğer dokuda Pb değeri, bütün aylarda cihazın analiz limitinin altında kaldığından belirlenememiştir.
- Karaciğer dokuda Cd değeri, yalnızca haziran, temmuz, ağustos, eylül ve aralık aylarında belirlenebilmiş diğer aylarda analiz limitinin altında kalmıştır. Belirlenen aylar içerisinde Cd değeri, en yüksek temmuzda $4,5825 \pm 1,43 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük eylülde $0,492 \pm 0,2 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak ölçülmüştür.
- Solungaç dokuda ise Cu değeri, en yüksek mayıs ayında $78,59 \pm 21,2 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük nisan ayında $32,49 \pm 12,4 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Solungaç dokuda Fe değeri, en yüksek ağustos ayında $5324,28 \pm 191 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük ekim ayında $1037,18 \pm 85,4 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Solungaç dokuda Zn değeri, en yüksek nisan ayında $30261,55 \pm 420,9 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük aralık ayında $8472,92 \pm 289 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Solungaç dokuda Pb değeri, yalnızca ocak, mart, mayıs, haziran ve temmuz aylarında belirlenebilmiş diğer aylarda analiz limitinin altında kaldığından belirlenememiştir. Belirlenen aylar içerisinde en yüksek Pb değeri ağustosta

43,04±2,6 μgkg^{-1} , en düşük ise martta 3,93±0,89 μgkg^{-1} olarak kaydedilmiştir.

- Solungaç dokuda Cd değeri, ocak, mart, nisan ve mayıs aylarında belirlenemezken diğer aylardan en yüksek aralıkta 2,76±1,35 μgkg^{-1} , en düşük eylülde 0,379±0,01 μgkg^{-1} olarak belirlenmiştir.

Sazan balıklarının dokularından belirlenen ağır metal konsantrasyonlarında arasında karşılaştırma yapıldığında Cu, Fe ve Cd miktarı karaciğer>solungaç>kas olarak, Zn miktarı ise solungaç>karaciğer>kas olarak sıralanabilir.

Cu değeri referans olarak kullanılan NRC Dorm-3 ile karşılaştırıldığında, kas ve solungaç dokularında belirlenen tüm aylarda önemli oranda azalma ($p<0,05$), karaciğer dokuda ise ekim ve kasım aylarında azalma ($p<0,05$), mart ve aralık aylarında istatistiki olarak anlamlı bir değişme ($p>0,05$) gözlenmezken diğer aylarda önemli artma ($p<0,05$) belirlenmiştir.

Fe değeri NRC Dorm-3 ile karşılaştırıldığında kas, karaciğer ve solungaç dokularında önemli bir azalma ($p<0,05$) gözlenmiştir.

Zn değeri ise kas dokuda önemli bir azalma ($p<0,05$) gösterirken, karaciğer ve solungaç dokuda önemli bir artma ($p<0,05$) göstermiştir.

Pb değeri kas ve karaciğer dokuda belirlenemezken, solungaç dokuda bazı aylarda alınan örneklerde belirlenmiş ancak referans ile karşılaştırıldığında belirlenen değerlerin önemli oranda düşük olduğu ($p<0,01$) gözlenmiştir.

Belirlenebilen Cd değerleri tüm dokularda referans madde ile kıyaslandığında önemli oranda daha az ($p<0,01$) bulunduğu sonucu elde edilmiştir.

Tablo 4.3. Sazan kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki Cu, Fe, Zn, Pb ve Cd miktarları. Sonuçlar ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

KAS					
Aylar	Cu (μgkg^{-1})	Fe (μgkg^{-1})	Zn (μgkg^{-1})	Pb (μgkg^{-1})	Cd (μgkg^{-1})
Ocak	16,18±3,72	825,5±64	674,91±58,69	ALA*	ALA
Mart	ALA	200,84±11,37 ^b	288,73±12,39	ALA	ALA
Nisan	6,18±2,4	660,61±53,4	1042,95±95,7	ALA	ALA
Mayıs	15,02±3,5	881,4±64,3	587,93±43,9	ALA	ALA
Haziran	ALA	225,6±43,75	299,04±35,2	ALA	ALA
Temmuz	3,06±1,2 ^b	689,48±67,9	343,76±41,9	ALA	ALA
Ağustos	12,82±5,1	759,12±65,8	575,37±26	ALA	ALA
Eylül	5,14±2,4	360,52±26,7	334,65±45,3	ALA	ALA
Ekim	4,69±1,7	500,79±39,1	268,43±61,3 ^b	ALA	ALA
Kasım	12,92±4,21	329,5±18,6	298,87±28,4	ALA	0,71±0,03
Aralık	462,13±35,2 ^a	1864±142,6 ^a	1344,89±112,3 ^a	ALA	0,96±0,213
KARACİĞER					
Aylar	Cu (μgkg^{-1})	Fe (μgkg^{-1})	Zn (μgkg^{-1})	Pb (μgkg^{-1})	Cd (μgkg^{-1})
Ocak	1343,49±98,5	5484,9±134,6	8385,5±240,6	ALA	ALA
Mart	882,3±47,3	3864,1±36,6	4287,6±321,8	ALA	ALA
Nisan	1634,15±97,45 ^a	5220,1±351,3	21083±367,9 ^a	ALA	ALA
Mayıs	1559,81±250,6	8423,27±125	8937,5±75,8	ALA	ALA
Haziran	1219,8±69,7	6066,3±305,2	4006,63±203,5	ALA	2,66±0,98
Temmuz	1470±109,4	8114,5±264,2	10852,9±409,7	ALA	4,58±1,43 ^a
Ağustos	946,65±109,4	8998,3±305 ^a	10854,32±679	ALA	0,65±0,08
Eylül	1347,79±187,1	5707,68±217	12763,76±445	ALA	0,49±0,2 ^b
Ekim	452,64±35,6	4587,65±123,3	3722,87±235,4	ALA	ALA
Kasım	412,25±27,3 ^b	2937±219,2	2677,52±198,5	ALA	ALA
Aralık	679,26±96,4	2428,43±218,4 ^b	2347,21±512 ^b	ALA	3,49±1,4
SOLUNGAÇ					
Aylar	Cu (μgkg^{-1})	Fe (μgkg^{-1})	Zn (μgkg^{-1})	Pb (μgkg^{-1})	Cd (μgkg^{-1})
Ocak	49,51±12,4	2872,34±421	10934,3±563,4	6,77±2,4	ALA
Mart	36,47±10,3	2418,13±219,3	19025,55±208,4	3,93±0,89 ^b	ALA
Nisan	32,49±12,4 ^b	3248,03±176,4	30261,55±420,9 ^a	ALA	ALA
Mayıs	78,59±21,2 ^a	4933,7±101,3	26769,9±451,3	29,49±11	ALA
Haziran	50,42±9,3	3418,39±202,4	8546,42±302,4	10,97±3,2	0,504±0,1
Temmuz	36,47±9,6	2583,2±408,2	14745±763,3	ALA	2,01±0,05
Ağustos	69,16±4,2	5324,28±191 ^a	27331±947,3	43,04±2,6 ^a	2,9±0,8
Eylül	47,42±21,2	3721,79±219,2	21700,35±739,3	ALA	0,38±0,01 ^b
Ekim	32,67±8,3	1037,18±85,4 ^b	17766,85±594,6	ALA	0,44±0,02
Kasım	39,6±7,4	2254,5±32,6	11034,25±847,4	ALA	1,02±0,4
Aralık	47,27±18,3	2838,69±263,4	8472,92±289 ^b	ALA	2,76±1,35 ^a
NRC DORM-3	752,37±38,06	12252,1±750,6	1986,28±144,94	218,15±28,5	34,7±0,51
FAO (max.)	30000	-	40000	500	100
TGK (max.)	20000	-	50000	300	50

a: Maksimum Değer, b: Minimum Değer, *ALA: Analiz Limitinin Altında

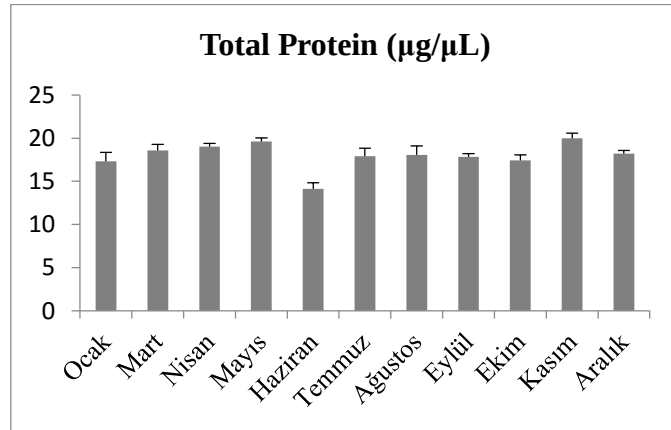
Genel olarak belirlenen metal konsantrasyonları kas dokuda $Fe > Zn > Cu > Cd > Pb$ olarak, karaciğer ve solungaçta $Zn > Fe > Cu > Cd > Pb$ olarak sıralanabilir. Elde edilen tüm veriler FAO ve TGK'nın balıklar için belirlediği maksimum değerlerin oldukça altında kalmıştır.

4.2.3. Biyokimyasal bulgular

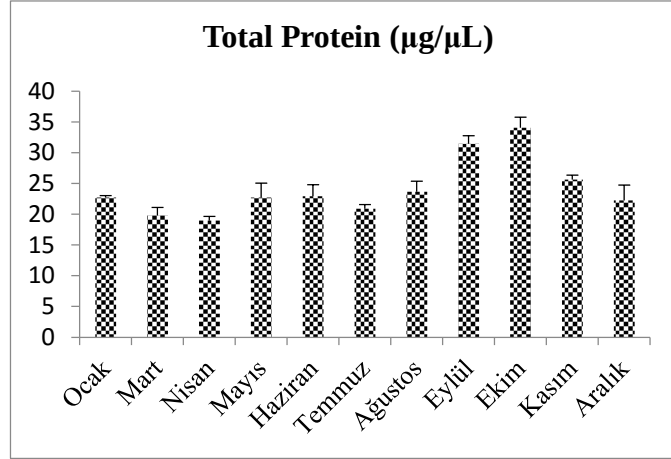
4.2.3.1. Total protein

Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının kas, karaciğer ve solungaç dokularında belirlenen total protein miktarları Şekil 4.1.-4.3.'te verilmiştir. Buna göre;

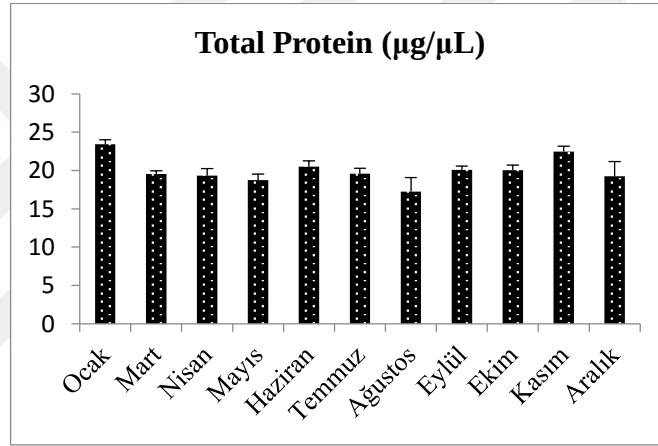
- Kas dokuda en yüksek kasım ayında $19,98 \pm 0,62 \mu\text{g}/\mu\text{L}$, en düşük haziran ayında $14,12 \pm 0,72 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ olarak;
- Karaciğer dokuda en yüksek ekim ayında $34,05 \pm 1,75 \mu\text{g}/\mu\text{L}$, en düşük nisan ayında $18,99 \pm 0,67 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ olarak;
- Solungaç dokuda en yüksek ocak ayında $23,4 \pm 0,61 \mu\text{g}/\mu\text{L}$, en düşük ağustos ayında $17,25 \pm 1,81 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.1. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının kas dokusunda belirlenen total protein miktarları ($\mu\text{g}/\mu\text{L}$).



Şekil 4.2. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının karaciğer dokusunda belirlenen total protein miktarları (µg/µL).



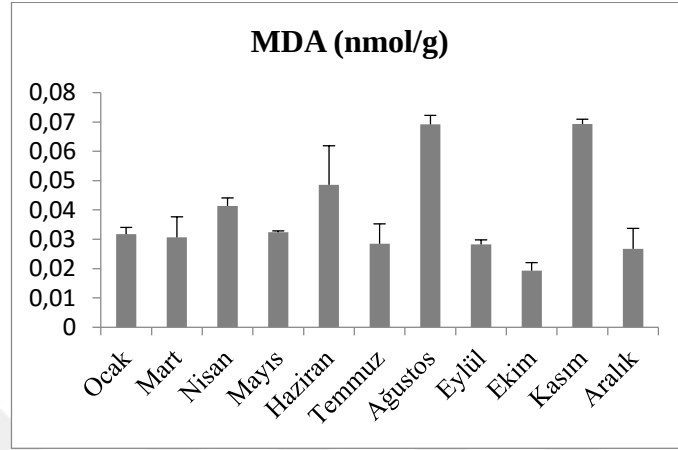
Şekil 4.3. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının solungaç dokusunda belirlenen total protein miktarları (µg/µL).

4.2.3.2. Lipid peroksidasyonu

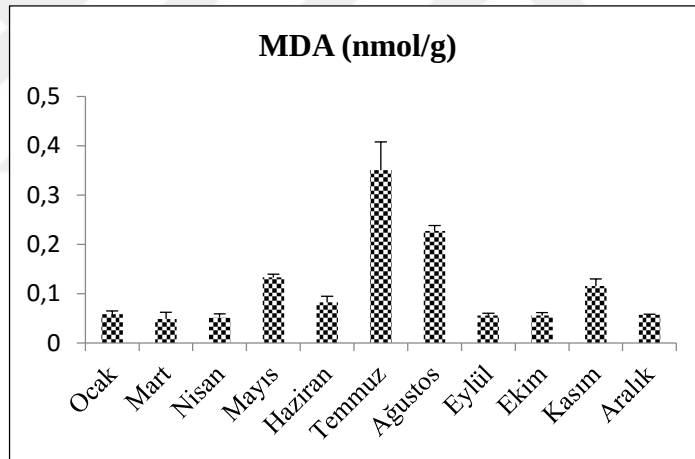
Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının kas, karaciğer ve solungaç dokularında belirlenen lipid peroksidasyon miktarları Şekil 4.4.-4.6.'da verilmiştir. Lipid peroksidasyonunun doğal bir parçalanma ürünü olan malondialdehit (MDA) miktarı ölçülerek oksidatif stres durumu belirlenmiştir. Buna göre;

- Kas dokuda en yüksek kasım ayında $0,07 \pm 0,002$ nmol/g, en düşük ekim ayında $0,02 \pm 0,003$ nmol/g olarak;
- Karaciğer dokuda en yüksek temmuz ayında $0,35 \pm 0,05$ nmol/g, en düşük mart ayında $0,048 \pm 0,01$ nmol/g olarak;

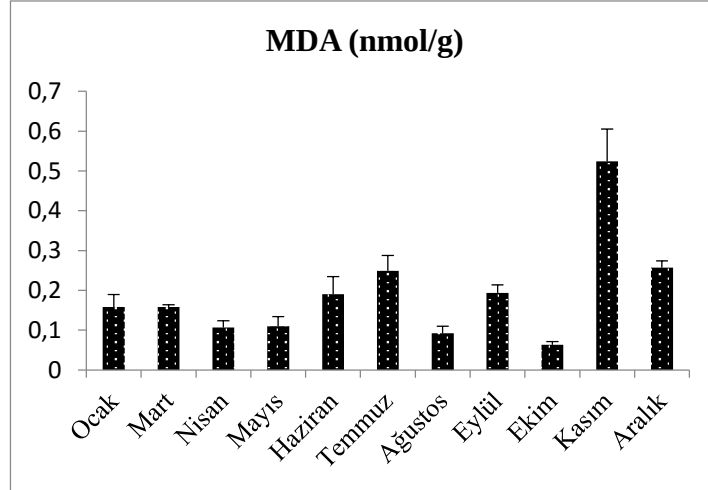
- Solungaç dokuda en yüksek kasım ayında $0,52 \pm 0,08$ nmol/g, en düşük ağustos ayında $0,063 \pm 0,008$ nmol/g olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.4. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının kas dokusunda belirlenen lipid peroksidasyonu miktarları (nmol/g).



Şekil 4.5. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının karaciğer dokusunda belirlenen lipid peroksidasyonu miktarları (nmol/g).

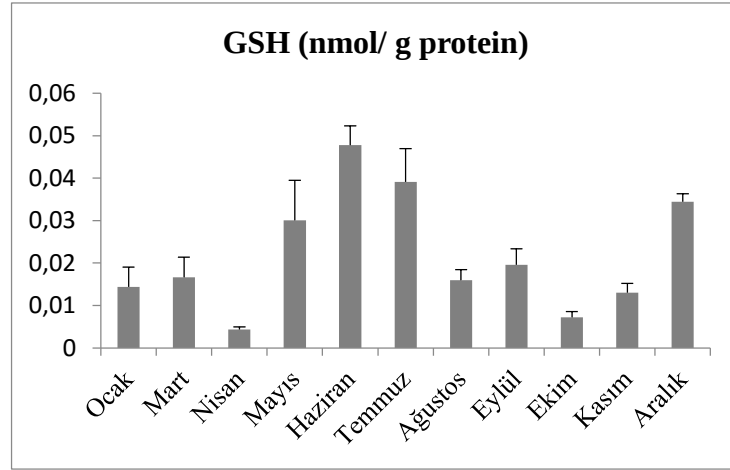


Şekil 4.6. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının solungaç dokusunda belirlenen lipid peroksidasyonu miktarları (nmol/g).

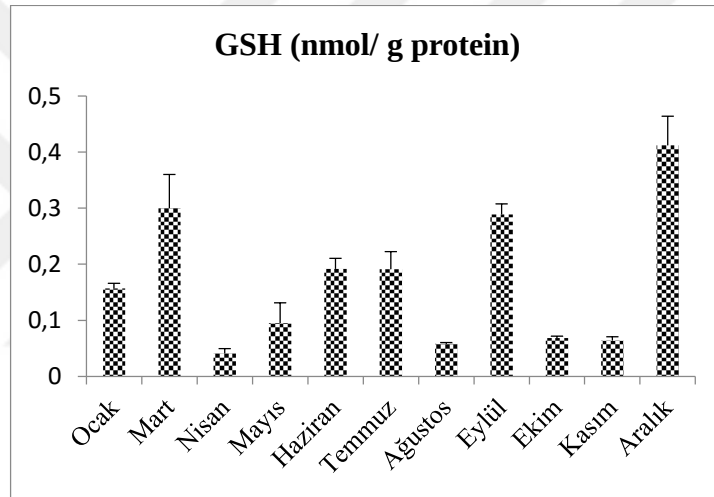
4.2.3.3. Total glutatyon

Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının kas, karaciğer ve solungaç dokularında belirlenen total glutatyon miktarları Şekil 4.7.-4.9.'da verilmiştir. Buna göre;

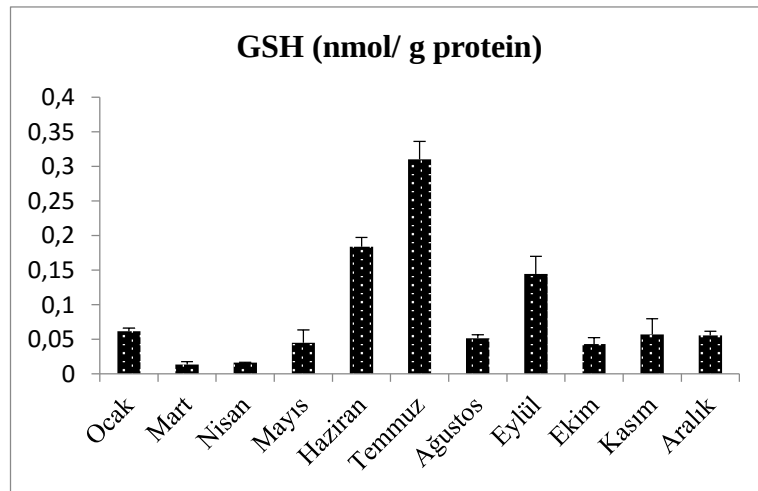
- Kas dokuda en yüksek haziran ayında $0,047 \pm 0,004$ nmol/g protein en düşük nisan ayında $0,004 \pm 0,0006$ nmol/g protein olarak;
- Karaciğer dokuda en yüksek aralık ayında $0,41 \pm 0,05$ nmol/g protein, en düşük nisan ayında $0,04 \pm 0,008$ nmol/g protein olarak;
- Solungaç dokuda en yüksek temmuz ayında $0,31 \pm 0,02$ nmol/g protein, en düşük mart ayında $0,013 \pm 0,004$ nmol/g protein olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.7. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının kas dokusunda belirlenen total glutatyon miktarları (nmol/g protein).



Şekil 4.8. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının karaciğer dokusunda belirlenen total glutatyon miktarları (nmol/g protein).

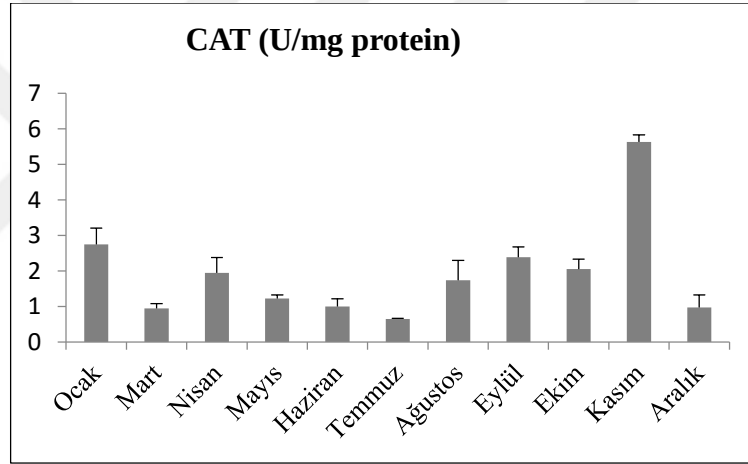


Şekil 4.9. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının solungaç dokusunda belirlenen total glutatyon miktarları (nmol/g protein).

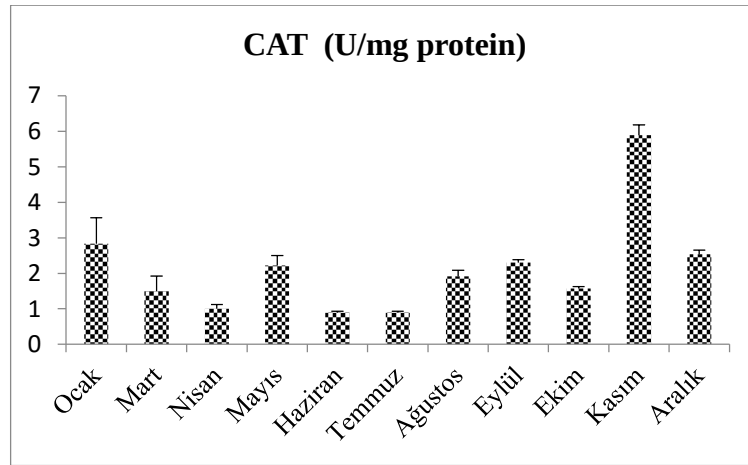
4.2.3.4. Katalaz enzim aktivitesi

Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının kas, karaciğer ve solungaç dokularında belirlenen katalaz enzim aktivitesi Şekil 4.10.-4.12.'da verilmiştir. Buna göre;

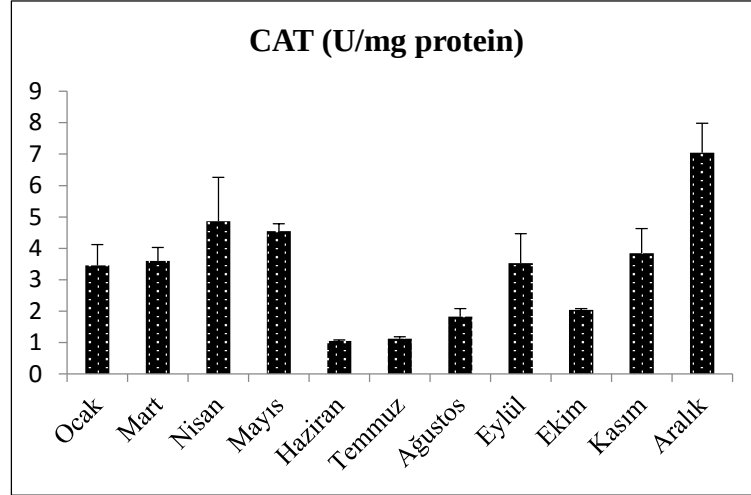
- Kas dokuda en yüksek kasım ayında $5,63 \pm 0,19$ U/mg protein, en düşük temmuz ayında $0,64 \pm 0,013$ U/mg protein olarak;
- Karaciğer dokuda en yüksek kasım ayında $5,88 \pm 0,28$ U/mg protein, en düşük haziran ayında $0,09 \pm 0,003$ U/mg protein olarak;
- Solungaç dokuda en yüksek aralık ayında $8,11 \pm 0,9$ U/mg protein, en düşük haziran ayında $1,04 \pm 0,003$ U/mg protein olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.10. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının kas dokusunda belirlenen katalaz enzim aktivitesi (U/mg protein).



Şekil 4.11. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının karaciğer dokusunda belirlenen katalaz enzim aktivitesi (U/mg protein).

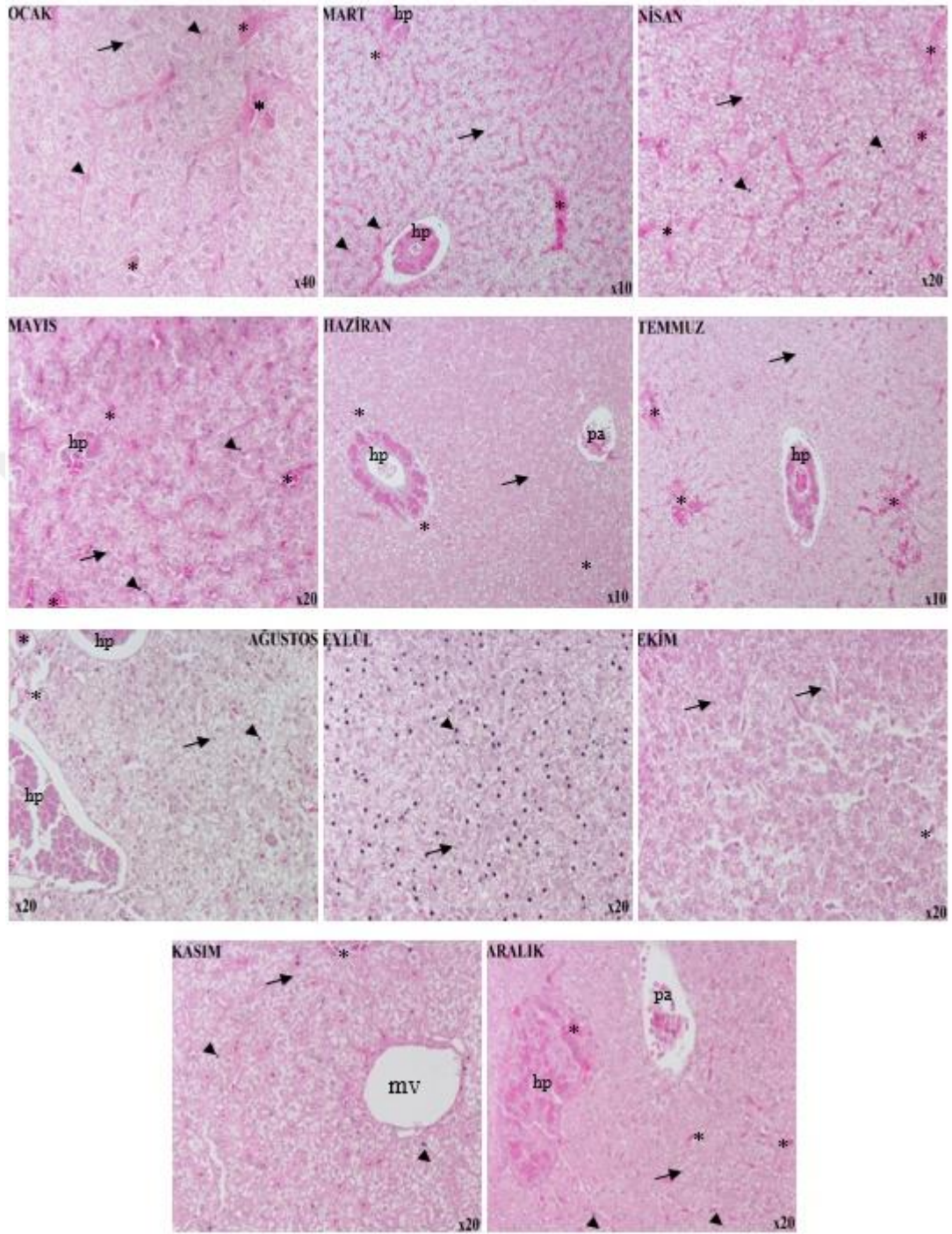


Şekil 4.12. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının solungaç dokusunda belirlenen katalaz enzim aktivitesi (U/mg protein).

4.2.4. Histolojik bulgular

4.2.4.1. Karaciğer

Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının karaciğer dokularının Hematoksilen&Eosin ile boyanarak elde edilen histolojik bulguları Şekil 4.13.'te gösterilmiştir. Buna göre karaciğer parankimasında lobüler bir düzenleme yoktur, bazı örneklerde birbirlerinden sinüzoidlerle ayrılan düzgün çokgen şekilli hepatositler yığınlar oluşturmuştur. Ancak hepatosit ve sinüzoidlerde koyu pembe boyama ile belirgin olan kanama (hemoraji) mevcuttur. Hepatopankreas hücrelerinin içlerinde zimojen granülleri bulunmaktadır. Bazı örneklerde çevresinden nekrotik alanlarla ayrılan hepatopankreas içinde eritrositler görülmüştür. Bazı örneklerde ise hepatopankreas displazik ve atrofiktir. Karaciğere özelleşmiş bir çeşit makrofaj olan kuppfer hücreleri bütün örneklerde belirgindir. Bazı hepatositlerde nukleus ve nukleolus kolayca seçilebilirken bazılarında belirgin olarak hipertrofiktir. Bazı örneklerde karyolizis, piknoz şeklinde çeşitli nukleus distrofileri belirlenmiştir.



Şekil 4.13. Sazan balığı karaciğer dokusunda merkezi vena (mv), hepatositler (oklar), kupfer hücreleri (ok başları), hepatopankreas (hp), portal alan (pa) ve hepatositlerde ve sinüzoidlerde kanlanma (yıldız), H&E.

4.2.4.2. Solungaç

Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan balıklarının solungaç dokularının Hematoksilen&Eosin ile boyanarak elde edilen histolojik bulguları Şekil 4.14.'te gösterilmiştir. Buna göre primer lamellerde seperasyon ve sekonder lamellerde hiperplazi ve düzensizleşme göze çarpan bulgulardır. Sekonder lamellerdeepitel hücrelerinde deskuamasyon (dökülme, şekil bozukluğu) ve sekonder lamel uçlarında ödem görülmüştür. Nadiren de olsa sekonder lamellerin karşılıklı füzyonu ve primer lamelde vakuolizasyon gözlenmiştir. Ayrıca lameller arası mukus benzeri yığılma ile birçok kez karşılaşmıştır.

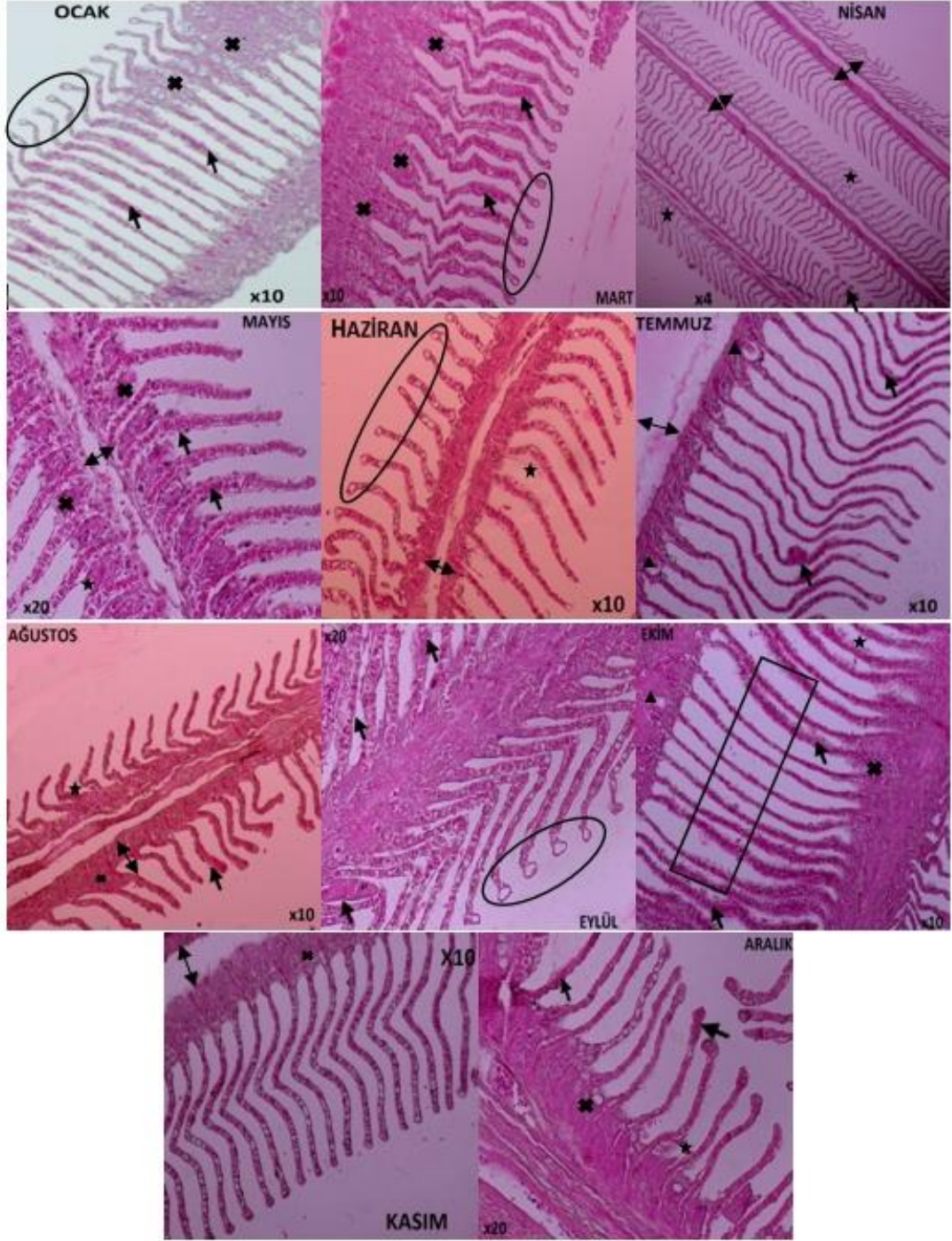
4.3. Yayın Balığı (*Silurus glanis*) İle İlgili Bulgular

Sapanca Gölü'nde olası su kirliliğinin, balık dokularındaki ağır metal birikimi ve dokuların biyokimyası ve histolojisi üzerine etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada 2015 yılının her ayında özel izinle çıkılan avlanmada mayıs, ağustos, eylül, ekim ve kasım ayları dışında yayın balığı elde edilememiştir. Yakalanan yayın balıklarının parametrik bulguları; kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki Cu, Fe, Zn, Pb ve Cd miktarları; total protein, lipid peroksidasyonu, total glutatyon seviyeleri ve katalaz enzim aktivitesi; karaciğer ve solungaç dokularının histopatolojisi incelenmiştir.

4.3.1. Parametrik bulgular

Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının parametrik bulguları Tablo 4.4.'de verilmiştir. 2015 yılının her ayında özel izinle çıkılan avlanmada toplam 10 adet canlı yayın balığı yakalanmıştır. Toplam olarak 8 adet erkek birey, 2 adet dişi birey yakalanmıştır.

Ortalama ağırlık olarak en yüksek bireyler mayıs ayında $1710,5 \pm 224,15$ g, en düşük bireyler ekim ayında $350 \pm 10,2$ g olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.14. Sazan balığı solungaç dokusunda, sekonder lamellerde hiperplazi (oklar), primer lamellerde seperasyon (çift yönlü oklar), sekonder lamellerde deskuamasyon (yıldız), sekonder lamellerin karşılıklı füzyonu (dikdörtgen), primer lamelde vakuolizasyon (üçgen), sekonder lamel uçlarında ödem (elips), ayrıca lameller arası mukus benzeri yığılım (çarpı). H&E

Ortalama olarak total boy, en yüksek mayıs ayında $77,5 \pm 5,5$ cm, en düşük ekim ayında 37 ± 2 cm olarak belirlenmiştir.

Kondüsyon faktörü en yüksek kasım ayında $0,713 \pm 0,087$, en düşük mayıs ayında $0,371 \pm 0,04$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.4. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının parametrik bulguları. Sonuçlar ortalama $\pm$ standart hata, minimum-maksimum olarak verilmiştir.

Aylar	n sayısı cinsiyet	Ağırlık ($\pm$ SH) (min.-max., g)	Total Boy($\pm$ SH) (min.-max., cm)	Kondüsyon Faktörü ($\pm$ SH) (min.-max.)
Mayıs	2 (1♂+1♀)	$1710,5 \pm 224,15^a$ (1869-1552)	$77,5 \pm 5,5^a$ (72-83)	$0,371 \pm 0,04^b$ (0,326-0,415)
Ağustos	2 (2♂)	$456,5 \pm 56,5$ (400-513)	42 ± 1 (41-43)	$0,6128 \pm 0,032$ (0,58-0,64)
Eylül	2 (1♂ + 1♀)	516 ± 47 (469-563)	$42,5 \pm 2,5$ (40-45)	$0,675 \pm 0,057$ (0,61-0,73)
Ekim	2 (2♂)	$350 \pm 10,2^b$ (248- 452)	37 ± 2^b (35- 39)	$0,67 \pm 0,091$ (0,57- 0,76)
Kasım	2 (2♂)	$495,5 \pm 72,5$ (423- 568)	$39,5 \pm 0,5$ (39- 40)	$0,713 \pm 0,087^a$ (0,71- 0,88)

a:Maksimum Değer, b:Minimum Değer

4.3.2. Ağır metal bulguları

Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının kas, karaciğer ve solungaç dokularından ve referans olarak kullanılan NRC Dorm-3'ten belirlenen Cu, Fe, Zn, Pb ve Cd miktarları, FAO ve Türk Gıda Kodeksinin (TGK) belirlediği metallerin balıklarda bulunabileceği maksimum değerler Tablo 4.5. de verilmiştir. Buna göre,

- Kas dokuda Cu değeri, en yüksek eylül ayında $25,93 \pm 5,4 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük ağustos ayında $2,03 \pm 0,65 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Kas dokuda Fe değeri, en yüksek mayıs ayında $1182,8 \pm 58,6 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük ağustos ayında $341,95 \pm 31,2 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Kas dokuda Zn değeri, en yüksek kasım ayında $547,98 \pm 9,45 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük ekim ayında $330 \pm 14,3 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

- Kas dokuda Pb değeri, bütün aylarda cihazın analiz limitinin altında kaldığından belirlenememiştir.
- Kas dokuda Cd değeri,yalnızca kasım ayında belirlenebilmiş diğer aylarda analiz limitinin altında kalmıştır.
- Karaciğer dokuda Cu değeri, en yüksek ağustos ayında $501,33 \pm 22,3 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük kasım ayında $125,96 \pm 14,7 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Karaciğer dokuda Fe değeri, en yüksek mayıs ayında $24675,3 \pm 102,8 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük kasım ayında $2104 \pm 95,6 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Karaciğer dokuda Zn değeri, en yüksek eylül ayında $2025,67 \pm 415,8 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük ekim ayında $879,3 \pm 61,5 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Karaciğer dokuda Pb değeri, yalnızca eylül ayında belirlenebilmiş diğer aylarda cihazın analiz limitinin altında kaldığından belirlenememiştir.
- Karaciğer dokuda Cd değeri,eylül, ekim ve kasım aylarında belirlenebilmiş diğer aylarda analiz limitinin altında kalmıştır. Belirlenen aylar içerisinde Cd değeri en yüksek eylülde $9,71 \pm 1,2 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük ekimde $0,94 \pm 0,1 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak ölçülmüştür.
- Solungaç dokuda Cu değeri, en yüksek ağustos ayında $68,91 \pm 4,8 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük mayıs ayında $18,67 \pm 5,6 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Solungaç dokuda Fe değeri, en yüksek eylül ayında $3016,2 \pm 16,7 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük ekim ayında $1625,27 \pm 87,4 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Solungaç dokuda Zn değeri, en yüksek eylül ayında $1504,8 \pm 63,2 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük mayıs ayında $813,75 \pm 68,3 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Solungaç dokuda Pb değeri, yalnızca eylül ve kasım aylarında belirlenebilmiş diğer aylarda analiz limitinin altında kaldığından belirlenememiştir.
- Solungaç dokuda Cd değeri, yalnız mayıs ayında belirlenemezken diğer aylarda en yüksek eylülde $2,96 \pm 0,6 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük ağustosta $1,85 \pm 0,7 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Yayın balıklarının dokularından belirlenen ağır metal konsantrasyonları arasında karşılaştırma yapıldığında Cu, Fe ve Cd miktarları karaciğer>solungaç>kas olarak, Zn miktarı ise solungaç>karaciğer>kas olarak sıralanabilir.

Tablo 4.5. Yayın kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki Cu, Fe, Zn, Pb ve Cd miktarları. Sonuçlar ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

KAS					
Aylar	Cu (μgkg^{-1})	Fe (μgkg^{-1})	Zn (μgkg^{-1})	Pb (μgkg^{-1})	Cd (μgkg^{-1})
Mayıs	22,48±1,68 ^a	1182,8±58,6 ^a	456,16±24,6	ALA*	ALA
Ağustos	2,03±0,65 ^b	341,95±31,2 ^b	405,23±74,5	ALA	ALA
Eylül	25,93±5,4	614,23±10,6	368,6±19,7	ALA	ALA
Ekim	2,41±0,53	366,5±22,4	330±14,3 ^b	ALA	ALA
Kasım	13,46±2,4	463,45±5,8	547,98±9,45 ^a	ALA	0,37±0,09
KARACİĞER					
Aylar	Cu (μgkg^{-1})	Fe (μgkg^{-1})	Zn (μgkg^{-1})	Pb (μgkg^{-1})	Cd (μgkg^{-1})
Mayıs	441,9±62,4	24675,3±102,8 ^a	1094,29±56,4	ALA	ALA
Ağustos	501,33±22,3 ^a	8235,6±58,6	1026,5±5,6	ALA	ALA
Eylül	253,4±16,3	8022,7±214,3	2025,67±415,8 ^a	96,1±6,5	9,71±1,2 ^a
Ekim	161,63±5,9	6291,4±47,8	879,3±61,5 ^b	ALA	0,94±0,1 ^b
Kasım	125,96±14,7 ^b	2104±95,6 ^b	909,4±57,3	ALA	2,28±0,98
SOLUNGAÇ					
Aylar	Cu (μgkg^{-1})	Fe (μgkg^{-1})	Zn (μgkg^{-1})	Pb (μgkg^{-1})	Cd (μgkg^{-1})
Mayıs	18,67±5,6 ^b	1626,9±5,7	813,75±68,3 ^b	ALA	ALA
Ağustos	68,91±4,8 ^a	1652,5±24,6	1279,7±102,4	ALA	1,85±0,7 ^b
Eylül	38,57±8,5	3016,2±16,7 ^a	1504,8±63,2 ^a	15,34±1,4	2,96±0,6 ^a
Ekim	46,36±11,7	1625,27±87,4 ^b	1462,6±55,8	ALA	2,48±0,52
Kasım	22,74±4,8	1773,14±29,5	1215,6±108,9	25,69±7,4	2,95±0,42
NRC DORM-3	752,37±38,06	12252,1±750,6	1986,28±144,94	218,15±28,5	34,7±0,51
FAO (max.)	30000	-	40000	500	100
TGK (max.)	20000	-	50000	300	50

a:Maksimum Değer, b:Minimum Değer, *ALA:Analiz Limitinin Altında

Cu değeri referans olarak kullanılan NRC Dorm-3 ile karşılaştırıldığında kas ($p<0,01$) karaciğer ($p<0,05$) ve solungaç ($p<0,01$) dokularında belirlenen tüm aylarda çok önemli oranda azalma belirlenmiştir.

Fe değeri NRC Dorm-3 ile karşılaştırıldığında kas ve solungaç dokularında önemli bir azalma ($p<0,05$), karaciğer dokuda yalnız mayıs ayında önemli oranda artma ($p<0,05$) diğer aylarda azalma ($p<0,05$) gözlenmiştir.

Zn değeri ise kas ve solungaç dokuda önemli bir azalma ($p<0,05$) gösterirken, karaciğer dokuda eylül ayında gösterilen artışın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı ($p>0,05$) diğer aylarda önemli bir azalma ($p<0,05$) olduğu gözlenmiştir.

Pb değeri kas dokuda belirlenemezken, karaciğer ve solungaç dokuda bazı aylarda alınan örneklerde belirlenmiş ancak referans ile karşılaştırıldığında belirlenen değerlerin önemli oranda düşük olduğu ($p<0,01$) gözlenmiştir.

Belirlenebilen Cd değerleri tüm dokularda referans madde ile kıyaslandığında önemli oranda daha az ($p<0,01$) bulunduğu sonucu elde edilmiştir.

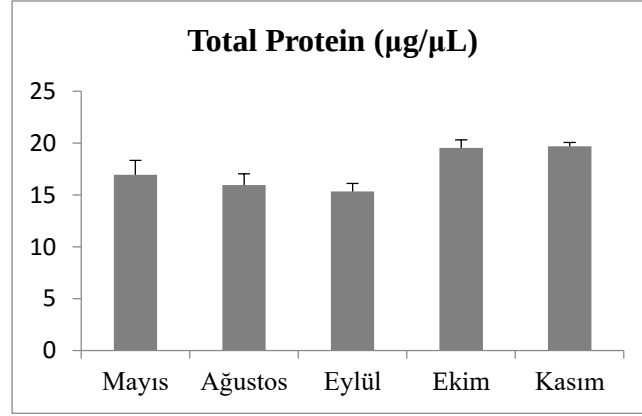
Genel olarak belirlenen metal konsantrasyonları kas dokuda $Fe>Zn>Cu>Cd>Pb$ olarak, karaciğer ve solungaçta $Fe>Zn>Cu>Pb>Cd$ olarak sıralanabilir. Elde edilen tüm veriler FAO ve TKG'nın balıklar için belirlediği maksimum değerlerin oldukça altında kalmıştır.

4.3.3. Biyokimyasal bulgular

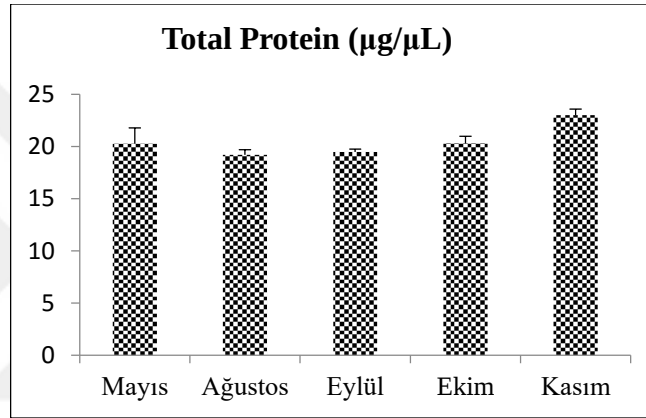
4.3.3.1. Total protein

Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının kas, karaciğer ve solungaç dokularında belirlenen total protein miktarları Şekil 4.15.-4.17.'de verilmiştir. Buna göre;

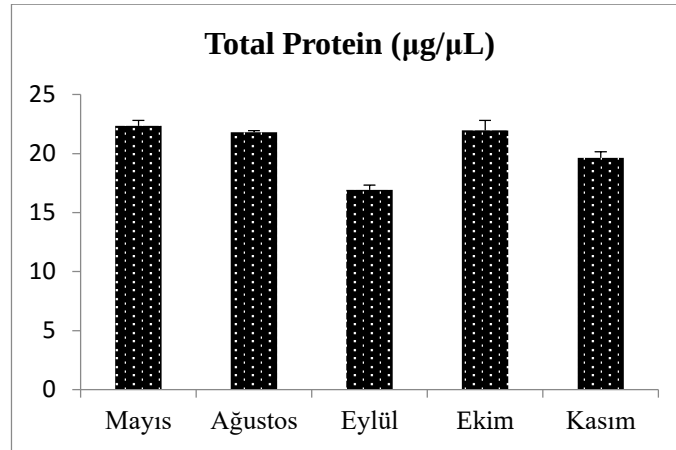
- Kas dokuda en yüksek kasım ayında $19,70\pm0,35 \mu\text{g}/\mu\text{L}$, en düşük eylül ayında $15,33\pm0,77 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ olarak;
- Karaciğer dokuda en yüksek kasım ayında $23,02\pm0,57 \mu\text{g}/\mu\text{L}$, en düşük ağustos ayında $19,2\pm0,48 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ olarak;
- Solungaç dokuda en yüksek mayıs ayında $22,34\pm0,46 \mu\text{g}/\mu\text{L}$, en düşük kasım ayında $19,63\pm0,51 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.15. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının kas dokusunda belirlenen total protein miktarları (µg/µL).



Şekil 4.16. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının karaciğer dokusunda belirlenen total protein miktarları (µg/µL).

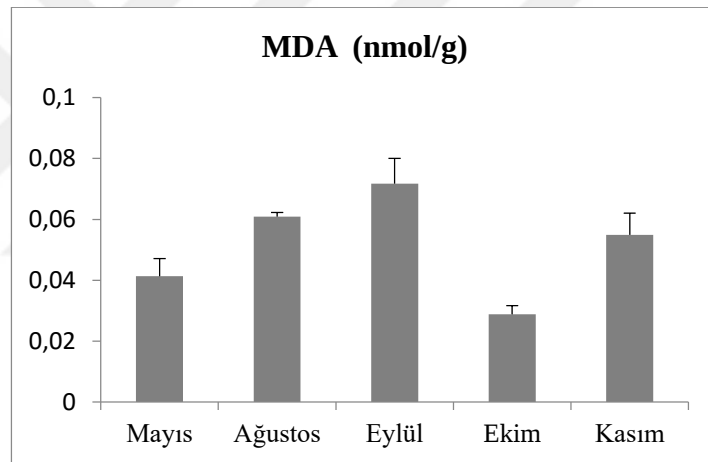


Şekil 4.17. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının solungaç dokusunda belirlenen total protein miktarları (µg/µL).

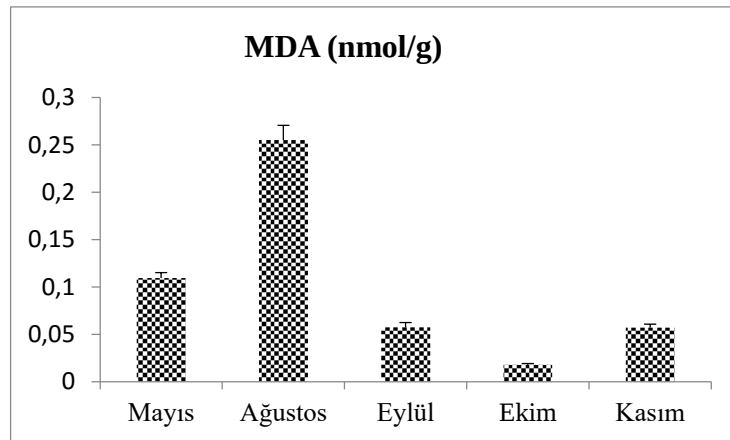
4.3.3.2. Lipid peroksidasyonu

Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının kas, karaciğer ve solungaç dokularında belirlenen lipid peroksidasyon miktarları Şekil 4.18.-4.20.'da verilmiştir. Lipid peroksidasyonunun doğal bir parçalanma ürünü olan malondialdehit (MDA) miktarı ölçülerek oksidatif stres durumu belirlenmiştir. Buna göre;

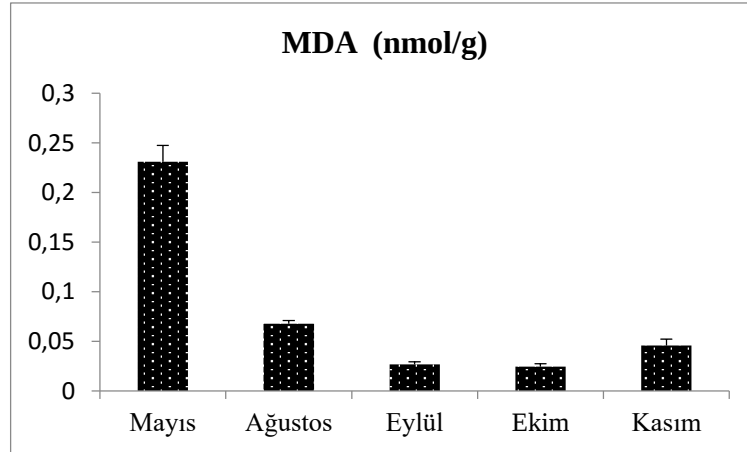
- Kas dokuda en yüksek eylül ayında $0,07 \pm 0,008$ nmol/g, en düşük ekim ayında $0,03 \pm 0,002$ nmol/g olarak;
- Karaciğer dokuda en yüksek ağustos ayında $0,25 \pm 0,05$ nmol/g, en düşük ekim ayında $0,01 \pm 0,001$ nmol/g olarak;
- Solungaç dokuda en yüksek mayıs ayında $0,23 \pm 0,01$ nmol/g, en düşük ekim ayında $0,024 \pm 0,002$ nmol/g olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.18. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının kas dokusundan belirlenen lipid peroksidasyon miktarları (nmol/g).



Şekil 4.19. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının karaciğer dokusundan belirlenen lipid peroksidasyon miktarları (nmol/g).



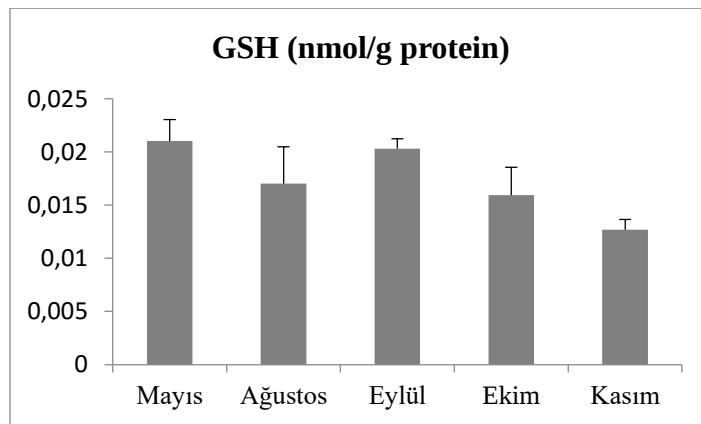
Şekil 4.20. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının solungaç dokusundan belirlenen lipid peroksidasyon miktarları (nmol/g).

4.3.3.3. Total glutatyon

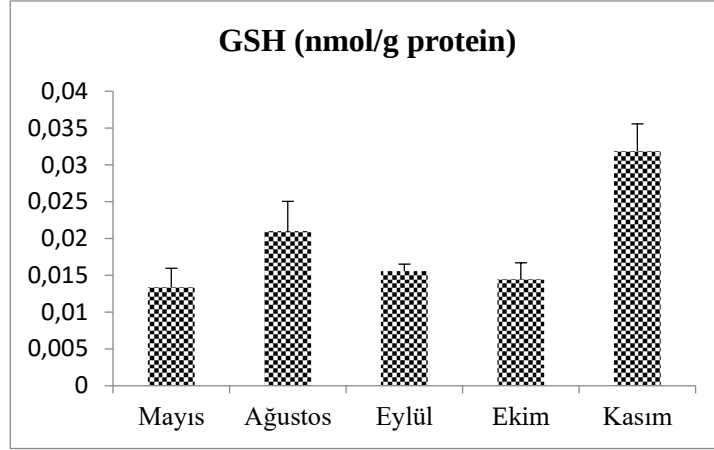
Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının kas, karaciğer ve solungaç dokularında belirlenen total glutatyon miktarları Şekil 4.21.-4.23.'da verilmiştir.

Buna göre;

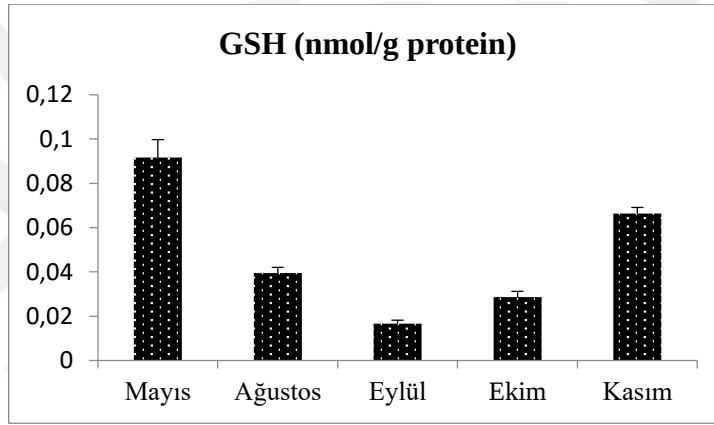
- Kas dokuda en yüksek mayıs ayında $0,021 \pm 0,002$ nmol/g protein, en düşük kasım ayında $0,012 \pm 0,0009$ nmol/g protein olarak;
- Karaciğer dokuda en yüksek kasım ayında $0,031 \pm 0,003$ nmol/g protein, en düşük mayıs ayında $0,013 \pm 0,002$ nmol/g protein olarak;
- Solungaç dokuda en yüksek mayıs ayında $0,91 \pm 0,008$ nmol/g protein, en düşük eylül ayında $0,016 \pm 0,001$ nmol/g protein olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.21. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının kas dokusundan belirlenen total glutatyon miktarları (nmol/g protein).



Şekil 4.22. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının karaciğer dokusundan belirlenen total glutatyon miktarları (nmol/g protein).

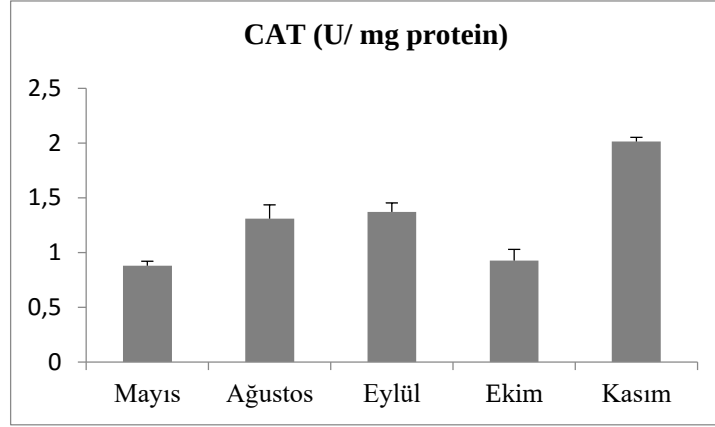


Şekil 4.23. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının solungaç dokusundan belirlenen total glutatyon miktarları (nmol/g protein).

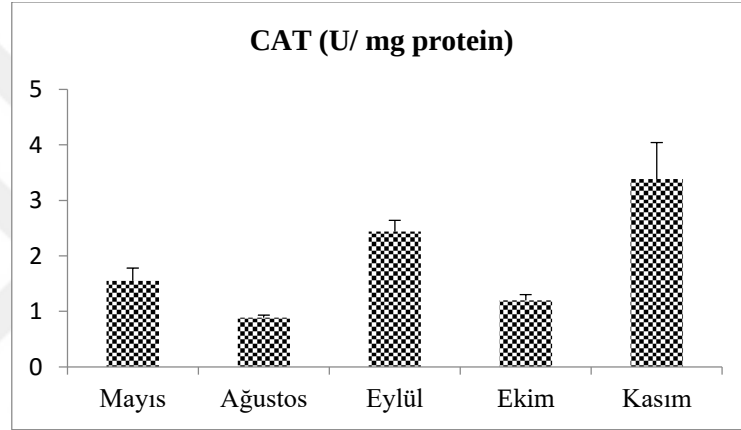
4.3.3.4. Katalaz enzim aktivitesi

Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının kas, karaciğer ve solungaç dokularında belirlenen katalaz enzim aktivitesi Şekil 4.24.-4.26.'de verilmiştir. Buna göre;

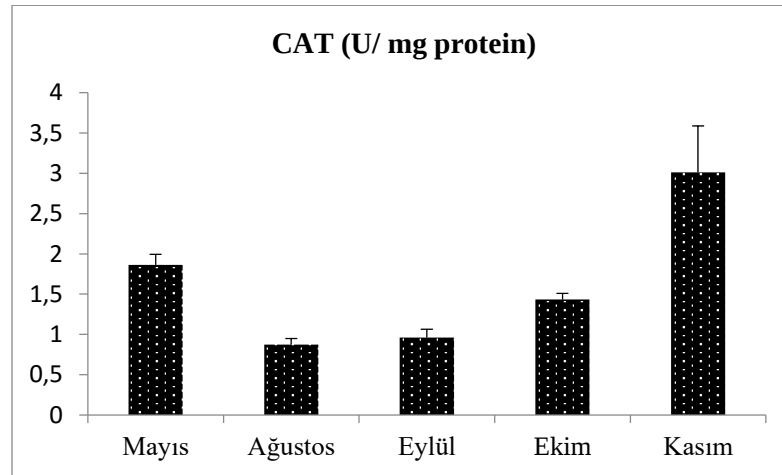
- Kas dokuda en yüksek kasım ayında $2,01 \pm 0,03$ U/mg protein, en düşük mayıs ayında $0,87 \pm 0,04$ U/mg protein olarak;
- Karaciğer dokuda en yüksek kasım ayında $3,36 \pm 0,65$ U/mg protein, en düşük ağustos ayında $0,08 \pm 0,05$ U/mg protein olarak;
- Solungaç dokuda en yüksek kasım ayında $3,01 \pm 0,5$ U/mg protein, en düşük haziran ayında $10,87 \pm 0,07$ U/mg protein olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.24. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının kasdokusundan belirlenen katalaz enzim aktivitesi (U/mg protein).



Şekil 4.25. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının karaciğerdokusundan belirlenen katalaz enzim aktivitesi (U/mg protein).



Şekil 4.26. Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının solungaçdokusundan belirlenen katalaz enzim aktivitesi (U/mg protein).

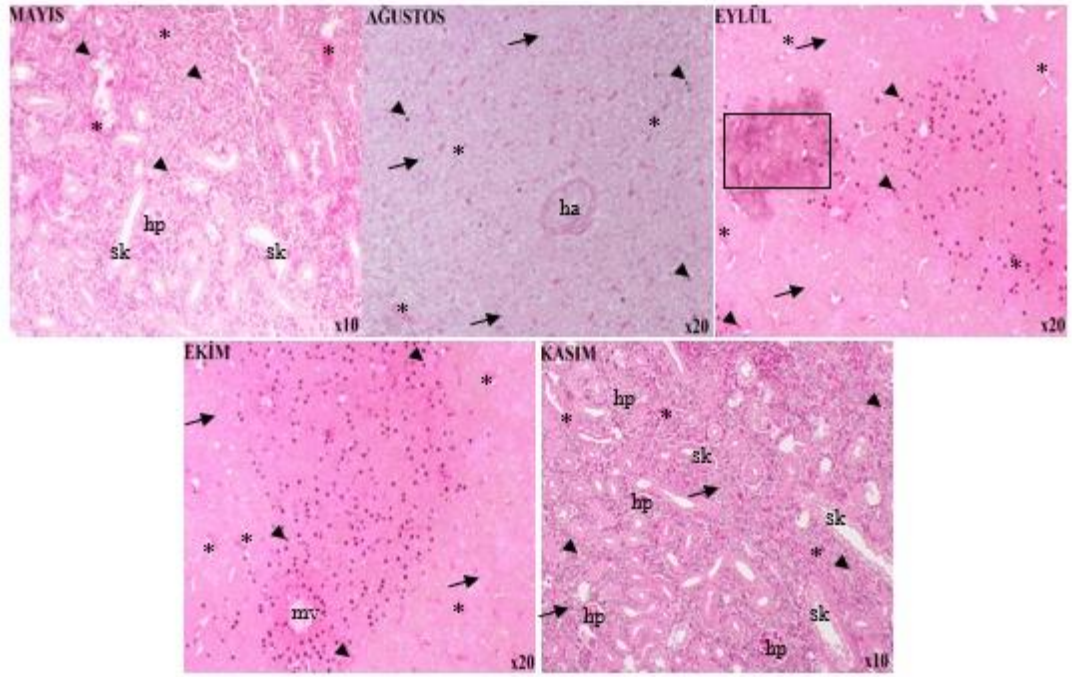
4.3.4. Histolojik bulgular

4.3.4.1. Karaciğer

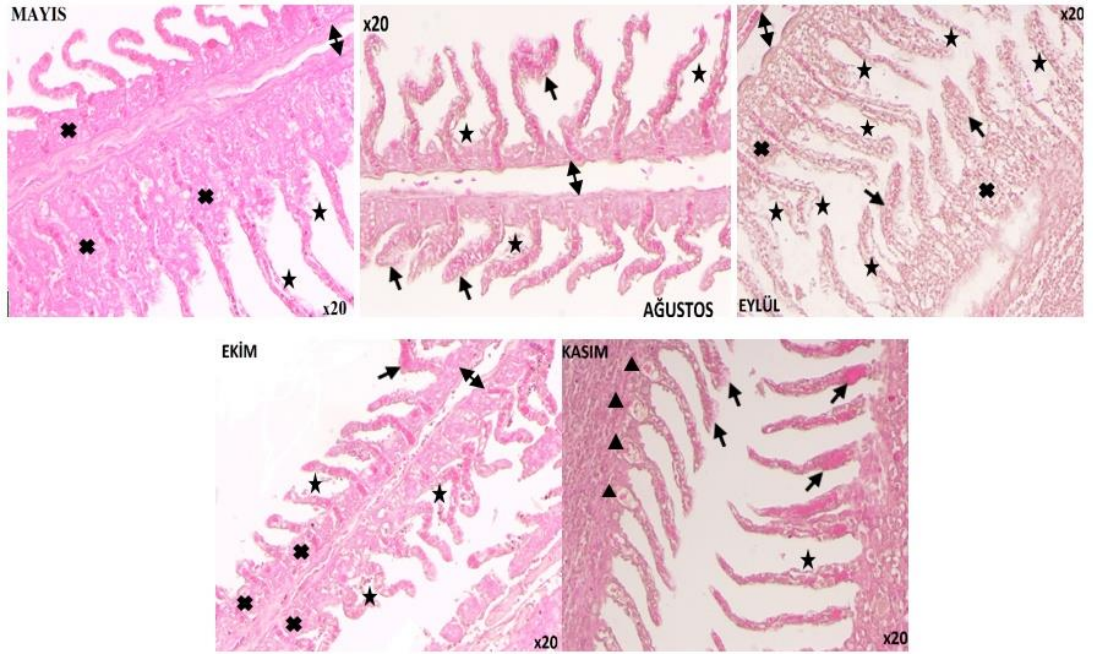
Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının karaciğer dokularının Hematoksilen&Eosin ile boyanarak elde edilen histolojik bulguları Şekil 4.27.'de gösterilmiştir. Buna göre karaciğer parankimasında lobüler bir düzenleme yoktur, bazı örneklerde birbirlerinden sinüzoidlerle ayrılan düzgün çokgen şekilli hepatositler yığınlar oluşturmuştur. Ancak hepatosit ve sinüzoidlerde koyu pembe boyama ile belirgin olan kanama (hemoraji) mevcuttur. Hepatopankreas hücrelerinin içlerinde zimojen granülleri bulunmaktadır. Bazı örneklerde safra kanalları ve hepatik arter belirgindir. Bir örnekte geniş çaplı fibrozis görülmüştür. Karaciğere özelleşmiş bir çeşit makrofaj olan kuppfer hücreleri bütün örneklerde belirgindir. Bazı hepatositlerde nukleus ve nukleolus kolayca seçilebilirken bazılarında belirgin olarak hipertroftiktir.

4.3.4.2. Solungaç

Sapanca Gölü'nden yakalanan yayın balıklarının solungaç dokularının Hematoksilen&Eosin ile boyanarak elde edilen histolojik bulguları Şekil 4.28.'de gösterilmiştir. Buna göre primer lamellerde seperasyon ve sekonder lamellerde hiperplazi ve düzensizleşme ilk göze çarpan bulgulardır. Sekonder lamellerde epitel hücrelerinde ve hiperplazik lamellerde deskuamasyon (dökülme, şekil bozukluğu) görülmüştür. Nadiren de olsa primer lamelde vakuolizasyon gözlenmiştir. Ayrıca lameller arası mukus benzeri yığılma ile birçok kez karşılaşmıştır.



Şekil 4.27. Yayın balığı karaciğer dokusunda merkezi vena (mv), hepatositler (oklar), kupfer hücreleri (ok başları), hepatopankreas (hp), safra kanalları (sk), hepatik arter (ha), fibrozis (dikdörtgen) ve hepatositlerde ve sinüzoidlerde kanlanma (yıldız), H&E.



Şekil 4.28. Yayın balığı solungaç dokusunda, sekonder lamellerde hiperplazi (oklar), primer lamellerde seperasyon (çift yönlü oklar), sekonder lamellerde deskuamasyon (yıldız), primer lamelde vakuolizasyon (üçgen), ayrıca lameller arası mukus benzeri yığılım (çarpı). H&E.

4.4. Kızılkanat Balığı (*Scardinius erythrophthalmus*) İle İlgili Bulgular

Sapanca Gölü'nde olası su kirliliğinin, balık dokularındaki ağır metal birikimi ve dokuların biyokimyası ve histolojisi üzerine etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada 2015 yılının her ayında özel izinle çıkılan avlanmada haziran, temmuz ve eylül aylarında kızılkanat balığı elde edilememiştir. Yakalanan kızılkanat balıklarının parametrik bulguları; kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki Cu, Fe, Zn, Pb ve Cd miktarları; total protein, lipid peroksidasyonu, total glutatyon seviyeleri ve katalaz enzim aktivitesi; karaciğer ve solungaç dokularının histopatolojisi incelenmiştir.

4.4.1. Parametrik bulgular

Sapanca Gölü'nden yakalanan kızılkanat balıklarının parametrik bulguları Tablo 4.6. da verilmiştir. 2015 yılının her ayında özel izinle çıkılan avlanmada toplam 35 adet canlı kızılkanat balığı yakalanmıştır. Toplam olarak 17 adet erkek birey, 18 adet dişi birey yakalanmıştır. En fazla kızılkanat şubat ayında 7 adet yakalanmıştır.

Ortalama ağırlık olarak en yüksek bireyler ekim ayında $489,3 \pm 90,8$ g, en düşük bireyler kasım ayında $201 \pm 12,12$ g olarak belirlenmiştir.

Ortalama olarak total boy, en yüksek ekim ayında $32,5 \pm 2,46$ cm, en düşük kasım ayında $24,6 \pm 0,44$ cm; ortalama çatal bot en yüksek ekim ayında $30,5 \pm 2,0$ cm, en düşük ocak ayında $22,6 \pm 1,17$ cm olarak belirlenmiştir.

Kondüsyon faktörü en yüksek ekim ayında $1,411 \pm 0,11$, en düşük aralık ayında $1,205 \pm 0,045$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.6. Sapanca Gölü'nden yakalanan kızılkanat balıklarının parametrik bulguları. Sonuçlar ortalama $\pm$ standart hata, minumum-maksimum olarak verilmiştir.

Aylar	n sayısı cinsiyet	Ağırlık ($\pm$ SH) (min.-max., g)	Total Boy($\pm$ SH) (min.-max., cm)	Çatal Boy ($\pm$ SH) (min.-max., cm)	Kondüsyon Faktörü ($\pm$ SH) (min.-max.)
Ocak	6 (2 σ + 4 φ)	208 $\pm$ 39,7 (114-396)	25,06 $\pm$ 1,32 (21,5-31)	22,6 $\pm$ 1,17 ^b (19-27,6)	1,253 $\pm$ 0,039 (1,14-1,39)
Şubat	7 (2 σ + 5 φ)	227 $\pm$ 26,9 (172-365)	26,14 $\pm$ 0,821 (24-30)	23,35 $\pm$ 0,753 (21,5-27)	1,238 $\pm$ 0,0315 (1,1-1,35)
Mart	3 (1 σ + 2 φ)	279,6 $\pm$ 21,48 (239-312)	28,16 $\pm$ 0,6 (29-27)	25,93 $\pm$ 0,52 (28-25)	1,24 $\pm$ 0,018 (1,21-1,27)
Nisan	3 (3 σ)	403,6 $\pm$ 97,5 (292-598)	30,6 $\pm$ 1,6 (29-34)	28 $\pm$ 2 (26-32)	1,34 $\pm$ 0,09 (1,197-1,521)
Mayıs	3 (2 σ + 1 φ)	377,6 $\pm$ 43,2 (323-463)	30,76 $\pm$ 0,62 (30-32)	28,86 $\pm$ 0,817 (27-29,5)	1,28 $\pm$ 0,065 (1,19-1,412)
Ağustos	3 (2 σ + 1 φ)	409,3 $\pm$ 19,4 (380-446)	31,5 $\pm$ 0,288 (31-32)	28,8 $\pm$ 0,6 (28-30)	1,3 $\pm$ 0,026 (1,27-1,36)
Ekim	3 (1 σ + 2 φ)	489,3 $\pm$ 90,8 ^a (356- 663)	32,5 $\pm$ 2,46 ^a (28- 36,5)	30,5 $\pm$ 2,08 ^a (26,5- 33,5)	1,411 $\pm$ 0,11 ^a (1,249- 1,62)
Kasım	4 (2 σ + 2 φ)	201 $\pm$ 12,12 ^b (177- 216)	24,6 $\pm$ 0,44 ^b (24- 25,5)	23 $\pm$ 0,7 (22- 24)	1,337 $\pm$ 0,045 (1,28- 1,42)
Aralık	3 (2 σ + 1 φ)	279,6 $\pm$ 80,6 (198- 441)	28 $\pm$ 2,25 (25,5- 32,5)	25,16 $\pm$ 1,92 (23- 29)	1,205 $\pm$ 0,045 ^b (1,12- 1,28)

a: Maksimum Değer, b: Minimum Değer

4.4.2. Ağır metal bulguları

Sapanca Gölü'nden yakalanan kızılkanat balıklarının kas, karaciğer ve solungaç dokularından ve referans olarak kullanılan NRC Dorm-3'ten belirlenen Cu, Fe, Zn, Pb ve Cd miktarları, FAO ve Türk Gıda Kodeksinin (TGK) belirlediği metallerin balıklarda bulunabileceği maksimum değerler Tablo 4.7.'de verilmiştir. Buna göre,

- Kas dokuda Cu değeri, en yüksek aralık ayında 42,75 $\pm$ 1,7 μgkg^{-1} , en düşük ekim ayında 5,21 $\pm$ 1,4 μgkg^{-1} olarak belirlenirken mart, nisan, haziran ve kasım aylarında cihazın analiz limitinin altında kaldığından belirlenememiştir.
- Kas dokuda Fe değeri, en yüksek mart ayında 1519,57 $\pm$ 53,4 μgkg^{-1} , en düşük nisan ayında 167,91 $\pm$ 64,3 μgkg^{-1} olarak belirlenmiştir.
- Kas dokuda Zn değeri, en yüksek ağustos ayında 741,28 $\pm$ 26 μgkg^{-1} , en düşük mart ayında 264,05 $\pm$ 95,7 μgkg^{-1} olarak belirlenmiştir.

- Kas dokuda Pb değeri, bütün aylarda cihazın analiz limitinin altında kaldığından belirlenememiştir.
- Kas dokuda Cd değeri, yalnızca aralık aylarında belirlenebilmiş diğer aylarda analiz limitinin altında kalmıştır.
- Karaciğer dokuda Cu değeri, en yüksek nisan ayında $1315,82 \pm 250,6 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük şubat ayında $4317,44 \pm 47,3 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Karaciğer dokuda Fe değeri, en yüksek nisan ayında $15790,27 \pm 125 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük ağustos ayında $4565,79 \pm 305 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Karaciğer dokuda Zn değeri, en yüksek mayıs ayında $4258,94 \pm 203,5 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük haziran ayında $1224,87 \pm 409,7 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Karaciğer dokuda Pb değeri, sadece ekim ayında belirlenebilmiş diğer bütün aylarda cihazın analiz limitinin altında kaldığından belirlenememiştir.
- Karaciğer dokuda Cd değeri, yalnızca ekim, kasım ve aralık aylarında belirlenebilmiş diğer aylarda analiz limitinin altında kalmıştır. Belirlenen aylar içerisinde Cd değeri en yüksek ekimde $9,09 \pm 2 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük eylülde $0,55 \pm 0,017 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak ölçülmüştür.
- Solungaç dokuda Cu değeri, en yüksek mayıs ayında $66,83 \pm 9,3 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük nisan ayında $22,36 \pm 2,2 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Solungaç dokuda Fe değeri, en yüksek mart ayında $3357,4 \pm 176,4 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük ocak ayında $2088,11 \pm 421 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Solungaç dokuda Zn değeri, en yüksek mayıs ayında $13211,6 \pm 302,4 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük ocak ayında $1860,37 \pm 563,4 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Solungaç dokuda Pb değeri, yalnızca ekim, kasım ve aralık aylarında belirlenebilmiş diğer aylarda analiz limitinin altında kaldığından belirlenememiştir. Belirlenen aylar içerisinde en yüksek Pb değeri aralıkta $22,52 \pm 5,47 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük ise ekimde $4,56 \pm 0,14 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak kaydedilmiştir.
- Solungaç dokuda Cd değeri, ise ocak, şubat, mart, nisan ve mayıs aylarında belirlenemezken diğer aylardan en yüksek ekimde $36,71 \pm 1 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük ağustosta $0,144 \pm 0,08 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Kızılkanat balıklarının dokularından belirlenen ağır metal konsantrasyonları arasında karşılaştırma yapıldığında Cu ve Fe miktarları karaciğer>solungaç>kas olarak, Zn ve Cd miktarları solungaç>karaciğer>kas olarak sıralanabilir.

Cu değeri referans olarak kullanılan NRC Dorm-3 ile karşılaştırıldığında, kas ve solungaç dokularında belirlenen tüm aylarda önemli oranda azalma ($p<0,01$), karaciğer dokuda nisanda artma ($p<0,05$) diğer aylarda ise azalma ($p<0,05$) belirlenmiştir.

Fe değeri NRC Dorm-3 ile karşılaştırıldığında kas ve solungaç dokularında önemli bir azalma ($p<0,01$), karaciğer dokuda nisan ve aralık aylarında artma ($p<0,05$) diğer aylarda azalma ($p<0,05$) gözlenmiştir.

Zn değeri ise kas dokuda önemli bir azalma ($p<0,05$) gösterirken, karaciğer dokuda haziran, ağustos ve kasım aylarında azalma ($p<0,05$) diğer aylarda artma ($p<0,05$), solungaç dokuda ise önemli bir artma ($p<0,01$) gözlenirken yalnız ocak ayında istatistiki olarak önemsiz ($p>0,05$) bir artma göstermiştir.

Pb değeri kas dokuda belirlenemezken, karaciğer ve solungaç dokuda bazı aylarda alınan örneklerde belirlenmiş ancak referans ile karşılaştırıldığında belirlenen değerlerin önemli oranda düşük olduğu ($p<0,01$) gözlenmiştir.

Kas ve karaciğerde belirlenebilen Cd değerleri tüm dokularda referans madde ile kıyaslandığında önemli oranda daha az ($p<0,01$) solungaç dokuda ekim ayında belirlenen artmanın istatistiki olarak anlamlı olmadığı ($p>0,05$) diğer aylarda ki azalmanın oldukça önemli olduğu ($p<0,01$) sonucu elde edilmiştir.

Tablo 4.7. Kızılkanat kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki Cu, Fe, Zn, Pb ve Cd miktarları. Sonuçlar ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

KAS					
Aylar	Cu (µgkg ⁻¹)	Fe (µgkg ⁻¹)	Zn (µgkg ⁻¹)	Pb (µgkg ⁻¹)	Cd (µgkg ⁻¹)
Ocak	23,63±3,72	501,67±64	352,64±58,69	ALA*	ALA
Şubat	30,95±2,8	508,19±11,37	566,02±12,39	ALA	ALA
Mart	ALA	1519,57±53,4 ^a	264,05±95,7 ^b	ALA	ALA
Nisan	ALA	167,91±64,3 ^b	346,03±43,9	ALA	ALA
Mayıs	21,9±1,2	1002,5±43,75	477,02±35,2	ALA	ALA
Haziran	ALA	389,71±67,9	281,38±41,9	ALA	ALA
Ağustos	7,05±1,1	542,35±65,8	741,28±26 ^a	ALA	ALA
Ekim	5,21±1,4 ^b	335,6±26,7	483,85±45,3	ALA	ALA
Kasım	ALA	197,04±39,1	401,13±61,3	ALA	ALA
Aralık	42,75±1,7 ^a	626,8±72,7	512,08±41,7	ALA	2,027±0,7
KARACİĞER					
Aylar	Cu (µgkg ⁻¹)	Fe (µgkg ⁻¹)	Zn (µgkg ⁻¹)	Pb (µgkg ⁻¹)	Cd (µgkg ⁻¹)
Ocak	645,01±98,5	9492,76±134,6	2242,96±240,6	ALA	ALA
Şubat	317,44±47,3 ^b	5757,7±36,6	2235,67±321,8	ALA	ALA
Mart	543,07±97,45	6738,06±351,3	3918,89±367,9	ALA	ALA
Nisan	1315,82±250,6 ^a	15790,27±125 ^a	2928,89±75,8	ALA	ALA
Mayıs	333,39±69,7	5299,9±305,2	4258,94±203,5 ^a	ALA	ALA
Haziran	650,5±109,4	7856,77±264,2	1224,87±409,7 ^b	ALA	ALA
Ağustos	621,57±100,2	4565,79±305 ^b	1341,67±179	ALA	ALA
Ekim	547,19±187,1	8545,58±217	3869,68±445	67,03±1,8	9,09±2 ^a
Kasım	403,51±35,6	8482,24±123,3	1399,43±235,4	ALA	0,55±0,017 ^b
Aralık	584,195±98	12722±143,7	2829,445±208	ALA	4,24±0,8
SOLUNGAÇ					
Aylar	Cu (µgkg ⁻¹)	Fe (µgkg ⁻¹)	Zn (µgkg ⁻¹)	Pb (µgkg ⁻¹)	Cd (µgkg ⁻¹)
Ocak	29,63±12,4	2088,11±421 ^b	1860,37±563,4 ^b	ALA	ALA
Şubat	38,92±10,3	2184,52±219,3	3012,55±208,4	ALA	ALA
Mart	22,51±12,4	3357,4±176,4 ^a	9876,58±420,9	ALA	ALA
Nisan	22,36±2,2 ^b	2871,6±101,3	10162,89±451,3	ALA	ALA
Mayıs	66,83±9,3 ^a	2818,74±202,4	13211,6±302,4 ^a	ALA	ALA
Haziran	48,18±9,6	2327,44±408,2	7320,46±763,3	ALA	0,242±0,05
Ağustos	38,2±4,2	2767,855±191	8342,6±947,3	ALA	0,144±0,08 ^b
Ekim	51,88±1,2	2010,85±219,2	10773,41±739,3	4,56±0,14 ^b	36,71±1 ^a
Kasım	46,12±2,4	2892,31±0,89	4639,84±11	7,11±3,2	2,74±0,1
Aralık	46,61±8,3	2197,43±85,4	3811,36±594,6	22,52±5,47 ^a	4,72±0,2
NRC DORM-3	752,367±38,06	12252,1±750,6	1986,28±144,94	218,147±28,5	34,7±0,51
FAO (max.)	30000	-	40000	500	100
TGK (max.)	20000	-	50000	300	50

a:Maksimum Değer, b:Minimum Değer, *ALA:Analiz Limitinin Altında

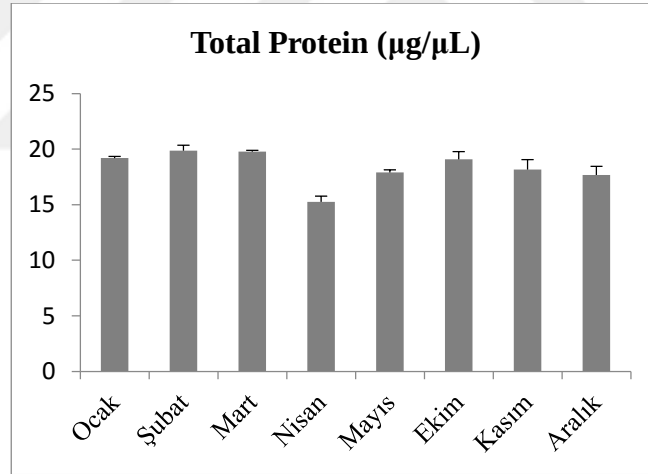
Genel olarak belirlenen metal konsantrasyonları kas dokuda Fe>Zn>Cu>Cd>Pb olarak, karaciğerde Zn>Fe>Cu>Pb>Cd ve solungaçta ise Zn>Fe>Cu>Cd>Pb olarak sıralanabilir. Elde edilen tüm veriler FAO ve TGK'nın balıklar için belirlediği maksimum değerlerin oldukça altında kalmıştır.

4.4.3. Biyokimyasal bulgular

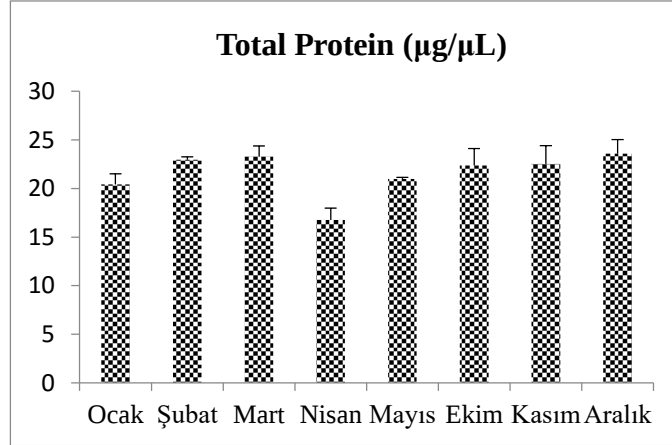
4.4.3.1. Total protein

Sapanca Gölü'nden yakalanan kızılkanat balıklarının kas, karaciğer ve solungaç dokularında belirlenen total protein miktarları Şekil 4.29.-4.30.'da verilmiştir. Buna göre;

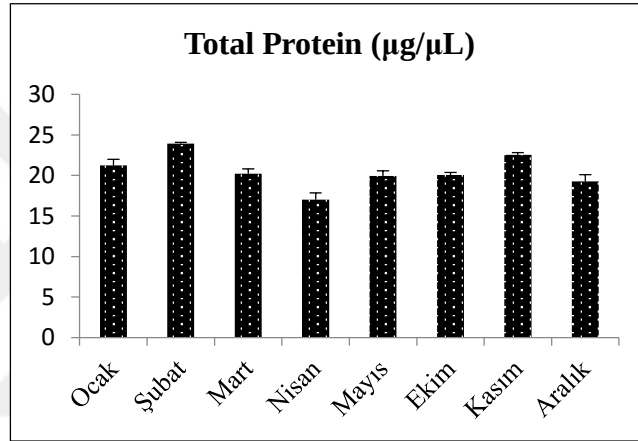
- Kas dokuda en yüksek şubat ayında $19,87 \pm 0,47 \mu\text{g}/\mu\text{L}$, en düşük nisan ayında $15,24 \pm 0,52 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ olarak;
- Karaciğer dokuda en yüksek aralık ayında $23,59 \pm 1,43 \mu\text{g}/\mu\text{L}$, en düşük nisan ayında $16,76 \pm 1,23 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ olarak;
- Solungaç dokuda en yüksek şubat ayında $23,92 \pm 0,14 \mu\text{g}/\mu\text{L}$, en düşük nisan ayında $17,03 \pm 0,81 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.29. Sapanca Gölü'nden yakalanan kızılkanat balıklarının kas dokusunda belirlenen total protein miktarları ($\mu\text{g}/\mu\text{L}$).



Şekil 4.30. Sapanca Gölü'nden yakalanan kızılkanat balıklarının karaciğer dokusunda belirlenen total protein miktarları (µg/µL).

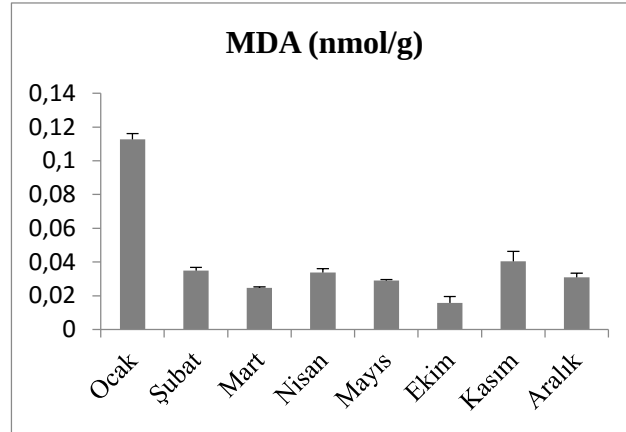


Şekil 4.31. Sapanca Gölü'nden yakalanan kızılkanat balıklarının solungaç dokusunda belirlenen total protein miktarları (µg/µL).

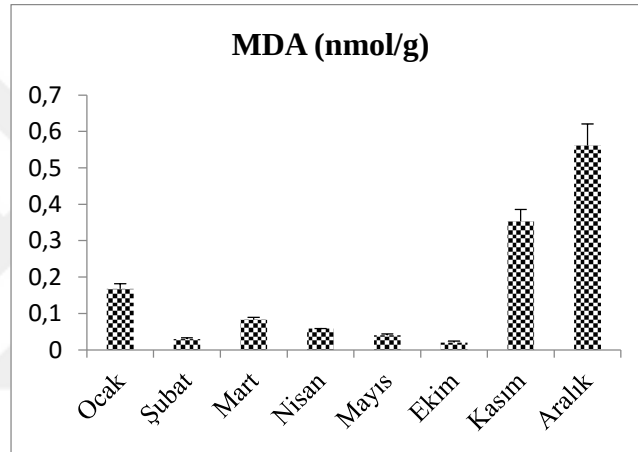
4.4.3.2. Lipid peroksidasyonu

Sapanca Gölü'nden yakalanan kızılkanat balıklarının kas, karaciğer ve solungaç dokularında belirlenen lipid peroksidasyon miktarları Şekil 4.32.-4.34.'de verilmiştir. Lipid peroksidasyonunun doğal bir parçalanma ürünü olan malondialdehit (MDA) miktarı ölçülerek oksidatif stres durumu belirlenmiştir. Buna göre;

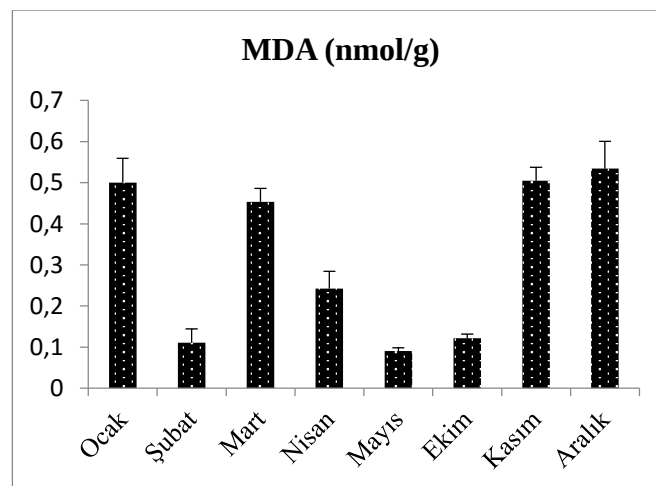
- Kas dokuda en yüksek ocak ayında $0,11 \pm 0,003$ nmol/g, en düşük ekim ayında $0,015 \pm 0,003$ nmol/g olarak;
- Karaciğer dokuda en yüksek aralık ayında $0,56 \pm 0,05$ nmol/g, en düşük ekim ayında $0,02 \pm 0,003$ nmol/g olarak;
- Solungaç dokuda en yüksek aralık ayında $0,253 \pm 0,06$ nmol/g, en düşük mayıs ayında $0,09 \pm 0,007$ nmol/g olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.32. Sapanca Gölü'nden yakalanan kızılkanat balıklarının kas dokusundan belirlenen lipid peroksidasyon miktarları (nmol/g).



Şekil 4.33. Sapanca Gölü'nden yakalanan kızılkanat balıklarının karaciğer dokusundan belirlenen lipid peroksidasyon miktarları (nmol/g).

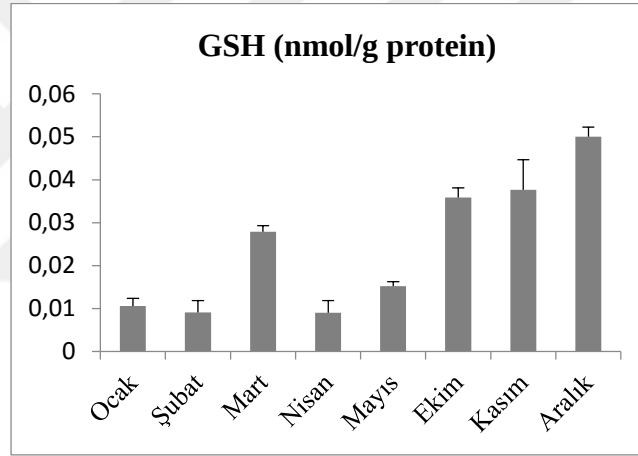


Şekil 4.34. Sapanca Gölü'nden yakalanan kızılkanat balıklarının solungaç dokusundan belirlenen lipid peroksidasyon miktarları (nmol/g).

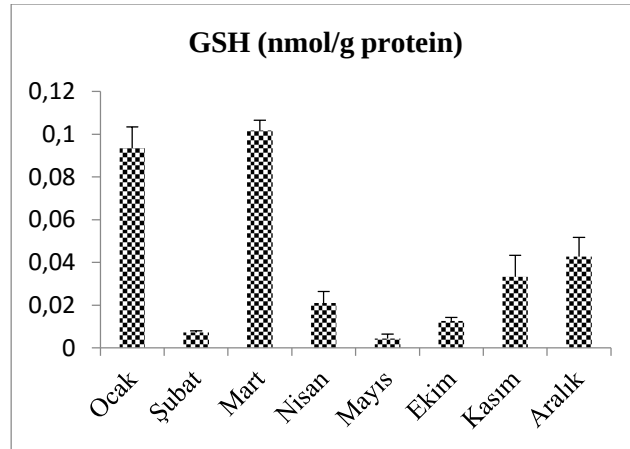
4.4.3.3. Total glutatyon

Sapanca Gölü'nden yakalanan kızılkanat balıklarının kas, karaciğer ve solungaç dokularında belirlenen total glutatyon miktarları Şekil 4.35.-4.37.'de verilmiştir. Buna göre;

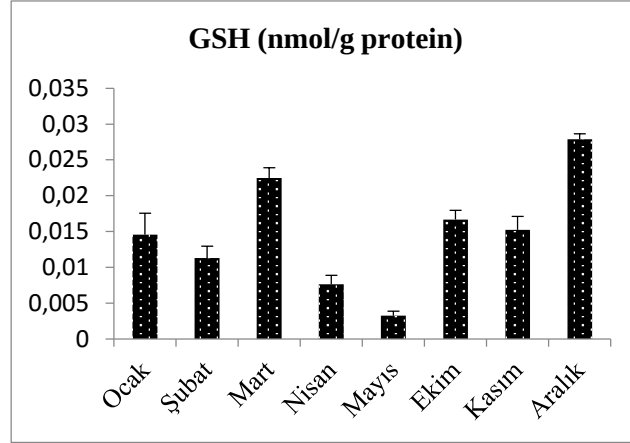
- Kas dokuda en yüksek aralık ayında $0,05 \pm 0,002$ nmol/g protein, en düşük nisan ayında $0,009 \pm 0,002$ nmol/g protein olarak;
- Karaciğer dokuda en yüksek mart ayında $0,1 \pm 0,004$ nmol/g protein, en düşük mayıs ayında $0,004 \pm 0,002$ nmol/g protein olarak;
- Solungaç dokuda en yüksek aralık ayında $0,027 \pm 0,0007$ nmol/g protein, en düşük mayıs ayında $0,003 \pm 0,0006$ nmol/g protein olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.35. Sapanca Gölü'nden yakalanan kızılkanat balıklarının kas dokusundan belirlenen total glutatyon miktarları (nmol/g protein).



Şekil 4.36. Sapanca Gölü'nden yakalanan kızılkanat balıklarının karaciğer dokusundan belirlenen total glutatyon miktarları (nmol/g protein).

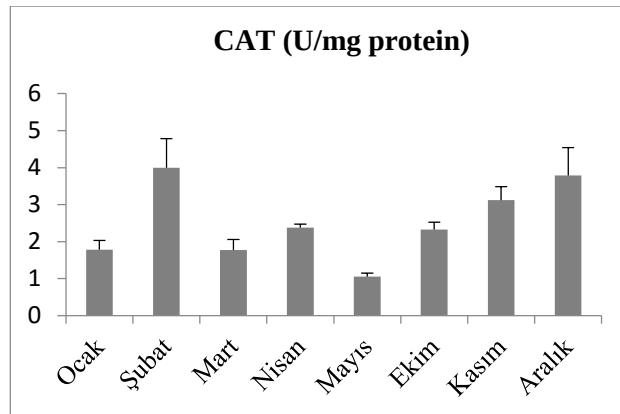


Şekil 4.37. Sapanca Gölü'nden yakalanan kıızıkanat balıklarının solungaç dokusundan belirlenen total glutatyon miktarları (nmol/g protein).

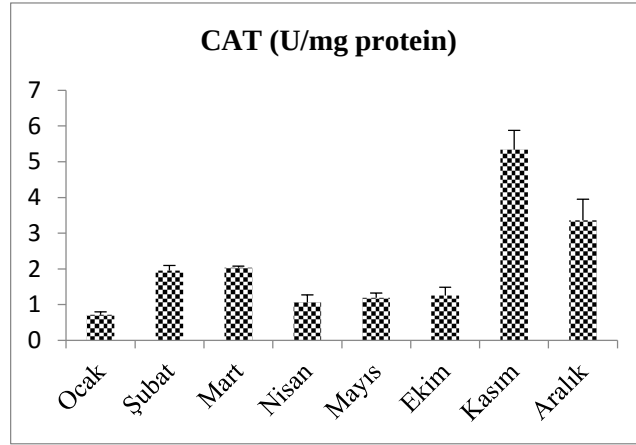
4.4.3.4. Katalaz enzim aktivitesi

Sapanca Gölü'nden yakalanan kıızıkanat balıklarının kas, karaciğer ve solungaç dokularında belirlenen katalaz enzim aktivitesi Şekil 4.38.-4.40.'de verilmiştir. Buna göre;

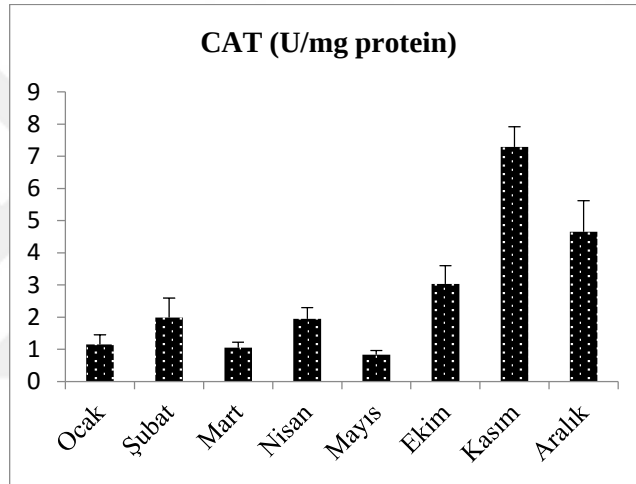
- Kas dokuda en yüksek şubat ayında $3,99 \pm 0,79$ U/mg protein, en düşük mayıs ayında $1,05 \pm 0,09$ U/mg protein olarak;
- Karaciğer dokuda en yüksek kasım ayında $5,33 \pm 0,53$ U/mg protein, en düşük ocak ayında $0,71 \pm 0,07$ U/mg protein olarak;
- Solungaç dokuda en yüksek kasım ayında $7,29 \pm 0,62$ U/mg protein, en düşük mayıs ayında $10,83 \pm 0,12$ U/mg protein olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.38. Sapanca Gölü'nden yakalanan kıızıkanat balıklarının kas dokusundan belirlenen katalaz enzim aktivitesi (U/mg protein).



Şekil 4.39. Sapanca Gölü'nden yakalanan kızılkanat balıklarının karaciğer dokusundan belirlenen katalaz enzim aktivitesi (U/mg protein).



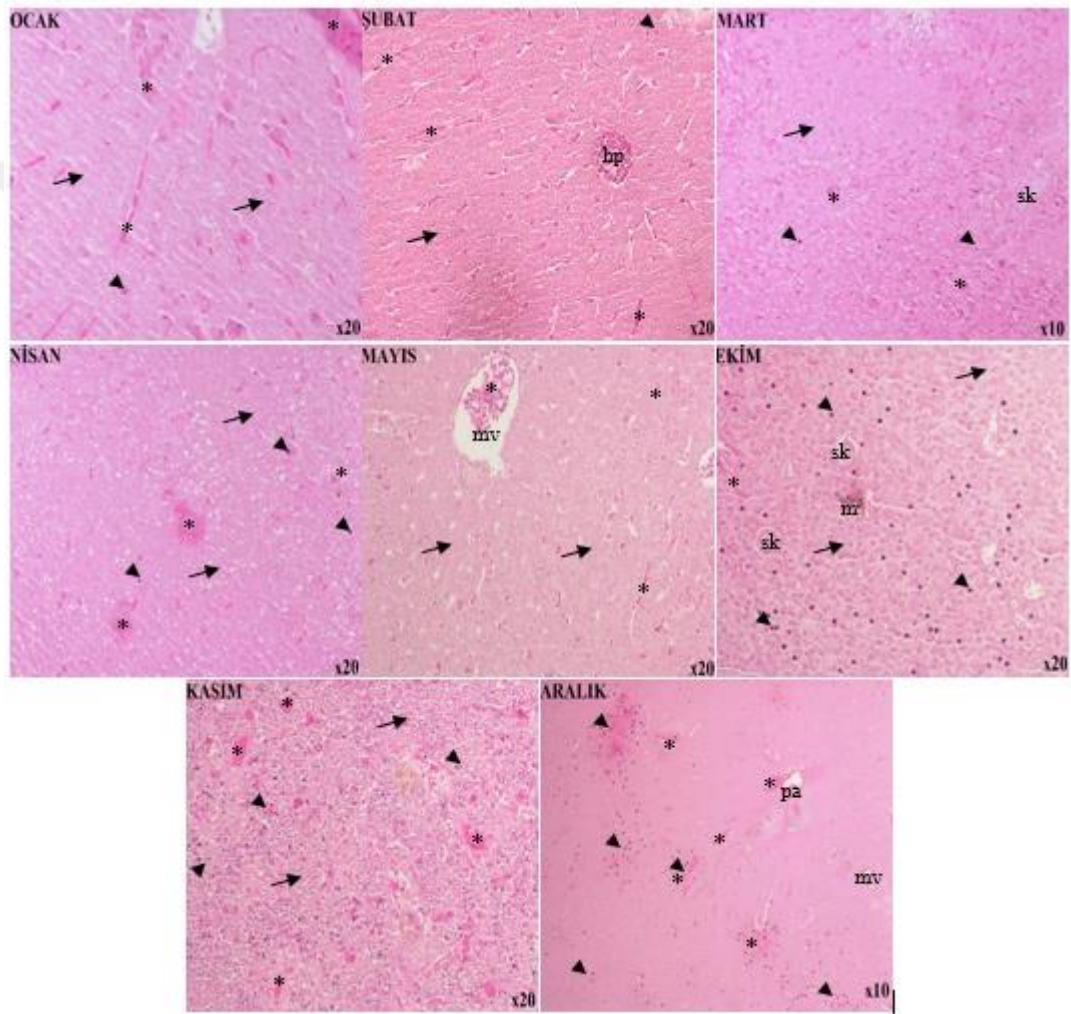
Şekil 4.40. Sapanca Gölü'nden yakalanan kızılkanat balıklarının solungaç dokusundan belirlenen katalaz enzim aktivitesi (U/mg protein).

4.4.4. Histolojik bulgular

4.4.4.1. Karaciğer

Sapanca Gölü'nden yakalanan kızılkanat balıklarının karaciğer dokularının Hematoksilen&Eosin ile boyanarak elde edilen histolojik bulguları Şekil 4.41.'de gösterilmiştir. Buna göre karaciğer parankimasında lobüler bir düzenleme yoktur, bazı örneklerde birbirlerinden sinüzoidlerle ayrılan düzgün çokgen şekilli hepatositler yığınlar oluşturmuştur. Ancak hepatosit ve sinüzoidlerde koyu pembe boyama ile belirgin olan kanama (hemoraji) mevcuttur. Hepatopankreas hücrelerinin

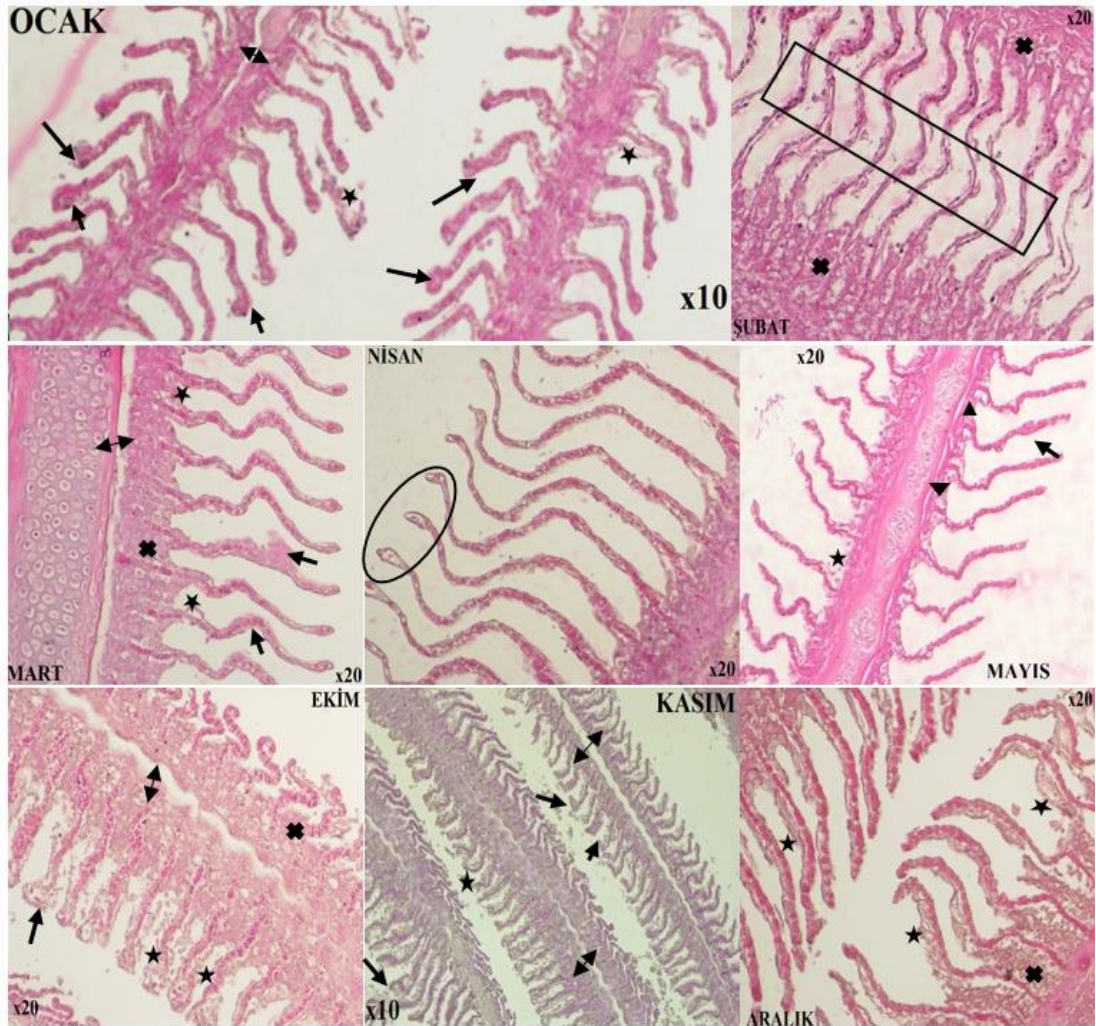
içlerinde zimojen granülleri bulunmaktadır. Karaciğere özelleşmiş bir çeşit makrofaj olan kuppfer hücreleri bütün örneklerde belirgindir. Bazı hepatositlerde nukleus ve nukleolus kolayca seçilebilirken bazılarında belirgin olarak hipertroftiktir. Bazı örneklerde karyolizis, piknoz şeklinde çeşitli nukleus distrofileri belirlenmiştir. Bir örnekte safra pigmentleri görülmüştür. Başka bir örnekte ise melanomakrofajlar küme halinde görüntülenmiştir.



Şekil 4.41. Kızılkanat balığı karaciğer dokusunda merkezi vena (mv), hepatositler (oklar), kupfer hücreleri (ok başları), hepatopankreas (hp), portal alan (pa), safra kanalı (sk), melanomakrofaj (m) ve hepatositlerde ve sinüzoidlerde kanlanma (yıldız), H&E.

4.4.4.2. Solungaç

Sapanca Gölü'nden yakalanan kıızıkanat balıklarının solungaç dokularının Hematoksilen&Eosin ile boyanarak elde edilen histolojik bulguları Şekil 4.42.'de gösterilmiştir. Buna göre primer lamellerde seperasyon ve sekonder lamellerde hiperplazi ve düzensizleşme göze çarpan bulgulardır. Sekonder lamellerde epitel hücrelerinde deskuamasyon (dökülme, şekil bozukluğu) ve sekonder lamel uçlarında ödem görülmüştür. Nadiren de olsa sekonder lamellerin karşılıklı füzyonu ve primer lamelde vakuolizasyon gözlenmiştir. Ayrıca lameller arası mukus benzeri yığılma ile birçok kez karşılaşmıştır.



Şekil 4.42. Kıızıkanat balığı solungaç dokusunda, sekonder lamellerde hiperplazi (oklar), primer lamellerde seperasyon (çift yönlü oklar), sekonder lamellerde deskuamasyon (yıldız), sekonder lamellerin karşılıklı füzyonu (dikdörtgen), primer lamelde vakuolizasyon (üçgen), sekonder lamel uçlarında ödem (elips), ayrıca lameller arası mukus benzeri yığılma (çarpı). H&E.

4.5. Kadife Balığı (*Tinca tinca*) İle İlgili Bulgular

Sapanca Gölü'nde olası su kirliliğinin, balık dokularındaki ağır metal birikimi ve dokuların biyokimyası ve histolojisi üzerine etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada 2015 yılının her ayında özel izinle çıkılan avlanmada mayıs, haziran ve temmuz aylarında kadife balığı elde edilememiştir. Yakalanan kadife balıklarının parametrik bulguları; kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki Cu, Fe, Zn, Pb ve Cd miktarları; total protein, lipid peroksidasyonu, total glutatyon seviyeleri ve katalaz enzim aktivitesi; karaciğer ve solungaç dokularının histopatolojisi incelenmiştir.

4.5.1. Parametrik bulgular

Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının parametrik bulguları Tablo 4.8.'de verilmiştir. 2015 yılının her ayında özel izinle çıkılan avlanmada toplam 23 adet canlı kadife balığı yakalanmıştır. Toplam olarak 19 adet erkek birey, 4 adet dişi birey yakalanmıştır. Ortalama ağırlık olarak en yüksek bireyler eylül ayında $1812,6 \pm 209,25$ g, en düşük bireyler mart ayında $319,6 \pm 11,46$ g olarak belirlenmiştir. Ortalama olarak total boy, en yüksek eylül ayında $44,6 \pm 2,027$ cm, en düşük mart ayında $29 \pm 0,28$ cm; ortalama çatal boy en yüksek eylül ayında $43,6 \pm 2$ cm, en düşük mart ayında $28,3 \pm 0,33$ cm olarak belirlenmiştir. Kondüsyon faktörü en yüksek eylül ayında $2,01 \pm 0,038$, en düşük ağustos ayında $1,23 \pm 0,022$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.8. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının parametrik bulguları. Sonuçlar ortalama±standart hata, minimum-maksimum olarak verilmiştir.

Aylar	n cinsiyet	Ağırlık (±SH) (min.-max., g)	Total Boy (±SH) (min.-max., cm)	Çatal Boy (±SH) (min.-max., cm)	Kondüsyon Faktörü (±SH) (min.-max.)
Ocak	2 (1♂ + 1♀)	441 ± 56 (385-497)	31,75 ± 0,75 (31-32,5)	31 ± 1 (30-32)	1,37 ± 0,08 (1,29-1,44)
Şubat	3 (3♂)	483,6 ± 48,8 (398-567)	32,4 ± 0,832 (34-31,2)	32,2 ± 0,757 (31-33,6)	1,41 ± 0,05 (1,31-1,48)
Mart	3 (2♂ + 1♀)	319,6 ± 11,46 ^b (304-342)	29 ± 0,28 ^b (28,5-29,5)	28,3 ± 0,33 ^b (28-29)	1,31 ± 0,014 (1,28-1,33)
Nisan	2 (1♂ + 1♀)	704,5 ± 6,5 (698-711)	35,25 ± 0,25 (35-35,5)	34,9 ± 0,1 (34,8-35)	1,6 ± 0,019 (1,59-1,63)
Mayıs	2 (2♂)	615,5 ± 39,5 (576-655)	36 ± 1 (35-37)	35,6 ± 1,1 (29,5-36,7)	1,32 ± 0,02 (1,29-1,34)
Ağustos	2 (2♂)	531 ± 36 (495-567)	35 ± 1 (34-36)	34,6 ± 1,1 (33,5-35,7)	1,23 ± 0,022 ^b (1,21-1,25)
Eylül	3 (2♂ + 1♀)	1812,6 ± 209,2 ^a (1433-2155)	44,6 ± 2,027 ^a (41-48)	43,6 ± 2 ^a (40-47)	2,01 ± 0,038 ^a (1,94-2,079)
Ekim	2 (2♂)	416 ± 51 (365-467)	30,5 ± 1,5 (32-29)	30 ± 1,5 (28,5-31,5)	1,46 ± 0,035 (1,42-1,49)
Kasım	2 (2♂)	645,5 ± 34,5 (611- 680)	34 ± 1 (33- 35)	33 ± 1 (32-34)	1,64 ± 0,057 (1,58- 1,70)
Aralık	2 (2♂)	490 ± 74 (416- 564)	32,5 ± 1,5 (31- 34)	31,75 ± 1,25 (30,5- 33)	1,415 ± 0,02 (1,39- 1,43)

a:Maksimum Değer, b:Minimum Değer

4.5.2. Ağır metal bulguları

Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının kas, karaciğer ve solungaç dokularından ve referans olarak kullanılan NRC Dorm-3'ten belirlenen Cu, Fe, Zn, Pb ve Cd miktarları, FAO ve Türk Gıda Kodeksinin (TGK) belirlediği metallerin balıklarda bulunabileceği maksimum değerler Tablo 4.9.'de verilmiştir. Buna göre,

- Kas dokuda Cu değeri, en yüksek ocak ayında $25,42 \pm 3,72 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük şubat ayında $2,61 \pm 0,63 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenirken mart, nisan ve ağustos aylarında cihazın analiz limitinin altında kaldığından belirlenememiştir.
- Kas dokuda Fe değeri, en yüksek ocak ayında $1117,93 \pm 64 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük nisan ayında $157,69 \pm 64,3 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

- Kas dokuda Zn değeri, en yüksek şubat ayında $497,83 \pm 12,39 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük mart ayında $151,43 \pm 95,7 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Kas dokuda Pb değeri, bütün aylarda cihazın analiz limitinin altında kaldığından belirlenememiştir.
- Kas dokuda Cd değeri, yalnızca aralık aylarında belirlenebilmiş diğer aylarda analiz limitinin altında kalmıştır.
- Karaciğer dokuda Cu değeri, en yüksek şubat ayında $3921,4 \pm 47,3 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük nisan ayında $1141,02 \pm 50,6 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Karaciğer dokuda Fe değeri, en yüksek mart ayında $26501,1 \pm 351,3 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük ekim ayında $86,12 \pm 35 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Karaciğer dokuda Zn değeri, en yüksek eylül ayında $2182,23 \pm 409,7 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük kasım ayında $1170,46 \pm 445 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Karaciğer dokuda Pb değeri, bütün aylarda cihazın analiz limitinin altında kaldığından belirlenememiştir.
- Karaciğer dokuda Cd değeri, yalnızca ağustos, eylül, ekim, kasım ve aralık aylarında belirlenebilmiş diğer aylarda analiz limitinin altında kalmıştır. Belirlenen aylar içerisinde Cd değeri en yüksek eylülde $5,97 \pm 1,43 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük kasımda $2,31 \pm 0,2 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak ölçülmüştür.
- Solungaç dokuda Cu değeri, en yüksek eylül ayında $125,51 \pm 9,6 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük nisan ayında $32,25 \pm 1,2 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Solungaç dokuda Fe değeri, en yüksek ocak ayında $3811,45 \pm 421 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük nisan ayında $1798,37 \pm 101,3 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Solungaç dokuda Zn değeri, en yüksek ocak ayında $1382,04 \pm 63,4 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük kasım ayında $829,62 \pm 79,3 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.
- Solungaç dokuda Pb değeri, yalnızca ocak, ağustos, eylül ve aralık aylarında belirlenebilmiş diğer aylarda analiz limitinin altında kaldığından belirlenememiştir. Belirlenen aylar içerisinde en yüksek Pb değeri ocakta $160,46 \pm 2,4 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük ise aralıkta $10,78 \pm 2,6 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak kaydedilmiştir.
- Solungaç dokuda Cd değeri, ocak, şubat, mart, nisan ve mayıs aylarında belirlenemezken diğer aylardan en yüksek aralıkta $3,69 \pm 0,02 \mu\text{gkg}^{-1}$, en düşük ağustosta $0,61 \pm 0,1 \mu\text{gkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Kızılkanat balıklarının dokularından belirlenen ağır metal konsantrasyonları arasında karşılaştırma yapıldığında Cu, Fe ve Zn miktarı karaciğer>solungaç>kas olarak, Cd miktarı solungaç>karaciğer>kas olarak sıralanabilir.

Cu değeri referans olarak kullanılan NRC Dorm-3 ile karşılaştırıldığında, kas ve solungaç dokularında belirlenen tüm aylarda önemli oranda azalma ($p<0,01$), karaciğer dokuda ise tüm aylarda önemli artma ($p<0,05$) belirlenmiştir.

Fe değeri NRC Dorm-3 ile karşılaştırıldığında kas ve solungaç dokularında önemli bir azalma ($p<0,01$), karaciğer dokuda ocak şubat ve mart aylarında artma ($p<0,05$), nisan, ağustos, ekim ve kasımda azalma ($p<0,05$) gözlenirken eylül ve aralık değerlerindeki azalmanın ($p>0,05$) istatistiki olarak anlamlı olmadığı belirlenmiştir.

Zn değeri ise kas dokuda önemli bir azalma ($p<0,01$) gösterirken, karaciğer dokuda şubat ve eylül aylarında görülen artma istatistiki olarak anlamlı olmazken ($p>0,05$), diğer aylarda ve solungaç dokuda ($p<0,05$) azalma göstermiştir.

Pb değeri kas ve karaciğer dokularında belirlenmezken, solungaç dokuda bazı aylarda alınan örneklerde belirlenmiş ancak referans ile karşılaştırıldığında belirlenen değerlerin önemli oranda düşük olduğu ($p<0,05$) gözlenmiştir.

Tüm dokularda belirlenebilen Cd değerleri referans madde ile kıyaslandığında önemli oranda daha az ($p<0,01$) olduğu sonucu elde edilmiştir.

Genel olarak belirlenen metal konsantrasyonları kas ve karaciğer dokuda $Fe>Zn>Cu>Cd>Pb$ olarak, solungaçta ise $Fe>Zn>Cu>Pb>Cd$ olarak sıralanabilir. Elde edilen tüm veriler FAO ve TGK'nın balıklar için belirlediği maksimum değerlerin oldukça altında kalmıştır.

Tablo 4.9. Kadife kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki Cu, Fe, Zn, Pb ve Cd miktarları. Sonuçlar ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

KAS					
Aylar	Cu (μgkg^{-1})	Fe (μgkg^{-1})	Zn (μgkg^{-1})	Pb (μgkg^{-1})	Cd (μgkg^{-1})
Ocak	25,42±3,72 ^a	1117,93±64 ^a	444,81±58,69	ALA*	ALA
Şubat	2,61±0,63 ^b	590±11,37	497,83±12,39 ^a	ALA	ALA
Mart	ALA	256,07±53,4	151,43±95,7 ^b	ALA	ALA
Nisan	ALA	157,69±64,3 ^b	298,55±43,9	ALA	ALA
Mayıs	ALA	168,34±27,9	311,7±34,5	ALA	ALA
Ağustos	ALA	239,47±43,75	276,91±35,2	ALA	ALA
Eylül	9,27±1,2	344,09±67,9	281,64±41,9	ALA	ALA
Ekim	12,23±5,1	486,83±65,8	341,01±26	ALA	ALA
Kasım	14,97±2,4	480,81±26,7	274,5±45,3	ALA	ALA
Aralık	17,84±1,7	650,84±39,1	360,9±61,3	ALA	3,015±0,6
KARACİĞER					
Aylar	Cu (μgkg^{-1})	Fe (μgkg^{-1})	Zn (μgkg^{-1})	Pb (μgkg^{-1})	Cd (μgkg^{-1})
Ocak	1813,1±98,5	16129,8±134,6	1513,66±240,6	ALA	ALA
Şubat	3921,4±47,3 ^a	17323,4±36,6	2133,11±321,8	ALA	ALA
Mart	2310,18±97,45	26501,1±351,3 ^a	1696,46±367,9	ALA	ALA
Nisan	1141,02±250,6 ^b	4224,69±125	1561,68±75,8	ALA	ALA
Mayıs	2145,42±68,1	637,4±15,9	1431,2±97,5	ALA	ALA
Ağustos	1693,28±69,7	8275,54±305,2	1428,81±203,5	ALA	3,12±0,98
Eylül	3062,2±109,4	11194,4±264,2	2182,23±409,7 ^a	ALA	5,97±1,43 ^a
Ekim	2797,7±117,4	86,12±35 ^b	1739,1±679	ALA	3,72±0,08
Kasım	2015±187,1	5074,8±217	1170,46±445 ^b	ALA	2,31±0,2 ^b
Aralık	1771,12±35,6	12217,9±123,3	1340,98±235,4	ALA	4,74±0,89
SOLUNGAÇ					
Aylar	Cu (μgkg^{-1})	Fe (μgkg^{-1})	Zn (μgkg^{-1})	Pb (μgkg^{-1})	Cd (μgkg^{-1})
Ocak	108,66±12,4	3811,45±421 ^a	1382,04±563,4 ^a	160,46±2,4 ^a	ALA
Şubat	79,07±10,3	2843,91±219,3	968,91±208,4	ALA	ALA
Mart	57,023±12,4	3516,59±176,4	999,99±420,9	ALA	ALA
Nisan	32,25±21,2 ^b	1798,37±101,3 ^b	1014,57±451,3	ALA	ALA
Mayıs	53,4±9,5	1964,6±112,5	1249,56±47,6	ALA	ALA
Ağustos	48,31±9,3	2056,04±202,4	1076,02±302,4	13,32±3,2	0,61±0,1 ^b
Eylül	125,51±9,6 ^a	2259,22±408,2	1299,7±763,3	30,38±4,2	2,31±0,05
Ekim	72,72±4,2	2345,06±191	1031,88±947,3	ALA	1,59±0,8
Kasım	80,82±21,2	1867,73±219,2	829,62±739,3 ^b	ALA	1,93±0,01
Aralık	84,99±8,3	2279,28±85,4	1182,19±594,6	10,78±2,6 ^b	3,69±0,02 ^a
NRC DORM-3	752,367±38,06	12252,1±750,6	1986,28±144,94	218,147±28,5	34,7±0,51
FAO (max.)	30000	-	40000	500	100
TGK (max.)	20000	-	50000	300	50

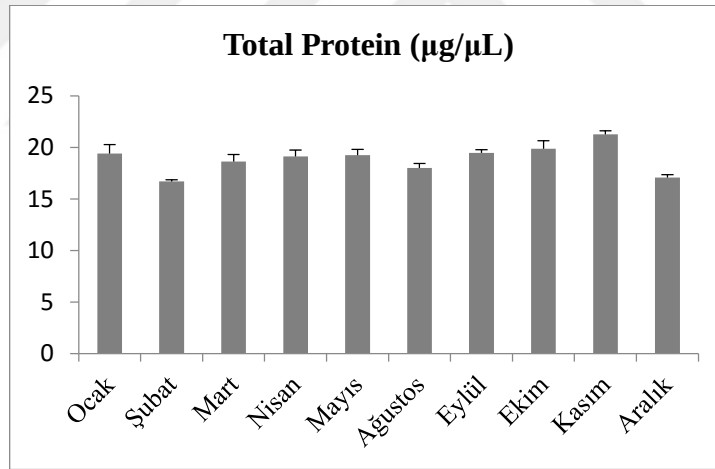
a:Maksimum Değer, b:Minimum Değer, *ALA:Analiz Limitinin Altında

4.5.3. Biyokimyasal bulgular

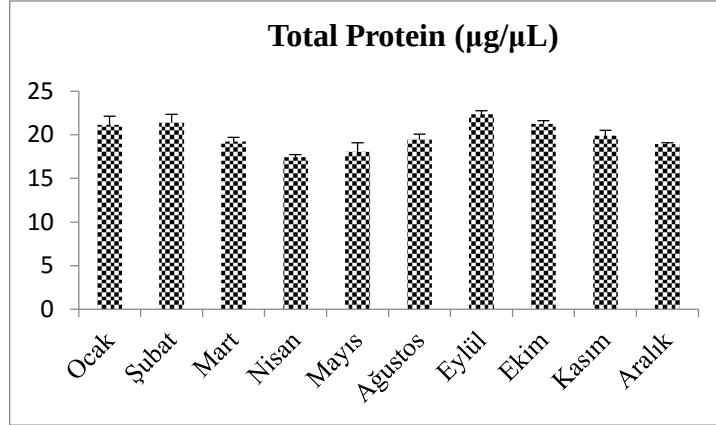
4.5.3.1. Total protein

Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının kas, karaciğer ve solungaç dokularında belirlenen total protein miktarları Şekil 4.43.-4.45.'te verilmiştir. Buna göre;

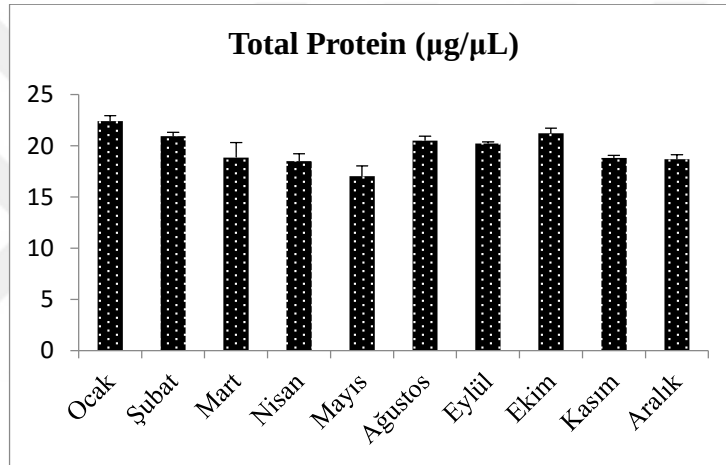
- Kas dokuda en yüksek kasım ayında $21,25 \pm 0,35 \mu\text{g}/\mu\text{L}$, en düşük şubat ayında $16,68 \pm 0,15 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ olarak;
- Karaciğer dokuda en yüksek eylül ayında $22,37 \pm 0,41 \mu\text{g}/\mu\text{L}$, en düşük nisan ayında $17,45 \pm 0,26 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ olarak;
- Solungaç dokuda en yüksek ocak ayında $22,42 \pm 0,51 \mu\text{g}/\mu\text{L}$, en düşük mayıs ayında $17,03 \pm 1 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.43. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının kas dokusunda belirlenen total protein miktarları ($\mu\text{g}/\mu\text{L}$).



Şekil 4.44. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının karaciğer dokusunda belirlenen total protein miktarları (µg/µL).



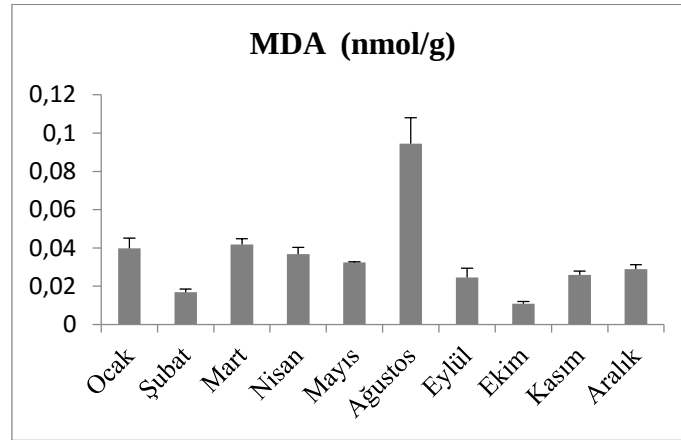
Şekil 4.45. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının solungaç dokusunda belirlenen total protein miktarları (µg/µL).

4.5.3.2. Lipid peroksidasyonu

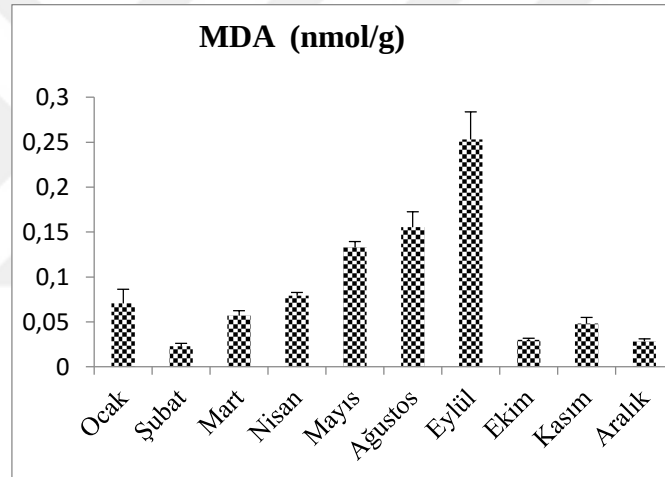
Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının kas, karaciğer ve solungaç dokularında belirlenen lipid peroksidasyon miktarları Şekil 4.46.-4.48.'de verilmiştir. Lipid peroksidasyonunun doğal bir parçalanma ürünü olan malondialdehit (MDA) miktarı ölçülerek oksidatif stres durumu belirlenmiştir. Buna göre;

- Kas dokuda en yüksek ağustos ayında $0,09 \pm 0,01$ nmol/g, en düşük ekim ayında $0,01 \pm 0,001$ nmol/g olarak;
- Karaciğer dokuda en yüksek eylül ayında $0,25 \pm 0,03$ nmol/g, en düşük şubat ayında $0,02 \pm 0,003$ nmol/g olarak;

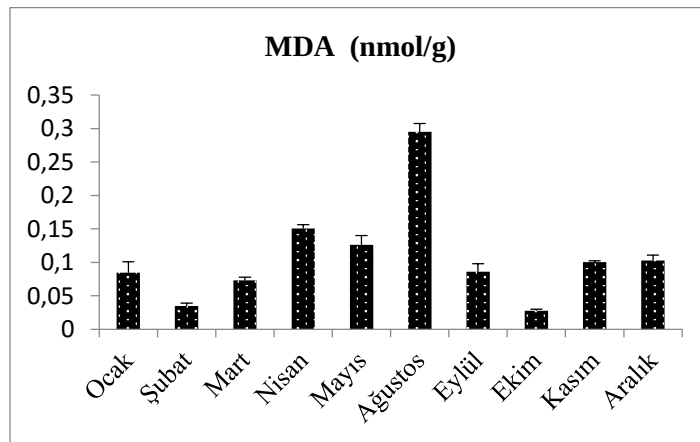
- Solungaç dokuda en yüksek ağustos ayında $0,29 \pm 0,01$ nmol/g, en düşük ekim ayında $0,02 \pm 0,002$ nmol/g olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.46. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının kas dokusundan belirlenen lipid peroksidasyon miktarları (nmol/g).



Şekil 4.47. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının karaciğer dokusundan belirlenen lipid peroksidasyon miktarları (nmol/g).

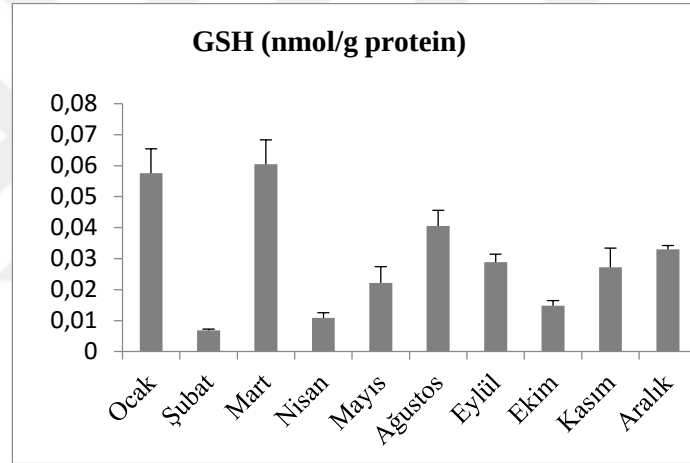


Şekil 4.48. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının solungaç dokusundan belirlenen lipid peroksidasyon miktarları (nmol/g).

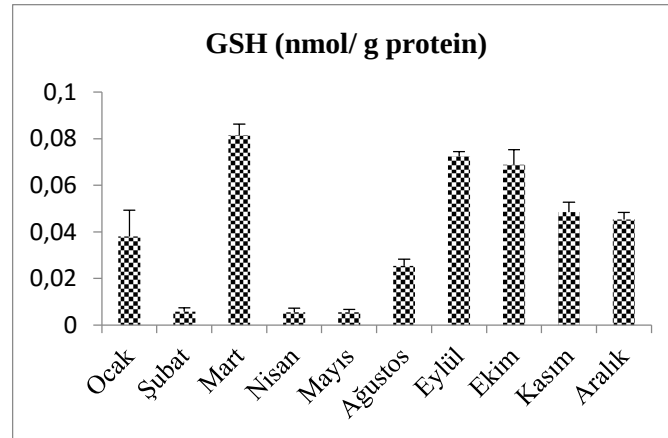
4.5.3.3. Total glutatyon

Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının kas, karaciğer ve solungaç dokularında belirlenen total glutatyon miktarları Şekil 4.49.-4.51.'de verilmiştir. Buna göre;

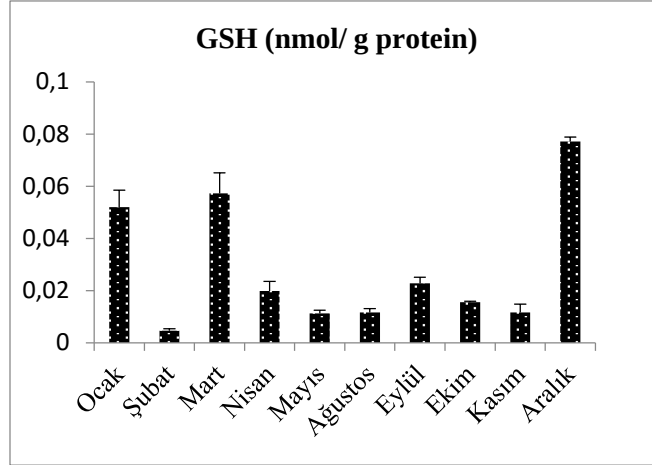
- Kas dokuda en yüksek mart ayında $0,06 \pm 0,007$ nmol/g protein, en düşük şubat ayında $0,006 \pm 0,0003$ nmol/g protein olarak;
- Karaciğer dokuda en yüksek mart ayında $0,08 \pm 0,004$ nmol/g protein, en düşük mayıs ayında $0,005 \pm 0,001$ nmol/g protein olarak;
- Solungaç dokuda en yüksek aralık ayında $0,07 \pm 0,001$ nmol/g protein, en düşük şubat ayında $0,004 \pm 0,0007$ nmol/g protein olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.49. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının kas dokusundan belirlenen total glutatyon miktarları (nmol/g protein).



Şekil 4.50. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının karaciğer dokusundan belirlenen total glutatyon miktarları (nmol/g protein).

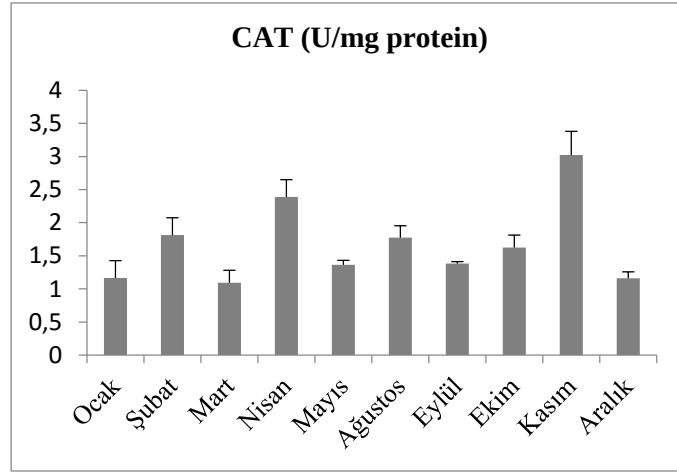


Şekil 4.51. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının solungaç dokusundan belirlenen total glutatyon miktarları (nmol/g protein).

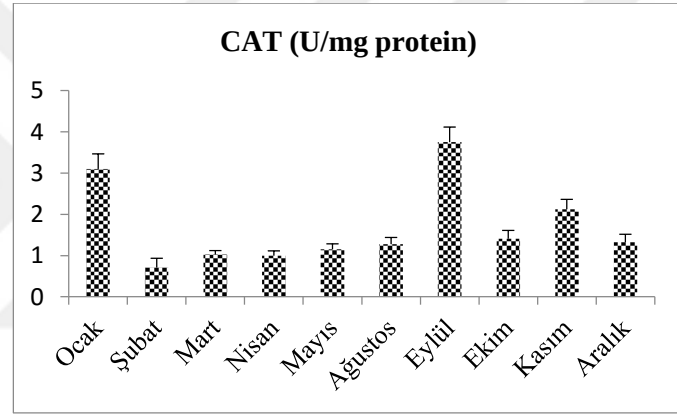
4.5.3.4. Katalaz enzim aktivitesi

Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının kas, karaciğer ve solungaç dokularında belirlenen katalaz enzim aktivitesi Şekil 4.52.-4.54.'de verilmiştir. Buna göre;

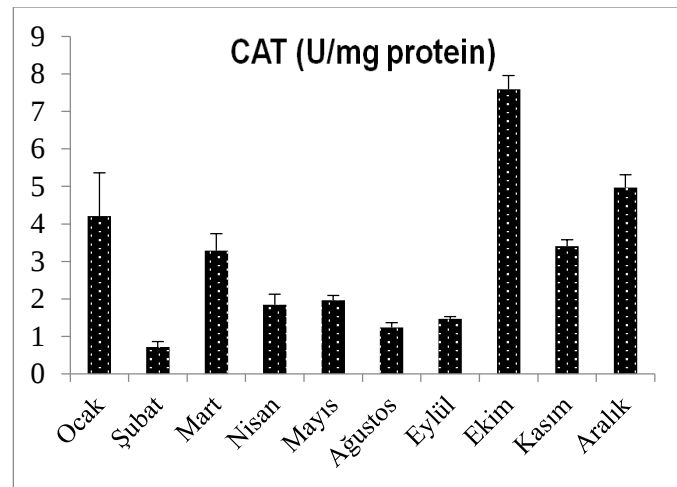
- Kas dokuda en yüksek kasım ayında $3,02 \pm 0,35$ U/mg protein, en düşük mart ayında $1,09 \pm 0,19$ U/mg protein olarak;
- Karaciğer dokuda en yüksek eylül ayında $3,75 \pm 0,36$ U/mg protein, en düşük şubat ayında $0,7 \pm 0,2$ U/mg protein olarak;
- Solungaç dokuda en yüksek ekim ayında $7,59 \pm 0,36$ U/mg protein, en düşük şubat ayında $0,71 \pm 0,14$ U/mg protein olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.52. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının kas dokusundan belirlenen katalaz enzim aktivitesi (U/mg protein).



Şekil 4.53. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının karaciğer dokusundan belirlenen katalaz enzim aktivitesi (U/mg protein).



Şekil 4.54. Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının solungaç dokusundan belirlenen katalaz enzim aktivitesi (U/mg protein).

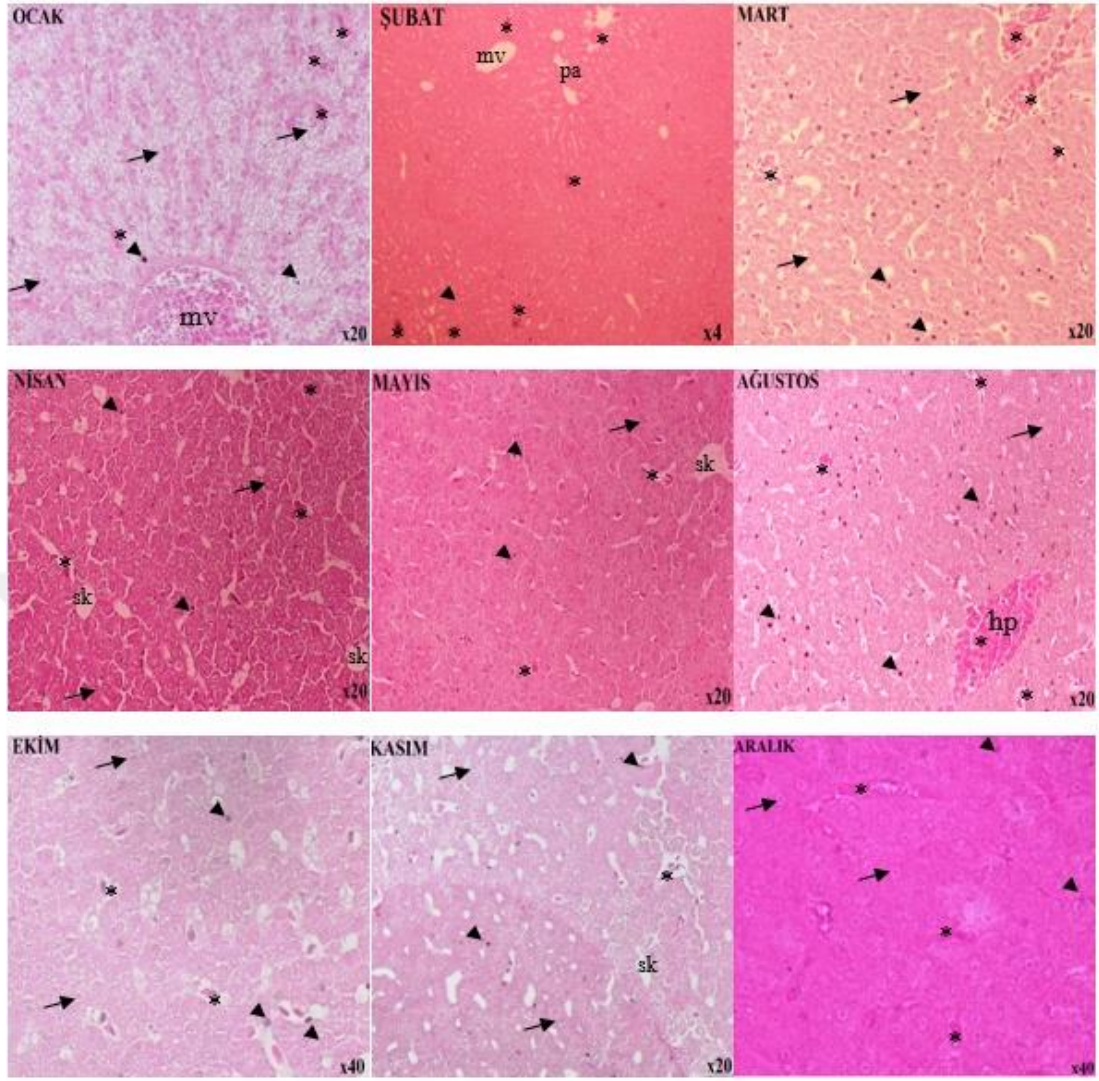
4.5.4. Histolojik bulgular

4.5.4.1. Karaciğer

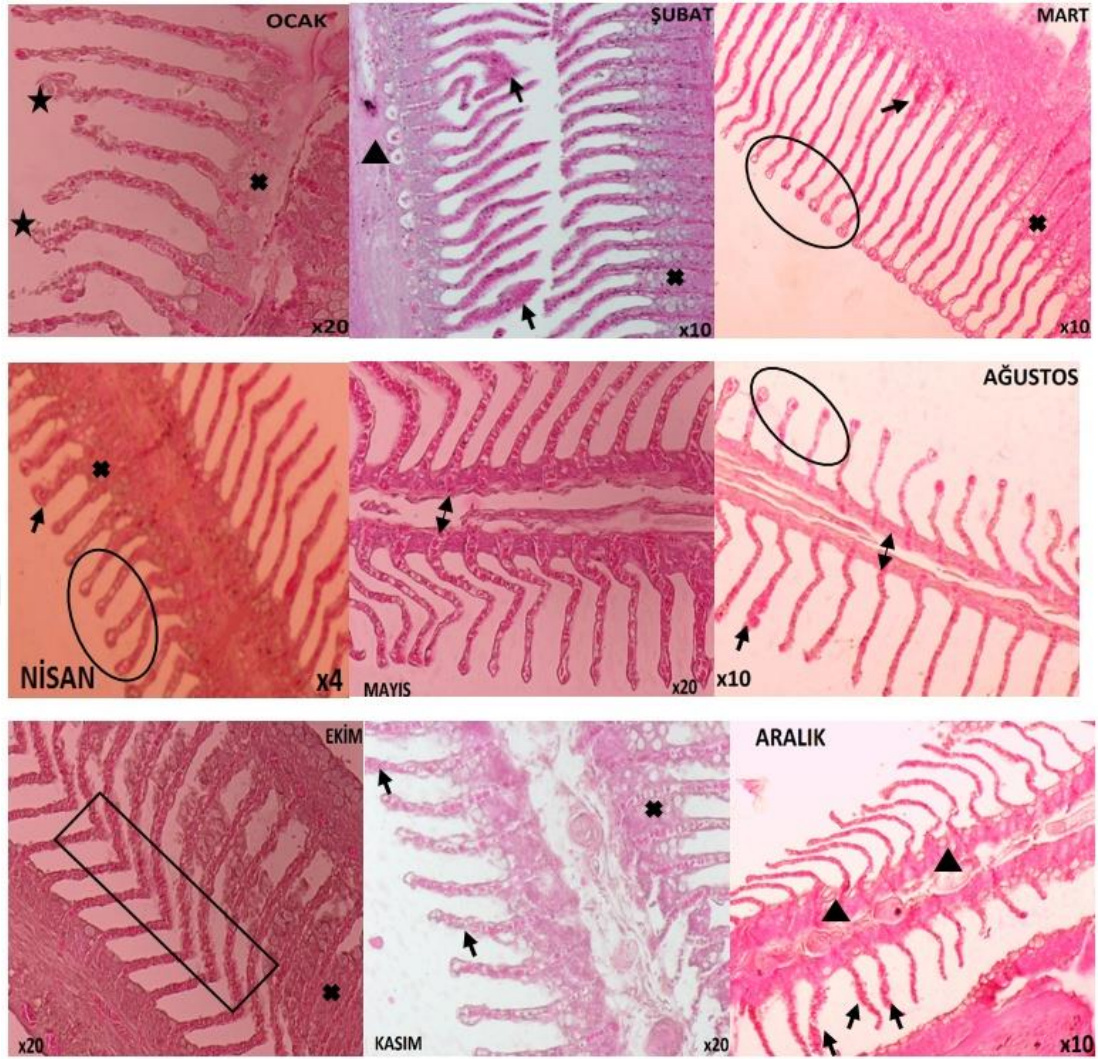
Sapanca Gölü'nden yakalanan kıızıkanat balıklarının karaciğer dokularının Hematoksilen&Eosin ile boyanarak elde edilen histolojik bulguları Şekil 4.55.'te gösterilmiştir. Buna göre karaciğer parankimasında lobüler bir düzenleme yoktur, bazı örneklerde birbirlerinden sinüzoidlerle ayrılan düzgün çokgen şekilli hepatositler yığınlar oluşturmuştur. Ancak hepatosit ve sinüzoidlerde koyu pembe boyama ile belirgin olan kanama (hemoraji) mevcuttur. Hepatopankreas hücrelerinin içlerinde zimojen granülleri bulunmaktadır. Karaciğere özelleşmiş bir çeşit makrofaj olan kuppfer hücreleri bütün örneklerde belirgindir. Bazı hepatositlerde nukleus ve nukleolus kolayca seçilebilirken bazılarında belirgin olarak hipertroftiktir. Bazı örneklerde karyolizis, piknoz şeklinde çeşitli nukleus distrofileri belirlenmiştir.

4.5.4.2. Solungaç

Sapanca Gölü'nden yakalanan kadife balıklarının solungaç dokularının Hematoksilen&Eosin ile boyanarak elde edilen histolojik bulguları Şekil 4.56.'da gösterilmiştir. Buna göre primer lamellerde seperasyon ve sekonder lamellerde hiperplazi ve düzensizleşme göze çarpan bulgulardır. Sekonder lamellerde epitel hücrelerinde deskuamasyon (dökülme, şekil bozukluğu) ve sekonder lamel uçlarında ödem görülmüştür. Nadiren de olsa sekonder lamellerin karşılıklı füzyonu ve primer lamelde vakuolizasyon gözlenmiştir. Ayrıca lameller arası mukus benzeri yığılma ile birçok kez karşılaşmıştır.



Şekil 4.55. Kadife balığı karaciğer dokusunda merkezi vena (mv), hepatositler (oklar), kupfer hücreleri (ok başları), hepatopankreas (hp), portal alan (pa), safra kanalı (sk) ve hepatositlerde ve sinüzoidlerde kanlanma (yıldız), H&E.



Şekil 4.56. Kızılkanat balığı solungaç dokusunda, sekonder lamellerde hiperplazi (oklar), primer lamellerde seperasyon (çift yönlü oklar), sekonder lamellerde deskuamasyon (yıldız), sekonder lamellerin karşılıklı füzyonu (dikdörtgen), primer lamelde vakuolizasyon (üçgen), sekonder lamel uçlarında ödem (elips), ayrıca lameller arası mukus benzeri yığılım (çarpı). H&E.

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Ocak 2015 ile Aralık 2015 tarihleri arasında aylık periyotlarla arazi çalışması yapılarak yürütülen bu çalışmada Sapanca Gölü'nden alınan su numunelerinde Cu, Fe, Zn, Pb ve Cd metallerinin miktarı incelenmiştir. Ayrıca metallerin analizlerinin yapıldığı ICP-OES cihazının ölçümlerinin doğruluğunu belirlemek için NW Kejim-02 referans materyalinden metal analizleri yapılarak belirlenen değerler ile sertifika değerleri karşılaştırılmıştır (Tablo 4.1.). Referans materyalin sonuçları ile tarafımızdan belirlenen değerlerin ağır metale ve aylara göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Örneğin Fe, ocak ve mart aylarında referans maddeden fazla, diğer aylarda oldukça düşük tespit edilmiştir. Cu ise yıl boyunca artan bir eğilim göstermiştir.

Çalışma alanımız olan Sapanca Gölü'nde, 1978-1980 yılları arasında su kirliliği ile ilgili yapılmış olan ilk çalışmada, mevsimsel olarak alınan su numuneleri incelenmiş, Sapanca Gölü'nün o zamanın belirtilen içme suyu özelliklerine sahip bulunduğu ancak gerekli tedbirler alınmadığı takdirde kirliliğin artacağı ve önemli içme suyu kaynaklarından birinin kaybedilebileceği vurgulanmıştır (Sümer,1996). Daha sonraki yıllarda ağır metal kirliliği üzerine Sapanca Gölü'nde yapılan çalışmalarda gölün kirlenme tehlikesiyle karşı karşıya bulunduğu önemle belirtilmektedir (Yalçın ve Sevinç 2001). 17 Ağustos 1999 Marmara depremi öncesi ve sonrası Sapanca Gölü'ne akan dereler üzerinde yapılan çalışmada, İstanbul, Mahmudiye ve Kuruçay derelerindeki kurşun ve kadmiyum birikiminin deprem sonrasında arttığı, bakır bakımından standartlara uyduğu, çinko ve demir bakımından deprem öncesi göle kirlilik taşıdığı gözlenirken deprem sonrası bu değerlerin düştüğü görülmüştür. Gölün tek deşarj noktası olan Çark deresinde ise kadmiyum dışındaki metal kirliliğinin standartların altında kaldığı gözlenmiştir (Dündar ve ark., 2003). Şişman ve ark.(2002), Sapanca Gölü kenarından geçen otoyolda yaptıkları yol kenarı kirliliği

çalışmasında, nikel birikiminin dünya standartlarının altında olduğunu fakat kurşun birikiminin kabul edilebilir sınır değerlerini aştığı belirlenmiştir. 1999'da yapılan bir çalışmada da, Sapanca gölü yüzey sedimentinde Cd ve Pb ağır metal zenginleşmesi tespit edilmiştir (Bakan ve Balkas,1999). Önemli sulak alanlardan olan Sapanca Gölü'nde yapılan diğer çalışmalarda da (Yalçın ve Sevinç, 2001; Duman ve ark. 2007) su kalitesinin değişmekte olduğu ve gölde kirliliğin arttığı bildirilmiştir.

Mogan Gölü'nden 2009 yılında alınan su örneklerinde belirlenen ağır metal düzeyleri $Pb > Fe > Cu \geq Zn > Cd$ olarak belirlenmiştir (Dostbil, 2010). Elmacı ve ark. (2007) tarafından Ocak 2003-Şubat 2004 tarihlerinde Uluabat Gölü suyunda ağır metal ölçümleri yapılmış, sonuç olarak $B > Zn > As > Cd > Pb > Ni > Cr$ olarak saptanmıştır. Bolat (2006) Seyfe Gölü'nde yaptığı çalışmada ağır metal miktarlarını $Zn > Cu > Pb > Cd$ olarak belirlemiştir. Aynı gölde 2010 yılda yapılan incelemede ağır metal miktarları $Pb > Zn > Cu > Cd$ olarak belirlenmiştir (Bölükbaşı Başaran, 2011). Bu çalışma sonucunda ise Sapanca Gölü suyundaki ağır metal konsantrasyonları $Fe > Zn > Pb > Cu > Cd$ olarak belirlenmiştir. Mwamburi (2009) Kenya'da Viktorya Gölünde yaptığı çalışmada göl suyunda Fe düzeyinin WHO'nun belirlediği içme suyu standartlarının çok üstünde olduğunu, belirlenen diğer parametrelerin ise (Al, Mn, Zn, Cu ve Cr) standartlara uygun olduğunu saptamıştır. Bu çalışmanın Sapanca Gölü su kalitesi, SKKY (2004)'ye göre değerlendirildiğinde Cu açısından ilk altı ay I. Sınıf, diğer aylarda II. Sınıf su kalitesine; Fe açısından I. Sınıf; Zn açısından I. Sınıf; Pb açısından III. Sınıf; Cd açısından II. Sınıf su kalitesine girmektedir.

Al-Saadi ve ark. (2002), Habbaniye Gölü'nden aldıkları su numunelerinde en fazla biriken metalin Zn olduğunu bildirmişlerdir. Kovada Gölü'nde yapılan bir çalışmada göl suyunda en fazla Fe tespit edilmiştir (Tekin-Özan ve ark., 2007). Işıklı Gölü'nün suyunda yapılan bir çalışma ile suda en fazla birikim gösteren metalin Fe olduğu bildirilmiştir (Tekin-Özan ve Aktan, 2013). Mogan Gölünde (Atıcı ve ark., 2010) ve Abant Gölünde (Duman, 2005) yapılan çalışmalarda sularda Pb değerlerinin Cd değerlerinden oldukça fazla olduğu belirlenmiştir. Beyşehir Gölü (Altındağ ve Yiğit, 2005) ve Yeniçağa Gölünde (Gümüş, 2011) ise Cd değeri Pb değerinden oldukça fazla belirlenmiştir. Gülcü-Gür ve Tekin-Özan (2017) Işıklı Gölü'nden mevsimsel

olarak aldıkları su numunelerinde Fe'nin en yüksek, Cd'n en düşük birikim yaptığını, Pb'nin ise cihazın analiz limitlerinin altında kaldığını bildirmişlerdir.

Sucul ortamlar, evsel, endüstriyel ve tarımsal atıklar için başlıca alıcı ortamları oluşturduğundan sucul organizmalar doğrudan kirleticilerin etkisi altında kalmaktadır. Organik ve inorganik kirleticiler, balıkların doku ve organlarında birikime, strese, metabolik ve fizyolojik olaylarda değişimlere neden olurlar (Özaslan, 2008). Bu nedenle özellikle besin zincirinin üst basamaklarında yer alan balıklarda kirleticilerin birikiminin belirlenmesi önem arz etmektedir.

Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan (*Cyprinus carpio*), yayın (*Silurus glanis*), kızılkanat (*Scardinius erythrophthalmus*) ve kadife (*Tinca tinca*) balıklarının kas, karaciğer ve solungaç dokularında yapılan ağır metal analizleri sonucu Zn ve Fe her ay büyük dokularda tespit edilmiştir. Cu balıkların yalnız kas dokularında bazı aylarda tespit edilememiştir. Pb bütün balıkların kas, sazan ve kadife balıklarının karaciğer dokularında hiçbir ayda belirlenemezken, diğer balıkların karaciğer dokularında bazı aylarda tespit edilmiştir. Cd bütün balıklarda tüm dokularda bazı aylarda tespit edilmiştir.

Sazan ve yayın balıklarında Cu, Fe, Pb ve Cd'nin, kızılkanatta Cu, Fe ve Pb'nin, kadifede Cu, Fe, Zn ve Pb'nin dokulardaki birikimleri karaciğer>solungaç>kas şeklinde, Sazan ve yayın balıklarında Zn'nin, kızılkanatta Zn ve Cd'nin, kadifede Cd'nin birikimi solungaç>karaciğer>kas şeklinde olmuştur.

Canlı ve ark. (1998) Seyhan Nehri'nde yaşayan *C. carpio*, *Barbus capito* ve *Chondrostoma regium*'un karaciğer ve solungacın kas dokusuna göre daha yüksek miktarlarda metal biriktirdiğini, Küçükbay ve Örün (2003) Karakaya Baraj Gölü'nde yaşayan *C. carpio*'nun karaciğerinde Cu ve Zn metallerinin yüksek düzeyde biriktirdiğini, Canpolat ve Çalta (2003) Keban Baraj Gölü'nde yaşayan *Capoeta capoetaumbla*'nın deri ve kas dokusundaki Cu, Fe, Mn ve Zn miktarlarının karaciğer ve solungaçtakine göre daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Amundsen ve ark.

(1997), Pasvik Nehri (Rusya)'nde yaşayan bazı balıkların karaciğer ve solungaçlarındaki metal konsantrasyonunun kas dokusuna göre daha yüksek olduğunu, Zyadah (1999), Manzalah Gölü (Mısır)'nde yaşayan *Tilapia zillii*'nin karaciğerindeki Cu, Zn, Cd ve Pb konsantrasyonlarının diğer organlardakine göre daha fazla olduğunu, Rashed (2001), Nasser Gölü (Mısır)'nde yaşayan *Tilapia nilotica*'da Cu ve Zn'nun en fazla karaciğerde, Mn'in en fazla bağırsak ve midede, Co, Cr, Ni ve Sr'un ise en fazla pullarda biriktiğini, Alam ve ark. (2002), Kasumigaura Gölü (Japonya)'nde yaşayan *C. carpio*'da metallerin en az kas dokusunda biriktiğini, Farkas ve ark. (2002), Balaton Gölü (Macaristan)'nde yaşayan *Abramis brama*'da Cd, Cu, Pb ve Zn'nun en fazla karaciğerde ve solungaçta, Hg'nin ise en fazla kas dokusunda biriktiğini, Usero ve ark. (2003), Odiel Nehri (İspanya)'nde yaşayan bazı balıklarda, karaciğerde en fazla biriken metalin Fe olduğunu belirtmişlerdir. Suğla Gölü'nde yapılan bir çalışmada da iki balık türünde genel olarak en fazla metal birikiminin karaciğerde olduğu, bunu sırasıyla solungaç ve kas dokularının izlediği belirlenmiştir (Çağlar, 2010).

Bu çalışmada, kas dokusundaki metal birikiminin düşük olduğu belirlenmiştir. Tüm balıkların kas dokusunda genel olarak Fe diğer metallere oranla daha yüksek bulunmuştur. Pb hiçbir kas dokusunda belirlenemezken, Cd bazı aylara tespit edilmiştir. Aktif bir organ olmamasından dolayı kas dokusunda ağır metal birikiminin düşük seviyelerde olduğu düşünülmektedir. Göksu ve ark. (2003), Seyhan Baraj Gölü'ndeki balıklardan, Aynalı Sazan (*C. carpio*) ve Sudak (*Stizostedion lucioperca*)'ın yenilebilir kısımlarında, Fe, Zn ve Cd birikimini belirlemişlerdir. Ağır metal birikim sıralamasını, Fe>Zn>Cd şeklinde bulmuşlardır. Doğan (2004), Hatay'daki dört tatlı su kaynağından (Asi Nehri, Yenişehir Gölü, Kırıkhan Gölbaşı Gölü ve Tahta Köprü Barajı) aldığı su ve sarı benlinin (*Carasobarbus luteus*) kas, karaciğer, solungaç ve deri dokusunda ağır metal düzeylerini incelemiştir. Ortalama değerlerde *C. luteus*'un ağır metal konsantrasyonlarının organlara göre değişken olduğunu gözlemiştir. Genel olarak karaciğer ve solungacın, kas dokudan daha yüksek metal birikimi gösterdiğini ve kastaki birikimlerin su ürünleri için belirlenen tüketilebilirlik sınırlarının altında olduğunu bildirmiştir. Junianto ve Apriliani (2017), Cirata Barajı (Endonezya)'nda *C. carpio*, *Oreochromis niloticus* ve *Pangasianodon*

hypophthalmus'un kas dokusunda Zn, Cd, Pb ve Hg'nin birikimini incelemiş, balıklarda Pb değerini belirlenen standartların üstünde tespit etmişlerdir. Sapanca Gölü'nden yakalanan sazan, yayın, kızılkanat ve kadife örnekleriyle yapılan bu çalışmada ortaya çıkan analiz verilerine göre, tüm balık türlerinde genel olarak ağır metal birikiminin en yoğun olduğu organ karaciğer olarak tespit edilmiştir. Daha sonra karaciğer dokusunu sırasıyla solungaç ve kas dokuları izlemiştir. Atatürk Baraj Gölü'nde yakaladıkları *Mastacembelus simack* türü üzerinde ağır metal birikimi ile ilgili çalışma yapmış olan Karadede ve arkadaşları (1997); Cu, Fe ve Zn' un en fazla karaciğerde biriktiğini, Zn'nin incelenen doku ve organlardaki birikim sıralamasının karaciğer, kas ve solungaç şeklinde olduğunu bildirmişlerdir. Solungaçtaki metal konsantrasyonunun yüksek olması solunum suyuyla alınan metallerin solungaçtaki mukuslara yapışmasından ve lameller arasında kalmasından kaynaklanmaktadır (Heath, 1987). Marcovecchio (2004), Arjantin'de yaptığı çalışmasında La Plata Nehri'nden avladığı *Micropogonias furnieri* ve *Mugil liza*'nın yenilebilir kas dokularında ve karaciğerinde toplam Hg, Cd ve Zn konsantrasyonlarını belirlemiştir. Üç metalin de en yüksek birikimlerinin karaciğerde olduğunu ve kas dokularda tüm metal seviyelerinin düşük olduğunu tespit etmiştir. Sonuç olarak yenilebilir dokularda belirlenen metal konsantrasyonlarının insan tüketimi için belirlenen uluslararası standartların altında olduğunu bildirmiştir. Farkas ve ark. (2000), Macaristan'daki Balaton Gölü'nde bulunan; yılan balığı, turna balığı, çapak balığı ve tatlı su levreğinin kas, karaciğer ve solungaçlarında Cd, Cu, Pb, Hg ve Zn seviyelerinin belirlemişlerdir. Balık dokularındaki metallerin Cd hariç, insan tüketimi için belirlenen limitlerin altında olduğunu tespit etmişlerdir. Sulardaki kadmiyum genellikle endüstriyel kaynaklıdır. Uzun süreli maruziyetinde (20 günden fazla) balıklarda karaciğer enzimlerini, karaciğer boyutunu ve glukojen içeriğini etkilediği, büyümeyi durdurduğu ve Ca^{++} ATPaz'ı inhibe ederek hipokalsemia'ya sebep olduğu bilinmektedir. Kalsiyum (Ca^{++}) ve kadmiyum (Cd^{++}) solungaçlarda aynı transport reseptörlerini paylaşırlar ve çoğunlukla Ca^{++} iyonunun sularda azalmasıyla Cd^{++} alınımı ve dolayısıyla toksisitesi artar (Kaymak, 2011).

Balıklardaki metal birikimleri balık türleri, avlanma sezonu (Kargın, 1996), ağırlık, uzunluk (Uysal ve Tuncer, 1982), suyun fiziksel ve kimyasal durumu (Johnson,

1988) gibi faktörlere ve bu faktörlerin etkileşimlerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Sıcaklık ve su, su canlılarının metal alımını etkileyen önemli bir faktördür (VoutsinouTaliadouri, 1982; Wilson ve ark., 2017).

Balık dokularındaki metal birikiminin türlere göre değişim göstermesinin sebebi türün yaşadığı yer, beslenme durumu ve davranış şekilleridir. Değişik ortamlara uyum yapmış sucul canlılardaki ağır metal birikimlerinin farklılık gösterdiği yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur. Pelajik türlerin kas dokusundaki metal seviyelerinin demersal türlere göre daha düşük olduğu (Romeo ve ark., 1999), demersal türlerin pelajik türlerden daha iyi bir indikatör olduğu bildirilmiştir (UNEP, 1996). Bununla birlikte balıkların değişik dokuları fizyolojik özelliklerine göre farklı miktarda ağır metal biyobirikimine sahiptir. Karaciğer dokusundaki birikimin kas dokusundakine oranla daha fazla olduğu bildirilmiştir (Farkas ve ark., 2000; Rashed, 2001; Yazkan ve ark., 2002; Canlı ve ark., 2003; Çağlar, 2010). Ağır metallerin karaciğer gibi metabolik olarak aktif dokularda biriktiği, karaciğerin ağır metal alımı ve depolanmasında oldukça yüksek aktiviteye sahip olduğu bildirilmiştir (Haesloop ve Schrimmer, 1985; Thomas ve ark., 1985; Yılmaz ve ark., 2016). Bu durum balıklarda özellikle karaciğerde metallothionein üretimi nedeniyle metal birikimine elverişlidir (Roch ve McCarter, 1984; Heath, 1987; Zhuang ve ark., 2013). Karaciğerdeki metal artışı metalin depolanmasına bağlıdır ve kontaminasyon durumunda bu organda yüksek seviyede metallothionein bulunur. Bu nedenle karaciğerdeki toplam ağır metal ve metallothionein arasındaki korelasyon oldukça önemlidir (Hamza Chaffai ve ark., 1996; Özparlak ve ark., 2012).

Uysal ve ark. (2009), Enne Baraj Gölü'nden aldıkları balıkların solungaç ve karaciğer dokusunda belirledikleri Zn seviyelerinin kas dokusundan daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Ağcasulu (2007), *Capoeta tinca*'nın solungaç ve karaciğerinde belirlemiş olduğu Zn seviyelerinin kas dokusundan daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. *Liza saliens*'in solungaç ve karaciğerinde tespit edilen Zn konsantrasyonlarının kas dokusuna göre önemli derecede yüksek olduğunu bildirilmiştir (Fernandes, 2007). Uysal (2010) tarafından yapılan bir çalışmada Porsuk Baraj Gölü'nden yakalanan *C. carpio*, *Carassius carassius* ve *Rutilus rutilus*

türlerinin kas, solungaç ve karaciğer dokuları içerisinde en yüksek Zn birikiminin solungaç dokusunda olduğu ve türlerin kas dokularında Zn seviyesinin Türk Gıda Kodeksinin belirlediği Zn limit değerinden düşük olduğu bildirilmiştir. Canbek ve ark. (2007) tarafından Porsuk Çayı'nda yapılan bir çalışmada, belirlenen 11 istasyonda su, sediment ve *Barbus plebejus*, *Capoeta capoeta*, *Capoeta tinca* ve *Leuciscus cephalus* türlerinin kas ve karaciğer dokularında Mn, Cr, Cu, Cd, Zn, Fe, Pb ve Ni seviyeleri araştırılmıştır ve incelenen metallerden Zn seviyelerinin hem kas hem karaciğer dokularında tüm balık türlerinde en yüksek değere sahip olduğunu tespit edilmiştir. Bu çalışmada da mevsimsel olarak hem akarsudan hem barajdan temin edilen tüm balık türlerinde tespit edilen ağır metal seviyelerine bakıldığında Zn seviyelerinin benzer şekilde en çok biyoakümülyasyona uğrayan metal olduğu görülmektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar literatür bilgileri ile paralellik göstermektedir.

Çevredeki başlıca bakır kontaminasyon kaynakları araba mezarlıkları, soğutma suyu deşarjları, bakır içeren pestisitler, su dağıtım boruları, taşıtların fren balataları, metal endüstrisi, rafineriler, çatı malzemeleri ve maden eritme işlemleridir (Çalışkan, 2005; Özyürek, 2016). Bakırın canlılar üzerindeki toksik etkisi kimyasal formuna ve canlının büyüklüğüne göre değişiklik göstermektedir. Küçük ve basit yapılı canlılar için düşük konsantrasyonda bile zehir etkisi gösterirken daha büyük canlılar için esansiyeldir. Bu nedenle Cu pestisitlerin yapısında, antibakteriyel madde olarak tarım zararlıları ve yumuşakçalara karşı kullanılır. Bakır sucul canlılar için esansiyel olmakla birlikte sularda en çok bulunan toksinlerden bir tanesidir. Sudaki çözünmüş oksijen, ısı, pH ve sertlikteki azalma bakır toksisitesinin artmasına neden olur. Yüksek düzeydeki bakır konsantrasyonunun balıklarda bazı biyokimyasal, anatomik, fizyolojik, davranışsal değişikliklere, solungaçlarda mukozada birikerek strese hatta ölüme yol açan solunum rahatsızlıklarına, kalp atışında yavaşlama, hızlı oksijen alımı ve anemiye, solungaçta iyon transferini engeller, omur hasarları ve nörolojik bozukluklara neden olur (Kruger, 2002). Bakır elementinin, balıklarda solungaç lamel epitelinde Na^+ - K^+ ATPaz aktivitesini inhibe ederek hipertropiye, elektrolit kaybını arttırarak kardiovasküler sistemin çökmesine, oksijen transfer kapasitesini azaltarak doku düzeyinde hipoksiyaya, endokrin sistem aracılığıyla protein ve

karbonhidrat metabolizmasında değişikliklere neden olduğu yapılan araştırmalar sonucunda belirlenmiştir (Heath, 1995; Handy, 2003; Özyürek, 2016). Ağır metaller letal olmayan derişimlerde genelde balıkların karaciğer gibi metabolik olarak aktif olan organlarında daha fazla birikir (Kargın ve Erdem, 1992; Canpolat ve Çalta, 2001; Gülcü-Gür ve Tekin-Özan, 2017).

Cicik ve ark. (2004) *C. carpio*'nun kas, solungaç ve karaciğer dokularındaki Cu birikiminin total protein derişimi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda kas dokusundaki Cu seviyelerinin karaciğer dokusundan çok düşük düzeyde olduğunu saptamışlardır. Bu durumu metallothionein ve glutatyon gibi metal bağlayıcı proteinlerin karaciğer hücrelerinde sentezlenmesinden ve hücre komponentlerinin bakırı belirgin bir şekilde alıkoymasından kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir. Yılmaz ve ark. (2007), *L. cephalus* ve *Lepomis gibbosus* türlerinin kas, solungaç ve karaciğerinde Cu derişimlerini incelemişler ve en yüksek birikimin karaciğer dokusunda olduğunu tespit etmişlerdir. Çalta ve Canpolat (2002) Hazar Gölü'nden yakalanan *C. c. umbla* (Heckel, 1843)'da bakırın en fazla karaciğerde en az ise kas dokusunda birikim gösterdiğini bulmuşlardır. Uysal ve ark. (2009), Felent Çayı üzerinde bulunan Enne Baraj Gölü'nden yakaladıkları balıkların kas, solungaç, deri, bağırsak ve karaciğer dokularında en yüksek Cu birikiminin karaciğerde olduğunu belirlemişlerdir. Sapanca Gölü'nden yakalanan tüm balıklarda Cu, Fe ve Zn'ya oranla daha az tespit edilmiştir. Cu miktarının bulunma sıralaması karaciğer>solungaç>kas olarak belirlenmiştir.

Kurşunun organik ve inorganik bileşikleri boya, akümülatör, şehir su şebekesi, seramik, kauçuk üretimi, matbaacılık, pestisit, çeşitli çocuk oyuncakları ve benzin katkı maddesi olarak kullanılır. Kurşun, kireç taşından, kurşun yatağından ve yağmurla doğal suya karışarak balıklar ve balıkların besin zincirine katılan canlıların vücudunda birikir (Ağcasulu, 2007). Karaciğer, metallerin alınması ve depolanmasında önemli bir organdır, metalleri bağlayarak toksik etkilerinin yok edilmesinde işlev yapan metallothionin gruplarınca zengin proteinlerin başlıca sentezlenme yeridir. Kurşun çok küçük dozlarda bile organizmalar için toksik etki göstermektedir ve organizmada kalsiyum ve demir eksikliğinde kurşun emiliminin

arttığı bildirilmiştir (Köse, 2007). Kurşunun sucul canlılar üzerinde çok farklı etkileri bulunmaktadır. Sucul canlılarda, baş bölgesinde şekil bozuklukları, ovaryumlarda gerileme ve küçülme sonucu yumurta sayısında azalmaya neden olur. Suda az çözünen kurşun tuzları midede hidroklorik asidin etkisiyle çözünür ve kana emilebilir. Emilen kurşunun atılımı çok yavaş olduğundan kan dolasını yolu ile çeşitli organlara (aort, kıkırdak, böbrek, pankreas, akciğer, dalak ve kaslar) dağılır ve devamlı birikimi söz konusudur. Bu dağılımdan en fazla zarar görenler ise hematopoetik sistem, merkezi sinir sistemi, çevresel sinirler ve böbreklerdir. Bakır, çinko, demir gibi mineral maddelerin hücrelerdeki yoğunluklarında değişime yol açar, alyuvarların ömrünü kısaltır ve hem sentezini engelleyerek anemiye sebep olur. Ayrıca yaş ilerledikçe kemikte birikme oranı daha çok artar (Ağcasulu, 2007). Anim ve ark. (2011) Densu Nehrinde beş balık türünün kas dokusunda Pb birikimlerini incelemişlerdir ve *Hepsetus odoe* türünün kas dokusunda Pb seviyesini 0,94 mg/kg olarak bulmuşlardır diğer türlerde ise Pb değerinin FAO'nun limit değerinden düşük olduğunu belirlemişlerdir. Coğun ve Şahin (2012), *O. niloticus*'da kurşun toksisitesinin, etkide kalma süresine bağlı olarak dokularda artış gösterdiğini belirlemişlerdir. Bunun sebebinin metallerin sürekli olarak solungaçlardan depolanmak üzere karaciğere ve böbreklere taşınması nedeniyle olabileceğini bildirmişlerdir. Canbek ve ark. (2007), Porsuk Çayı'ndan aldıkları *B. plebejus*, *C. capoeta*, *C. tinca* ve *L. cephalus*'un kas dokusunda Pb seviyelerinin 0,14-0,16 mg/kg arasında, karaciğer dokularında ise 0,12-0,31 mg/kg arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Sapanca Gölü'nden alınan balıkların kas dokusunda Pb seviyeleri cihazın analiz limitinin altında bulunmuştur. Uysal, 2010 Porsuk Baraj Gölü'ndeki balıkların kas, solungaç ve karaciğer dokularında Pb seviyelerini ölçüm limitlerinin altında bulmuştur ve bunun sebebinin incelediği türlerin dokularındaki Pb seviyelerinin cihaz ölçüm duyarlılığının altında bulunmasından kaynaklandığından olabileceğini bildirmiştir.

Su ekosistemindeki canlılardan balıklar sucul çevre kalitesinin değerlendirilmesi için yaygın olarak kullanılmakta ve çevre kirliliğinin biyoindikatörü olarak kabul edilmektedirler. Kirliliğin spesifik fizyolojik fonksiyonlar üzerine etkisinin mekanizmasını belirlemek içinse çeşitli organizmalar kullanılabilir. Güngördü

ve ark. (2012) sazan balığını biyomonitor canlı olarak kullanarak Meriç Delta'sındaki kirliliği zamansal ve mekansal olarak izlenmişlerdir ve antioksidan enzim parametrelerinin çevresel kontaminasyonun değerlendirilmesinde yararlı bir biyobelirteç olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Hinck ve ark. (2006) Kolombiya Nehri ve kollarından yakalanan *C. carpio*, *Micropterus sp.* ve *Catostomus macrocheilus* türü balıkları biyoizleme amaçlı kullanılarak kirliliğin zaman ve istasyonlara göre değişimini izlemişlerdir. LindeArias ve ark. (2008)'de yaptıkları çalışmalarda Brezilya Nehrinde kirliliğin etkilerinin değerlendirilmesi için oksidatif stres biyobelirteçlerinden antioksidan enzim aktivitelerinin kontaminantlara maruz kalmanın spesifik bir indikatör olarak kullanılabileceğini önermişlerdir.

Kirlenen bölgelerde, balığın ksenobiyotiklere maruz kalması bu kimyasallar ile biyolojik sistemler arasında bir etkileşime neden olarak biyokimyasal parametrelerde olumsuz değişimlerle sonuçlanmaktadır (Gül ve ark., 2004). Biyolojik sistemlerde hücresel antioksidan savunma sistemi, çevresel kirlleticilere maruz kaldığında ise bozulmakta, ama canlı organizmalarda antioksidan seviyeleri oksidatif stresin neden olduğu dengesizliği düzeltmek için artmaktadır. Antioksidan enzimlerin seviyeleri, organizmanın antioksidan durumunun bir indikatörü ve oksidatif stresin biyobelirteci olarak kullanılabilmektedir (Barim ve Karatepe, 2010).

Katalaz (CAT), savunma mekanizmasında yer alan önemli intrasellüler antioksidan enzimlerdendir ve oluşan H_2O_2 substrat olarak kullanarak oksijen ve suya parçalayarak H_2O_2 detoksifikasyonunu sağlayan peroksidazlardandır. Katalazın ksenobiyotik etkisinde farklı yanıtlar verdiği saptanmıştır. Aşırı O_2 üretiminin CAT aktivitesini inhibe edebilme özelliği ile CAT aktivitesini azaltabileceği belirtilmiştir (Pandey ve ark., 2003). Bu çalışmada katalaz aktivitesinin yaz aylarında diğer aylara göre azaldığı, bazı kış aylarında maksimum artışa ulaştığı belirlenmiştir. CAT enzim aktivitesindeki aylar arasındaki değişikliklerin mevsimler ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Yaptığımız bu çalışma daha önce yapılan çalışmalarla daha önceki

çalışmalar ile korelasyon içerisindedir. Hindistan'da Yamuna Nehri'nde kirlilik faktörleri farklı olan Panipat ve Agra bölgelerinden yakalanan *Wallago attu*'da karaciğer, solungaç ve böbrek dokularında CAT, GSH ve lipid peroksidasyon düzeyleri incelenmiş, Panipat bölgesinden yakalanan balıklarda GSH ve lipid peroksidasyonunun daha yüksek olduğu ve CAT aktivitesinin karaciğer ve böbrekte önemli derecede azaldığı solungaçtaki azalmanın önemli olmadığı belirtilmiştir (Pandey ve ark., 2003). Ferreira ve ark. (2005) doğal su ortamlarında ki kirlilikle ilişkili olarak yaptıkları alan çalışmasında, çeşitli kirleticilere maruz kalınmasıyla artan ROT oluşumuna bağlı olarak *M. cephalus* ve *P. fesus*'un karaciğer dokularında CAT enzim aktivitelerinin arttığını bulmuşlardır.

Özellikle sıcaklık ve besin elde etme durumu oksijen tüketimini ve hücrel oksiradikal üretiminde artış ve beraberinde bu oksiradikalleri telafi etme amacı ile antioksidan savunma sisteminde artışla sonuçlanmaktadır (Sheehan ve Power, 1999; Javeed ve ark., 2016). Balık dokularınınoksidatif strese karşı artan duyarlılığından dolayı yaz aylarında antioksidan savunma sisteminde azalış gözlenmiştir. Kirli akuatik ortamlardaki balıklar ile yapılan çalışmada CAT aktivitesinin arttığı ve bu artışın radikal üretimindeki artıştan kaynaklandığı belirtilmiştir (Pandey ve ark., 2008). Gül ve ark. (2004)'nın sucul ortamlarda kirliliğin artışına bağlı olarak yaptıkları çalışmada, kirli alanda yaşayan sazanların karaciğerinde CAT enzim aktivitesinin temiz alanda yaşayanlardan yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. Ahmad ve ark. (2000) % 1'lik kâğıt fabrikası atık sularına maruz bırakılan *C. punctatus* karaciğer dokularında CAT enzim aktivitesinin kontrollerle karşılaştırıldığında, 15 ve 30 günlük uygulamalarda azaldığını; 60 ve 90 günlük uzun süreli maruziyetlerde CAT enzim aktivitesinin arttığını bildirmişlerdir. Buna karşılık solungaçta 15, 30, 60 ve 90 günlük uygulamaların tümünde CAT enzim aktivitesinin azaldığını bildirmişlerdir. *Anguilla anguilla* ile yapılan çalışmada da zirai kimyasallar, ağır metaller ve evsel atık sularla kirlenen doğal su ortamında yaşayan balıkların solungaçlarında CAT aktivitesinin arttığı belirtilmiştir (Ahmad ve ark., 2006).

Glutatyon (GSH), oksijen radikali yakalayıcısı olarak antioksidant savunmada önemlidir. GSH düzeyindeki değişim, canlının detoksifikasyon yeteneğinin önemli bir indikatörüdür. Metal-GSH konjugasyon işlemi metallerin safra ile atılmasını sağladığından istenen bir durum olmasına karşın GSH'ı tüketmesine bağlı olarak antioksidant savunma kapasitesini azaltmaktadır (Cheung ve ark., 2001). GPx de GSH'ı substrat olarak kullanarak kirleticilerin detoksifikasyonunda görev almaktadır (Ahmad, 1995). Hücresel GSH miktarı hücresel işlevlerin korunmasında önemlidir ve detoksifikasyon ve oksidatif stres durumunda azalabilmektedir. Ancak devam eden stres durumunda GSH/GSSG oranı adaptif mekanizmaların etkisi ile oksidatif strese karşı koyabilmek üzere artmaktadır (Zhang ve ark., 2005). Bekmezci, 2010'da Aşağı Seyhan Ovası drenaj kanallarında seçilen beş istasyonda su kalitesi, dokuda metal birikimleri ve kirleticilerin *Clarias gariepinus*'da karaciğer, kas ve beyin dokularında GSH redoks durumuna, oksidatif stres ve nörotoksisite oluşturma potansiyelleri ile biyometrik özelliklerine etkileri incelenmişlerdir. Su kalite değerlendirmelerinde 1. istasyonun diğer istasyonlardan temiz olduğu gözlenmiş ve bulgular bu istasyona göre değerlendirilmişlerdir. Drenaj sularının bazı değişkenlere göre sulama suyu olarak kullanılmaya ve balıkların sağlıklı gelişmelerine uygun olmadığı gözlenmiştir. Dört toksik metalin (Cu, Cd, Fe ve Ni) *C. punctata* solungaç dokusu üzerine morfolojik ve biyokimyasal etkilerinin incelendiği bir çalışmada indirgenmiş glutatyon miktarının önemli ölçüde azaldığı, lipid peroksidasyonunun arttığı, katalaz seviyesinin zamana bağlı olarak azaldığı belirtilmiştir (Pandey ve ark., 2008). Kadmiyum ve çinkonun *O. niloticus*'da eritrosit antioksidan sistemlerine etkisinin araştırıldığı çalışmada 5 mg/l Zn, 1 mg/l Cd ve ikisinin kombinasyonu olmak üzere üç grup oluşturulmuş ve GSH ve CAT aktiviteleri araştırılmış her iki antioksidan sistemin tüm gruplarda arttığı bildirilmiştir (Fırat ve Kargın, 2010). Bu çalışmada GSH seviyesi havaların ısınmasına bağlı olarak tüm dokularda azalmaya başlamış, yaz aylarında ise en düşük seviyelere ulaşmıştır. Azalan GSH seviyesi kirleticilere maruz kalan balıklarda kirliliğin derecesinin belirlenmesi için bir indikatör olarak görev yaptığı düşünülmektedir.

MDA, lipid peroksidasyonu sonucu oluşan ürünlerden biridir ve oksidatif hasarı göstermede yaygın olarak kullanılan bir parametredir. MDA miktarının yüksek

bulunması lipid peroksidasyonuna işaret etmektedir. Lipid peroksidasyonu meydana gelmemesi veya düşük düzeylerde olması oksidatif enzimlerin koruyucu etkilerinin göstergesidir. Seyhan Baraj Gölü'nde kirli ve temiz olmak üzere iki ayrı istasyondan toplanan sazangiller ailesine ait tatlı su balıklarında karaciğer dokusunda malondialdehit düzeyleri karşılaştırılmış kirli alandan toplanan örneklerde önemli düzeyde arttığı bildirilmiştir (Gül ve ark., 2004). Endosülfan etkisinde bırakılan *C. punctatus*'da karaciğer, böbrek ve solungaç dokularında lipid peroksidasyonu miktarının, bizim çalışmamıza benzer olarak arttığı belirlenmiştir (Pandey ve ark., 2001). Meksika'da yüksek toprak erozyonuna uğrayan tarımsal bir bölgede yer alan Ignacio Ramirez Göl Havzası'nda *Chirostoma riojai* solungaç ve kas dokularında lipid peroksidasyonu, gölün iklimini yansıtan üç ayrı dönemde incelenmiş ve arttığı belirtilmiştir (Favari ve ark., 2002). Gökkuşluğu alabalığında (*Oncorhynchus mykiss*) Cu, Cd ve Zn'nin metal-metal etkileşiminin malondialdehit miktarlarına etkisi incelenmiş ve Zn uygulanan gruplarda arttığı diğer metallerden etkilenmediği belirtilmiştir (Kamunde ve MacPhail, 2010). Oakes ve ark. (2004)'de, kâğıt ve kâğıt hamuru fabrikaları ile kentsel atık sulara maruz kalan *C. catostomus* karaciğerinde kimyasal kirleticilerin ROT oluşumuna yol açmasıyla MDA miktarının arttığını bildirmişlerdir. Bu çalışmada en yüksek MDA seviyesi sıcaklığın arttığı yaz aylarında tespit edilmiş olup, bu sonuç düşük çözünmüş oksijen miktarı ile birlikte önemli bir kontaminasyonun varlığını da doğrulamaktadır.

Borkovic ve ark. (2008) Danube Nehri'nde *Orconectes limosus* türü kerevitlerde karaciğer, kas ve solungaç dokularında antioksidan savunma sistemi enzimlerini çevresel kirliliği değerlendirmek amacıyla kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre CAT aktivitesi karaciğer ve kasta daha yüksek bulunmuştur. Dokulara göre antioksidan savunma enzimlerinde gözlenen bu değişikliklerin çevresel koşullarla göre farklı cevaplar ve farklı metabolik aktivitelerden kaynaklandığı gösterilmiştir. Şahan ve ark. (2010) Ceyhan Nehri'ndeki tarımsal ve endüstriyel kaynaklı kirliliğin seviyesini belirlemek için sazan karaciğer ve solungaç dokulardaki biyomarkırlardan, Katalaz (CAT), Total Glutasyon (GSH) ve Lipid Peroksidasyon (LPO) seviyelerini analiz etmişlerdir. CAT ve GSH aktiviteleri, kirli bölgedeki balıkların karaciğer dokularında yüksek seviyelerde gözlenmiştir. Ayrıca LPO miktarı (karaciğer ve

solungaç için $p < 0,05$) da kirli bölgede oldukça yüksek bulunmuşlardır. Velkova-Jordanoska ve ark. (2008) Ohrid Gölündeki kirliliğin toksik etkilerinin çevreye olan muhtemel etkilerini değerlendirebilmek için bıyıklı balıkların (*Barbus m. petenyi*) antioksidan etkilerini değerlendirmişlerdir. Kandaki SOD ve CAT aktivitelerini biyoindikatör olarak kullanmışlardır ve SOD aktivitesinin azalırken katalaz aktivitesinin arttığını belirtmişlerdir. Shen ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada sazan balıklarının karaciğerlerinde kirliliğin indüklediği antioksidan enzim yanıtlarını araştırmışlardır. Kirliliğe bağlı olarak bu enzim aktivitelerinin indüklendiğini ve karaciğer dokusunda oksidatif stres biyobelirteçlerinin özellikle de antioksidan enzim aktiviteleri değerlendirmelerinin sudaki kirliliğin bir indikatörü olduğunu göstermişlerdir. Yılmaz ve ark. (2006)'nın yaptıkları çalışmada Karakaya Baraj Gölü'nden farklı istasyonlardan alınan sazanların karaciğer dokularında bazı antioksidan enzim düzeylerini araştırmışlar ve Hasırcılar'da yakalanan balıkların dokularında CAT enziminin ortalama spesifik aktivitelerinde Boran ve İmikuşığı istasyonlarına göre, önemli olmayan bir azalma bulmuşlardır. Başka bir çalışmada tekstil atık suyunun antioksidan savunma sistemi ve lipid peroksidasyonu üzerine etkileri *O. niloticus*'da karaciğer ve solungaç dokularında incelenmiştir. CAT enzim aktivitesi ve MDA konsantrasyonu doza bağlı değişim göstermiştir. Tekstil atık suyunun % 1 ve % 10'luk dozlarının uygulanması sonucunda CAT aktivitesinde ve MDA seviyesinde artışlar olduğu gözlenmiştir. Karaciğer ve solungaçta 15. ve 30. günlerde ölçülen parametrelerde gözlenen artışların 45. günde muhtemel adaptif yanıtı bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir (Zagal, 2008).

Sucul sistemlere bilinçli elden çıkarmalar ya da kazalar sonucu doğrudan ya da dolaylı olarak giren kirleticiler bu ortamlarda yaşayan canlıların çeşitli doku ve organlarını olumsuz etkiler. Bu etkilere ilişkin temel veriler hala en güvenilir yöntem olan histopatolojik araştırmalardan sağlanır. Sucul çevreyle doğrudan temasta bulunan solungaçlar solunum işlevlerinin yanı sıra iyon dengesinin düzenlenmesi ile ozmoregülasyon ve kısmen de azotlu atıkların boşaltılması süreçlerinde aktif görev üstlenirler (Bury ve ark., 2003; Simonato ve ark., 2008; Hadi ve Alwan, 2012). Ortam koşullarındaki bütün değişimlerden öncelikle etkilenen yapılardır (İşisağ Üçüncü ve ark., 2010; Uribe ve ark., 2011). Solungaçların histolojik yapısının,

sudaki toksik kimyasallara karşı yüksek duyarlılık gösterdiği zaten iyi bilinmektedir (Brand ve ark., 2001; Rodrigues ve ark., 2010; Hesni ve ark., 2011). Bu çalışmanın sonuçları da bu bilgilerle örtüşmektedir. Sapanca Gölü'nden yakalanan balıkların solungaç dokularında lamellerin düzensizleşmesi, füzyon, ödem, hiperplazi gibi genel tahribat bulguları gözlenmiştir.

Al-Kindi ve ark. (2000) tarafından da not edildiği gibi, genel anlamda epitelyum hiperplazisi ve özel olarak da mukus ve pillar hücreleri ile mitokondri zengini hücrelerde izlenen hipertrofi, esas olarak difüzyon mesafesini artırmaya yönelik savunma tepkileridir ve solunum ve/veya iyon düzenleyici süreçlerin zarar gördüğüne işarettir. Benzer biçimde Furia (2004); lamellar epitelde oluşan hiperplazi, separasyon ve lamellar füzyonun mesafe artırarak toksik maddenin toksikodinamik süreçlere dahil olacağı damarlara geçmesini bir ölçüde geciktirip engellediğini bildirmiştir. Araştırmacı, bu savunma tepkisinin solunum, dolaşım ve ozmoregülasyon sistemlerinde hasarlara yol açacağını, hastalanma ve ölüm riskini artıracığını, hatta giderek popülasyonu tehdit edeceğini de belirtmektedir. Solungaç histopatolojilerinin popülasyonu etkileyebilecek düzeylere gelebileceği Hesni ve ark. (2011) tarafından da vurgulanmaktadır. Bu genel görüşler elbette doğrudur ve sunulan çalışmanın sonuçlarıyla da onaylanmaktadır. Gerçekten de hiperplazi, hipertrofi ve hatta ödem, kimyasallar için hücre-doku düzeyindeki bariyeri biyofizyokimyasal anlamda güçlendirir. Ancak deskumasyondan da anlaşılacağı üzere kolayca aşılabilen epitelin bariyer niteliği esasen zayıftır. Bu doğal engel, artan mukus salgısıyla ek bir güçlendirme sağlansa bile kimyasallar (ve/veya bakteriler, parazitler...) tarafından kolayca aşılabılır. Bu noktada füzyonun rolü büyüktür; çünkü birbiriyle kaynaşan lameller maruziyet yüzeyini azaltacaktır. Lamel boylarında füzyon uzantısında oluşan kısalmadan kaynaklanacak zayıflama da hiperplazi, hipertrofi ve ödemle bir ölçüde telafi edilebilir.

Mukus salgısının enfeksiyonlara karşı bariyer oluşturma ve savunma görevlerinin yanı sıra solunum, iyonik ve ozmotik dengenin sağlanması, üreme gibi süreçlere ve hatta iletişim kurma ve yuva yapma gibi davranışlara ilişkin önemli işlevleri vardır (Shephard, 1994; Kaptaner ve ark., 2016). Dolayısıyla salgı miktarı ve niteliğindeki

değişimler de pek çok farklı mekanizmayı etkileyebilir. Ayrıca, artan mukus salgısı difüzyon mesafesini de artırarak dolaylı yoldan hipoksiye neden olabilir (Nero ve ark., 2006). Değerlendirilen tüm histopatolojik değişimler Sapanca gölündeki balıkların kirleticilerden ciddi ölçüde etkilendiğini ortaya koymaktadır. Solungaçlarda gözlenen değişimler solunum, solunum gazları taşınımı ve dolaşım sistemleriyle su-iyon dengesini bozabilir; hassas bireyleri enfeksiyonlara açık hale getirebilir. Maruziyetin kronikleşmesiyle hasarın populasyon dinamiklerini etkileyecek kadar artabileceği önemle not edilmelidir

Teh ve ark. (1997) doğadan üç farklı su ünitesinden topladıkları güneş balıklarının solungaç ve karaciğer dokularını histolojik olarak incelemişler ve bu çalışmanın sonuçlarına benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Sonuç olarak dokulardaki bulgularını multipl çevresel kirleticilere bağlamışlar ve patojenler, parazit, sıcaklık değişimlerinin ve habitat farklılığının neden olduğunu düşünmüşlerdir.

Histopatolojik çalışmalarda su ortamıyla ilişkisi dolayısıyla solungaç ve karaciğer kirliliğin etkisini saptamada kullanılan en uygun hedef organlardır. Bu organlar akuatik kirlilik için primer indikatörlerdir. Bilindiği üzere, zehirsizleştirme fonksiyonu özel önem taşıyan teleost karaciğerinde çeşitli kimyasalların etkileriyle oluşan başlıca histopatolojik değişimler steatozis, hepatositlerde hipertrofi ve zarlı yapılarda tahribat; piknozis, karyoreksis ve karyolizis olarak nukleus hasarları ile giderek nekrozis ve bazen de kanserdir. Parenkimanın hepatosit dışındaki elemanları da kimyasallardan elbette etkilenmekte; damarlarda dilatasyon ve konjesyon, hemoraji ve hiperemi izlenebilmekte; enflamatik yanıt lenfosit infiltrasyonu ile karakterize edilebilmektedir. Karaciğerin sindirim sistemi içerisindeki görevleri bağlamında ve hepatosellüler atrofi uzantısında safra pigmentlerinde çeşitli değişimler görülebilmektedir. Ayrıca fibrozis ve kistik oluşumlar da ortaya çıkabilmektedir. Melanomakrofaj değişiklikleri de immün yanıtın esas göstergelerinden biridir (Peters ve ark., 1987; Hinton ve Lauren, 1990; Köhler ve ark. 1992; Hinton ve ark., 2001; Köhler, 2003; Hinton ve ark., 2008). Poliklorlu bifeniller, organoklorlu pestisitler, PAH ve ağır metal kontaminasyonu gözlenen

sulardan toplanan *A. anguilla* örneklerinin hepatositlerinde aşırı yağ birikimi belirlenmiştir (Oliveira Riberio ve ark., 2005).

Akaishi ve ark. (2004), ham petrol uyguladıkları balıkların, en düşük konsantrasyon ve en kısa süreden itibaren hepatosit hücre sınırlarının kaybolmasıyla nekrozu en önemli lezyonlar olarak bildirmektedirler. Bu araştırmada %15-12 saat grubunda hafif nekroz başladığı ve giderek arttığı belirtilmektedir. Çok ilginç biçimde %33 konsantrasyonda yapılan uygulamada ise 12 saat sonunda şiddetli gözlenen nekroz 24 saat sonunda biraz azalmakta, 96 saat sonunda yine 12. saatteki duruma dönmekte; %50 konsantrasyondaki uygulamada ise beklentiye uygun biçimde süreye paralel olarak artmaktadır. Buna göre juvenillerde rejenerasyon süreçlerinin erginlerden daha farklı olabileceği ve nekrotik sürecin de bu doğrultuda değişebileceğini düşünmüşler. Sinüzoidlerde ve merkezi vena ile kollarında oluşan değişimler farklı kimyasal maddelerin uygulandığı araştırmalarda geniş olarak değerlendirilmiştir. Bu raporlara organofosfatlı pestisitlere ilişkin olarak *Corydoras paleatus* (Fanta ve ark., 2003) ve *Prochilodus lineatus* (Camargo ve Martinez, 2007) ile yapılan uygulamalar örnek verilebilir. Her iki türde de başlıca damar hasarı sinüzoid dilatasyonlarıdır. Damarlarda oluşan hasarlar ham petrol ve türevlerinin karaciğerdeki etkilerini ele alan araştırmalarda da önemli bulgular arasında sayılmaktadır. Herhangi bir damar tahribatından söz etmeyen Brand ve ark. (2001) ile Akaishi ve ark. (2004), hemoraji ve enflamasyonun nekroza paralel olarak arttığını rapor etmişlerdir. Toksik maddelerin sindirim sistemi enzimleri üzerindeki olumsuz etkileri uzantısında hepatopankreas yapısında da çeşitli değişimler ve deformasyonların meydana geldiği birçok araştırmada belirtilmiştir (Dezfuli ve ark., 2000; Olarinmoye ve ark., 2009; Gündüz, 2013). Bu çalışmada karaciğer için belirlenen tüm bulguların; bu yaşamsal ve karmaşık yapılu organın gerçek anlamda biyobelirteç olduğuna dair bütün ortak görüşleri onaylamaktadır.

Modern dünyada endüstriyel ve evsel atıklar nedeniyle artan çevre kirliliği önemli bir problem haline gelmiştir. Bu atıkların deşarjı ile kirlenen göl sularının geri kazanımı oldukça maliyetli olup, ülkelerin ekonomisine ilave yük getirmektedir. Bu nedenle su ekosisteminin kirlilikten korunması, halk ve çevre sağlığının korunması için de

gereklidir. Günümüzde kirletilmiş su sistemlerinin ve bunları kirleten kaynakların karakterizasyonu ve iyileştirme yöntemleri konusunda birçok bilimsel araştırma yapılmakta ve sonuçları yayınlanmaktadır. Su ekosistemindeki canlılardan balıklar sucul çevre kalitesinin değerlendirilmesi için yaygın olarak kullanılmakta ve çevre kirliliğinin biyoindikatörü olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada su ve balık dokularında ağır metal yükünün belirlenen standartlardan fazla çıkmaması dolayısıyla solungaç ve karaciğer dokularında saptanan biyokimyasal ve histopatolojik bulguların, gölün diğer kirleticilerinde etkisi altında olduğunun da kanıtı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca gelecekteki çalışmaların daha çok önem vermesi gereken, kirliliğin hangi konsantrasyonlarda sucul organizmalar ve insanlar için tehlikeli hale gelmeye başladığını araştırmak olmalıdır. Marmara Bölgesi'nin en önemli su kaynaklarından birini oluşturan Sapanca Gölü'nün su kalitesinin ve biyolojik parametrelerinin düzenli aralıklarla izlenmesi çalışmalarının devam edilmesi gölün durumunun kontrol altında tutulmasına yarar sağlayacaktır. Sonuç olarak SASKİ tarafından düzenli ölçülen parametrelere ek olarak gölde belirlenecek organik ve inorganik çevresel kirleticilerin *in vivo* ve *in vitro* etkilerini belirlenerek alınacak önlemler konusunda daha net bir öngörü sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abdel-Baki, A. S., Dkhil, M. A., Al-Quralshy. S. 2011. Bioaccumulation of some heavy metals in tilapia fish relevant to their concentration in water and sediment of Wadi Hanifah, Saudi Arabia. African Journal of Biotechnology, 10(13):2541-2547.
- Abdollahi, M., Bahreini-Moghadam, A., Emmami, B., Fooladian, F., Zafariet, K. 2003. Increasing intracellular cAMP and cGMP inhibits cadmium-induced oxidative stress in rat submandibular salivary comparative. Biochemistry and Physiology, 135:331-336.
- Adasu Genel Müdürlüğü. 2003. Sapanca Gölü Çevre Koruma Projesine Esas Bilgiler, Adapazarı.
- Ağcasulu, Ö. 2007. Sakarya Nehri Çeltikçe Çayı'nda yaşayan *Capoeta tinca* (Heckel, 1843)'nın dokularında ağır metal birikiminin incelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri Yüksek Lisans Tezi.
- Ahmad, I., Hamid, T., Fatima, M., Chand, H.S., Jain, S.K., Athar, M., Raisuddin, S. 2000. Induction of hepatic antioxidants in freshwater catfish (*Channa punctatus* Bloch) is a biomarkers of paper mill effluent exposure. Biochimica et Biophysica Acta, 1523:37-48.
- Ahmad, I., Pacheco, M., Santos, M.A. 2006. *Anguilla Anguilla* L. Oxidative stres biomarkers: An in situ study of freshwater wetland ecosystem (Pateira de Fermentelos, Portugal). Chemosphere, 65:952-962.
- Ahmad, S. 1995. Antioxidant mechanisms of enzymes and proteins. (S. Ahmad Edts.), oxidative stress and antioxidant defenses in biology. Chapman & Hall, America,
- Akaishi, F.M, de Assis, H.C., Jakobi, S.C., Eiras-Stofella, D. R., St-Jean, S.D., Courtenay, S.C., Lima, E.F., Wagener, A.L., Scofield, A. L., Ribeiro, C. A. 2004. Morphological and neurotoxicological findings in tropical freshwater fish (*Astyanax sp.*) after waterborne and acute exposure to water soluble fraction (WSF) of crude oil. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 46(2):244-253.
- Akdeniz, S. 2005. Uluabat gölü su kalitesinin değerlendirilmesi ve coğrafi bilgi sistemi ortamında analizi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

- Alam, M.G. M., Tanaka, A., Allinson, G., Laurenson, L. J. B., Stagnitti, F. 2002. A comparison of trace element concentrations in cultured and wild carp (*Cyprinus carpio*) of Lake Kasumigaura, Japan. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 53:348-354.
- Al-Kindi, A. Y. A., Brown, J. A., Waring, C. P. 2000. Endocrine, physiological and histopathological responses of fish and their larvae to stress with emphasis on exposure to crude oil and various petroleum hydrocarbons. *Science and Technology, Special Review*:1-30.
- Almroth, B. C., Sturve, J., Berglund, Å., Förlin, L. 2005. Oxidative damage in eelpout (*Zoarces viviparus*), measured as protein carbonyls and TBARS, as biomarkers. *Aquatic Toxicology*, 73(2):171-180.
- Al-Saadi, H. A., Al-Lami, A. A., Hassan, F. A., Al-Dulymi, A. A. 2002. Heavy metals in water, suspended particles, sediments and aquatic plants of Habbaniya Lake, Iraq. *Intern. J. Environ. Studies*, 59 (5):589-598.
- Altindag, A. Yigit, S. 2005. Assessment of heavy metal concentrations in the food web of lake Beyşehir, Turkey. *Chemosphere*, 60(4):552-556.
- Amundsen, P., Staldivik, F. J., Lukin, A. A., Kashulin, N. A., Popova, O. A., Reshetnikov, Y. S. 1997. Heavy metal contamination in freshwater fish from the border region between Norway and Russia. *The Science of the Total Environment*. 201:211-224.
- Anim, A. K., Ahialey, E. K., Duodu, O. G., Ackah, M., Bentil, O. N. 2011. Accumulation profile of heavy metals in fish samples from Nsawam, Along the Densu River, Ghana. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences* 3(1):56-60.
- Anonim, 1998. Uluabat Gölü. Çevre Bakanlığı, Çevre Koruma Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonim, 1989. Su Ürünleri ve Su Ürünleri Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu. DPT. Yayın No: 2184-ÖİK: 344.
- Atabey, E. 2005. Tıbbi Jeoloji. Ankara: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları 88.
- Atalık, A. 2006. Küresel ısınmanın su kaynakları ve tarım üzerine etkileri. *Bilim ve Ütopya*, 139: 18-21.
- Atıcı, T., Obalı, O., Altindag, A., Ahiska, S., Aydın, D. 2010. The accumulation of heavy metals (Cd, Pb, Hg, Cr) and their state in phytoplanktonic algae and zooplanktonic organisms in Beyşehir Lake and Mogan Lake, Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 9 (4):475-487.
- Bakan, G., Balkas, T. I. 1999. Enrichment of metals in the surface sediments of Sapanca Lake, *Water Environment Research*, 71 (1):71-74.

- Balık, S., Sarı, H., Ustaoglu, M., R., İlhan, A. 2004. Çivril Gölü (Denizli, Türkiye) kadife balığı (*Tinca tinca* (L., 1758)) populasyonunun yapısı, mortalitesi ve büyümesi. Turk. J. Vet. Anim. Sci. 28: 973-979.
- Balint, T., Ferenczy, J., Katai, F., Kiss, I., Kraczer, L., Kufcsak, O., Lang, G., Polyhos, C., Szabo, I., Szegletes, T., Nemcsok, J. 1997. Similarities and differences between the massive eel (*Anguilla anguilla* L.) devastations that occurred in lake Balaton in 1991 and 1995. Ecotoxicol. Environ. Saf., 37(1):17-23.
- Barim, O., Karatepe, M. 2010. The effects of pollution on the Vitamins A, E, C, B-Carotene contents and oxidative stress of the freshwater crayfish, *Astacus leptodactylus*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 73:138-142.
- Bartolomeo, A., De, L., Poletti, G., Sanchini, B., Sebastiani V., Morozzi, G. 2004. Relationship among parameters of lake polluted sediments evaluated by multivariate statistical analysis. Chemosphere. 55(10):1323-1329.
- Bebe, F.N., Panemangalore, M. 2005. Pesticides and essentials minerals modify endogenous antioxidants and Cytochrome P450 in tissues of rats. Journal of Environmental Science and Health B38: 349-363.
- Bekmezci, H. D. 2010. Aşağı Seyhan Ovası drenaj sistemlerindeki kirlilik etmenlerinin *Clarias gariepinus*'da Toksik Etkileri. Çukurova Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Benjamin, C.L., Garman, G.R., Funston, J.H. 1997. Human Biology. New York. WCB/Mc Graw-Hill Companies.
- Benli, A.Ç. 2006. Subletal amonyak konsantrasyonlarının tilapia (*Oreochromis niloticus*) ve sazan (*Cyprinus carpio*) balıklarında büyüme ve kan parametreleri ile dokulara etkisi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi,
- Benzer, S., Arslan, H., Uzel, N., Gül, A., Yilmaz, M. 2013. Concentrations of metals in water, sediment and tissues of *Cyprinus carpio* L., 1758 from Mogan Lake (Turkey). Iranian Journal of Fisheries Sciences 12:45-55.
- Billard, R., Flajshans, M., Geldhauser, F., Kouril, J., Penaz, M., Rab, P. 1995. Proceedings of the international workshop on the biology and culture of the tench (*Tinca tinca* L.) held in Ohrada Hunting Lodge by Hluboka Nad Vlatavou, Czech Republic.
- Bolat, S. 2006. Seyfe Gölü ve çevresindeki suların ve toprakların kirlilik derecesinin araştırılması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Bölümü. Yüksek Lisans Tezi.
- Borković, S. S., Sladjan, Z. P., Tijana, B. K., Andraš, Š. Š., Vojislav, M. P., Zorica, S. S. 2008. Antioxidant defence enzyme activities in hepatopancreas, gills and muscle of spiny cheek crayfish (*Orconectes limosus*) from the river Danube. Comparative Biochemistry and Physiology, Part C 147:122-128.

- Bölükbaşı Başaran, V. 2011. Seyfe Gölü su kalitesi ve dip çamuru ağır metal özelliklerinin belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Bölümü Yüksek Lisans Tezi.
- Brand, D.G., Fink, R., Bengeyfield, W., Birtwell, I. K., McAllister, C. D. 2001. Salt water-acclimated pink salmon fry (*Oncorhynchus gorbuscha*) develop stress-related visceral lesions after 10-day exposure to sublethal concentrations of the water-soluble fraction of north slope crude oil. *Toxicologic Pathology*, 9(5):574-584.
- Bury, N. R., Walker, P. A., Glover, C.N. 2003. Nutritive metal uptake in teleost fish. *The Journal of Experimental Biology*, 206:11-23.
- Camargo, M. M., Martinez, C. B. 2007. Histopathology of gills, kidney and liver of a Neotropical fish caged in an urban stream. *Neotropical Ichthyology*, 5(3):327-336.
- Canbek, M., Demir, T. A., Uyanoğlu, M., Bayramoğlu, G., Emiroğlu, Ö., Arslan, N., Koyuncu, O. 2007. Preliminary assessment of heavy metals in water ve some Cyprinidaespecies from the Porsuk River, Turkey. *Journal of Applied Biological Sciences*, 1(3):91-95.
- Caner, C. 2015. Bazı metal iyonlarının bulutlanma noktası ekstraksiyonu ile zenginleştirilerek USN-ICP-OES cihazı ile tayini. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Bölümü Yüksek Lisans Tezi.
- Canlı, M., Atlı, G. 2003, The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Enviromental Pollution* 121:129-136.
- Canlı, M., Ay, Ö., Kalay, M. 1998. Levels of heavy metals (Cd, Pb, Cu, Cr and Ni) in tissue of *Cyprinus carpio*, *Barbus capito*, *Chondrostoma regium* from the Seyhan River, Turkey. *Tr. J. of Zoology*. 22:149-157.
- Canpolat, Ö., Çalta, M. 2001. Keban Baraj Gölü'nden yakalanan *Acanthobrama marmid* (Heckel, 1843)'de bazı ağır metal düzeylerinin belirlenmesi, F.Ü. Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi 13(2):263-268.
- Canpolat, Ö., 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. *Fre. Env. Bull.* 12:961-966.
- Canyurt, M. A. 1982. Bazı tarım ilaçlarının aynalı sazan, tilapia ve yılan balıkları için toksik konsantrasyonları üzerine araştırmalar. Ege Üniversitesi, Doçentlik Tezi.
- Cengiz, E. İ. 2002. Çeşitli pestisitlerin subletal serişimlerinin sivrisinek balığının (*Gambusia affinis*) solungaç, karaciğer ve barsaklarındaki histopatolojisi ve yağ asitleri kompozisyonu üzerine etkileri. Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bölümü, Doktora Tezi.

- Chen, G., White, P. A. 2004. The mutagenic hazards of aquatic sediments. A Review, *Mut Res /Reviews in Mutation Research*, 567: 151- 225.
- Cheng, Y. J., Wang, Y. P., Chien, C. T., Chen, C. F. 2002. Small-dose propofol sedation attenuates the formation of reactive oxygen species in tourniquet-induced ischemia-reperfusion injury under spinal anesthesia. *Anesthesia & Analgesia*, 94(6):1617-1620.
- Cheung, C. C. C., Zheng, G. J., Li A. M. Y., Richardson, B. J., Lam, P. K. S. 2001. Relationships between tissue concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons and antioxidative responses of Marine Mussels, *Perna viridis*. *Aquatic Toxicology*, 52:189-203.
- Cicik, B., Ay, Ö., Karayakar, F. 2004. *Cyprinus Carpio* (L.)’da bakırın kas ve karaciğer dokularındaki total protein derişimi üzerine etkileri, Süleyman Demirel Üniversitesi, Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 2 (12):26-31.
- Cnubben, N. H., Rietjens, I. M., Wortelboer, H., van Zanden, J., van Bladeren, P. J. 2001. The interplay of glutathione-related processes in antioxidant defense. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 10(4):141-152.
- Copp, G. H., Britton, J. R., Cucherousset, J., Garcí’a-Berthou, E., Kirk, R., Peeler, E., Stakenas, S. 2009. Voracious invader or benign feline? A review of the environmental biology of European catfish *Silurus glanis* in its native and introduced range. *Fish Fish* 10:252–282.
- Cotgreave, I.A., Gerdes, R. G. 1998. Recent trends in Glutathione biochemistry- Glutathione-Protein interactions: A molecular link between oxidative stress and cell proliferation? *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 242: 1-9.
- Cüce, E. 2007. Ratlarda demir yüklenmesi ile oluşturulan oksidatif stresin önlenmesinde kafeik asit fenetil ester’in etkinliğinin araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi İç Hastalıkları Bölümü Uzmanlık Tezi
- Çağlar, C. 2010. Suğla gölünde yaşayan *Phoxinellus anatolicus* Hanko, 1924 ve *Cyprinus carpio* Linneaus, 1758’nun karaciğer, kas ve solungaç dokularında ağır metal düzeyleri. Selçuk Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Biyoloji Bölümü Yüksek Lisans Tezi.
- Çağlar, M., Saler, S. 2014. Koçan şelalesi (Erzincan)’nin bazı fiziksel ve kimyasal su kalitesi özellikleri. *Yunus Araştırma Bülteni*, 2014(3):37-42.
- Çakır, Z., Barka, A., Akyüz, S. 2010. Coulomb gerilme etkileşimleri ve 1999 Marmara depremleri. *İTÜ Dergisi/d*, 2(4):1-4.
- Çalışkan, E. 2005. Asi Nehri’nde su, sediment ve karabalık (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822)’ta ağır metal birikiminin araştırılması. Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

- Çalta, M., Girgin, A. 1998. Ağır Metallerin Balıklar Üzerindeki Etkileri, T.C. Tarım Orman ve Köy işleri Bakanlığı Koruma ve Kontrol Genel Müdürlüğü Su Kirliliği Hizmet İçi Eğitim Semineri Elazığ, 151 -157.
- Çelikkale, S. 2002. İç Su Balıkları ve Yetiştiriciliği. Karadeniz Teknik Üniv. Deniz Bilimleri Fakültesi, 339-341.
- Çetin, E., Güher, H., Gaygusuz, Ç. G. 2016. Altınyazı Baraj Gölü'nde (Edirne) yaşayan balık türlerinde ağır metal birikimlerinin incelenmesi. Turkish Journal of Aquatic Sciences, 31(1):1-14.
- 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. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Çoğun, Y. H., Şahin M. 2012. Nil Tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758)'da Kurşun Toksisitesinin Azaltılmasında Zeolitin Etkisi. Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 18(1):135-140.
- Dağlı, H. 2005. İçmesuyu kalitesi ve insan sağlığına etkileri. Bizim İller. İller Bankası Aylık Yayın Organı. 3: 16-21.
- De Zwart, D. 1995. Monitoring Water Quality in the Future, Volume 3: Biomonitoring, National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM), Bilthoven, The Netherlands.
- Demir, N. 1992. İhtiyoloji. İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Basımevi, İstanbul.
- Demirsoy, A. 1998. Yaşamın Temel Kuralları Omurgalılar/Anamniyata. Hacettepe Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü, Cilt:3(I).
- Devasagayam, T.P.A., Bloor, K.K., Ramasarma, T. 2003. Methods for estimating lipid peroxidation: An analysis of Merits and Demerits. Indian Journal of Biochemistry and Biophysics, 40: 300-308.
- Dezfuli, B. S., Arrighi, S., Domeneghini, C., Bosi, G. 2000. Immunohistochemical detection of neuromodulators in the intestine of *Salmo trutta* L. naturally infected with *Cyathocephalus truncatus* Pallas (Cestoda). Journal of Fish Diseases, 23(4):265-273.
- Dinçel, A.S., Benli, A.Ç.K., Selvi, M., Sarıkaya, R., Şahin, D., Özkul, A., Erkoç, F. 2009. Sublethal cyfluthrin toxicity to carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings: Biochemical, hematological, histopathological alterations. Ecotoxicology and Environmental Safety, 72: 1433-1439.
- Dirilgen, N. 2001. Accumulation of heavy metal in freshwater organism: Assessment of toxic interactions. Turk. J. Chem., 25: 173-179.
- Doğan, M. 2004. Hatay bölgesindeki su kaynaklarından alınan balık (*Carasobarbus luteus*, HECKEL, 1843) ve su örneklerinde ağır metal düzeyleri. Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

- Dostbil, M. 2010. Mogan Gölünde su ve sedimentte ağır metal düzeylerinin tespiti; Sazan (*Cyprinus carpio*) ve kadife (*Tinca tinca*) balık dokuları üzerine etkilerinin incelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Bölümü. Yüksek Lisans tezi.
- Dökmeci, G. 1988. Çevre kirlenmesinde rol oynayan toksik maddeler. 488-489.
- DPT 9. Kalkınma Planı 2007. Çevre Özel İhtisas Komisyon Raporu, Ankara.
- Dringen, R. 2000. Metabolism and functions of glutathione in brain. *Progress in Neurobiology*, 62(6):649-671.
- Duman, F. 2005. Sapanca ve Abant Gölü su, sediment ve sucul bitki örneklerinde ağır metal konsantrasyonlarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi. Ankara Üniversitesi. Doktora Tezi.
- Duman, F., Sezen, G., Nilhan Tug, G. 2007. Seasonal changes of some heavy metal concentrations in Sapanca Lake water, Turkey. *International Journal of Natural on Engineering Sciences*, 1(3):25-28.
- Duru, A.U. 2002. Ege bölgesinde örtü altında yetiştirilen domateslerde yaygın olarak kullanılan bazı pestisit kalıntıları ve ekstraksiyon yöntemlerinin araştırılması. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Dündar, M. Ş., Altundağ, H., Boz, V., Akaya, K., Sayın, M. 2003. Sapanca Gölüne akan derelerdeki bazı eser elementlerin 17 Ağustos 1999 Marmara depremi öncesi ve sonrası karşılaştırmalı analizi, A.Ü. Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4 (2):205-210.
- Dünya Sağlık Örgütü 1992. *Water Quality Assessments*, pp.10-13. Chapman and Hall Ltd., London.
- Dünya Sağlık Örgütü 1998. *Guidelines for Drinking-Water Quality*. Second Edition, Volume 1 Geneva.
- El-Gendy, K. S., Aly, N. M., Mahmoud, F. H., Kenawy, A., El-Sebae, A. K. H. 2010. The role of vitamin C as antioxidant in protection of oxidative stress induced by imidacloprid. *Food and Chemical Toxicology*, 48: 215-221.
- Ellenberg, H., Arndt, U., Bretthauer, R., Ruthsatz, B., Steubing, L., 1991. *Biological Monitoring; Signals from The Environment*. Friaedr. Viewegand Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig, 318.
- Elmaci, A., Teksoy, A., Topaç, O., Özengin, N., Kurtoğlu, S., Başkaya, H. S. 2007. Assessment of heavy metals in Lake Uluabat, Turkey. *African Journal of Biotechnenology*, 6 (19):2236-2244.
- Elp, M., Şen, F., Çetinkaya, O. 2007. Koçköprü baraj gölü sazan populasyonunun (*Cyprinus carpio* L., 1758) bazı fenotopik özellikleri. *İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 23: 1-8.

- Ergönül, M. B., Altındağ, A. 2011. Çinko ve bakırın kadife balığı (*Tinca tinca* L., 1758) için akut toksisitesinin belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi, 14(3):19-24.
- Ertürk, H. 1999. Çevre Bilimlerine Giriş. Vipaş AŞ. Yayın Sıra No: 3, 3. Baskı, Bursa 70-73.
- Fang, Y. Z., Yang, S., Wu G. 2002. Free radicals, antioxidants and nutrition. Nutrition, 18:872-879.
- Fanta, E., Rios, F. S. A., Romão, S., Vianna, A. C. C., Freiburger, S. 2003. Histopathology of the fish *Corydoras paleatus* contaminated with sublethal levels of organophosphorus in water and food. Ecotoxicology and Environmental Safety, 54(2):119-130.
- Farkas, A., Salánki, J., Varanka, I. 2000. Heavy metal concentrations in fish of Lake Balaton, Hungary. Water Research, 5:276-271.
- Farkas, A., Salánki, J., Specziá, A. 2002. Relation between growth and the heavy metal concentrations in organs of bream *Abramis brama* L. populating Lake Balaton. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 43:236-243.
- Favari, L., Lopez, E., Mainez-Tabche, L., Diaz-Pardo, E. 2002. Effect of insecticides on plankton and fish of Ignacio Ramirez Reservoir (Mexico); A biochemical and biomagnification study. Ecotoxicology and Environmental Safety, 51:177-186.
- Ferguson, H. W. 1989. Systemic pathology of fish. a text and atlas of comparative tissue responses in diseases of teleosts., Iowa, USA, 263.
- Fernandes, C., Fontainhas-Fernandes, A., Peixoto, F., Salgado, M. A. 2007. Bioaccumulation of heavy metals in *Liza saliens* from the Esmoriz-Paramos Coastal Lagoon, Portugal. Ecotoxicology and Environmental Safety 66:426-431.
- Fernández-Martínez, R., Caballero, Q. 2005. Application of ICP-OES to the determination of CuIn_{1-x}Ga_xSe₂ thin films used as absorber materials in solar cell devices. Analytical and Bio analytical Chemistry, 382(2):466-470.
- Ferreira, M., Moradas-Ferreira, P., Reis-Henriques, M. A. 2005. Oxidative stress biomarkers in two resident species, Mullet (*Mugil cephalus*) and Flounder (*Platichthys flesus*), from a polluted site in River Douro Estuary, Portugal. Aquatic Toxicology, 71:39-48.
- Fırat, Ö., Kargın, F. 2010. Effects of zinc and cadmium on erythrocyte antioxidant systems of a freshwater fish *Oreochromis niloticus*. J. Biochem. Molecular Toxicology, 4:145-149.
- Filazi, A., Dikmen, B. Y., Kuzukıran, Ö. 2015. çevresel kirleticilerden kaynaklanan zehirlenme olguları. Türkiye Klinikleri J. Vet. Sci. Pharmacol Toxicol-Special Topics, 1(3): 45-52.
- Forman, H.J., Zhang, H., Rinna, A. 2009. Glutathione: Overview of its protective roles, measurement and biosynthesis. National of Health Institutes, 30: 1-12.

- Freyhof, J., Kottelat, M. 2011. *Tinca tinca*. In: IUCN 2011. IUCN red list of threatened species.
- Furia, R. R. 2004. Preliminary aspects of water soluble fraction of diesel oil effects on gill histology of *Trachinotus* sp. behavior, physiology and toxicology interactions in fish. International Congress on the Biology of Fish. Manaus, Brazil, August 1-5, pp. 343-349.
- Geldiay, R., Balık, S. 2007. Freshwater fishes of Turkey. Ege University Press.
- Geldiay, R., Balık, S. 2009. Türkiye tatlısu balıkları. Ege Üniversitesi Yayınları. Yayın No:4. 644s. İzmir.
- Göksu, M.Z. L., Çevik, F., Fındık, F., Sarıhan, E. 2003. Seyhan Baraj Gölü'ndeki aynalı sazan (*Cyprinus carpio* L., 1758) ve sudak (*Stizostedion lucioperca* L., 1758)'larda Fe, Zn, Cd düzeylerinin belirlenmesi. E.Ü. Su Ürünleri Dergisi, 20(1-2):69-74.
- Göksu, M.Z.L. 2003. Su Kirliliği Ders Kitabı. Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi.
- Göktaş, Ö. 2007. Kadmiyumun neden olduğu oksidatif stres üzerine resveratrolün koruyucu etkisi. İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Farmakoloji Bölümü Yüksek Lisans Tezi.
- Guyonnet, B., Aliaume, C., Albaret, J. J. 2003. Biology of *Ethmalosa Fimbriata* (Bowdich) and fish diversity in The Ebrie Lagoon (Ivory Coast), a multipolluted environment ices. J. of Marine Science, 60: 259- 267.
- Gül, S., Belge-Kurutaş, E., Yıldız, E., Sahan, A., Doran, F. 2004. Pollution correlated modifications of liver antioxidant systems and histopathology of Fish (Cyprinidae) Living in Seyhan Dam Lake, Turkey. Environment International, 30:605-609.
- Gülcü-Gür, B., Tekin-Özan, S. 2017. The investigation of heavy metal levels in water and sediment from Işıklı Lake (Turkey) in relation to seasons and physico-chemical parameters. Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research, 3(2):87-96.
- Gündüz, Ö. 2013. Diflubenzuron ve pyriproxyphen'e maruz kalan *Cyrtocara moori* (Cichlidae, Teleostei)'nin bağırsak ve karaciğer histopatolojisi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Güngördü, A., Belda, E., Dürdane, K. 2012. Evaluation of spatial and temporal changes in biomarker responses in the common carp (*Cyprinus Carpio* L.) for biomonitoring The Meriç Delta, Turkey. Environmental Toxicology and Pharmacology, 33:431-439.
- Gürsoy, Ç. 2008. Ömerli Baraj Gölü'nde kıızıkanat (*Scardinius erythrophthalmus* Linnaeus, 1758) bazı biyolojik özelliklerinin belirlenmesi. Çanakkale Onsekizmart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

- Güvenç, D., Aksoy, A. 2007. Poliklorlu bifenillerin toksikolojisi. J. Turk Vet. Med. Soc., 78:18-25.
- Hadi, A. A., Alwan, S.F. 2012. Histopathological changes in gills, liver and kidney of fresh water fish, *Tilapia zillii*, Exposed to Aluminum. International Journal of Pharmacy & Life Sciences, 3(11): 2071-2081.
- Haesloop, U., Schirmer, M. 1985. Accumulation of orally administred cadmium by the eel (*Anguilla anguilla*). Chemosphere. 14(10):1627-1634.
- Halliwell, B., Aruoma, O. I. 1991. DNA damage by oxygen-derived species Its mechanism and measurement in mammalian systems. FEBS letters, 281(1-2):9-19.
- Halliwell, B., Chirico, S. 1993. Lipid peroxidation: its mechanism, measurement, and significance. The American journal of clinical nutrition, 57(5):715-724.
- Hamza-Chaffai, A., Roméo, M., El Abed, A. 1996. Heavy metals in different from the Middle Eastern Coast of Tunisia. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 56:766-773.
- Handy, D. R. 2003. Chronic effects of copper exposure versus endocrine toxicity: Two sides of the same toxicological process? Comparative Biochemistry and Physiology Part A 135:25–38
- Haviland, W. A. 2002. Kültürel Antropoloji No: 143. Sosyoloji Serisi: 3. İstanbul: KaktüsYayınları.
- Heath, A. G. 1987. Water pollution and fish physiology. CRP Press Inc. 245 s. Florida.
- Heath, A. G. 1995. Water pollution and fish physiology. 2nd edition, CRC Press, NewYork.
- Hesni, M. A., Savari, A., Sohrab, A. D., Mortazavi, M. S. 2011. Gill histopathological changes in milkfish (*Chanos chanos*) exposed to acute toxicity of diesel oil. World Applied Sciences Journal, 14(10):1487-1492.
- Hibiya, T. 1982. An atlas of fish histology. Normal and Pathological Features, Tokyo, Japan, 147.
- Himes, J.H. 1991. Anthropometrics Assessment of Nutritional Status. New York: A John Wiley and Sons. Inc. Publication.
- Hinck, J. E., Christopher, J. S., Vicki, S. B., Nancy, D. D., Timothy, M., Bartish, P.J. Anderson James, J. C., Gail, M. D., Donald, E. T. 2006. Environmental contaminants and biomarker responses in fish from the Columbia River and its tributaries: Spatial and temporal trends. Science of The Total Environment 366:549–578.

- Hinton, D. E., Lauren, D. J. 1990. Integrative histopathological approaches to detecting effects of environmental stressors on fishes. American Fisheries Society Symposium, 8:51-65.
- Hinton, D.E., Segner, H., Au, D.W.T., Kullman, S.W., Hartman, R.C. 2008. Liver toxicity. In: The toxicology of fishes, Di Giulio RT, Hinton DE (Eds), CRC Press Inc., Florida.
- Hinton, D.E., Segner, H., Braunbeck, T. 2001. Toxic responses of the liver. In: Daniel, S., Benson, W.H. (Eds.), Target organ toxicity in marine and freshwater teleosts, vol. 1, London.
- Hinton, D., Lauren, D. 1990. Liver structural alterations accompanying chronic toxicity in fishes: Potential biomarkers of exposure, in: Biomakers of environmental contamination, McCarthy, J. and Shugart, L. (Eds.), Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- <http://www.kln.ac.lk/science/depts/zoology/images>, Erişim Tarihi: 19.04.2017.
- <http://webders.net/ksenobiyotiklerin-metabolizmasi>, Erişim Tarihi: 20.04.2017.
- https://en.wikipedia.org/wiki/Fish_anatomy, Erişim Tarihi: 04.04.2017.
- <https://tr.wikipedia.org/wiki/Sapanca>, Erişim tarihi: 14.03.2017.
- <https://www.google.com.tr/maps/place/Sapanca>, Erişim Tarihi:18.04.2017.
- İşık, İ. 2007. Bazı zirai m¼cadele ilaçlarının balıkların solungaç karaciğer ve kas dokularındaki antioksidan enzim aktivitelerinin glutasyon ve lipid peroksidasyon seviyeleri üzerine etkileri. Yüz¼nc¼ Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstit¼s¼, Yüksek Lisans Tezi.
- İnan, V., Uysal, H. 1995. Batı Anadolu G¼lleri'nde (Apolyon, Manyas, Eğirdir, Çivril ve Marmara) yaşayan tatlısu ıstakozunda (*A. leptodactylus* ESCH, 1823) bazı ağır metal birikimleri ve bu elementlerin toksik etkilerinin araştırılması. Tr. J. of Biology, 19: 55-65.
- İşisağ Üç¼nc¼, S., Önen, Ö., Ergen, G., Üreten, M., Boz, E., Seferoğlu, K., G¼kçe, B. 2010. Dioktil Adipat'ın (DOA) *Labidochromis caeruleus*'un Fryer, 1956 (Cichlidae, Teleostei) solungaç histolojisi üzerine etkileri. Kafkas Üniversitesi Veterinerlik Fak¼ltesi Dergisi, 16(2):343-346.
- Javed, M., Ahmad, I., Usmani, N., Ahmad, M. 2016. Studies on biomarkers of oxidative stress and associated genotoxicity and histopathology in *Channa punctatus* from heavy metal polluted canal. Chemosphere, 151:210-219.
- Jensen, S. 1966. Report of a new chemical hazard. New Sci. 32: 612.
- Johnson, I. 1988. The effects of combinations of heavy metals, hypoxia and salinity on ion regulation in *Crangon crangon* (L) and *Carcinus maenas* (L). Comp Biochem Physiol., 91C:459-463.

- Junianto, Z., Apriliani, I. M. 2017. Evaluation of heavy metal contamination in various fish meat from Cirata Dam, West Java, Indonesia. *AACL Bioflux*, 10(2)242-248.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S. 2003. Metallerin Çevresel Etkileri III-III. İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü.
- Kalay, M., Koyuncu, E.; Dönmez, A. E. 2004. Mersin Körfezi'nde yakalanan *Sparus aurata* ve *Mullus barbatus* 'un kas ve karaciğer dokularındaki kadmiyum düzeylerinin karşılaştırılması, *Ekoloji Çevre Dergisi*,13(51):19-23.
- Kamunde, C., MacPhail, R. 2010. Metal-metal interactions of dietary cadmium, copper and zinc in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 4:56-62.
- Kanyılmaz, M. 2008. Sazan yemlerine (*Cyprinus carpio* L., 1758) farklı oranlarda zeolit (klinoptilolit) katkısının büyüme, vücut kompozisyonu, bazı kan parametreleri ve bağırsak mukoza morfolojisi üzerine etkileri. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kaptaner, B., Kankaya, E., Doğan, A., Durmuş, A. 2016. Alterations in histology and antioxidant defense system in the testes of the lake Van fish (*Alburnus tarichi*). *Environmental monitoring and assessment*, 188(8):1-15.
- Karadede, H. 2002. Dicle Nehri'nde su, sediment ve bentik bazı canlı organizmalardaki ağır metal birikiminin araştırılması. Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Karadede, H., Cengiz, E.I., Ünlü, E. 1997. Investigation of heavy metal accumulation in *Mastacembelus simack* (Walbaum, 1792) from the Atatürk Dam Lake. IX. National Aquaculture Symposium. Isparta, Turkey, Volume I, 399 – 407.
- Kargın, F., Erdem, C. 1992. Bakır-çinko etkileşiminde *Tilapia nilotica* (L.)'nın karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki metal birikimi. *Doğa Tr. J. of Zoology*. 16:343-348.
- Kargın, F., 1996. Seasonal changes in levels of heavy metals in tissues of *Mullus Barbatus* and *Sparus aurata* collected from Iskenderun Gulf (Turkey). *Water, Air, & Soil Pollution*, 90 (3-4):557-562.
- Katalay, S., Parlak, H., Arslan, Ö. Ç. 2005. Ege denizinde yaşayan kaya balıklarının (*Gobius niger* L., 1758) karaciğer dokusunda bazı ağır metallerin birikimi. *E.U. Journal of Fisheries& Aquatic Sciences*, 22(3-4):385 – 388
- Kaur, R., Dua, A. 2014. Adverse effects on histology of liver and kidney in fish *Channa punctatus* exposed to wastewater from Tung Dhab drain in Amritsar, India. *Journal of Environmental Biology*, 35(1):265.
- Kaya, H. 2012. Tilapia'da (*Oreochromis mossambicus*) kurşun toksisitesi: Oksidatif stres ve bazı fizyolojik etkiler. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

- Kayhan, F. E., Muşlu, M. N., Koç, N. D. 2009. Bazı ağır metallerin sucul organizmalar üzerinde yarattığı stres ve biyolojik yanıtlar. *J Fish Sci*, 3(2):153-162.
- Kaymak, G. 2011. Farklı dozlarda deltametrin ve kadmiyum uygulanan kılıçkuyruk (*Xiphophorus hellerii*) balıklarında oluşan oksidatif stres tayini. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri Bölümü Yüksek Lisans.
- Kazancı, G., Girgin, S., Dügel, M., Oğuzkurt, D. 1997. Akarsuların Çevre Kalitesi Yönünden Değerlendirilmesinde ve İzlenmesinde Biyotik İndeks Yöntemi [The Method Of The Biotic Index Of Assessment and Monitoring With Respect To Environmental Quality Of Running Waters]. İmaj Yayıncılık. ANKARA, 100 s.
- Kazancı, N. 2003. Beyşehir Gölü'nün limnolojisi, çevre kalitesi, biyolojik çeşitliliği ve korunması. İmaj yayınevi.
- Kılıç E., Köseoğlu F. 1996. Analitik kimya temelleri. 7. Baskı. 1. Cilt. Bilim Yayıncılık Ltd. Şti
- Kökmen, S., Arslan, N., Filik, C., Yılmaz V. 2007. Zoobenthos of Lake Uluabat, a Ramsar Site in Turkey, and their relationship with environmental variables. *Clean*. 35(3): 266-274.
- Köse, E. 2007. Enne Barajı'nda yaşayan balıklarda ağır metal birikiminin araştırılması. Dumlupınar Üniversitesi Biyoloji Bölümü Yüksek Lisans Tezi.
- Kruger, T. 2002. Effects of zinc, copper and cadmium on *Oreochromis mossambicus* freeembryos and randomly selected mosquito larvae as biological indicators during acutetoxicity testing (MSc thesis, not published) Rand Afrikaans University, Faculty of Science, Johannesburg S.A.
- Kuiper, R., Bergman, A., Vos, J. G. 2004. Some polybrominated diphenyl ether (PBDE) flame retardants with wide environmental distribution inhibit TCDD-Induced EROD activity in primary cultured Carp (*Cyprinus carpio*) hepatocytes. *Aquatic Tox.*, 68: 129-139.
- Kurt, C. 2006. Karadeniz Ereğlisi - Marmara Denizi Kumbağ bölgelerinde avlanan beyaz kum midyesi (*Chamelea gallina* L., 1758)'nin biyometrisi ve ağır metal birikimlerinin karşılaştırılması. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kurtoğlu, S. 2006. Uluabat göl sedimentinde bazı kimyasal parametrelerin ve mevsimsel değişimlerinin incelenmesi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kuru, M. 1994. Omurgalı Hayvanlar. Gazi Üniversitesi Yayın No: 186. 207-212.
- Kuru, M. 2004. Türkiye içsu balıklarının son sistematik durumu. Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 24(3), 1-21.
- Kuş, U. Ş. 2012. Sapanca Gölünde kıızıkanat balığı *S. erythrophthalmus* (Linnaeus, 1758)'nın metazoan parazitleri. Marmara Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.

- Küçükbay, F. Z., Örün, İ. 2003. Copper and zinc accumulation in tissues of the freshwater fish *Cyprinus carpio* L. 1758 collected from the Karakaya Dam Lake, Malatya (Turkey). *Fre. Env. Bull.* 12 (1):62-66.
- Livingstone, D. R. 2001. Contaminant-stimulated reactive oxygen species production and oxidative damage in aquatic organisms. *Marine Pollution Bulletin*, 42(8):656-666.
- Lloyd, R. 1992. Pollution and freshwater fish. Fishing News Boks. A Division of Blackwell Scientific Publications Limited, Great Britain. 176 s.
- Lopes, P. A., Pinheiro, T., Santos, M. C., da Luz Mathias, M., Collares-Pereira, M. J., Viegas-Crespo, A. M. 2001. Response of antioxidant enzymes in freshwater fish populations (*Leuciscus alburnoides complex*) to inorganic pollutants exposure. *Science of the total environment*, 280(1):153-163.
- Marcovecchio, J. E. 2004. The use of *Micropogonias furnieri* and *Mugil liza* as bioindicators of heavy metals pollution in La Plata River Estuary, Argentina. *Science Of The Total Environment*, 323:219-226.
- Mercan, U. 2004. Toksikolojide serbest radikallerin önemi. *Y.Y.U Vet. Fak.Derg.*, 1-2: 91-96.
- Mondon, J. A., Duda, S., Nwak, B. F. 2001. Histological, growth and 7-Ethoxyresorufin O-Deethylase (EROD) activity responses of Greenback Flounder *Rhombosolea tapirina* to contaminated marine sediment and diet. *Aquatic Tox.*, 54: 231-247.
- Munnia, A., Amasio, M.E., Peluso, M. 2004. Ecocyclic malondialdehyde and aromatic DNA adducts in larynx tissues. *Free Radical Biology and Medicine*, 37: 850-858.
- Muşlu, M.N. 2008. İstanbul Boğazı'ndaki sarıkuyruk istavrit balığı (*Trachurus mediterraneus*)'nın kas ve solungaçlarındaki kurşun düzeyleri. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Mwamburi, J. 2009. Trace metal concentration in water and sediments of satellite lakes within Lake Victoria. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 14(3):203-220
- Nero, V., Farwell, A., Lister, A., Van Der Kraak, G., Lee, L.E.J., Van Meer, T., MacKinnone, M.D., Dixon, D.G. 2006. Gill and liver histopathological changes in yellow perch (*Perca flavescens*) and goldfish (*Carassius auratus*) exposed to oil sands process-affected water. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 63:365-377.
- Oakes, K. D., McMaster, M. E., Van Der Kraak, G. J. 2004. Oxidative stress responses in longnose sucker (*Catostomus catostomus*) exposed to pulp and paper mill and municipal sewage effluents. *Aquatic Toxicology*, 67:255-271.

- Okgerman, H., Elp, M., Dorak, Z., Yardımcı, H. C., Yılmaz, N., Yiğit, S. 2006. Changes on the fish fauna of Lake Sapanca. In II National Workshop for Limnology, 6-8.
- Olarinmoye, O. M., Taiwo, V. O., Clarke, E. O., Kumolu-Johnson, C. A., Aderinola, O. J., Adekunbi, F. 2009. Hepatic pathologies in the Brackish water catfish (*Chrysichthys nigrodigitatus*) from contaminated locations of the Lagos Lagoon complex. *Journal of Cell and Animal Biology*, 3(11):196-201.
- Oliveira Ribeiro, C. A., Vollaie, Y., Sanchez-Chardi, A., Roche, H. 2005. Bioaccumulation and the effects of organochlorine pesticides, PAH and heavy metals in the eel (*Anguilla anguilla*) at the Camargue Nature Reserve, France. *Aquatic Toxicology*, 4:165-171.
- Oropesa, A. L., Garcia-Camero, J.P., Soler, F., 2009. Glutathione and malondialdehyde levels in common carp after exposure to Simazine. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 27: 30-38.
- Oruç, E. Ö. 2010. Oxidative stress, steroid hormone concentrations and acetylcholinesterase activity in *Oreochromis niloticus* exposed to chlorpyrifos. *Pesticide biochemistry and physiology*, 96(3):160-166.
- Ören, P. 2009. Malathion'un *Oreochromis niloticus*'ta oksidatif stres kaynaklı endokrin bozucu etkileri. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Bölümü Yüksek Lisans Tezi.
- Özan, S. T. 2005. Beyşehir Gölü'nde yaşayan sazan (*Cyprinus carpio*, L., 1758)'ndaki parazitlerin ve ağır metal birikiminin araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bölümü, Doktora Tezi.
- Özmen, H. 1998. Su Kirliliğini Kimyasal Olarak Belirleme Yöntemleri ve Kirlilik Parametreleri, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Koruma ve Kontrol Genel Müdürlüğü Su Kirliliği Hizmet İç Eğitim Semineri Notları, Elazığ, 175-182.
- Özparlak, H., Arslan, G., Arslan, E. 2012. Determination of some metal levels in muscle tissue of nine fish species from Beyşehir Lake, Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 12:761-770.
- Öztürk, M., Özözen, G., Mineraci, O., Minareci, E. 2009. Determination of heavy metals in fish, water and sediments of Avşar Dam Lake in Turkey. *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.*, 6(2):73-80.
- Özyürek, F. 2016. Nevşehirde farklı su kaynaklarıyla sulanan sebzelerde ağır metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) birikimi. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Biyoloji Bölümü Yüksek Lisans Tezi.
- Pandey, S., Ahmad, I., Parvez, S., Bin-Hafeez, R., Naque, R., Raisuddin, S. 2001. Effect of endosulfan on antioxidants of freshwater fish *Channa punctatus* Bloch: 1. Protection against lipid peroxidation in liver by copper preexposure. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 41:345-352.

- Pandey, S., Parvez, S., Ansari, R. A., Ali, M., Kaur, M., Hayat, F., Ahmad, F., Raisuddin S. 2008. Effects of exposure to multiple trace metals on biochemical, histological and ultrastructural features of gills of a freshwater fish, *Channa punctata* Bloch. *Chemico-Biological Interactions*, 174:183- 192.
- Pandey, S., Parvez, S., Sayeed, I., Haque, R., Bin-Hafeez, Raisuddin, S. 2003. Biomarkers of oxidative stress: A comparative study of River Yamuna Fish *Wallago attu* (Bl. & Schn.). *The Science of The Total Environment*, 309:105-115.
- Pendias, A. Pendias, H. 1984. Trace elements in soils and plants. (Vol. 315) Boca Raton, CRC Press.
- Peters, N., Köhler, A., Kranz, H. 1987. Liver pathology in fishes from the lower Elbe as a consequence of pollution. *Diseases of Aquatic Organisms*, 2:87-97.
- Piner, P. 2009. lambda-cyhalothrinin oreochromis niloticus'da karaciğerde piperonil bütoksit modülatörlüğünde oksidatif stres potansiyelinin belirlenmesi, stres proteinleri ve apoptozis üzerine etkileri. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Bölümü, Doktora Tezi.
- Pire, R. 2001. Kuru üzümlerdeki bazı pestisit kalıntılarının GC/ECD (Gaz Kromatografisi/Elektron Yakalama Dedektörü) ve GC/MS (Gaz Kromatografisi/Kütle Spektrometresi) teknikleri ile analizi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Prokes, M., Rebdckova, M. 1987. Seasonal growth of the fry rudd (*Scardinius erythrophthalmus*) in the Musov Reservoir. *Folia Zoologica* 36 (1):73-83.
- Rashed, M, N. 2001. Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake. *Environment International*. 27:27-33.
- Roberts, R. J. 2001. Fish pathology. 3rd edition. London.
- Roch, M., McCarter, J. A. 1984. Hepatic metallothionein production and resistance to heavy metals by rainbow trout (*Salmo gairdneri*) exposed to an artificial mixture of zinc, copper and cadmium. *Comp Biochem Physiol.*, 77:71-75.
- Rodrigues, R.V., Miranda-Filho, K. C., Gusmão, E. P., Moreira, C. B., Romano, L.A., Sampaio, L. A. 2010. Deleterious effects of watersoluble fraction of petroleum, diesel and gasoline on marine *Pejerrey odontesthesargentinensis* Larvae. *Science of the Total Environment*, 408:2054–2059.
- Romanenko, V. D., Yevtushenko, N. Y. 1985. The tissue accumulation of heavy metals and their influence on the biosynthesis in the fish organism. *Symposia Biologica Hungarica*, 29; 299-311.
- Roméo, M., Siau, Y., Sidoumou, Z., Barelli, M. G. 1999. Heavy metal distribution in different fish species from the Mauritania Coast. *The Science of Total Environment* 232:169-175.

- Ross, G. 2004. The public health implications of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in the environment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 59:275-291.
- Sachdev, S., Davies, K. J. 2008. Production, detection, and adaptive responses to free radicals in exercise. *Free Radical Biology and Medicine*, 44(2):215-223.
- Safe, S. 1992. Toxicology, structure-function relationship, and human and environmental health impacts of polychlorinated biphenyls: Progress and problems. *Environmental Health Perspectives*, 100: 259-268.
- Sarkar, A., Ray, D., Shrivastava, A. N. 2006. Molecular Biomarkers: Their significance and application in marine pollution monitoring. *Ecotox.*, 15: 333-340.
- Sheehan, D., Power, A. 1999. Effects of seasonality on xenobiotic and antioxidant defence mechanisms of bivalve molluscs. *Comp. Biochem. Physiol.* 123C:193-199.
- Shen, H., Song, C., Zhen, F., Wang, F., Ren, H. 2007. Enzymatic biomarker measurement and study on pollution-induced antioxidant enzymes responses in freshwater fish liver, *Brocarded Carp*. Foundation item: The Hi-Tech Research and Development Program(863) of China(No 2004AA601012-5-1).
- Shephard, K. L. 1994. Functions for fish mucus. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 4:401-429.
- Síroká, Z., Drastichová, J. 2004. Biochemical markers of aquatic environment contamination - Cytochrome P450 in fish. *Acta Vet. Brno.*, 73:123-132.
- Simonato, J. D., Guedes, C.L. B., Martinez, C.B. R. 2008. Biochemical, physiological, and histological changes in the neotropical fish *Prochilodus lineatus* exposed to diesel oil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 69:112-120.
- Singh, R.J., Hogg, N., Joseph, J., Kalyanaraman, B. 1996. Mechanism of nitric oxide release from S-nitrosothiols. *The Journal of Biological Chemistry*, 271: 18596-18603.
- Soylu, M. 1998. Sazan üretimi. Marmara Üniversitesi, yayın no: 632, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Yayın No: 1, İstanbul.
- Squadrone, S., Prearo, M., Brizi, P., Gavinelli, S., Pellegrino, M., Scanzio, T., Abete, M. C. 2013. Heavy metals distribution in muscle, liver, kidney and gill of European catfish (*Silurus glanis*) from Italian Rivers. *Chemosphere*, 90(2):358-365.
- Srivastava, N., Kumari, U., Rai, A. K., Mittal, S., Mittal, A. K. 2014. Alterations in the gill filaments and secondary lamellae of *Cirrhinus mrigala* exposed to “Nuvan,” an organophosphorus insecticide. *Journal of Histology*, 2:367-373.
- Steadman, B. 1986. Xenobiotic metabolism in rainbow trout: Toxicology, biochemistry and biomonitoring. PhD Thesis, Wyoming University USA.

- Storey, K. B. 1996. Metabolic adaptations supporting anoxia tolerance in reptiles: recent advances. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 113: 23-35.
- Sumer, B., Ileri, R., Gezbul, H., Senol, E. 1996. Investigation of trophic state of the Lake Sapanca. In *Symposium on Drinking Water, Istanbul Water and Sewage Administration (ISKI), Istanbul, Turkey, October* (in Turkish).
- Sun, J., Druhan, L. J., Zweier, J. L. 2008. Dose dependent effects of reactive oxygen and nitrogen species on the function of neuronal nitric oxide synthase. *Archives of biochemistry and biophysics*, 471(2):126-133.
- Swackhamer, D. L., Armstrong, D. E. 1986. Estimation of the atmospheric and nonatmospheric contributions and losses of polychlorinated biphenyls for Lake Michigan on the basis of sediment records of remote lakes. *Environmental Science & Technology*, 20: 879-883.
- Şahan, A., Kurutaş, E. B., Altun, T. 2010. The determination of biochemical indicators (biomarkers) in the common carp (*Cyprinus carpio*) to the physico-chemical parameters of the Ceyhan River (Adana-Turkey). *Ekoloji*, 19:8-14.
- Şisman, I., Imamoglu, M., Aydin, A. O. 2002. Determination of heavy metals in roadside soil from Sapanca area highway, Turkey. *Int. J. Environment and Pollution*, 17 (4):306-311.
- Tanyolaç, J. 2006. *Limnoloji (Tatlısu Bilimi)*. Hatiboğlu Basım ve Yayın San. Tic. Ltd. Şti., Ankara, 1-237.
- Taylan, Z. S., Özkoç, H. B. 2016. Potansiyel ağır metal kirliliğinin belirlenmesinde akuatik organizmaların biokullanılabilirliği. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2):17-33.
- Teh, S. J., Adams, S. M., Hinton, D. E. 1997. Histopathological biomarkers in freshwater fish populations exposed to different types of contaminant stres. *Aquatic Toxicology*, 37:51-70.
- Tekin-Özan, S., Aktan, N. 2012. Levels of some heavy metals in water and tissues of chub mackerel (*Scomber japonicus*) compared with physicochemical parameters, seasons and size of the Fish. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 22 (3):605-613.
- Tekin-Özan, S., Kır, İ. 2007. Seasonal variations of some heavy metals in pikeperch (*Sander lucioperca* L., 1758) and crucian carp (*Carassius carassius* L., 1758) from Kovada Lake, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 16(8):904-909.
- Telefoncu, A., Zihnioğlu, F. 1992. Göllerdeki kimyasal kirlilik ve insan sağlığına etkisi. *Çevre Dergisi*.

- Thomas, D. G., Brown, M. W., Shurben, D., Solbe, J. F., Creyer, A., Kay, J. 1985. A comparison of the sequestration of cadmium and zinc in the tissues of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) following exposure to the metals singly or in combination. *Comp. Biochem. Physiol.*, 82:55-62.
- Tunca, E. 2011. Yeniçağa (Bolu) Gölü su, sediment ve tatlısu istakozunda (*Astacus leptodactylus*, Eschscholtz, 1823) bazı ağır metal birikimlerinin mevsimsel değişimi Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bölümü Doktora Tezi.
- Turrens, J. F. 2003. Mitochondrial formation of reactive oxygen species. *The Journal of Physiology*, 552(2):335-344.
- Tümen, F., Bildik, M., Baybay, M., Cici, M., Solmaz, B. 1992. Ergani bakır işletmesi katı atıklarının kirlilik potansiyeli. *Doğa Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences*. 16:43-53.
- Udroiu, L. 2006. The micronucleus test in Piscine erythrocytes. *Aquatic Tox.*, 79: 201-204.
- Uluocak, H. B. 2000. İzmir ve Aliğa körfezinde mevsimsel olarak avlanan bazı ekonomik balık türlerinde organik klorlu pestisit kalıntılarının araştırılması. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Temel Bilimler Bölümü Doktora Tezi.
- UNEP, 1996. The state of the marine and coastal environment in the mediterranean region. *Map Technical Reports Series*, 100:142.
- Uribe, C., Folch H., Enriquez R., Moran G. 2011. Innate and adaptive immunity in teleost fish: a Review. *Veterinari Medicina*, 56(10):486-503.
- US EPA, 1999. National recommended water quality criteria correction office. EPA 822-Z-99-001, 25 pp.
- Usero, J., Izquierdo, C., Morillo, J., Gracia, I. 2003. Heavy metals in fish (*Solea vulgaris*, *Anguilla anguilla* and *Liza aurata*) from Salt Marshes on the southern Atlantic Coast of Spain. *Environmental International*, 1069:1-8.
- Uysal, H., Tuncer, S. 1982. Levels of heavy metals on some Ccmmercial food species in the Bay of İzmir, Turkey. *VI.es Journées Etud. Pollutions*, Cannes, C.I.E.S.M., 323-327.
- Uysal, K. 2010. Heavy metal in edible portions (Muscle and Skin) and other organs (gill, liver and intestine) of selected freshwater fish Species. *International Journal of Food Properties*, 14:280-286.
- Uysal, K., Köse, E., Bülbül, M., Dönmez, M., Erdoğan, Y., Koyun, M., Ömeroğlu, Ç. Özmal, F. 2009. The comparison of heavy metal accumulation ratios of some fish species in Enne Dam Lake (Kütahya/Turkey). *Environ. Monit. Assess.*, 157:355-362.

- Uzunoğlu, O. 1999. Gediz Nehri'nden alınan su ve sediment örneklerinde bazı ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Van Der Oost, R., Beyer, J., Vermeulen, N. P. E. 2003. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environ. Toxicol. Pharmacol.*13: 57-149.
- Van Gestel, C. A. M., Van Brummelen, T. C. 1996. Incorporation of the biomarker concept in ecotoxicology calls for a redefinition of terms. *Ecotoxicology*, 5:217–225.
- Velkova-jordanoska, L., Kostoski, G., Jordanoska, B. 2008. Antioxidative enzymes in fish as biochemical indicators of aquatic pollution. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 14:235-237.
- Vergani, L., Grattarola, M., Borghi, C., Dondero, F., Viarengo, A. 2005. Fish and molluscan metallothioneins: A structural and functional comparison, *FEBS Journal*, 272:6014-6023.
- Voutsinou-Taliadour, F. 1982. Monitoring of some metals in some marine organisms from the Saronikos Gulf. VI.es Journées Etud. Pollutions, Cannes, C.I.E.S.M., 329-333.
- Vural, N. 1996. Toksikoloji, Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları No:73 Ankara.
- Wester, P. W., Canton, J. H. 1991. The usefulness of histopathology in aquatic toxicology studies. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 115-117.
- White, R. D., Shea, D., Stegeman, J. J. 1997. Metabolism of the aryl hydrocarbon receptor agonist 3,3',4,4'-tetrachlorobiphenyl by The Marine Fish Scup (*Stenotomus chrysops*) in vivo and in vitro. *Drug Metabolism and Disposition*, 25: 564-572.
- WHO. 2000. Polychlorinated Biphenyls (PCBs), Chapter 5.10, Denmark.
- Wilson, L., Reddy, H. R. V., Gowda, G., Prabhudeva, K. N., Isloor, S., Shridhar, N. B., Ebenezeer, S., Chethan, N, Pedmanabha, A., Muttappa, K. 2017. Assessment of heavy metal residues in water, sediment and fish tissues from Hebbal Lake, Bengaluru-India. *Global Journal For Research Analysis*, 5(9):410-413.
- Wu, R. S. S., Siu, W. H. L., Shin, P. K. S. 2005. Induction, adaptation and recovery of biological responses: Implications for environmental monitoring. *Mar. Pollut. Bull.*, 51:8-12.
- Yalçın, N., Sevinç, V. 2001. Heavy metal contents of Lake Sapanca. *Turk. J. Chem.*, 25:521-525.
- Yazkan, M., Özdemir, F., Gölükçü, F. 2002. Antalya Körfezinde avlanan bazı balık türlerinde Cu, Zn, Pb ve Cd içeriği. *Turk J. Vet. Anim. Sci.* 6:1309-1313.

- Yemişen, E. 2008. Termal deri yanığında Silmarinin karaciğer üzerine etkisinin incelenmesi. Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyokimya Bölümü Yüksek Lisans Tezi.
- Yılmaz, E. 2004. Yayın Balığı Yetiştiriciliği. Tarım Kütüphanesi.
- Yılmaz, E., Özdemir, N., Demirak, A., Tuna, L. A. 2007a. Heavy metals levels in two fish species *Leuciscus cephalus* and *Lepomis gibbosus*. Food Chemistry, 100(2):830-835.
- Yılmaz, H.R., Türköz, Y., Yüksel, E., Orun, I. 2006. An investigation of antioxidant enzymes activities in liver of *Cyprinus carpio* taken from different stations in the Karakaya Dam Lake. International Journal of Science & Technology. 1:1-6.
- Yılmaz, S., Yılmaz, M., Pola, N. 2007b. Altınkaya Baraj Gölü (Samsun-Türkiye)'nde yaşayan yayın balığı (*Silurus glanis* L., 1758)'nın yaşı için farklı kemiksi yapıların değerlendirilmesi. Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi. 19(1):07-11.
- Yılmaz, M., Teber, C., Akkan, T., Er C., Kariptas, E., Ciftci, H. 2016. Determination of heavy metal levels in different tissues of tench (*Tinca tinca* L., 1758) from Siddikli Kucukbogaz Dam Lake (Kirsehir), Turkey. Fresenius Environmental Bulletin, 25(6):1972-1977.
- Zagal, A. 2008. Tekstil atık suyunun *Oreochromis niloticus*'da toksik etkisinin bazı antioksidan enzimler kullanılarak araştırılması. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Zama, D., Meraihi, Z., Tebibel, S., Benayssa, W., Benayache, F. 2007. Chlorpyrifos-induced oxidative stress and tissue damage in the liver protective role of the butanolic extract of *Paronychia argentea* L. Indian Journal of Pharmacology, 39: 145-150.
- Zhang, J. F., Liub, H., Sun, Y. Y., Wang, X. R., Wu, J. C., Xue, Y. Q. 2005. Responses of the antioxidant defenses of the goldfish *Carassius auratus*, exposed to 2,4- Dichlorophenol. Environmental Toxicology and Pharmacology, 19:185-190.
- Zhuang, P., Li Z. A., Wang, G., Zou, B. 2013. Concentration of heavy metals in fish from a mine-affected area and potential health risk. Fresenius Environmental Bulletin 22(8a):2402-2408.
- Zyadah, M, A. 1999. Accumulation of some heavy metals in *Tilapia zillii* organs from Lake Manzalah, Egypt. Tr. J. of Zoology. 23:365-372.

ÖZGEÇMİŞ

Güllü KAYMAK 02.10.1987’de İstanbul’da doğdu. İlk ve ortaokul eğitimini İstanbul’da tamamladı. 2004 yılında Beylerbeyi Hacı Sabancı Lisesi’nden mezun oldu. 2004 yılında başladığı Ondokuz Mayıs Üniversitesi Sinop Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü’nü 2008 yılında bitirdi. 2009 yılında Marmara Üniversitesi Çevre Bilimleri Bölümü’nde yüksek lisans eğitimine başladı ve 2011 yılında mezun oldu. 2011 yılında Sakarya Üniversitesi Biyoloji Bölümü’nde doktora eğitimine başladı. Doktora eğitimi sırasında çeşitli projelerde görev aldı. Çok sayıda uluslararası kongre, konferans ve sempozyumlar’da sözlü ve poster bildirileri sundu. Hakemli ve indeksli dergilerde birçok makalesi yayınlandı. Birden fazla makale için hakemlik yaptı.