



**KARASU NEHRİ BALIK FAUNASINDAN BAZI
CYPRİNİDAE TÜRLERİ ÜZERİNE BİYO-EKOLOJİK,
TOKSİKOLOJİK VE HİSTOLOJİK ARAŞTIRMALAR**

Hatice DANE

**Doktora Tezi
Biyoloji Anabilim Dalı
Genel Biyoloji Bilim Dalı
Prof. Dr. Turgay ŞİŞMAN
2018
Her Hakkı Saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**KARASU NEHRİ BALIK FAUNASINDAN BAZI CYPRİNİDAE
TÜRLERİ ÜZERİNE BİYO-EKOLOJİK, TOKSİKOLOJİK VE
HİSTOLOJİK ARAŞTIRMALAR**

Hatice DANE

**BİYOLOJİ ANABİLİM DALI
Genel Biyoloji Bilim Dalı**

**ERZURUM
2018**

Her hakkı saklıdır



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



TEZ ONAY FORMU

**KARASU NEHRİ BALIK FAUNASINDAN BAZI CYPRİNİDAE TÜRLERİ
ÜZERİNE BİYO-EKOLOJİK, TOKSİKOLOJİK VE HİSTOLOJİK
ARAŞTIRMALAR**

Prof. Dr. Turgay ŞİŞMAN danışmanlığında, Hatice DANE tarafından hazırlanan bu çalışma, 1/11/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Biyoloji Anabilim Dalı – Genel Biyoloji Bilim Dalı’nda Doktora tezi olarak **oybirliği / oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Fatime GEYİKOĞLU

İmza :

Üye : Prof. Dr. Turgay ŞİŞMAN

İmza :

Üye : Doç. Dr. Hakan AŞKIN

İmza :

Üye : Doç. Dr. Suat ÇOLAK

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üy. Elanur AYDIN KARATAŞ

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu **15/11/2018** tarih ve **45/17** nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Doktora Tezi

KARASU NEHRİ BALIK FAUNASINDAN BAZI CYPRİNİDAE TÜRLERİ ÜZERİNE BİYO-EKOLOJİK, TOKSİKOLOJİK VE HİSTOLOJİK ARAŞTIRMALAR

Hatice DANE

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı
Genel Biyoloji Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Turgay ŞİŞMAN

Bu çalışmada Karasu Nehri'nden yakalanan *Capoeta capoeta*, *Alburnus mossulensis* ve *Squalius cephalus* türlerinin boy-ağırlık, yaş, kondisyon faktörü (KF), gonadosomatik indeks (GSI), bağırsak katsayısı (IC), hepatosomatik indeks (HSİ) gibi bazı biyo-ekolojik özellikleri ve su kirliliğinin bu türlere olan biyokimyasal, toksikolojik ve histopatolojik etkileri araştırılmıştır. 2015-2016 yılları Mayıs-Ekim ayları arasında nehirde seçilen dört istasyondan su, sediment ve balık numuneleri aylık olarak alınmıştır. Su ve sediment örneklerinde Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Sr ve Pb elementlerinin derişimleri belirlenmiştir. Türlerin kas ve karaciğer dokularında bazı metallerin seviyesi de tespit edilmiştir. Kromozom hasarlarını tespit etmek için Mikroçekirdek testi uygulanmış ve oksidatif stresi belirlemek için plazma Total Oksidan Seviyesi (TOS) ve Total Antioksidan Seviyesi (TAS) ölçülmüştür. Dokulardaki histopatolojik değişiklikler ise Doku Değişim Derecesi (DTC) ile araştırılmıştır. İncelenen balıklarda yaşın I-V arasında değiştiği tespit edilmiştir. Sistematik ve anatomik incelemelerde balıkların türe ait özellikleri yansıttıkları görülmüştür. KF üç türde de mayıs-haziran aylarında en yüksek bulunmuştur. Aylık ortalama GSI değerlerine göre balıkların üreme zamanı tespit edilmiştir. IC türler arasında *C. capoeta*'da en yüksek bulunmuştur. Metal seviyesinin istasyonlar arasında değiştiği ve buna bağlı olarak balık biyolojik parametrelerinin de etkilendiği saptanmıştır. Türlerin kas dokusundaki metal seviyeleri standart değerleri aşmamış ve karaciğerde kasa göre daha yüksek birikim gözlenmiştir. HSİ ve GSI değerleri ile TAS ve TOS seviyeleri istasyonlar arasında istatistiksel açıdan önemli farklılıklar göstermiştir. Balıklarda eritrositik çekirdek anormalliklerinin frekansının ve DTC değerlerinin istasyonlara göre önemli ölçüde değiştiği gözlenmiştir.

2018, 241 sayfa

Anahtar Kelimeler: Su kirliliği, Karasu Nehri, Genotoksisite, Histopatoloji, *Capoeta capoeta*, *Alburnus mossulensis*, *Squalius cephalus*

ABSTRACT

Phd. Thesis

BIO-ECOLOGICAL, TOXICOLOGICAL AND HISTOLOGICAL INVESTIGATIONS ON SOME CYPRINIDAE SPECIES FROM THE FISH FAUNA OF KARASU RIVER

Hatice DANE

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biology
Department of General Biology

Supervisor: Prof. Dr. Turgay ŞİŞMAN

In this study, it was investigated some bio-ecological characteristics such as length-weight, age, condition factor (CF), gonadosomatic index (GSI), intestinal coefficient (IC), hepatosomatic index (HSI) of *Capoeta capoeta*, *Alburnus mossulensis* and *Squalius cephalus* species caught in the Karasu River and biochemical, toxicological and histopathological effects of water pollution to these species. Water, sediment and fish samples were taken monthly from selected four stations in the river between May and October in 2015-2016 years. In water and sediment samples were determined the concentrations of Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Sr and Pb. The levels of some metals in muscle and liver tissues of the species were also detected. Micronucleus test was applied to find out chromosome damages and Plasma Total Oxidant Status (TOS) and Total Antioxidant Status (TAS) were measured to determine oxidative stress. Histopathological changes in some tissues were determined by Degree of Tissue Change (DTC). It was found that the fish examined varied in age between I and V. Systematic and anatomical studies have shown that fish reflect characteristics of the species they belong to. CF was found highest in May to June. The spawning period of the fish was determined according to the average GSI values per month. It was found that the IC was the highest for *C. capoeta*. It was determined that the metal levels were changed between the stations, and consequently the biological parameters of the fish were also affected. The metal levels of the muscles of the species did not exceed the standard values and the liver had higher accumulation than the muscles. There were statistically significant differences between HSI and GSI levels, and TAS and TOS levels. It was observed that the frequency of erythrocytic nuclear abnormalities and DTC values in fish varied significantly from station to station.

2018, 241 pages

Keywords: Water pollution, Karasu River, Genotoxicity, Histopathology, *Capoeta capoeta*, *Alburnus mossulensis*, *Squalius cephalus*

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Hayvan Fizyolojisi ve Histolojisi Araştırma Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Doktora tezi olarak sunduğum bu çalışmanın planlanmasına ve Karasu Nehri'nden balıkların yakalanmasına yardımcı olan danışmanım Sayın Prof. Dr. Turgay ŞİŞMAN'a, Tez İzleme Komitesi'nde görev alan Prof. Dr. Fatime GEYİKOĞLU ve Doç. Dr. Hakan AŞKIN'a, EDXRF spektrofotometresiyle su ve sediment örneklerinin analizlerine yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Zeynep AYDOĞAN'a, laboratuvar çalışmalarının çeşitli aşamalarına yardım eden yüksek lisans öğrencileri Özge ÇAKMAK ve Serap UÇAR'a, çalışmanın istatistiksel analizlerine katkılarından dolayı Zehra YAZICI ve Şeymanur ADİL'e, bu sürece doğrudan veya dolaylı olarak destek veren arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Son olarak, tüm aşaması uzun zaman ve emek gerektiren bu süreçte bana bu zamanı sağlayan ve çalışmam için tüm koşulları uygun hale getiren aileme -kıymetli annem, babam ve canım kardeşlerime- daim destekleri için ve bilhassa bana kazandırdıkları değerler için teşekkürlerimi sunarım.

Hatice DANE

Kasım, 2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Su Kaynakları ve Yaşam.....	3
1.1.1. Su kaynaklarında kirlenmeye neden olan faktörler.....	4
1.1.2. Ağır metaller, birikim ve etkileri.....	7
1.2. Balık Sistematğinde Kullanılan Karakterler.....	10
1.3. Kemikli Balıklarda Yaş Tayini.....	16
1.4. Cyprinidae Familyasının Genel Özellikleri.....	19
1.4.1. <i>Capoeta capoeta</i> (Guldenstaedt 1773).....	22
1.4.2. <i>Alburnus mossulensis</i> (Heckel 1843).....	23
1.4.3. <i>Squalius cephalus</i> (Linnaeus 1758).....	25
1.5. Kemikli Balıklarda Organ Histolojisi ve Anatomisi.....	26
1.6. Balıklarda Histopatolojik İncelemeler.....	36
1.7. Toksik Ajan Etkilerinin Yaygın Biyobelirteçleri.....	37
1.8. Genotoksik Etki.....	40
1.9. Oksidatif Stres ve Antioksidan Sistem.....	46
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	50
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	67
3.1. Çalışma Alanı ve İstasyonlar.....	67
3.2. İncelenen Balık Türleri.....	69
3.3. Su ve Sediment Örneklerinin Kimyasal Analizi.....	70
3.4. Kas ve Karaciğer Dokularında Ağır Metal Analizi.....	70
3.5. Sistematik ve Anatomik Analizler.....	71
3.6. Yaş Tayini.....	71

3.7. Cinsiyet Tayini	72
3.8. Biyolojik Parametreler	72
3.9. Biyokimyasal Analizler	73
3.9.1. Toplam antioksidan seviyesi (TAS)	74
3.9.2. Toplam oksidan seviyesi (TOS)	74
3.10. Mikroçekirdek Testi ve Eritrositik Çekirdek Anormalliklerinin Analizi	75
3.11. Histolojik Çalışmalar ve Histopatolojik Analizler	76
3.12. İstatistiksel Değerlendirme	78
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	79
4.1. Birey sayısı ve Yaşa Ait Bulgular	79
4.2. Sistematik Bulgular	82
4.2.1. <i>Capoeta capoeta</i>	82
4.2.2. <i>Alburnus mossulensis</i>	84
4.2.3. <i>Squalius cephalus</i>	86
4.3. Anatomik Bulgular	89
4.3.1. Dış anatomik yapılar ve deri	89
4.3.2. Hareket sistemi	90
4.3.3. Sindirim sistemi	91
4.3.4. Dolaşım sistemi	95
4.3.5. Boşaltım sistemi	96
4.3.6. Solunum sistemi	96
4.3.7. Sinir sistemi	97
4.3.8. Üreme sistemi	98
4.4. Gonadosomatik İndeks (GSI)	100
4.5. Bağırsak Katsayısı (IC)	105
4.6. Kondisyon Faktörü (KF)	107
4.7. Hepatosomatik İndeks (HSİ)	110
4.8. Su ve Sediment Analiz Bulguları	112
4.9. Karaciğer ve Kas Dokularına Ait Ağır Metal Analiz Bulguları	116
4.10. Biyokimyasal Bulgular	125
4.11. Genotoksik Bulgular	127
4.12. Histolojik ve Histopatolojik Bulgular	140

4.12.1. Beyin histolojisi.....	140
4.12.2. Solungaç histolojisi	147
4.12.3. Karaciğer histolojisi	155
4.12.4. Gastrointestinal sistem histolojisi.....	162
4.12.5. Gonad histolojisi.....	168
4.12.5.a. Ovaryum histolojisi	168
4.12.5.b. Testis histolojisi.....	178
4.12.6. Böbrek histolojisi	184
5. TARTIŞMA	192
KAYNAKLAR	219
EKLER.....	239
EK 1.....	239
EK 2.....	240
EK 3.....	241
ÖZGEÇMİŞ	242

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

μ	Mikron
μ l	Mikrolitre
μ m	Mikrometre
μ mol	Mikromol
km^3	Kilometre küp
mg/L	Miligram/litre
mL	Mililitre
mm	Milimetre
mmol	Milimol
nm	Nanometre
pH	Potansiyel hidrojen
rpm	Revolutions per minute (Dakikadaki devir sayısı)
μ g	Mikrogram
μ L/L	Mikrolitre//Litre

Kısaltmalar

CAT	Katalaz
DNA	Deoksiribonükleik asit
DTC	Doku değişim derecesi
EROD	Etoksiresorufin-O-deetilaz
GPx	Glutasyon peroksidaz
GR	Glutasyon redüktaz
GSH	Glutasyon
GSI	Gonadosomatik indeks
GST	Glutasyon-S-transferaz

H&E	Hematoksilen-eosin
HSİ	Hepatosomatik indeks
IC	Bağırsak katsayısı
KF	Kondisyon faktörü
LDH	Laktat dehidrogenaz
LPO	Lipid peroksidaz
MT	Metallothionein protein
PC	Protein karbonil
RNA	Ribonükleik asit
ROT	Reaktif oksijen türleri
S	Sentez
SOA	Serum oksidasyon aktivitesi
SOD	Süperoksit dismutaz
TAA	Toplam antioksidan aktivite
TAK	Total antioksidan kapasite
TAOP	Toplam antioksidan güç
TAS	Toplam antioksidan seviyesi
TOD	Toplam oksidan seviyesi
TP	Total peroksit
TSA	Toplam sialik asit
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Balıklarda ağız tipleri	11
Şekil 1.2. Farklı balık türlerinde pulların alındığı kısımlar	18
Şekil 1.3. Teleostlarda solungaç lamelleri	27
Şekil 1.4. Mikroçekirdek oluşumu.....	45
Şekil 3.1. Örnekleme yapılan istasyonların genel görüntüsü.....	68
Şekil 3.2. Örnekleme yapılan istasyonlar.....	69
Şekil 4.1. Karasu Nehri'nden yakalanan balıklara ait pullar	81
Şekil 4.2. Karasu Nehri'nden yakalanan türlere ait yaş frekans dağılım grafiği	82
Şekil 4.3. Karasu Nehri <i>C. capoeta</i> türünde morfolojik yapı	83
Şekil 4.4. Karasu Nehri <i>A. mossulensis</i> türünde morfolojik yapı	85
Şekil 4.5. Karasu Nehri <i>S. cephalus</i> türünde morfolojik yapı	87
Şekil 4.6. <i>S. cephalus</i> türünde operkul üzerinde benekler	87
Şekil 4.7. <i>A. mossulensis</i> türünde burun ve göz.....	89
Şekil 4.8. <i>C. capoeta</i> türünün yüzgeç diplerinde kanlanma	90
Şekil 4.9. <i>A. mossulensis</i> türünün kuyruk yüzgecinde erime.....	90
Şekil 4.10. Karasu Nehri'nden yakalanan türlerde ağız yapısı.....	92
Şekil 4.11. Farinks dişleri	93
Şekil 4.12. Karasu Nehri'nden yakalanan türlerde bağırsak anatomisi	94
Şekil 4.13. <i>C. capoeta</i> diseksiyon.....	95
Şekil 4.14. <i>A. mossulensis</i> diseksiyon.....	96
Şekil 4.15. <i>S. cephalus</i> diseksiyon	97
Şekil 4.16. Karasu Nehri'nden yakalanan türlerde beyin anatomisi.....	98
Şekil 4.17. Karasu Nehri'nden Temmuz 2015'te yakalanan <i>A. mossulensis</i> türüne ait normal gonad anatomisi	99
Şekil 4.18. 2015-2016 yılı aylara göre türlerin ortalama gonadosomatik indeksi (%) .	103
Şekil 4.19. Karasu Nehri türlerinde bağırsak katsayısı (IC) aylık değişimi	107
Şekil 4.20. Karasu Nehri türlerinde ortalama kondisyon faktörü aylık değişimi	110
Şekil 4.21. 2015 yılı <i>C. capoeta</i> türünün kan hücrelerinde tespit edilen anormalliklerin ortalama değerleri	129

Şekil 4.22. 2015 yılı <i>A. mossulensis</i> türünün kan hücrelerinde tespit edilen anormalliklerin ortalama değerleri	130
Şekil 4.23. 2015 yılı <i>S. cephalus</i> türünün kan hücrelerinde tespit edilen anormalliklerin ortalama değerleri	131
Şekil 4.24. 2016 yılı <i>C. capoeta</i> türünün kan hücrelerinde tespit edilen anormalliklerin ortalama değerleri	133
Şekil 4.25. 2016 yılı <i>A. mossulensis</i> türünün kan hücrelerinde tespit edilen anormalliklerin ortalama değerleri	134
Şekil 4.26. 2016 yılı <i>S. cephalus</i> türünün kan hücrelerinde tespit edilen anormalliklerin ortalama değerleri	135
Şekil 4.27. <i>C. capoeta</i> 'da mikroçekirdek oluşumu (Giemsa)	137
Şekil 4.28. <i>C. capoeta</i> 'da çentikli çekirdek oluşumu (Giemsa)	137
Şekil 4.29. <i>A. mossulensis</i> 'te çift çekirdek oluşumu (Giemsa)	138
Şekil 4.30. <i>A. mossulensis</i> 'te böbrek şekilli çekirdek ve tomucuklu çekirdek anormallikleri (Giemsa)	138
Şekil 4.31. <i>S. cephalus</i> 'ta loplu çekirdek oluşumu (Giemsa)	139
Şekil 4.32. <i>S. cephalus</i> 'ta tomurcuklu çekirdek oluşumu (Giemsa)	139
Şekil 4.33. Beyin histolojik kesiti (<i>A. mossulensis</i>) H&E	140
Şekil 4.34. <i>C. capoeta</i> türünün sinir dokusundaki hasarlar	142
Şekil 4.35. <i>A. mossulensis</i> türünün sinir dokusundaki hasarlar	143
Şekil 4.36. <i>A. mossulensis</i> türünün sinir dokusundaki hasarlar	143
Şekil 4.37. <i>A. mossulensis</i> türünün sinir dokusundaki hasarlar	144
Şekil 4.38. <i>S. cephalus</i> türünün sinir dokusundaki hasarlar	144
Şekil 4.39. <i>S. cephalus</i> türünün sinir dokusundaki hasarlar	145
Şekil 4.40. <i>S. cephalus</i> türünün sinir dokusundaki hasarlar	145
Şekil 4.41. <i>C. capoeta</i> türünde solungaç histolojisi	148
Şekil 4.42. <i>C. capoeta</i> 'da solungaç hasarları	149
Şekil 4.43. <i>C. capoeta</i> 'da solungaç hasarları	149
Şekil 4.44. <i>C. capoeta</i> 'da solungaç hasarları	150
Şekil 4.45. <i>A. mossulensis</i> 'te solungaç hasarları	151
Şekil 4.46. <i>S. cephalus</i> 'ta solungaç hasarları	152
Şekil 4.47. <i>S. cephalus</i> 'ta solungaç hasarları	152

Şekil 4.48. <i>S. cephalus</i> 'ta solungaç hasarları	153
Şekil 4.49. <i>A. mossulensis</i> 'te normal karaciğer histolojisi.....	156
Şekil 4.50. <i>C. capoeta</i> 'da karaciğer hasarları	157
Şekil 4.51. <i>C. capoeta</i> 'da karaciğer hasarları	157
Şekil 4.52. <i>C. capoeta</i> 'da karaciğer hasarları	158
Şekil 4.53. <i>A. mossulensis</i> 'te karaciğer hasarları	158
Şekil 4.54. <i>A. mossulensis</i> 'te karaciğer hasarları	159
Şekil 4.55. <i>S. cephalus</i> 'ta karaciğer hasarları	160
Şekil 4.56. <i>C. capoeta</i> 'da bağırsak histolojisi.....	163
Şekil 4.57. <i>C. capoeta</i> 'da gastrointestinal sistem patolojileri.....	164
Şekil 4.58. <i>A. mossulensis</i> 'te gastrointestinal sistem patolojileri	165
Şekil 4.59. <i>S. cephalus</i> 'ta gastrointestinal sistem patolojileri.....	166
Şekil 4.60. Kromatin nükleolar oosit (<i>C. capoeta</i>)	170
Şekil 4.61. Perinükleolar oosit (<i>C. capoeta</i>), H&E.....	170
Şekil 4.62. Kortikal alveolar oosit (<i>A. mossulensis</i>)	171
Şekil 4.63. Vitellojenik oosit (<i>C. capoeta</i>)	171
Şekil 4.64. Olgun oosit (<i>A. mossulensis</i>)	172
Şekil 4.65. <i>C. capoeta</i> 'da ovaryum patolojileri	173
Şekil 4.66. <i>C. capoeta</i> 'da ovaryum patolojileri	173
Şekil 4.67. <i>C. capoeta</i> 'da ovaryum patolojileri	174
Şekil 4.68. <i>A. mossulensis</i> 'te ovaryum patolojileri.....	174
Şekil 4.69. <i>A. mossulensis</i> 'te ovaryum patolojileri.....	175
Şekil 4.70. <i>A. mossulensis</i> 'te ovaryum patolojileri.....	175
Şekil 4.71. <i>S. cephalus</i> 'ta ovaryum patolojileri	176
Şekil 4.72. <i>S. cephalus</i> 'ta ovaryum patolojileri	176
Şekil 4.73. <i>S. cephalus</i> 'ta ovaryum patolojileri	177
Şekil 4.74. <i>C. capoeta</i> türünde testis histolojisi.....	179
Şekil 4.75. <i>C. capoeta</i> türünde testis patolojileri.....	180
Şekil 4.76. <i>C. capoeta</i> türünde testis patolojileri.....	180
Şekil 4.77. <i>A. mossulensis</i> türünde testis patolojileri.....	181
Şekil 4.78. <i>A. mossulensis</i> türünde testis patolojileri.....	181
Şekil 4.79. <i>S. cephalus</i> türünde testis patolojileri (olgunlaşmamış testis).....	182

Şekil 4.80. <i>S. cephalus</i> türünde testis patolojileri	182
Şekil 4.81. Böbrek histolojisi (<i>A. mossulensis</i>)	185
Şekil 4.82. <i>C. capoeta</i> türünde böbrek hasarları	186
Şekil 4.83. <i>A. mossulensis</i> türünde böbrek hasarları.....	187
Şekil 4.84. <i>S. cephalus</i> türünde böbrek hasarları	188
Şekil 5.1. Aşkale Çimento Fabrikası'nın önündeki dinlendirme göleti.....	201



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Farinks dişlerinin formül ve anlamları	13
Çizelge 1.2. Reaktif oksijen türleri	47
Çizelge 1.3. Antioksidanlar.....	48
Çizelge 3.1. Örnekleme yapılan istasyonların koordinat bilgileri	68
Çizelge 4.1. 2015-2016 yıllarında Karasu Nehri'nden yakalanan dişi-erkek birey sayısının aylara ve istasyonlara göre dağılımı.....	80
Çizelge 4.2. Karasu Nehri <i>C. capoeta</i> bireylerine ait metrik ve meristik karakterler.....	84
Çizelge 4.3. Karasu Nehri <i>A. mossulensis</i> bireylerine ait metrik ve meristik karakterler.....	86
Çizelge 4.4. Karasu Nehri <i>S. cephalus</i> bireylerine ait metrik ve meristik karakterler....	88
Çizelge 4.5. Türlerin 2015-2016 yılları aylara göre gonadosomatik indeks değerleri .	101
Çizelge 4.6. Türlerin 2015-2016 yılları istasyonlara göre ortalama GSİ değerleri	104
Çizelge 4.7. Türlerin 2015-2016 yılları aylara göre ortalama bağırsak katsayısı (IC) değerleri	105
Çizelge 4.8. Türlerin 2015-2016 yılları aylık ortalama kondisyon faktörü (KF) değerleri.....	109
Çizelge 4.9. Türlerin 2015-2016 yılları istasyonlara göre ortalama HSI değerleri	111
Çizelge 4.10. 2015 yılı su ve sediment örneklerinde maksimum ağır element seviyeleri (ppm).....	113
Çizelge 4.11. 2016 yılı su ve sediment örneklerinde maksimum ağır element seviyeleri (ppm).....	114
Çizelge 4.12. TS 266 ve WHO 2006'ya göre su kaynaklarında bildirilen kabul edilebilir ağır metal oranları (ppm) ile kıta içi yerüstü su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri ($\mu\text{g/l}$) ve istasyonların su kalite sınıf durumu.....	115
Çizelge 4.13. 2015 yılında yakalanan <i>C. capoeta</i> balıklarının karaciğer ve kas dokularındaki ağır metal konsantrasyonları (Ort. $\pm$ SH) ($\mu\text{g/g}$) (n=12) ..	117
Çizelge 4.14. 2016 yılında yakalanan <i>C. capoeta</i> balıklarının karaciğer ve kas dokularındaki ağır metal konsantrasyonları (Ort. $\pm$ SH) ($\mu\text{g/g}$) (n=12) ..	118

Çizelge 4.15. Ulusal ve uluslararası kıstaslara göre balık numunelerinde bildirilen maksimum metal düzeyleri ile 2015-2016 yıllarında <i>C. capoeta</i> türünde tespit edilen en yüksek ağır metal ortalama seviyeleri ($\mu\text{g/g}$)..	119
Çizelge 4.16. 2015 yılında yakalanan <i>A. mossulensis</i> balıklarının karaciğer ve kas dokularındaki ağır metal konsantrasyonları (Ort. $\pm$ SH) ($\mu\text{g/g}$) (n=12) ..	120
Çizelge 4.17. 2016 yılında yakalanan <i>A. mossulensis</i> balıklarının karaciğer ve kas dokularındaki ağır metal konsantrasyonları (Ort. $\pm$ SH) ($\mu\text{g/g}$) (n=12) ..	121
Çizelge 4.18. Ulusal ve uluslararası kıstaslara göre balık numunelerinde bildirilen maksimum metal düzeyleri ile 2015-2016 yıllarında <i>A. mossulensis</i> türünde tespit edilen en yüksek ağır metal ortalama seviyeleri ($\mu\text{g/g}$)..	122
Çizelge 4.19. 2015 yılında yakalanan <i>S. cephalus</i> balıklarının karaciğer ve kas dokularındaki ağır metal konsantrasyonları (Ort. $\pm$ SH) ($\mu\text{g/g}$) (n=12) ..	123
Çizelge 4.20. 2016 yılında yakalanan <i>S. cephalus</i> balıklarının karaciğer ve kas dokularındaki ağır metal konsantrasyonları (Ort. $\pm$ SH) ($\mu\text{g/g}$) (n=12) ..	124
Çizelge 4.21. Ulusal ve uluslararası kıstaslara göre balık numunelerinde bildirilen maksimum metal düzeyleri ile 2015-2016 yıllarında <i>S. cephalus</i> türünde tespit edilen en yüksek ağır metal ortalama seviyeleri ($\mu\text{g/g}$)	125
Çizelge 4.22. Türlerin 2015-2016 yılları istasyonlara göre ortalama TAS-TOS değerleri	126
Çizelge 4.23. İstasyonlara göre türlerin kan hücrelerinde tespit edilen eritrositik çekirdek anormallikleri 2015 yılı ortalama değerleri (% Ort. $\pm$ SH).....	128
Çizelge 4.24. İstasyonlara göre türlerin kan hücrelerinde tespit edilen eritrositik çekirdek anormallikleri 2016 yılı ortalama değerleri (% Ort. $\pm$ SH).....	132
Çizelge 4.25. İstasyonlara göre türlerin sinir dokusunda tespit edilen histolojik hasarlar ve DTC frekansları.....	146
Çizelge 4.26. 2015-2016 yılları istasyonlara göre türlerin sinir doku DTC değerleri (Ort. $\pm$ SH).....	147
Çizelge 4.27. İstasyonlara göre türlerin solungaçlarında tespit edilen histolojik hasarlar ve DTC frekansları.....	154
Çizelge 4.28. 2015-2016 yılları istasyonlara göre türlerin solungaç DTC değerleri (Ort. $\pm$ SH).....	155

Çizelge 4.29. İstasyonlara göre türlerin karaciğerinde tespit edilen histolojik hasarlar ve DTC frekansları.....	161
Çizelge 4.30. 2015-2016 yılları istasyonlara göre türlerin karaciğer DTC değerleri (Ort.±SH).....	162
Çizelge 4.31. İstasyonlara göre türlerin bağırsağında tespit edilen histolojik hasarlar ve DTC frekansları	167
Çizelge 4.32. 2015-2016 yılları istasyonlara göre türlerin bağırsak DTC değerleri (Ort.±SH).....	168
Çizelge 4.33. İstasyonlara göre türlerin ovaryumunda tespit edilen histolojik hasarlar ve DTC frekansları.....	178
Çizelge 4.34. İstasyonlara göre türlerin testislerinde tespit edilen histolojik hasarlar ve DTC frekansları	183
Çizelge 4.35. 2015-2016 yılları istasyonlara göre türlerin gonad DTC değerleri (Ort.±SH).....	184
Çizelge 4.36. İstasyonlara göre türlerinin böbreklerinde tespit edilen histolojik hasarlar ve DTC frekansları.....	189
Çizelge 4.37. 2015-2016 yılları istasyonlara göre türlerin böbrek DTC değerleri (Ort.±SH).....	190

1. GİRİŞ

Su kaynakları ve içinde bulunan canlılar biyolojik bir sistem olan sucul ekosistemi oluşturur. Sucul ekosistemler çok sayıda tür çeşitliliğine sahip, mutlaka korunması gereken sistemlerdir. Karasal ve sucul ekosistemler ile ekolojik kompleksleri içeren ortamlarda yaşayan canlı türleri arasındaki çeşitlilik, biyolojik çeşitliliği oluşturup tür içi, türler arası ve türler ile ekosistemler arasındaki çeşitliliği içermektedir (Heywood and Iriondo 2003). Ilıman kuşakta yer alan Türkiye, sahip olduğu biyolojik çeşitlilik bakımından birçok ülkeden farklı özellikleriyle dikkat çekmektedir. Özellikle Ülkemizin sahip olduğu su ve su ürünleri potansiyeli önemli bir zenginlik kaynağıdır.

Sucul ortamda yaşayan çeşitli canlı türleri ile bulundukları cansız çevre birbirine sıkıca bağlanmıştır ve sürekli etkileşim içindedir. Ekosistemde belirli işlevleri olan her öge hem kendi içinde hem de diğer öğelerle karşılıklı uyum içindedir. Ekosistemi oluşturan canlı grupları birbirine besin zinciri ile bağlı olduklarından bu gruplardan herhangi birinin etkilenmesi, madde ve enerji döngüsü veya besin zinciri gibi ekolojik döngü elemanlarını da etkilemektedir (Atay 2009).

Ekosistemin elemanlarından mikroorganizmalar, bitkiler ve hayvanlar yaşamak ve nesillerini devam ettirmek için bulundukları çevreye uyum sağlarken aynı zamanda yaşadıkları ortamın fiziksel çevresini oluşturan hava, toprak ve suyun kimyasal yapısını da değiştirirler. Özellikle ekosistemlerin biyolojik unsurlarından olan insan, çeşitli faaliyetleriyle bütün ekolojik ve hidrolojik süreçleri etkilemektedir (Trepel and Kluge 2002). Çevre, özellikle insan faaliyetleriyle değiştikçe fizyolojik varlığımız için zorunlu olan biyolojik bileşenler zarar görmekte ve mevcut denge bozulmaktadır. Bu dengenin çeşitli şekillerde bozulması canlılar arasında var olan karşılıklı etkileşimin ve tüm sistemlerin bozulmasına yol açabilmektedir.

Su kalitesinin ve doğal dengenin bozulması sonucu, doğadaki tüm suların sahip olduğu kendi kendini temizleme kapasitesi azalmaktadır (Şekerci 2011). Yeryüzündeki

kirletilmiş su miktarının 12 000 km³ olduğu ve bu miktarın dünyanın en büyük on nehrinde bulunan tatlı su miktarından daha fazla olduğu bildirilmiştir (Polat 2009). Karasal ve sucul ekosistemler üzerindeki baskı ve doğadaki sermayenin zarar görme tehlikesi günümüzde kentleşme ve endüstrileşmeye bağlı olarak gittikçe artmaktadır.

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de hızlı nüfus artışı ve artan sanayileşmeye paralel olarak iç sularımızda kirlilik yükü artmakta ve ekolojik dengeler sarsılmaktadır. Su ortamındaki kirlenme sadece sucul organizmalar için değil, insanlar ve tüm ekosistem için tehdit oluşturmaktadır (Matsumoto *et al.* 2006). Bu durum, çevre sorunlarının ciddi bir şekilde ele alınmasını gerektirmektedir. Biyolojik çeşitliliği etkileyen, türlerin azalmasına hatta bazılarının tamamen yok olmasına neden olabilecek faktörlerin iyi anlaşılması, türlerin korunmasında kritik rol oynamaktadır. Bu noktada sucul ekosistemlerin durumunun izlenmesi için genellikle en uygun organizma olarak balıklar görülmektedir (Van der Oost *et al.* 2003). Balıklar kirlilik gibi çevresel değişikliklere karşı çok hassas olduklarından biyoindikatör canlılar olarak kabul edilmektedirler (López-López and Sedeño-Díaz 2015). Ayrıca balıklarda stres şartlarında memelilerdekine çok yakın etkiler gözlenmesi ve buna kabil cevapların sergilenmesi (Kelly *et al.* 1998) su kirliliği çalışmalarında özellikle tercih edilmelerini de sağlamıştır.

Hedef canlıların *in vivo* ve *in situ* değerlendirilmesi sucul habitatlardaki kirleticilerin potansiyel toksisitesi üzerine gerçekçi bir yaklaşım sunar (Depeledge 1996). Sucul ekosistemin ve balık popülasyonlarının durumunu tespit etmek amacıyla histolojik araştırmaların yapılması da oldukça önemlidir (Dutta 1996). Nitekim kirleticilerin belirgin etkileri öncelikle canlının hücrelerinde veya dokularında ortaya çıkar. Hassas parametreler olarak bilinen histolojik analizler, hedef organlarda hücresel değişimlerin belirlenmesinde gereklidir. Su ortamıyla ilişkisi nedeniyle özellikle deri, solungaç, karaciğer ve böbrek histopatolojik çalışmalarda kirliliğin etkisini saptamada kullanılan en uygun hedef organlardır. Bilhassa solungaçlar, su kalitesinin aynası olarak görülmektedir. Kirletici maddelerle direkt temasın gerçekleştiği yüzeyler olan deri ve solungaçlar, metabolizmada kilit rol oynayan karaciğer, balığın iç ortamı ile su-tuz

dengeinin sabit tutulması ve ksenobiyotik metabolizması ve atılımı için önemli olan böbrekler sucul kirlilik için primer indikatörlerdir (Hibiya 1982).

Son yıllarda, bireysel organizmalar için toksikolojik belirteçler (akut ya da kronik maruziyet) olumsuz ekolojik etkilerin değerlendirilmesi ve düzenlenmesi için bir ölçüt olmuştur (Newman 2013). Biyobelirteç ve biyoindikatörlerden yararlanmak, toksik maddelerin etkilerinin saptanmasında sıklıkla tercih edilir ve elde edilen veriler çevresel tehlikelerin analizine ve dolayısıyla zarar görmüş canlıların korunmasında politikalar geliştirmeye imkân sağlar. Habitatlarında balıkların genel durumunu değerlendirmek için yararlanılan biyoindikatörler çoğunlukla balığın ağırlığı, standart boyu, kondisyon faktörü (KF), gonadosomatik (GSI) ve hepatosomatik indeksi (HSI) tarzında biyometrik değişkenleri kapsar (Corsi *et al.* 2003; Tejeda-Vera *et al.* 2007).

1.1. Su Kaynakları ve Yaşam

Yaşamın ana unsuru olan su, yeryüzündeki kaynakların hepsinden ayrı, özel bir öneme sahiptir. Kayaların fiziksel olarak parçalanarak toprağın oluşması, içindeki maddelerin çözünerek toprağın verimli hale gelmesi, bitkilerin ortaya çıkması, kökten dallardaki yapraklara kadar gerekli yapı taşlarının taşınması ve fotosentez gibi olaylar su sayesinde gerçekleşmektedir.

Dünyanın %71'i su ile kaplıdır ve bu suyun %97'si okyanuslarda tuzlusu olarak %2'si ise buzul halinde bulunur. Geri kalan %1'i ise akarsu ve göller olarak tatlı sulardan oluşmaktadır. Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemiz çok sayıda içsu kaynaklarına sahiptir. Türkiye, su ürünleri üretim alanı olarak kullanılabilecek 178 000 km uzunluğunda akarsu, yüzey alanları 200 bin hektarın üzerinde olan yaklaşık 200 adet doğal göl, 700'e yakın gölet ve 3442 km² genişliğinde baraj gölüne sahiptir (Karakaş ve Türkoğlu 2005). Bu tatlı su kaynakları farklı birçok tür için yaşama ve üreme ortamlarıdır. Su kaynaklarında muazzam bir canlı varlık hazinesi, dolayısıyla da gıda deposu mevcuttur. İnsan hayatı için vazgeçilmez bir unsur olan temiz su kaynakları,

sanayi ve tarımsal faaliyetlerde ayrıca içme ve kullanma suyu sağlanmasında yeri doldurulamayacak öneme sahiptir.

İnsanlık tarihi var olduğu günden beri, tüm yerleşim yerleri su kaynaklarının etrafında kurulmuş, eski kervan yolları ve bugünkü kara yolu ağı hep akarsu vadilerini hazır bir güzergâh olarak kullanmışlardır. Teknolojinin ilerlemesi ile sudan yararlanma şekilleri ve oranları artmış, su kaynakları içinde özellikle akarsuların içme, kullanma, sulama, atıkların uzaklaştırılması, taşıma, aydınlatma ve enerji üretimi gibi pek çok amaç için kullanımı genişlemiştir. Türkiye'nin kullanılabilir su potansiyeli 110 milyar metreküp olup, bunun %16'sı içme ve kullanma amaçlı, %72'si tarımsal sulama amaçlı, %12'si de sanayi amaçlı olarak tüketilmektedir (Polat 2009). Yaşam koşullarının değişmesi ile kullanım alanları genişleyen suya olan talep, her geçen gün daha da artmaktadır. Ancak suyun aşırı kullanımı, iklim değişikliği, küresel ısınma ve kirleticiler nedeniyle su kaynakları bozulma ve azalma tehlikesi ile karşı karşıyadır (Kıbaroğlu vd 2007; Özsoy 2009; Ataseven 2010).

Dünyadaki tüm suların %99'undan fazlası bir sistem içinde birbirine bağlı olup genel olarak kirlenme tehdidi altındadır. Dünya'da zaten sınırlı miktarda bulunan tatlı su kaynakları üzerinde günümüzde özellikle insan kaynaklı faaliyetlerin sonucu olarak yoğun bir kirlilik baskısı vardır. Hızlı nüfus artışı, şehirlerin büyümesi, tarımsal üretimin yoğunlaşması ve endüstriyel gelişmeler yerel, bölgesel ve küresel ölçekte su kirliliği probleminin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Su kirliliğinin nüfus artış hızıyla birlikte artması durumunda, 2050 yılına kadar dünya çapında 18 000 km³'lük tatlı su kaybedilmiş olacaktır (Polat 2009). Şüphesiz ki su kaynaklarının kirliliği, medeniyetin en fazla endişe verici sorunlarından biridir.

1.1.1. Su kaynaklarında kirlenmeye neden olan faktörler

Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) su kaynaklarındaki kirleticileri; bakteri, virüs gibi hastalık yapan canlılar, organik maddeler, endüstri atıkları, yapay-organik kimyasal

maddeler, atık ısı, pestisitler, yağlar vb. maddeler, radyoaktif maddeler, gübreler, sentetik deterjanlar, anorganik tuzlar şekilde sınıflandırmıştır (WHO 2006).

Su kaynakları erozyonla gelen toprak ve çeşitli kirleticilerle, havayı kirleten etkenlerin yağmur ve yüzey akışlarıyla sulara taşınmasıyla, havadan suya karışan polen gibi kirleticilerle doğal yolla kirlenir. Sucul çevrenin kirletilmesinde başlıca payı olan kaynaklar ise tarımsal, evsel ve endüstriyel atıklardır.

Tarımda üretimi artırmak amacıyla kullanılan ve özellikle modern tarımda kullanımı artmaya devam eden kimyasal gübreler ve pestisitler yağmur sularıyla toprağa geçerek yer altı sularının kirlenmesine, akıntılarla nehirlerle ulaşarak akarsuların kirlenmesine neden olabilmektedir (Solak 2009; Kurt 2010). Gübrelerin içerdiği azot ve fosfor, sulama suları ile yüzey sularına karışarak doğrudan suyun kalitesine etki etmektedir. Kimyasal mücadelede zararlı ve hastalık yapan hayvan, bitki ve mantarları yok etmek maksadıyla kullanılan pestisitlerin besin zincirine girmesi ise ekosistemlerde önemli sorunlara sebep olmaktadır. Uzun süre çevrede kalabilen pestisitler, mutajen, teratojen ve karsinojen olabilmektedir (Chamarthi *et al.* 2014; Erhunmwunse *et al.* 2014).

Evsel sıvı atıklar ya da kanalizasyon sistemleri yerleşim yerinin coğrafik konumuna göre ya doğrudan deniz, göl ve akarsulara ya da yer altı sularına karışacak şekilde doğrudan toprağa verilmektedir. Büyük şehirlerde artan nüfusa bağlı olarak çöp ve kanalizasyon atıklarının miktarları da artmaktadır. Evsel katı atıklar, katı atık depolama sahalarına gömülmektedir. Bunların depolama sahalarında parçalanmasıyla oluşan yüksek kirlilik derecesine sahip sızıntı suları çoğunlukla yağmur sularıyla yıkanma ile yer altı sularına karışıp kirliliğe sebep olabilmektedir (Karamete 2008). Evsel kirlenme ile büyük oranda organik atığın su kaynaklarımıza girmesi, sularda bakteri miktarının artmasına neden olur (Altun 2011). Kanalizasyon atık suları içindeki yüksek deterjan içeriği ve bunlardaki fosfat ve nitratlar yüzey sularında alglerin artışına ve sudaki biyolojik dengenin bozulmasına yol açmaktadır (Toroğlu vd 2006).

Endüstriyel atıklar; süt endüstrisi, şeker, konserve, yağ, alkaloid, mezbaha, un, maya, deri, boya, kimyasal madde, gübre, kömür, demir-çelik, tekstil, kâğıt, metal, tuz, petrol atıkları gibi çok çeşitli kaynaklardan geniş bir alana yayılmaktadırlar. Hastane, araştırma kuruluşları ve bazı endüstri dallarından kaynaklanan atıklar, sularda radyoaktif kirlenmeye yol açabilmektedir. Nükleer denemeler sonucunda artan radyoaktivite, yağmur sularını kirletmekte ve sonuç olarak yüzey suları, radyoaktif kirlenmeye maruz kalmaktadır. Sanayi tesislerinin atıklarıyla doğaya bırakılan yapay organik kimyasal maddeler ise farmasotik, petrokimya ve zirai-kimya endüstrilerince giderek artan miktarlarda üretilmekte ve yerlerini aldıkları doğal maddelere kıyasla daha zor biyolojik bozunmaya uğramaktadırlar. Tek geçişli soğutma suyu sistemlerine sahip termik santraller, yüzey sularına büyük miktarlarda atık ısı verir. Endüstri atıkları fenol, arsenik, siyanür, krom, kadmiyum gibi toksik maddeler içerirler ve bunlar suların kirlenmesine neden olan önemli kirleticilerdendir (Anonim 2016).

Akarsular belli bir seviyeye kadar kirliliği arıtma özelliğine sahiptir. Bu sınır aşıldığında suda aşırı kirlilik ve bozulma başlar. Bakterilerin kirleticileri zararsız hale getirebilmesi sudaki biyolojik oksijen miktarına bağlıdır. Ancak suya karışan organik ve toksik atıkların fazla olması sudaki biyolojik oksijen miktarını azalttığından suyun temizlenme kapasitesi azalır. Kirletici madde miktarı çok az bile olsa, suda erimediği ve su üzerinde çok ince bir tabaka teşkil ettiğinde sudaki hayat bundan önemli derecede etkilenebilmektedir.

Çeşitli yollarla sucul sistemlere karışan kirleticiler su sistemlerinin kalitesini suların kimyasal ve mikrobik yapısını, sıcaklığını, rengini ve kokusunu farklılaştırmak suretiyle bozarlar. Bu durum akarsuların doğal dengesinin bozulmasına ve bu ortamlarda yaşayan flora ve faunanın olumsuz yönde etkilenmesine neden olabilmektedir (Özdemir 2014).

Suyun kalitesine etki eden çözülmüş O₂ miktarı, pH, alkalinite, sıcaklık gibi fiziksel ve kimyasal faktörlerin ancak uygun seviyede olmaları halinde balıklar normal olarak gelişimlerini sürdürebilir. Kirli sularda oksijen miktarı azalırken bakterilerin, organik maddelerin, metal tuzlarının ve toksik maddelerin miktarı artar. Poikiloterm canlılar

olan balıkların metabolik faaliyetleri suyun sıcaklığı ile doğru orantılıdır ve her türün yaşadığı optimum bir sıcaklık vardır. Bu şartların değişmesi durumunda canlıların yaşamsal özellikleri olumsuz yönde etkilenir. Su sıcaklığının artması ile sucul organizmalar için siyanit, fenol, çinko gibi maddeler toksik etki göstermektedir. Yüksek su sıcaklığı ile düşük çözülmüş oksijen değerlerinin aynı anda olması toksisitenin daha da artmasına neden olur (Ergin 2012). Atık suların doğal sulara katılımı ile sularda doğal pH dengesi de değişir. Balıklar pH 6,4-8,6 arasında yaşayabilirler. Değişen pH derecesi sucul ortamda yaşayan canlılar için hayati riske neden olur. Çeşitli demir bileşikleri sert olmayan sularda pH'yı düşürerek balıklara zehir etkisi yaparlar (Öğmen 2004). Ayrıca pH'ın zehir etkisi, ortamda Zn gibi metallerin varlığıyla da artmaktadır (İzmirlioğulları 2004).

Atık su deşarjı ve zirai alanlardaki sulamalar ile taşınarak sulara gelen azot ve fosfor gibi inorganik besin maddeleri su ortamında alglerin aşırı derecede gelişmesine neden olarak sulardaki bulanıklığı artırır (Macit 2010). Bulanıklık balıkların besin bulmasını zorlaştırır, dolayısıyla büyümelerini yavaşlatır. Alglerin aşırı üremesi (ötrofikasyon), sularda çözülmüş oksijeni azaltarak çözülmüş oksijen ihtiyacı fazla olan balık türlerinin olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. 80-400 mg/L arasında askıda katı madde içeren sularda balık sayısı ciddi bir şekilde azalırken 400 mg/L değerinin üzerinde balık verimi son derece düşmektedir (Öğmen 2004).

1.1.2. Ağır metaller, birikim ve etkileri

Sulardaki inorganik kirlenmenin en önemli kaynağını ağır metaller oluşturur. Metaller erozyonla taşınan kaya parçalarıyla, rüzgârın taşıdığı tozla, yağışlarla, volkanik aktivitelerle, ormanların yanmasıyla ve bitki örtüsüyle su kaynaklarına taşınır. Ağır metallerin çevreye yayılmasında özellikle madencilik endüstrisi, çimento ve cam fabrikaları, metal endüstrilerini oluşturan otomotiv sanayi, metal kaplama sanayi, demir çelik sanayi, termik santral, çöp ve atık çamur yakma tesisleri gibi endüstriyel kuruluşlar önemli rol oynar (Ağcasulu 2007).

Atom ağırlığı 38'den fazla olan veya özgül ağırlığı 5'ten fazla olan elementler ağır metal olarak tanımlanmaktadır. Genellikle atom numarası Sr'nin atom numarasından (38) büyük olan elementler ağır metal olarak adlandırılırken Yong (2000), atom numarası 20'den büyük olan elementleri ağır metal olarak değerlendirmiştir. Bu 39 element atom numaralarına göre üç gruba ayrılır (Yong and Mulligan 2004):

-Atom numarası 22-34 arasında olan elementler: Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As ve Se

-Atom numarası 40-52 arasında olan elementler: Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb ve Te

-Atom numarası 72-83 arasında olan elementler: Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb ve Bi

Ağır metaller toprakta ve vejetasyonda iz konsantrasyonda her zaman bulunmaktadır ve bunların çoğuna organizmalar mikro element olarak ihtiyaç duymaktadırlar. Biyolojik işlemlere katılma derecelerine göre yaşamsal olan ve yaşamsal olmayan olarak sınıflandırılan ağır metallerin yaşamsal olarak tanımlananları organizmada mutlaka belli bir konsantrasyonda bulunmalıdır. Bu metallerin bazıları proteinlerin bazıları da enzimlerin yapısına katılır. Esansiyel element olarak da adlandırılan bu elementlere örnek olarak kalsiyum, potasyum, sodyum, magnezyum verilebilir. Buna karşın yaşamsal olmayan ağır metaller çok düşük konsantrasyonda bile toksik etki gösterirler (Duffus *et al.* 1996). Organizmalar demir, bakır, çinko, mangan, kobalt, molibden, vanadyum ve stronsiyum gibi bazı ağır metallere eser miktarlarda ihtiyaç duyarlar ancak bu metallerin yüksek konsantrasyonları organizmaya zarar verebilir. Yüzey sularında bulunan ve organizmalar tarafından ihtiyaç duyulmayan ağır metaller ise kadmiyum, krom, civa, kurşun, arsenik ve antimon'dur (Yağdı vd 2000).

Su ortamına taşınan metaller suda serbest, sudaki parçacıklara bağlanmış ya da sedimentte birikmiş halde bulunurlar. Bunlar suda oldukça seyredikleri gibi sülfür, karbonat ya da sülfata bağlanarak katılaşp sedimente de çökerler. Ancak sediment

sadece belli bir seviyeye kadar metalleri absorbe edebildiğinden metal seviyesi suda olabildiğince artar (Kahvecioğlu vd 2008).

Sedimentle devamlı temas halinde olan bentik canlılar ağır metallerden doğrudan etkilenirler. Pelajik canlılarla bentik canlıların beslenmeleri farklı olduğundan ağır metal akümüle oranları farklıdır (Canlı and Atlı 2003). Ağır metallerin balık tarafından alınması ve birikimi kimyasalın ve suyun fiziko-kimyasal özelliklerine bağlı olarak solungaç ya da deri yoluyla, asılı partiküllerin yutulması ve kontamine besinlerin tüketilmesi ile sindirim sisteminden emilim gibi yollarla meydana gelmektedir (Van der Oost *et al.* 2003). Bu yollarla vücuda giriş yapan metaller dolaşım sistemindeki taşıyıcı proteinler yardımıyla detoksifikasyon organı olan karaciğere ya da yağ dokusuna götürülür. Bunlar ya karaciğerde dönüştürülüp biriktirilir ya safrayla atılır ya da solungaç ve böbrek sayesinde atılmaları ya da yağ dokuda biriktirilmeleri için yeniden kan dokuya gönderilir (Heath 1995). Metalin hangi dokuda öncelikle birikeceği metalin çeşidine ve canlının türüne bağlı olarak değişir. Balık doku ve organlarında biriken metal düzeyi, metalin ortamdaki derişimine ve balığın maruz kalma süresine bağlı olarak artar (Chattopadhyay *et al.* 2002; Altındağ ve Yiğit 2005).

Metallerin canlılardaki toksisitesi metalin cinsine, ortamın özelliklerine (sertlik, sıcaklık, pH, oksijen miktarı, vb.), canlının türüne, yaşam döngüsüne, fizyolojik davranışına, beslenme alışkanlığına ve üreme zamanına göre farklılık gösterebilmektedir (Ağcasulu 2007). Ağır metaller; sucul canlılarda hücre zarının yapısını ve fizyolojik özelliklerini etkileyerek hücre, doku ve organlara zarar verir, üremeyi olumsuz yönde etkiler (Gabryelak *et al.* 2000; Çetinbaş 2003). Balıklarda subletal ağır metal dozları; yüzme hareketlerinde koordinasyon bozukluğu, besin almaya karşı duyarsızlık, operkulum hareketlerinde artış gibi çeşitli davranış değişiklikleri oluşturabilmektedir (Hilmy *et al.* 1987). Çok sayıda ağır metal Ca, Mg gibi biyometalleri protein kompleks bağından kopararak enzimlerin katalitik merkezlerinde etkili olurlar ve enzim olarak iş gören proteinlerin sülfidril, hidroksil, amino, karboksil, imidazol gibi kısımlarıyla birleşerek enzimlerin çalışmasını engeller veya zarların yapısını bozup madde geçişini engeller, biyokimyasal, fizyolojik ve

metabolik tepkimelerde bozulmalara yol açarlar (Kakkar and Jaffery 2005). Ağır metaller ile kirlenmiş sularda yaşayan balıkların bağışıklık sistemlerinde zayıflama sonucu bulaşıcı hastalıklara daha kolay yakalandıkları bildirilmiştir (Atay ve Pulatsü 2000). Birçok ağır metalin solungaçlarda, böbreklerde ve karaciğerde histopatolojik değişime neden olduğu birçok çalışmayla ortaya konmuştur (Dostbil 2010; Dane and Şişman 2015).

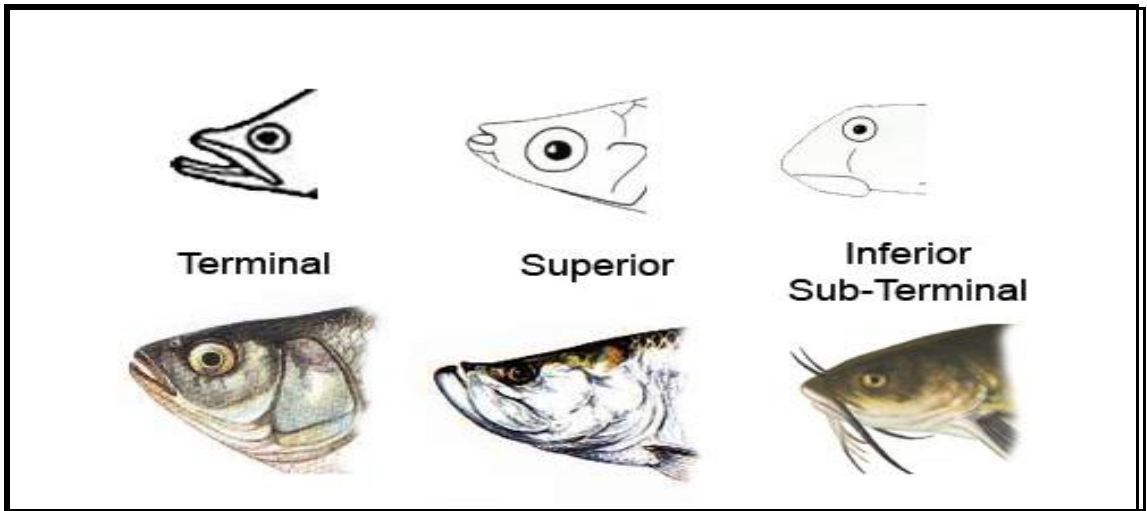
Ülkemiz nehirlerindeki ağır metallerin miktarı sürekli artmakta ve buna bağlı olarak ekolojik denge olumsuz etkilenmektedir (Sönmez vd 2013). Ağır metal kirliliğinin canlılar üzerindeki doğrudan ya da dolaylı etkilerinin belirlenmesi ve elde edilen sonuçlara göre gerekli önlemlerin alınması için öncelikle canlıların sistematigi, normal histolojisi, anatomisi, hatta beslenme alışkanlığı gibi biyo-ekolojik özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır.

1.2. Balık Sistematiginde Kullanılan Karakterler

Balıklar, tanımlanmalarını ve sınıflandırılmalarını sağlayacak karakteristik şekil, büyüklük, renk, yüzgeç pozisyonu gibi dış yapıda bazı özelliklere ve sadece diseksiyonla kontrol edilebilen içyapıda önemli bazı karakterlere sahiptirler. Balıkların iç ve dış yapılarında sahip oldukları farklı karakterler sistematik çalışmalarda göz önünde bulundurulur.

Balıkların vücut kısımlarının birbirine oranı taksonomik açıdan önemlidir. Bir balık tipik olarak baş, gövde ve kuyruk kısımlarından meydana gelmiştir. Baş kısmı, burun ucundan solungaç kapaklarının (operkulum) arka kenarına kadar olan kısımdır. Gövde bölgesi, operkulumun arka kenarı ile anal açıklık arasında kalan kısımdır ve kuyruk bölgesi, anal açıklıktan kuyruk yüzgecinin başladığı noktaya kadar olan mesafedir. Kuyruk kısmında anal açıklıktan kuyruk yüzgeci ışınlarının başlangıcına kadar olan kısım kuyruk sapı; bundan sonraki kısım ise, kuyruk yüzgeci olarak adlandırılır (Alaş ve Solak 2005).

Balık türlerinin ayrımında baş kısmında bulunan ağız, burun çukurlukları, gözler ve solungaçlar önemlidir. Balıklarda ağzın bulunuş yeri, çenelerin yapısı, ağız büyüklüğü ve dişler gibi bazı ağız içi yapılar balık taksonomisinde kullanılan önemli yapılardır. Balıklarda ağız terminal durumlu, üst durumlu veya alt durumlu olabilmektedir (Şekil 1.1). Balıkların çoğunda ağız terminal durumludur. Bu ağız tipinde alt ve üst çeneler birbirine eşit olduğundan ağız başın ön ucunda bulunur (*Cyprinus*). Üst durumlu ağız tipinde ise alt çene üst çeneye göre daha uzun olduğundan ağız yukarıya doğru yönelmiştir (*Uronoscopus*, *Trachinus*). Alt durumlu ağız tipinde ise üst çene alt çeneye göre daha uzun olup, ağız altta yer almaktadır (*Acipenser* ve *Engraulis*) (Çalta ve Çökmez 2005).



Şekil 1.1. Balıklarda ağız tipleri (Anonim 2018a)

Balıklarda ağızı oluşturan çenelerin ileriye doğru uzaması sonucunda ağızda bazı farklılıklar meydana gelmiştir. Bazı balıklarda ya sadece üst çene uzamış (*Xiphias*) ya sadece alt çene uzamış (*Hemiramphus*) ya da her iki çene de uzamış ve gaga şeklini almış (*Belone*) olabilir. Bazı balıklarda (*Smaris* ve *Maena*) protraktil denilen çeneler ileriye doğru uzatılabilir. Bazılarında (*Syngnathus* ve *Hippocampus*) ise çeneler değil de, bunların gerisinde yer alan hyomandibulare kemiği fazla uzamış ve ağız bölgesi bir hortum şeklini almıştır (Anonim 2006).

Balıklarda ağzın büyüklüğü türlere göre değişebilmektedir. Sazanlar gibi özellikle otçul formlarda ağız oldukça küçük iken, alabalık gibi etçil formlarda ağız, geniş yarıklı ve büyüktür. Ağızın etrafını çeviren dudaklar bazen kalın ve loplu şekilde (*Barbus*) bazen de keratinleşmiş keskin kenarlı şekilde (*Chondrostoma*) olabilir (Geldiay ve Balık 2009). Dudakların iyi gelişip gelişmemesi, etli olup olmaması, dudaklarda boynuzsu örtünün olup olmaması balık sistematğinde dikkate alınan özelliklerdendir (Çalta ve Çökmez 2005).

Bazı balık türlerinde ağzın etrafında bulunan bıyıklar, çıkış yerleri, sayı ve boyları bakımından türler için ayırt edici karakterler olmaları sebebiyle sistematikte önemli yer tutar. Bıyıklar yalnız üst çeneye (*Gobio*), yalnız alt çeneye (*Acipenser*), hem alt hem üst çeneye (*Siluris*) bağlanmış olabilir. Bıyık sayısı *Clarias*'ta 4 çift, *Cobitis*'te 3 çift *Cyprinus*'ta 2 çifttir. Siluridae familyasının üyelerinde bıyıklar çok uzunken Cobitidae familyasında çok kısadır (Demir 1992).

Balıklarda dişlerin bulunup bulunmaması, dişlerin bulunduğu yer, dişlerin boyutu, diş sayısı ve diş sıra sayısı balık taksonomisinde önemli sistematik karakterlerdir. Balıkların çoğunlukla ağzında, bazen de dil, damak ve boğaz bölgelerinde dişler bulunur. Bulundukları yere göre dişler maksil (üst çene kemiği üzerinde), palatinum (damak üzerinde), vomer (damağın ön tarafında), farinks (yutakta boğaz bölgesindeki 5. solungaç yayı üzerinde) ve dil dişleri (dil üzerinde) olarak adlandırılmaktadır. Özellikle etçil balıklarda (*Esox*) üst çene dişleri çok iyi gelişmiştir. Farinks dişleri ise, tatlı su formlarından olan sadece iki grupta (Cyprinidae ve Cobitidae -sazan ve kaya balıkları-) görülmektedir. Çenedeki dişler çok değişik şekillerde olabilmektedir. Küçük sivri dişler kıl gibi ince olup birkaç sıra üzerinde bant şeklinde bulunursa bunlara kadife dişler denir. Bunlar arasında sivri ve daha seyrek olan büyük dişlere de kanin (köpek dişleri) diş denir. Vomer dişleri Salmonidlerin tanınmasında karakteristiktir. Vomerin ön kısmına baş, arka kısmına gövde denir. Bazı Salmonlarda sadece başta (*Salmo alpinus*) bazısında ise her ikisinde de diş vardır (*Salmo trutta*). Farinks dişleri ise, Cyprinidlerin sistematik ayrımında önemli bir karakter olarak dikkate alınır. Bu dişler 1-3 sıralı olabilir ve her sırada çeşitli sayıda (en fazla 7) diş bulunabilir. Ayrıca bazen kesici,

bazen yuvarlak bazen de yassı öğütücü azı dişleri şeklindedir (Çalta ve Çökmez 2005). Farinks dişleri aşağıdaki şekilde formüle edilirler (Çizelge 1.1):

Çizelge 1.1. Farinks dişlerinin formül ve anlamları (Alaş ve Solak 2005)

Diş formülü	Anlamı
5-6	Dişler 1 sıralı olup, sağda 6, solda 5 diş vardır.
3.5-5.4	Dişler 2 sıralı olup, sol dıştaki sırada 3, içteki sırada 5 diş ve sağ tarafta içteki sırada 5, dıştaki sırada 4 diş bulunur.
1.1.3-3.1.1	Dişler 3 sıralı olup, sol en dıştaki 1. sırada 1, ortada 1 ve iç sırada 3 diş, sağ içteki 1. sırada 3, ortada 1 ve en dışta 1 diş bulunur.

Balıklarda başın ön tarafında bulunan burnun dıştan sadece delikleri görülür. Bu delikler ağzın tavanına açılmaz. Burun delikleri taksonomide tür ve cins düzeyinde tanımlamalar için kullanılır. Ayrıca burnun şekli, burun kapaklarının gelişip gelişmemesi, deliklerin sayıları, burun uzunluğunun göz çapına oranı, burun delikleri arasındaki mesafe önemli sistematik karakterlerdir (Demir 1992; Geldiay ve Balık 2009).

Baş bölgesinde bulunan diğer bir yapı da bir çift olan gözlerdir. Gözlerin şekli, rengi, büyüklüğü, konumu ve göz çukuru türlere göre değişebilmektedir (Çalta ve Çökmez 2005). Göz genel olarak başın iki yanında bulunmakla beraber, bazen tek tarafta (*Solea solea*) bulunabilir. Göz kapakları ise balıklarda genellikle bulunmaz. Ancak *Clupeid* ve *Mugilid*'lerde gözlerin etrafı az çok yağmsı bir maddeden oluşmuştur ve göz kapağını andıran bir zarla çevrelenmiştir (Alaş ve Solak 2005).

Baş bölgesinde bulunan diğer bir yapı ise solungaçlardır. Kemikli balıklarda (Osteichthyes) solungaçların üzerini örten hareketli solungaç kapakları (operculum) bulunur. Her iki solungaç kapağını alttan boğaz kısmına solungaç zarları bağlar. Solungaç yaylarının dış kısmına üzerinde çok sayıda kılcak damar taşıyan solungaç lamelleri yerleşmiştir. Solungaç yaylarının iç kısmına ise kemik veya kıkırdaktan yapılmış olan solungaç dikenleri yerleşmiştir. Balıklarda solungaç yarıklarının solungaç

kapağı ile örtülü olup olmaması, yarıkların sayısı, küçük ya da büyük olması, solungaç dikenlerinin uzunluk ve sayıları türlere göre değişir ve özellikle bu dikenlerin sayısı bazı türlerin tayininde ayırıcı karakter olarak kullanılır (Alaş ve Solak 2005).

Balıklarda yüzgeçlerin bulunup bulunmaması, konum ve büyüklükleri türler arasında farklılık gösterir ve taksonomide diagnostik özelliklerdendir. Balıkların şekil yönünden en belirgin yüzgeçleri kuyruk yüzgeçleridir ve türlerin belirlenmesinde kullanılabilir. Balıklarda kuyruk (kaudal) yüzgeci tek yüzgeçlerden olup homoserk, heteroserk ve difiserk tipte olabilmektedir. Diffiserk tipte omurganın ucu düz olarak, kıvrım yapmadan kuyruk ucuna kadar uzanır ve kuyruğu iki eşit parçaya ayırır. Bu nedenle kuyruk yüzgeci tek parça ve sonu sivri olan bir görünüm arz eder (Agnatha, Dipnoi). Homoserk tipte kuyruktaki iki lob birbirine eşittir ve omurganın son omurları düz veya yukarı doğru kıvrılmıştır ve bunun çevresinde yüzgeç oluşmuştur (*Engraulis*). Heteroserk tipte ise kuyruk yüzgecinin iki lobu birbirinden farklı büyüklüktedir ve son kuyruk omurları üst loba doğru yönelmiştir (Squaliformes, Acipenceriformes) (Karataş 2005; Geldiay ve Balık 2009).

Balıklardaki tek yüzgeçlerden bir diğeri de dorsal (sırt) yüzgeçlerdir. Dorsal yüzgeçler vücudun sırt tarafında yer alır ve genellikle ortaya yakın konumda bulunurlar. Çoğunlukla tek ise de bazen iki adet (kefal, gümüş vb.) bazen de üç adet (mezgit) olabilmektedir. Bu yüzgeçlerin şekil, büyüklük ve uzunlukları çok değişik olabilmektedir. Örneğin, yayın balıklarında dorsal yüzgeç çok küçük iken, kaya balıklarında baştan kuyruğa kadar uzanan bir bant şeklindedir.

Bazı balıklarda ya sırt yüzgeci ile kuyruk yüzgeci arasında ya da anal yüzgeçle kuyruk yüzgeci arasında çok sayıda küçük kolayca sağa sola dönebilen pinul yani yalancı yüzgeçler bulunur (palamut, uskumru, orkinos balıklarında) ve pinulların sayısı önemli bir ayırıcı karakter olarak kullanılır. Bazı balıklarda ise sırt yüzgeci olarak kabul edilen dorsal ve kuyruk yüzgeç arasında adipöz (yağ) yüzgeç bulunur ve bunlar salmonidler için önemli karakterdir (Çalta ve Çökmez 2005).

Vücutun karın kısmında ve anal açıklığın hemen gerisinde bulunan anal yüzgeçler de tek yüzgeçlerdendir. Bazı balıklarda bu yüzgeç bulunmayabilir (*Syngnathus*), bazılarında ise kuyruk yüzgeci ile birleşerek bütün bir bant şeklinde (*Anguilla*) ya da uzun fakat ayrı bir bant şeklinde (*Siluris*) olabilir. Bu sebeple anal yüzgecin varlığı, sayısı, konumu, uzunluğu, ışın sayısı balık türlerinin tespitinde kullanılmaktadır (Çalta ve Çökmez 2005).

Balıklarda bulunan çift yüzgeçler ise pektoral (göğüs yüzgeçleri) ve pelvik (karın yüzgeçleri) yüzgeçlerdir. Pektoral yüzgeçler göğüs bölgesinde ve genellikle solungaç kapaklarının arka tarafında yer alırlar. Bunlar göğüs kemeri ile kafatasına sıkıca bağlanmış kuvvetli yüzgeçlerdir. Pelvik yüzgeçler ise vücutun karın bölgesinde yer alırlar. Bu yüzgeçler göğüs yüzgeçlerinin arkasında (abdominal tip), göğüs yüzgeçleri ile aynı hizada (thorasik tip), göğüs yüzgeçlerinin önünde (jugular tip) olabilirler.

Balık türlerinin ayırımında kullanılan bir başka önemli karakterde yüzgeç ışınlarıdır. Bunlar yüzgeçlerin dik ve gergin durmasını sağlarlar. Diken (kemiksi ışın veya tek ışın) ve yumuşak ışınlar (dallanmış ışın) olmak üzere 2 çeşittirler. Diken ışınlar yüzgeçlerin önünde bulunur. Eklemsiz sert ve sivri uçlu yapılara sahiptirler. Çift yüzgeçli balıklarda 1. dorsal yüzgecin tamamı diken ışınlardan oluşmuştur. Yumuşak ışınlar ise eklemlili yapıda olan ve serbest uçları çoğunlukla dallanmış, daima iki parçalı ve yumuşak özelliktedir. Balık sistematğinde ışınların sayısı türlerin ayırımında önemli olduğundan incelenen bir türün yüzgeçlerindeki diken ve yumuşak ışınların sayılması gerekir. Diken ışınlar roma rakamı ile yumuşak ışınlar normal rakamlarla formülize edilir. Örneğin, $D=IV; 9-10$ şeklindeki bir formülün anlamı dorsal yüzgeçte 4 tane diken ışın, 9 veya 10 tane yumuşak ışın var demektir (Çalta ve Çökmez 2005).

Yanal çizgi birçok balığın dikkat çeken dış karakterlerindendir. Yanal çizginin kaba görünüşü yüksek taksonomik düzeylerde önemli olmasının yanı sıra daha bariz ve belirgin olan değişimler tür ve cins düzeylerinde de tanımlayıcı olabilmektedir. Bununla birlikte yanal çizgideki por ve pul sayısı da önemli bir sistematik özelliktir. Pulların olup olmaması, vücutun çeşitli bölgelerindeki varlığı, tipi, boyutu taksonomik karakter

olarak ayırıcı olabilmektedir. Öte yandan pulların şekli ile vücudun farklı bölgelerindeki sayısı, sistematikte balık türlerinin belirlenmesinde kullanıldığı gibi, pulun üzerindeki yıllık halkalardan yaşları da belirlenebilmektedir (Çalta ve Çökmez 2005).

1.3. Kemikli Balıklarda Yaş Tayini

Balık biyolojisini belirlemeye yönelik çalışmaların temellerinden birini yaş tayini oluşturur. Yaşın doğru tayin edilmesi o türe ait doğru büyüme çalışmalarının yapılabilmesine olanak sağlar. Balıklarda güvenilir metotlarla yapılan yaş tayini ile şu bilgiler tespit edilebilmektedir:

- Popülasyonunda bireylerin kaç yıl yaşadıkları
- Çeşitli yaşlardaki büyüklükleri
- Çeşitli yaş ve büyüklükteki bireylerin popülasyondaki nispi miktarları ve bunlardaki değişiklikler
- Hangi yaş ve büyüklükte üremeye başladıkları
- Üreme veriminin en yüksek ve en az olduğu dönemler
- Büyüme hızının en yüksek ve en az olduğu dönemler
- Popülasyondaki ölüm oranları

Balıklarda yaşı belirlemek için çoğunlukla kullanılan temel yöntemler;

- Yaşı bilinen balıkların kullanılması
- Uzunluk-frekans analizleri
- Kemiksi yapıların değerlendirilmesidir (Das 1994; DeVries and Frie 1996).

Kemikli balıkların yaşını; pul, otolit, omur, operkulum, kleitrum, yüzgeç ışınları ve dikenleri gibi sert dokularda oluşan yıllık halkaların sayılmasıyla belirlemek mümkündür. Yılda bir kez olduğu düşünülen bu halkalar, yıl işareti, yıllık işaretler, yıllık daireler ya da halkalar olarak adlandırılır. Büyümenin daha hızlı ya da daha yavaş

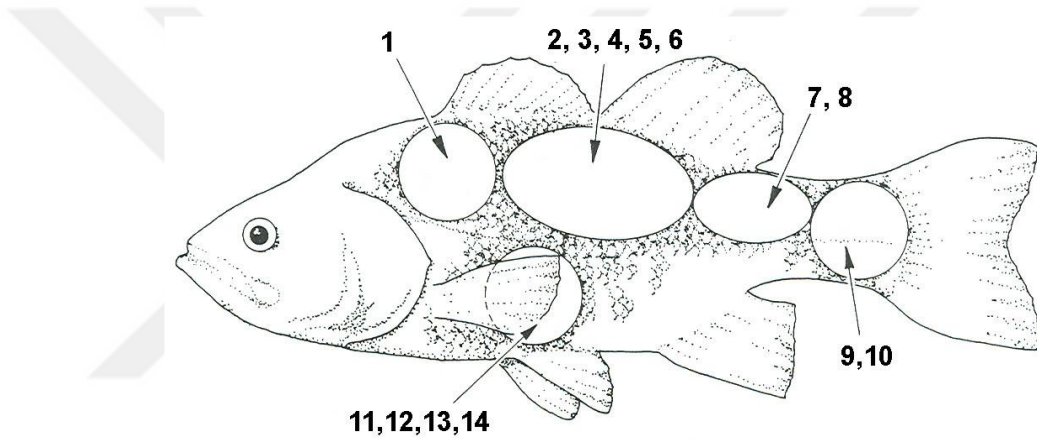
olduğu veya hiç büyümenin olmadığı dönemlerde oluşan bu halkalar, farklı çevresel ve içsel etkileri yansıtmaktadır.

Balıkların metabolik faaliyetlerini etkileyen ekolojik faktörler arasında su sıcaklığı ilk sıralarda gelir. Buna mevsimlere bağlı olarak besin miktarındaki iniş çıkışlar da eklendiğinde balıklar uygun şartlarda hızlı, buna karşın olumsuz şartlarda yavaş büyürler ve hatta büyümeleri neredeyse durma noktasına gelir. Balığın hayatı boyunca gözlenen yıl içindeki bu değişim, vücudun bazı kemiksi yapılarına da yansır. Bant şeklinde kaydedilen bu değişiklikler balığın yaşını belirlemek için analiz edilebilmektedir (Das 1994).

Coğrafik konuma göre balıkların büyümeleri değişeceğinden halkaların değişimi de farklı olur. Genelde, mevsimler arası sıcaklık farkları ne kadar fazlaysa yıllık halkalar da o oranda belirgin olur. Genellikle kutuplardaki balıklarda büyüme yavaş olmasına rağmen, hızlı büyüyen ekvatordaki türlerine kıyasla daha düzenli çizgilere sahiptirler. Aynı şekilde göç etmeyen türlerde, göç edenlere oranla büyüme halkalarında daha fazla coğrafik varyasyon sergiler. Bu halkalar her mevsim süresince depolanan materyalin miktarına göre farklılık göstermekte olup, yazın oluşanlar (hiyalin zon) kışa (opak zon) göre daha dardır. Bu gelişme çizgilerinin dizilmesiyle birbirini takip eden açık (yaz zonları) ve koyu (kış zonları) renkli halkalar meydana gelir (Akbulut vd 2008).

Balıklarda sıklıkla kullanılan yaş tayini metodu, pullarda görülen halkaların hesaplanmasına dayanmaktadır. Yaş tayini için özellikle pulların diğer kemiksi yapılara göre daha fazla tercih edilmelerinin başlıca nedenleri pulların alınmasının, yaş tayinine hazırlanmasının ve daha sonra kullanmak için saklanması kolay oluşu ve pulun alınması için balığın öldürülmesine gerek olmamasıdır. Bununla beraber, aşırı stres şartlarında pulların rezorbe olması veya zarar gördüklerinde ya da tamamen döküldüklerinde rejenerasyona uğraması pullar için dezavantaj teşkil edecek hususlardır (DeVries and Frie 1996).

Balıklarda yaş tayininde sikloid ve ktenoid tipteki pullar kullanılmaktadır. Yaş tayininde en uygun pullar büyük ve simetrik olanlardır. Normal pullara sahip olan türlerde 5-6 tane pul almak yeterli olurken doğal alabalıklar gibi türlerden en az 20 tane pul alınmalıdır (Akbulut vd 2008). Pul örnekleri genel olarak balıkta vücudun sol tarafından, sırt yüzgeci ile yan çizgi ya da yan çizgi ile göğüs yüzgeci arasında kalan alandan alınmaktadır. Bu bölgelerde pullar az dökülür ve dolayısıyla rejenere pullara az rastlanır (Çelikkale 1986). Farklı balık türlerinde pullar değişik vücut bölgelerinden alınabilmektedir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Farklı balık türlerinde pulların alındığı kısımlar

1. *Leuciscus leuciscus* 2. *Stizostedion vitreum* 3. *Dicentrarchus labrax* 4. *Oncorhynchus kisutch* 5. *Salmo trutta* 6. *Coregonus clupeaformis* 7. *Oncorhynchus nerka* 8. *Salmo salar* 9. *Melanogrammus aeglefinus* 10. *Platichthys flesus* 11. *Lepomis gibbosus* 12. *Pomoxis annularis* 13. *Clupea harengus* 14. *Perca fluviatilis* (DeVries and Frie 1996)

Pulu alınacak balık önce, baş kuyruk istikametinde yere dik olacak şekilde akan bir su altında yıkanır. Böylece balık üzerinde bulunan yabancı madde veya balık üzerine yapışmış diğer balıklara ait pullar su ile yıkanır. Pul balıktan bir pens yardımı ile alınır. Eğer pul balığa ait ise, deriden çıkarken direnç gösterir. Aksi halde pulun balığa ait olmadığına karar verilir ve o pul değerlendirilmez.

Pul balıktan sağlıklı olarak alındıktan sonra temizlenmesi ılık suyla ya da %5'lik potasyum hidroksit veya benzer temizleme solüsyonu ile yapılır ve daha sonra su ile yıkanır. Pullar genellikle üzerinde iz bırakmayan ve yapışkan olmayan kâğıt zarflar içerisine konularak muhafaza edilirler. Pek çok balık türünün pullarındaki halkalar

genellikle özel bir işleme gerek olmaksızın okunabilir. Balıkların yaş tayini, pratik olarak hiyalin ve opak halkaların toplamalarının ikiye bölünmesiyle yapılabileceği gibi, her bir halkanın ayrı ayrı sayımıyla da yapılabilmektedir. (Türkmen vd 2005; Bostancı ve Polat 2008).

1.4. Cyprinidae Familyasının Genel Özellikleri

Bilindiği gibi omurgalı hayvanların en büyük grubunu balıklar (%42,6), bunların da %40'nı sazangiller (Cyprinidae) oluşturmaktadır (Çelikkale 1991). İç su kaynaklarımız barındırdığı Cyprinidae familyasına ait balık biyoçeşitliliği ile önemli bir yere sahiptir.

Bu familya 15 000'e yakın tür ile temsil edilmesine karşın, Türkiye'de 32 cinsi ve 116 türü ve alttürü bulunmaktadır (Kuru 2004). Bu familyada yer alan balıkların esas yayılış alanları Asya, Avrupa ve Afrika olup bu balıklar Amerika'nın Kuzeye yakın bölgelerinde de bulunmaktadır. Genelleştirildiğinde, Avustralya, Madagaskar, Güney Amerika, Yeni Zelanda, Kuzey Kanada, Alaska, Grönland ve İzlanda hariç bütün dünyaya dağılmışlardır. Madagaskar ve Amazon civarındaki mevcudiyetleri ise insanlar tarafından çeşitli maksatlar için taşınmaları sayesinde mümkün olmuştur (Geldiay ve Balık 2009).

Bu familyaya ait balıklarda baş çıplak iken, vücut sikloit tip pullarla örtülüdür. Ağzın konumu terminal, yukarıya yönelik veya alt durumlu olabilir. Bazılarında ağız ileriye doğru uzayıp kısalabilir. Ağızlarında maksiller yani çene dişleri yoktur. Bıyaksız olabildikleri gibi bir ya da iki çift bıyıklı da olabilirler. En belirgin özellikleri ise yutak bölgesinde bulunan şekli, sırası ve sayısı farklı olabilen farinks dişleridir. Bunlar balıkların ayırımında oldukça önem taşır. Dorsal yüzgeçleri tek, pelvik yüzgeçleri abdominaldir ve yağ yüzgeci (adipöz yüzgeç) bulunmaz. Hava keseleri daima bir boğumla iki loba ayrılmıştır ve pneumatofor adı verilen bir kanal sayesinde özofagus ile devamlı irtibat halindedir. Bu tip hava kesesi olan balıklara fizostom balıklar da denir. Omur şeridinin ilk dört omuru birbiriyle kısmen kaynaşarak Weber kemikleri veya Weber Apareyi denilen özel bir biçim teşkil eder. Mide civarında pilorik çekum denilen

kör bağırsaklar bulunmaz. Çoğunlukla sürüler halinde yaşarlar. Üreme zamanı ilkbahar ve yaz aylarıdır. Bu zamanda özellikle erkeklerin daha parlak ve süslü bir görünüm kazandığı, özellikle baş ve vücutları üzerinde küçük siğil benzeri yapıların meydana geldiği görülür (Geldiay ve Balık 2009).

Çalışma bölgemiz olan Karasu Nehri'nde doğal olarak bulunan, Cyprinidae familyasına ait incelenen türlerin sistematığı şu şekildedir:

Regnum: Animalia

Phylum: Chordata

Subphylum: Vertebrata

Superclass: Pisces

Class: Osteichthyes

Subclass: Actinopterygii

Superordo: Teleostei

Ordo: Cypriniformes

Family: Cyprinidae

Genus: *Capoeta*

Species: *Capoeta capoeta*

Genus: *Alburnus*

Species: *Alburnus mossulensis*

Genus: *Squalius*

Species: *Squalius cephalus*

***Capoeta* (Cuiver-Valenciennes 1842)**

Önceden *Varicorhinus* olarak bilinen bu cins, daha sonra Karaman (1969) tarafından yapılan bir revizyonda, bazı ayırt edici özellikleri nedeniyle (örneğin; dorsal yüzgecin sonuncu basit ışınının posterior kenarında testere şeklinde dişlerin bulunması, pulların nispeten daha küçük olması, suborbital ile lakrimalin daha dar yapılı ve alt çenenin uzun olması gibi) *Capoeta* olarak değiştirilmiştir.

Uzun ve ovalimsi bir görünümü olan vücut, bazı türlerde yanlardan hafifçe yassılaştırmış olabilir (*Capoeta trutta*). Pulları küçük veya orta büyüklükte olup, vücudu tamamen örtmekte ve yanal çizgi üzerindeki pul sayısı 30-99 arasında değişmektedir.

Dorsal yüzgeç başlangıcı daima ventrallerin biraz daha önünde yer alır. Dorsal yüzgecin sonuncu basit ışınının arka kenarı daima testere ağzı şeklinde tırtıklıdır ve türlerin çoğunda serbest ucu esnek olup kolayca eğilip bükülebilir. Bu yüzgeçteki dallanmış ışın sayısı türlere göre 7-12 arasında değişir. Anal yüzgeç dorsalden daha küçüktür ve dallanmış ışın sayısı 5-6 civarındadır. Nispeten büyük olan ağız daima ventralde yer alır ve enine yarık şeklinde veya at nalı görünümündedir. Üst dudak kıkırdakla kaplıyken alt dudak sert ve boynuzsu bir madde ile çevrilmiştir. Ağızda 1 veya 2 çift ve çok fazla uzun olmayan bıyıklar bulunur. Bunlardan 1. çift daima ağız köşelerinde; 2. çift ise, üst çenenin ağız köşeleri yakınında yer alır. Uçları yan taraftan yassılaştırmış spatula veya kürek şekline benzer olan farinks dişleri daima 3 sıra üzerinde dizilmişlerdir. Diziliş şekilleri ise ya 2.3.4-4.3.2 ya da 2.3.5-5.3.2 şeklinde olmaktadır. Genellikle otçul (herbivor) karakterli olan bu balıklarda bağırsak iyice uzamış olup uzunluğu total vücut boyunun 10 katı kadar olabilir. Bu cins genellikle akarsuların hızlı akan, zemini taşlı ve çakıllı zonlarında yaşamaktadır. Özellikle nehirlerin köpürerek akan kayalık bölgelerindeki bol oksijenli çağlak suları tercih ederler. Bu yüzden sıklıkla *Barbus* cinsi ve alabalıklarla bir arada rastlanırlar. Bu balıklar yurdumuza sıcak bölgelerden göç etmiş form olmalarına rağmen, bu balıkların bazen alabalık zonunun çok yakınına kadar uzanan ve akarsuların çok soğuk olan yukarı havzalarına kadar çıkabildikleri de görülmektedir (Geldiay ve Balık 2009).

Coğrafik dağılım alanı Afganistan, Türkistan, Aral Gölü, Güney Çin, Kuzey Hindistan, Ortadoğu ve Anadolu'yu içermekte olup, memleketimizin iç sularında beş türü (*C. capoeta*, *C. trutta*, *C. barroisi*, *C. pestai*, *C. tinca*) ve altı alttürü yaşamaktadır. Tür ve alttürlerin hepsi insan besininde ekonomik önem taşırlar (Geldiay ve Balık 2009).

1.4.1. *Capoeta capoeta* (Guldenstaedt 1773)

Capoeta capoeta türünün ilk bulunuş yeri Tiflis'tir (Gürcistan). Bu tür İn balığı, Siraz balığı, Aptal balık, Aptalca, Sarıbalık olarak bilinir. Tatlı sularda yaşayan bentopelajik bir türdür. Çoğunlukla nehirlerde taşlı zeminleri tercih ederler ve sıcaklık 10°C-22°C arasında yaşayabilirler. İnsanlar için zararsız olup bitkilerle beslenir ve ticari balıkçılıkta kullanılırlar (Anonim 2018b).

Vücut ovalimsi ve uzamış olup, standart boyu maksimal vücut yüksekliğinin 3,5-5 katı kadardır. Baş boyu vücut yüksekliğinden daha az veya vücut yüksekliğine eşit olabilir. Ağız büyük, ventral konumlu ve at nalı görünümündedir. Üst dudak düz ve ince yapıyken alt dudak boynuzsu bir deri ile örtülüdür. Ağız köşelerinde uzunlukları ırklara göre değişik olabilen bir çift bıyık bulunur. Dorsal yüzgecin sonuncu basit ışını iyi gelişmemiştir ve posteriyor kenarının yarısı veya 2/3'ü testere ağzı şeklinde dişçikler taşır. Bu ışının uç kısmı daha zayıf gelişmiş olup kolayca eğilip bükülebilen esnek bir yapıdadır. Anal yüzgeç geriye doğru yatırıldığında serbest ucu hiçbir zaman kuyruk yüzgecine erişemez.

Vücut rengi sırtta koyu, karın bölgesinde daha açıktır ve siyah renkli benek veya lekeler hiçbir zaman olgun fertlerde görülmez. Diğer sazangillerde olduğu gibi, yalnız üreme zamanlarında baş üzeri, burun ucu, gözlerin etrafı gibi vücudun ön kısmında üreme tüberkülleri denilen kabarcıklar görülür.

Afganistan'dan Ege sahillerine kadar geniş bir alanda yayılış gösteren bu türün 11 alttürü olmasına rağmen ülkemizin tatlı sularında bunlardan sadece 6'sı (*C. c. angorae*, *C. c. bergamae*, *C. c. capoeta*, *C. c. kosswigi*, *C. c. sieboldi* ve *C. c. umbla*) yaşamaktadır. Bunlardan *C. c. capoeta* (Guldenstaedt 1772)'nin ilk bulunuş yeri Doğu Anadolu'dur ve ülkemizde sadece Kuzeydoğu Anadolu bölgesinde yaşamaktadır (Geldiay ve Balık 2009).

***Alburnus* (Berg 1932)**

Bu cinsten vücut ince, uzun yapılı ve yanlardan hafifçe basıktır. Pullar küçük ve sık dizilidir. Ağız genellikle yukarıya yönelik olup alt çene ileriye doğru çıkıktır. Farinks dişleri 2 sıralı, kenarları hafif çentikli ve diziliş tarzı genellikle 2.5-5.2 şeklinde ve nadiren de 2.5-4.2 veya 2.5-5.1 şeklindedir. Sadece anal yüzgecin önünde pullarla örtülü olmayan çıplak bir karina bulunur. Bu karina bazen ventral ve anal yüzgeçler arasındaki alanı da tamamen kaplayabilir. Yanal çizgide 57-82 pul vardır. Solungaç diken sayısı 19-25 arasında değişir. Bazı araştırmacılar *Alburnus* ve *Chalcalburnus* ayrımında vücut yüksekliğinin vücut boyuna oranını ve yanal çizgideki pul sayısını esas almışlardır. Buna göre yanal çizgideki pul sayısı 55'den az olanları *Alburnus*; fazla olanları da *Chalcalburnus* cinsine dâhil etmişlerdir. Fakat bu kural her zaman araştırmacılar tarafından dikkate alınmamaktadır. Örneğin yanal çizgide 80 pul taşıyan formlar *Chalcalburnus* olması gerekirken bazen bunların da *Alburnus* cinsine dâhil edildiği bildirilmektedir (Geldiay ve Balık 2009). Bu cinsin coğrafik dağılım alanı Dicle ve Fırat nehir sistemleri, Güney İran, Van ve Aral gölleri ile Karadeniz ve Hazar Denizi havzalarıdır.

1.4.2. *Alburnus mossulensis* (Heckel 1843)

Bu türde vücut ince uzun ve yanlardan hafifçe basık yapıdadır. Maksimal vücut yüksekliği standart boyun 1/4,6-5,9'i kadardır. Baş boyu neredeyse vücut yüksekliğine eşittir. Gözleri gayet iridir ve çapları baş boyunda 2-2,5 defa vardır. Anal yüzgeç dorsal yüzgecin tamamen gerisinden başlar. Ventral yüzgeçlerle anal yüzgeç arasında hafif bir karina görülür. Dorsal ve anal yüzgeçlerin serbest kenarları düzdür. Ağız yukarıya doğrudur. Boyu yaklaşık 10-12 cm'dir. Renkleri genellikle gri-beyaz olup yanal çizginin üst bölgesinde baştan kuyruğa kadar uzanan siyah renkli kalınca bir bant bulunmaktadır. Bu tür yaşam için temiz ve parlak yüzeyli akarsuların yavaş akan orta kesimlerini tercih ettiği bilinmektedir. Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde özellikle Dicle ve Fırat nehir sistemleri asıl yayılış sahalarıdır. Küçük ve oldukça kılçıklı balıklar olduklarından gıda olarak pek tercih edilmez (Geldiay ve Balık 2009).

***Squalius* (Cuvier 1817)**

Squalius cinsi 45 tür ile temsil edilen büyük bir gruptur. Cins 2011 yılına kadar *Leuciscus* olarak isimlendirilmiş daha sonra *Squalius* olarak revize edilmiştir (Özuluğ and Freyhof 2011). *Squalius* cinsi Türkiye tatlı sularında geniş yayılıma sahiptir. *S. adanaensis* ve *S. seyhanensis* türleri Seyhan Nehri'nde, *S. anatolicus* Beyşehir Gölü'nde, *S. aristotelis* Tuzla drenajında, *S. cappadocicus* Tuz Gölü'nde, *S. carinus* Işıklı Gölü'nde, *S. cephaloides* Kuzey Armutlu yarımadasında, *S. cii* Güney Marmara Denizi havzasında, *S. fellowesii* Eşen Çayı'nda, *S. kosswigi* Tahtalı Çayı'nda, *S. pursakensis* Sakarya Nehri'nde, *S. recurvirostris* Eber, Akşehir ve Ilgın havzalarında dağılım gösterir (Özuluğ and Freyhof 2011; Turan vd 2013). Ancak geçtiğimiz günlerde Türkiye'nin en büyük 11. tatlı su kaynağı olan Eber Gölü tamamen kurduğundan *Squalius* cinsi balıklar da artık maalesef gölde bulunmamaktadır (Anonim 2018c).

Türkiye'de ve yurtdışında türün farklı popülasyonlarıyla pek çok çalışma yapılmıştır. Bunlardan Giannetto *et al.* (2011) İtalya'da yaşayan kefallerin kütlelerini; Tekatlı (2011) türün beslenme biyolojisini ve Demirel vd (2016) bazı büyüme parametrelerini incelemişlerdir. Bu cinsin vücudu mekik gibi, biraz uzamıştır ve kısmen büyük sikloid pulla örtülmüştür. Baş yandan hafif olarak yassılaştırmıştır. Ağzı uçta ya da alt durumdadır, ağızda bıyık yoktur, dudağı incedir ve alt dudak ortası kesik yapıdadır. 2 sıralı olan farinks dişleri basık ve ucu kıvrılmıştır ve bunlar sıklıkla 2.5-5.2 ya da bazen 3.5-4.2 olarak sıralanır. Sırt yüzgecinin 3 tane basit ve 7-9 tane dallanmış ışını vardır, çoğunlukla pelvik yüzgeçlerle aynı sırada ya da az daha arkada bulunur. Pelvik yüzgeçlerin arkasında yassı, pulsuz karina görmek mümkün değildir. Karın zarı siyah renktedir. Yan çizgi baştan kuyruğa doğru genelde kıvrık ve 35-93 pulludur. Asıl bulunduğu yerler Azak Denizi, Batı ile Kuzey Asya, Hazar Denizi, Kuzey Amerika, Avrupa ve Karadeniz'dir. Türkiye'de bahsedildiği gibi epeyce bulunur (Geldiay ve Balık 2009).

1.4.3. *Squalius cephalus* (Linnaeus 1758)

Squalius cephalus Cyprinidae familyasından bir tatlı su türü olup Azak ve Hazar Denizleri ile Karadeniz, Kafkasya ve Avrupa'da önemli bir dağılıma sahiptir ve Anadolu'nun tüm iç su sistemlerine yayılmıştır. Türün ilk bulunuş yeri Avrupa'dır. Bu balıklar tüm su tiplerine uyum sağlamalarına rağmen hızlı akan suları tercih ederler. Bazen de göllerde hatta acı sularda da yaşayabilirler. Genellikle suların yüzeyine yakın kısımlarında büyük gruplar halinde (Geldiay ve Balık 2009), yaşlı bireyleri yalnız, genç bireyleri ise toplu halde yaşar. Çevrelerine çok iyi adapte olduklarından ekolojik açıdan çevreleri kirlendiğinde ya da tehlike oluşturduğunda ortamını değiştiren bireyleri çok azdır (Özuluğ and Freyhof 2011).

Bu balıkların vücutları kalın yapılıdır ve yanlardan çok hafif basıktır ve sırt profili kavis şeklindedir. Başları büyük ve geniş, tepeden görünüşü yuvarlak şekildedir. Çoğunlukla başının uzunluğu vücudunun yüksekliğine eşit ya da vücut yüksekliğinden biraz azdır. Gözleri ufak ve gözlerinin arası gözünün çapından 2 ya da 2,5 kez büyüktür. Ağzı biraz eğik ve genişçedir ve arka kısımları gözün ön kısmına kadar ulaşmaz, çeneleri ise eşittir. Farinks dişlerinin ucu kıvrık ve hafif tırtıklıdır. Dorsal yüzgecin serbest kenarı düz ya da çok hafif yuvarlaktır ve her zaman 8 dallanmış ışın taşır. Anal yüzgeç kuyruğa kadar uzanmaz ve özellikle ergin fertlerde serbest kenarı daima yuvarlaktır. Kuyruk yüzgeci hafif girintili ve loplara ucu kısmen yuvarlaktır. Boyları en fazla 80 cm, ağırlıkları ise 4 kg'a kadar ulaşabilir.

Renk vücudun sırt kısmında koyudur ve mavi-yeşil renkte metalik yansımalar gösterir. Bu koyu renk yan taraflara doğru gittikçe açılır ve karın kısmında sarı-beyaz bir renk kazanır. Genellikle dorsal, kaudal ve pektoral yüzgeçler renksiz; ventraller ve anal ise portakal sarısıdır. Vücudu örten her bir pulun özellikle posterior kısımlarında küçük ve siyah pigment taneleri bulunur. Omnivor olan bu balıklar genellikle her çeşit sucul böceği, kurtları, yumuşakçaları, balık yumurtalarını, çeşitli su bitki ve tohumlarını yiyerek beslenirler. Çok yaşlı fertler ise, tamamen predator özellik kazanır ve özellikle diğer balıkların genç yavrularıyla beslenirler (Geldiay ve Balık 2009). Bu türün sindirim

kanalı içeriğinde zooplanktonik (Cladocera, Copepoda), fitoplanktonik (Bacillariophyta, Chlorophyta) organizmalar ile hayvansal ve bitkisel detritus bulunduğu ve özellikle hayvansal organizmaların tatlısu kefalı için baskın olarak tüketilen besin kaynağı olduğu bildirilmiştir (Tekatlı 2011).

Yumurtlama mevsimi nisan-haziran ayları arasındadır. Yumurtlama diğer sazangillerde olduğu gibi, sabaha karşı ya da sabah, sıcak ve sakin havalarda gerçekleşir. Cinsel olgunluğa 3 ya da 4 yaşta erişirler ve dişi bir balık 0,7 mm çapta 200 000 civarında yumurta bırakabilir. Bırakılan yumurtalar çoğunlukla odun parçaları veya taş üzerine yapıştıktan 8 ya da 10 gün sonra açılmaya başlar. Yumurtadan çıkan yavrular, kıyıda sakin bölgelerde yaşarlar (Nikolsky 1963). Etleri taze iken lezzetlidir. Ancak fazla kılçıklı olduğu için pek fazla tercih edilmez. Yine de taşrada halk derelerden bilhassa bahar ve yaz mevsimlerinde bu balıkları çok sayıda avlayarak tüketirler (Geldiay ve Balık 2009).

1.5. Kemikli Balıklarda Organ Histolojisi ve Anatomisi

Beyin

Balıklarda beyin genel olarak ön, orta ve arka kısım olmak üzere üç bölümdür. Ön kısımda beyinde doğrudan irtibat sağlayan olfaktif loplar vardır. Bu bölgenin balıklarda esas olarak koku almayla ilgili olduğu bilinirse de, diğer bazı fonksiyonları da idare ettiği tespit edilmiştir. Örneğin, olfaktif lopları çıkarılan dikence balığı (*Gasterosteus aculeatus*) türünde üreme düzensizlikleri görülmüştür. Cerebral hemisferler (beyin yarım küreleri) balıklarda koku alma merkeziyle birleşmiştir. Beynin ön tarafından çıkan oblik sinirler, kiazma denen çeşitli çaprazlanmalar meydana getirirler. Teleostlarda sinirler ters kiazma halinde bağlanırlar. Anteriyör çukurluğun tabanında, salgısı organik dengenin sağlanmasında büyük rol oynayan hipofiz bezi görülür. Beynin arka kısmında oblik lopların gerisinde yerleşmiş olan beyincik bulunmaktadır. Bunun ardından da bir taraftan beyin boşluğuyla, diğer taraftan omurilik ile bağlantı sağlayan omurilik soğanı yer almaktadır (Geldiay ve Balık 2009).

gelirse, kontraktıl elemanlar bu yüzeyleri genişleterek dayanmalarına yardım eder. Ayrıca pillar hücrelerin kasılması, gaz değışim yüzeylerinde kan akış miktarının kontrolünü sağlar (Roberts 2001; Kardong 2012). Gaz değışimi sekonder lamel yüzeyinde meydana gelir. Ayrıca solungaçlardaki ters akım, yani suyun akış yönü ile kanın akış yönünün ters olması sudaki oksijenden maksimum faydalanmayı sağlar (Şekil 1.3b). Sekonder lamelin bazı kısımlarında ve bazal epitelinde mukus hücreleri vardır. Mukus hücreleri, sitoplazmik granüllerdeki glikoproteinlerin karbonhidrat içeriğinden dolayı farklı kimyasal özelliklere sahiptir. Mukus, solunum ve patojen mikroorganizmalara karşı koruma gibi önemli fonksiyonlara sahiptir (Laurent and Perry 1990). Mukus hücreleri sayısal ve morfolojik açıdan pH, tuzluluk, sıcaklık ve ağır metaller gibi faktörlerden etkilenir (Roberts and Powell 2003). İyon düzenleyici görevi olan tuz hücreleri esas olarak primer lamellerin epitel dokusunda bulunmaktadır. Ancak sekonder lamellerde de vardır. Klorit hücreler sekonder lamellerin tabanında yer alır ve asidofiliktir. Genellikle deniz balıklarında, tatlı su balıklarına oranla daha fazladır. Sekonder lameller parazitlerden, fiziksel ya da kimyasal etkenlerden çok çabuk etkilenir ve patolojik değışiklikler kısa bir sürede oluşur (Hibiya 1982).

Solungaçlar kirletici maddelerle olan temas alanlarının fazla olması sebebiyle bu maddelerden diğer organlara göre oldukça fazla etkilenir. Organın kirleticilerden etkilenişı solunum sisteminde hasarlar meydana getirir ve bazen akut etkiye sahip kirleticiler organda geri dönüşümsüz zarara yol açar ve nihayetinde sonuç ölüme varır (Lawrence and Hemingway 2003).

Birçok balığın solungaç yapısı iyi bilindiğinden solungaçlardaki histopatolojik değışiklikler de düzgün olarak analiz edilebilmiştir. Kimyasalların bu organda yol açtığı patolojik hasarlar; mukus ve klorid hücrelerinde farklılaşma, epitelde hipertrofi ve hiperplazi, damarlarda değışim, sinirlerde hasar, parazite karşı hassasiyet artışı şeklinde ortaya çıkar (Poleksic and Mitrovic-Tutundzic 1994).

Mide

Özofagusun devamında bulunan mide balıklarda genellikle 2 kısımdan ibaret olup, birinci kısım çoğunlukla besinlerin sindirilmemiş halde toplandığı kardiyak bölgesi, ikinci kısım ise sayısı türlere göre farklı olan, parmaklı görünüşteki pilorik çekum veya kör bağırsağın açıldığı pilor bölgesidir. Mide genel olarak kuvvetli kaslardan meydana gelmiştir. Özellikle Mugilidae ve Acipenseridae familyası bireylerinde çok kalın çeperlidir ve kuşların katı midesine benzer bir şekilde fonksiyon sergiler. Yırtıcı balıklarda örneğin *Esox lucius*'ta mide çok kuvvetli sindirim enzimleri içerdiğinden bütün halinde yutulan balıklar kısa zamanda ve kolayca sindirilebilirler (Geldiay ve Balık 2009).

Midenin şekli balıklarda çok değişik olabilmektedir. Örneğin, *Coregonus*'da (U) harfi şeklinde, *Cottus gobio*'da düz bir kese şeklinde, *Esox lucius*'ta ise bir torba şekildedir. Bazı balıklarda örneğin Cyprinidae familyasında gerçek mide yoktur. Onun için özofagus iyi gelişmiş olup, doğrudan doğruya bağırsağa bağlanmıştır. Genel olarak balıklarda karnivorluk derecesi arttıkça mide gelişimi de artar (Geldiay ve Balık 2009).

Midesiz balıklarda protein sindirimi pankreas tarafından salgılanan enzimler sayesinde gerçekleşir (Ku *et al.* 2004). Midesiz balıklarda asit salgılanması olmadığı gibi, sindirim sisteminin başlangıcı olan duodenumun pH'sı da nötre yakındır (Şenol vd 2014).

Bağırsak

Mideden sonra anüse kadar devam eden en uzun sindirim organı bağırsaktır. Bağırsak gelişimi balıkların beslenme rejimleri ile ilgili olup, genelde karnivor veya predatör formlarda çok kısa; buna karşın herbivor formlarda ise çok uzundur. Sindirimin son bulduğu açıklık olan anüsün konumu farklı balık türlerinde değişiklik gösterir ancak kemikli balıklarda genellikle anal yüzgecin hemen önündedir. Anüsün şekli bazı balıklarda (*Cyprinus carpio*) cinsiyeti ayırıcı karakter olarak kullanılmaktadır. Örneğin

dişi sazanda anüs kabarık durumda iken, erkekte çukur görünüştedir (Geldiay ve Balık 2009).

Gonad

Balıkların üreme organları genellikle gonadlar olup, bunlar dışide ovaryum, erkekte ise testistir. Teleostlarda gonadal yapıların morfolojileri temelde benzerdir. Diğer omurgalılarda olduğu gibi, gonadların teleostlarda da esas ve bütünleyici görevleri; başarılı bir üreme için verimli gametler üretmek ve hipofize bağlı olarak eşey hücrelerinin gelişmesini düzenleyen çeşitli steroid hormonları sentezleyip salgılamaktır (Nagahama 1983).

Genellikle balıklar bir çift bilateral gonada sahiptirler. Olgun bireylerde gonadlar iki bölmeli simetrik olarak, hepatopankreas ve sindirim kanalının arkasında yer alır. Vücut boşluğunun dorsalinde mezenterlerle asılı durumdadır. Yavru ve genç bireylerde gonadlar ince iplik şeklindedir ve çıplak gözle ovaryum veya testis olarak ayırt etmek zordur.

Ovaryumların büyüklük ve ağırlıkları türlere göre değişmekle beraber, olgun durumda balık ağırlığının %25'i kadar olabilirler. Genellikle üreme mevsimi yaklaşmış olan ergin bir balıkta ovaryumlar açık sarı veya kahverengimsi bir renk alır, taneli bir görünüm kazanır ve yüzeyinde bolca kılcıl damar bulunur (Geldiay ve Balık 2009). Teleostei'de ovaryumlar tipik olarak kesemsi biçimdedir, ortalarında birer lümen vardır ve devamında ovidukt yer alır (Demir 1992).

Olgunlaşmaya başlayan fertlerde ovaryumlar granüllü bir görüŖ kazanırlar. Ovaryum zarı ve ovaryum içindeki yumurtalar ayrıca bağ doku ve kan damarları kolaylıkla görülebilir. Gelişmişlik derecesine göre ovaryumlar altın sarısı, kirli sarı, küf yeşili veya gri-sarı renkli görülebilir. Balıkların ovaryumları genelde ovaryum duvarı ile çevrili bir kese şeklindedir (cystovaryum). Ovaryum, bir lümen ve oogenezin meydana geldiği çok sayıda lamelden oluşur. Folikülün içindeki oosit olgunlaştıktan sonra, folikül parçalanır

ve olgun oosit önce ovaryum boşluğuna daha sonra ovidukt aracılığı ile vücut dışına atılır. Ovaryum boşluğu ovaryum kanalları (ovidukt) ile bağlantılıdır. Ovaryum kanalları da birbirleriyle birleşerek genital poru oluşturur (Hibiya 1982; Kekilli 2010).

Testisler genellikle bütün tatlı su balıklarında çifttir ve büyüklükleri üreme mevsimine göre değişir. Ergin bir balıkta testislerin rengi beyazımsı olur, granülsüz düz bir görünüşü vardır ve üzerinde kılcıl damarlar da görülmez. Ağırlıkları ovaryuma göre daha az olup, balık ergen haldeyken en çok vücut ağırlığının %12'si kadar olabilirler (Geldiay ve Balık 2009). Teleost testisleri yapısı itibariyle sınırlandırılmamış lobüler, anostozomik lobüler ve sınırlandırılmış lobüler testis olarak üç tiptir (Van Dyk and Pieterse 2008). Lobüler tip testis çok sayıda tübülden oluşur ve ince bir bağ dokusu ile birbirinden ayrılır. Tübüllerdeki sperm gelişimi ise eş zamanlıdır (Demir 1992).

Böbrek

Balıklarda boşaltım organı, metabolizma artıklarını (karbondioksit, üre, ürik asit, inorganik tuzlar gibi) dışarı atmakla görevli olan mezonefroz tipteki böbreklerdir. Çift haldeki yumuşak yapılı bu organ kırmızı ya da kahvemsî renge sahiptir. Karın zarının dışında, omurga ve dorsal aortun ön kısmında vücut boyunca uzanır. Özellikle kemikli balıklarda kloak olmadığından, her böbrekten çıkan boşaltım kanalları ya doğrudan ya da birbirleriyle birleşerek dışarı açılırlar. Nadiren de olsa, bazen üreme organı kanallarıyla da birleşmiş olabilirler. Boşaltım sistemi, özellikle tatlı su balıklarında deniz balıklarına göre çok daha iyi gelişmiştir. Tatlı su balıklarının yaşadığı ortamın yoğunluğu vücut sıvılarının yoğunluğundan daha az olduğundan vücutlarındaki suyu devamlı süzerek dışarıya atabilmeleri için bu balıklar gelişmiş bir boşaltım sistemine ihtiyaç duyarlar (Geldiay ve Balık 2009).

Böbreklerin işlevsel birimi olan nefron, renal korpüskül (Malpigi cisimciği) ve tübül kısımlarından oluşur. Renal korpüskül ise glomerulus ve Bowman kapsülünden oluşmuştur. Renal tübül kısmı tatlı su balıklarında iyi gelişmiştir. Böbrekte boyun, proksimal, ara, distal ve toplayıcı segmentler vardır. Nefron, toplayıcı kanallarla devam

ederek nefrik kanalı oluşturur ve nefrik kanal da idrar kesesine açılır (Demir 1992). Boyun segmenti kısa ve incedir. Proksimal tübül de iki segmente ayrılır. Birinci segmentte fırça kenarlı kübik epitel hücreleri vardır. Bu hücreler yuvarlak-oval şekilli, büyük çekirdeklidir ve bol mitokondri ve salgı granülü içerir. İkinci segment nefronun büyük bir kısmını oluşturur. Kanal lümeni birinci segmentten biraz daha geniştir. Ara segment ise, proksimal tübülün ikinci segmentinin özelliklerini taşır. Distal segmente ait epitel hücrelerinde fırça kenar yoktur. Sitoplazmalarında iri granüller bulunan bu hücreler eozin ile proksimal toplayıcı kanallara göre daha koyu boyanırlar (Yardımcı 2007).

Böbrek çeşitli anatomik ve fonksiyonel bölümleri olan bir organdır (Morovvati *et al.* 2012). Böbrek boşaltım görevinin yanı sıra hemopoietik ve endokrin işlevi olan bir organ olarak görev yapar. Balıklarda her bir böbrek anterior ve posterior olmak üzere iki kısımdan oluşur (Erer 2002). Böbreğin anterior kısmında renal bir fonksiyon yoktur, nefronlar da bulunmaz. Böbreğin anterior kısmı endokrin yapıları, kromafin hücreleri ve kan damarlarının etrafına yerleşmiş bulunan interregnal dokuyu içerir. Bu bölüm hemopoiez için özelleşmiştir. Ancak, posterior böbrek hem renal hem de hemopoietik görevi üstlenmiştir (Zwollo *et al.* 2005). Posterior böbreğin nefronlarından dolayı hemopoietik doku şekilleri, matriks ile desteklenmiş şekilde bulunur. Anterior böbrek, morfolojik olarak yüksek omurgalılarıdaki kemik iliğine benzer ve aynı zamanda lenf düğümünün analoğu olup, sekonder lenfoid organ olarak da görev yapar (Press and Evensen 1999). Arka böbrekte ayrıca Korpuskulum Stanni (Corpuscles of Stannius) denen küçük yapıda endokrin bezler bulunur. Bu bezler, solungaçlardan kalsiyum absorpsiyonunu durduran teleokalsin hormonu salgılar (Bozkurt ve Eren 2009). Balıklarda böbrek solungaçlardan gelen kanı aldığı için su kirliliğine bağlı böbrek lezyonları çevresel stresin iyi bir indikatörü olarak görülür (Kurtovic *et al.* 2008).

Deri

Balıklarda iki tabakadan (epidermis ve dermis) oluşan deri fiziksel hasarlara, dış parazit ve kirleticilere karşı balığı savunur (Çelikkale 1991). Balıklarda epidermis tabakası

oldukça ince olup ortalama kalınlığı yaklaşık 250 mikrondur. Epidermis; üstte stratum germinativum, altta stratum bazale tabakalarından oluşur. Stratum germinativum'a ait hücreler çok yüzlü ve yüzeye doğru gittikçe yassılaştan hücrelerdir. Stratum bazale'ye ait hücreler ise genellikle silindirik ya da konik biçimdedir. Balıklarda genellikle epidermisi tamamen örten bir stratum korneum (keratin tabaka) bulunmaz. Dolayısıyla epidermisin yüzeyindeki hücreler canlı hücrelerdir. Epidermiste ayrıca glikoprotein içerikli tüp biçiminde bir hücreli mukus bezleri bulunur. Epidermis ile dermisi birbirinden sadece elektron mikroskobu ile görülebilen bazal membran ayırır. Alt tabakayı teşkil eden dermiste bağ dokusu, kas fibrilleri, pigment hücreleri, kan damarları ve sinirler bulunur. Dermis genellikle üç tabakalıdır. En dışta çok ince olan membrana terminans tabakası bulunur, onun altında ise gevşek bağ dokusu tabakası olan ve farklı tipte hücrelerle bol miktarda kan damarları içeren stratum laksum bulunur. Dermisin en alt tabakası ise, kalın ve yoğun bağ dokusu lifleri içeren stratum kompaktum'dur (Demir 1992). Hipodermis (derialtı dokusu), balıklarda ince bir tabaka halindedir ve dermisten güçlkle ayırt edilebilir. Gevşek bir bağ dokusundan yapılmış olan hipodermis, dermisi altındaki kaslara bağlar.

Kimyasallara maruziyet derinin tabakalarının normal olarak gelişmesini önlemektedir. Balıkta bağışıklık sisteminin güçlü olmaması halinde deride oluşan hasarların iyileşmesi kimyasallar nedeniyle yavaşlamaktadır (Lawrence and Hemingway 2003). Kimyasal maddeler derideki tabakaları ciddi derecede etkiler ve etkinin sürekliliği deri altındaki kas dokularını da kapsayacak şekilde hasara neden olabilmektedir. Deride kirlilik sebebiyle sıkça oluşan hasarlar; epidermiste kabuk şeklinde dökülme, mukus hücrelerinde artış, enfekte olmuş hücrelerde hipertrofi (organda aşırı büyüme), küme halinde hipertrofik yapı ve nekrozdur (Uçar ve Atamanalp 2009).

Karaciğer

Kemikli balıklarda vücut boşluğunun ön kısmında yer alan karaciğer, kırmızı-kahverengi olup genellikle iki lobludur. Midenin üzerinde ve mideyi kısmen sararak uzanır. Safra kesesi karaciğerin içerisinde gömülü olarak bulunur. Karaciğerin her iki

lobundan bir hepatik kanal çıkar ve safra kesesinden çıkan sistik kanal ile birleşerek ana safra kanalını oluşturur (Demir 1992). Karaciğer dıştan seröz bir membranla çevrilidir. Kemikli balıklarda diğer omurgalılarından farklı olarak, merkezi vena ihtiva eden lobüler yapı görülmez. Hepatik arterle portal vena karaciğere girer ve portal vena birçok dala ayrılarak sinüzoidleri oluşturur. Sinüzoidlerin aralarında ise parankimayı oluşturan karaciğer hücreleri, hücre kordonları oluşturacak şekilde yerleşmişlerdir. Hepatositler poligonal şekilli, yuvarlak çekirdekli hücreler olup genellikle çekirdekçiğe de sahiptirler (Hibiya 1982; Ferguson 1989).

Hepatositlerden salgılanan safra, hücrelerin aralarındaki ince kanalcıklarla toplanarak daha büyük kanallara taşınır ve bu kanallar da safra kanallarına açılırlar. Safra kanalları ile ana safra kanalının bağlandığı bölgede hepatik arteriol de bulunur. Karaciğer sinüzoidleri endotelial hücreler ile çevrelenmiştir. Sinüzoidlerin ince endotel tabakaları yassılaştırmış çekirdeklerle kolayca ayırt edilebilir. Kupffer hücrelerinin teleostlardaki karşılığı olan iri, sarı-koyu kahverengi ya da siyah renkli, pigment birikimleriyle kümeleşmiş melanomakrofaj hücreleri sinüzoidlere bitişik veya hepatositlerin aralarında bulunur. Bazı kemikli balıklarda karaciğer basit ve kompakt bir organ şeklindeyken *Cyprinus sp.*, *Chrysophrys major*, *Heliochoeres poecilopterus*, *Platycephalus indicus* *Sillago japonica* ve *Stephanolepis cirrhifer* gibi balık türlerinde pankreatik doku portal vena kolları boyunca karaciğere sarılmış şekildedir. Hepatik ve pankreatik dokunun birleştiği bu yapıya ‘hepatopankreas’ denilmektedir (Hibiya 1982; Ferguson 1989; Roberts 2001). Balık karaciğerinde hepatik kan akışı, kardiyak kan akışına göre oransal olarak yavaş olduğundan toksik maddelerin sebep olduğu hasarlara daha duyarlıdır (Benli 2006).

Lezyonlara bağlı olarak çalışılan organlar arasında en yaygın olanı karaciğerdir. Karaciğer detoksifikasyon ile ilgilidir ve toksik bileşenlerin metabolizma ve atılmalarında görevlidir. Diğer organlara göre hücre çoğalması bakımından daha aktiftir. Yabancı maddelerin organda doku seviyesinde neden olduğu değişiklikler nitelikli biyobelirteçler olarak görülmektedir (Paulo *et al.* 2012). Her ne kadar bu organ zehirli

maddeleri zehirsiz hale getirme potansiyeline sahip olsa da bu maddelerin yüksek miktarları organın potansiyelini etkisiz hale getirebilir (Uçar ve Atamanalp 2008).

Dokulara giren ksenobiyotiklerin çoğu lipofiliktir. Bu özellikleri sayesinde lipit zarlardan geçip lipoproteinler aracılığıyla vücut sıvılarında taşınabilmektedirler. Biyotransformasyon tepkimelerinde lipofilik ana bileşik daha hidrofilik ve daha polar hale dönüştürülür. Hidrofilik bileşikler daha fazla polar olup genelde yağda daha az çözünürler, daha zehirsizdirler. İlaveten hücre zarından daha az geçtiklerinden dokularda birikimleri daha azdır (Leblanck and Dauterman 2001).

Biyotransformasyon olayları çoğunlukla Faz I ya da asentetik ve Faz II ya da sentetik olarak farklı aşamalarda gerçekleşir. Birincil aşama metabolitlerin oluşması aşaması, ikincil aşama daha az toksik ve daha hidrofilik olan konjugantların meydana gelme aşamasıdır (Parlak vd 2011).

Faz I süresince, moleküllere polar gruplar katılır böylece molekülün suda çözünürlüğü artırılır ve ksenobiyotik Faz II reaksiyonlarına müsait bir hale getirilir (Heath 1995). Genelde Faz II'de Faz I aşamasında oluşmuş metabolitler hücredeki taurin, sülfat, glukuronid ya da glutatyon gibi moleküllerle birleşir ve böylelikle yabancı maddelerin dönüşümü sağlanmış olur. Birleşim sayesinde hidrofilik bileşikler oluşturulmuş ve toksik maddenin daha aktif olması engellenmiş, hücredeki toksik etkisi azaltılmış ve maddenin boşaltım yoluyla atılımı kolaylaştırılmış olur.

Birleşme aşamalarında lipofilik bileşiklerin oluşması da muhtemeldir. Bu halde organizmanın yağ dokularında ksenobiyotikler birikir ve vücuttan atılmaları uzar (Leblanck and Dauterman 2001). Birleşme olayları sırasında bazen ara ya da son bileşik esas bileşikten oldukça toksik de olabilir, bu ise intoksikasyon ya da aktivasyon mekanizmasıdır. Ayrıca Faz I aşamaları da hücrelerarası büyük moleküller ile etkileşen ve toksisiteye neden olan oldukça reaktif metabolitler de üretebilir (Leblanck and Dauterman 2001).

Faz I ve Faz II aşamalarında oluşan bileşiklerin hücreden uzaklaştırılması zar proteinleri aracılığıyla kolaylaştırılmış aktif taşımayla olmaktadır. Bu işleme çoğunlukla Faz III detoksifikasyon/eliminasyon işlemi denmektedir (Heath 1995; Leblanck and Dauterman 2001).

1.6. Balıklarda Histopatolojik İncelemeler

Balıklarda kimyasal kirleticilere maruz kalma sonucunda değişik organlarda lezyonlar oluşmaktadır. Daha yüksek seviyelerdeki cevaplardan çok önce oluşan hücre ve molekül seviyesindeki yanıtların değerlendirilmesi özellikle çevrenin kalite analizlerinde öncelikli bir ikaz olarak görülmektedir (Cajaraville *et al.* 2000; Lam and Gray 2003). Biyobelirteç genelde yabancı maddelerin etkisine karşılık olarak hücrelerde, dokularda, organ ya da vücut sıvılarında meydana gelen biyolojik olarak çeşitli değişikliklere sebebiyet veren her türlü cevabın kantitatif olarak ölçümü şeklinde nitelendirilir. Hayvan dokularındaki histopatolojik değişiklikler de çevresel strese sebep olan etkenlere maruz kalmanın öncelikli göstergeleridir (Teh *et al.* 1997). Histopatolojik çalışmaların temeli toksik maddeye duyarlılık, hedef organ ve etki mekanizmasının şekline dayanır. Histopatolojik çalışmaların avantajlarından birkaçı şunlardır:

- Histopatolojik yöntem özellikle kronik çalışmalarda değişik doku ve organlarda etkinin araştırılmasında en hızlı metottur.
- Histopatolojik değişiklikler ani değişiklikler olmadığından gerçekçi sonuçları yansıtır.
- Histopatolojik yöntem, spesifik hücre lezyon tiplerinin tanımlanmasında diğer yöntemlere göre daha hızlıdır.
- Histopatolojik yöntem diğer yöntemlerden daha hızlı bir şekilde hasarın olduğu birçok bölgeden örnek almaya olanak tanımaktadır.
- Histopatoloji saha çalışmalarında da en uygun yöntem olarak bilinmektedir. Doğada kolay yakalanamayan ya da yetiştiriciliği yapılamayan türlerde yapılan çalışmalarda balığın ölüm sonrası incelenmesine imkân sağladığından histolojik analiz biyokimyasal analize göre daha avantajlıdır.

- Histopatolojik yöntemde örneğin hemen incelenmesi gerekmez. Balıklarda Bouin's fiksatif ve nötral %10 formalin gibi uygun saklama yöntemleri kullanılarak, sonradan inceleme yapıp tüm organların değerlendirilebilmesine olanak sağlar (Teh *et al.* 1997).
- Biyokimyasal olarak değerlendirilemeyecek kadar küçük olan örneklerde, yumurta ve larvaların gözlenmesinde histopatoloji kolaylıkla kullanılabilir (Hinton and Lauren 1990).

Toksikolojik çalışmalarda en sağlıklı yöntem, organizmada oluşabilecek tüm yanıtların çok yönlü (biyokimyasal, histopatolojik, hematolojik vb.) olarak değerlendirilmesidir. Tüm diğer yöntemlerde olduğu gibi histopatolojinin de sınırları bulunmaktadır. Örneğin, histopatolojik çalışma için örneğin öldürülmesi gerekmektedir. Ayrıca eğer türün normal histolojik yapısı önceden bilinmiyorsa histopatolojik değerlendirmelerde hata olabilmektedir.

1.7. Toksik Ajan Etkilerinin Yaygın Biyobelirteçleri

Hücre, doku ya da organların patolojik değişimleri, toksik ajanlara maruz kalmaya işaret edebilir ve bu ajanların etki mekanizmalarını gösterebilir. Çoğunlukla, bu lezyonlar, özgül hedef organda toksik madde taşınımı, birikimi ya da aktivasyonun bir sonucudur.

Nekroz

Nekroz, bir dokuda veya hedef organda hastalık ya da hasar nedeniyle bölgesel ya da yaygın ölen hücreler grubudur. Nekrotik hücrelerin sitoplazması, canlı hücrelere göre daha asidofiliktir (eozinofilik). Nekroz, hücrenin bir dokuda normal yerinden ayrılması veya yer değiştirmesi ile gösterilebilir (Meyers and Hendricks 1985). Örneğin, hücre solungaç epitelinden veya arter duvarından ayrılması ile ayrıca mitokondrinin şişmesi ve sitoplazmada daha fazla granül görülmesi ile gösterilebilir. Çeşitli hasarlardan sonra farklı nekroz tipleri ortaya çıkar. Bunlardan pıhtılaşma nekrozu hücreyi renksiz hale getiren, sitoplazmik proteinin yoğun bir şekilde çökmesi ile tanınır ve sitotoksiste için iyi bir biyobelirteç olarak görülür (Hinton and Lauren 1990).

Yangı

Yangı çoğunlukla toksik ajanla indüklenmiş nekroz ile ilişkilidir. Hasar görmüş alanda kan damarları alana kan akışını artırmak için genişler. Kandan sıvının yangılı dokulara geçmesi sonucu doku şişer ve ağrı oluşur. Örneğin akyuvarlar kan damarlarından ayrılır ve hasarlı doku alanına girerler. Sonuç olarak, bu gibi hücrelerin (nötrofilik granülositler ya da nötrofiller, tek nükleuslu hücreler ve lenfositler) sızması, yangının gerçekleştiğinin göstergesidir. Sonraki aşamada granülasyon dokusu olarak bilinen bir kitle içinde bağ dokusu gelişmeye ve küçük kan damarları oluşmaya başlar (La Via and Hill 1971). Hasarlı dokunun fibroblast ve kollojen sızdırmasının bir sonucu olarak yara dokusu oluşabilir (Sparks 1972). Eğer yangı kronik hasar veya enfeksiyonun bir sonucu olarak çok uzun süre devam ederse, kollajen bağ dokunun yoğun tabakaları oluşur ve bu ise doku işlev bozukluğuna neden olabilir. Bu birikimler kronik yangı için iyi biyobelirteçler olarak işlev görebilirler.

Piknoz

Nekrozun en bariz kanıtlarından biri olan piknoz, hücrenin nükleusu ile ilgilidir. Piknozda nükleusta kromatin dağılımı, bu materyalin kuvvetli boyanan, bazofilik bir kütle içine yoğunlaşması ile değişmekte ve nükleus düzensiz bir şekil almaktadır (Sparks 1972). Piknozu daha sonra çoğunlukla nükleus parçalanması olan karyolizis izler.

Apoptoz

Apoptoz programlanmış hücre ölümüdür ve toksik ajan etkisinin kullanışlı bir biyobelirteçidir (Sweet *et al.* 1999). Apoptoz ile kromozomlar yoğunlaşır ve sitoplazma büzülür, büzülen hücrenin şekli düzensizleşir ve bu hücre bitişik hücrelerden ayrılır (Plaa and Charbonneau 2008). Apoptik hücre apoptik cisim adı verilen membran-bağlı parçalara ayrılabilir. Apoptoz tek hücrede ortaya çıkar fakat nekroz, etkiye maruz

kalmış dokuda çok sayıda ölü hücre kümelerini kapsar (Plaa and Charbonneau 2008). Bu nedenle apoptoza uğramış hücrelerin görünümü nekrotik hücrelerden farklıdır.

Hasara uğramış ya da başka bir risk altındaki bir hücre, onun ölümü ve dokudan uzaklaştırılması için programlı bir biyokimyasal basamaklar zincirine başlarsa, apoptoz meydana gelir. Bu süreçte özel bir proteaz sınıfı olan kaspaz enzimlerinin aktivasyonu vardır. Apoptoz kaspazların aktivasyonu ve mitokondri membranının potansiyelinin bozulması ile başlar (Sweet *et al.* 1999; Plaa and Charbonneau 2008). Daha sonra hücre kalsiyum, potasyum ve su geçişi bakımından değişime uğrar. Hücrelerarası bağlantılar ve yüzey uzantıları kaybolur. Sonuçta, hücrenin kromatini yoğunlaşır, DNA parçacıkları ve apoptik cisimler oluşur (Sweet *et al.* 1999).

Apoptoz, nekroza neden olandan daha düşük toksik madde miktarlarında görülebilir. Bu nedenle, düşük düzeydeki toksik ajanın etkilerini belirlemek için çok iyi bir biyobelirteç olarak görülür (Sweet *et al.* 1999; Plaa and Charbonneau 2008). Nekrozun aksine, normalde apoptoz ile birlikte yangı oluşmaz.

Diğer Genel Etkiler

Toksik ajanların diğer birkaç genel etkileri hücrelerde ve dokularda gözlenmektedir.

Mitokondrinin şişmesi, metal kontaminasyonu (Aloj Totaro *et al.* 1986) ya da zehirlenmesi (Squibb and Fowler 1981) ile ilişkilendirilmektedir.

Lipofuksin, hücre vakuollerinde biriken artık cisimcik olarak adlandırılır ve proteinler ile lipit peroksidasyonunun yıkım ürünlerinin bir karışımıdır (La Via and Hill 1971). Hücre sitoplazmasında açık sarı-kahverengi granüller olarak görülürler. Birikmiş lipofuksin toksik ajan etkilerinin yaygın bir biyobelirtecidir. Lipofuksin ayrıca bazı toksik maddelere maruz kalma ile de artmaktadır. Örneğin, elektrik balığı (*Torpedo marmorata*) nöronlarında lipofuksin granüllerinin bakıra maruz kalma ile arttığı bildirilmiştir (Aloj Totaro *et al.* 1986).

Metalce zengin granüller, bir diğer biyobelirteçlerdir. Hepatopankreas, solungaçlar ve böbrek dokularında metalce zengin granüllerin aşırı yoğunluğu, metale maruziyetin genel bir detoksifiye edici yanıtını ifade etmektedir (Correia *et al.* 2002; Bonneris *et al.* 2005). Diğer bazı patolojik değişiklikler ise şöyledir:

Hiperplazi: Bir organ ya da dokunun hücre sayısındaki artış sebebiyle büyümesidir.

Hiperemi: Arteriyel damarların dilatasyonu sonucu bir bölgeye arteriyel kanın fazlaca gelmesi olayıdır.

Pasif Hiperemi: Venöz kanın dönüşünün engellenmesi veya dokuların bir bölgesinde ya da tamamında birikmesi olayıdır.

Branchitis: Solungaç yangısıdır.

Yağ dejenerasyonu: Hepatositlerde keskin kenarlı, irili ufaklı vakuoller bulunur ve hücre çekirdeği kenara itilmiştir.

Telangiektazi: Kılcal damarlarda dilatasyondur.

1.8. Genotoksik Etki

Sucul ekosistemde pestisitler, endüstriyel atıklar ve ağır metaller gibi kirleticiler sucul organizmalarda DNA’da değişime yol açabilir ve bu sırada hücreleri ve dokuları etkileyebilirler. Ekosistemdeki kirleticilere maruziyet sonucunda sucul canlılarda görülen etkiler, DNA hasarına neden olan bileşiklerin ekosistem üzerinde geri dönüşümsüz toksik etkilere yol açabileceğini gösteren önemli bir bulgu olarak kabul edilmektedir (David 2009) ve bu etkiler genellikle biyobelirteç olarak kullanılmakta, mutasyon veya kanser gibi bireysel seviyede sonuçlar için bir mekanizma sağlamaktadır.

Genotoksik etki, mutasyona neden olan genotoksik maddelerin DNA’da değişimlere yol açması veya hasar meydana getirmesidir. Genotoksik maddelerin DNA’da meydana getirdiği hasarlar; baz modifikasyonları, baz kayıpları, tek veya çift zincir kırılmaları, DNA zincirleri arasındaki veya DNA ile proteinler arasındaki çapraz bağ oluşumlarıdır.

DNA molekülünde hasara yol açan ajanlar, DNA’daki etkilerini direkt DNA’yı etkileyerek veya metabolitleri aracılığıyla DNA hasarına sebep olarak, reaktif radikal oluşumu gibi sekonder etkiler aracılığıyla DNA hasarını indükleyerek veya DNA sentezini ve onarımını inhibe ederek gösterirler. Ancak genotoksik etki mekanizması bu şekilde olsa da, birçok bileşiğin etkisi birden fazla mekanizmanın ortak sonucu olarak ortaya çıkar. Örneğin; iyonik yapılı Hg bileşikleri doğrudan DNA’yı etkileyerek zincir kırılmalarına neden olurken aynı zamanda DNA onarım mekanizmalarını da inhibe etmektedir (David 2009).

Sucul canlılar yaşadıkları ortam sebebiyle genotoksik etkili maddelere doğrudan maruz kalırlar. Son yıllarda sucul ortamlardaki toksik kimyasalların genotoksik etkilerinin özellikle balıklar üzerinde incelenmesi giderek artmıştır. Sucul ekosistemdeki genotoksisite çalışmalarında genotoksik kimyasallarla kirlenmiş içme sularının insanlarda oluşturabileceği hasarın önceden belirlenmesinde ve insanlar için olası kanserojen ve teratojen maddelerin belirlenmesinde genotoksik maddelere karşı yüksek omurgalılara benzer tepkiler vermeleri nedeniyle sucul canlılardan özellikle balıklar tercih edilmektedir (Da Rocha *et al.* 2009).

Balıkların maruz kaldığı genotoksik maddelerin DNA’da oluşturabilecekleri hasarlar DNA onarım sistemleri tarafından tamir edileceği gibi, onarılmadan kalan mutasyonlar olarak da hücrede varlıklarını sürdürebilirler. Meydana gelen hasarlar somatik ve genetik riskleri de artırabilir. Somatik risk, somatik hücrelerdeki genetik hasardan kaynaklanan ve sadece maruz kalan bireye olumsuz etkinin olduğu bir riskken (örneğin kansere yol açan hasar gibi), genetik risk, genetik hasarın bir sonucu olarak maruz kalan bir bireyin dölündeki risktir (örneğin gametlerde olan hasar kusurlu ya da hayatta

kalması imkânsız olan yavruya yol açabilir). Eğer oluşan hasarlar onarılamayacak veya tolere edilemeyecek kadar büyük ise ölüm ile sonuçlanacak bir sürece doğru gidilebilir.

Balıklarda genotoksik etkinin sonucu olarak protein yıkımına sebep olabilecek enzim fonksiyon bozuklukları, metabolik problemler, immunolojik etkiler, adaptasyon bozuklukları, canlı embriyo, larva ve yetişkin sayısının ve üremenin azalması gibi fonksiyon bozukluklarının yanı sıra tümör oluşumu da görülebilmektedir (Kurelec 1993; Galindo *et al.* 2002; Yang *et al.* 2006). Özellikle balıklarda görülen ksenobiyotik kaynaklı tümörlerde, *ras* geninde karakteristik mutasyonların bulunduğu saptanması, genotoksik bileşiklere maruziyet ile kanser oluşumu arasındaki bağlantıyı göstermesi açısından önemli bir bulgudur (Schlenk and Benson 2001).

Balıklarda genotoksik etkinin doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi birçok faktörün göz önünde bulundurulmasını gerektirir. Sucul organizmaların kirleticilere çoğunlukla kompleks karışımlar şeklinde maruz kalmaları genotoksik bileşiklerin bireysel olarak DNA’da oluşturdukları hasar çeşidinin saptanmasını zorlaştırmaktadır (David 2009). Ayrıca, sucul ekosistemde pro-genotoksikant olarak adlandırılan krizoidin gibi çoğu bileşiğin metabolik aktivasyon sonucu genotoksik etki potansiyeli kazandığı bilinmektedir. Balıklarda biyotransformasyonla ilgili verilerin kısıtlı olması nedeniyle, bu bileşiklerin genotoksik etki potansiyellerinin değerlendirilebilmesi de oldukça zordur. Üstelik çevresel koşullar, mevsimsel değişimler ve hormonal durum gibi faktörler de biyotransformasyonda görev alan enzim sistemlerini etkileyerek bileşiklerin biyoaktivasyon ve detoksifikasyonunu büyük oranda değiştirebilmektedir (David 2009). Bunların yanı sıra tür duyarlılığı da genotoksik etkinin değerlendirilmesinde önemlidir. Grisolia *et al.* (2009), mitomisin C ve siklofosfamid gibi genotoksik etkili oldukları bilinen bileşiklere aynı koşullarda maruz bırakılan farklı balık türlerinde oluşan DNA hasarını incelediklerinde, bileşiklerin genotoksik etkilerine karşı *Tilapia rendalli*’nin en duyarlı tür olduğunu ve *Cyprinus carpio*’nun ise diğer türlere göre daha dayanıklı olduğunu bildirmişlerdir.

Genotoksik hasarların tespit edilmesinde DNA zincir kırılmaları, kromozom aberasyonları ve mikroçekirdek frekansının ölçülmesi gibi parametrelerden yararlanılmaktadır. Sucul ekosistemdeki genotoksisite çalışmalarında, memeli türleri için hazırlanmış genotoksisite testleri çeşitli şekillerde uyarlanarak *in vivo* ve *in vitro* koşullarda uygulanmaktadır. Memelilerde DNA hasarının değerlendirilmesinde sıklıkla tercih edilen ve balıklarda da uygulanabilirliği olan testler kromozom aberasyon testi, mikroçekirdek testi, kardeş kromatit değişim testi, tek hücre jel elektroforez yöntemi yani comet yöntemi ile Ames testi ve *Escherichia coli* testi gibi bakteriyel testlerdir. Kardeş kromatid değişimi ve kromozomal aberasyon gibi metafaz tekniklerinin balıklarda uygulanması yine de pratik açıdan çok kullanışlı değildir. Çünkü balıklar memelilere göre çok daha küçük ve fazla sayıda kromozoma sahiptirler ve balık karyotipi daha düzensiz bir yapıdadır (Çavaş 2010).

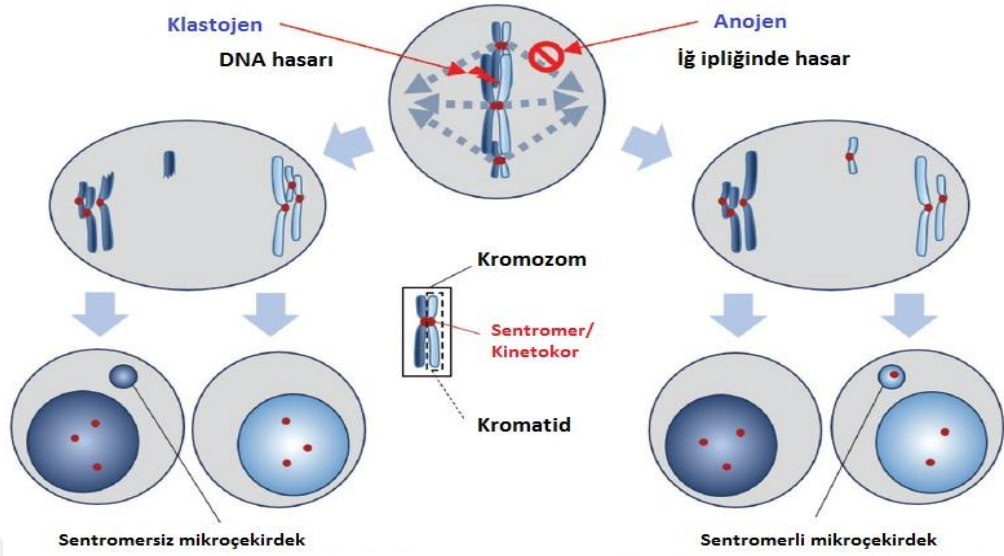
Bu çalışmada balıklar üzerindeki olası genotoksik etkiler kan dokuda mikroçekirdek yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Sitogenetik metodlar arasında en kolay olması özellikle balıklar üzerinde kullanılabilirliğinin uygun olması nedeni ile mikroçekirdek testi tercih edilmiştir.

Mikroçekirdek testi fiziksel ve kimyasal ksenobiyotiklerin yol açtığı genotoksik hasarların *in vitro* ve *in vivo* olarak tespit edilmesinde sıklıkla kullanılan bir testtir. Mikroçekirdek testinin birçok hücre tipine uygulanabilir hızlı ve ucuz bir test sistemi olması, elde edilen verilerin çok sayıda olması sebebiyle istatistiksel yönden güçlü olması, klastojen ve anojen maddelerin ayırımına ayrıca apoptoz ve nekrozun görülmesine ve hücre proliferasyon oranının belirlenmesine olanak sağlaması (% çift çekirdekli hücre oranı) gibi birçok avantajı vardır. Buna karşın, tüm yapısal kromozom aberasyonlarının belirlenememesi, mikroçekirdek ifadesi için hücrenin bir bölünme geçirmesi gerektiği de bu test metodunun dezavantajları arasında sayılabilir (Çavaş 2010).

Mikroçekirdekler, mitoz bölünme sonunda ana çekirdeğe dâhil olmayan tam kromozom veya kırık kromozom parçalarından oluşan sitoplazma içerisinde bulunan küçük

çekirdekçik görünümündeki oluşumlardır. Mikroçekirdekler genellikle hücre döngüsünü kontrol eden genlerdeki eksikliklerden, mitotik iğ ipliğindeki hatalardan, kromozomal hasarlardan kaynaklanmaktadır. Anöploidiyi uyaran anojenler, sentromer bölünme hatalarına ve iğ ipliklerinde fonksiyon bozukluklarına yol açarak; klastojenler ise kromozom kırıkları oluşturarak mikroçekirdek oluşumuna neden olurlar. Bir kimyasal ajan hücre döngüsünün farklı evresini etkileyerek kromozom ya da kromatid tipi kırıklara neden olabilmektedir. Ajan mitoz bölünmenin Go ya da G1 evresini etkilerse kromozom tipi kırık, S ya da G2 evresini etkilerse kromatid tipi kırık oluşur. G1 evresinde sadece bir kromatidde bir kırık meydana gelir ve S evresi boyunca devam ederse, metafazdan sonra her iki kromatidde kırık oluşur ve böylece kromozom tipi kırık meydana gelir. Bu kırık tekrar birleşmezse delesyonlu bir kromozom ve asentrik bir parça meydana gelir. Asentrik parçalar ise ya metafazda kaybolmakta ya da anafazda mikroçekirdekleri oluşturmaktadır (Conner and Smith 1993) (Şekil 1.4).

Genotoksik etki sonucunda hücre bölünmesinin metafaz evresinde gözlenebilen kromozomlardaki kırık parçalar ya da tam olarak iğ ipliğine bağlanamayan tam kromozomlar, anafazda kutuplara çekilemezler. Bu nedenle ortada kalan tam kromozom ve kromozom parçaları telofazda ana çekirdek içerisine dâhil olamazlar. Bu yapılar hücre bölünmesi sonunda ana çekirdeği oluşturacak diğer kromozomlar ile tekrar kromatin hale dönüştüklerinde, sitokinezle oluşan kardeş hücrelerden birinde ana çekirdek yanında ikinci bir küçük çekirdek (mikroçekirdek) halinde kendilerini gösterirler (Çavaş 2010). Anojenlerin etkisiyle oluşan mikroçekirdekler tam bir kromozom içerebileceğinden daha büyük hatta hücre çekirdeğine çok yakın bir büyüklükte olabilir. Klastojenler kromozom kopması veya parçalanmasına sebebiyet verdikleri için bu tip maddelere maruz kalan hücrelerde oluşan mikroçekirdekler genellikle daha küçük boyutlu olabilmektedir (Şekeroğlu ve Şekeroğlu 2011).



Şekil 1.4. Mikroçekirdek oluşumu (Anonim 2018e)

Mikroçekirdek sayısındaki artış, çeşitli ajanların hücrelerde oluşturduğu kromozom sayı ve yapı düzensizliklerinin dolaylı göstergesi yani somatik hücrelerdeki genomik kararsızlığın bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Türkez 2007). Hücre sayımında mikroçekirdek yanında görülen diğer eritrositik çekirdek anormalliklerinin de genetik hasar belirtici olarak kullanılabileceği ileri sürülmüştür (Carrasco *et al.* 1990). Bunlar sitokinez hatalarına bağlı olarak oluşan ve sitotoksik etkinin göstergesi olarak kabul edilen çift çekirdek, kromozom kırılmalarına bağlı gen amplifikasyonu sonucu oluşabilen tomurcuklu çekirdek, net olarak mekanizmasının bilinmediği çentikli çekirdek ve loplü çekirdek gibi anormalliklerdir. Yapılan çalışmalarda lop ve tomurcuklanma gibi çekirdek anormalliklerinin genotoksik etki sebebiyle görüldüğü ve bunların yeni mikroçekirdek oluşumunda temel oluşturabileceği bildirilmiştir. Shimizu *et al.* (1998), amplifiye edilmiş DNA'nın hücre döngüsünün S fazında çekirdeğin dış kısımlarına doğru itilip, buradan çekirdek tomurcuklanması ile bir mikroçekirdek oluşturmak üzere atıldığını göstermişlerdir. Sonraki aşamada ise bu mikroçekirdek bir mini-hücre oluşturmak üzere sitoplazmadan uzaklaştırılmaktadır. Oluşan tomurcuklar mikroçekirdek ile aynı morfolojik görünüme sahiptirler. Aradaki tek fark oluşan lob ve tomurcukların oluşum aşamalarına bağlı olarak ana çekirdeğe büyüklüğü ve kalınlığı değişebilen bir nükleoplazmik sapla bağlı olmalarıdır.

1.9. Oksidatif Stres ve Antioksidan Sistem

Canlılarda kimyasal süreçler, özellikle de oksitlenme, serbest radikallerin oluşmasına neden olur. Serbest radikallerin oluşması ile antioksidan sistem arasındaki kararsızlık oksidatif stres şeklinde yorumlanır.

Serbest radikaller, bir veya daha fazla eşleşmemiş elektrona sahip, kısa ömürlü, kararsız, molekül ağırlığı düşük ve reaktif özelliğe sahip moleküller olarak tanımlanmaktadır (Abdollahi *et al.* 2004). Serbest radikallerde, negatif yüklü elektron sayısı çekirdekteki pozitif yüklü proton sayısına eşit olmadığından kararlı moleküller değildir ve elektron konfigürasyonlarını pozitif yükle dengelemeleri gerektiğinden çok reaktiftirler.

Organizmada serbest radikallerin oluşum hızı ile bunların elimine edilme hızı arasında bir denge vardır ve bu durum oksidatif denge olarak adlandırılmaktadır. Oksidatif denge sağlandığı sürece organizma, serbest radikallerden etkilenmemektedir. Bu radikallerin oluşum hızındaki bir artış ya da ortadan kaldırılma hızındaki bir düşüş bu dengenin bozulmasına yol açarak oksidatif strese neden olmaktadır (Serafini and Del Rio 2004).

Biyolojik sistemlerdeki en önemli serbest radikaller, oksijen atomundan oluşan radikallerdir. Moleküler O_2 'nin H_2O 'ya indirgenmesi reaksiyonu sırasında kısmi redüksiyonla çok sayıda reaktif ürünler oluşabilir (Alp 2005). Oksijenin toksik etkisi elektron ve enerjinin oksijen molekülüne transferinden kaynaklanmaktadır. Bu olaylar sırasında oluşan toksik bileşiklere reaktif oksijen metabolitleri adı verilmektedir (Çizelge 1.2). Oksijen radikali serbest elektronunu eşleştirmek için başka bir molekülden elektron aldığı anda diğer molekülü kararsız hale getirir ve bu durum o molekülün de elektronik düzenini sağlaması için komşu bir molekülden elektron almasını gerektirir. Sonuçta serbest radikaller canlı vücudunda önemli moleküllerde hasar oluşturan zincirleme bir seri reaksiyonun başlamasına neden olabilmektedirler. Yüksek derecede reaktif olan serbest radikaller farklı moleküllerle rahatlıkla reaksiyona girebilir ve böylece hücrelere, canlıya zarar verebilir. Gerek radikal gerekse radikal

olmayan reaktif oksijen türleri başta proteinler, lipidler ve DNA olmak üzere tüm biyomoleküllerin zarar görmesine, böylece hücresel fonksiyonların aksamasına ve nihayetinde organizmanın ölümüne neden olmaktadır (Lee *et al.* 1999).

Çizelge 1.2. Reaktif oksijen türleri (Halliwell 1996)

Reaktif Oksijen Türleri	
Radikaller	Radikal olmayanlar
Süperoksit	Hidrojen Peroksit
Hidroksil	Singlet Oksijen
Peroksil	Hipoklorik Asit
Alkoksil	Hipobromik Asit
Perhidroksil	Ozon

Çevresel kirleticilerden kaynaklanan reaktif oksijen türleri sucul canlıların hücrelerinde yapısal ve fonksiyonel değişikliğin yanı sıra biyokimyasal parametrelerde de değişikliğe yol açabilmektedirler (Parvez and Raisuddin 2005). Oksidatif stres durumunda balıkların yüksek oranda çoklu doymamış yağ asidi içermelerinden dolayı doku ve hücre zarlarının kolay bir şekilde okside olabileceği belirtilmektedir (Mendes 2009).

Antioksidan savunma sistemleri veya antioksidanlar, reaktif oksijen metabolitleri oluşumunu ve bunların meydana getirdiği hasarı önleyici savunma mekanizmalardır (Çizelge 1.3). Antioksidanlar serbest radikallerle reaksiyona girerek radikallerin hücrelere zarar vermelerini önler. Bu şekilde hücrelerin anormalleşme ve tümör oluşturma risklerini azalttıkları gibi, hücre yıkımını da azaltarak daha sağlıklı bir hayat yaşama şansını yükseltirler. Bütün canlıların oksidatif stresten korunması antioksidan sistemle alakalıdır (Nagai *et al.* 2005). Antioksidanların etki şekilleri şöyledir:

- Oluşmuş serbest radikalleri tutma ya da daha zayıf bir moleküle çevirme (toplayıcı etki)
- Serbest radikallerle etkileşerek onlara bir H^+ aktarma ve inaktif hale dönüştürme (baskılayıcı etki)
- Serbest radikalleri bağlayarak reaksiyonun zincirini kırma (zincir kırıcı etki)
- Molekülde oluşan hasarı tamir etme (onarıcı etki)

Çizelge 1.3. Antioksidanlar (Halliwell and Gutteridge 1989)

Endojen Antioksidanlar			Ekzojen Antioksidanlar	
Enzimatik	Enzimatik Olmayan		Doğal	Sentetik
Glutasyon peroksidaz	Lipid fazda bulunanlar		Vitamin A	Oktil gallat
Glutasyon redüktaz	α -tokoferol	β -karoten	Vitamin C	Dodesil gallat
Glutasyon-S-transferaz	Sıvı fazda bulunanlar		Vitamin E	Propil gallat
Hidroperoksidaz	Albumin	Hemoglobin	Flavonoidler	Troloks
İzositrat dehidrojenaz	Askorbik asit	Ferritin		Etoksikuin
Katalaz	Bilirubin	Laktoferrin		3-oksi piridin
Süperoksit dismutaz	Glutasyon	Transferrin		Antabuse
Sülfonil transferaz	Melatonin	Seruloplazmin		Sodyum benzoat
Glukoz-6-fosfat dehidrojenaz	Ürat	Sistein		Bütil hidroksi tolüen
Mitokondrial sitokrom oksidaz	Miyoglobin	Metionin		Bütil hidroksi anizol

Farklı oksidan ve antioksidan türlerinin serum ya da plazma seviyeleri tek tek laboratuvarında ölçülebilir, ancak bu ölçümler hem çok zaman alır hem de çok pahalı ve oldukça karmaşık teknikler gerektirir. Bir örneğin toplam oksidan seviyesi (TOS) hazırlanan kitlerle ölçülür ve bu total peroksit (TP) veya serum oksidasyon aktivitesi (SOA) gibi adlarla isimlendirilir. Aynı şekilde bir örneğin toplam antioksidan seviyesi (TAS) hazırlanan kitlerle ölçülür ve bu toplam antioksidan yanıt, total antioksidan kapasite (TAK), toplam antioksidan aktivite (TAA), toplam antioksidan güç (TAOP) gibi ifadelerle isimlendirilir (Erel 2004).

Antioksidan savunma sisteminde, sistemin tüm bileşenleri reaktif oksijen türlerine karşı bir sinerji oluşturacak şekilde görev alır (Chaudiere and Ferrari-Illiou 1999). Kanda oksidan ve antioksidanların bir kısmının bir arada etki etmesi sonucu her birinin tek başına oluşturduğundan daha fazla oksidan ve antioksidan etki ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle total oksidan/antioksidan dengenin belirlenmesi için oksidan ve antioksidanların tek tek ölçümünün yapılması yerine TOS ve TAS ölçümünün daha yararlı olabileceği bildirilmektedir (Erel 2004). Çalışmamızda da biyokimyasal analiz için TAS ve TOS ölçümünden yararlanılmıştır.

Bu çalışmada Doğu Anadolu Bölgesi'nin en önemli nehirlerinden biri olan Karasu Nehri araştırma bölgesi olarak seçilmiştir. Su ekosistemlerinin coğrafik farklılıkları ile

suyun kimyasal parametreleri ve çeşitli çevresel etkiler balık türleri üzerinde değişimlere neden olabildiğinden bu ekosistemdeki tatlı su balık faunasının biyolojik özellikleri kapsamında metrik ve meristik özelliklerinin belirlenmesi ihtiyofauna açısından önemli olacağı düşünülerek araştırılmış, nehirden alınan su ve sediment numunelerinin analizleriyle insan kaynaklı faaliyetlerden dolayı nehirde olası ağır metal kirliliğinin tespit edilmesi ve bu kirliliğin nehrin balık popülasyonuna olan etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla nehrin doğal faunasında bulunan balıklardan *Capoeta capoeta*, *Alburnus mossulensis* ve *Squalius cephalus* türleri seçilen 4 istasyondan 2015-2016 yıllarında aylık olarak yakalanarak sistematik, anatomik, biyokimyasal, toksikolojik ve histolojik açıdan incelenmiştir.

Çalışma, biyo-ekolojik özellikleri göz önünde bulundurularak incelenen Karasu Nehri balık popülasyonunun çevre değişiminden nasıl etkilendiğini ve kirliliğinin sucul canlılarda ne gibi hasarlara yol açtığını gözler önüne sermesi bakımından önemlidir. Çalışmanın türlerin ekolojisine ve sucul ekosistemlerin korunup sürdürülebilir şekilde kullanımına önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bhatnagar *et al.* (2007) 30, 60, 90 ve 120 gün süreyle 15 mg/l sodyum floride maruz bırakılan bir tür ticari tatlı su balığı *Labeo rohita* türünde yaptıkları incelemelerde organlarda çeşitli hasarlar tespit edildiğini bildirmişlerdir. Çalışmada solungaç lamellerinde kütleşme ve hiperpilazi; böbrekte Bowman kapsülünde büyüme, sitoplâzma vakuol oluşumu, glomerulus kılcalında ve böbrek tübüllerinde büzülme; bağırsakta yağlanma ve villüslerde füzyon bildirilmiştir.

Saygın (2007) Muş ili sınırları içerisinde, Karasu Çayı'nda yaşayan tatlısu kefalinin bazı büyüme ve üreme özelliklerini araştırmıştır. İncelenen balıkların yaşları I-VIII; çatal boyları 7,3-40,5 cm; toplam vücut ağırlıkları 4,8-1002,5 g arasında belirlenmiştir. Kondisyon, populasyon genelinde 0,928-1,848 arasında değişmiş, üreme zamanı ise GSI değerine bakılarak mayıs-temmuz olarak belirtilmiştir.

Yıldırım vd (2007) Karasu Nehri Aşkale Mevkii'nden yakalanan *Chalcalburnus mossulensis*'de cinsiyet oranı, üreme mevsimi, ilk olgunluk, yumurta verimi gibi üreme özelliklerini araştırmışlardır. Yumurta verimi ile boy, ağırlık, gonad ağırlığı ve yaş arasında korelasyonlar bulunmuştur. İlk olgunluk yaşı ve boyu erkek için sırasıyla, 1,26 yıl, 9,24 cm ve dişi için 1,81 yıl, 9,65 cm olarak hesaplanmıştır.

Kırankaya ve Ekmekçi (2007) Gelingüllü Baraj Gölü'nün doğal balık türlerinden tatlısu kefalinin büyüme özelliklerini incelemişlerdir. Örneklerin yaş dağılımı I-V arasında değişmiştir. Örneklerin çatal boy ve ağırlık değerleri incelenen yılın birinci döneminde sırasıyla 12,2-30,6 cm ve 33-421 g arasında; ikinci döneminde 11,9-31,2 cm ve 32-600 g arasında bulunmuştur. Kondisyon faktörü değerleri ise 0,85-1,98 ve 0,68-1,98 arasında hesaplanmıştır.

Koca *et al.* (2008) su kirliliğinin Büyük Menderes Nehri'nden alınan *Barbus capito pectoralis* ve *Chondrostoma nasus* türleri üzerine genotoksik ve histopatolojik etkilerini

araştırmışlar, yüzey suyunun yüksek metal miktarının solungaç ve karaciğerde patolojik bozukluklara yol açtığını bulmuşlardır. Solungaç lamellerinde kısılma ve balonlaşma, sekonder lamellerde füzyon ve proliferasyon ile sistik yapılar; karaciğerde parankima hücrelerinde şişme ve kopma, vakuolizasyon, fokal nekroz, kupfer hücrelerinin sayısında artış gibi patolojik anormallikler bildirilmiştir. Mikroçekirdek frekansının ise istasyonlar arasında önemli farklılıklar göstermediği bildirilmiştir.

Mishra and Mohanty (2008) *Channa punctatus*'ta akut krom maruziyetinden sonra meydana gelen davranış değişikliklerini, solungaç, böbrek ve karaciğer histopatolojilerini araştırmışlardır. Çalışmada balıklarda yüzmede düzensizlik ve uyuşukluk gözlemlenmiştir. Solungaçlardaki değişiklikler, epitelde hiperplazi, lamellerde füzyon, ödem, nekroz, deskuamasyon, anevrizma, sekonder lamellerde kıvrılma olarak karakterize edilmiştir. Böbrekte tübüllerin lümenlerinde daralma ile hücrelerinde hipertrofi, tübülde atrofi, glomerulus kılcalında kontraksiyon, hematopoetik dokuda nekroz, vakuol oluşumu görülürken karaciğerde sitoplazmik vakuolizasyon, hepatositlerde atrofi, sinuzoidal boşlukta artış görülmüştür. Akut krom toksisitesinin balık popülasyonunun sağlığı için zararlı olduğu, hayati organları ve normal davranışları ciddi şekilde etkilediği rapor edilmiştir.

Lenhardt *et al.* (2009) Eylül 2002'den Ağustos 2003'e kadar Danube Nehri'nden aylık olarak yakalanan *Acipenser ruthenus* türünde kondisyon, hepatosomatik indeks ve parazitliğin mevsimsel değişimini incelemiştir. Çalışmada kondisyon faktörü 0,27-0,79 arasında, hepatosomatik indeks ise 1,14-6,67 arasında değişmiştir. En yüksek kondisyon değeri haziran ayında, en düşük değer aralık ayında; maksimum HSI ekim ayında, minimum ise mart ayında kaydedilmiştir.

Bekmezci (2010) Aşağı Seyhan Ovası drenaj kanallarında seçilen beş istasyonda su kalitesini, dokularda metal birikimini ve kirleticilerin *Clarias gariepinus*'da nörotoksisite oluşturma potansiyelini ve türün biyometrik özelliklerine etkilerini incelemiştir. Drenaj sularının sulama suyu olarak kullanıma ve balıkların sağlıklı gelişimine uygun olmadığı gözlenmiştir. Fe, Cu, Zn, Co, Cr ve Cd en yüksek

karaciğerde en düşük kasta birikim göstermiştir. Pb ise beyin>karaciğer>kas şeklinde birikim göstermiştir. Tüm istasyonlarda balıkların kirliliğe karşı çeşitli adaptasyonlar geliştirdiklerini ve *C. gariepinus*'un kirliliğe karşı dayanıklı bir tür olduğu tespit edilmiştir.

Kekilli (2010) Hafik Gölü'nde yaşayan tatlısu kefali, *Squalius cephalus* (L., 1758) popülasyonunda gonad gelişimini morfolojik ve histolojik açıdan değerlendirmiştir. Dişi ve erkek bireylerin ortalama gonadosomatik indekslerinin nisan ve mayıs aylarında en yüksek değerlere sahip olduğu, ağustos ayında ise minimuma indiği bildirilmiştir. Çalışmada 1 gram ovaryumdaki yumurta sayısının ağustos ayında maksimum, nisan ve mayıs aylarında ise minimum düzeyde olduğu bildirilmiş ve türün Hafik Gölü'nde nisanın sonunda yumurta bırakmaya başladığı ve yumurtlamanın temmuz ayının sonuna kadar devam ettiği belirlenmiştir.

Arslan vd (2011) sucul ekosisteme evsel, endüstriyel ve genel amaçlı kullanım sonucunda kirletici olarak karışan temizlik malzemelerinden bulaşık deterjanı ve çamaşır suyunun *Lepistes (Poecillia reticulata)* Peters, 1859) balıkları üzerindeki genotoksik etkilerini mikroçekirdek testi ile araştırmışlardır. 96 saat süreyle 15 µl/l konsantrasyonda bulaşık deterjanı ve çamaşır suyuna maruz kalan balıkların mikroçekirdek ve diğer morfolojik çekirdek düzensizlikleri değerlerinde kontrol grubuna göre artış gözlenmiştir.

Authman (2011) 3 farklı doz Al seviyesine maruz bırakılan balıklarda hepatosomatik indeksin kontrol grubuna göre daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Karaciğer histolojik kesitlerinde ise mononükleer hücre infiltrasyonu, merkezi vende dilatasyon, fokal nekroz, hepatositlerde dejenerasyon tespit edilmiştir.

Doğan vd (2011) fenpiroksimat akarisitinin subletal konsantrasyonlarının biyokimyasal etkilerini ergin *lepistes* balıklarının karaciğer dokusunda TAS ve TOS değerlerine bakarak araştırmışlar, uygulanan subletal akarisit dozlarının antioksidan aktivitede

herhangi bir değişikliğe yol açmadığını, 25 ve 50 µg/l akarisit in oksidatif strese neden olduğunu kaydetmişlerdir.

Jovanović *et al.* (2011) Güneydoęu Sırbistan’da içme ve tarımda sulama suyu olarak kullanılan Nişava Nehri’nde nehir boyunca 2 lokaliteden yakaladıkları tatlısu kefal i türünün karaciğerinde ağır metal birikimini araştırmışlardır. Balıkların total boyları 13,6-20,5 cm, yaşları 2-3 ve ağırlıkları 24,6-86,1 g olarak bildirilmiştir. Çalışmada Cd ve Zn konsantrasyonlarının balıkların karaciğerinde yüksek olduğu, yüksek Cd seviyesine bağlı olarak düşük hepatosomatik indeks değeri gözleendiği tespit edilmiştir.

Tetreaulta *et al.* (2011) Kanada’da evsel ve endüstriyel atıkların deşarj edildiği bir nehirde seçilen istasyonlarda nehrin balık (*Etheostoma blennioides* ve *E. caeruleum*) popülasyonunun büyüme ve üreme özelliklerini araştırmışlardır. Şehrin atık sularının döküldüğü yerden alınan dişi balıklarda ovaryum gelişiminde ve steroid üretiminde bir fark gözlenmemiş, erkek balıklarda ise testosteron üretim kapasitesinde azalma ve hücresel gelişimde bozulma tespit edilmiştir.

Vural (2011) Azotlu gübrenin *Capoeta capoeta capoeta* (Guldensteadt 1772)’nın karaciğer, bağırsak, solungaç, böbrek histopatolojisi ve serum proteinleri üzerine etkilerini araştırmış, azotlu gübre uygulaması ile oluşturulan gruplardan elde edilen dokularda doz artışıyla orantılı olarak dejenerasyon, nekroz ve yangısal hücre infiltrasyonları tespit etmiştir.

Abdel-Moneim *et al.* (2012) su kirliliğinin etkilerini *Oreochromis niloticus*’un solungaç ve karaciğerinde araştırmışlar, seçilen 3 istasyonun farklı metallerle kirlendiğini ve Cd ve Pb miktarlarının WHO tarafından öngörülen değeri aştığını bildirmişlerdir. Çalışmada solungaçta proliferasyon, lamellar hiperplazi ve füzyon, epitellerde kopma, anevrizma; karaciğerde ise hepatositlerde vakuolizasyon, sinüslerde kanlanma, parankimada nekroz, piknoz, pigment birikimi, melanomakrofajlarda artış tespit edilmiştir.

Monsefrad *et al.* (2012) Hazar Denizi'nden yumurtlama sezonunda yakalanan *Rutilus frisii kutum* türünde Cu, Zn, Cd, Pb ve Hg konsantrasyonlarının büyüme parametrelerine etkilerini incelemişlerdir. Kasta yüksek seviyede Pb, Zn ve Cu, karaciğerde ise Hg ve Cd tespit edilmiştir. Karaciğerde Zn ve Cd konsantrasyonu ile balık uzunluğu ve yaşı arasında pozitif korelasyon görülmüş, kasta ise sadece Zn için önemli ilişki tespit edilmiştir. Cd değeri ile KF ve HSI değerleri arasında pozitif korelasyon bildirilmiştir.

Paulo *et al.* (2012) çalışmalarında Brezilya Cachoeira Nehri'nde 5 noktadan alınan balıklarda karaciğer patolojilerini incelemiş ve incelenen bölgelerin kirlilik derecesini belirlemişlerdir. Sitoplazmada vakuolizasyon ve eozinofilik granüller, hepatositlerde düzensizlik, nüklear ve hücrel hipertrofi, düzensiz çekirdek, lökosit infiltrasyonu, piknoz ve fibroma bildirilmiştir.

Ruiz-Picos and Lopez-Lopez (2012) Meksika'da çeşitli atıkların bırakıldığı bir gölden alınan balıklarda oksidatif stresi ve solungaç ile karaciğer histopatolojilerini incelemişlerdir. LPO, SOD ve CAT kontrole göre farklılık göstermemiş ancak GPx önemli farklılık göstermiştir. Solungaçlarda hipertrofi, filamentlerde ödem; karaciğerde vazokonjesyon, sitoplazmik vakuolizasyon ve fibroz bildirilmiştir.

Sönmez vd (2012) Karasu Irmağı'nda seçilen 5 istasyondan 12 ay boyunca alınan su örneklerini Bakır (Cu), Çinko (Zn), Mangan (Mn), Kurşun (Pb), Nikel (Ni), Kadmiyum (Cd) ve Demir (Fe) miktarları bakımından incelemişlerdir. Elde edilen verilere göre istasyonlar arasında tüm ağır metallerin değişimlerinde önemli derecede farklılıklar gözlenmiştir. Aylara göre ağır metallerin değişimleri incelendiğinde örnekleme noktalarından elde edilen verilerin istatistikî olarak önemli ölçüde değişmediği tespit edilmiştir.

Sönmez *et al.* (2012) Karasu Nehri'nden alınan *Capoeta capoeta umbla* ve *Chalcalburnus mosullensis* türlerinin kas, karaciğer ve solungaç dokularında Cd, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn metallerinin miktarlarını belirlemişlerdir. En düşük metal

akümülyasyonunun kaslarda olduğu tespit edilmiş, Pb ve Cd miktarlarının standartların üzerinde olduğu ve bu türlerin aşırı tüketiminin halk sağlığını olumsuz etkileyeceği bildirilmiştir.

Tetreaulta *et al.* (2012) Kanada’da şehrin atık sularının döküldüğu nehirden mevsimsel olarak alınan *Pimephales promelas* ve *Culaea inconstans* türlerinde üreme gelişimini araştırmışlardır. Her iki türde de mevsimlere bağlı olarak yumurtlamada gecikme, gonadal gelişimde değişim tespit edilmiştir. Ayrıca erkek balıklarda önemli oranda ikincil cinsiyet karakterlerinde (az sayıda üreme tüberkülü ve dorsal yüzgeç beneklerinde eksiklik) gelişim anormalliği gözlenmiştir. Solungaç lamellerinde ise kalınlaşma, böbrek proksimal tübül ve Bowman kapsülünde inflamasyon bildirilmiştir.

Van Dyk *et al.* (2012) Okavango Nehri tatlı su ekosisteminin kirli ve temiz noktalarından alınan *Clarias gariepinus* türünde karaciğeri incelemişler ve su ekosisteminin kirlilik durumunu rapor etmişlerdir. Seçilen lokalitelere bağlı olarak hepatosomatik indekste önemli farklılık tespit edilmiş ve kirli noktadan alınan balık karaciğerlerinde makroskopik ve mikroskopik anormallikler görülmüştür.

Al-Ghais (2013) biyokimyasal kontaminantların bir karışımı olan kanalizasyon atık sularının tatlı su balıklarına etkilerini izlemede hücrel biyomarkırlardan olan AChE, GSH aktivitelerini ve hepatosomatik indeksi kullanmıştır. Kanalizasyon atık sularına maruz kalan balıkların kas ve karaciğerlerinde kontrol grubuna göre önemli oranda düşük AChE aktivitesi ve yüksek GSH seviyesi tespit edilmiş, hepatomegalinin indikatörü olan ortalama hepatosomatik indeks ise kontrole göre önemli oranda yüksek bulunmuştur.

Çiçek (2013) Dicle Nehir sistemi içindeki Bismil lokalitesinde yaygın dağılım gösteren bıyiksız balık türlerinin (*Carassius gibelio* Bloch 1782, *Acanthobrama marmid* Heckel 1843 ve *Alburnus mossulensis* Heckel 1843) çeşitli biyolojik özelliklerini araştırmıştır. *A. mossulensis*’in incelenen örnekleri III-IX yaş grupları arasında dağılım göstermiştir. Çatal boy uzunlukları ile vücut ağırlıkları dişilerde 88-202 mm ve 6-116 g, erkeklerde

ise 103-169 mm ve 12-62 g olarak bildirilmiştir. *A. mossulensis* örneklerinin dişi ve erkek örneklerine ait hesaplanan ortalama GSI değerleri sırasıyla 0,85-10,8 ile 1,2-7 arasında bulunmuştur. Eşeyssel olgunluğa ulaşma yaşı ile boyu; dişilerde 2 yaş ve 13,7 cm, erkeklerde ise 2 yaş ve 10,1 cm olarak bulunmuştur.

Halo *et al.* (2013) çalışmalarında endosülfanın *Channa punctatus*'un midesine olan histopatolojik etkilerini araştırmışlardır. 0,0002 ppm ve 0,0004 ppm konsantrasyonlarda endosülfan 24, 48, 72 ve 96 saat boyunca deney grubundaki balıklara uygulanmıştır. Dozdaki artışa bağlı olarak mikrovilluslarda birleşme, dış membrandaki mikrovilluslarda kopma, sub mukozada hemoraji, hücrelerde balonlaşma ve vakuol oluşumu kaydedilmiştir.

Önen (2013) ham petrolün suda çözünebilen kısımlarının tropikal bir balık olan *Poecilia sphenops*'da akut toksik etkilerini; testiste tübüler epitelde ayrılma ve distrofi ile atrofik tübül oluşumu, sertoli hücrelerinde hipertrofi ve hiperplazi, interstisiyal alanda vakuolleşme, ödem, nekrotik bölge ve yaygın hemoraji olarak bildirmiştir. Ovaryumda ise toksik etkilerini; ovaryum kavitesini döşeyen epitelde hiperplazi ve displazi, kapsülün fibröz tabakasında kalınlaşma, oosit kılıflarında ve çekirdek zarlarında ve bütünsel olarak oositlerde bozulma, melanomakrofaj kümelenmeleri, nekroz, fibrotik oluşum ve kist olarak bildirmiştir.

Ribeiro *et al.* (2013) evsel, endüstriyel, tarımsal atıklar, liman aktiviteleri ve buradaki kazalar sebebiyle Güney Brezilya Paranaguá Körfezi'nde kirlilik tehdidinin sucul organizmalara etkisini araştırmak ve kirleticilerin potansiyel etkisini değerlendirmek için *Atherinella brasiliensis* türünü Paranaguá Haliç'i'nde farklı 4 istasyondan sonbahar, kış ve yaz mevsimlerinde yakalamışlardır. Çalışmada biyokimyasal bozukluklar, genetik hasarlar, karaciğer ve solungaç patolojileri seçilen alanlardaki polisiklik aromatik hidrokarbonların varlığıyla ilişkilendirilmiştir.

Sadekarpawar and Parikh (2013) tarımda yaygın olarak kullanılan ve tatlı su kaynaklarında kirliliğe neden olan bitki besinlerinin *Oreochromis mossambicus* türünde

metabolizma ve üreme üzerine olan toksik etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen GSİ ve HSI değerlerine göre gonadların ve karaciğerin olumsuz yönde etkilendiği belirlenmiş ve histopatolojik olarak da veriler desteklenmiştir.

Younis *et al.* (2013) CdCl₂'ün subletal konsantrasyonlarına 96 saat süreyle maruz bırakılan *Oreochromis niloticus* türünün karaciğer ve bağırsaklarında meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Çalışmada karaciğerin karakteristik yapısının bozulduğu, eritrositlerde infiltrasyon, hemoraji, hepatositlerde vakuolizasyon, lökosit ile sinuzoidlerde infiltrasyon görülmüştür. Bağırsak dokusunda ise çok sayıda çekirdekte dejenerasyon, apoptoz, lökositlerde inflamasyon ve kas tabakasında bozulma tespit edilmiştir.

Anlaş (2014) balık yetiştiriciliğinde bakteriyel enfeksiyon sağaltımı ve kontrolü amacıyla sıklıkla kullanılan penisilin türevi bir antibiyotik olan amoksisilinin gökkuşağı alabalıkları (*Oncorhynchus mykiss*) üzerindeki genotoksik etki potansiyelini mikroçekirdek ve comet testleri ile değerlendirmiştir. Çalışmada amoksisilinin yüksek dozlarının DNA hasarına sebep olduğu bulunmuştur.

Chamarthi *et al.* (2014) *Cyprinus carpio* türünün solungaç, beyin, karaciğer dokularında bir çeşit pestisit (Quinalphos) subletal konsantrasyonlarının histopatolojik etkilerini gözlemlemişlerdir. Çalışmada glomerilusta büzülme, tübüler lümende dilatasyon, karaciğer ve beyinde vakuolizasyon, solungaçlarda füzyon tespit edilmiştir.

Chavan and Muley (2014) *Cirrhinus mrigala* örneklerini civa klorit ve kurşun asetatın çeşitli konsantrasyonlarına 30 gün maruz bırakarak bu metallerin solungaç ve karaciğer histolojisi ile karaciğer transaminaz aktivitesi üzerine olan toksik etkilerini araştırmışlardır. Solungaçlarda lamellar dejenerasyon, epitelde ayrılma ve nekroz; karaciğerde hepatositlerde nekroz ve yağ birikimi gözlenmiş, glutamat oksaloasetat transaminaz ve piruvat transaminaz aktivitelerinde artış bildirilmiştir.

Kaya *et al.* (2014) fungusit olarak kullanılan tebukonazol'un *Cyprinus carpio* (L., 1758)'da serum total antioksidan (TAS), oksidan (TOS) ve sialik asit (TSA) düzeyleri üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında, serum TAS düzeylerinin kontrol grubuna kıyasla tebukonazol uygulanan gruplarda azaldığını, TOS ve TSA bakımından ise artışlar olduğunu saptamışlardır.

Mishra and Devi (2014) çalışmalarında Chlorpyrifos adlı pestisite maruz bırakılan *Channa punctatus* türünün beyinde akut ve sub kronik maruziyete bağlı olarak meydana gelen histopatolojik değişiklikleri incelemişlerdir. Nöronlarda dejenerasyon, spongiyöz, kanlanma ve nekroz gibi patolojik bulgular tespit etmişlerdir.

Raskovic' *et al.* (2014) çalışmalarında su ve sedimentte kirliliğinin etkisini belirlemek için dip balıklarını (*Barbus barbus* ve *Acipenser ruthenus*) tercih etmişlerdir. Türlerin solungaç, karaciğer ve kaslarında elementlerin konsantrasyonları karşılaştırılmış, tespit edilen metal konsantrasyonlarının kabul edilebilir değeri aştığı ve metallerin dokularda farklı histopatolojik hasarlara yol açtığı bildirilmiştir.

Yayla (2014) çalışmasında Çıldır Gölü'ndeki *Cyprinus carpio* (Sazan), *Capoeta capoeta* (Karabalık, Siraz) ve *Squalius turcicus* (Tatlısu kefali) balıklarının fenotipik özelliklerini belirlemiştir. Karabalıkta standart boy $40,39 \pm 0,30$ cm, vücut ağırlığı $694,45 \pm 17,60$ g, iç organ ağırlığı $68,22 \pm 0,46$ g, ovaryum ağırlığı $7,04 \pm 0,18$ g ve pul yaşı $3,82 \pm 0,05$ yıl olarak belirlenmiştir. GSI $1,216 \pm 0,039$ ve KF değeri $1,045 \pm 0,013$ olarak bulunmuştur. Tatlısu kefalinde ise standart boy $22,88 \pm 0,51$ cm, vücut ağırlığı $173,04 \pm 8,06$ g, iç organ ağırlığı $16,11 \pm 1,00$ g, ovaryum ağırlığı $4,66 \pm 0,79$ g ve pul yaşı $3,30 \pm 0,06$ yıl olarak belirlenmiştir. GSI $2,596 \pm 0,358$, KF değeri ise $1,661 \pm 0,142$ olarak tespit edilmiştir.

Yazıcı and Şişman (2014) su kirliliğinin genotoksik etkilerini *Squalius cephalus* ve *Capoeta capoeta* türlerinde araştırmışlar ve ağır metallerin yüksek konsantrasyonlarının incelenen türlerde genotoksik etkiye neden olduğunu göstermişlerdir. Mikroçekirdek ve diğer çekirdek oluşumlarına bağlı olarak kondisyon faktöründe düşüş tespit edilmiştir.

Annabi *et al.* (2015) su kirliliğinin etkilerini *Gambusia affinis* türünde büyüme performansı, iskelet anormallikleri ve histolojik değişiklikler açısından araştırmışlardır. Yapılan analizlere göre kirliliğe bağlı olarak popülasyon farklı büyüme şekilleri göstermiş ve örneklerde çeşitli iskelet deformasyonları gözlenmiştir. Histolojik çalışmaların sonucunda solungaçlarda kısmi füzyon; karaciğerde deskuamasyon, merkezi vende kanlanma, hepatositlerde hipertrofi; böbrekte tübüllerde vakuol oluşumu bildirilmiştir.

Al-Zaidan *et al.* (2015) çeşitli kirleticilerin döküldüğü Kuveyt deniz ekosisteminin doğal faunasından olan *Arius thalassinus* ve *Pelates quadrilineatus* türlerinin sağlık durumlarını histolojik analizlerle değerlendirmişler, *Arius thalassinus* türünde kirleticilere maruziyetin düşük seviyede olduğunu ve her iki türün karaciğerinde lezyonların gözlendiğini bildirmişlerdir.

Avigliano *et al.* (2015) Arjantin’de ağır metal ve iz elementlerin -As, Ag, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Fe, Ga, Hg, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sn, Sr, Te, Ti, U, V, Zn- sudaki ve ticari bir balık türü olan *Odontesthes bonariensis*’in kaslarındaki miktarlarını araştırmışlardır. Seçilen 4 farklı noktadan üç örnekleme noktasında sudaki iz element miktarının insan sağlığı için öngörülen maksimum seviyenin üstünde olduğu belirlenmiş, balıkların kaslarında yüksek konsantrasyonda As, Hg ve Pb tespit edilmiştir.

Barišić *et al.* (2015) Makedonya’da nehir kirliliğinin bir indikatörü olarak *Squalius vardarensis* türünün solungaçlarındaki histopatolojik değişiklikleri incelemişlerdir. Kuzeydoğu Makedonya’da Zletovska ve Kriva Nehir’leri ile tarımsal atıkların döküldüğü Bregalnica Nehri’nde su kalitesinin balıklara etkilerini değerlendirmişlerdir. Özellikle çok sayıda metal, sülfat ve klorid içeren Zletovska Nehri’ndeki balıkların solungaçlarında atrofi, epitelyumda incelme ve kopma, nekroz ve kıkırdak dokuda deformasyon şeklinde dejenerasyonlar tespit edilmiştir. Solungaç hasarları değerlendirildiğinde Kriva Nehri’nin kirlilik derecesi daha düşük bulunmuştur. Su seviyesinin düşük olduğu dolayısıyla kirleticilerin konsantrasyonunun etkisine bağlı

olarak su kirliliğinin daha belirgin olduğu sonbaharda, üç nehirden de alınan balıklarda ileri düzeyde sayılacak hasarlar yüksek yoğunlukta tespit edilmiştir.

Dane and Şişman (2015) evsel ve endüstriyel atık suların deşarj edildiği Karasu Nehri'nin üç farklı istasyonundan yakalanan *Capoeta capoeta* türü balıklarda su kirliliğinin etkilerini araştırmışlardır. Aşkale istasyonunda Cd, Al, As, Pb ve Mn seviyeleri TSE standartlarının üzerinde bulunmuş ve solungaç ile karaciğerde patolojik lezyonların gözlemlendiği bildirilmiştir.

Feist *et al.* (2015) ağır metal ve çeşitli kirleticileri içeren Atlantik Okyanusu'nun kuzeydoğusunda yerli balıkların karaciğer ve gonad histopatolojisini araştırmışlar ve incelenen tüm türlerde çeşitli inflamasyon ve dejeneratif lezyonların görüldüğünü bildirmişlerdir.

Javed *et al.* (2015) termal enerji tesislerinin atık sularının ağır metal içerdiğini ve bu atık suların suyun fizikokimyasal özelliklerini etkilediğini ve sucul organizmalara zarar verdiğini bildirmişlerdir. Termal tesislerin ağır metal içeren atık sularının döküldüğü kanaldan alınan *Channa punctatus* türünde en fazla akümüle edilen metal Zn, en düşük Ni olarak belirlenmiştir. Balıkların solungaçlarında LPO seviyesi ve antioksidan enzimler olan SOD, CAT, GST seviyelerinin kontrol grubuna göre yüksek, GSH seviyesinin ise düşük olduğu bulunmuştur. Solungaçlarda nekroz, epitelde kopma, lamellar füzyon, hiperplazi, lenfosit infiltrasyonu tespit edilmiştir.

Salim (2015) ağır metallerin balık solungaç, böbrek, karaciğer, kas, deri, bağırsak, dalak ve gonad dokularına etkilerini araştırmıştır. Su örneklerindeki ağır metal miktarları ölçülmüş ve miktarlar su kaynaklarında bildirilen seviyenin üzerinde bulunmuştur. Tespit edilen patolojiler: deri bağ dokusunda inflamasyon, yağ dokusunda fibröz, kaslarda vakuol oluşumu; solungaçlarda sekonder lamellerde yapışma, kanlanma, atrofi; bağırsakta mukus salgılayan hücrelerde proliferasyon; karaciğerde safra kanalında minimal fibröz; böbrekte tübüllerde vakuol oluşumu, hemopoetik dokuda küçülme, ödem, tübüler dejenerasyonlar, kan damarlarında kanlanma; dalakta merkezi arterde

dilatasyon, kanlanma ve atrofi; ovaryum sekonder germinal tabakada vakuolizasyon olarak rapor edilmiştir.

Saraiva *et al.* (2015) *Dicentrarchus labrax* türünün solungaç, karaciğer, böbrek ve bağırsak dokularını histolojik yöntemle inceleyerek balıkların sağlık durumunu değerlendirmişlerdir. Solungaçlarda hiperemi, hipertrofi, hiperplazi ve nekroz tespit edilmiş ve solungaçların histolojik olarak en fazla etkilenen organ olduğu belirtilmiştir. İncelen balıkların %58,6'sının böbreklerinde normal doku yapısının gözlemlendiği diğerlerinde ise hiperemi, tübüllerde vakuolar dejenerasyon, hematopoetik dokuda nekroz görüldüğü bildirilmiştir. Bağırsakta ise hafif enterit gözlenmesine karşın bağırsağın genel histolojisinin normal olduğu belirtilmiştir.

Senarat *et al.* (2015) Tapee Nehri'nde 3 örnekleme noktasından yakalanan *Hemibagrus filamentus* (Fang ve Chaux 1949) türünün karaciğer ve böbrek dokularındaki patolojik lezyonları değerlendirmişlerdir. Tespit edilen lezyonlar karaciğerde; hepatositlerde vakuolizasyon ve balonlaşma, nekroz, makrofajlarda infiltrasyon, sinüzoidal kapillerin yapısında ve kan damarlarının endotel hücrelerinde hasar; böbrekte ise Bowman kapsülünde ve glomerulusta dilatasyon ve bazı tübül hücrelerinde nekroz olarak bildirilmiştir.

Topal *et al.* (2015) nikel kloritin gökkuşağı alabalıklarının beynine olan nörotoksik etkilerini araştırmışlardır. Beyinde SOD, LPO aktivitelerinde ve GSH seviyesinde önemli oranda artış, AChE ve CAT enzim aktivitelerinde düşüş tespit edilmiştir. Kontrol grubuna göre deney grubundaki balıkların beyin ve beyinciklerinin bazı bölgelerinde c-Fos'da güçlü indüklenme gözlenirken Purkinje hücrelerinde düşüş tespit edilmiştir. Ayrıca beyin dokusunda demiyelinasyon ve nekrotik patolojiler bildirilmiş ve Ni maruziyetinin oksidatif strese, c-Fos aktivitesinde değişikliğe ve beyinde histopatolojik hasarlara neden olduğu sonucuna varılmıştır.

Vincze *et al.* (2015) Güney Almanya'da kanalizasyon işlem tesisleri atık sularının bırakıldığı Neckar Nehri'nin aşağı kısımlarında nehrin doğal balıklarının (*Salmo trutta*

f. fario) bulunmamasının nedenini araştırmak için o noktada 10 ve 30 gün süreyle kafeslenen balıkların sağlık durumlarını araştırmışlardır. Kısa süreli maruziyet sonrasında dahi dokularda ciddi bulgular tespit etmişlerdir. Mikroçekirdek içeren eritrosit frekansı düşük bulunmuş ve eritrositlerde herhangi bir genotoksik etkinin gözlenmediği bildirilmiştir.

Yazıcı ve Şişman (2015) Karasu Nehri'nde ağır metal konsantrasyonundaki artışın potansiyel genotoksik etkilere sahip olduğunu ve bu toksisitenin endüstriyel, tarımsal ve evsel atıkların nehre deşarjı sonucu olabileceğini bildirmişlerdir. Toksik metallerin genotoksik etkilerini nehrin iki farklı noktasında belirlenen istasyonlardan yakalanan *Barbus plebejus* türü üzerinde göstermişlerdir. Balıkların eritrositlerinde, solungaç epitel ve karaciğer hücrelerinde mikroçekirdek testi ile çeşitli anormallikler tespit etmişlerdir.

Ayandiran and Dahunsi (2016) Nijerya'da Oluwa Nehri'nde seçilen 2 kirli nokta ve 1 referans noktadan elde edilen *Clarias gariepinus* türü ile toksikolojik bir çalışma yürütmüşlerdir. Kan plazmasında klinik-kimyasal parametrelere ve çeşitli organlarda histopatolojik değişikliklere bakılmış ve mevsimsel olarak kontrol noktasından ve kirli noktalardan alınan balıklarda kan verilerinde ve histolojik verilerde önemli farklılıklar bulunmuştur.

Banihashem *et al.* (2016) amonyumun sub letal konsantrasyonlarının solungaç, böbrek ve karaciğerdeki histopatolojik etkilerini *Acipenser persicus* ve *Acipenser stellatus* türlerinde araştırmışlardır. Doz artışına bağlı olarak solungaç dokusunda lamellar nekroz, hiperplazi, lamellar adhezyon, kanlanma ve lamellerde balonlaşma görülmüş ve bu hasarların *Acipenser persicus*'da daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Karaciğer ve böbrekte ise hiperemi ve nekroz her iki türde de görülmüştür.

David and Kartheek (2016) önemli çevresel kirleticilerden biri olan sodyum siyanidin subletal konsantrasyonlarına maruziyetin sucul faunaya etkilerini *Cyprinus carpio*'da araştırmışlardır. Karaciğer katalaz, süperoksit dismutaz, glutatyon peroksidaz ve

glutasyon s transferaz aktivitesinde kontrol grubuna göre önemli bir azalma görülmüş, karaciğerde lenfosit infiltrasyonu ve nekroz; böbrek tübüllerinde ve glomerulusta dejenerasyon bildirilmiştir.

Demirel vd (2016) Uzunçayır Baraj Gölü'nde *Squalius cephalus* örneklerinin 0-XI yaş grupları arasında dağılım gösterdiğini belirlemişlerdir. Total boy değerlerinin 13,0-36,2 cm; ağırlık değerlerinin 22,1-616,0 g; kondisyon faktörü değerlerinin ise 0,890-1,298 arasında değiştiğini saptamışlardır.

Fonseca *et al.* (2016) solungaç histopatolojisini Paiva Nehri'nde *Luciobarbus bocagei* ve *Pseudochondrostoma sp.* türlerinde araştırmışlardır. Su kalitesi ve solungaç patolojisi arasındaki ilişkiyi araştırmak için Paiva Nehri'nin fiziko-kimyasal parametreleri ölçülmüş ve ağır metal konsantrasyonu hesaplanmıştır. Nehrin kirli noktasındaki yüksek ağır metal miktarı -özellikle Zn ve Pb- balıklarda ödem, lamellerde füzyon, nekroz, vazodilatasyona yol açmıştır.

Javed *et al.* (2016) ağır metalle kirlenmiş kanaldan elde edilen *Channa punctatus* türünde stresin potansiyel indikatörleri olan lipit peroksidaz (LPO), süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), glutasyon S transferaz (GST) ve indirgenmiş glutasyon (GSH) seviyelerini ve comet assay metodu ile DNA hasarını ve dokulardaki patolojileri incelemişlerdir. Kanal suyunda Cr, Mn, Fe ve Ni miktarı WHO tarafından belirlenen limitlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Fe'nin tüm organlarda (solungaç, karaciğer, böbrek, kas ve deri) yüksek miktarda biriktiği, metal kirlilik indeks değerinin en yüksek solungaçlarda, en düşük ise karaciğerde olduğu görülmüştür. SOD ve LPO tüm dokularda önemli ölçüde yüksek bulunurken CAT, GST ve GSH seviyelerinin referans siteye göre azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca solungaç ve karaciğerde önemli histopatolojik hasarlar bulunmuştur.

Jordanova *et al.* (2016) Kuzeydoğu Makedonya'da bakır kirliliğinin görüldüğü Zletovska ve Kriva Nehir'lerinden ve referans olarak Bregalnica Nehri'nden yakalanan *Squalius vardarensis* popülasyonunda kondisyon faktörünü, organo-somatik indeksi, iç

ve dış makro-mikroskopik lezyonları, karaciğer ve gonad histopatolojilerini incelemişlerdir. Gonadların histolojik olarak değerlendirmesi ile her üç nehirde üreme sağlığının normal olduğu, kirleticilere karşı gonadların yüksek tolerans gösterdiği bildirilmiştir. Zletovska ve Kriva Nehri'ndeki balıkların karaciğerinde Bregalnica Nehri'ndekilere göre daha yaygın lezyonlar (lenfosit infiltrasyonu, fibroz, proliferasyon, nekroz) görülmüştür.

Miandare *et al.* (2016) son yıllarda artan kirleticiler sebebiyle popülasyonu azalan ve nesli tükenme tehlikesi altında olan *Acipenser persicus* türünde Cd'a karşı biyokimyasal, histolojik ve transkripsiyonal değişimleri incelemişlerdir. Solungaçlarda sekonder lamellerde kısalma, kıvrılma ve çökme, epitelde hiperplazi, füzyon gözlenmiştir.

Maharajan *et al.* (2016) *Lates calcarifer* türünü 28 gün subletal bakır konsantrasyonlarına maruz bırakarak solungaç, karaciğer, kas ve bağırsak dokularında oluşan patolojileri incelemişlerdir. 7 gün bakır maruziyetinden sonra solungaçlarda epitelyumda nekroz, hipertrofi, epitelde kopma, primer lamellerde hemoraji; 28 gün sonra ise epitelde kopma, ödem ve sekonder lamellerde füzyon gözlenmiştir. Karaciğerde hepatositlerde küçülme, vakuolizasyon ve hipertrofi bildirilmiştir. Bağırsakta mikrovilluslarda füzyon, mukus zarında soyulma ve hücrelerde şişme; kaslarda ise ödem ve kas bantlarında ayrılma rapor edilmiştir. Çalışma ile organizmaların normal büyüme ve metabolizmaları için gerekli iz elementlerden biri olan bakırın sularda artan miktarının sucul canlılara patolojik etkide bulunduğu gösterilmiştir.

Morcillo *et al.* (2016) çalışmalarında *Sparus aurata* L. türünden alınan fibroblast hücre hattını 24 saat Cd, Hg, MeHg, As ve Pb ağır metallerine maruz bırakarak meydana gelen sitotoksisiteyi değerlendirmişlerdir. Ağır metallere maruz bırakılan hücrelerde doza bağlı olarak canlı hücre sayısında azalma, reaktif oksijen türlerinde artış ve hücrelerde apoptoz tespit etmişlerdir.

Simonato *et al.* (2016) akut Cu maruziyetinin etkilerini *Prochilodus lineatus* türünün farklı biyolojik evrelerinde araştırmışlardır. Çalışmada etoksiresorufin-O-deetilaz (EROD), glutatyon-S-transferaz (GST), katalaz (CAT), glutatyon peroksidaz (GPx) ve süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi, indirgenmiş glutatyon (GSH) ve metallothionein protein (MT) konsantrasyonu, lipid peroksidaz (LPO) seviyesi, doku hasar indeksi ve melanomakrofaj sıklığı analiz edilmiştir. Kas ve karaciğerde asetilkolinesteraz (AChE) aktivitesi ve davranış parametreleri değerlendirilmiştir. Bakırın uygulanan tüm dozlarında balıklarda MT konsantrasyonunda ve LPO seviyesinde artış, eritrositlerde çok sayıda hasar ve AChE aktivitesinde inhibisyon gözlenmiştir. 9 ve 20 µg/L bakır uygulanmış grupta SOD aktivitesinde artış, 5 ve 9 µg/L bakır uygulanmış grubun yüzme zamanında düşüş gözlenmiştir. Bulgular doğrultusunda Brezilya tatlı su kaynaklarında bakır maruziyetinin incelenen balıklarda önemli biyolojik ve ekolojik hasarlara yol açtığı vurgulanmıştır.

Tabassum *et al.* (2016) Çin ve çeşitli Asya ülkelerinde yaygın olarak kullanılan ve sucul ekosisteme karışan bir çeşit fungusit olan Propikonazol'un sucul organizmalara toksik etkilerini araştırmışlardır. *Channa punctata* Bloch, fungusitin farklı subletal konsantrasyonlarına (0,5 ve 5 ppm) 96 saat maruz bırakılmıştır. Çeşitli biyokimyasal ve histolojik analizlerle özellikle karaciğer, böbrek ve solungaçlardaki organ toksisiteleri değerlendirilmiştir. Oksidatif stres biyomarkırları olan lipid peroksidaz (LPO) ve protein karbonil (PC) seviyeleri deney grubu balıklarının karaciğer, böbrek ve solungaçlarda kontrol grubuna göre oldukça yüksek bulunmuştur. GSH seviyesi fungusit uygulanmış balıkların analiz edilen tüm organlarında önemli ölçüde düşmüştür. GST ile GPx ve CAT aktiviteleri fungusit uygulanmış grupta düşük bulunmuştur. Ayrıca organlarda primer ve sekonder lamellerde atrofi, infiltrasyon, inflamasyon, hepatositlerde dejenerasyon, böbrekte vakuolizasyon ve nekroz gibi önemli değişiklikler histopatolojik analizlerle ortaya çıkarılmıştır.

Yılmaz vd (2016) kirliliğin biyolojik etkilerini Mersin Körfezi'nden yakalanan *Mullus barbatus* ve *Liza ramada* türlerinde araştırmışlardır. EROD enzim aktivitesini ve dokulardaki histopatolojik yanıtı bu balık türleri üzerinde değerlendirmişler, kirlletici

seviyesine bağlı olarak karaciğer ve gonad dokularının verdiği yanıtı belirlemişlerdir. Yüksek EROD aktivitesi ve balık örneklerindeki histopatolojik değişiklikler burada yaşayan türlerin kirleticilere maruz kaldığını göstermiştir.

Dane and şişman (2017) Karasu Nehri'nin 3 farklı noktasından alınan *S. cephalus* türünde su kirliliğinin etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, rneklemeye noktalarında ve balık dokularında ağır metal seviyeleri tespit edilmiş ve karaciğer ile solungaç dokularında saptanan patolojiler sunulmuştur.

Giltrap *et al.* (2017) ekosistemin durumunu ve balık sağlığını değerlendirmek için İrlanda'da 4 farklı lokasyondan alınan 2 farklı balık türünde kirleticilerin biyolojik etkilerini araştırmışlardır. Dokularda kirletici seviyesinin standart değerlerin altında bulunduğu çalışmada EROD ve AChE aktiviteleri, safra metabolitleri, vitellojenin seviyesi ve karaciğer histopatolojileri kirliliği gösteren biyoışaretiler olarak sunulmuştur.

Lakshmaiah (2017) *Cyprinus carpio* türünü bir tür organofosfatlı insektisitinin letal konsantrasyonlarına maruz bırakarak türün beyinde meydana gelen histolojik hasarları incelemiş ve maruziyet süresine bağlı olarak hasar frekansında artış gözlendiğini bildirmiştir.

Padrillah *et al.* (2018) alışmalarında büyüme ve metabolizma için gerekli önemli bir iz element olan bakırın su kirliliğine bağlı olarak balık türlerinde farklı organlarda farklı birikim gösterdiğini ve histopatolojik hasarlara neden olduğunu bildirmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

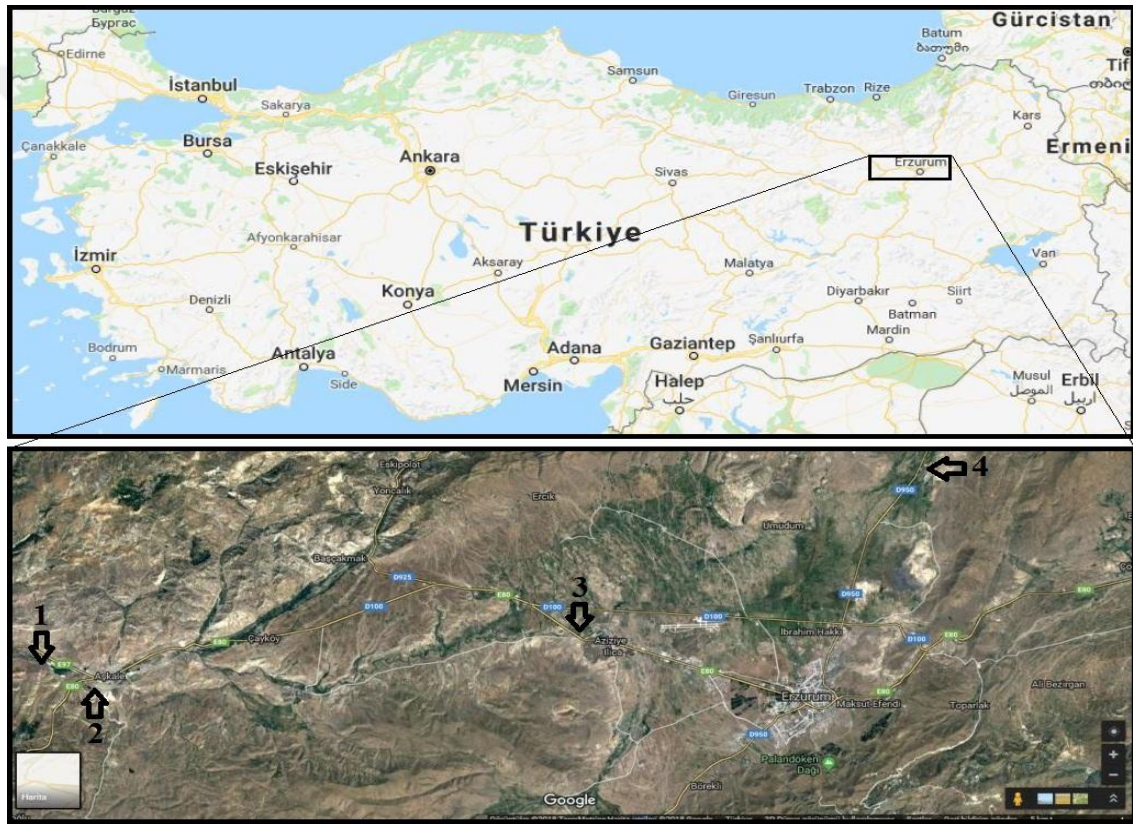
3.1. Çalışma Alanı ve İstasyonlar

Ülkemizin iç su varlığının büyük bir bölümünün Doğu Anadolu Bölgesi'nde olduğu bilinmektedir (Akyurt vd 1990). Akarsu kaynakları bakımından oldukça zengin olan Erzurum Ovası'nın temel yüzey suyu kaynakları Fırat Nehri'nin ana kolunu oluşturan Karasu Nehri, Ilıca ilçesinde bu nehre karışan Pulur Çayı, Erzurum Ovası Drenaj Kanalı, İspir yolu üzerinde bulunan Serçeme Çayı ve bunlara bağlı yan derelerdir. Karasu Nehri Erzurum Dumlu Dağı eteklerinden doğar, Köşk, Karagöbek ve Dumlu Dereleriyle birleşir. Daha sonra Pulur Çayı ve Serçeme Deresi'yle de birleşerek ovayı terk eder. Bu nehir suyunu ise Fırat Nehri üzerine kurulmuş olan Keban Baraj Gölü'ne ulaştırır (Sönmez vd 2012).

Karasu Nehri kaynağından çıkıp tarım alanlarına gelinceye kadar temiz olup, tarım alanları ve yerleşim birimlerinden geçerken evsel ve endüstriyel atıkların boşaltılmasıyla kirlenmektedir. Erzurum'da sanayi tesislerinin %50'si organize sanayi bölgesinde bulunmakta olup buradan çıkan atık sular belediyenin kanalizasyonuna bağlanmakta ve kanalizasyon atıkları Karasu Nehri'ne deşarj edilmektedir (Anonim 2018f). Büyük ölçekli sayılabilecek 3 adet sanayi tesisinden Erzurum Şeker Fabrikası Ilıca ilçesinde, Et Balık Kurumu merkezde, Çimento Fabrikası ise Aşkale'de yer almaktadır. Araştırmada Karasu Nehri'nde 4 farklı istasyon seçilmiştir (Aşkale 1., Aşkale 2., Ilıca 3. ve Dumlu 4. istasyon). İstasyonlar sanayi ve kanalizasyon atıklarının nehre yoğun olarak döküldüğü en kirli alanlar ile buralara göre nispeten daha az kirli olduğu düşünülen alanlar göz önüne alınarak seçilmiştir. Buna göre Aşkale istasyonlarının kirli, Ilıca'nın az kirli, Dumlu istasyonunun ise temiz olduğu düşünülerek bu noktalar belirlenmiştir. Çalışmada örneklemelerin yapıldığı istasyonlara ait bilgiler Çizelge 3.1 ve fotoğraflar Şekil 3.1 ve 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Örnekleme yapılan istasyonların koordinat bilgileri

İstasyon	Rakım (m)	Koordinatlar	Lokalite Bilgileri
1.	1720	39°56'15.1"N 40°37'25.9"E	Erzurum-Bayburt Yolu 59,5 Km
2.	1720	39°54'52.7"N 40°40'29.4"E	Erzurum-Erzincan Yolu 53,4 Km
3.	1760	39°57'10.6"N 41°04'15.2"E	Erzurum-Erzincan Yolu 15,4 Km
4.	1820	40°05'36.1"N 41°22'49.0"E	Erzurum-Artvin Yolu 25,5 Km



Şekil 3.1. Örnekleme yapılan istasyonların genel görüntüsü



Şekil 3.2. Örneklemelerin yapıldığı istasyonlar

1) 1. istasyon Aşkale Çimento Fabrikası önündeki dinlenme havuzunun çıkışı, 2) 2. istasyon Aşkale Çimento Fabrikası önündeki dinlenme havuzunun girişi, 3) 3. istasyon Ilıca İlçesi Şeker Fabrikası çıkışı, 4) 4. istasyon Gökçeyamaç Köyü girişi, Dumlu Deresi

3.2. İncelenen Balık Türleri

Çalışmada, 2015-2016 yılları Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında Karasu Nehri'nde seçilen 4 istasyondan nehrin doğal faunasından olan *Capoeta capoeta*-Karabalık, *Alburnus mossulensis*-Gümüş balığı ve *Squalius cephalus*-Tatlısu kefali balık türleri periyodik olarak belirtilen aylarda serpmeye ağlarla yakalanmıştır. Balık örneklerinin yakalanması ve araştırmaların yapılabilmesi için gerekli olan izinler çalışma başlamadan önce ilgili kurumlardan alınmıştır (**EK 1, EK 2 ve EK 3**). Yakalanan örnekler 10 litrelik plastik kaplar içinde canlı olarak Atatürk Üniversitesi Hayvan Fizyolojisi ve Histolojisi Araştırma Laboratuvarı'na getirilmiştir. İnceleme öncesi balıklar 30 litrelik bol havalandırılmalı akvaryumlarda bekletilmiştir. Balıklarda herhangi bir dış anormallik, dış parazit ya da yaralanmanın olup olmadığını

belirlemek için her bir balık öncelikle makroskopik olarak muayene edilmiştir. Balıkların fotoğraflanmasında Nikon 350D dijital fotoğraf makinesi kullanılmıştır.

3.3. Su ve Sediment Örneklerinin Kimyasal Analizi

Nehrin kimyasal özelliklerini incelemek için 2015-2016 yılları Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında nehrin belirtilen istasyonlarından su ve sediment örnekleri polietilen kaplara alınmış ve etiketlenerek laboratuvara getirilmiştir.

Su ve sediment örneklerinde ağır element analizi Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Prof. Dr. h.c Wolf Weyrich Yüksek Enerji Spektrometresi Araştırma Laboratuvarı'nda EDXRF Spektrometresi kullanılarak yapılmıştır. Su ve sediment numuneleri ²⁴¹Am radyoaktif kaynağından (5 Ci) yayılan 59,5 keV'lik fotonlar ile uyarılmıştır. Numunelerden yayımlanan karakteristik X-ışınları bir HPGe detektör ile ölçülmüştür. Kullanılan deney geometrisinde numune, kaynak ve detektör aynı düzlem üzerinde olup ²⁴¹Am radyoaktif kaynağında kaynak ve numune arası mesafe, EDXRF Spektrometresi içerisinde X-ışınlarının en şiddetli ölçüldüğü konum, dokuz ayrı konumda ölçümler yapılarak belirlendikten sonra en uygun numune konumu 5,5 mm olarak belirlenmiştir. 12 cc ağırlıkta su konulan ve spektrometrede 5,5 mm uzaklığa yerleştirilen her bir su numunesi 3 saat boyunca EDXRF Spektrometresi ile ölçülmüştür. Sediment numuneleri ise etüvde 80°C'de 36 saat bekletilip kurutulduktan sonra benzer biçimde ölçülmüştür. Her bir örneğin element (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Sr ve Pb) konsantrasyonu WinQXAS programı ile belirlenmiştir.

3.4. Kas ve Karaciğer Dokularında Ağır Metal Analizi

Dokulardaki metal analizi için dekapite edilen her bir balığın kas ve karaciğerinden 0,5 gr yaş doku örneği alınmış ve 2 gün boyunca 100°C'de etüvde kurutulmuştur. Kurutulan dokuların ağırlıkları tartılmıştır. Daha sonra örneklerle 5 ml nitrik asit ilave edilerek 70°C'de 2 saat hot-plate üzerinde çeker ocak altında yakma yapılmıştır. Örnekler homojen bir şekilde yakılıp soğutulduktan sonra saf su ile 20 ml'ye

tamamlanmıştır (Hoyle *et al.* 2007). Seyretilen örnekler 45µ'luk şırınga filtreden geçirilerek süzölmüş ve dokulardaki Be, Al, P, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, La, Hg ve Pb okumaları Perkin Elmer Élan 9000 USA marka ICP-MS cihazında yapılmıştır. Bu işlem Atatürk Üniversitesi bünyesinde hizmet veren Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nden (DAYTAM) hizmet alımı yapılarak gerçekleştirilmiştir.

3.5. Sistematik ve Anatomik Analizler

Her bir balığın total, çatal ve standart boyu, total ve boş vücut ağırlığı, karaciğer ve gonad ağırlığı, bağırsak uzunluğu belirlenerek kayıtları tutulmuştur. Balıklarda uzunluklar $\pm 0,1$ cm hassasiyetle ölçölmüş, ağırlıklar ise $\pm 0,01$ gram hassasiyetteki elektronik tartıyla tartılmıştır. Sistematik analizler için her bir balıkta baş boyu ve yüksekliği, vücut yüksekliği, kuyruk sapı uzunluğu ve yüksekliği, göz çapı, üst ve alt çene uzunluğu, dorsal yüzgeç yüksekliği ve kaide uzunluğu, anal yüzgeç yüksekliği ve kaide uzunluğu, kuyruk, pektoral ve ventral yüzgeç uzunluğu, pektoral-ventral mesafe, ventral-anal mesafe gibi metrik karakter hesaplanmıştır. Ayrıca dorsal, anal, pektoral, ventral yüzgeç dallı ve basit ışıını, yan çizgi pulu, solungaç diki, farinks dişi gibi meristik karakterleri sayılmıştır.

Organ anatomilerinin incelenmesi için diseksiyonla balıkların içleri açılmıştır.

3.6. Yaş Tayini

Karasu Nehri'nde çalışma boyunca yakalanan balıkların yaş tayini için pulları kullanılmıştır. Pullar, balıkların yanal çizgisi ile dorsal yüzgeci arasında, pektoral yüzgeçlerin arkasında kalan alandan sivri uçlu bir pens yardımıyla alınmıştır. Her balıktan 10 adet pul alınmış ve pullar, önceden hazırlanmış üzerinde balığın türü, alındığı istasyon, tarih ve balık numarası gibi bilgilerin bulunduğı kaplara konulmuştur. Pul örnekleri petri kutuları içerisinde diş fırçası yardımıyla ılık su ile temizlenmiş ve kurutma kâğıdı ile kurulanmıştır. Pullar kuruduktan sonra lam üzerine alınarak preparat

haline getirilmiş ve mikroskop yardımıyla yaş okumaları yapılmıştır (Türkmen vd 2005).

3.7. Cinsiyet Tayini

Cinsiyet tayini için balıkların morfolojik görünümü ve gonadların durumu esas alınmış ve kayıtları tutulmuştur. Özellikle ilkbahar ve yaz aylarında yakalanan balıkların baş kısmında küçük siğilleri olanlar erkek olarak değerlendirilmiştir. Yakalanan balıkların karın bölgeleri diseksiyon makası yardımıyla açılarak, gonadların morfolojik olarak gözlenmesiyle de cinsiyetler netleştirilmiştir. Süt beyazı, yüzeyi düzgün olan gonadlar testis; yüzeyi granüler yapıda, olgunluk durumuna göre renkleri sarımsı olanlar ise ovaryum olarak değerlendirilmiştir (Karataş vd 2005).

3.8. Biyolojik Parametreler

Türler için kondisyon faktörü (KF), gonadosomatik indeks (GSI) ve bağırsak katsayısı (IC) gibi biyolojik parametreler çalışma süresince aylık olarak hesaplanmıştır. Ayrıca türlerin hepatosomatik indeks (HSİ) ile gonadosomatik indeks (GSI) değerlerinin istasyonlara göre değişimi de hesaplanmıştır.

Kondisyon faktörü (KF), balıkta boy ile buna karşılık ağırlık arasında kübik (izometrik) bir ilişki olduğu esasına dayanır. KF balıklarda gonadal gelişim periyodunun tespiti ve bir türün beslenme durumu hususunda dolaylı bilgi verir. Kondisyon faktörünün genellikle 1 veya 1'e yakın olması beklenir (Bostancı vd 2007; Korkut vd 2007; Akhan vd 2010). Gonadosomatik indeks (GSI), balığın gonad ağırlığının vücut ağırlığına oranı olarak ifade edilmektedir ve balıklarda gonadal gelişimin belirlenmesinde kullanılır. Hepatosomatik indeks (HSİ) balığın karaciğer ağırlığının yine vücut ağırlığına oranı olarak ifade edilir ve balığın sağlık durumu ve suyun kalitesi hakkında bilgi sağlar. Bağırsak katsayısı (IC) ise bağırsak boyunun balık boyuna oranı olup balıklarda yaş, vücut gelişim derecesi ve beslenme alışkanlığı ile ilişkili olarak bireysel ve spesifik

varyasyonların belirlenmesini sağlar. IC karnivorlarda 1'den küçük, omnivorlarda 1-3 arasında ve herbivorlarda 3'ten büyük değer alır (Ward-Campbell *et al.* 2005).

Balıklarda KF, GSİ, HSI ve IC biyolojik parametreleri aşağıda verilen formüllerle hesaplanmıştır.

Kondisyon faktörü, $KF = [\text{Balık ağırlığı (g)} / (\text{Çatal boy (cm)})^3] \times 100$ formülüyle hesaplanmıştır (Çetinkaya vd 2005).

Hepatosomatik indeks, $HSI = (\text{Karaciğer ağırlığı} / \text{Total vücut ağırlığı}) \times 100$ formülüyle hesaplanmıştır.

Gonadosomatik indeks, $GSİ = (\text{Gonad ağırlığı} / (\text{Total vücut ağırlığı})) \times 100$ formülüyle hesaplanmıştır.

Bağırsak Katsayısı (Intestinal Coefficient), $IC = (\text{Bağırsak boyu (cm)}) / (\text{Total balık boyu (cm)})$ formülüyle hesaplanmıştır (Ni and Hong 1963).

3.9. Biyokimyasal Analizler

Biyokimyasal analizler ve mikroçekirdek testi için balıkların kanı kullanılmıştır. Kuyruktan yeterli miktarda kan alabilmek için balık başı yukarıda ve kuyruğu aşağıda olacak şekilde tutulmuş sonra keskin bir bıçak ile kuyruk tek darbede kesilerek dorsal aorttan akan kan normal plastik tüplere direkt alınmıştır. Balıktan kan alma işlemi en fazla 45 saniyede tamamlanmıştır.

Balıklardan alınan kan örnekleri santrifüj tüpüne alınarak 13 000 rpm'de 2 saat 4°C'de santrifüjlenmiştir. Alınan 1 ml'lik süpernatant oksidatif düzeyi gösteren önemli ve kapsamlı iki farklı parametre olan Toplam Antioksidan Seviye (TAS) ve Toplam Oksidatif Seviye (TOS) bakımından araştırılmıştır.

3.9.1. Toplam antioksidan seviyesi (TAS)

Toplam Antioksidan Seviyesi (TAS) düzeyi tespitinde, ilk olarak Tomasch *et al.* (2001) tarafından uygulanan fotometrik yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem 2-2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline 6-sülfonat= ABTS+) radikal katyonunun oluşumunu inhibe edecek antioksidan kapasitenin tespitini temel almaktadır. Tespit işleminde Rel Assay Diagnostics® firması tarafından üretilen TAS ticari kitleri kullanılmıştır (Erel 2004).

30 µl doku örneğinin bulunduğu kuvartz küvete 500 µl Reaktif 1 solüsyonundan ilave edilerek 660 nm'de ilk absorbansı okunmuştur. Daha sonra aynı küvete 75 µl Reaktif 2 solüsyonundan eklenerek oda sıcaklığında 10 dakika bekletilmiş ve bekleme sonunda 660 nm'de ikinci kez absorbansı okunmuştur. Elde edilen absorbans değerleri ve aşağıdaki formül kullanılarak TAS düzeyleri mmol Trolox Equiv./L cinsinden tespit edilmiştir.

$$\text{TAS (mmol Trolox Equiv./L)} = \left[\frac{[(\Delta \text{Standart 1'in değeri}) - (\Delta \text{Örneğin değeri})]}{[(\Delta \text{Standart 1'in değeri}) - (\Delta \text{Standart 2'nin absorbansı})]} \right] \times 20$$

3.9.2. Toplam oksidan seviyesi (TOS)

TOS (Total Oksidan Seviyesi) tespitinde incelenen numunede bulunan oksidanlar ferroz iyon-o-dianisidin yapısını ferrik iyonla oksitlerler. Bu reaksiyonu ortamda bulunan gliserol yaklaşık üç kat hızlandırmaktadır. Asidik ortamda ferrik iyonlar 'xylenol orange' ile renkli bir kompleks meydana getirirler. Numunede bulunan oksidanların miktarıyla ilişkili olan rengin yoğunluğu spektrofotometrik olarak ölçülerek değerlendirme yapılır.

Çalışmada Rel Assay Diagnostics® firması tarafından üretilen TOS ticari kitleri kullanılmıştır. 75 µl doku örneğinin bulunduğu kuvartz küvete 500 µl Reaktif 1 solüsyonundan ilave edilerek 530 nm'de ilk absorbansı okunmuştur. Daha sonra aynı küvete 25 µl Reaktif 2 solüsyonundan eklenerek oda sıcaklığında 10 dakika bekletilerek

bekleme sonunda 530 nm’de ikinci kez absorbansı okunmuştur. Elde edilen absorbans değerleri ve aşağıdaki formül kullanılarak mmol TOS düzeyleri Trolox Equiv./L cinsinden tespit edilmiştir.

$$\text{TOS } (\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ Equiv./L}) = [(\Delta\text{Örneğin değeri}/\Delta\text{Standart 2'nin değeri})] \times (\text{Standart 2 değeri})$$

3.10. Mikroçekirdek Testi ve Eritrositik Çekirdek Anormalliklerinin Analizi

Balıkların kuyruk yüzgeci kısmından alınan kan örneklerinde yayma preparatlar hazırlanmıştır. Periferik yayma için bir damla kan lama damlatılıp diğer temiz bir lamın kısa kenarı 30°-35° açı oluşturacak şekilde kandamlasının ortasına yerleştirilmiştir. Bu şekilde ikinci lam tek bir hareketle titretilmeden geriye çekilerek sürtülmüş ve kanın lamın uç kısmına yayılması sağlanmıştır. Preparatlar oda sıcaklığında kurutulduktan sonra 20 dakika saf etanolde fikse edilmiştir. Bu işlemten sonra tekrar kurutulan preparatlar %5’lik Giemsa ile 30 dakika boyanmıştır. Boyama işleminden sonra fazla boyanın uzaklaştırılması için saf sudan geçirilen preparatlar kurutulmuş ve immersiyon yağı dökülerek ışık mikroskopunda (x100) objektifte incelenmiştir.

Eritrositik çekirdek anormalliklerinin değerlendirilmesi için her istasyondan 5 balık ve 5 preparat hazırlanmıştır. Çekirdek anormallikleri Carrasco *et al.* (1990) çalışmasına göre sınıflandırılmıştır. Her preparatta 1000 hücre sayılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Hazırlanan preparatlarda boya partikülleri veya başka kirleticiler nedeniyle mikroçekirdek ile karıştırılabilen yapılarla karşılaşılabilindiğinden bu tip hataların olmaması için mikroçekirdek sayımlarında genel olarak standardize edilmiş bazı kriterler göz önüne alınmıştır (Fenech 2000):

- Mikroçekirdeğin ana çekirdek ile aynı boyama tonuna sahip olmasına
- Mikroçekirdeğin ana çekirdeğe bağlı ya da bitişik olmamasına
- Mikroçekirdek çapının ana çekirdeğin 1/3’ünden daha küçük olmasına
- Mikroçekirdeğin sitoplâzması iyi gözlenen hücrelerde sayılmasına

- Sayılacak hücrenin diğer hücrelerden izole halde bulunmasına dikkat edilmiştir.

Eritrositlerde mikroçekirdeğin dışında çift çekirdek, tomurcuklu çekirdek, çentikli çekirdek ve böbrek şekilli çekirdek gibi eritrositik çekirdek anormallikleri de araştırılmıştır. İki çekirdeğe sahip olan hücreler çift çekirdekli (binükleus), çekirdek membranından küçük çıkıntılar şeklinde olan ve kromatin içeren çıkıntılar ise tomurcuklu çekirdek olarak değerlendirilmiştir. Tomurcuklu çekirdeklerden daha büyük çıkıntılara sahip ve loplu bir görüntü sergileyen çekirdekler loplu çekirdek olarak tanınmıştır. Vakuelleri olan çekirdekler çentikli çekirdek ve çekirdeğin içeriye doğru girinti yaptığı çekirdekler de böbrek şekilli çekirdek olarak değerlendirilmiştir (Çavaş and Könen 2008).

3.11. Histolojik Çalışmalar ve Histopatolojik Analizler

Balıklar kan örnekleri alındıktan sonra eterle öldürülmüştür. Balıkların karın bölgesi anüsün önünden solungaç altına kadar kesilmiş ve solungaç altından sırtı doğru bir yay çizilerek organların görülmesi için açılmıştır. Beyin yarım küreleri ve beyincik kafatası açılarak elde edilmiştir. Solungaçların alınabilmesi için operkulum kesilerek çıkartılmıştır. Böbrek önce omurgaya yakın bölgedeki deri doku ile beraber alınmış, sonraki aşamada deriden ayrılmıştır. Tüm organlar çıkarılarak içerisinde %10'luk tamponlanmış formalin (pH:7,0) bulunan doku kaplarına konulmuştur. Bu şekilde dokuların yumuşak olarak fikse edilip parafine gömme işlemine kadar rahatça saklanabilmesi sağlanmıştır.

%10'luk tamponlu formalin kullanılarak tespit edilen dokular 4 saat süreyle çeşme suyu altında yıkanmıştır. Sonra ikişer saat kalacakları %50, 70, 80, 96 ve saf etil alkol serilerinden geçirilmişlerdir. Daha sonra dokular ksilol serilerinde toplam 45 dakika bekletilmiştir. 56-58°C'de parafin serilerinde toplam iki buçuk saat bekletilen dokular parafine gömülerek blok haline getirilmiştir. Bloklar kesit alma işlemine kadar buzdolabında saklanmıştır.

Dehidrasyon ve şeffaflandırma aşamalarının ardından parafine gömülen beyin, böbrek, gonad, karaciğer, bağırsak ve solungaç dokularına ait bloklardan mikrotomla 5 µm kalınlıkta kesitler alınıp, bu kesitler su banyosunda lam üzerine yerleştirilerek etüvde kurumaya bırakılmıştır. Tüm kesitlerin Hematoksilen&Eosin ile (Luna 1968) boyanmalarından sonra preparatların ışık mikroskopunda x10, x20'lik objektiflerde incelemeleri yapılmış ve fotoğrafları çekilmiştir. Histolojik kesitlerin incelenmesinde ve fotoğraflanmasında Leica DM 750 marka ışık mikroskobu kullanılmıştır.

Organlarda tespit edilen histolojik hasarların değerlendirilmesi Doku Değişim Derecesi (DTC=Degree of Tissue Change) yardımıyla kantitatif olarak belirlenmiştir. DTC, hasarların görülme sıklığı esasına dayanan gözlem parametresidir. Çalışmada dokularda tespit edilen hasarlar görülme sıklığına göre 0: anormallik yok, 1: anormallik frekansı düşük, 2: anormallik frekansı orta, 3: anormallik frekansı yüksek şeklinde gruplandırılmıştır (Abdel-Moneim *et al.* 2012).

DTC'nin hesaplanması için her organdaki anormallikler hasarın evresine göre sınıflandırılmıştır. Bu evreler:

- I. Evre: Dokunun normal fonksiyon gösteren durumu
- II. Evre: Dokunun normal fonksiyonunun orta şiddette bozulması durumu
- III. Evre: Dokuda geriye dönüşümsüz ortaya çıkan kuvvetli hasar durumu

İncelenen üç türün organları için $DTC = (1 \times \sum I) + (10 \times \sum II) + (100 \times \sum III)$ formülü kullanılarak DTC değeri belirlenmiştir. Formülde $\sum I$, $\sum II$ ve $\sum III$ sırayla evrelerde görülen anormalliklerin toplam sayısını göstermektedir. Her balık için DTC değeri belirlendikten sonra her istasyon için ortalama endeks hesaplanmıştır. Bu endeks şu verilere göre yorumlanmıştır (Poleksic and Mitrovic-Tutundzic 1994) DTC:

- 0-10 arası: organın fonksiyonları normal
- 11- 20 arası: organda hafif hasar
- 21-50 arası: organda orta dereceli hasar

51-100 arası: organda kuvvetli hasar

100'ün üzeri: organda geriye dönüşümsüz hasar

3.12. İstatistiksel Değerlendirme

KF, GSİ, HSI, IC değerlerinin, TAS ve TOS düzeylerinin, mikroçekirdek testinde elde edilen sonuçların, DTC değerlerinin genel değerlendirilmesi tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile gerçekleştirilmiştir. Varyans analizindeki çoklu karşılaştırmalar için Duncan testi uygulanmıştır. Elde edilen veriler $p < 0,05$ anlam seviyesi göz önünde bulundurularak yorumlanmıştır. Tüm istatistiksel verilerin değerlendirilmesinde SPSS 21.0 Software paket programı kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Birey sayısı ve Yaşa Ait Bulgular

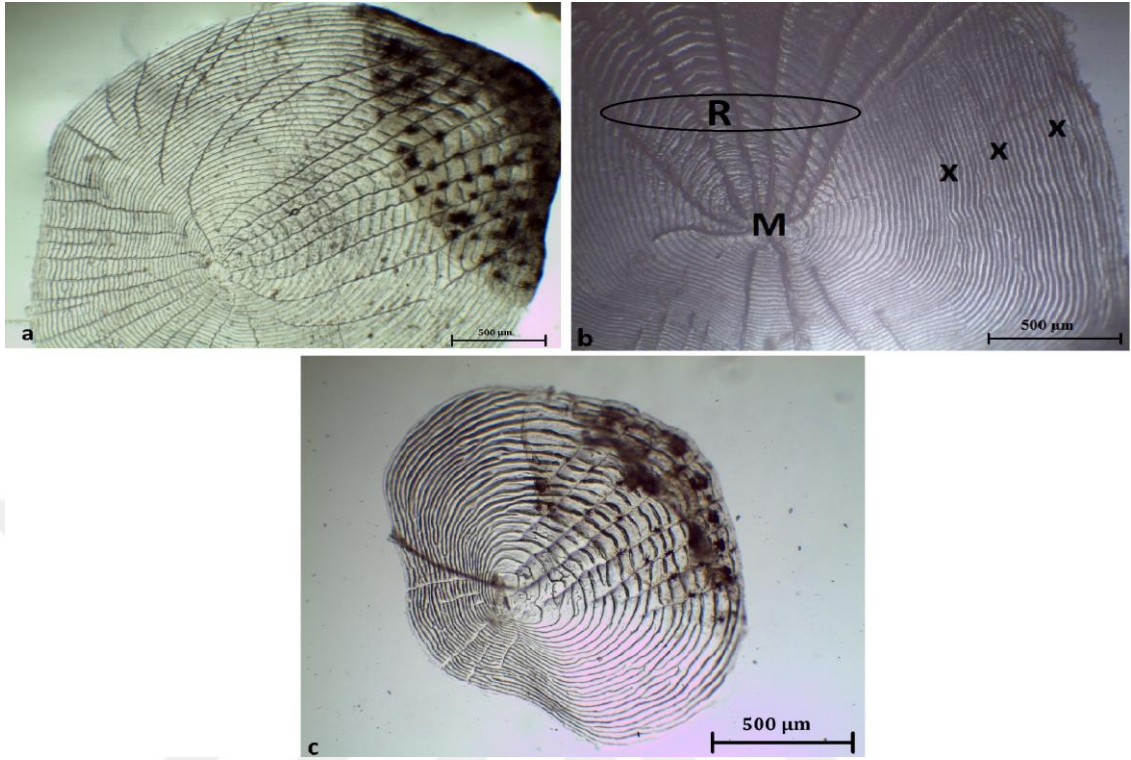
2015-2016 yılları Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında Karasu Nehri'nin 4 farklı noktasından toplam 378 adet balık yakalanmıştır. 2015 yılında yakalanan balıkların 69'unun *Capoeta capoeta*, 64'ünün *Alburnus mossulensis* ve 61'inin *Squalius cephalus*; 2016'da yakalanan balıkların ise 63'ünün *C. capoeta*, 61'inin *A. mossulensis* ve 60'ının *S. cephalus* türlerine ait olduğu tespit edilmiştir. Buna göre tüm balıklar içerisinde en fazla bireyi *C. capoeta* türü sonra sırasıyla *A. mossulensis* ve *S. cephalus* türleri oluşturmuştur. Yakalanan balıkların cinsiyetleri değerlendirildiğinde 132 adet *C. capoeta* bireyinin 59'unun dişi, 73'ünün erkek; 125 *A. mossulensis* örneğinin 68'inin dişi, 57'sinin erkek; 121 *S. cephalus* bireyinin ise 56'sının dişi, 65'inin erkek olduğu belirlenmiştir. Buna göre 2015 yılında yakalanan toplam 194 adet bireyin 89'unun dişi, 105'inin erkek ve 2016 yılında yakalanan toplam 184 adet bireyin 94'ünün dişi ve 90'ının ise erkek olduğu saptanmıştır. 2 yıl boyunca yakalan toplam balık sayısı göz önüne alındığında dişi:erkek oranı yaklaşık 1:1,07 olarak hesaplanmıştır.

Yakalanan balık sayısının nehrin seçilen istasyonlarına dağılımı değerlendirildiğinde 2015 yılında 1., 2., 3. ve 4. istasyonlardan yakalanan *C. capoeta* birey sayısı sırasıyla 21, 20, 15 ve 13, *A. mossulensis* sayısı 20, 17, 14 ve 13, *S. cephalus* sayısı ise 22, 14, 13 ve 12 olarak tespit edilmiştir. 2016 yılında ise 1., 2., 3. ve 4. istasyonlardan yakalanan *C. capoeta* birey sayısı sırasıyla 16, 19, 13 ve 15, *A. mossulensis* sayısı 15, 18, 16 ve 12, *S. cephalus* sayısı ise 20, 13, 14 ve 13 olarak tespit edilmiştir. Belirtilen aylarda Karasu Nehri'nden yakalanan türlerin birey sayısının cinsiyetlere ve istasyonlara göre dağılımı Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. 2015-2016 yıllarında Karasu Nehri'nden yakalanan dişi-erkek birey sayısının aylara ve istasyonlara göre dağılımı

	<i>C. capoeta</i>				<i>A. mossulensis</i>				<i>S. cephalus</i>			
	2015		2016		2015		2016		2015		2016	
Aylar	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
Mayıs	6	8	6	7	7	5	8	5	6	6	5	8
Haziran	4	9	7	5	8	6	6	5	5	7	6	5
Temmuz	4	6	4	4	4	4	5	5	4	4	4	4
Ağustos	5	7	5	6	5	6	5	3	5	5	5	5
Eylül	4	5	6	4	4	5	5	5	5	4	4	6
Ekim	4	7	4	5	5	5	6	3	4	6	3	5
Toplam	27	42	32	31	33	31	35	26	29	32	27	33
	<i>C. capoeta</i>				<i>A. mossulensis</i>				<i>S. cephalus</i>			
	2015		2016		2015		2016		2015		2016	
İstasyon	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
1. İstasyon	8	13	9	7	12	8	8	7	10	12	9	11
2. İstasyon	9	11	10	9	8	9	10	8	6	8	7	6
3. İstasyon	6	9	6	7	6	8	11	5	8	5	5	9
4. İstasyon	4	9	7	8	7	6	6	6	5	7	6	7
Toplam	27	42	32	31	33	31	35	26	29	32	27	33

Araştırma süresince Karasu Nehri'nden yakalanan balıklardan alınan pullarla örneklerin yaş tayini yapılmıştır. Yapılan tayinde türlerin yaşının I-V yaş arasında dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Yakalanan örneklerin %6,08'ini I yaş, %19,84'ünü II yaş, %34,92'sini III yaş, %33,60'ını IV ve %5,56'sını V yaş grubunda bireyler oluşturmuştur. Buna göre incelenen örneklerde baskın yaş grubunu III yaşındaki (%34,92) bireyler oluşturmuştur. Türler için baskın yaşlar değerlendirildiğinde *C. capoeta* ve *A. mossulensis* türleri için en kalabalık grubu IV. yaş (sırasıyla %35,61 ve %36,80), *S. cephalus* için ise III. yaş (%39,67) oluşturmuştur. Her bir türe ait pul fotoğrafı Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

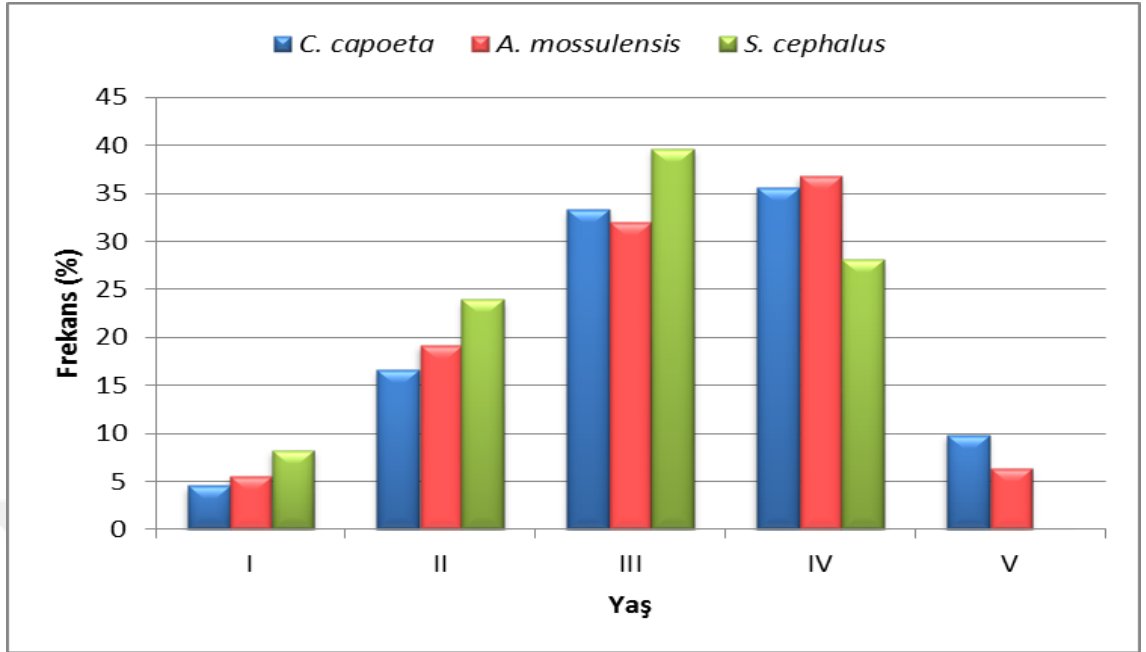


Şekil 4.1. Karasu Nehri'nden yakalanan balıklara ait pullar
a. *C. capoeta*, b. *S. cephalus*, c. *A. mossulensis* R: Radius, M: Merkez

Yakalanan *C. capoeta* örneklerinde birey sayısına göre yaşlar IV>III>II>V>I şeklinde sıralanmıştır. Buna göre örneklerin %4,54'ü I yaşında, %16,67'si II yaşında, %33,33'ü III yaşında, %35,61'i IV ve %9,85'i V yaşındaki bireylerden oluşmuştur.

A. mossulensis örneklerinde birey sayısına göre yaşlar IV>III>II>V>I şeklinde sıralanmıştır. I yaşındaki örnekler türün %5,60'ını, II yaşındaki örnekler %19,20'sini, III yaşındaki örnekler %32'sini, IV yaşındaki örnekler türün %36,80'ini ve V yaşındaki örnekler %6,40'ını oluşturmuştur.

S. cephalus türüne bakıldığında birey sayısına göre yaşlar III>IV>II>I şeklinde sıralanmış ve V yaşında olan bireylere rastlanmamıştır. Buna göre yakalanan örneklerin %8,26'sını I yaşında, %23,97'sini II, %39,67'sini III, %28,10'unu IV yaşında bireyler oluşturmuştur. Şekil 4.2'de örneklerin yaş frekans dağılım grafiği verilmiştir.



Şekil 4.2. Karasu Nehri'nden yakalanan türlere ait yaş frekans dağılım grafiği

4.2. Sistematik Bulgular

4.2.1. *Capoeta capoeta*

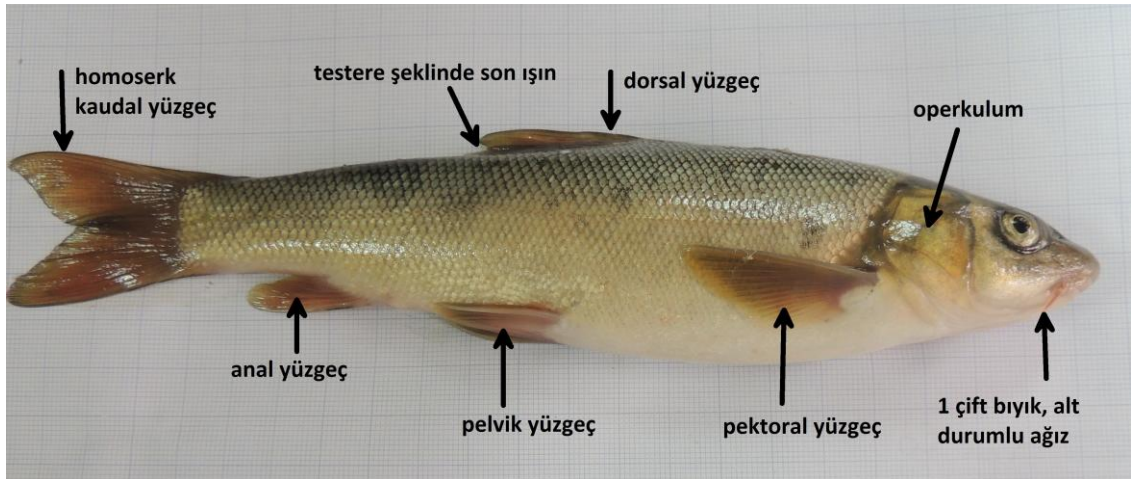
Karasu Nehri'nden yakalanan *Capoeta capoeta* örneklerinde yapılan morfolojik incelemelerde vücudun ovalimsi bir yapıda olduğu ve örneklerin karın bölgesinin koyu krem, sırt bölgesinin ise karna göre daha koyu renkte olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.3).

Örneklerde sırtta tek olan dorsal yüzgecin serbest kenarı testere dişi şeklinde, pelvik yüzgeçlerin abdominal tipte olduğu görülmüştür. Dorsal yüzgeçte 10-13, pectoral yüzgeçte 16-16, pelvik yüzgeçte 9-9 ve anal yüzgeçte 9-10 yumuşak ışın sayılmıştır (Çizelge 4.2).

Sikloit tip pullarla kaplı olan vücudun yanal çizgisindeki pul sayısı incelenen örneklerde 37-85 arasında değişmiştir.

İncelenen örneklerde gözler küçük ve ortalama göz çapı $0,7 \pm 0,34$ cm bulunmuştur. Örneklerde sub terminal konumlu olan ağızda (ortalama üst çene uzunluğu $1,0 \pm 0,61$ cm ve alt çene uzunluğu $0,8 \pm 0,33$ cm) bir çift kısa bıyık (Şekil 4.3) ve 4. solungaç yaylarının gerisindeki faringien kemikler üzerinde 2,3,4-4,3,2 şeklinde farinks diş dizilimi gözlenmiştir. Solungaç dikenlerinin sayısı ise örneklerde 18-22 arasında değişmiştir (Çizelge 4.2).

C. capoeta örneklerinde total boy 13,5-30,5 cm, çatal boy 12,0-29,0 cm ve standart boy uzunluğu 10,5-27,5 cm arasında değişmiştir. İncelenen örneklerin vücut ağırlığı 25,4-246,2 g arasında, örneklerin boş ağırlıkları ise 19,0-163,9 g arasında değişmiştir. Çalışmada ortalama total boy $20,79 \pm 3,42$ cm, çatal boy $19,29 \pm 1,49$ cm, standart boy $17,85 \pm 1,43$ cm bulunmuştur. Ortalama total ağırlık $89,08 \pm 21,32$ g ve boş ağırlık $64,56 \pm 16,37$ g olarak tespit edilmiştir. Yakalanan *C. capoeta* bireylerine ait metrik ve meristik karakterin minimum-maksimum ve ortalama değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.3. Karasu Nehri *C. capoeta* türünde morfolojik yapı

Çizelge 4.2. Karasu Nehri *C. capoeta* bireylerine ait metrik ve meristik karakterler

Metrik Karakterler	(Ort.±SH)	Meristik Karakterler	Min.-Mak.
Baş boyu	2,3±1,26	Dorsal yüzgeç dallı ışıını	10-13
Baş yüksekliği	2,9±0,34	Anal yüzgeç dallı ışıını	9-10
Vücut yüksekliği	3,5±1,99	Pektoral yüzgeç dallı ışıını	16-16
Kuyruk sapı uzunluğu	2,3±0,56	Ventral yüzgeç dallı ışıını	9-9
Kuyruk sapı yüksekliği	1,5±0,55	Dorsal yüzgeç basit ışıını	3-3
Göz çapı	0,7±0,34	Anal yüzgeç basit ışıını	1-1
Üst çene uzunluğu	1,0±0,61	Pektoral yüzgeç basit ışıını	1-1
Alt çene uzunluğu	0,8±0,33	Ventral yüzgeç basit ışıını	1-1
Dorsal yüzgeç yüksekliği	1,9±0,85	Yan çizgi pulu	37-85
Dorsal yüzgeç kaide uzunluğu	2,8±1,64	Solungaç diken	18-22
Anal yüzgeç yüksekliği	1,2±0,55	Farinks dişi	2,3,4-4,3,2
Anal yüzgeç kaide uzunluğu	2,4±0,34		
Kuyruk yüzgeç uzunluğu	2,8±0,61		
Pektoral yüzgeç uzunluğu	2,9±0,38		
Ventral yüzgeç uzunluğu	2,2±0,88		
Pektoral-ventral mesafe	4,8±1,64		
Ventral-anal mesafe	2,7±0,39		
Total boy	20,79±3,42		13,5-30,5
Çatal boy	19,29±1,49		12,0-29,0
Standart boy	17,85±1,43		10,5-27,5
Total ağırlık	89,08±21,32		25,4-246,2
Boş ağırlık	64,56±16,37		19,0-163,9

4.2.2. *Alburnus mossulensis*

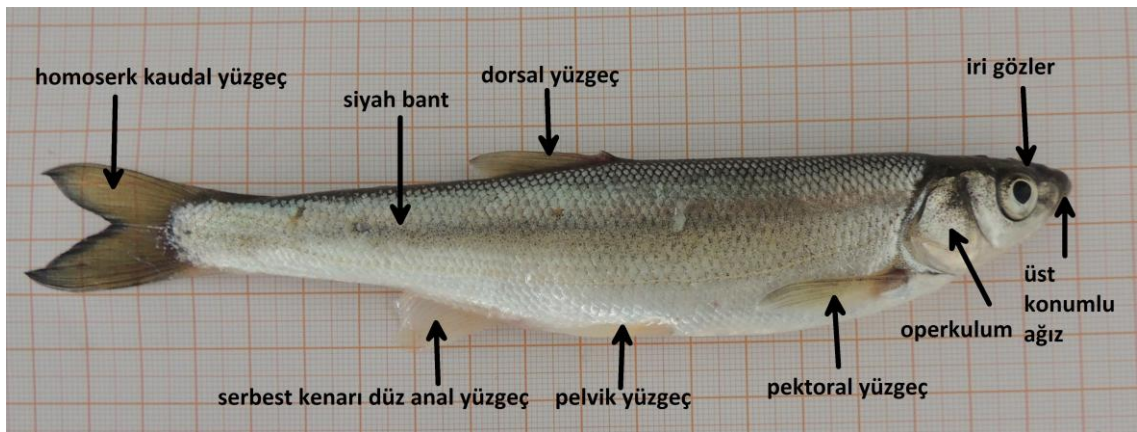
Karasu Nehri'nden yakalanan *Alburnus mossulensis* örneklerinde yapılan morfolojik incelemelerde vücut gri-beyaz renkte, uzun, ince ve yanlardan biraz yassılaştırmış bir yapıda gözlenmiştir (Şekil 4.4).

Örneklerde sırtta tek dorsal yüzgeç gözlenmiştir. Anal yüzgeç dorsalin gerisinden başlamış ve dorsal ile anal yüzgeçlerin serbest kenarları düz olarak gözlemlenmiştir (Şekil 4.4). Dorsal yüzgeçte 8-9, pektoral yüzgeçte 14-15, pelvik yüzgeçte 8-9 ve anal yüzgeçte 10-12 arasında değişen sayıda yumuşak ışın tespit edilmiştir (Çizelge 4.3).

İncelenen örneklerde yanal çizginin üst kısmında baştan kuyruğa kadar uzanan siyah renkli bir şerit gözlenmiştir. Küçük pullarla kaplı olan vücudun yanal çizgisindeki pul sayısı incelenen örneklerde 54-71 arasında değişmiştir.

İncelenen örneklerde gözlerin oldukça büyük olduğu gözlenmiş ve ortalama göz çapı $1,3 \pm 0,55$ cm bulunmuştur. Örneklerde ağızda bıyık gözlenmemiştir. Alt çene yukarıya yönelik ve üst çeneden daha uzun (ortalama üst çene $0,5 \pm 0,14$ cm, alt çene $0,8 \pm 0,33$ cm) bulunmuştur. Kenarları hafif testere dişi şeklinde çentikli olan farinks dişleri 2,5-5,2 şeklinde 2 sıralı bir dizilim göstermiş ve örneklerde uzun 12-16 tane solungaç dikişi sayılmıştır (Çizelge 4.3).

Karasu Nehri'nden yakalanan *A. mossulensis* örneklerinde total boy 15,0-19,6 cm, çatal boy 13,5-18,1 cm, standart boy 13,91-17,51 cm arasında değişmiştir. Ortalama total boy $17,83 \pm 3,96$ cm, çatal boy $16,33 \pm 1,50$ cm ve standart boy $15,74 \pm 0,59$ cm olarak hesaplanmıştır. İncelenen örneklerin vücut ağırlığı en düşük 24,0 g, en yüksek 74,8 g olarak saptanmış ve ortalama total ağırlık $44,22 \pm 5,37$ g bulunmuştur. Örneklerin boş vücut ağırlığı 16,4-53,1 g arasında değişmiş ve ortalama boş vücut ağırlığı $31,88 \pm 7,26$ g bulunmuştur. *A. mossulensis* örneklerinin metrik ve meristik karakterlerine ait ortalama, minimum ve maksimum değerler Çizelge 4.3'te verilmiştir.



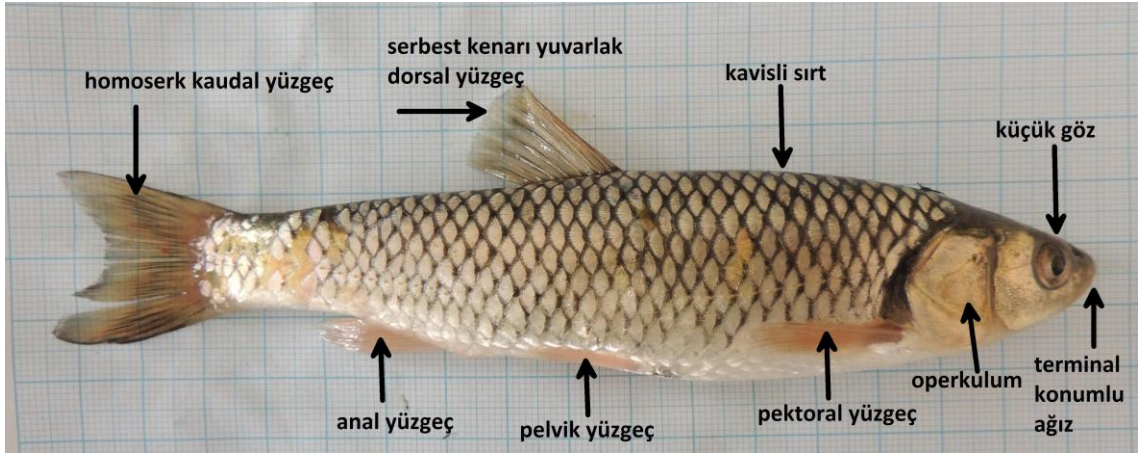
Şekil 4.4. Karasu Nehri *A. mossulensis* türünde morfolojik yapı

Çizelge 4.3. Karasu Nehri *A. mossulensis* bireylerine ait metrik ve meristik karakterler

Metrik Karakterler	(Ort.±SH)	Meristik Karakterler	Min.-Mak.
Baş boyu	3,2±1,91	Dorsal yüzgeç dallı ışıını	8-9
Baş yüksekliği	2,1±0,33	Anal yüzgeç dallı ışıını	10-12
Vücut yüksekliği	2,9±0,64	Pektoral yüzgeç dallı ışıını	14-15
Kuyruk sapı uzunluğu	2,9±0,91	Ventral yüzgeç dallı ışıını	8-9
Kuyruk sapı yüksekliği	1,3±0,31	Dorsal yüzgeç basit ışıını	2-3
Göz çapı	1,3±0,55	Anal yüzgeç basit ışıını	2-3
Üst çene uzunluğu	0,5±0,14	Pektoral yüzgeç basit ışıını	-
Alt çene uzunluğu	0,8±0,33	Ventral yüzgeç basit ışıını	-
Dorsal yüzgeç yüksekliği	1,1±0,24	Yan çizgi pulu	54-71
Dorsal yüzgeç kaide uzunluğu	2,9±0,38	Solungaç diki	12-16
Anal yüzgeç yüksekliği	0,8±0,66	Farinks dişi	2,5-5,2
Anal yüzgeç kaide uzunluğu	2,3±0,61		
Kuyruk yüzgeç uzunluğu	3,3±0,39		
Pektoral yüzgeç uzunluğu	2,7±0,92		
Ventral yüzgeç uzunluğu	2,1±0,83		
Pektoral-ventral mesafe	4,2±0,34		
Ventral-anal mesafe	3,0±0,34		
Total boy	17,83±3,96		15,0-19,6
Çatal boy	16,33±1,50		13,5-18,1
Standart boy	15,74±0,59		13,91-17,51
Total ağırlık	44,22±5,37		24,0-74,8
Boş ağırlık	31,88±7,26		16,4-53,1

4.2.3. *Squalius cephalus*

S. cephalus türü için yapılan morfolojik incelemelerde örneklerin karın kısmı beyaz, sırt kısmı daha koyu renkli; sırt ve kuyruk yüzgeçleri renksiz, göğüs, karın ve anal yüzgeçleri ise çok hafif turuncu renkte gözlenmiştir. Şekil 4.5'te çalışmada incelenen örneklerden birine ait bir fotoğraf verilmiştir. Örneklerde vücudun yan tarafının biraz yassı, sırt ve karın taraflarının ise yuvarlak olduğu görülmüştür. Geniş bir baş ve alına sahip olan balıkların başının da yan taraftan çok hafif yassılaşmış olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.5. Karasu Nehri *S. cephalus* türünde morfolojik yapı

Örneklerde sırtta tek dorsal yüzgeç gözlenmiş ve yüzgecin serbest kenarının çok hafif yuvarlak olduğu görülmüştür. Kuyruk yüzgecinin hafif oyuk ve lopların ucunun çok az yuvarlak olduğu ve siyah bir bant taşıdığı görülmüştür. Anal yüzgecin serbest ucu konveks, göğüs ve karın yüzgeçlerinin serbest uçlarının ise hafif yuvarlak olduğu görülmüştür. Örneklerin bazılarında operkul ve yanak üzerinde siyah lekeler gözlenmiştir (Şekil 4.6). Dorsal yüzgeçte 7-9, pektoral yüzgeçte 14-17, pelvik yüzgeçte 7-9 ve anal yüzgeçte 7-10 arasında değişen sayıda yumuşak ışın sayılmıştır (Çizelge 4.4).



Şekil 4.6. *S. cephalus* türünde operkul üzerinde benekler

Sikloid pullarla kaplı vücutta büyük pulların arka kısımlarında küçük ve siyah renkli pigment taneleri gözlemlenmiştir. İncelenen örneklerde karna doğru kavisli ve oldukça belirgin olan yan çizgideki pul sayısı 35- 47 arasında değişim göstermiştir.

İncelenen örneklerde terminal konumlu olan ağızda (üst çene uzunluğu ortalama $1,1\pm0,63$ cm ve alt çene uzunluğu ortalama $1,0\pm0,66$ cm) bıyık gözlenmemiştir. Türev gözleri küçük ve ortalama göz çapı $0,8\pm0,66$ cm bulunmuştur. Uçları çengel şeklinde kıvrık ve hafif tırtıklı olan farinks dişleri 2,5-5,2 şeklinde 2 sıralı dizilim göstermiştir. İncelenen örneklerde birinci solungaç yayında bulunan dikenlerin sayısı 8-9 arasında değişmiştir (Çizelge 4.4).

Karasu Nehri'nden alınan *S. cephalus* örneklerinde total boy 12,5-21,0 cm, çatal boy 11,0-19,5 cm, standart boy 10,5-19,06 cm arasında; total ağırlık 18,9-108,4 g ve boş ağırlık 12,5-79,3 g arasında dağılım göstermiştir. Ortalama total boy $16,07\pm2,03$ cm, çatal boy $14,57\pm1,50$ cm ve standart boy $14,13\pm0,44$ cm olarak hesaplanmıştır. Ortalama total vücut ağırlığı $48,09\pm9,26$ g ve boş ağırlık $36,02\pm9,34$ g bulunmuştur. *S. cephalus* örneklerinin metrik ve meristik karakterlerine ait ortalama ve minimum-maksimum değerler Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Karasu Nehri *S. cephalus* bireylerine ait metrik ve meristik karakterler

Metrik Karakterler	(Ort.±SH)	Meristik Karakterler	Min.-Mak.
Baş boyu	$3,2\pm1,64$	Dorsal yüzgeç dallı ışıını	7-9
Baş yüksekliği	$2,6\pm0,55$	Anal yüzgeç dallı ışıını	7-10
Vücut yüksekliği	$4,2\pm1,61$	Pektoral yüzgeç dallı ışıını	14-17
Kuyruk sapı uzunluğu	$2,0\pm1,64$	Ventral yüzgeç dallı ışıını	7-9
Kuyruk sapı yüksekliği	$1,7\pm0,61$	Dorsal yüzgeç basit ışıını	3
Göz çapı	$0,8\pm0,66$	Anal yüzgeç basit ışıını	3
Üst çene uzunluğu	$1,1\pm0,63$	Pektoral yüzgeç basit ışıını	1
Alt çene uzunluğu	$1,0\pm0,66$	Ventral yüzgeç basit ışıını	2
Dorsal yüzgeç yüksekliği	$1,7\pm0,23$	Yan çizgi pulu	35-47
Dorsal yüzgeç kaide uzunluğu	$3,0\pm0,29$	Solungaç diki	8-9
Anal yüzgeç yüksekliği	$1,4\pm0,55$	Farinks dişi	2,5-5,2
Anal yüzgeç kaide uzunluğu	$2,3\pm0,37$		
Kuyruk yüzgeç uzunluğu	$3,2\pm1,90$		
Pektoral yüzgeç uzunluğu	$3,1\pm1,32$		
Ventral yüzgeç uzunluğu	$1,7\pm0,33$		
Pektoral-ventral mesafe	$4,5\pm1,61$		
Ventral-anal mesafe	$2,8\pm1,94$		
Total boy	$16,07\pm2,03$		12,5-21,0
Çatal boy	$14,57\pm1,50$		11,0-19,5
Standart boy	$14,13\pm0,44$		10,5-19,06
Total ağırlık	$48,09\pm9,26$		18,9-108,4
Boş ağırlık	$36,02\pm9,34$		12,5-79,3

4.3. Anatomik Bulgular

4.3.1. Dış anatomik yapılar ve deri

İncelenen balıklarda deri mukusla kaplı kaygan bir yapıda gözlenmiştir. Çalışma süresince nehirden yakalanan balıkların derisinde renk koyulaşması, dış parazit varlığı gibi herhangi bir makroskopik anormallik tespit edilmemiştir. İncelenen tüm türlerde derinin kolayca bükülen, ince yapılı, yuvarlağımsı şekilli sikloit pullarla kaplı olduğu gözlenmiştir. Bir sıradaki her bir pul, bir önceki sıranın iki pulunun altında ve arasında ve arka uçları serbest olacak bir biçimde dizilmiştir.

İncelenen *C. capoeta* örneklerinde yanal çizgide 37-85 arasında, *A. mossulensis*'te 54-71 arasında, *S. cephalus*'ta ise 35-47 arasında değişen sayıda pul tespit edilmiştir.

Burun organının 1 çift ve derin bir çukurluktan ibaret olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.7). Balıkların gözü, ön tarafta hafif konveks, küresel şekilde, göz kapaksız ve incelenen tüm bireylerde normal yapıda gözlenmiş ve gözlerde opaklaşma gibi bir anormallik gözlenmemiştir.



Şekil 4.7. *A. mossulensis* türünde burun ve göz

4.3.2. Hareket sistemi

Çalışmada seçilen tüm istasyonlardan yakalanan balıkların baş iskeletinde anatomik olarak herhangi bir anormallik gözlenmemiştir.

Balıklarda dış iskelet elemanlarından kemikleşmiş pul ve yüzgeç ışınları normal yapıda gözlenmiştir. Pelvik yüzgeçlerin abdominal tipte olduğu gözlenmiş ve yüzgeçlerde balığın hareketini engelleyecek hiç bir anormallik saptanmamıştır. Makroskobik incelemelerde özellikle haziran ve temmuz aylarında elde edilen birkaç bireyin yüzgeç diplerinde kanlanma (Şekil 4.8) ve yüzgeçlerinde erime gözlenmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.8. *C. capoeta* türünün yüzgeç diplerinde kanlanma



Şekil 4.9. *A. mossulensis* türünün kuyruk yüzgecinde erime

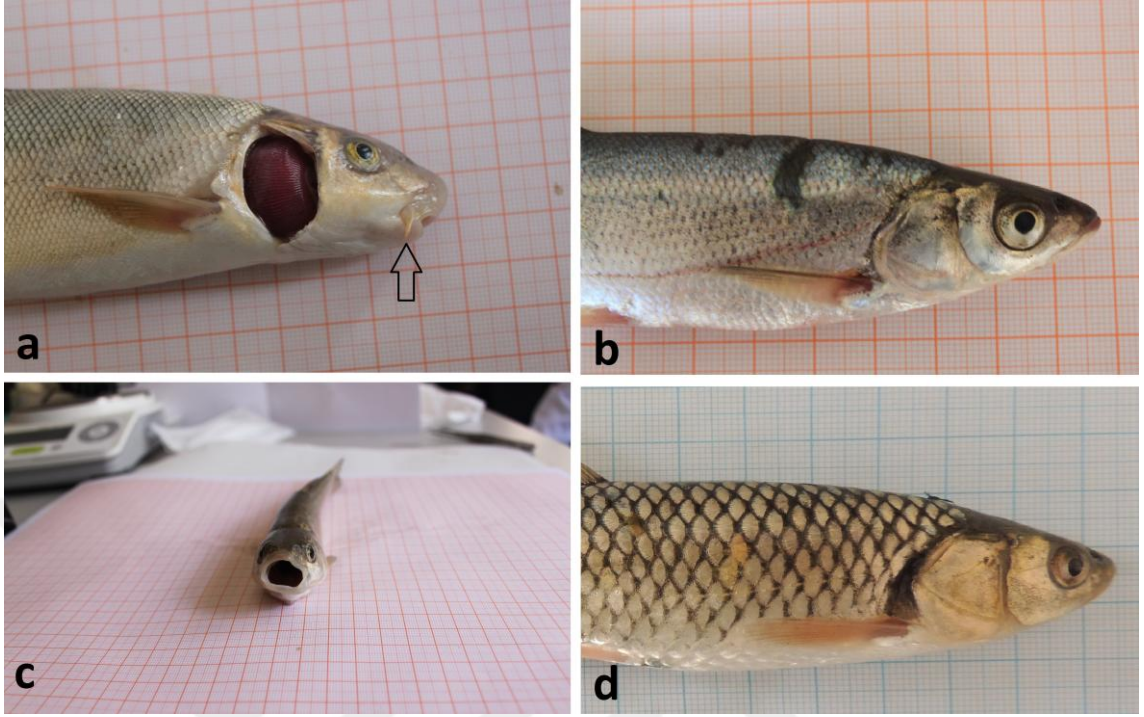
Diseksiyonla incelenen balıklarda gövde ve kuyruk omurları görülmüş ve omurgada herhangi bir anormallik gözlenmemiştir. Üç türde de kaburga kemikleri çok sayıda ve iyi gelişmiş halde gözlenmiş, kaburgaların kaideleri omurlara birleşik ve diğer uçları serbest halde görülmüştür. Kaburgalar göğüs bölgesi omurlarına bağlı olduklarından kuyruk bölgesinde kaburga gözlenmemiştir. Yalancı kaburga da denen kılçıkların ise kas septumları arasında normal yapıda olduğu bulunmuştur.

Diseksiyonla incelenen balıklarda vücuttaki kasların büyük bir kısmını oluşturan gövde ve kuyruk kasları ile az bir kısmını oluşturan çene, branşiyal yaylar ve yüzgeçlerle bağlantılı olan kaslar normal yapıda izlenmiştir. Myoseptumların kasları birçok bölümlere ayırdığı ve deriyi kaslara ve iskelet sistemine bağladığı gözlenmiştir.

4.3.3. Sindirim sistemi

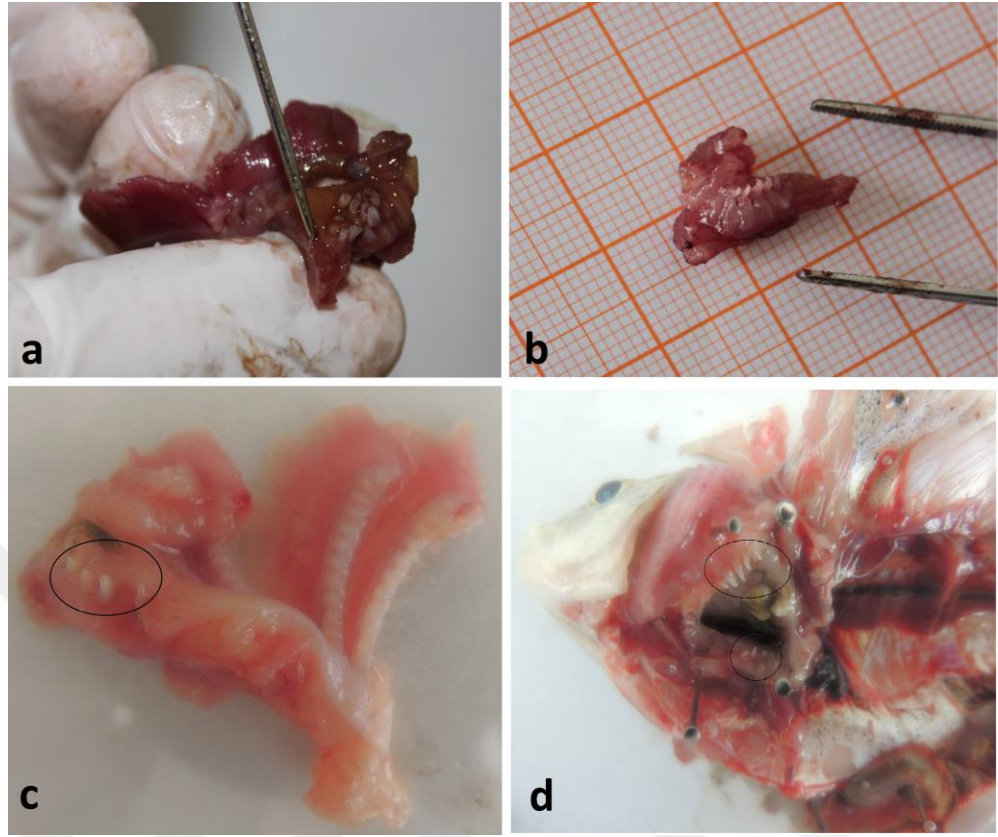
İncelenen balıklarda ağız, farinks, özofagus, bağırsak, anüs ve bağlantılı yapılardan oluşan sindirim sistemi yapıları diseksiyonla gözlenmiştir.

C. capoeta'da ağız sub terminal konumlu ve bir çift kısa bıyıklı, *A. mossulensis*'te üst konumlu ve bıyıksız, *S. cephalus*'ta terminal konumlu ve yine bıyıksız olarak gözlenmiş (Şekil 4.10) ve balıkların ağzında çene dişleri gözlenmemiştir (Şekil 4.10.c).



Şekil 4.10. Karasu Nehri'nden yakalanan türlerde ağız yapısı
a) *C. capoeta*, b) *A. mossulensis*, c-d) *S. cephalus*, Ok; büyük

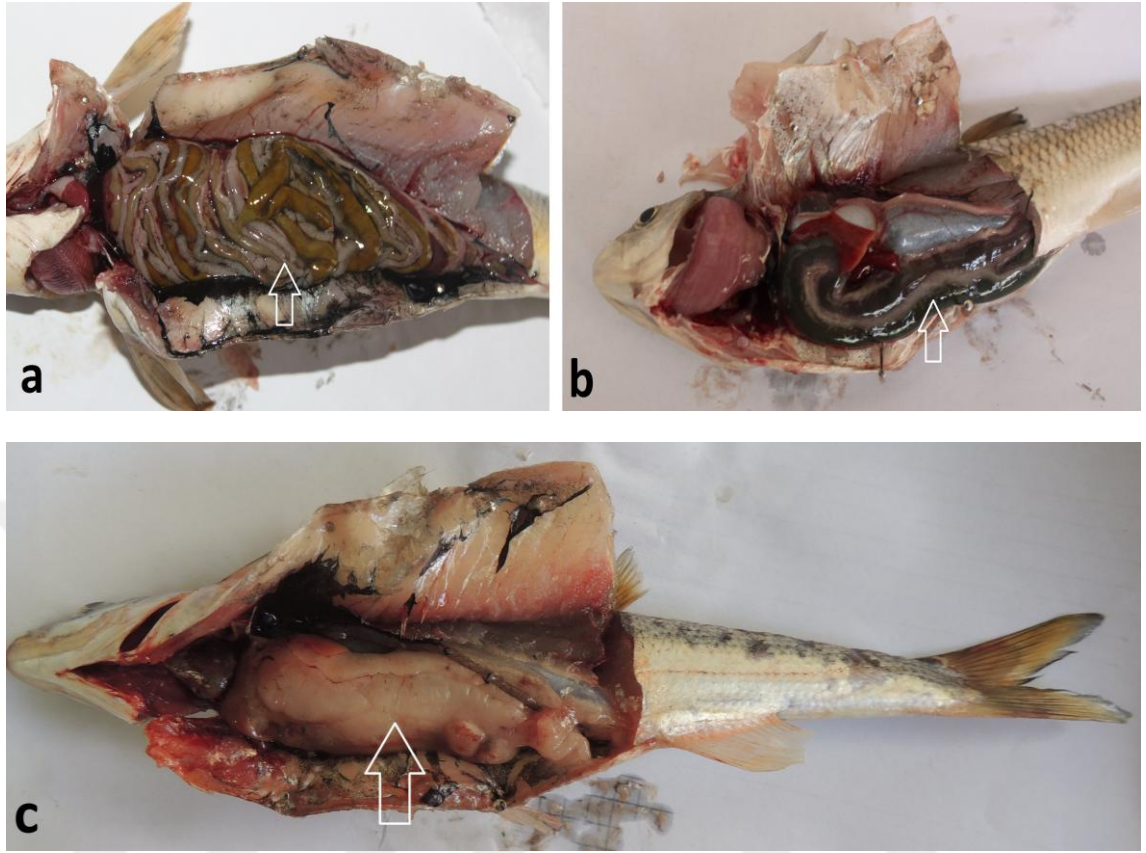
İncelenen balıklarda iki kemik yaydan oluşan çok kısa bir yutak ve faringien kemikler üzerinde dişler görülmüştür (Şekil 4.11). Farinks dişleri *C. capoeta*, *A. mossulensis* ve *S. cephalus* türlerinin incelenen tüm örneklerinde testere dişi gibi tırtıklı bir yapıda gözlenmiş ve dişlerde 2 ya da 3 sıralı bir dizilim tespit edilmiştir.



Şekil 4.11. Farinks dişleri
a) *C. capoeta*, **b)** *A. mossulensis*, **c-d)** *S. cephalus* (daire içerisinde)

Yutaktan sonra gelen özofagus kısa, huni şeklinde genişlemiş bir yapıda ve doğrudan doğruya bağırsağa bağlı halde gözlenmiştir.

İncelenen balıklarda mide ve pilorik çekum gözlenmemiştir. Şekil 4.12’de diseksiyonla içleri açılan balıklarda bağırsak anatomisi gösterilmiştir. Ağustos ayında yakalanan bazı balıkların bağırsaklarının yüzeyinde çok az miktarda yağlanma gözlenmiştir (Şekil 4.12.c). İncelenen balıklarda beslenme şeklinin farklılığına göre bağırsak uzunluğunda önemli farklar göze çarpmıştır. Anatomik olarak en uzun bağırsak *C. capoeta*’da gözlenmiştir.



Şekil 4.12. Karasu Nehri'nden yakalanan türlerde bağırsak anatomisi
a) *C. capoeta*, b) *S. cephalus*, c) *A. mossulensis*

Şekil 4.13, 4.14 ve 4.15'teki diseksiyon fotoğraflarında türlerin iç organları gösterilmiştir. Siyah renkli karın zarı (peritoneum) özellikle *S. cephalus* bireylerinde dikkat çekmiştir. Karaciğer *C. capoeta*'da kırmızı kahverengi renkte, *A. mossulensis* ve *S. cephalus*'ta sarımsı kahverengi renkte gözlenmiştir. Safra turuncu renkte gözlenmiş, dalak ise karaciğerden daha koyu rengiyle ayırt edilmiştir (Şekil 4.13).

Özofagusun huni şeklinde genişlemiş üst kısmına doğru yerleşmiş olan karaciğer üç türde de iki parçadan meydana gelmiştir. 2015 yılında nehirden yakalanan *C. capoeta* türünün incelenen bireylerinde karaciğer ağırlığı 0,20-2,25 g arasında, *A. mossulensis* balıklarında 0,06-1,46 g arasında ve *S. cephalus* türünde 0,07-1,69 g arasında değişmiştir. 2016 yılında ise nehirden yakalanan *C. capoeta* bireylerinde karaciğer ağırlığı 0,21-3,12 g arasında, *A. mossulensis* balıklarında 0,12-1,73 g arasında ve *S. cephalus* türünde 0,27-1,84 g arasında değişmiştir.

İncelenen balıklarda koyu kırmızı renkli dalak piramidal bir yapıda gözlenmiştir. Dalak ve karaciğerde herhangi bir anormal büyüme saptanmamıştır. Karaciğer histolojik preparatları incelendiğinde pankreatik dokunun karaciğer içine yayıldığı gözlenmiştir.

Örneklerde anüsün anal yüzgecin hemen önünde konumlandığı görülmüştür.

4.3.4. Dolaşım sistemi

İncelen balıklarda dolaşım sıvısı olan kan berrak kırmızı renkte gözlenmiştir. Oldukça küçük olduğu gözlenen iki odacıklı kalp karın bölgesinin önünde, yutağın hemen altında, solungaçlara yakın bir konumda yerleşmiştir. İncelenen türlerin kalbinde anatomik olarak hiçbir anormallik kaydedilmemiştir.

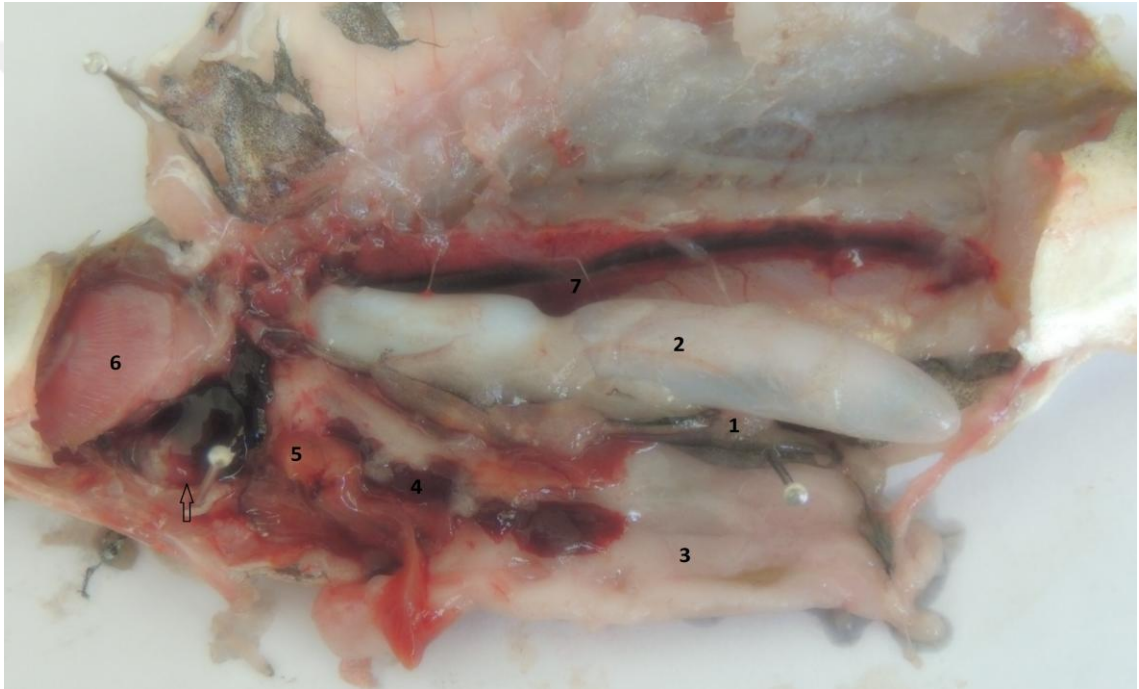


Şekil 4.13. *C. capota* diseksiyon

1. Gonad, 2. Hava kesesi, 3. Bağırsak 4. Karaciğer, 5. Dalak, 6. Solungaç, 7. Böbrek, Beyaz ok: kalp

4.3.5. Boşaltım sistemi

İncelenen balıklarda siyaha yakın koyu kırmızı renkte ve ince-uzun bir yapıda gözlenen mezonefroz böbrek, omurganın hemen altında ve omurgaya yapışık olarak yerleşmiştir (Şekil 4.14). Böbrekte damarların oldukça belirgin olduğu gözlenmiş ve incelenen üç türün de böbreklerinde dışarıdan fark edilebilecek herhangi bir anormalliğe rastlanmamıştır.



Şekil 4.14. *A. mossulensis* diseksiyon

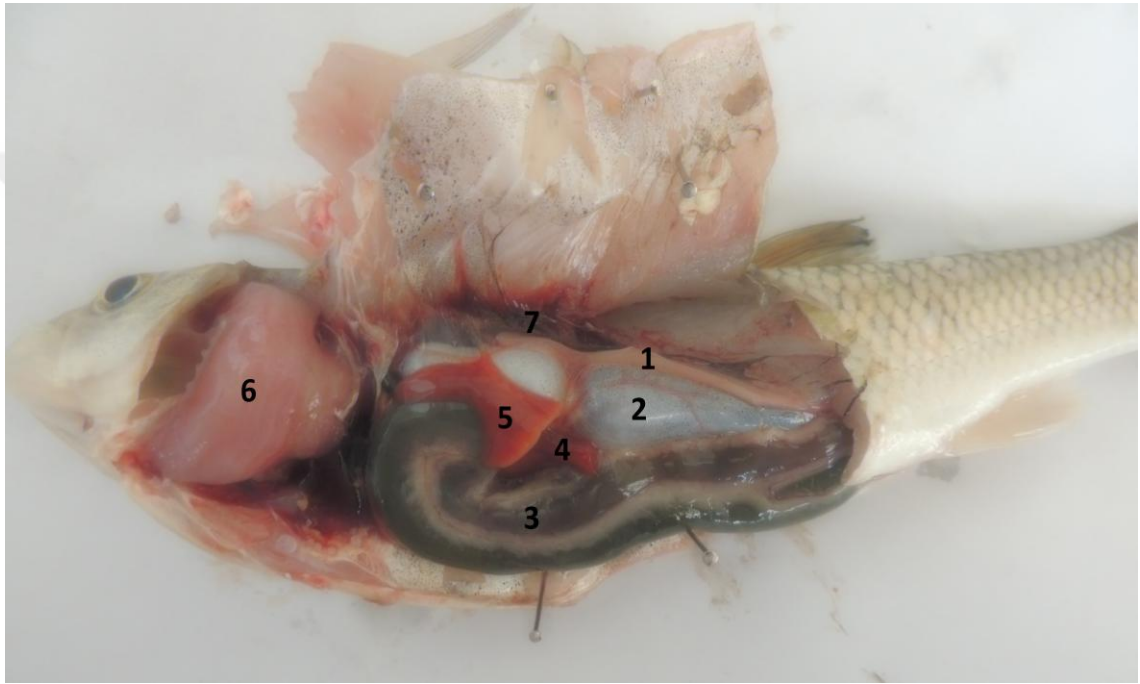
1. Gonad, 2. Hava kesesi, 3. Bağırsak 4. Dalak, 5. Karaciğer, 6. Solungaç, 7. Böbrek, Siyak ok: kalp

4.3.6. Solunum sistemi

İncelen balıklarda solungaçları koruyan operkulumun üzerinde herhangi bir makroskobik anormallik gözlenmemiştir. Balıklarda solungaç boşluğunda bulunan solungaçlar, her bir taraftaki 4 solungaç yayı üzerinde gelişmişlerdir. Solungaç yayının konkav tarafında solungaç dikenleri, zıt tarafında ise, kılcal kan damarlarıyla kaplı olan solungaç lamelleri fotoğraflanmıştır (Şekil 4.14). *C. capoeta*'da solungaç dikenlerinin

sayısı 18-22 arasında, *A. mossulensis*'te 12-16 arasında, *S. cephalus*'ta ise 8-9 arasında değişmiştir (Çizelge 4.4).

Diseksiyonla içleri açılan üç balık türünde de hava keselerinin iki loblu ve özofagus ile bağlantılı (fizostom) olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.15).

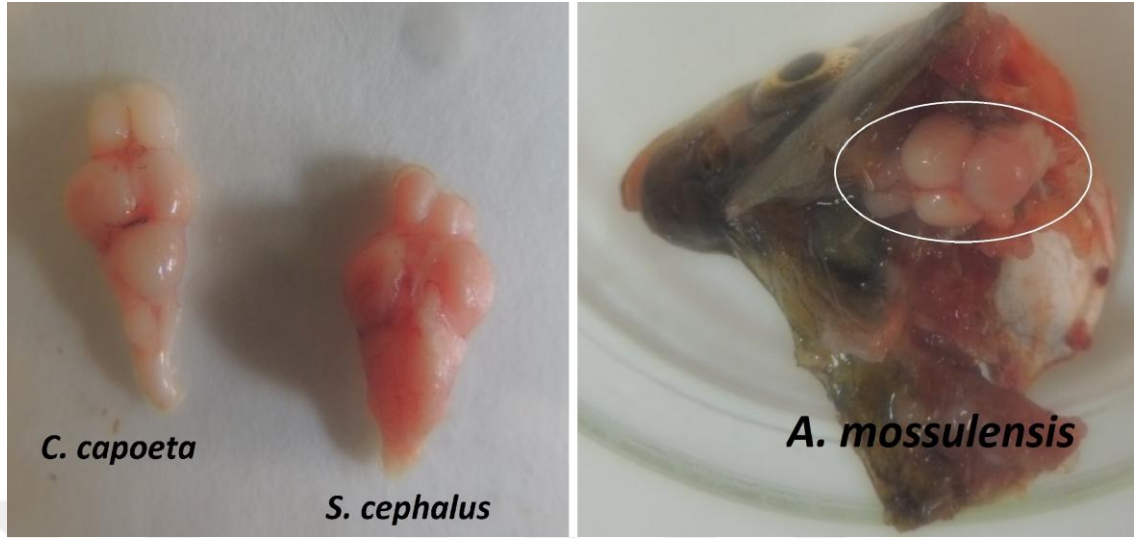


Şekil 4.15. *S. cephalus* diseksiyon

1. Gonad, 2. Hava kesesi, 3. Bağırsak 4. Dalak, 5. Karaciğer, 6. Solungaç, 7. Böbrek

4.3.7. Sinir sistemi

Diseksiyonla kafatası açılan balıklarda beyin ve beynin arka bölümünün gerisinde yerleşmiş beyincik (Şekil 4.16) ve bunu takiben beyin boşluğuyla ve omurilik ile irtibat sağlayan omurilik soğanı anatomik olarak normal yapıda gözlenmiştir. Omurilik bütün vücut boyunca uzanmıştır. Ön beyin, orta beyin ve arka beyin kısımlarına sahip olan 2 loptan oluşan beyin fotoğrafları Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Karasu Nehri'nden yakalanan türlerde beyin anatomisi

4.3.8. Üreme sistemi

Genç balıklarda gonadlar çok ince ve iplik şeklinde olduklarından makroskobik olarak gonadları ovaryum veya testis olarak ayırmak mümkün olmamıştır. İncelenen örneklerde bir çift olan ovaryumlar eşit büyüklükte, şekilleri oval bir torba biçiminde ve her biri ovaryum duvarıyla çevrili halde gözlenmiştir. Bir ucu ile karın duvarına yapışık olan ovaryumlar, karın duvarı ile hava kesesi arasında karşılıklı olarak yer almıştır. Ovaryumun üst kısmına karaciğer ve sindirim kanalı yerleşmiştir. Mayıs ayının ilk haftalarında incelenen örneklerde, ovaryumların olgunlaşmaya başladığı, olgun ovaryumların bol kan damarlı ve tanecikli bir görünüme sahip olduğu gözlenmiştir. Haziran ayında incelenen örneklerin karın tarafına dokunulunca yumurtaların boşaldığı gözlenmiştir. Mayıs-haziran aylarında incelenen erişkin dişi balıklarda ovaryumlar sarı renkte gözlenirken ağustos ayından sonra gri renkte gözlenmiştir. Ekim ayında incelenen balıklarda gonadların etrafında hafif yağ birikimi gözlenmiştir. İncelenen balıkların hiçbirinin ovaryumunda anatomik olarak herhangi bir anormallik tespit edilmemiştir. Şekil 4.17'de *A. mossulensis* türünde normal gonad anatomisi gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Karasu Nehri'nden Temmuz 2015'te yakalanan *A. mossulensis* türüne ait normal gonad anatomisi

İncelenen erkek balıklarda bir çift olan testisler, karın duvarı ile hava kesesi arasında karşılıklı olarak yer almış ve ovaryumda olduğu gibi bunların da üst kısmına karaciğer ve bağırsak yerleşmiştir. Testislerin bir ucunun peritonla karın duvarına yapışık olduğu, diğer ucunun ise abdominal kısımdaki porla dışarı açıldığı gözlenmiştir. Balıklarda testisler lobüler tipte ve yüzeyleri düz olarak gözlenmiştir. Üreme dönemindeki balıkların testisleri kirli beyaz renkte, sonbaharda ise krem renginde gözlenmiştir. İncelenen balıkların hiçbirinin testisinde anatomik olarak herhangi bir anormallik tespit edilmemiştir.

2015 yılında yakalanan *C. capoeta* türünde gonad ağırlığı 0,22-12,74 g arasında, *A. mossulensis* balıklarında 0,32-18,62 g arasında ve *S. cephalus* bireylerinde 0,19-9,44 g arasında değişmiştir. 2016 yılında ise *C. capoeta* bireylerinde gonad ağırlığı 0,10-11,45 g arasında, *A. mossulensis* balıklarında 0,13-12,45 g arasında ve *S. cephalus* bireylerinde 0,08-7,76 g arasında değişmiştir.

İki yıl boyunca incelenen tüm balıklarının iç organlarında anatomik olarak herhangi bir patolojik bulguya rastlanmamıştır.

4.4. Gonadosomatik İndeks (GSİ)

Karasu Nehri'nden yakalanan balıkların gonad ağırlığı ve gonadosomatik indeksi (GSİ) iki yıl boyunca aylık olarak değerlendirilmiştir. Türlerin üreme zamanı dişi ve erkek bireylerin gonadosomatik indeks (GSİ) ve gonad ağırlığı değerlerinin aylık değişimleri analiz edilerek saptanmıştır. Çizelge 4.5'te üç türün dişi ve erkek bireylerinin ortalama gonadosomatik indeks değerleri ve Şekil 4.18'de indeksin aylık değişimi verilmiştir.

Capoeta capoeta bireyleri için elde edilen gonadosomatik indeks (GSİ) değerleri incelendiğinde aylar arasındaki ortalama farkın iki yılda da istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p < 0,05$ Çizelge 4.5). 2015 yılında en yüksek ortalama GSİ hem dişi hem de erkeklerde haziran ayında (dişilerde $7,46 \pm 0,11$, erkeklerde $4,62 \pm 1,02$); en düşük ortalama GSİ ise ağustos ayında (dişilerde $1,05 \pm 0,12$, erkeklerde $0,61 \pm 0,05$) elde edilmiştir. 2016 yılında da 2015'te olduğu gibi en yüksek değerler haziranda (dişilerde $5,87 \pm 1,01$ ve erkeklerde $3,85 \pm 1,05$), en düşük değerler ise ağustos ayında (dişilerde $1,04 \pm 0,05$ ve erkeklerde $0,39 \pm 0,02$) kaydedilmiştir. Verilere göre Karasu Nehri *C. capoeta* popülasyonunda üreme dönemi Mayıs-haziran aylarına rastlamıştır. *C. capoeta* türünün her iki yıla ait ortalama GSİ değerleri kıyaslandığında, 2016 yılında Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında dişilerin indeksi bir önceki yıla göre daha düşük, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında ise daha yüksek bulunmuştur. Erkek bireylerde ise 2016 yılı Ekim ayı dışındaki diğer aylarda 2015'e göre değerlerin daha düşük olduğu gözlenmiştir. Ayrıca iki yılda da erkeklere göre dişilerde daha yüksek GSİ değerleri elde edilmiştir (Şekil 4.18).

Çizelge 4.5. Türlerin 2015-2016 yılları aylara göre gonadosomatik indeks değerleri

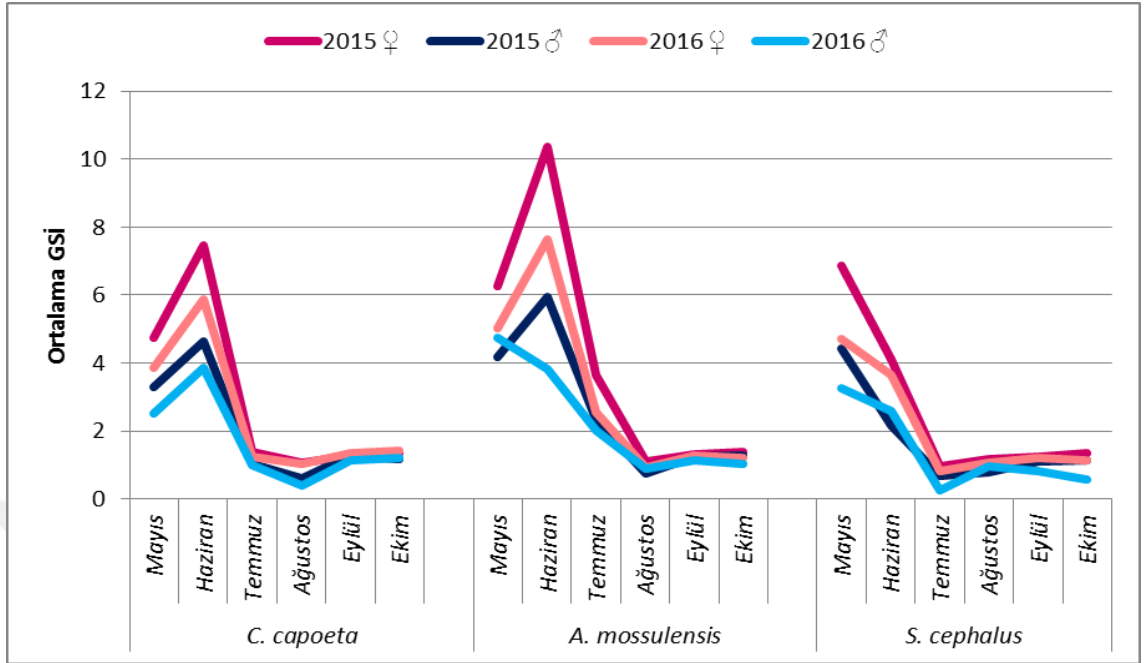
Tür	Aylar	2015		2016	
		Ortalama GSİ (±SH)		Ortalama GSİ (±SH)	
		♀	♂	♀	♂
<i>C. capota</i>	Mayıs	4,73±1,02 ^b	3,28±0,28 ^b	3,86±1,08 ^b	2,52±0,33 ^b
	Haziran	7,46±0,11 ^a	4,62±1,02 ^a	5,87±1,01 ^a	3,85±1,05 ^a
	Temmuz	1,40±0,02 ^c	1,02±0,09 ^e	1,24±0,03 ^e	0,98±0,03 ^e
	Ağustos	1,05±0,12 ^f	0,61±0,05 ^f	1,04±0,05 ^f	0,39±0,02 ^f
	Eylül	1,29±0,01 ^e	1,27±0,08 ^c	1,36±0,02 ^d	1,14±0,02 ^d
	Eki.	1,35±0,01 ^d	1,16±0,03 ^d	1,43±0,04 ^c	1,22±0,15 ^c
<i>A. mossulensis</i>	Mayıs	6,26±1,13 ^b	4,17±0,10 ^b	5,04±0,25 ^b	4,75±0,58 ^a
	Haziran	10,38±2,08 ^a	5,95±1,25 ^a	7,65±1,99 ^a	3,81±0,35 ^b
	Temmuz	3,64±1,01 ^c	2,33±0,55 ^c	2,56±0,35 ^c	2,02±0,22 ^c
	Ağustos	1,10±0,06 ^f	0,74±0,03 ^f	0,92±0,07 ^f	0,87±0,01 ^f
	Eylül	1,31±0,01 ^e	1,23±0,01 ^e	1,26±0,03 ^d	1,12±0,02 ^d
	Ekim	1,37±0,02 ^d	1,28±0,02 ^d	1,19±0,01 ^e	1,03±0,03 ^e
<i>S. cephalus</i>	Mayıs	6,87±1,73 ^a	4,41±1,05 ^a	4,72±0,65 ^a	3,24±0,16 ^a
	Haziran	4,12±0,71 ^b	2,16±0,06 ^b	3,65±0,11 ^b	2,59±0,12 ^b
	Temmuz	0,95±0,05 ^f	0,69±0,01 ^f	0,82±0,05 ^f	0,25±0,08 ^f
	Ağustos	1,17±0,02 ^e	0,78±0,02 ^e	1,06±0,03 ^e	0,96±0,07 ^c
	Eylül	1,25±0,03 ^d	1,09±0,01 ^d	1,20±0,02 ^c	0,81±0,04 ^d
	Ekim	1,34±0,09 ^c	1,13±0,01 ^c	1,15±0,01 ^d	0,57±0,06 ^e

Aynı sütundaki farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar a-f istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05 Duncan testi).

Alburnus mossulensis bireyleri için gonadosomatik indeks (GSİ) değerleri incelendiğinde aylar arasındaki değerlerdeki farkın her iki yılda da istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (p<0,05 Çizelge 4.5). Verilere göre Karasu Nehri *A. mossulensis* popülasyonunda üreme dönemi mayıs-haziran aylarına rastlamıştır. *A. mossulensis* bireylerinde 2015 yılında en yüksek ve en düşük ortalama GSİ sırasıyla haziran (dişilerde 10,38±2,08, erkeklerde 5,95±1,25) ve ağustos (dişilerde 1,10±0,06, erkeklerde 0,74±0,03) aylarında kaydedilmiştir. Genel olarak GSİ, mayıs ayından itibaren artarak haziranda maksimum seviyeye ulaşmıştır. Temmuzda düşen GSİ ağustosa kadar düşmüş ve bu aydan sonra hafif bir artış göstermiştir (Şekil 4.18). 2016 yılında GSİ dişilerde haziranda (7,65±1,99), erkeklerde ise mayısta (4,75±0,58) en yüksek değere ulaşmış ve iki cinsiyette de en düşük değer ağustosta (dişilerde 0,92±0,07 ve erkeklerde 0,87±0,01) kaydedilmiştir. Yıllara göre ortalama GSİ değerleri incelendiğinde, 2016 yılında dişî bireylere ait değerlerin bir önceki yıla göre biraz daha

düşük olduğu gözlenmiştir. Erkeklerde ise 2016 yılında sadece mayıs ve ağustos aylarında çok az yüksek olan değerlerin, diğer aylarda biraz daha düşük olduğu gözlenmiştir. GSI değerleri cinsiyetlere göre değerlendirildiğinde ise iki yılda da dişi bireylerin indeksi erkeklerinkine göre daha yüksek bulunmuştur (Şekil 4.18).

Squalius cephalus bireyleri için gonadosomatik indeks (GSI) değerleri incelendiğinde her iki yılda da aylar arasındaki ortalama GSI'deki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$ Çizelge 4.5). Verilere göre Karasu Nehri *S. cephalus* popülasyonunda üreme dönemi mayıs-temmuz aylarına rastlamıştır. Türün hem dişi hem de erkekler bireylerinde ortalama GSI'nin 2015 yılı Mayıs ayında en yüksek (sırasıyla $6,87\pm1,73$ ve $4,41\pm1,05$) değere sahip olduğu gözlenmiştir. 2015 yılı Temmuz ayında minimuma inen indeks (dişilerde $0,95\pm0,05$ ve erkeklerde $0,69\pm0,01$) ağustostan itibaren ekime kadar yükselmiştir. 2016 yılında da hem dişi hem de erkek bireylerin ortalama gonadosomatik indeksi mayısta en yüksek (sırasıyla $4,72\pm0,65$ ve $3,24\pm0,16$) ve temmuzda en düşük ($0,82\pm0,05$ ve $0,25\pm0,08$) seviyede bulunmuştur. 2016 yılında erkek bireylerde ağustostan itibaren ekime kadar düşüş gösteren ortalama GSI, dişi bireylerde eylüle kadar yükselmiş ve ekimde hafif bir düşüş sergilemiştir. Ortalama GSI 2015 yılına göre 2016'da biraz daha düşük değerler almıştır ve iki yılda da dişi bireylerin indeksi erkeklerinkine göre daha yüksek bulunmuştur (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. 2015-2016 yılı aylara göre türlerin ortalama gonadosomatik indeksi (%)

Balıkların GSI değerleri kıyaslandığında türler arasında en yüksek ortalama gonadosomatik indeksin (GSI) iki yıl boyunca *A. mossulensis* bireylerinde olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.18). Dişi ve erkek bireylerin değerleri karşılaştırıldığında ise üç türde de aynı şekilde dişi bireylerin GSI değerlerinin erkeklere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

İncelenen türlerin GSI değerlerinin iki yıl boyunca istasyonlara göre değişimi de izlenmiş ve elde edilen bulgular Çizelge 4.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Türlerin 2015-2016 yılları istasyonlara göre ortalama GSİ değerleri

Balık türü	İstasyon	2015 Ortalama GSİ (±SH)	2016 Ortalama GSİ (±SH)
<i>C. capoeta</i>	1.	5,18±0,02 ^c	4,12±0,13 ^c
	2.	4,86±0,03 ^d	3,34±0,15 ^d
	3.	5,39±0,11 ^b	5,56±0,10 ^b
	4.	6,02±0,15 ^a	5,90±0,20 ^a
<i>A. mossulensis</i>	1.	4,25±0,01 ^d	3,06±0,12 ^d
	2.	5,04±0,20 ^c	3,41±0,18 ^c
	3.	5,63±0,05 ^b	4,28±0,51 ^b
	4.	5,87±0,14 ^a	6,13±0,94 ^a
<i>S. cephalus</i>	1.	3,99±0,01 ^d	3,27±0,12 ^c
	2.	4,45±0,15 ^c	3,01±0,05 ^d
	3.	5,12±0,10 ^b	4,03±0,23 ^b
	4.	6,24±0,19 ^a	5,58±1,04 ^a

Aynı sütundaki farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar a-d istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05 Duncan testi).

Türlerin yıl ve istasyonlara göre GSİ değerleri incelendiğinde *C. capoeta* için en düşük ortalama GSİ her iki yılda da 2. istasyonda (sırasıyla 4,86±0,03 ve 3,34±0,15), en yüksek GSİ ise 4. istasyonda (sırasıyla 6,02±0,15 ve 5,90±0,20) tespit edilmiştir. En yüksek GSİ değerine göre istasyonlar bu tür için 4>3>1>2 şeklinde sıralanmıştır. *A. mossulensis* için en yüksek ortalama GSİ her iki yılda da 4. istasyonda (sırasıyla 5,87±0,14 ve 6,13±0,94), en düşük GSİ değeri ise 1. istasyonda (sırasıyla 4,25±0,01 ve 3,06±0,12) elde edilmiştir. En yüksek GSİ değerine göre istasyonlar bu tür için 4>3>2>1 şeklinde sıralanmıştır. *S. cephalus* için en düşük ortalama GSİ 2015 yılında 1. istasyonda, 2016 yılında ise 2. istasyonda (sırasıyla 3,99±0,01 ve 3,01±0,05) ve en yüksek ortalama GSİ her iki yılda da 4. istasyonda (sırasıyla 6,24±0,19 ve 5,58±1,04) elde edilmiştir. En yüksek ortalama GSİ değerine göre istasyonlar bu tür için 2015 yılında 4>3>2>1 şeklinde sıralanırken 2016 yılında 4>3>1>2 şeklinde sıralanmıştır. Buna göre üç türde de hem 2015 hem de 2016 yılında ortalama GSİ değerlerinin özellikle 1. ve 2. istasyonlarda önemli oranda düşük olduğu tespit edilmiştir (p<0,05).

Türler için yıllara göre istasyonlardaki ortalama GSİ değerleri incelendiğinde, *C. capoeta* türünde 2016 yılında 3. istasyonda ve *A. mossulensis* türünde 4. istasyonda 2015'e göre ortalama GSİ'nin biraz daha yüksek olmasına karşın diğer istasyonlarda ortalama GSİ'nin daha düşük olduğu gözlenmiştir. *S. cephalus* türünde ise 2016 yılının

tüm istasyonlarındaki ortalama GSİ değerlerinin 2015'e göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Buna göre 2015 ve 2016 yılları ortalama GSİ değerleri bakımından karşılaştırıldığında 2016 yılında genel olarak değerlerin 2015 yılına göre daha düşük olduğu gözlenmiştir.

4.5. Bağırsak Katsayısı (IC)

Türlerinin 2015-2016 yılları aylara göre ortalama bağırsak katsayısı (Intestinal Coefficient=IC) değerlerine ait veriler Çizelge 4.7'de verilmiş ve bağırsak katsayısının aylara göre değişim grafiği Şekil 4.19'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Türlerin 2015-2016 yılları aylara göre ortalama bağırsak katsayısı (IC) değerleri

Balık türü	Aylar	2015 (Ort.±SH)	2016 (Ort.±SH)
<i>C. capoeta</i>	Mayıs	3,09±0,01 ^c	3,22±0,01 ^c
	Haziran	3,01±0,02 ^d	3,27±0,02 ^b
	Temmuz	3,14±0,01 ^b	3,43±0,16 ^a
	Ağustos	3,66±0,33 ^a	2,80±0,12 ^d
	Eylül	2,92±0,01 ^e	2,55±0,04 ^f
	Ekim	2,81±0,03 ^f	2,63±0,02 ^e
<i>A. mossulensis</i>	Mayıs	1,10±0,01 ^b	0,89±0,03 ^b
	Haziran	0,98±0,01 ^c	0,73±0,02 ^d
	Temmuz	1,14±0,02 ^a	0,92±0,03 ^b
	Ağustos	0,95±0,02 ^c	1,28±0,21 ^a
	Eylül	0,76±0,03 ^d	0,69±0,01 ^e
	Ekim	0,57±0,02 ^e	0,80±0,01 ^c
<i>S. cephalus</i>	Mayıs	0,96±0,01 ^d	1,02±0,02 ^c
	Haziran	1,09±0,01 ^b	0,84±0,01 ^e
	Temmuz	1,23±0,04 ^a	1,16±0,04 ^b
	Ağustos	1,01±0,00 ^c	1,30±0,08 ^a
	Eylül	0,85±0,03 ^e	0,93±0,01 ^d
	Ekim	0,62±0,07 ^f	0,78±0,02 ^f

Aynı sütundaki farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar a-f istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05 Duncan testi).

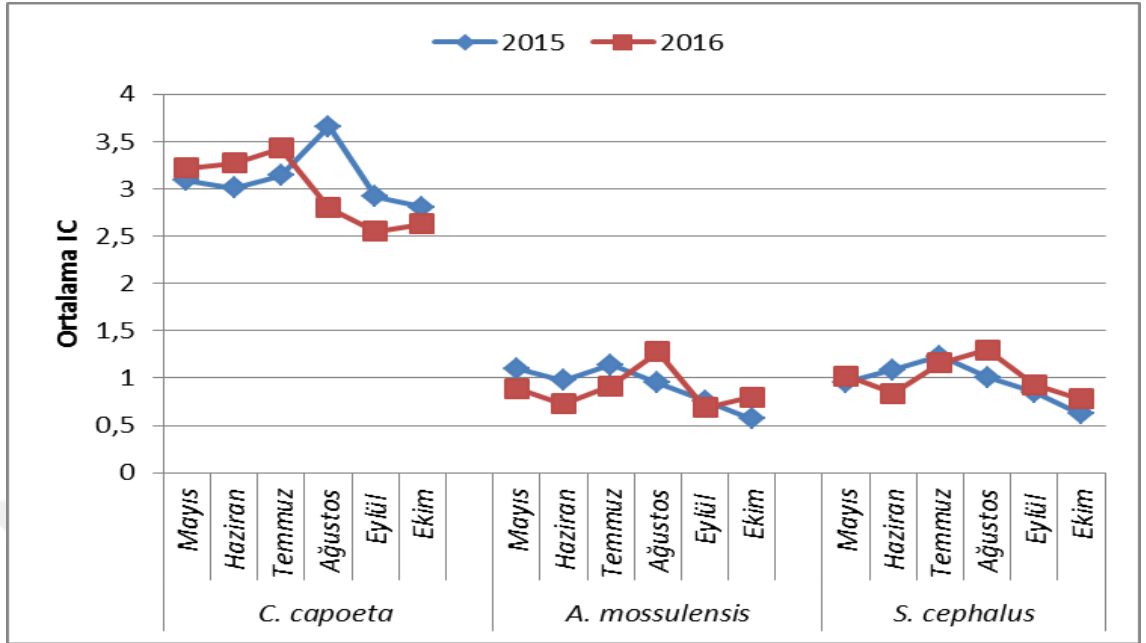
İncelenen balıklarda aylar arasındaki ortalama IC değerleri arasındaki fark üç tür için de istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0,05). *C. capoeta*'ya ait IC 2015 yılında 3,66±0,33 ile ağustos ayında en yüksek değeri, 2,81±0,03 ile ekim ayında en düşük değeri almıştır. IC 2016 yılında ise 3,43±0,16 ile temmuz ayında en yüksek değere

ulaşmış, $2,55\pm0,04$ ile eylül ayında en düşük değere inmiştir. 2015 yılında mayıs, haziran ve temmuz aylarındaki değerler 2016 yılına göre biraz düşük, ağustos, eylül, ekim aylarındaki değerler ise biraz daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.7 ve Şekil 4.19).

A. mossulensis için en yüksek IC, 2015 yılında $1,14\pm0,02$ değeri ile temmuzda, 2016 yılında ise $1,28\pm0,21$ değeri ile ağustosta elde edilmiştir. En düşük IC ise 2015 yılında $0,57\pm0,02$ değeri ile ekimde ve 2016 yılında $0,69\pm0,01$ değeri ile eylülde elde edilmiştir. 2015 Ağustos ve Ekim aylarının dışında diğer aylarda değerler 2016'ya göre daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.7 ve Şekil 4.19).

S. cephalus'un 2015 yılındaki IC değerleri incelendiğinde, IC temmuz ayında en yüksek $1,23\pm0,04$ değerini, ekim ayında ise $0,62\pm0,07$ ile en düşük değerini almıştır. 2016 yılındaki IC değerlerine bakıldığında; IC ağustos ayında $1,30\pm0,08$ ile en yüksek değeri, ekim ayında ise $0,78\pm0,02$ ile en düşük değeri almıştır. 2015 yılında haziran ve temmuz aylarının dışında diğer aylardaki değerler 2016'ya göre daha düşük bulunmuştur (Çizelge 4.7 ve Şekil 4.19).

IC için tüm veriler değerlendirildiğinde üç türde de benzer şekilde temmuz ve ağustos aylarında IC'nin yüksek, eylül ve ekim aylarında ise düşük olduğu tespit edilmiştir. Türler arasında en yüksek IC değerlerine ise *C. capoeta* bireylerinin sahip olduğu saptanmıştır (Şekil 4.19). Ward-Campbell *et al.* (2005)'in kriterlerine göre 2,55-3,66 arasında olan IC değeri *C. capoeta* türünün herbivor, $0,57-1,28$ olan IC değeri *A. mossulensis* türünün omnivor ve $0,62-1,30$ arasında olan IC değeri *S. cephalus* türünün omnivor beslendiğini göstermiştir.



Şekil 4.19. Karasu Nehri türlerinde bağırsak katsayısı (IC) aylık değişimi

4.6. Kondisyon Faktörü (KF)

Karasu Nehri balıklarının genel sağlık durumlarını değerlendirmek için türlerin kondisyon faktöründeki değişim iki yıl boyunca aylık olarak incelenmiştir.

Capoeta capoeta örneklerinde 2015 yılında kondisyon faktörü 0,49-1,78 arasında 2016'da ise 0,67-1,77 arasında değişim göstermiştir. 2015 yılında en yüksek ortalama KF $1,80 \pm 0,10$ ile haziran ayında, en düşük ortalama KF ise $0,97 \pm 0,03$ ile ağustos ayında kaydedilmiştir. 2016 yılında da en yüksek ortalama KF $1,59 \pm 0,06$ değeri ile haziran ayında, en düşük ortalama KF ise $1,03 \pm 0,04$ değeri ile yine ağustos ayında kaydedilmiştir. Haziranda maksimum değerine ulaşan KF bu aydan sonra düşmüş ve eylül-ekim aylarında tekrar yükselmiştir. 2015 ve 2016 yılları ortalama kondisyon faktörü açısından karşılaştırıldığında 2015 yılında değerlerin daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Alburnus mossulensis örneklerinde 2015 yılında kondisyon faktörü 0,42-1,75 arasında ve 2016'da 0,68-1,74 arasında değişim göstermiştir. 2015 yılında ortalama kondisyon

faktörü $1,58 \pm 0,10$ ile haziran ayında pik yapmış, temmuz ayında değer azalarak ağustos ayında $1,06 \pm 0,03$ ile en düşük seviyeye inmiştir. 2016 yılında ortalama kondisyon faktörü $1,61 \pm 0,18$ ile yine haziranda en yüksek değeri, $0,92 \pm 0,05$ ile ağustosta en düşük değeri almıştır. Bu türün 2015-2016 yıllarına ait ortalama kondisyon faktörü değerleri kıyaslandığında 2016 yılında değerlerin genel olarak daha düşük olduğu gözlenmiştir.

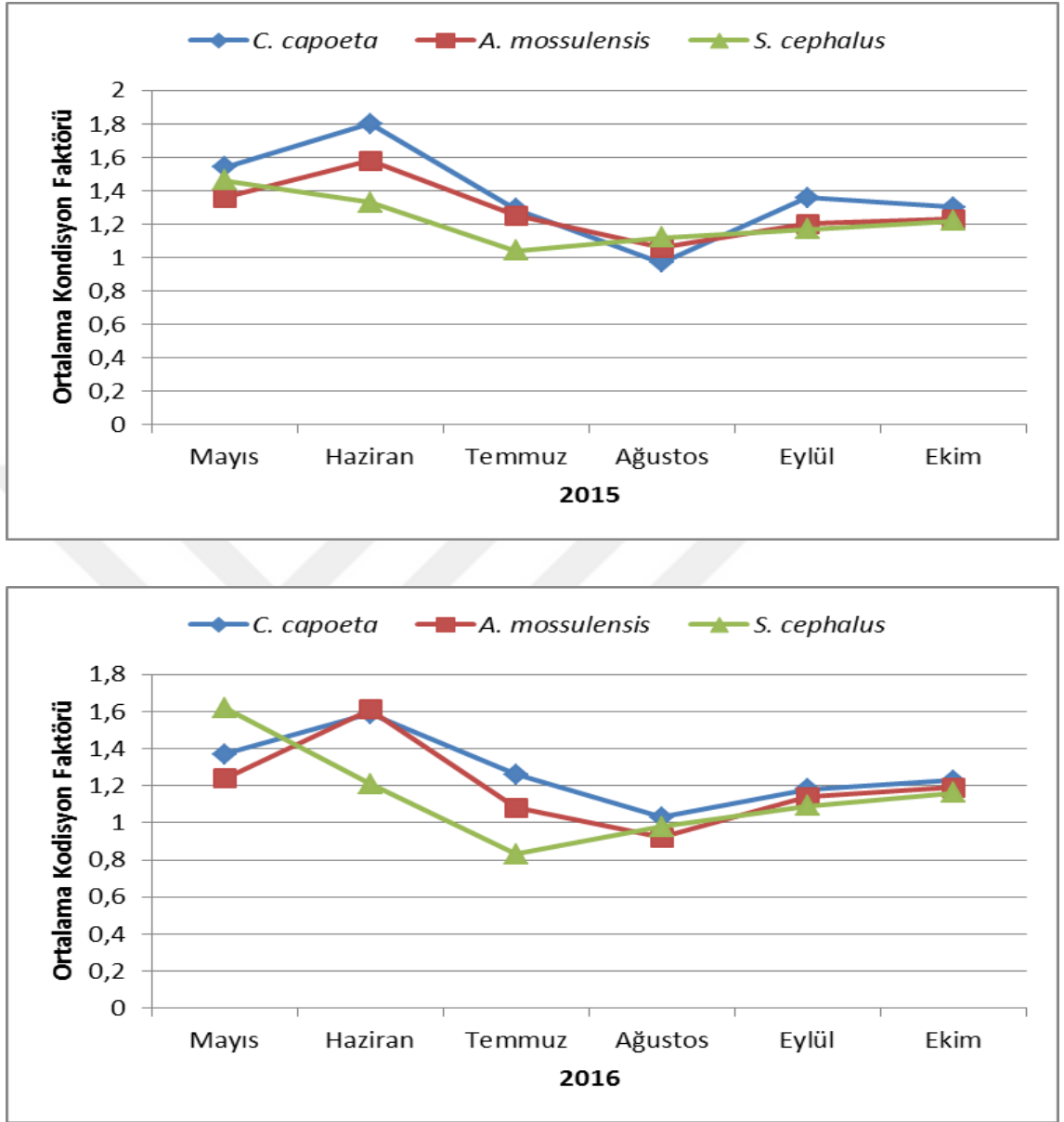
Squalius cephalus örneklerinde 2015 yılında kondisyon faktörü 0,32-1,72 arasında değişmiştir. 2015'te ortalama kondisyon faktörü $1,46 \pm 0,04$ ile mayıs ayında en yüksek değeri ve $1,04 \pm 0,01$ ile temmuz ayında en düşük değeri almıştır. 2016 yılında ise kondisyon faktörü 0,53-1,76 arasında değişmiştir. 2016 yılında ortalama kondisyon faktörü mayıs ayında $1,62 \pm 0,15$ ile yine en yüksek değeri, temmuz ayında $0,83 \pm 0,04$ ile en düşük değeri almıştır. Bu türün 2015 ve 2016 yılları ortalama kondisyon faktörü değerleri incelendiğinde 2016 yılında (mayıs ayı hariç) genel olarak değerlerin 2015'e göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Karasu Nehri'nden çalışma süresince yakalanan türlere ait ortalama kondisyon faktörüne (KF) ait sonuçlar Çizelge 4.8'de verilmiş ve aylara göre kondisyon faktöründeki değişim Şekil 4.20'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Türlerin 2015-2016 yılları aylık ortalama kondisyon faktörü (KF) değerleri

Balık türü	Aylar	2015 Ortalama ($\pm$ SH)	2016 Ortalama ($\pm$ SH)
<i>C. capoeta</i>	Mayıs	1,54 $\pm$ 0,08 ^b	1,37 $\pm$ 0,03 ^b
	Haziran	1,80 $\pm$ 0,10 ^a	1,59 $\pm$ 0,06 ^a
	Temmuz	1,29 $\pm$ 0,01 ^d	1,26 $\pm$ 0,01 ^c
	Ağustos	0,97 $\pm$ 0,03 ^e	1,03 $\pm$ 0,04 ^e
	Eylül	1,36 $\pm$ 0,02 ^c	1,18 $\pm$ 0,02 ^d
	Ekim	1,30 $\pm$ 0,01 ^d	1,23 $\pm$ 0,01 ^c
<i>A. mossulensis</i>	Mayıs	1,36 $\pm$ 0,08 ^b	1,24 $\pm$ 0,13 ^b
	Haziran	1,58 $\pm$ 0,10 ^a	1,61 $\pm$ 0,18 ^a
	Temmuz	1,25 $\pm$ 0,02 ^c	1,08 $\pm$ 0,01 ^e
	Ağustos	1,06 $\pm$ 0,03 ^e	0,92 $\pm$ 0,05 ^f
	Eylül	1,20 $\pm$ 0,01 ^d	1,14 $\pm$ 0,02 ^d
	Ekim	1,23 $\pm$ 0,01 ^c	1,19 $\pm$ 0,01 ^c
<i>S. cephalus</i>	Mayıs	1,46 $\pm$ 0,04 ^a	1,62 $\pm$ 0,15 ^a
	Haziran	1,33 $\pm$ 0,02 ^b	1,21 $\pm$ 0,03 ^b
	Temmuz	1,04 $\pm$ 0,01 ^f	0,83 $\pm$ 0,04 ^f
	Ağustos	1,12 $\pm$ 0,01 ^e	0,98 $\pm$ 0,01 ^e
	Eylül	1,17 $\pm$ 0,01 ^d	1,09 $\pm$ 0,01 ^d
	Ekim	1,22 $\pm$ 0,03 ^c	1,16 $\pm$ 0,02 ^c

Aynı sütundaki farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar a-f istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05 Duncan testi).

Elde edilen verilere bakıldığında iki yılda da aylar arasındaki ortalama KF değerleri arasındaki farkın üç tür için de istatistiksel olarak önemli olduğu bulunmuş (p<0,05) ve kondisyon faktörünün genel olarak üç türde de Mayıs ve Haziran aylarında en yüksek değerde, Temmuz ve Ağustos aylarında ise en düşük değerde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.20. Karasu Nehri türlerinde ortalama kondisyon faktörü aylık değişimi

4.7. Hepatosomatik İndeks (HSİ)

İncelenen türlerin genel sağlık durumunu belirlemek için biyosomatik indekslerden hepatosomatik indeks (HSİ) değerlerinin iki yıl boyunca istasyonlara göre değişimi izlenmiştir. Yakalanan türlerin istasyonlara göre ortalama HSİ değerleri Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Türlerin 2015-2016 yılları istasyonlara göre ortalama HSI değerleri

Balık türü	İstasyon	2015	2016
		Ortalama HSI ($\pm$ SH)	Ortalama HSI ($\pm$ SH)
<i>C. capoeta</i>	1	1,04 $\pm$ 0,03 ^b	1,18 $\pm$ 0,09 ^b
	2	1,27 $\pm$ 0,02 ^a	1,42 $\pm$ 0,04 ^a
	3	0,52 $\pm$ 0,06 ^c	0,73 $\pm$ 0,07 ^c
	4	0,21 $\pm$ 0,07 ^d	0,47 $\pm$ 0,05 ^d
<i>A. mossulensis</i>	1	1,36 $\pm$ 0,06 ^a	1,50 $\pm$ 0,09 ^a
	2	1,19 $\pm$ 0,04 ^b	1,38 $\pm$ 0,03 ^b
	3	0,83 $\pm$ 0,09 ^c	1,07 $\pm$ 0,07 ^c
	4	0,28 $\pm$ 0,08 ^d	0,51 $\pm$ 0,05 ^d
<i>S. cephalus</i>	1	1,24 $\pm$ 0,03 ^b	1,52 $\pm$ 0,12 ^b
	2	1,56 $\pm$ 0,06 ^a	1,85 $\pm$ 0,15 ^a
	3	0,95 $\pm$ 0,09 ^c	0,86 $\pm$ 0,06 ^c
	4	0,33 $\pm$ 0,07 ^d	0,58 $\pm$ 0,04 ^d

Aynı sütundaki farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar a-d istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0,05$ Duncan testi).

HSI değerleri incelendiğinde *C. capoeta* için en yüksek değer her iki yılda da 2. istasyonda (sırasıyla 1,27 $\pm$ 0,02 ve 1,42 $\pm$ 0,04), en düşük değer ise 4. istasyonda (sırasıyla 0,21 $\pm$ 0,07 ve 0,47 $\pm$ 0,05) kaydedilmiştir. İstasyonlar arasındaki ortalama HSI farkı önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Bu türde en yüksek ortalama HSI değerine göre istasyonlar 2>1>3>4 şeklinde sıralanmıştır.

A. mossulensis için en yüksek değer iki yılda da 1. istasyonda (sırasıyla 1,36 $\pm$ 0,06 ve 1,50 $\pm$ 0,09), en düşük değer ise 4. istasyonda (sırasıyla 0,28 $\pm$ 0,08 ve 0,51 $\pm$ 0,05) elde edilmiş ve istasyonlar arasında HSI değerlerindeki farklılık önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Bu tür için en yüksek ortalama HSI değerine göre istasyonlar 1>2>3>4 şeklinde sıralanmıştır.

S. cephalus için en yüksek değer her iki yılda da 2. istasyonda (sırasıyla 1,56 $\pm$ 0,06 ve 1,85 $\pm$ 0,15), en düşük değer ise 4. istasyonda (sırasıyla 0,33 $\pm$ 0,07 ve 0,58 $\pm$ 0,04) kaydedilmiştir ve istasyonlar arasındaki ortalama HSI farkı önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Bu tür için en yüksek ortalama HSI değerine göre istasyonlar 2>1>3>4 şeklinde sıralanmıştır.

Buna göre üç türde de hem 2015 hem de 2016 yıllarında ortalama HSI değerlerinin 1. ve 2. istasyonlarda diğer istasyonlara göre önemli oranda yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$).

2015 ve 2016 yılları ortalama HSI değerleri bakımından karşılaştırıldığında 2016 yılında değerlerin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. *C. capoeta* ve *A. mossulensis* için 2016 yılının tüm istasyonlarında ortalama HSI değerlerinin 2015 yılınıninkine göre daha yüksek olduğu, *S. cephalus* için ise 2016 yılı 3. istasyonunda değerin 2015'e göre daha düşük olmasına karşın yine de 2016'da diğer istasyonlarda ortalama HSI'nin 2015'e göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. İstasyonlar arasında HSI değerleri bakımından bir karşılaştırma yapıldığında 4. istasyonla kıyaslanınca diğer üç istasyonda HSI değerlerinin önemli oranda yüksek olduğu saptanmıştır ($p<0,05$).

4.8. Su ve Sediment Analiz Bulguları

Türlerin yaşadığı ortamın kimyasal özelliklerini belirlemek için Karasu Nehri'nin suyu ve sedimenti ağır metal içeriği bakımından analiz edilmiştir. 2015 ve 2016 yıllarında Karasu Nehri'nin seçilen 4 istasyonundan alınan su ve sediment numunelerinde tespit edilen en yüksek ağır metal seviyeleri Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.10. 2015 yılı su ve sediment örneklerinde maksimum ağır element seviyeleri (ppm)

Ağır element	2015		2015		2015		2015	
	1. İstasyon		2. İstasyon		3. İstasyon		4. İstasyon	
	Su	Sediment	Su	Sediment	Su	Sediment	Su	Sediment
Ti	200,9	1,5	193,4	1,1	119,2	0,99	107,5	0,85
V	156,6	85,0	179,5	89,6	111,9	65,1	110,3	49,7
Cr	12,50	429,7	12,10	410,4	6,40	401,8	4,10	124,6
Mn	6,70	33,4	9,00	30,2	5,30	22,4	5,00	20,9
Fe	7,50	321,3	8,40	156,7	4,80	147,2	3,60	135,3
Co	1,24	16,1	1,26	20,6	0,75	15,4	0,53	10,8
Ni	1,00	11,4	1,17	9,3	0,69	5,70	0,67	1,2
Cu	0,73	87,6	0,88	53,4	0,51	40,2	0,45	39,9
Zn	0,52	3,6	0,66	3,9	0,34	4,10	0,33	2,0
As	1,26	5,5	1,55	6,0	1,19	5,20	1,14	4,3
Se	0,43	10,7	0,24	10,1	0,17	9,60	0,15	9,4
Br	0,25	1,3	0,20	0,9	0,10	0,70	0,40	0,6
Sr	0,19	4,6	0,34	6,2	0,12	3,40	0,11	3,0
Pb	2,57	12,9	2,55	11,8	0,66	10,8	0,28	9,7

2015 yılı için incelenen 14 elementin de (su örneklerinde Br hariç) su ve sedimentteki miktarlarının 4. istasyonda (Dumlu) en düşük olduğu tespit edilmiştir. İstasyonlardan 2015 ve 2016 yıllarında alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçlarına bakıldığında; 2015'te alınan örneklerdeki ağır metal seviyelerinin 2016 yılına göre daha düşük olduğu gözlenmiştir.

2016 yılında nehirde alınan su örneklerinde en yüksek değerler; Ti için 211,2 ppm ile 1. istasyonda, V için 181,9 ppm ile 2. istasyonda, Cr için 13,7 ppm ile 1., Mn için 10,33 ppm ile 2., Fe için 9,8 ppm ile 2., Co için 1,38 ppm ile 2., Ni için 1,39 ppm ile 2., Cu için 1,01 ppm ile 2., Zn için 0,7 ppm ile 1., As için 1,67 ppm ile 1., Se için 0,38 ppm ile 2., Br için 0,33 ppm ile 4., Sr için 0,22 ppm ile 2. ve Pb için 3,36 ppm ile 1. istasyonda elde edilmiştir. Buna göre 1. istasyonun suyunda Ti, Cr, Zn, As ve Pb metallerinin ve 2. istasyonun suyunda V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Se ve Sr metallerinin konsantrasyonları diğer istasyonlara göre daha yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.11. 2016 yılı su ve sediment örneklerinde maksimum ağır element seviyeleri (ppm)

Ağır ele- ment	2016		2016		2016		2016	
	1. İstasyon		2. İstasyon		3. İstasyon		4. İstasyon	
	Su	Sediment	Su	Sediment	Su	Sediment	Su	Sediment
Ti	211,2	1,4	190,8	1,2	121,1	1,4	118,7	1,0
V	161,2	87,4	181,9	95,0	105,1	71,0	147,7	62,2
Cr	13,70	474,9	11,20	573,3	7,10	566,2	13,00	281,5
Mn	8,80	35,9	10,33	34,3	6,20	27,0	6,70	25,8
Fe	8,10	338,0	9,80	239,1	5,70	175,7	4,50	172,9
Co	1,16	20,5	1,38	24,2	0,88	19,9	0,95	12,2
Ni	1,01	13,9	1,39	13,9	0,80	7,3	0,94	1,4
Cu	0,90	93,9	1,01	61,5	0,63	45,8	0,57	48,3
Zn	0,70	4,5	0,60	4,5	0,38	4,7	0,52	3,3
As	1,67	6,8	1,39	6,5	1,35	6,9	1,29	5,4
Se	0,28	12,6	0,38	12,4	0,22	10,5	0,31	11,7
Br	0,32	1,1	0,32	1,1	0,16	1,0	0,33	1,1
Sr	0,20	5,5	0,22	5,8	0,15	4,0	0,17	3,9
Pb	3,36	13,9	2,78	13,0	0,71	13,6	0,36	11,1

TS 266 ve WHO 2006'ya göre su kaynaklarında bildirilen kabul edilebilir ağır metal oranları ile 2016 yılında elde edilen sonuçlar kıyaslandığında 1. istasyondaki Cr, As ve Pb ile 2. istasyondaki Mn, Fe, Ni, Se metallerinin sudaki miktarlarının bildirilen standart değerlerden oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.12).

Karasu Nehri yüzey suyu Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde (Resmi Gazete 2015) bildirilen Kıta içi Yerüstü Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri'ne göre değerlendirildiğinde nehrin 1. ve 2. istasyonlarının yüzey suyunun incelenen elementler açısından (Zn hariç) IV. sınıf kalitede yani çok kirlenmiş su durumunda olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. TS 266 ve WHO 2006'ya göre su kaynaklarında bildirilen kabul edilebilir ağır metal oranları (ppm) ile kıta içi yerüstü su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri ($\mu\text{g/l}$) ve istasyonların su kalite sınıf durumu

Ağır element	2015 (ppm)	2016 (ppm)	TS 266	WHO 2006	Sulama suyu kalite sınıfları				Sınıfı
					I	II	III	IV	
Ti	200,9 (1. ist)	211,2 (1. ist)	-	-	-	-	-	-	-
V	179,5 (2. ist)	181,9 (2. ist)	-	-	-	-	-	-	-
Cr	12,5 (1. ist)	13,70 (1. ist)	0,05	0,05	20	50	200	>200	IV
Mn	9,00 (2. ist)	10,33 (2. ist)	0,05	0,5	100	500	3000	>3000	IV
Fe	8,40 (2. ist)	9,80 (2. ist)	0,2	1	300	1000	5000	>5000	IV
Co	1,26 (2. ist)	1,38 (2. ist)	-	-	10	20	200	>200	IV
Ni	1,17 (2. ist)	1,39 (2. ist)	0,02	0,02	20	50	200	>200	IV
Cu	0,88 (2. ist)	1,01 (2. ist)	2	2	20	50	200	>200	IV
Zn	0,66 (2. ist)	0,70 (1. ist)	-	5	200	500	2000	>2000	II
As	1,55 (2. ist)	1,67 (1. ist)	0,01	0,01	20	50	100	>100	IV
Se	0,43 (1. ist)	0,38 (2. ist)	0,01	0,01	10	10	20	>20	IV
Br	0,25 (1. ist)	0,33 (4. ist)	0,01	0,025	-	-	-	-	-
Sr	0,34 (2. ist)	0,22 (2. ist)	-	-	-	-	-	-	-
Pb	2,57 (1. ist)	3,36 (1. ist)	0,01	0,01	10	20	50	>50	IV

TS 266. TSE 2005 İnsani Tüketim Amaçlı Sular.

I: Yüksek kalite, II: Az kirlenmiş, III: Kirlenmiş, IV: Çok kirlenmiş

Dört istasyondan 2016 yılında alınan sediment örneklerinin analiz sonuçları incelendiğinde Ti 1,4 ppm ile 1. ve 3. istasyonlarda, V 95,0 ppm ile 2. istasyonda, Cr 573,3 ppm ile 2., Mn 35,9 ppm ile 1., Fe 338,0 ppm ile 1., Co 24,2 ppm ile 2., Ni 13,9 ppm ile 1. ve 2. istasyonlarda, Cu 93,9 ppm ile 1., Zn 4,7 ppm ile 3., As 6,9 ppm ile 3., Se 12,6 ppm ile 1., Br 1,1 ppm ile 1. 2. ve 4. istasyonda, Sr 5,8 ppm ile 2. ve Pb 13,9 ppm ile 1. istasyonda diğer istasyonlara göre en yüksek seviyede bulunmuştur. Buna göre 1. istasyonun sedimentinde Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Se, Br ve Pb metallerinin

konsantrasyonları, 2. istasyonun sedimentinde V, Cr, Co, Ni, Br ve Sr metallerinin konsantrasyonları, 3. istasyonun sedimentinde ise Ti, Zn ve As metallerinin konsantrasyonları diğer istasyonlara göre daha yüksek bulunmuştur.

2016 yılında alınan su ve sediment örneklerinin kimyasal analiz değerlerine bakıldığında Ti ve V metallerinin dışındaki diğer tüm metallerin sedimentteki miktarlarının sudaki miktarlarına göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Ağır metal miktarlarına göre istasyonlar kendi aralarında değerlendirildiğinde her iki yılda da 1. ve 2. istasyonda, incelenen tüm metallerin (2016 yılında Br hariç) miktarının 4. istasyona göre oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. 3. istasyondan alınan örneklerde ağır metal miktarları bu istasyonlara göre daha düşükken 4. istasyondan alınan örneklerde genel olarak ağır metal seviyesi en düşük bulunmuştur.

Kimyasal analiz sonuçlarına göre su yönünden en kirli istasyonun 2. istasyon, sediment yönünden ise 1. istasyon olduğu tespit edilmiştir. Zira 2. istasyonun su örneklerinde V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Se, Sr olmak üzere 8 elementin konsantrasyonu; 1. istasyonun sedimentinde ise Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Se, Br ve Pb ağır metallerinin konsantrasyonları diğerlerinden daha yüksek bulunmuştur.

4.9. Karaciğer ve Kas Dokularına Ait Ağır Metal Analiz Bulguları

Karasu Nehri balıklarının dokularındaki ağır metal birikimlerinin belirlenmesi için, 2015 ve 2016 yıllarında nehrin seçilen istasyonlarından alınan balıkların karaciğer ve kas dokuları incelenmiştir. Balıkların dokularındaki Be, Al, P, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, La, Hg ve Pb ağır metallerinin ortalama konsantrasyonları 2015 ve 2016 yılları için sırasıyla *C. capoeta* için Çizelge 4.13 ve 4.14'te, *A. mossulensis* için Çizelge 4.16 ve 4.17'de ve *S. cephalus* için Çizelge 4.19 ve 4.20'de verilmiştir.

C. capoeta için 2015 yılında Al, Hg ve Pb metallerinin seviyesinin 1. istasyon, diğer metallerin seviyesinin ise (Be, P, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd ve La) 2. istasyon

balıklarının karaciğerinde daha yüksek olduğu saptanmıştır. 2016 yılında ise Be ve yine Al ve Pb metallerinin seviyesinin 1. istasyon ve P, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Mo ve Cd metallerinin seviyesinin ise 2015'te olduğu gibi 2. istasyon balıklarının karaciğerinde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.13 ve 4.14).

Çizelge 4.13. 2015 yılında yakalanan *C. capoeta* balıklarının karaciğer ve kas dokularındaki ağır metal konsantrasyonları (Ort. $\pm$ SH) (μ g/g) (n=12)

Metal	Dokular	1. İstasyon	2. İstasyon	3. İstasyon	4. İstasyon
Be	Karaciğer	2,42 $\pm$ 1,40	4,21 $\pm$ 0,50	0,10 $\pm$ 0,01	0,98 $\pm$ 0,20
	Kas	0	0	0	0
Al	Karaciğer	2,86 $\pm$ 0,60	2,09 $\pm$ 0,50	0,12 $\pm$ 0,03	1,78 $\pm$ 0,40
	Kas	0,40 $\pm$ 0,05	0,40 $\pm$ 0,10	0,01 $\pm$ 0,00	0,20 $\pm$ 0,05
P	Karaciğer	0,72 $\pm$ 0,30	1,02 $\pm$ 0,20	0,53 $\pm$ 0,01	0,39 $\pm$ 0,10
	Kas	0	0	0	0
Cr	Karaciğer	0,02 $\pm$ 0,00	0,06 $\pm$ 0,01	0	0
	Kas	0	0	0	0
Mn	Karaciğer	0	0,05 $\pm$ 0,01	0	0
	Kas	0	0	0	0
Ni	Karaciğer	0,13 $\pm$ 0,01	0,27 $\pm$ 0,20	0,09 $\pm$ 0,01	0
	Kas	0,03 $\pm$ 0,02	0,05 $\pm$ 0,01	0,01 $\pm$ 0,00	0
Cu	Karaciğer	1,04 $\pm$ 0,04	1,25 $\pm$ 0,50	0,21 $\pm$ 0,06	0,17 $\pm$ 0,03
	Kas	0,10 $\pm$ 0,02	0,19 $\pm$ 0,02	0,08 $\pm$ 0,01	0
Zn	Karaciğer	0,15 $\pm$ 0,03	1,96 $\pm$ 0,10	0	0
	Kas	0	0,61 $\pm$ 0,09	0	0
As	Karaciğer	0,06 $\pm$ 0,01	0,93 $\pm$ 0,40	0	0
	Kas	0	0,22 $\pm$ 0,10	0	0
Mo	Karaciğer	0,12 $\pm$ 0,04	0,29 $\pm$ 0,06	0,10 $\pm$ 0,02	0
	Kas	0	0	0	0
Cd	Karaciğer	0,03 $\pm$ 0,02	0,92 $\pm$ 0,50	0	0
	Kas	0,01 $\pm$ 0,00	0,02 $\pm$ 0,01	0	0
La	Karaciğer	0	0	0	0
	Kas	0	0	0	0
Hg	Karaciğer	0,65 $\pm$ 0,05	0,37 $\pm$ 0,20	0,29 $\pm$ 0,02	0,18 $\pm$ 0,01
	Kas	0,12 $\pm$ 0,01	0,09 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,01	0
Pb	Karaciğer	2,10 $\pm$ 0,10	0,26 $\pm$ 0,10	0,13 $\pm$ 0,02	0,11 $\pm$ 0,03
	Kas	0,23 $\pm$ 0,02	0,11 $\pm$ 0,02	0	0

'0' olan değerler tespit edilemeyecek kadar az olan metal seviyesini göstermektedir.

Çizelge 4.14. 2016 yılında yakalanan *C. capoeta* balıklarının karaciğer ve kas dokularındaki ağır metal konsantrasyonları (Ort.±SH) (µg/g) (n=12)

Metal	Dokular	1. İstasyon	2. İstasyon	3. İstasyon	4. İstasyon
Be	Karaciğer	5,63±1,60	2,65±0,80	0	2,30±0,30
	Kas	0	0	0	0
Al	Karaciğer	3,33±1,10	2,54±0,60	0,19±0,04	2,05±0,20
	Kas	0,30±0,10	0,70±0,10	0,03±0,01	0,40±0,10
P	Karaciğer	0,37±0,10	1,10±0,30	1,08±0,02	0,81±0,20
	Kas	0	0	0	0
Cr	Karaciğer	0,07±0,01	0,08±0,02	0	0
	Kas	0	0	0	0
Mn	Karaciğer	0	0	0	0
	Kas	0	0	0	0
Ni	Karaciğer	0,18±0,02	0,40±0,10	0,11±0,02	0
	Kas	0,06±0,01	0,08±0,01	0,05±0,01	0
Cu	Karaciğer	0,46±0,06	1,76±0,60	0,37±0,08	0,28±0,04
	Kas	0,20±0,01	0,40±0,10	0,10±0,01	0
Zn	Karaciğer	0,20±0,01	2,40±0,20	0	0
	Kas	0	1,20±0,40	0	0
As	Karaciğer	0,10±0,09	1,30±0,30	0	0
	Kas	0	0,60±0,10	0	0
Mo	Karaciğer	0,15±0,01	0,45±0,10	0,36±0,06	0
	Kas	0	0	0	0
Cd	Karaciğer	0,06±0,01	1,07±0,40	0	0
	Kas	0,01±0,00	0,04±0,01	0	0
La	Karaciğer	0	0	2,63±0,20	0
	Kas	0	0	0	0
Hg	Karaciğer	0,80±0,06	0,40±0,10	1,01±0,01	0,96±0,02
	Kas	0,04±0,00	0,10±0,01	0,41±0,01	0,38±0,01
Pb	Karaciğer	1,18±0,20	0,49±0,10	0,18±0,04	0,59±0,01
	Kas	0,50±0,01	0,10±0,01	0,01±0,00	0

‘0’ olan değerler tespit edilemeyecek kadar az olan metal seviyesini göstermektedir.

C. capoeta’nın kas dokusuna ait metal analiz verileri incelendiğinde, Be, P, Cr, Mn, Mo, ve La metallerinin her iki yılda da balıkların kas dokusundaki seviyesi tespit edilemeyecek kadar düşük bulunmuştur. Hg ve Pb dışında incelenen diğer metallerin seviyesinin (Al, Ni, Cu, As, Cd) 4. istasyona göre 2. istasyondan elde edilen balıkların kas dokusunda daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.13 ve 4.14). Ayrıca metallerin kastaki miktarı karaciğere göre daha düşük bulunmuştur. *C. capoeta*’nın dokularındaki en yüksek ağır metal derişimi esas alınarak istasyonlar arası bir sıralama yapıldığında 2. istasyonu sırasıyla 1., 3. ve 4. istasyonların takip ettiği belirlenmiştir.

2015 ve 2016 yıllarında yakalanan balıkların dokularında tespit edilen en yüksek ağır metal seviyeleri, ulusal ve uluslararası kuruluşlarca (Türk Gıda Kodeksi ve FAO/WHO) balık numunelerinde belirlenen maksimum metal seviyeleri ile karşılaştırılmıştır. Buna ait veriler *C. capoeta* için Çizelge 4.15'te sunulmuştur. Çizelge 4.15'teki bulgulara bakıldığında her iki yılda da yenebilir balık dokusunda ağır metal seviyesinin kabul edilebilir en yüksek değerleri aşmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.15. Ulusal ve uluslararası kıstaslara göre balık numunelerinde bildirilen maksimum metal düzeyleri ile 2015-2016 yıllarında *C. capoeta* türünde tespit edilen en yüksek ağır metal ortalama seviyeleri ($\mu\text{g/g}$)

Metal	Türk Gıda Kodeksi 2002	FAO/ WHO 1989	Karaciğer		Kas	
			2015	2016	2015	2016
Ni	-	0,4	0,27 (2. İst.)	0,40 (2. İst.)	0,05 (2. İst.)	0,08 (2. İst.)
Cr	-	0,15	0,06 (2. İst.)	0,08 (2. İst.)	0	0
Mn	20,0	2,5	0,05 (2. İst.)	0	0	0
As	1,0	-	0,93 (2. İst.)	1,30 (2. İst.)	0,22 (2. İst.)	0,60 (2. İst.)
Cu	20,0	30,0	1,25 (2. İst.)	1,76 (2. İst.)	0,19 (2. İst.)	0,40 (2. İst.)
Hg	0,5	-	0,65 (1. İst.)	1,01 (3. İst.)	0,12 (2. İst.)	0,41 (3. İst.)
Zn	50,0	30,0	1,96 (2. İst.)	2,40 (2. İst.)	0,61 (2. İst.)	1,20 (1. İst.)
Cd	0,1	0,5	0,92 (2. İst.)	1,07 (2. İst.)	0,02 (2. İst.)	0,04 (2. İst.)
Pb	0,1	0,5	2,10 (1. İst.)	1,18 (1. İst.)	0,23 (1. İst.)	0,60 (1. İst.)

A. mossulensis için 2015 yılında Be, P, Mn, Zn, As ve Pb metallerinin karaciğerdeki miktarı 1. istasyon balıklarında, Al, Ni, Mo Cd ve Hg metallerinin miktarı 2. istasyon, Cr ve Cu metallerinin miktarı ise 3. istasyon balıklarında daha yüksek bulunmuştur. 2016 yılında ise Ni, As, Mo ve Pb 1. istasyondan elde edilen balıklarda, P, Mn, Zn ve Cd 2. istasyondan elde edilen balıklarda, Be, Al, Cr, Cu ve Hg ise 3. istasyondan elde edilen balıklarda daha yüksek seviyede bulunmuştur. İki yılda da 4. istasyondan yakalanan balıkların karaciğerinde metallerin seviyesinin en düşük olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.16 ve 4.17).

Çizelge 4.16. 2015 yılında yakalanan *A. mossulensis* balıklarının karaciğer ve kas dokularındaki ağır metal konsantrasyonları (Ort.±SH) (µg/g) (n=12)

Metal	Dokular	1. İstasyon	2. İstasyon	3. İstasyon	4. İstasyon
Be	Karaciğer	8,54±1,50	5,02±0,80	5,13±1,20	1,17±0,30
	Kas	0	0	0	0
Al	Karaciğer	4,16±0,90	4,31±1,50	3,55±0,20	0,24±0,02
	Kas	1,10±0,20	1,23±0,10	0,15±0,01	0,38±0,03
P	Karaciğer	1,93±0,10	1,67±0,40	0,52±0,10	0
	Kas	0	0	0	0
Cr	Karaciğer	2,05±0,40	1,98±0,30	2,11±0,10	0,10±0,01
	Kas	0,05±0,02	0,03±0,01	0,09±0,04	0
Mn	Karaciğer	0,26±0,01	0,17±0,01	0,12±0,06	0,10±0,01
	Kas	0,15±0,03	0,11±0,02	0,10±0,01	0,06±0,03
Ni	Karaciğer	0,13±0,06	0,18±0,02	0	0
	Kas	0,01±0,00	0,04±0,01	0	0
Cu	Karaciğer	2,02±0,60	1,96±0,50	2,53±0,40	0,02±0,01
	Kas	0,19±0,02	0,12±0,01	0,20±0,01	0
Zn	Karaciğer	1,31±0,40	1,17±0,20	0,49±0,10	0
	Kas	0,42±0,10	0,18±0,02	0	0
As	Karaciğer	0,02±0,00	0,01±0,00	0	0
	Kas	0	0	0	0
Mo	Karaciğer	0,02±0,01	0,04±0,01	0	0
	Kas	0	0	0	0
Cd	Karaciğer	0,02±0,01	0,09±0,02	0	0
	Kas	0,01±0,00	0,02±0,00	0	0
La	Karaciğer	0	0	0	0
	Kas	0	0	0	0
Hg	Karaciğer	2,19±0,50	2,28±1,10	2,13±0,50	0
	Kas	0,09±0,01	0,12±0,02	0,07±0,01	0
Pb	Karaciğer	2,58±0,60	2,13±0,50	1,46±0,30	0
	Kas	0,06±0,03	0,04±0,02	0,02±0,01	0

'0' olan değerler tespit edilemeyecek kadar az olan metal seviyesini göstermektedir.

Çizelge 4.17. 2016 yılında yakalanan *A. mossulensis* balıklarının karaciğer ve kas dokularındaki ağır metal konsantrasyonları (Ort.±SH) (µg/g) (n=12)

Metal	Dokular	1. İstasyon	2. İstasyon	3. İstasyon	4. İstasyon
Be	Karaciğer	10,40±1,80	7,50±1,10	11,54±2,10	3,50±0,80
	Kas	0	0	0	0
Al	Karaciğer	6,15±1,10	6,06±0,90	6,29±1,40	0,61±0,10
	Kas	2,17±0,20	2,10±0,20	0,60±0,10	0,65±0,10
P	Karaciğer	2,40±0,20	3,17±0,60	1,75±0,20	0
	Kas	0	0	0	0
Cr	Karaciğer	2,19±0,30	2,59±0,20	2,60±0,40	0,13±0,02
	Kas	0,08±0,04	0,12±0,04	0,10±0,06	0,04±0,00
Mn	Karaciğer	0,39±0,03	0,40±0,02	0,38±0,03	0,24±0,04
	Kas	0,32±0,05	0,30±0,01	0,30±0,02	0,21±0,03
Ni	Karaciğer	0,22±0,08	0,11±0,04	0	0
	Kas	0,09±0,02	0,07±0,01	0	0
Cu	Karaciğer	2,38±0,60	2,78±0,50	3,42±0,60	0,08±0,01
	Kas	0,60±0,02	0,50±0,01	0,50±0,01	0
Zn	Karaciğer	1,70±0,20	1,90±0,30	0	0
	Kas	0,70±0,10	0,50±0,10	0	0
As	Karaciğer	0,04±0,01	0,02±0,00	0	0
	Kas	0	0	0	0
Mo	Karaciğer	0,16±0,01	0,11±0,05	0	0
	Kas	0	0	0	0
Cd	Karaciğer	0,04±0,01	0,14±0,04	0	0
	Kas	0,01±0,00	0,06±0,01	0	0
La	Karaciğer	0	0	0	0
	Kas	0	0	0	0
Hg	Karaciğer	2,35±0,60	2,57±0,50	5,27±1,10	0
	Kas	0,12±0,01	0,14±0,01	0,48±0,10	0
Pb	Karaciğer	3,20±0,80	2,49±0,60	2,24±0,40	0
	Kas	0,10±0,01	0,06±0,01	0,08±0,01	0

'0' olan değerler tespit edilemeyecek kadar az olan metal seviyesini göstermektedir.

A. mossulensis için Çizelge 4.16 ve 4.17'deki veriler incelendiğinde metallerin miktarının kasta karaciğere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu türün her iki yılda tüm istasyonlardan yakalanan bireylerinin kas dokusunda Be, P, As, Mo, ve La metallerinin seviyeleri tespit edilemeyecek kadar düşük bulunmuştur. 2015 yılında Mn, Zn ve Pb metallerinin seviyelerinin 1., Al, Ni, Cd ve Hg metallerinin 2., Cr ve Cu metallerinin seviyelerinin ise 3. istasyondan elde edilen balıkların kas dokusunda daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. 2016 yılında ise Al, Mn, Ni, Cu, Zn ve Pb 1. istasyondan, Cr ve Cd 2. istasyondan, Hg 3. istasyondan yakalanan balıkların kas dokusunda daha yüksek seviyede bulunmuştur.

Çizelge 4.18’de *A. mossulensis* türünün kas dokusunda tespit edilen en yüksek metal düzeyleri, ulusal ve uluslararası ölçütlerle kıyaslanmıştır. Buna göre bu türde her iki yılda da kas dokusunda ağır metal seviyesi kabul edilebilir en yüksek değerleri aşmamıştır.

Çizelge 4.18. Ulusal ve uluslararası kıstaslara göre balık numunelerinde bildirilen maksimum metal düzeyleri ile 2015-2016 yıllarında *A. mossulensis* türünde tespit edilen en yüksek ağır metal ortalama seviyeleri (µg/g)

Metal	Türk Gıda Kodeksi 2002	FAO/WHO 1989	Karaciğer		Kas	
			2015	2016	2015	2016
Ni	-	0,4	0,18 (2. İst.)	0,22 (1. İst.)	0,04 (2. İst.)	0,09 (1. İst.)
Cr	-	0,15	2,11 (3. İst.)	2,60 (3. İst.)	0,09 (3. İst.)	0,12 (2. İst.)
Mn	20,0	2,5	0,26 (1. İst.)	0,40 (2. İst.)	0,15 (1. İst.)	0,32 (1. İst.)
As	1,0	-	0,02 (1. İst.)	0,04 (1. İst.)	0	0
Cu	20,0	30,0	2,53 (3. İst.)	3,42 (3. İst.)	0,20 (3. İst.)	0,60 (1. İst.)
Hg	0,5	-	2,28 (2. İst.)	5,27 (3. İst.)	0,12 (2. İst.)	0,48 (3. İst.)
Zn	50,0	30,0	1,31 (1. İst.)	1,90 (2. İst.)	0,42 (1. İst.)	0,70 (1. İst.)
Cd	0,1	0,5	0,09 (2. İst.)	0,14 (2. İst.)	0,02 (2. İst.)	0,06 (2. İst.)
Pb	0,1	0,5	2,58 (1. İst.)	3,20 (1. İst.)	0,06 (1. İst.)	0,10 (1. İst.)

S. cephalus türünün karaciğer dokusuna ait metal analiz verileri incelendiğinde; her iki yılda Be, Mn ve Al metallerinin seviyesi 1. istasyondan, P, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, Hg ve Pb metallerinin seviyesi ise 2. istasyondan yakalanan balıkların karaciğerinde diğer istasyonlarınkine göre daha yüksek bulunmuştur. Yine en düşük değerler 2015 ve 2016 yıllarında 4. istasyon balıklarında elde edilmiştir (Çizelge 4.19 ve 4.20).

Bu tür için kas ile karaciğer dokuları karşılaştırıldığında incelenen metallerin kastaki miktarının karaciğerden daha düşük olduğu gözlenmiştir. *S. cephalus* bireylerinin kas dokusunda her iki yılda da Be, P, Mo, ve La metallerinin seviyeleri tespit edilemeyecek kadar düşük bulunmuştur. Cr, Mn, As, Cd, Hg ve Pb metalleri sadece 1. ve 2. istasyondan elde edilen balıklarda tespit edilmiş olup 3. ve 4. istasyonlardan elde edilen balıkların kasında bu metallerin seviyesi tespit edilememiştir. 2015 yılında Mn ve 2016’da Mn ve Zn dışında incelenen diğer metallerin (Al, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Hg, Pb) 2. istasyondan elde edilen balıkların kas dokusunda seviyesinin en yüksek olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.19 ve 4.20). *S. cephalus*’un dokularındaki en yüksek ağır

metal derişimi esas alınarak istasyonlar arası bir sıralama yapıldığında 2. istasyonu sırasıyla 1., 3. ve 4. istasyonların takip ettiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.19. 2015 yılında yakalanan *S. cephalus* balıklarının karaciğer ve kas dokularındaki ağır metal konsantrasyonları (Ort.±SH) (µg/g) (n=12)

Metal	Dokular	1. İstasyon	2. İstasyon	3. İstasyon	4. İstasyon
Be	Karaciğer	9,45±0,40	5,04±1,10	1,10±0,20	1,60±0,30
	Kas	0	0	0	0
Al	Karaciğer	4,83±1,20	3,12±0,50	3,27±0,60	1,96±0,40
	Kas	1,00±0,30	1,10±0,10	0,98±0,40	0,74±0,05
P	Karaciğer	1,64±0,50	3,85±0,10	0,91±0,10	1,43±0,30
	Kas	0	0	0	0
Cr	Karaciğer	0,04±0,02	1,57±0,50	0	0
	Kas	0,02±0,01	0,13±0,01	0	0
Mn	Karaciğer	0,33±0,04	0,25±0,01	0	0
	Kas	0,16±0,07	0,08±0,01	0	0
Ni	Karaciğer	1,86±0,02	2,03±0,40	0,10±0,02	0
	Kas	0,10±0,01	0,11±0,02	0,04±0,01	0
Cu	Karaciğer	1,47±0,05	6,98±1,30	0,50±0,20	0,20±0,01
	Kas	0,21±0,03	2,15±0,60	0,20±0,01	0,10±0,01
Zn	Karaciğer	4,03±0,40	4,17±0,20	0,80±0,10	0
	Kas	3,49±0,60	3,62±0,60	0,10±0,01	0
As	Karaciğer	0,12±0,07	3,69±0,50	0,01±0,00	0
	Kas	0,05±0,03	0,40±0,20	0	0
Mo	Karaciğer	0,15±0,01	1,79±0,40	0	0
	Kas	0	0	0	0
Cd	Karaciğer	2,11±0,40	4,99±0,50	0	0
	Kas	0,02±0,00	0,32±0,01	0	0
La	Karaciğer	0	0	0	0
	Kas	0	0	0	0
Hg	Karaciğer	0,29±0,06	3,81±0,10	0,06±0,02	0,01±0,01
	Kas	0,01±0,00	0,16±0,05	0	0
Pb	Karaciğer	0,17±0,04	2,54±0,20	0	0
	Kas	0,01±0,00	0,09±0,03	0	0

‘0’ olan değerler tespit edilemeyecek kadar az olan metal seviyesini göstermektedir.

Çizelge 4.20. 2016 yılında yakalanan *S. cephalus* balıklarının karaciğer ve kas dokularındaki ağır metal konsantrasyonları (Ort.±SH) (µg/g) (n=12)

Metal	Dokular	1. İstasyon	2. İstasyon	3. İstasyon	4. İstasyon
Be	Karaciğer	8,54±1,70	5,65±1,20	1,50±0,30	2,40±0,90
	Kas	0	0	0	0
Al	Karaciğer	5,64±1,30	2,69±0,70	3,54±0,80	2,73±0,70
	Kas	1,30±0,20	1,30±0,20	1,23±0,20	0,94±0,10
P	Karaciğer	1,70±0,20	3,71±0,60	1,81±0,40	0,78±0,20
	Kas	0	0	0	0
Cr	Karaciğer	0,06±0,01	1,68±0,30	0	0
	Kas	0,03±0,01	0,12±0,02	0	0
Mn	Karaciğer	0,50±0,07	0	0	0
	Kas	0,20±0,06	0	0	0
Ni	Karaciğer	2,05±0,01	2,31±0,20	0,15±0,01	0
	Kas	0,11±0,02	0,13±0,01	0,05±0,01	0
Cu	Karaciğer	1,66±0,09	7,79±1,80	0,40±0,10	0,30±0,10
	Kas	0,24±0,02	2,40±0,80	0,20±0,01	0,10±0,01
Zn	Karaciğer	4,23±0,20	4,40±0,10	0	0
	Kas	3,85±0,70	3,20±0,40	0	0
As	Karaciğer	0,51±0,09	4,40±0,80	0	0
	Kas	0,07±0,01	0,50±0,10	0	0
Mo	Karaciğer	0,20±0,02	1,91±0,20	0	0
	Kas	0	0	0	0
Cd	Karaciğer	2,08±0,10	5,07±0,80	0	0
	Kas	0,02±0,00	0,40±0,02	0	0
La	Karaciğer	0	0	0	0
	Kas	0	0	0	0
Hg	Karaciğer	0,42±0,08	4,40±0,20	0,06±0,01	0,03±0,00
	Kas	0,02±0,00	0,20±0,02	0	0
Pb	Karaciğer	0,22±0,06	3,20±0,10	0	0
	Kas	0,01±0,00	0,10±0,01	0	0

'0' olan değerler tespit edilemeyecek kadar az olan metal seviyesini göstermektedir.

Çizelge 4.21. Ulusal ve uluslararası kıstaslara göre balık numunelerinde bildirilen maksimum metal düzeyleri ile 2015-2016 yıllarında *S. cephalus* türünde tespit edilen en yüksek ağır metal ortalama seviyeleri ($\mu\text{g/g}$)

Metal	Türk Gıda Kodeksi 2002	FAO/WHO 1989	Karaciğer		Kas	
			2015	2016	2015	2016
Ni	-	0,4	2,03 (2. İst)	2,31 (2. İst)	0,11 (2. İst)	0,13 (2. İst)
Cr	-	0,15	1,57 (2. İst)	1,68 (2. İst)	0,13 (2. İst)	0,12 (2. İst)
Mn	20,0	2,5	0,33 (1. İst)	0,5 (1. İst)	0,16 (1. İst)	0,2 (1. İst)
As	1,0	-	3,69 (2. İst)	4,4 (2. İst)	0,4 (2. İst)	0,5 (2. İst)
Cu	20,0	30,0	6,98 (2. İst)	7,79 (2. İst)	2,15 (2. İst)	2,4 (2. İst)
Hg	0,5	-	3,81 (2. İst)	4,4 (2. İst)	0,16 (2. İst)	0,2 (2. İst)
Zn	50,0	30,0	4,17 (2. İst)	4,4 (2. İst)	3,62 (2. İst)	3,85 (1. İst)
Cd	0,1	0,5	4,99 (2. İst)	5,07 (2. İst)	0,32 (2. İst)	0,4 (2. İst)
Pb	0,1	0,5	2,54 (2. İst)	3,2 (2. İst)	0,09 (2. İst)	0,1 (2. İst)

S. cephalus 'un dokularında tespit edilen metal düzeyleri ulusal ve uluslararası ölçütlerle kıyaslandığında (Çizelge 4.21); iki yılda da yenebilir balık dokusunda ağır metal seviyesinin kabul edilebilir en yüksek değeri aşmadığı tespit edilmiştir.

Elde edilen tüm veriler değerlendirildiğinde üç türde de metallerin seviyesinin kastan ziyade karaciğerde daha yüksek olduğu gözlenmiştir. 2015-2016 yıllarında yakalanan balıkların kas dokusunda tespit edilen en yüksek ağır metal seviyeleri, ulusal ve uluslararası kuruluşlarca balık numunelerinde belirlenen maksimum metal seviyeleri ile karşılaştırıldığında, hiçbir metalin seviyesinin bildirilen standart değerleri aşmadığı tespit edilmiştir. İncelenen üç türde de metallerin dokulardaki seviyesinin özellikle 1. ve 2. istasyonlardan yakalanan balıklarda en yüksek olduğu saptanmıştır.

4.10. Biyokimyasal Bulgular

İstasyonlardan alınan balıkların kan dokusunda yapılan biyokimyasal analizlerin her iki yıla ait sonuçları Çizelge 4.22'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.22. Türlerin 2015-2016 yılları istasyonlara göre ortalama TAS-TOS değerleri

Balık türü	İstasyon	2015		2016	
		TAS (Ort.±SH)	TOS (Ort.±SH)	TAS (Ort.±SH)	TOS (Ort.±SH)
<i>C. capoeta</i>	1.	0,65±0,03 ^c	19,35±1,84 ^b	0,50±0,08 ^c	40,63±5,05 ^a
	2.	0,46±0,07 ^d	34,99±1,08 ^a	0,52±0,07 ^c	26,89±1,85 ^b
	3.	0,85±0,01 ^b	14,42±1,06 ^c	0,68±0,02 ^b	20,57±0,43 ^c
	4.	0,99±0,06 ^a	8,67±1,32 ^d	0,86±0,06 ^a	4,26±1,18 ^d
<i>A. mossulensis</i>	1.	0,44±0,05 ^c	42,23±2,06 ^a	0,21±0,01 ^d	55,69±2,84 ^a
	2.	0,45±0,04 ^c	35,76±1,13 ^b	0,30±0,07 ^c	41,87±1,03 ^b
	3.	0,77±0,02 ^b	17,34±1,25 ^c	0,53±0,05 ^b	26,56±1,22 ^c
	4.	0,96±0,03 ^a	10,45±1,24 ^d	0,85±0,07 ^a	9,02±1,14 ^d
<i>S. cephalus</i>	1.	0,42±0,06 ^c	28,92±2,08 ^b	0,29±0,01 ^c	47,75±3,72 ^b
	2.	0,21±0,08 ^d	56,55±6,72 ^a	0,16±0,03 ^d	78,64±4,91 ^a
	3.	0,82±0,06 ^b	20,14±4,85 ^c	0,59±0,01 ^b	25,62±1,11 ^c
	4.	0,93±0,01 ^a	12,19±1,72 ^d	0,78±0,04 ^a	19,60±1,16 ^d

Aynı sütundaki farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar a-d istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05 Duncan testi).

C. capoeta türünde en yüksek TAS (Total Antioksidan Seviyesi) değeri 2015 ve 2016 yıllarında 4. istasyonda (sırasıyla 0,99±0,06 ve 0,86±0,06) gözlenmiş, 3. ve özellikle 1. ve 2. istasyonlardaki değerler 4. istasyona göre önemli oranda düşük bulunmuştur (p<0,05). 2015 yılında en yüksek TAS değerine göre istasyonlar 4.>3.>1.>2. şeklinde sıralanırken 2016 yılında 4.>3.>2.>1. şeklinde sıralanmıştır. *A. mossulensis* için ise iki yılda da en yüksek TAS değeri 4. istasyonda (sırasıyla 0,96±0,03 ve 0,85±0,07), en düşük TAS değeri ise 1. istasyonda (sırasıyla 0,44±0,05 ve 0,21±0,01) gözlenmiştir. İstasyonlar arasındaki TAS değerindeki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0,05). Her iki yılda da TAS değeri 1. istasyondan 4. istasyona doğru gidildikçe artış göstermiştir. Buna göre en yüksek TAS değerine göre istasyonlar her iki yılda da 4.>3.>2.>1. şeklinde sıralanmıştır. *S. cephalus* için ise 2015 ve 2016 yıllarında en yüksek TAS değerinin yine 4. istasyonda (0,93±0,01 ve 0,78±0,04), en düşük değerinin ise 2. istasyonda (0,21±0,08 ve 0,16±0,03) olduğu tespit edilmiş ve istasyonlar arasındaki TAS değerindeki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0,05). Her iki yılda da en yüksek TAS değerine göre istasyonlar 4.>3.>1.>2. olacak şekilde sıralanmıştır. 2015 ve 2016 yıllarında istasyonlardaki veriler karşılaştırıldığında üç türde de genel olarak 2016 yılında TAS düzeyinin daha düşük olduğu gözlenmiştir.

Türlerin yıl ve istasyonlara göre TOS (Total Oksidan Seviyesi) değerleri incelendiğinde *C. capoeta* için en yüksek değer 2015'te 2. istasyonda ($34,99 \pm 1,08$), 2016'da ise 1. istasyonda ($40,63 \pm 5,05$) ve en düşük TOS değeri her iki yılda da 4. istasyonda (sırasıyla $8,67 \pm 1,32$ ve $4,26 \pm 1,18$) tespit edilmiştir. *A. mossulensis* için en yüksek TOS değeri iki yılda da 1. istasyonda (sırasıyla $42,23 \pm 2,06$ ve $55,69 \pm 2,84$), en düşük TOS değeri ise yine 4. istasyonda (sırasıyla $10,45 \pm 1,24$ ve $9,02 \pm 1,14$) tespit edilmiştir. En yüksek TOS değerine göre istasyonlar bu tür için $1.>2.>3.>4.$ şeklinde sıralanmıştır. *S. cephalus* için en yüksek TOS değeri her iki yılda da 2. istasyonda (sırasıyla $56,55 \pm 6,72$ ve $78,64 \pm 4,91$), en düşük TOS değeri ise yine her iki yılda 4. istasyonda (sırasıyla $12,19 \pm 1,72$ ve $19,60 \pm 1,16$) tespit edilmiştir. En yüksek TOS değerine göre istasyonlar bu tür için $2.>1.>3.>4.$ şeklinde sıralanmıştır. Buna göre üç türde de hem 2015 hem de 2016 yılında elde edilen TOS değerlerinin 1. ve 2. istasyonlarda diğer istasyonlara göre daha yüksek ve istasyonlar arasındaki TOS değerlerindeki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$).

2015 ve 2016 yılları TOS değerleri bakımından karşılaştırıldığında 2016 yılında TOS değerlerinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. *C. capoeta* için 2016 yılı 2. ve 4. istasyonlarda, *A. mossulensis* için ise 4. istasyonda 2015'e göre TOS değerlerinin biraz daha düşük olduğu görülmekle birlikte iki türde de genel olarak TOS değerleri 2015'e göre daha yüksek bulunmuştur. *S. cephalus* için ise yine 2016 yılının tüm istasyonlarında TOS değerleri 2015'e göre daha yüksek bulunmuştur.

4.11. Genotoksik Bulgular

İstasyonlardan yakalanan balıkların kan hücreleri incelendiğinde çekirdekli, yassılaştırmış oval şekilli normal eritrositlerin yanı sıra periferik kan hücrelerinde istasyonlara göre değişen oranlarda olmak üzere çeşitli anormallikler de tespit edilmiştir. İstasyonlardan elde edilen türlerin kan hücrelerinde tespit edilen mikroçekirdek, çift çekirdek, böbrek şekilli çekirdek, çentikli çekirdek, loplu çekirdek ve tomurcuklu çekirdek anormallikleri ortalama değerleri 2015 yılı için Çizelge 4.23'te verilmiştir.

Çizelge 4.23. İstasyonlara göre türlerin kan hücrelerinde tespit edilen eritrositik çekirdek anormallikleri 2015 yılı ortalama değerleri (% Ort.±SH)

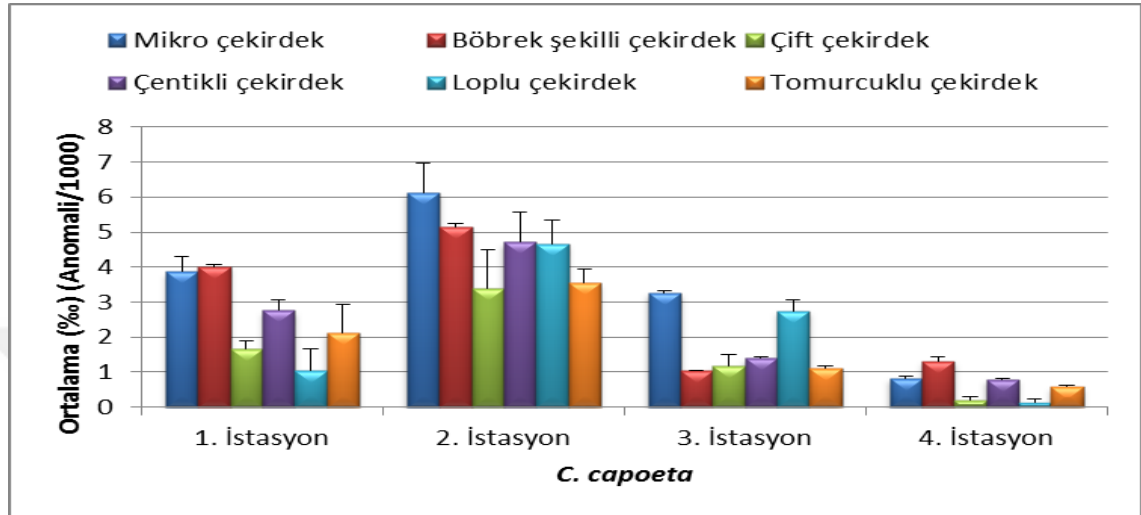
<i>C. capoeta</i>							
İst.	Mikro çekirdek	Böbrek şekilli çekirdek	Çift çekirdek	Çentikli çekirdek	Loplu çekirdek	Tomurcuklu çekirdek	Toplam
1.	3,87±0,44 ^b	4,01±0,05 ^b	1,65±0,24 ^b	2,76±0,29 ^b	1,05±0,61 ^c	2,13±0,81 ^b	15,47±1,19
2.	6,13±0,83 ^a	5,14±0,12 ^a	3,40±1,08 ^a	4,71±0,86 ^a	4,67±0,66 ^a	3,54±0,41 ^a	27,59±1,02
3.	3,26±0,08 ^c	1,03±0,02 ^d	1,18±0,32 ^c	1,39±0,05 ^c	2,74±0,31 ^b	1,10±0,06 ^c	10,7±0,96
4.	0,82±0,06 ^d	1,32±0,13 ^c	0,21±0,09 ^d	0,79±0,02 ^d	0,13±0,09 ^d	0,58±0,04 ^d	3,85±0,44
<i>A. mossulensis</i>							
İst.	Mikro çekirdek	Böbrek şekilli çekirdek	Çift çekirdek	Çentikli çekirdek	Loplu çekirdek	Tomurcuklu çekirdek	Toplam
1.	7,48±1,59 ^a	4,10±0,39 ^b	6,23±1,38 ^a	3,77±0,15 ^a	5,12±1,62 ^a	3,06±0,12 ^b	29,76±1,66
2.	5,71±1,24 ^b	5,04±0,64 ^a	3,20±0,63 ^b	3,45±0,08 ^b	2,60±0,06 ^b	4,80±0,45 ^a	24,8±1,22
3.	2,30±0,37 ^c	2,68±0,17 ^c	1,51±0,24 ^c	2,42±0,54 ^c	1,90±0,09 ^c	1,73±0,22 ^c	12,54±0,45
4.	1,40±0,09 ^d	0,34±0,08 ^d	0,90±0,07 ^d	1,63±0,31 ^d	0,61±0,03 ^d	0,75±0,34 ^d	5,63±0,49
<i>S. cephalus</i>							
İst.	Mikro çekirdek	Böbrek şekilli çekirdek	Çift çekirdek	Çentikli çekirdek	Loplu çekirdek	Tomurcuklu çekirdek	Toplam
1.	6,09±0,84 ^b	6,37±0,97 ^b	1,70±0,26 ^c	4,72±0,14 ^a	2,13±0,35 ^b	2,52±0,03 ^c	23,53±2,07
2.	10,07±2,09 ^a	8,72±0,91 ^a	3,56±0,13 ^a	4,28±0,11 ^b	6,34±1,61 ^a	3,07±0,14 ^a	36,04±2,88
3.	3,28±0,81 ^c	2,09±0,64 ^c	3,06±0,06 ^b	1,83±0,09 ^c	1,32±0,27 ^c	2,95±0,06 ^b	14,53±0,79
4.	1,42±0,47 ^d	0,36±0,09 ^d	0,54±0,04 ^d	1,05±0,03 ^d	0,78±0,08 ^d	1,27±0,04 ^d	5,42±0,42

Aynı sütundaki farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar a-d istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05 Duncan testi).

2015 yılında *C. capoeta* türünde tespit edilen mikroçekirdek ve diğer çekirdek anormallikleri ortalama değerlerinin 2. istasyona ait balıklarda en yüksek olduğu tespit edilmiş ve istasyonlar arasında anormalliklerin frekansındaki artışın istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır (p<0,05; Çizelge 4.23). *C. capoeta*'da 2015 yılında istasyonlarda frekansı en yüksek anormallikler incelendiğinde 1. ve 4. istasyonlarda böbrek şekilli çekirdek anormalliklerinin, 2. ve 3. istasyonlarda ise mikroçekirdek anormalliğinin diğer anormalliklere göre daha yüksek frekansa sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.21).

2015 yılında *C. capoeta* bireylerinin kan dokusunda tespit edilen anormallikler istasyonlara göre değerlendirildiğinde mikroçekirdek, çift çekirdek, çentikli ve tomurcuklu çekirdek anormalliklerinin frekansının 2. istasyondan sonra 1., daha sonra 3. ve 4. istasyonlarda en yüksek olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.23). Böbrek şekilli

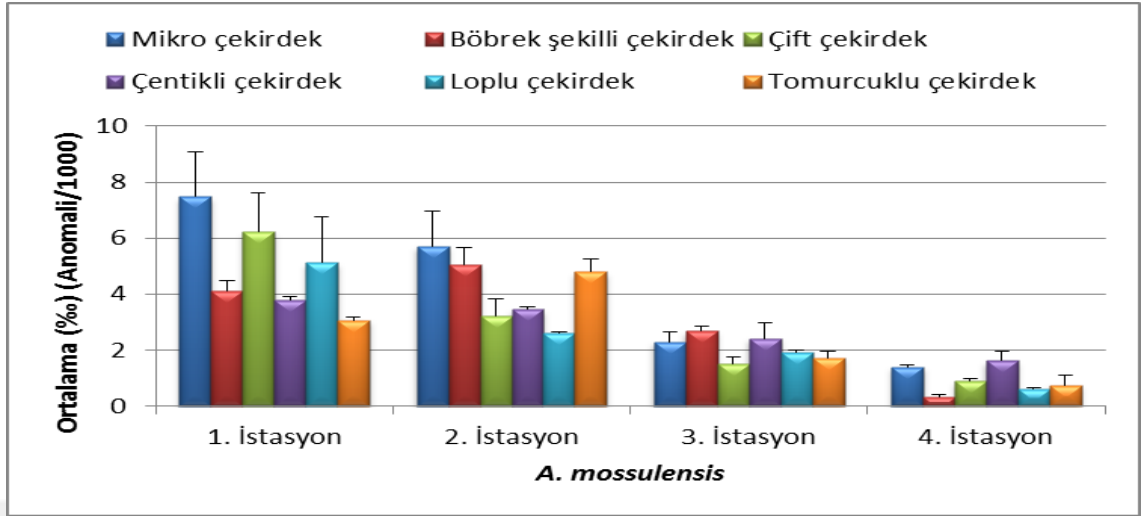
çekirdekte ise 2. istasyondan sonra en yüksek ortalamalar 1. sonra 4. ve 3. istasyonlarda, loplu çekirdekte 3. daha sonra 1. ve 4. istasyonlarda gözlenmiştir (Çizelge 4.23).



Şekil 4.21. 2015 yılı *C. capoeta* türünün kan hücrelerinde tespit edilen anormalliklerin ortalama değerleri
Hata çubukları standart hatayı göstermektedir.

2015 yılında *A. mossulensis* türünde tespit edilen anormalliklerin özellikle 1. istasyona ait balıklarda en yüksek ve 4. istasyona ait balıklarda en düşük değere sahip olduğu belirlenmiştir. İstasyonlarda frekansı en yüksek olan anormallikler incelendiğinde 1. ve 2. istasyonlarda mikroçekirdek, 3. istasyonda böbrek şekilli ve 4. istasyonda çentikli çekirdek anormalliğinin diğer anormalliklere göre daha yüksek frekansa sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.22).

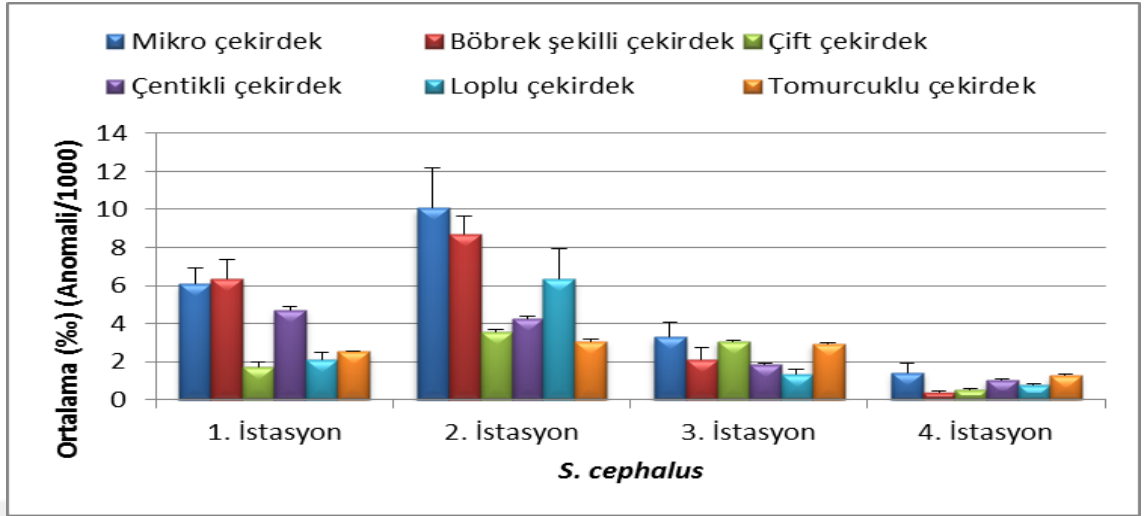
Anormallikler istasyonlara göre değerlendirildiğinde ise mikroçekirdek, çift, çentikli ve loplu çekirdek anormallikleri 1. istasyonda en yüksek ortalamaya sahip olup bunu sırasıyla 2., 3. ve 4. istasyonlar izlemiştir ve istasyonlar arasında anormalliklerin frekansındaki artış istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,05$; Çizelge 4.23). Böbrek şekilli ve tomurcuklu çekirdek anormallikleri ise 2. istasyonda en yüksek ortalamaya sahip olup bu istasyonu sırasıyla 1., 3. ve 4. istasyonlar izlemiştir ve aynı şekilde istasyonlar arasında anormalliklerin frekansındaki artış önemli bulunmuştur ($p < 0,05$; Çizelge 4.23).



Şekil 4.22. 2015 yılı *A. mossulensis* türünün kan hücrelerinde tespit edilen anormalliklerin ortalama değerleri
Hata çubukları standart hatayı göstermektedir.

2015 yılında *S. cephalus* türünde tespit edilen tüm anormalliklerin (çentikli çekirdek hariç) ortalamasının 2. istasyona ait balıklarda en yüksek ve 4. istasyondan elde edilen balıklarda en düşük olduğu tespit edilmiştir. İstasyonlar arasında anormalliklerin ortalama değerlerindeki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,05$; Çizelge 4.23). İstasyonlarda en yüksek ortalamaya sahip olan anormallikler incelendiğinde, 1. istasyonda böbrek şekilli çekirdek, 2. 3. ve 4. istasyonlarda ise mikroçekirdek anormalliklerinin diğer anormalliklere göre daha yüksek frekansa sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.23).

Anormallikler istasyonlara göre değerlendirilirse mikroçekirdek, böbrek şekilli ve loplu çekirdek anormallikleri ortalama değerleri 2. istasyonda en yüksek olup bunu 1., daha sonra 3. ve 4. istasyonlar izlemiştir. Tomurcuklu çekirdek ortalama değeri artışına göre istasyonlar 4.<1.<3.<2. istasyon şeklinde sıralanmış, çentikli çekirdek ortalama değeri artışına göre ise 4.<3.<2.<1. istasyon şeklinde sıralanmıştır.



Şekil 4.23. 2015 yılı *S. cephalus* türünün kan hücrelerinde tespit edilen anormalliklerin ortalama değerleri
Hata çubukları standart hatayı göstermektedir.

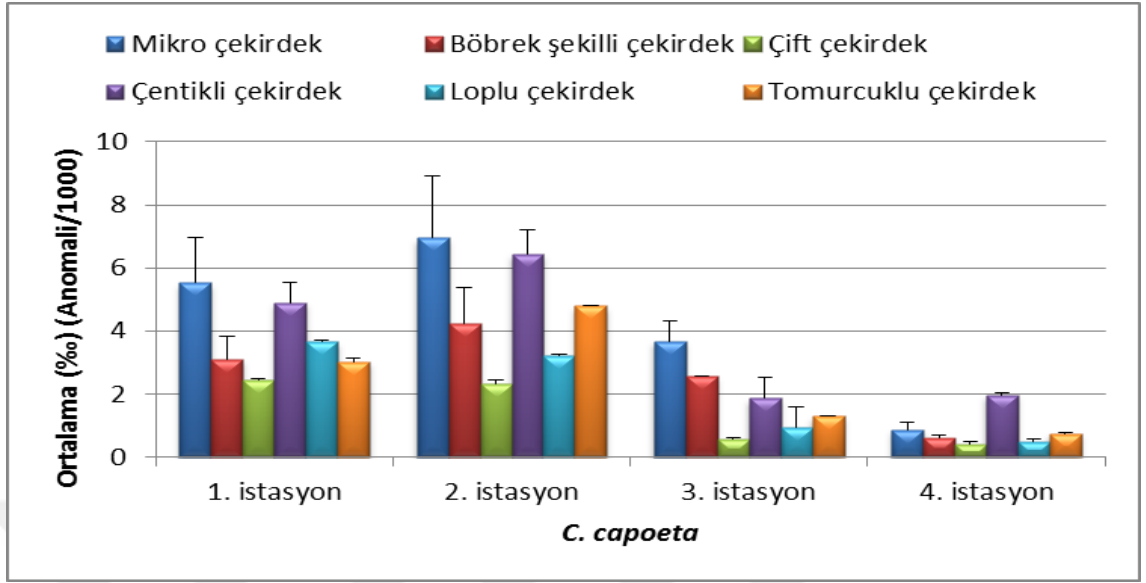
2016 yılında incelenen türlerin periferik kan dokusunda 2015'ten farklı herhangi bir anormallik çeşidi saptanmamıştır. İki yılda da tüm balıklarda benzer şekilde mikroçekirdek oluşumunun diğer anormalliklere göre frekansı en yüksek olan anormallik olduğu tespit edilmiştir. Toplam anormallik frekansının ise türler arasında *S. cephalus*'ta en yüksek olduğu gözlenmiştir. İstasyonlardan elde edilen türlerin kan hücrelerinde tespit edilen anormalliklerin ortalama değerleri 2016 yılı için Çizelge 4.24'te verilmiştir.

Çizelge 4.24. İstasyonlara göre türlerin kan hücrelerinde tespit edilen eritrositik çekirdek anormallikleri 2016 yılı ortalama değerleri (% Ort.±SH)

<i>C. capoeta</i>							
İst.	Mikro çekirdek	Böbrek şekilli çekirdek	Çift çekirdek	Çentikli çekirdek	Loplu çekirdek	Tomurcuklu çekirdek	Toplam
1.	5,53±0,35 ^b	3,10±0,31 ^b	2,43±0,04 ^a	4,90±0,36 ^b	3,65±0,15 ^a	3,02±0,53 ^b	22,63±1,20
2.	6,96±0,61 ^a	4,22±0,43 ^a	2,34±0,03 ^b	6,45±0,16 ^a	3,20±0,09 ^b	4,79±0,72 ^a	27,96±1,80
3.	3,68±0,33 ^c	2,55±0,39 ^c	0,57±0,01 ^c	1,86±0,03 ^d	0,96±0,03 ^c	1,30±0,05 ^c	10,92±1,15
4.	0,86±0,03 ^d	0,60±0,08 ^d	0,42±0,04 ^d	1,97±0,33 ^c	0,49±0,04 ^d	0,74±0,02 ^d	5,08±0,57
<i>A. mossulensis</i>							
İst.	Mikro çekirdek	Böbrek şekilli çekirdek	Çift çekirdek	Çentikli çekirdek	Loplu çekirdek	Tomurcuklu çekirdek	Toplam
1.	9,82±1,61 ^a	4,76±0,37 ^a	2,54±0,31 ^b	4,43±0,40 ^b	6,05±0,94 ^a	5,17±0,34 ^a	32,77±2,43
2.	7,50±0,44 ^b	3,12±0,19 ^b	3,01±0,18 ^a	7,80±1,64 ^a	4,62±0,17 ^b	3,51±0,56 ^b	29,56±2,19
3.	4,16±0,81 ^c	2,17±0,51 ^c	1,62±0,32 ^c	4,16±0,15 ^c	2,38±0,86 ^c	2,59±0,25 ^c	17,08±1,07
4.	1,85±0,55 ^d	0,59±0,37 ^d	0,48±0,37 ^d	0,74±0,33 ^d	0,36±0,06 ^d	1,75±0,20 ^d	5,77±0,66
<i>S. cephalus</i>							
İst.	Mikro çekirdek	Böbrek şekilli çekirdek	Çift çekirdek	Çentikli çekirdek	Loplu çekirdek	Tomurcuklu çekirdek	Toplam
1.	6,46±1,43 ^b	3,75±0,71 ^b	2,20±0,04 ^c	5,35±0,63 ^b	5,07±0,77 ^a	5,50±0,12 ^a	28,33±1,51
2.	13,54±1,94 ^a	7,19±1,15 ^a	4,93±0,09 ^a	6,51±0,76 ^a	4,63±0,05 ^b	5,26±0,03 ^b	42,06±3,34
3.	3,96±0,63 ^c	1,83±0,03 ^c	2,25±0,03 ^b	3,14±0,68 ^c	3,06±0,63 ^c	3,37±0,01 ^c	17,61±0,77
4.	1,61±0,25 ^d	0,82±0,11 ^d	0,89±0,06 ^d	1,35±0,06 ^d	1,41±0,08 ^d	0,94±0,04 ^d	7,02±0,33

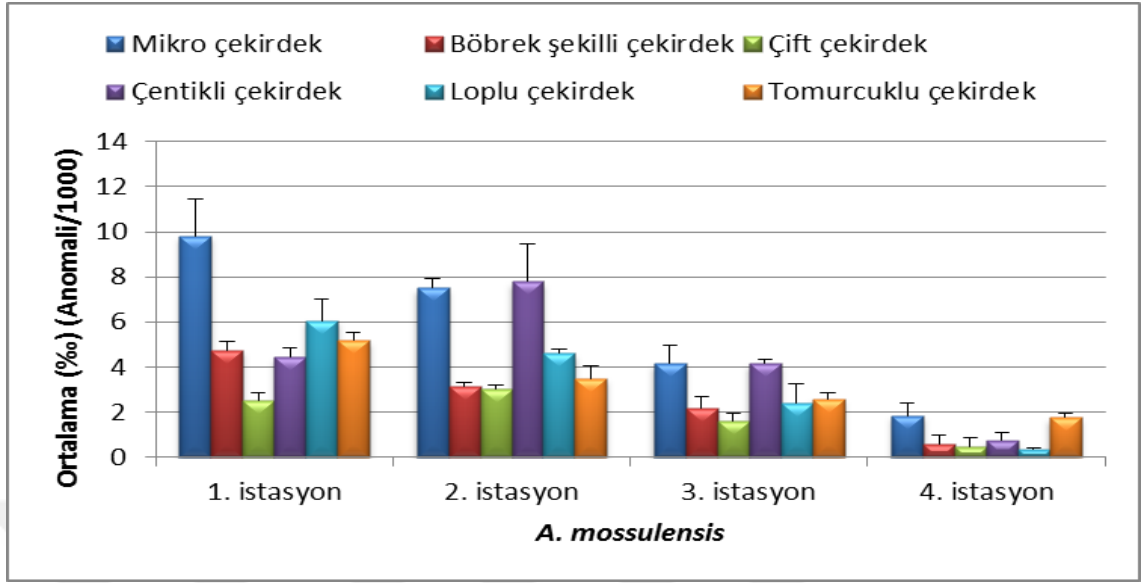
Aynı sütundaki farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar a-d istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05 Duncan testi).

2016 yılında *C. capoeta*'nın eritrositlerinde tespit edilen anormalliklerin çoğunlukla 2. istasyondan elde edilen balıklarda en yüksek ve yine 4. istasyondan elde edilen balıklarda en düşük ortalama sahip olduğu tespit edilmiş ve istasyonlar arasında anormalliklerin ortalama değerinde istatistiki açıdan önemli farklılık saptanmıştır (p<0,05; Çizelge 4.24). *C. capoeta*'da 2016 yılında 1., 2., ve 3. istasyonlarda mikroçekirdek, 4. istasyonda ise çentikli çekirdek anormalliğinin diğer anormalliklere göre daha yüksek frekansa sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.24).



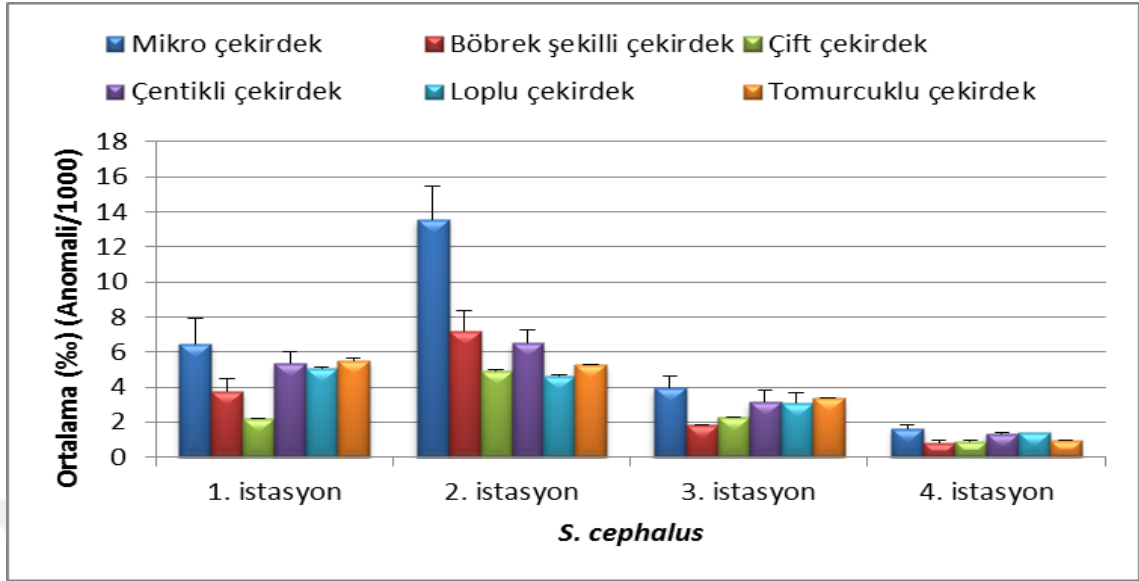
Şekil 4.24. 2016 yılı *C. capoeta* türünün kan hücrelerinde tespit edilen anormalliklerin ortalama değerleri
Hata çubukları standart hatayı göstermektedir.

2016 yılında *A. mossulensis* türünde gözlenen çekirdek anormallik oranının 4. istasyondan yakalanan balıklarda en düşük olduğu ve 1. istasyona doğru gidildikçe anormallik oranının önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir ($p < 0,05$; Çizelge 4.24). 2016 yılında *A. mossulensis* türü için 1. ve 4. istasyonlarda mikroçekirdek, 2. istasyonda çentikli çekirdek anormalliğinin, 3. istasyonda ise mikroçekirdek ve çentikli çekirdek anormalliklerinin diğer anormalliklere göre daha yüksek ortalamaya sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. 2016 yılı *A. mossulensis* türünün kan hücrelerinde tespit edilen anormalliklerin ortalama değerleri
Hata çubukları standart hatayı göstermektedir.

2016 yılında *S. cephalus* türünde gözlenen anormalliklerin (loplu çekirdek ve tomurcuklu çekirdek dışında) ortalama değerlerinin 2. istasyon balıklarında diğer istasyon balıklarına göre en yüksek ve 4. istasyon balıklarında en düşük olduğu tespit edilmiş ve istasyonlar arasında anormalliklerin ortalama değerlerinde istatistiki açıdan önemli farklılıklar saptanmıştır ($p < 0,05$; Çizelge 4.24). *S. cephalus* türünde istasyonlar için frekansı en yüksek olan anormallikler incelendiğinde tüm istasyonlarda mikroçekirdek anormalliğinin diğer anormalliklere göre oldukça yüksek frekansa sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. 2016 yılı *S. cephalus* türünün kan hücrelerinde tespit edilen anormalliklerin ortalama değerleri
Hata çubukları standart hatayı göstermektedir.

Anormallikler istasyon bazında değerlendirildiğinde mikroçekirdek oluşumu *C. capoeta* ve *S. cephalus* türlerinde 2. istasyonda, *A. mossulensis* türünde ise te 1. istasyonda en yüksek ortalama değeri ve üçünde de 4. istasyonda en düşük değeri almıştır. Üç türde de istasyonlar arasında mikroçekirdek anormallik frekansındaki artış önemli bulunmuştur ($p < 0,05$ Çizelge 4.24). *C. capoeta* ve *S. cephalus* türlerinde mikroçekirdek en yüksek ortalama değerine göre istasyonlar 2.>1.>3.>4. istasyon şeklinde, *A. mossulensis* türünde ise 1.>2.>3.>4. istasyon şeklinde sıralanmıştır.

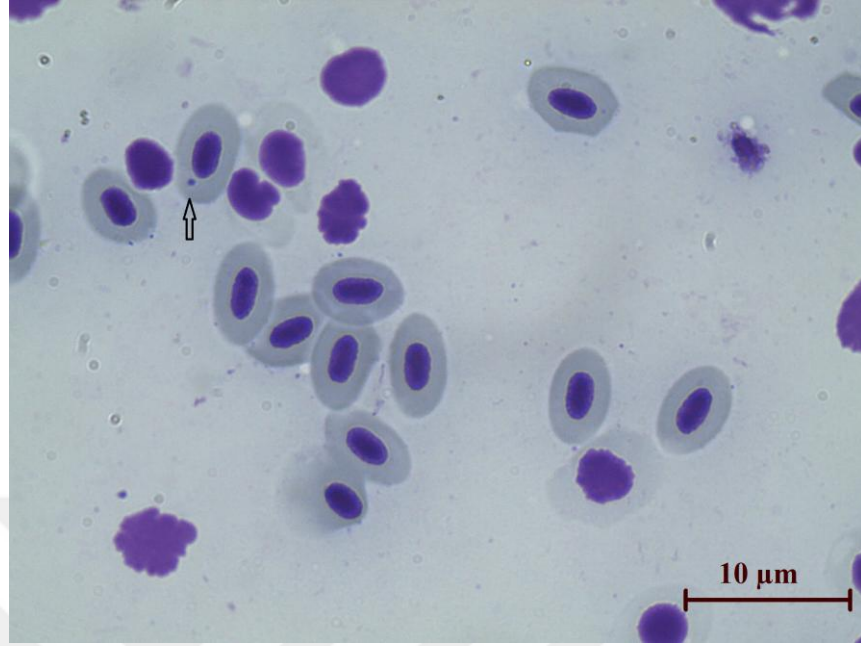
Böbrek şekilli çekirdek anormalliğinin de hem *C. capoeta* hem de *S. cephalus*'ta 2. istasyonda, *A. mossulensis*'te ise 1. istasyonda diğer istasyonlara göre ortalama değerinin en yüksek olduğu tespit edilmiş ve istasyonlar arasında böbrek şekilli çekirdek anormalliği frekansındaki artış önemli bulunmuştur ($p < 0,05$; Çizelge 4.24). *C. capoeta* ve *S. cephalus* türlerinde bu anormallik için 2. istasyondan sonra en yüksek değerler sırasıyla 1., daha sonra 3. ve 4. istasyonda, *A. mossulensis* türünde ise 1. istasyondan sonra en yüksek değerler 2., daha sonra 3. ve 4. istasyonda elde edilmiştir.

Çift çekirdek anormalliği ortalama değerinin diğer istasyonlara göre *C. capoeta*'da 1. istasyonda, *A. mossulensis* ve *S. cephalus*'ta ise 2. istasyonda daha yüksek olduğu tespit edilmiş ve istasyonlar arasındaki çift çekirdek anormalliği frekansındaki artış önemli bulunmuştur ($p<0,05$; Çizelge 4.24). *C. capoeta* türünde çift çekirdek oluşumu en yüksek ortalama değerine göre istasyonlar 1.>2.>3.>4. istasyon şeklinde, *A. mossulensis*'te 2.>1.>3.>4. istasyon şeklinde ve *S. cephalus* türünde 2.>3.>1.>4. istasyon şeklinde sıralanmıştır.

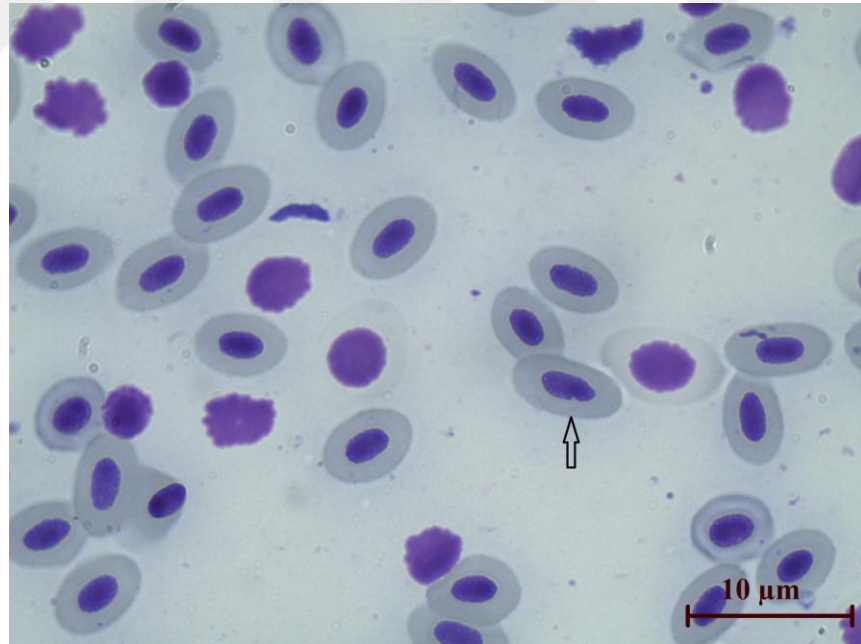
Çentikli çekirdek anormalliğinin ortalama değerinin üç türde de 2. istasyonda, loplu çekirdek anormalliğinin ise 1. istasyonda diğer istasyonlara göre önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir ($p<0,05$; Çizelge 4.24). Sadece *C. capoeta* da çentikli çekirdek için en düşük ortalama değer 3. istasyonda, diğerlerinde ise yine 4. istasyonda elde edilmiştir. Üç türde de loplu çekirdek anormalliği ortalama değerinde 1. istasyondan 4. istasyona doğru gidildikçe belirgin bir düşüş saptanmıştır ($p<0,05$; Çizelge 4.24).

Tomurcuklu çekirdek anormalliğinin *C. capoeta*'da 2. istasyonda, *A. mossulensis* ve *S. cephalus*'ta ise 1. istasyonda diğer istasyonlara göre ortalama değerinin en yüksek olduğu tespit edilmiş ve istasyonlar arasındaki tomurcuklu çekirdek anormallik ortalama farkı anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$; Çizelge 4.24). *C. capoeta*'da tomurcuklu çekirdek için en yüksek ortalamaya göre istasyonlar 2.>1.>3.>4. şeklinde, diğer iki türde ise 1.>2.>3.>4. şeklinde sıralanmıştır.

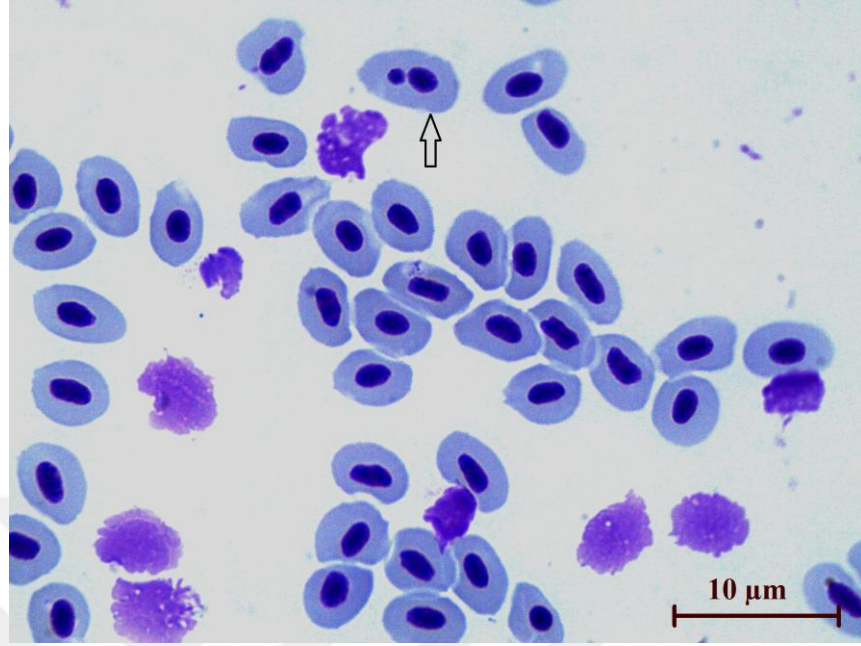
Tespit edilen anormalliklere ait fotoğraflar mikroçekirdek için Şekil 4.27'de, çentikli çekirdek için Şekil 4.28'de, çift çekirdek için Şekil 4.29'da, böbrek şekilli çekirdek için Şekil 4.30'da, loplu çekirdek için Şekil 4.31'de ve tomurcuklu çekirdek için Şekil 4.30 ve 4.32'de verilmiştir.



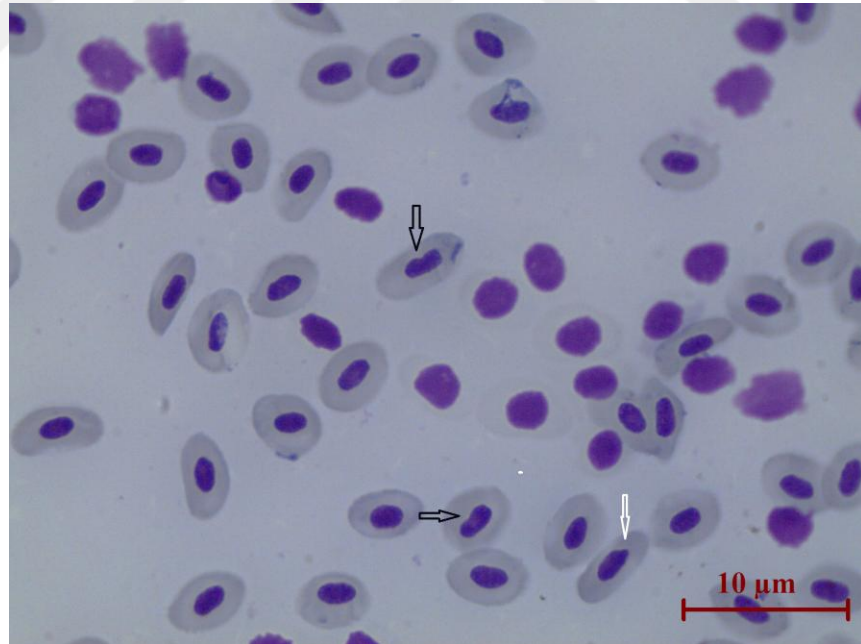
Şekil 4.27. *C. capoeta* 'da mikroçekirdek oluşumu (Giemsa)



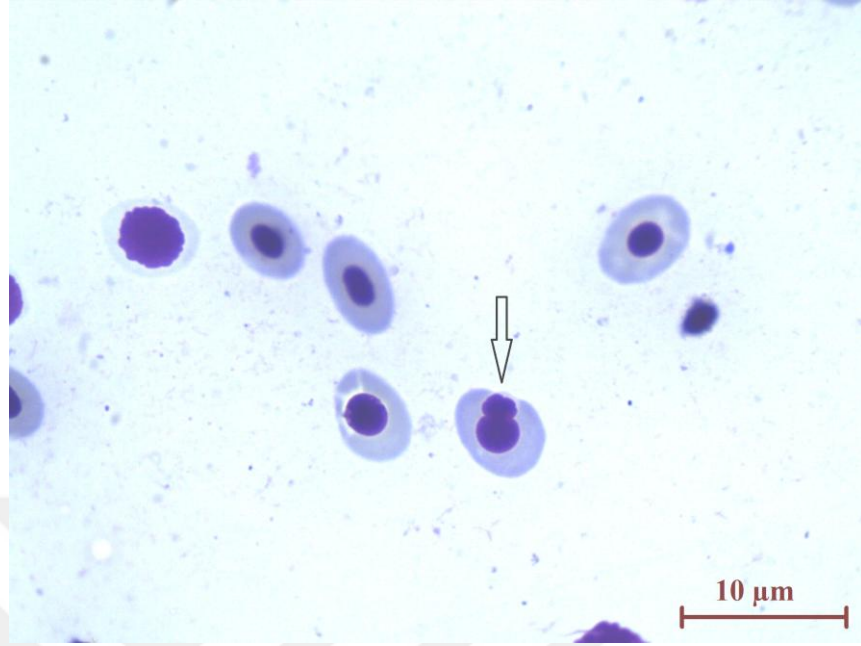
Şekil 4.28. *C. capoeta* 'da çentikli çekirdek oluşumu (Giemsa)



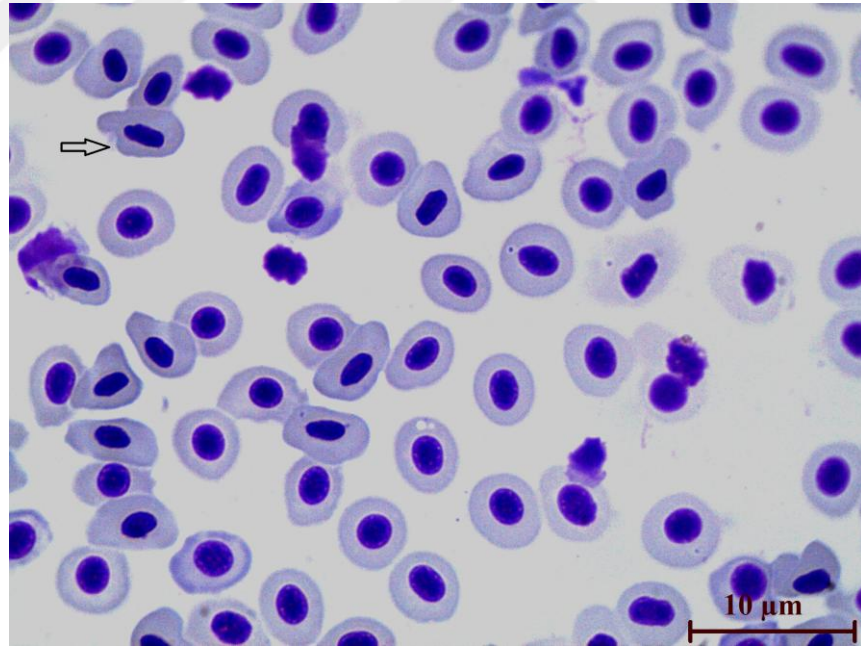
Şekil 4.29. *A. mossulensis*'te çift çekirdek oluşumu (Giemsa)



Şekil 4.30. *A. mossulensis*'te böbrek şekilli çekirdek ve tomucuklu çekirdek anormallikleri (Giemsa)
 siyah ok: böbrek şekilli çekirdek, beyaz ok: tomurcuklu çekirdek



Şekil 4.31. *S. cephalus*'ta loplu çekirdek oluşumu (Giemsa)

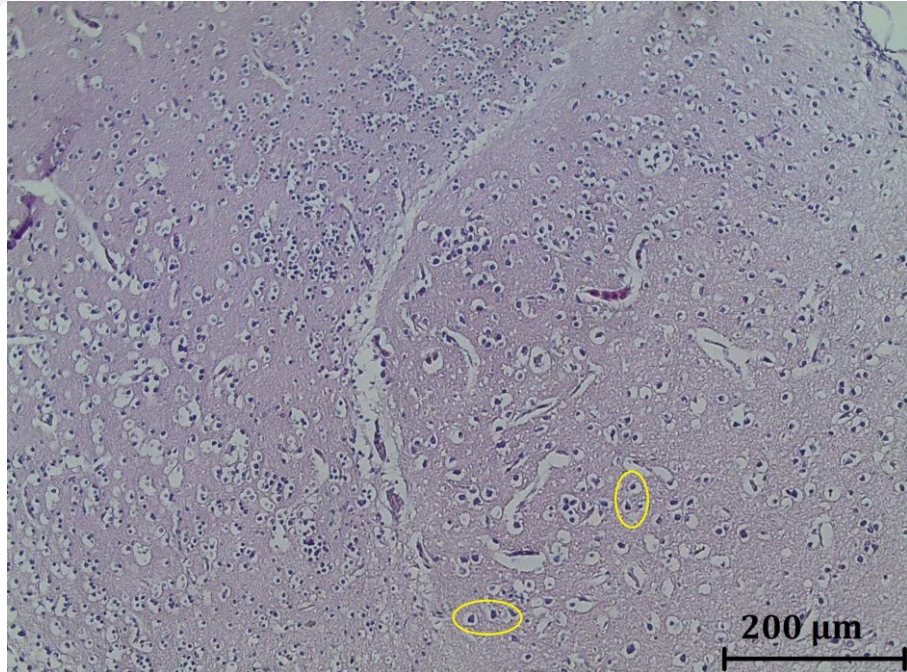


Şekil 4.32. *S. cephalus*'ta tomurcuklu çekirdek oluşumu (Giemsa)

4.12. Histolojik ve Histopatolojik Bulgular

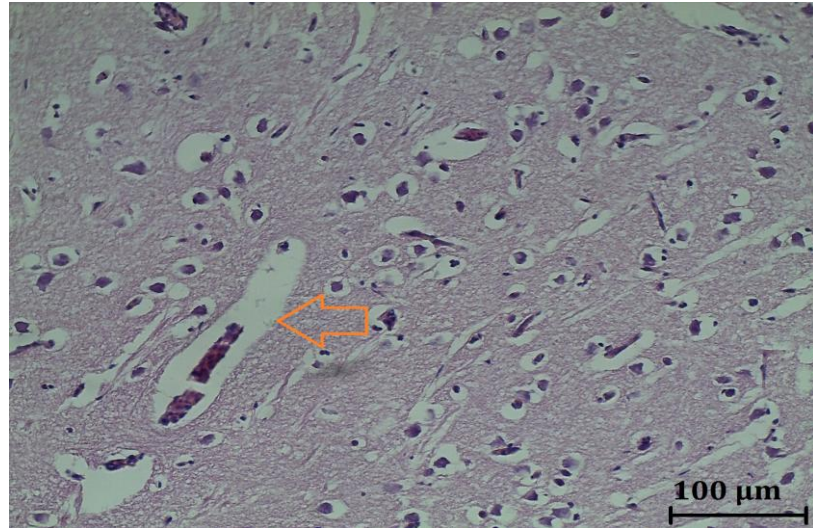
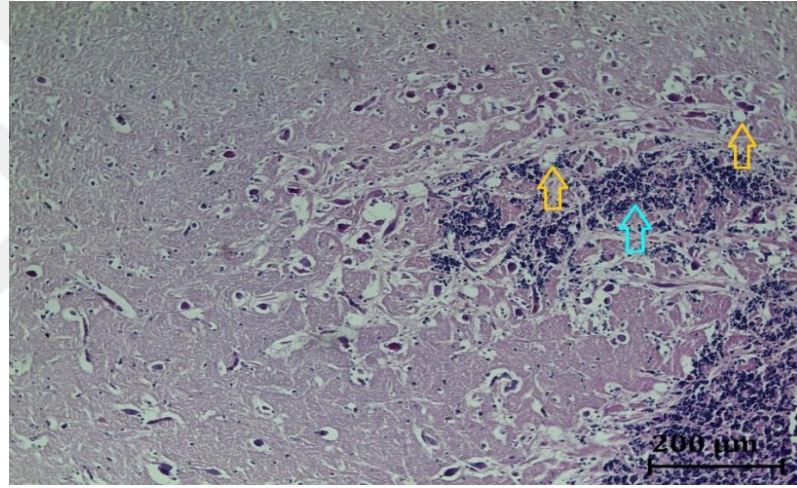
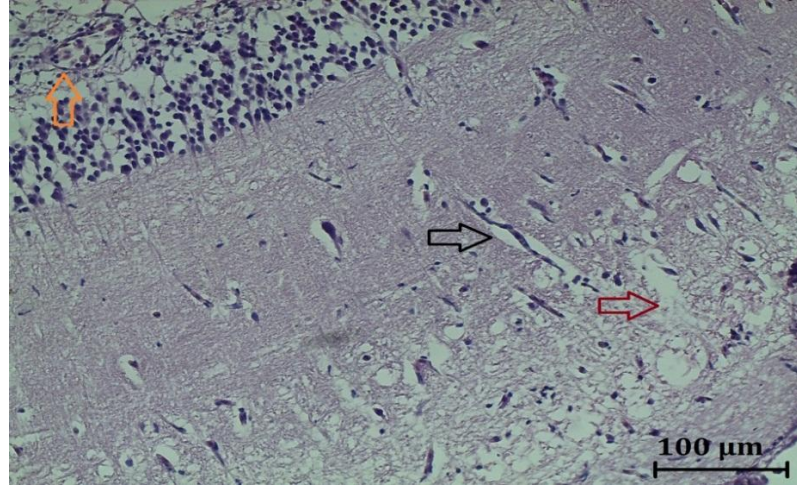
4.12.1. Beyin histolojisi

Yakalanan balıkların beyin dokusu seçilen preparatlarında yapılan incelemelerde piamater ve altındaki moleküler, granüler ve piramidal tabakalar normal yapıda gözlenmiştir. Nöron çekirdeklerini içeren gri madde, nöroglia ve miyelinli aksondan oluşan beyaz madde hazırlanan kesitlerde rahatlıkla görülebilmektedir. Beyin ve beyincik korteks histolojilerinin ve nöronal yapılarının normal, piramidal ya da granüler şekilde olduğu gözlenen nöronların sınırlarının düzgün olduğu görülmüştür. Nöronların dentritleri ile sadece tepe kısımları görülen aksonları, H&E ile koyu boyanan nöroglia hücrelerinin çekirdekleri ve kan damarları normal olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.33). Öte yandan sinir dokuda istasyonlara göre değişen oranlarda birtakım histolojik hasarlara da rastlanmıştır.



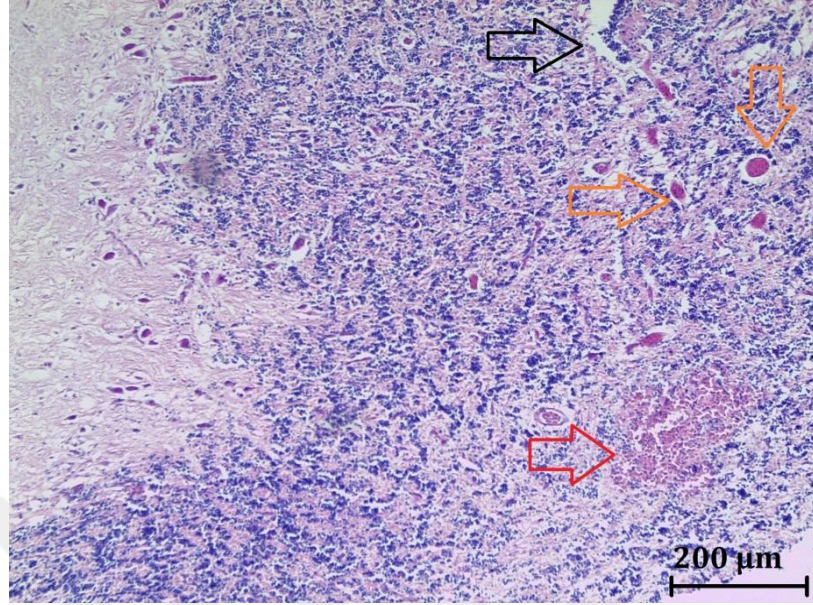
Şekil 4.33. Beyin histolojik kesiti (*A. mossulensis*) H&E
Sarı daire içi: piramidal nöronlar

İncelenen balıklardan *C. capoeta* türünde göze çarpan patolojiler; vasküler dilatasyonla birlikte kanlanma, dejenerasyon, purkinje tabakasında vakuolizasyon ve infiltrasyon olmuştur (Şekil 4.34). *A. mossulensis* türünde beyincikte granüler tabakada ayrılma, hiperemi ve infiltrasyon özellikle dikkat çeken patolojik hasarlar olarak gözlemlenmiştir (Şekil 4.35). Ayrıca piamaterde ayrılma, kan damarında konjesyon ve hasar, periventrikulare tabakasında dejenerasyon ve aksonopati (Şekil 4.36) görülmüş, kortekste ise dilatasyon ve vakuolizasyon (Şekil 4.37) gözlenmiştir. *S. cephalus* türünde ise beyincikte hiperemi ve vasküler dilatasyon, ak maddede dejenerasyon dikkat çekmiştir (Şekil 4.38). Yine beyincikte granüler ve moleküler tabakalar arasında ayrılma, genişlemiş kan damarında ve granüler tabakada dejenerasyon (Şekil 4.39), kortekste ise vakuolizasyon saptanmıştır (Şekil 4.40).



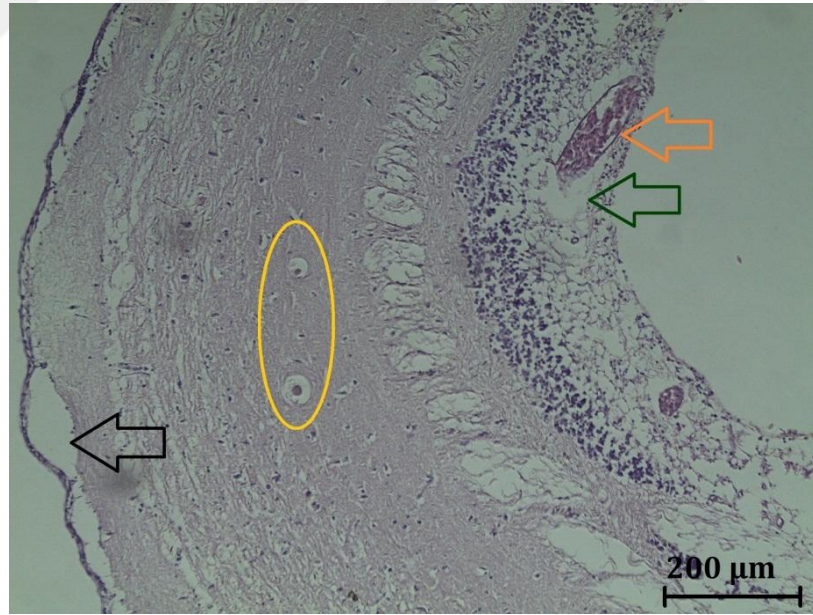
Şekil 4.34. *C. capota* türünün sinir dokusundaki hasarlar

Oklar: **turuncu:** vasküler dilatasyon ve kanlanma, **siyah:** dilatasyon, **kırmızı:** dejenerasyon, **sarı:** vakuol, **mavi:** infiltrasyon, H&E



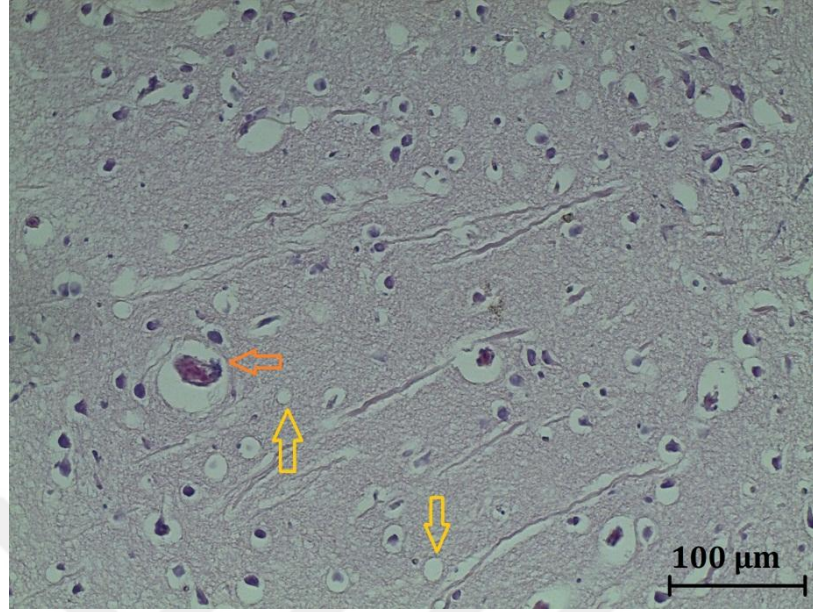
Şekil 4.35. *A. mossulensis* türünün sinir dokusundaki hasarlar

Oklar; **siyah**: granüler tabakada ayrılma, **turuncu**: hiperemi, **kırmızı**: infiltrasyon, H&E

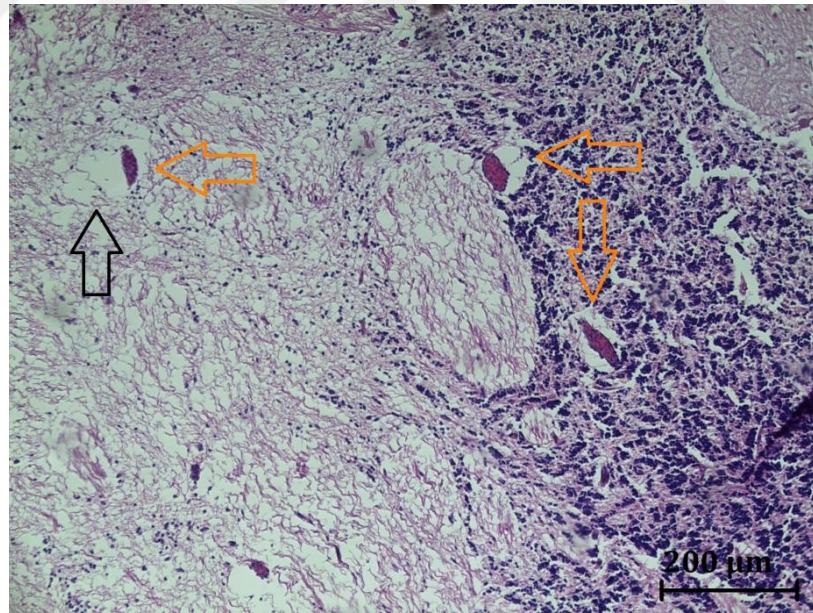


Şekil 4.36. *A. mossulensis* türünün sinir dokusundaki hasarlar

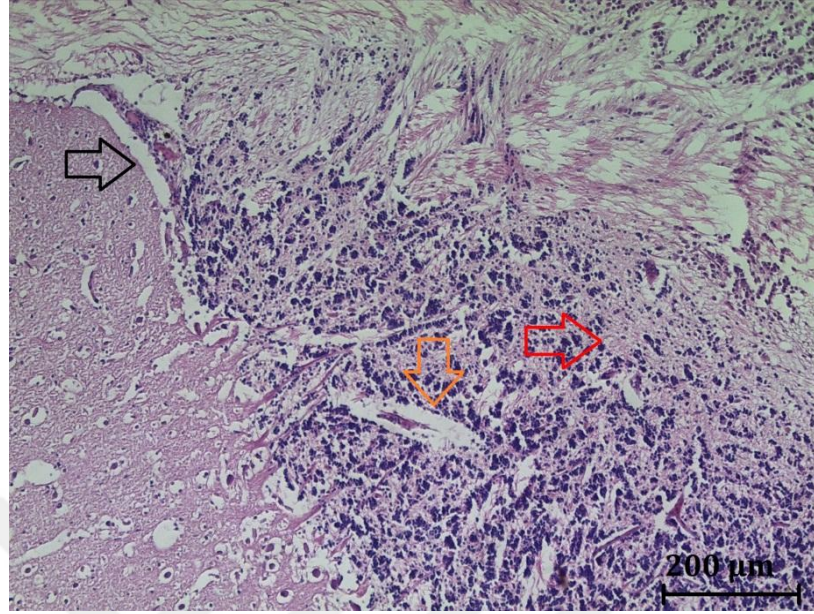
Oklar; **turuncu**: kan damarında konjesyon ve hasar, **yeşil**: periventrikulare tabakasında dejenerasyon, **siyah**: piamaterde ayrılma, **daire**: aksonopati, H&E



Şekil 4.37. *A. mossulensis* türünün sinir dokusundaki hasarlar
Oklar; **turuncu:** dilatasyon, **sarı:** vakuol, H&E

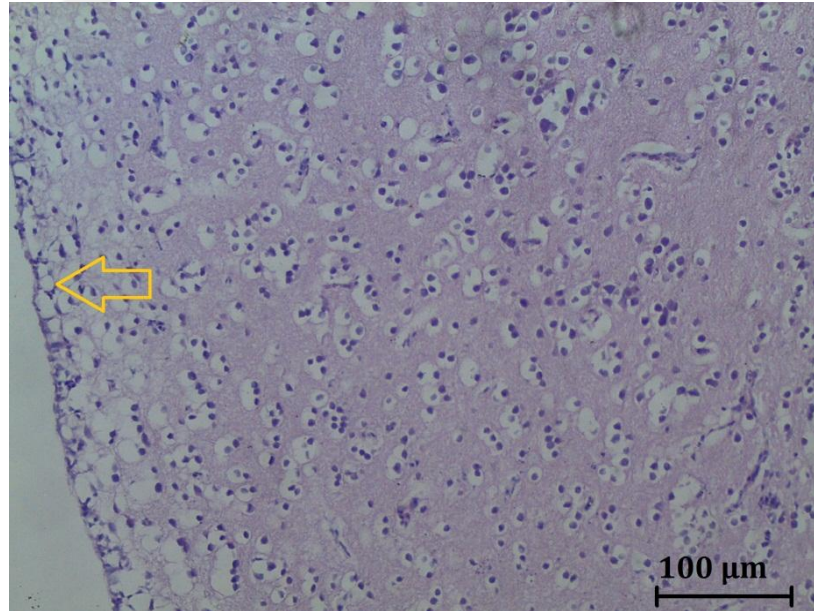


Şekil 4.38. *S. cephalus* türünün sinir dokusundaki hasarlar
Oklar; **turuncu:** hiperemi ve vasküler dilatasyon, **siyah:** ak maddede dejenerasyon, H&E



Şekil 4.39. *S. cephalus* türünün sinir dokusundaki hasarlar

Oklar; **siyah**: granüler tabakada ayrılma, **turuncu**: genişlemiş kan damarında dejenerasyon, **kırmızı**: granüler tabakada dejenerasyon, H&E



Şekil 4.40. *S. cephalus* türünün sinir dokusundaki hasarlar

Ok; vakuol, H&E

Çizelge 4.25'te istasyonlara göre balık türlerinin sinir dokusunda tespit edilen histolojik hasarlar DTC frekansları ile verilmiştir. Buna göre histopatolojik hasar çeşidi

bakımından balıklar arasında herhangi bir farklılığın olmadığı ve üç türde de 1. ve 2. istasyonlarda hasar frekansında artış olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.25. İstasyonlara göre türlerin sinir dokusunda tespit edilen histolojik hasarlar ve DTC frekansları

İstasyon Balık türü	DTC evresi	1. İST.			2. İST.			3. İST.			4. İST.		
		C	A	S	C	A	S	C	A	S	C	A	S
Sinir doku lezyonları													
Granüler tabakada ayrılma	I	1	1	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0
Hiperemi	I	1	2	2	1	1	2	1	1	1	0	0	1
Konjesyon	I	1	2	2	1	1	2	1	1	1	0	0	1
İnfiltrasyon	I	1	1	2	1	1	2	0	0	1	0	0	0
Piamaterde ayrılma	I	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Vakuolizasyon	I	2	2	2	3	2	3	0	0	0	0	1	1
Vasküler dilatasyon	I	2	3	3	3	2	3	1	1	1	1	1	1
Ak maddede dejenerasyon	II	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Granüler tabakada dejenerasyon	II	1	1	2	1	2	2	0	0	0	0	0	0
Kan damarında dejenerasyon	II	2	2	2	2	2	3	1	1	1	1	1	1
Periventrikularede dejenerasyon	II	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0
Aksonopati	III	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0

0: anormallik yok, 1: anormallik frekansı düşük, 2: anormallik frekansı orta, 3: anormallik frekansı yüksek. Evreler Bernet *et al.* (1999)'dan yararlanılarak uyarlanmıştır.

C; *C. capoeta*, A; *A. mossulensis*, S; *S. cephalus*

Balıkların sinir dokusuna ait ortalama DTC değerleri 2015-2016 yılları için Çizelge 4.26'da gösterilmiştir. Buna göre 2015 yılında üç türde de genel olarak daha düşük DTC değerleri elde edilmiştir. Veriler incelendiğinde en yüksek DTC değerine türler arasında *S. cephalus* bireylerinin sahip olduğu gözlenmiştir. *C. capoeta* için en yüksek DTC değeri iki yılda da 2. istasyonda, *A. mossulensis* için 2015 yılında 2. ve 2016 yılında 1. istasyonda ve *S. cephalus* için yine iki yılda da 2. istasyonda elde edilmiştir. Üç türde de hem 2015 hem de 2016 yılında 4. istasyondaki DTC değerleri diğer istasyonlara göre daha düşük bulunmuştur. Ayrıca istasyonlar arasındaki DTC değerlerindeki artışın istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Çizelge 4.26. 2015-2016 yılları istasyonlara göre türlerin sinir doku DTC değerleri (Ort.±SH)

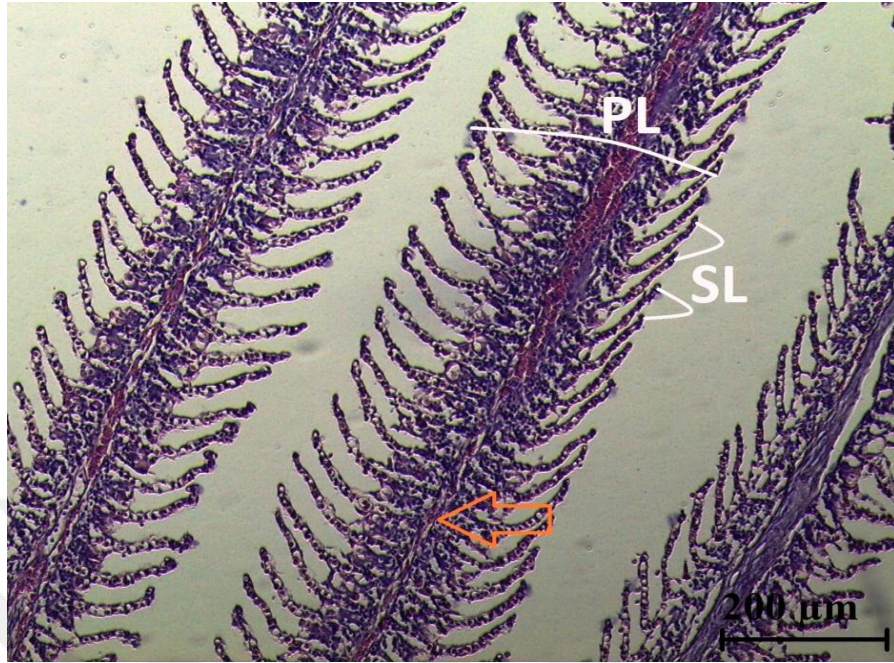
İst.	<i>C. capoeta</i>		<i>A. mossulensis</i>		<i>S. cephalus</i>	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016
1.	8,04±0,12 ^b	8,77±0,16 ^b	14,73±0,15 ^b	17,22±0,14 ^a	16,11±0,28 ^b	15,70±0,26 ^b
2.	11,25±0,22 ^a	13,18±0,13 ^a	17,06±0,19 ^a	14,30±0,15 ^b	18,31±0,14 ^a	20,17±0,10 ^a
3.	4,37±0,18 ^c	3,30±0,12 ^c	7,78±0,23 ^c	9,90±0,04 ^c	10,89±0,10 ^c	11,19±0,18 ^c
4.	1,35±0,23 ^d	2,90±0,10 ^d	3,76±0,14 ^d	1,60±0,18 ^d	3,85±0,16 ^d	4,07±0,16 ^d

Aynı sütundaki farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar a-d istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05 Duncan testi).

C. capoeta için elde edilen DTC verileri değerlendirildiğinde 2. hariç diğer istasyon balıklarında organın normal, 2. istasyon balıklarında ise organın hafif hasarlı olduğu tespit edilmiştir. *A. mossulensis* için sadece 1. ve 2. istasyon balıklarında hafif hasar tespit edilmiş, *S. cephalus*'ta ise 1. ve 2. istasyonlara ek olarak 2016 yılında 3. istasyon balıklarında da hafif hasar tespit edilmiştir. Buna göre elde edilen DTC değerleri, 4. istasyon balıklarının sinir sisteminin normal çalıştığını gösterirken, 1. ve 2. istasyon balıklarında organda hafif patolojik hasarın varlığını göstermiştir.

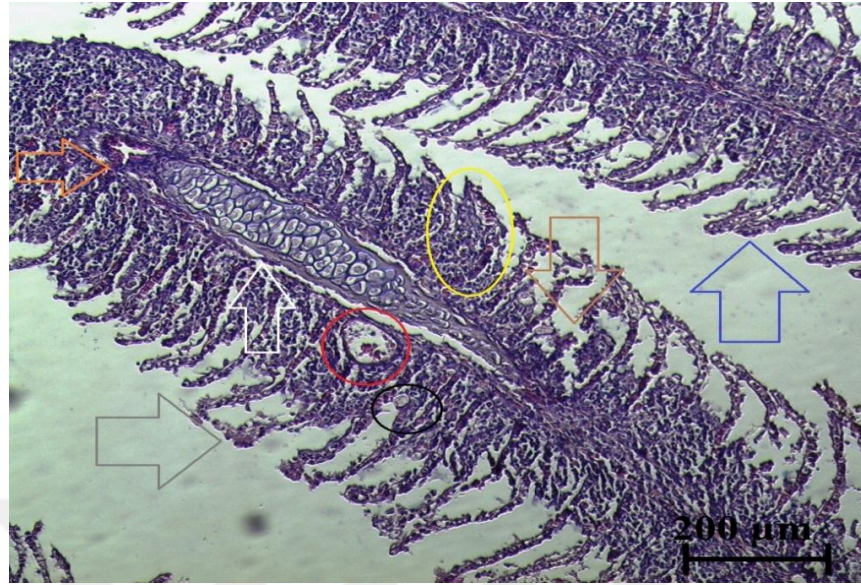
4.12.2. Solungaç histolojisi

4. istasyondan yakalanan balıklardan H&E boyama ile hazırlanan solungaç preparatları incelendiğinde solungaç taraklarının, bazal membranın üstündeki çok katlı epitelden ve bazal membranın altındaki gevşek lifli bağ dokudan oluştuğu gözlemlenmiştir. Bağ dokusuna bağlı olan solungaç filamentlerinin primer ve sekonder lamellerden meydana geldiği görülmüştür (Şekil 4.41). Primer lamelin ortasında hiyalin kıkırdağın ve bu kıkırdağın etrafında kan damarları (ven) ve filament epitel hücrelerinin yer aldığı ve bu yapıların normal olduğu görülmüştür. Sekonder lamel yapısında kapiller, destek hücreleri (pillar hücreleri) ve sekonder lamellerin dış boşluğa bakan yüzeyinde tek katlı yassılaştırmış solunum epitel hücreleri (respiratorik hücreler) gözlenmiş ve sekonder lameller arasında büyük ve eozinofilik mukus hücreleri ile klorid hücreleri görülmüştür.



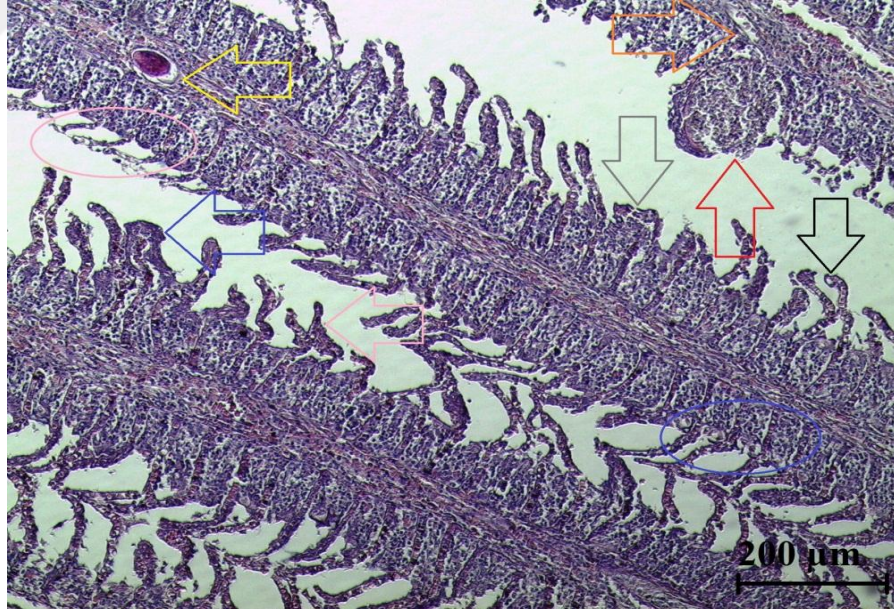
Şekil 4.41. *C. capoeta* türünde solungaç histolojisi
 PL: primer lamel, SL: sekonder lamel, Ok: merkezi ven, H&E

İstasyonlardan yakalanan balıkların solungaçlarında önemli patolojik hasarlara da rastlanmıştır. Balıklarda dikkat çeken hasarlardan konjesyon *C. capoeta* için Şekil 4.42, Şekil 4.43 ve Şekil 4.44'te, *A. mossulensis* için Şekil 4.45'te, *S. cephalus* için ise Şekil 47'de gösterilmiştir. İncelenen balıklarda filamenter dilatasyon ile vazodilatasyon (Şekil 4.42, 44, 45, 46, 47 ve 48), hiyalin kıkırdakta belirgin proliferasyon (Şekil 4.42), kılcaldaki dilatasyon ve konjesyon (Şekil 4.44), merkezi ven epitelinde yırtılma ile hemoraji (Şekil 4.44) görülmüştür. Kılcalda kiste (Şekil 4.42) ve eozinofilik sıvı içeren kist benzeri oluşumlara (Şekil 4.43) rastlanmıştır. İncelenen balıklarda mukus hücresinde hipertrofi (Şekil 4.42, 43 ve 45), vakuol oluşumu (Şekil 4.44 ve 45) görülmüştür. Lamel epitelinde ayrılma (Şekil 4.45, 47 ve 48), solunum epitelinde hiperplazi (Şekil 4.45) saptanmıştır. Sekonder lamellerde kıvrılma (Şekil 4.45 ve 47), kısalma (Şekil 4.45), incelme (Şekil 4.43) ve kopma (Şekil 4.42 ve 43) ile beraber ciddi dejenerasyonlar (Şekil 4.42, 44, 45, 47 ve 48) dikkat çekmiştir. Sekonder lamelde hiperplazi (Şekil 4.42, 43, 45, 46 ve 47) ve ödem (Şekil 4.43 ve 45) tespit edilmiştir. Lamellerde kısmi (Şekil 4.42, 43, 46 ve 48) ve tam füzyon (Şekil 4.45) görülmüştür. Yine lamellerde telengiektazi (Şekil 4.46) ve anevrizma (Şekil 4.43 ve 46) dikkat çekmiştir.



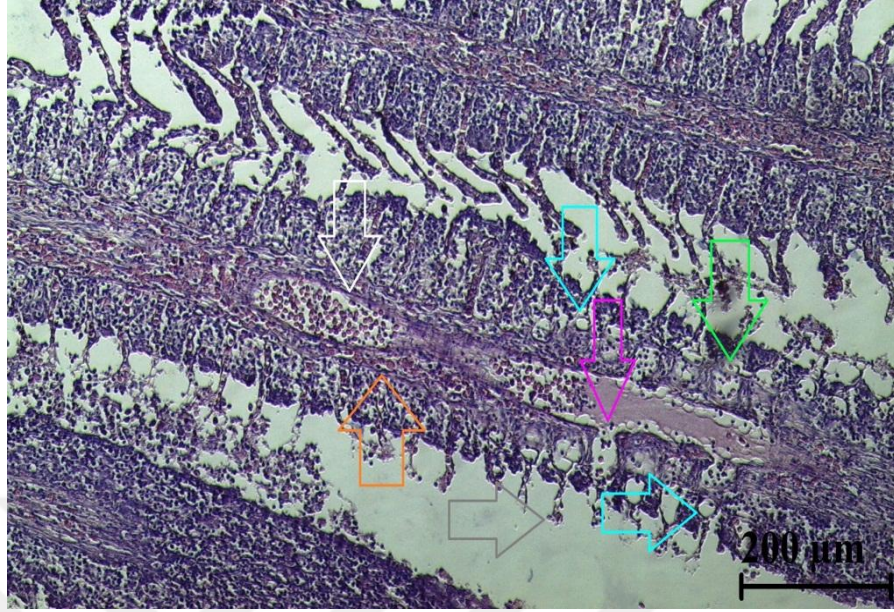
Şekil 4.42. *C. capoeta*'da solungaç hasarları

Oklar: **turuncu**: konjesyon, **kahverengi**: sekonder lamelde kıvrılma ve kopma, **mavi**: füzyon, **gri**: lamelde hiperplazi, **beyaz**: dilatasyon ve hiyalin kıkırdakta proliferasyon, **siyah daire**: mukus hücresinde hipertrofi, **sarı daire**: hiperplazi ile füzyon, **kırmızı daire**: kılcalda kist, H&E



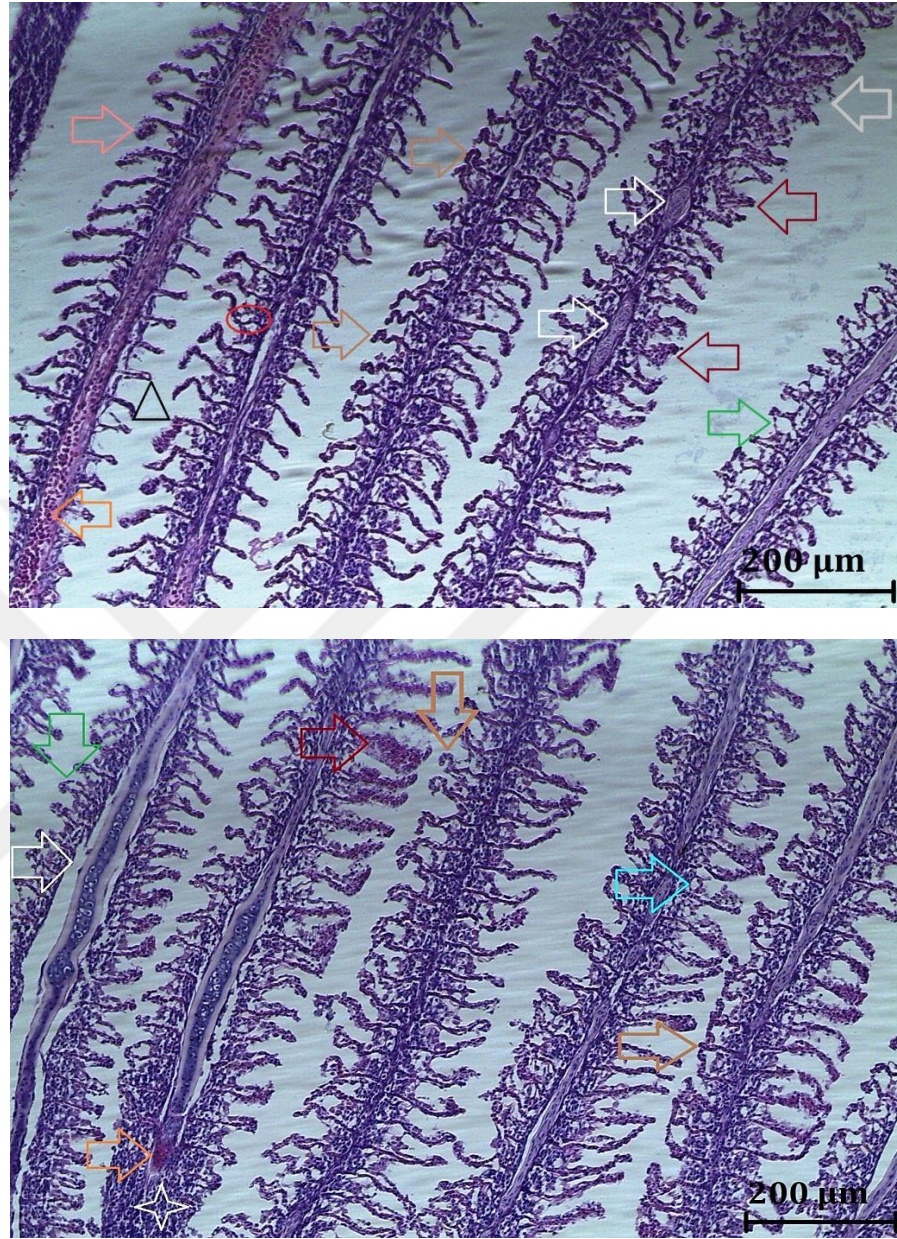
Şekil 4.43. *C. capoeta*'da solungaç hasarları

Oklar; **turuncu**: konjesyon, **sarı**: eozinofilik sıvı kistik lezyon, **gri**: sekonder lamelde kopma, **kırmızı**: anevrizma, **siyah**: ödem, **mavi**: füzyon, **pembe**: hiperplazi, **pembe daire**: lamelde incelme ve ödem, **mor daire**: hipertrofi, H&E



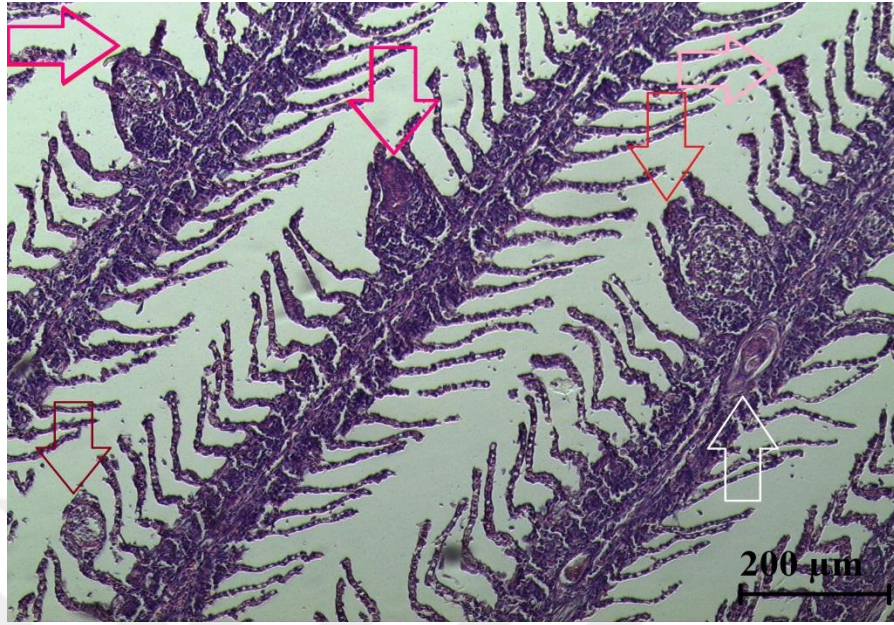
Şekil 4.44. *C. capoeta*'da solungaç hasarları

Oklar; **beyaz:** vazodilatasyon ve konjesyon, **turkuaz:** vakuol, **fıstık yeşili:** kılcalda dilatasyon ve konjesyon, **fuşya:** merkezi ven epitelinde dejenerasyon ve hemoraji, **turuncu:** konjesyon, **gri:** lamellar dejenerasyon H&E



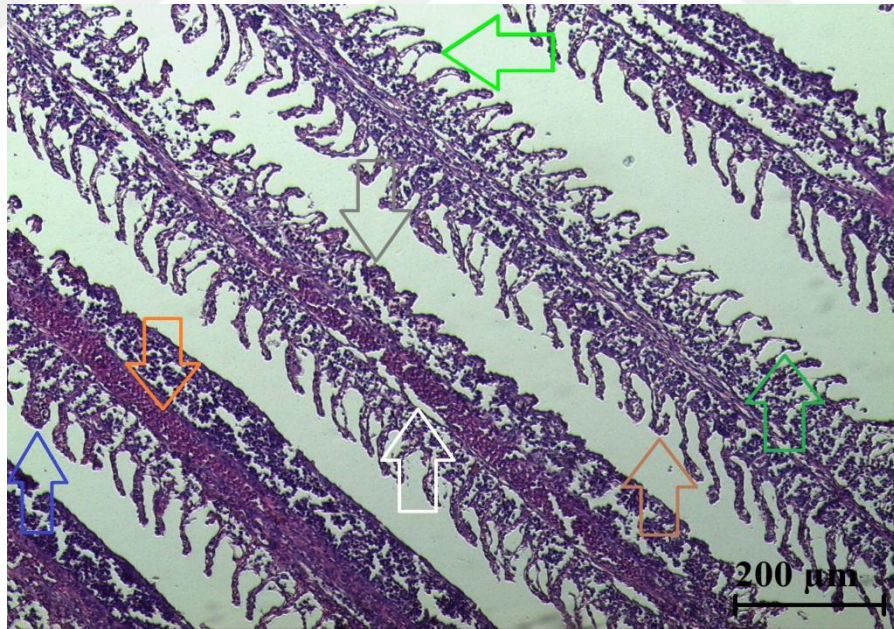
Şekil 4.45. *A. mossulensis*'te solungaç hasarları

Oklar; **pembe**: solunum epitelinde hiperplazi, **kahverengi**: sekonder lamelde kıvrılma, **gri**: lamelde dejenerasyon, **beyaz**: vazodilatasyon, **bordo**: hiperplazi, **yeşil**: lamel epitelinde ayrılma, **turuncu**: konjesyon, **turkuaz**: hipertrofi, **üçgen**: ödem ve sekonder lamelde kısalma, **kırmızı daire**: vakuol, **yıldız**: lamelde tam füzyon, H&E



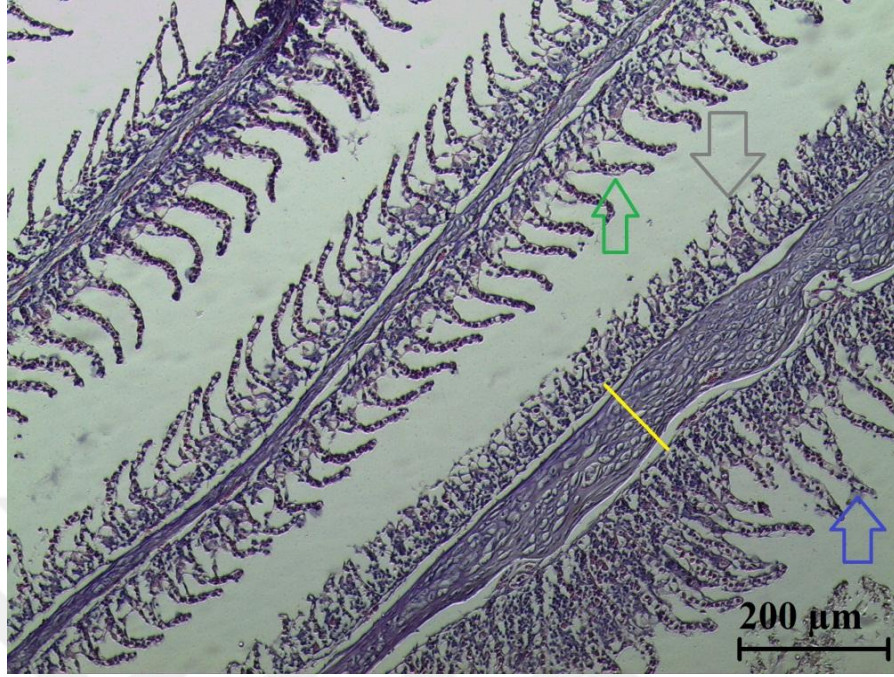
Şekil 4.46. *S. cephalus*'ta solungaç hasarları

Oklar; **kırmızı**: anevrizma ile füzyon, **bordo**: telengiektazi, **açık pembe**: hiperplazi, **koyu pembe**: hiperplazi ve füzyon, **beyaz**: vazodilatasyon, H&E



Şekil 4.47. *S. cephalus*'ta solungaç hasarları

Oklar; **yeşil**: lamel epitelinde ayrılma, **gri**: lameller dejenerasyon, **turuncu**: konjesyon, **beyaz**: dilatasyon, **kahverengi**: sekonder lamelde kıvrılma, **lacivert**: hiperplazi, H&E



Şekil 4.48. *S. cephalus*'ta solungaç hasarları

Oklar; **yeşil**: lamel epitelinde ayrılma, **gri**: lamellar dejenerasyon, **mavi**: füzyon, **sarı çizgi**: filamenter dilatasyon, H&E

Çizelge 4.27'de istasyonlara göre balık türlerinin solungaçlarında tespit edilen histolojik hasarlar DTC frekansları ile verilmiştir. Solungaçlarda tespit edilen hasarların çeşidi üç türde de bir farklılık göstermemiştir. Benzer şekilde 2015 ve 2016 yıllarında da patolojik hasarların çeşidinde herhangi bir farklılık gözlenmemiştir. İncelenen üç türde de 4. istasyona kıyasla diğer istasyonlarda histopatolojik anormalliklerin frekansında artış tespit edilmiştir.

Çizelge 4.27. İstasyonlara göre türlerin solungaçlarında tespit edilen histolojik hasarlar ve DTC frekansları

İstasyon Balık türü	DTC evresi	1. İST.			2. İST.			3. İST.			4. İST.		
		C	A	S	C	A	S	C	A	S	C	A	S
Solungaç Lezyonları													
Filamenter dilatasyon	I	3	3	3	3	3	3	2	2	3	1	1	1
Lamel epitelinde ayrılma	I	3	3	3	3	3	3	1	2	1	1	1	1
Lamellar füzyon	I	2	3	2	3	3	3	1	2	1	0	0	0
Lamellerde dejenerasyonlar	I	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
Lamellerde hiperplazi	I	2	2	2	2	2	3	0	1	1	0	0	0
Ödem	I	2	3	2	3	3	3	0	2	2	1	0	1
Vakuol	I	1	1	2	2	2	3	1	1	2	1	1	1
Vazodilatasyon	I	2	2	2	2	2	3	0	2	2	0	1	1
Merkezi vende yırtılma ile hemoraji	II	2	1	1	1	1	2	0	0	1	0	0	0
Hiyalin kıkırdakta proliferasyon	II	1	1	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0
Kist	II	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Konjesyon	II	3	3	3	2	3	3	2	2	2	1	1	1
Lamelde tam füzyon	II	2	2	2	3	2	3	0	1	1	0	0	0
Lamellar anevrizma	II	2	1	2	2	2	3	0	1	0	0	0	0
Mukus hücresinde hipertrofi	II	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Telangiyektazi	II	2	2	2	2	2	3	0	1	0	0	0	0

0: anormallik yok, 1: anormallik frekansı düşük, 2: anormallik frekansı orta, 3: anormallik frekansı yüksek. Evreler Bernet *et al.* (1999)'dan yararlanılarak uyarlanmıştır.

C; *C. capoeta*, A; *A. mossulensis*, S; *S. cephalus*

Balık türleri için hesaplanan solungaç DTC değerleri Çizelge 4.28'de verilmiştir. Verilere göre 2015 yılının DTC değerlerinin 2016'ya göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Türler arasında en yüksek DTC değerine ise *S. cephalus* bireylerinin sahip olduğu saptanmıştır. *C. capoeta* için en yüksek DTC değeri 2. istasyonda, *A. mossulensis* için 1. ve *S. cephalus* için 2. istasyonda elde edilmiştir. Ayrıca istasyonlar arasında DTC değerindeki artış üç türde de istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). DTC değerlerine bakıldığında 4. istasyon balıklarının solungaçlarının normal fonksiyon gösterdiği anlaşılmıştır. 3. istasyona ait balıklardan *C. capoeta* ve *S. cephalus* türlerinin solungaçlarında hafif dereceli hasara karşılık *A. mossulensis* türünde orta dereceli hasar dikkat çekmiştir. 1. ve 2. istasyonlara ait balıklardan *C. capoeta* ve *S. cephalus*'un solungaçlarında ise kuvvetli hasar gözlenirken *A. mossulensis*'in sadece 1. istasyona ait bireylerinde kuvvetli hasar gözlenmiş, 2. istasyona ait bireylerinde ise orta dereceli hasarın olduğu anlaşılmıştır.

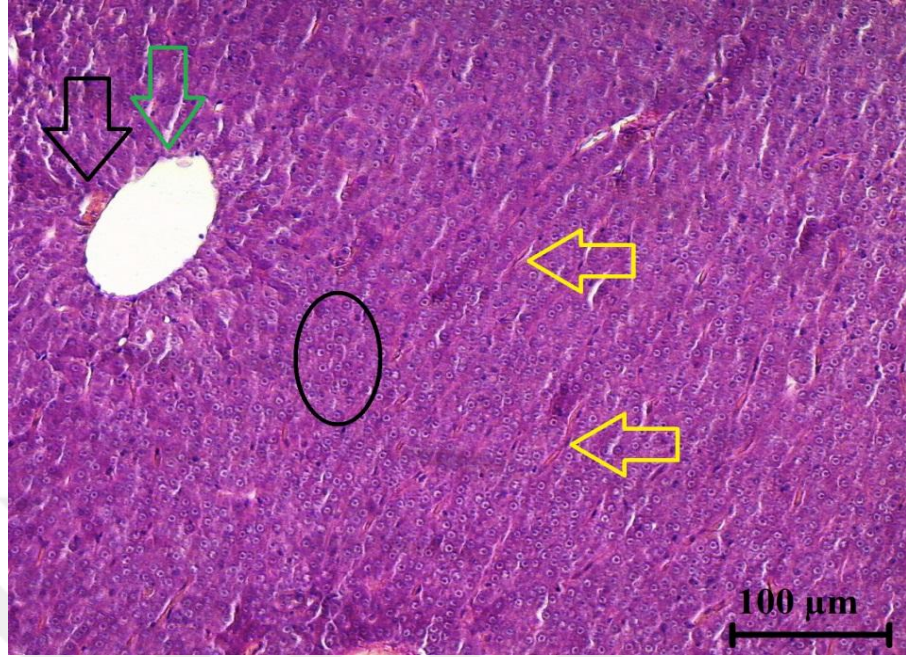
Çizelge 4.28. 2015-2016 yılları istasyonlara göre türlerin solungaç DTC değerleri (Ort.±SH)

İst.	<i>C. capoeta</i>		<i>A. mossulensis</i>		<i>S. cephalus</i>	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016
1.	52,04±0,13 ^b	53,97±0,12 ^b	75,66±0,23 ^a	78,79±0,20 ^a	68,84±0,22 ^b	74,88±0,12 ^b
2.	58,94±0,07 ^a	62,45±0,18 ^a	43,60±0,21 ^b	51,99±0,11 ^b	73,39±0,15 ^a	82,91±0,14 ^a
3.	17,42±0,14 ^c	19,31±0,13 ^c	22,62±0,16 ^c	33,40±0,26 ^c	12,04±0,17 ^c	15,40±0,23 ^c
4.	9,04±0,18 ^d	9,02±0,19 ^d	9,90±0,04 ^d	8,69±0,10 ^d	7,85±0,11 ^d	9,11±0,33 ^d

Aynı sütundaki farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar a-d istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05 Duncan testi).

4.12.3. Karaciğer histolojisi

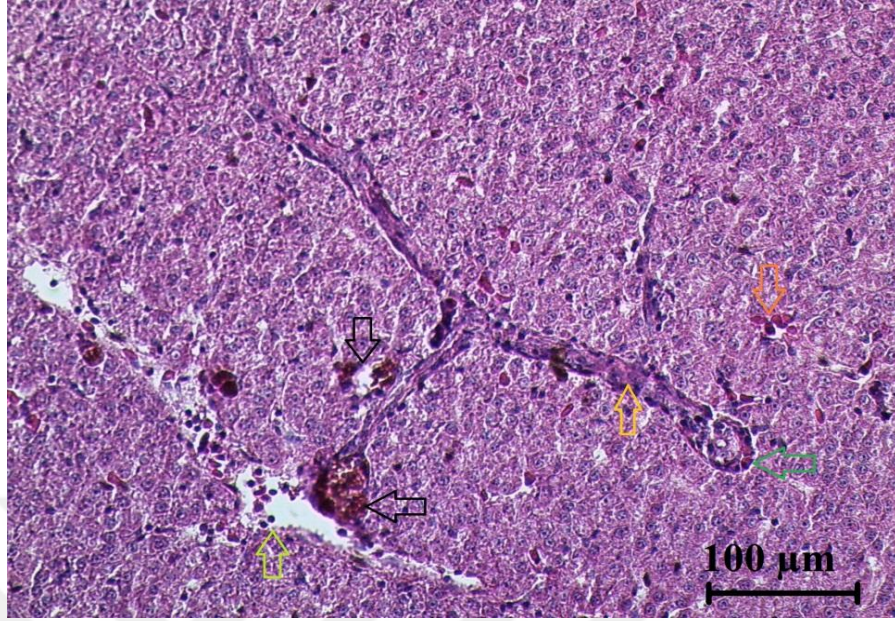
4. istasyondan yakalanan balıklardan hazırlanan karaciğer preparatlarında H&E boyama ile çekirdekleri mor, sitoplâzmaları pembe renkli boyanan çokgen şekilli, iri çekirdekli hepatositlerin sınırlarının düzgün olduğu gözlenmiştir. Hepatopankreas yapısını oluşturan ekzokrin pankreas asinusları ya da lobları karaciğer dokusu içine yayılmış halde gözlenmiştir. Parankimadaki tek katlı kübik epitel ile kaplı olan safra kanalları da normal yapıda gözlenmiştir. İncelenen preparatlarda özellikle hepatopankreasın çevresinde olmak üzere az sayıda melanomakrofaj yığınlarına da rastlanmıştır. Parankima hücrelerinin aralarında sinüzoidler ve sinüzoidlerin açıldığı merkezi ven birçok kesitte gözlenmiştir (Şekil 4.49).



Şekil 4.49. *A. mossulensis*'te normal karaciğer histolojisi

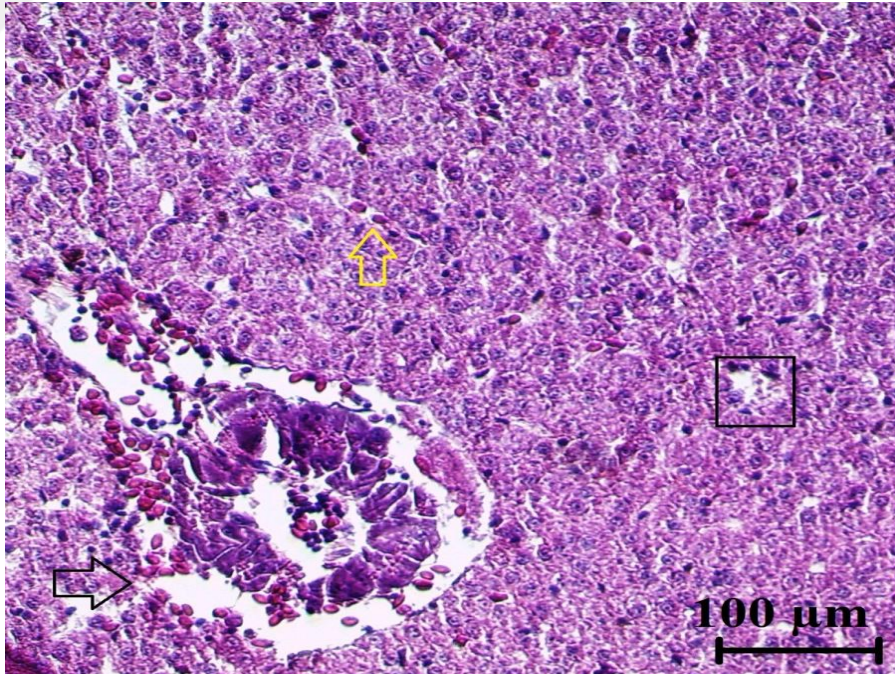
Oklar; **siyah**: melanomakrofaj, **sarı**: sinüzoid, **yeşil**: merkezi ven, **daire içi**: hepatositler, H&E

Nehrin balıkları histopatolojik olarak değerlendirildiğinde üç türün de karaciğerinde istasyonlara göre değişen oranlarda olmak üzere çeşitli patolojiler göze çarpmıştır. Özellikle merkezi vende, sinüzoidlerde ve damarlarda ciddi konjesyon (Şekil 4.50, 51, 53, 54 ve 55) dikkat çekmiştir. İncelenen balıklarda merkezi ven epitelinde dejenerasyon (Şekil 4.54), sinüzoidlerde belirgin dilatasyon (Şekil 4.51, 54 ve 55), pasif hiperemi (Şekil 4.50 ve 52) ve vasküler dejenerasyonlar (Şekil 4.50, 54, 55) saptanmıştır. Balıklarda melanomakrofaj artışı (Şekil 4.50, 54), parankimada heterojen boyanma (Şekil 4.54) ve infiltrasyon (Şekil 4.53 ve 54) net bir şekilde gözlemlenmiştir. Hepatositlerde hipertrofi (Şekil 4.52 ve 54) ve dejenerasyon (Şekil 4.54), nüklear hipertrofi (Şekil 4.55), hepatopankreasta ise hipertrofi ile dejenerasyon (Şekil 4.51) tespit edilmiştir. Ayrıca yağlanma ile birlikte belirgin vakuolizasyon (Şekil 4.52, 53, 54 ve 55), safra kanalında proliferasyon, hipertrofi ve dejenerasyon (Şekil 4.52), safra kanalında kanlanma (Şekil 4.50), nekroz (Şekil 4.51), piknoz (Şekil 4.55), kist (Şekil 4.55) ve fibroz (Şekil 4.54) dikkat çekmiştir.



Şekil 4.50. *C. capoeta*'da karaciğer hasarları

Oklar; **siyah**: melanomakrofaj, **turuncu**: konjesyon, **sarı**: hiperemi, **açık yeşil**: vasküler dejenerasyon, **koyu yeşil**: safra kanalında kanlanma, H&E



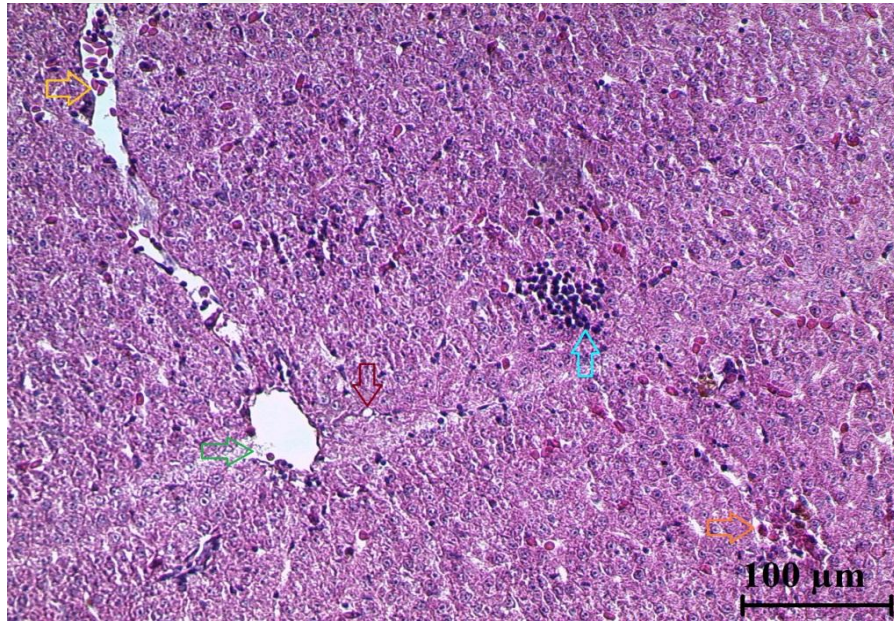
Şekil 4.51. *C. capoeta*'da karaciğer hasarları

Oklar; **sarı**: sinuzoidal dilatasyon ve konjesyon, **siyah**: hepatopankreasta dejenerasyon ve hipertrofi, **kare içi**: nekroz, H&E



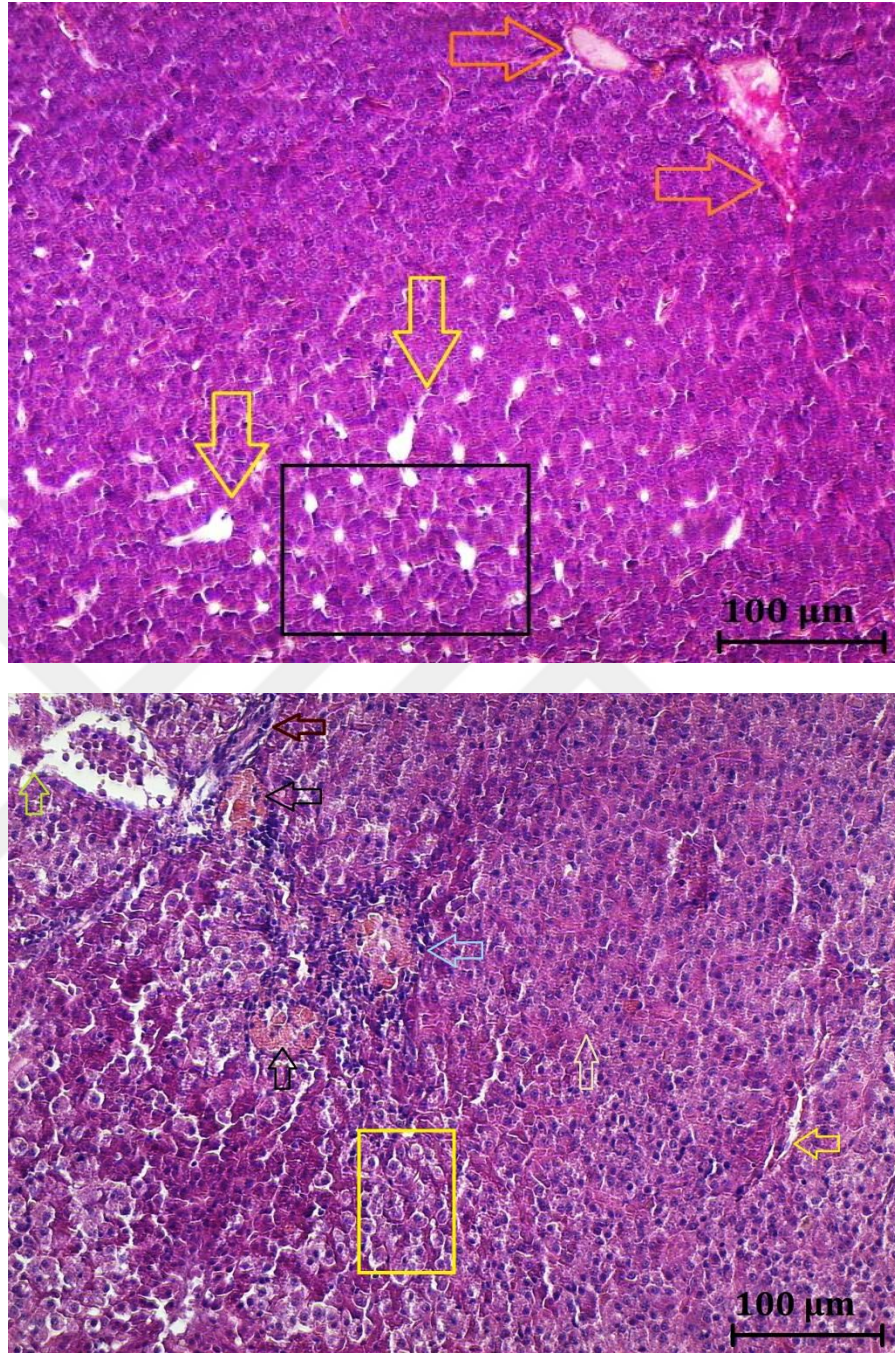
Şekil 4.52. *C. capoeta*'da karaciğer hasarları

Oklar; **bordo:** vakuol, **beyaz:** hiperemi, **koyu yeşil:** safra kanalında proliferasyon, hipertrofi ve dejenerasyon, **daire:** hepatositte hipertrofi, H&E



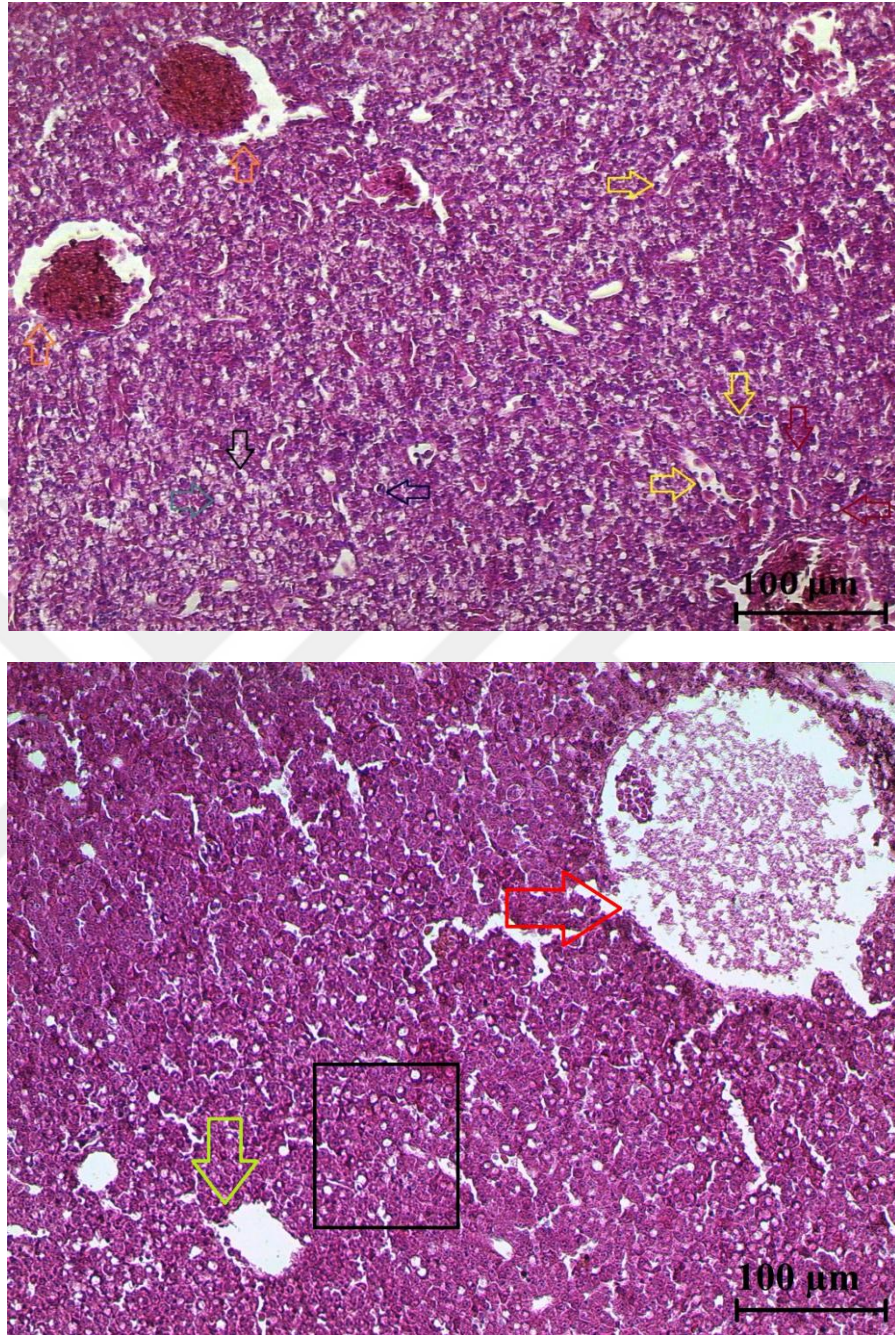
Şekil 4.53. *A. mossulensis*'te karaciğer hasarları

Oklar; **turuncu:** konjesyon, **yeşil:** merkezi ven epitelinde dejenerasyon, **bordo:** vakuol, **mavi:** infiltrasyon, H&E



Şekil 4.54. *A. mossulensis*'te karaciğer hasarları

Oklar; **turuncu**: konjesyon, **sarı**: sinuzoidal dilatasyon, **siyah**: melanomakrofaj, **mavi**: infiltrasyon, **açık yeşil**: vasküler dejenerasyon, **kahverengi**: fibroz, **krem**: homojen olmayan parankima, **siyah kare**: yağlanma, **sarı kare**: hepatositlerde dejenerasyon, H&E



Şekil 4.55. *S. cephalus*'ta karaciğer hasarları

Oklar; **turuncu**: konjesyon, **sarı**: sinuzoidal dilatasyon, **bordo**: vakuol, **siyah**: hepatositte hipertrofi, **küf yeşili**: piknoz, **lacivert**: nüklear hipertrofi, **yeşil**: vasküler dejenerasyon, **kırmızı**: kist, **kare**: yağlanma, H&E

Çizelge 4.29'da istasyonlara göre balık türlerinin karaciğerinde tespit edilen histolojik hasarlar DTC frekansları ile verilmiştir. İncelenen üç türün de karaciğerinde aynı tip histolojik hasarlar tespit edilmiştir. Ayrıca patolojik hasarlarının çeşidi bakımından

2015 ve 2016 yıllarında herhangi bir farklılık gözlenmemiştir. Histopatolojik anormalliklerin frekansı ise 4. istasyon balıklarına kıyasla diğer istasyonlardan elde edilen balıklarda artış göstermiştir.

Çizelge 4.29. İstasyonlara göre türlerin karaciğerinde tespit edilen histolojik hasarlar ve DTC frekansları

İstasyon Balık türü	DTC evresi	1. İST.			2. İST.			3. İST.			4. İST.		
		C	A	S	C	A	S	C	A	S	C	A	S
Karaciğer Lezyonları													
Hepatopankreasta hipertrofi	I	1	0	1	2	0	2	0	0	1	0	0	0
Hepatositlerde hipertrofi	I	1	1	2	2	1	3	0	1	0	0	0	0
Homojen olmayan parankima	I	1	2	2	2	1	2	0	1	0	0	0	0
İnfiltrasyon	I	2	3	3	3	2	2	0	0	1	0	0	0
Melanomakrofajlarda birikme	I	2	3	3	2	2	3	0	1	1	1	1	1
Nüklear hipertrofi	I	1	1	2	2	1	3	0	0	0	0	0	0
Sinuzoidal dilatasyon	I	2	3	2	3	2	3	1	2	2	1	1	1
Vakuolizasyon	I	1	2	2	2	1	3	1	1	0	0	0	0
Hepatositlerde dejenerasyon	II	2	3	2	3	2	3	0	1	1	1	1	1
Hiperemi	II	3	3	3	3	3	3	0	1	2	1	1	1
Kist	II	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Konjesyon	II	3	3	3	3	3	3	0	1	2	1	1	1
Merkezi vende dejenerasyon	II	2	3	3	3	2	3	1	2	3	0	1	1
Piknoz	II	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Safra kanalı proliferasyonu	II	1	0	1	1	0	2	0	0	1	0	0	0
Vasküler dejenerasyon	II	3	3	3	3	3	3	1	2	1	0	0	1
Nekroz	III	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Fibroz	III	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0

0: anormallik yok, 1: anormallik frekansı düşük, 2: anormallik frekansı orta, 3: anormallik frekansı yüksek. Evreler Bernet *et al.* (1999)'dan yararlanılarak uyarlanmıştır.

C; *C. capoeta*, A; *A. mossulensis*, S; *S. cephalus*

Karaciğer için hesaplanan DTC değerleri 2015 ve 2016 yılları için Çizelge 4.30'da verilmiştir. Bu verilere göre 2016 yılının DTC değerleri 2015'e göre daha yüksek bulunmuştur. *C. capoeta* için en yüksek DTC değeri 2. istasyonda, *A. mossulensis* için 1. ve *S. cephalus* türünde 2. istasyonda elde edilmiştir. Elde edilen DTC değerine bakıldığında türler arasında en yüksek DTC değerlerinin *S. cephalus*'ta olduğu gözlenmiştir. Türlerin 4. istasyona ait olanlarında DTC değerleri diğer üç istasyona ait olanlarına göre belirgin bir şekilde düşük ve istasyonlar arasında DTC değerlerindeki farklılık istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). DTC verileri doğrultusunda

4. istasyona ait balıkların karaciğerinin normal çalıştığı, 3. istasyona ait balıkların karaciğerinde orta dereceli hasarın olduğu, 1. ve 2. istasyonlara ait balıkların karaciğerinde ise kuvvetli patolojik hasarın olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.30. 2015-2016 yılları istasyonlara göre türlerin karaciğer DTC değerleri (Ort.±SH)

İst.	<i>C. capoeta</i>		<i>A. mossulensis</i>		<i>S. cephalus</i>	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016
1.	72,42±0,23 ^b	75,71±0,21 ^b	83,11±0,10 ^a	87,94±0,35 ^a	79,14±0,17 ^b	84,56±0,22 ^b
2.	82,04±0,09 ^a	81,94±0,02 ^a	75,12±0,20 ^b	81,27±0,32 ^b	88,30±0,21 ^a	90,84±0,10 ^a
3.	23,34±0,35 ^c	34,38±0,40 ^c	35,98±0,25 ^c	45,91±0,10 ^c	33,91±0,25 ^c	42,90±0,14 ^c
4.	7,39±0,28 ^d	4,12±0,74 ^d	8,57±0,32 ^d	6,05±0,15 ^d	7,77±0,18 ^d	10,88±0,11 ^d

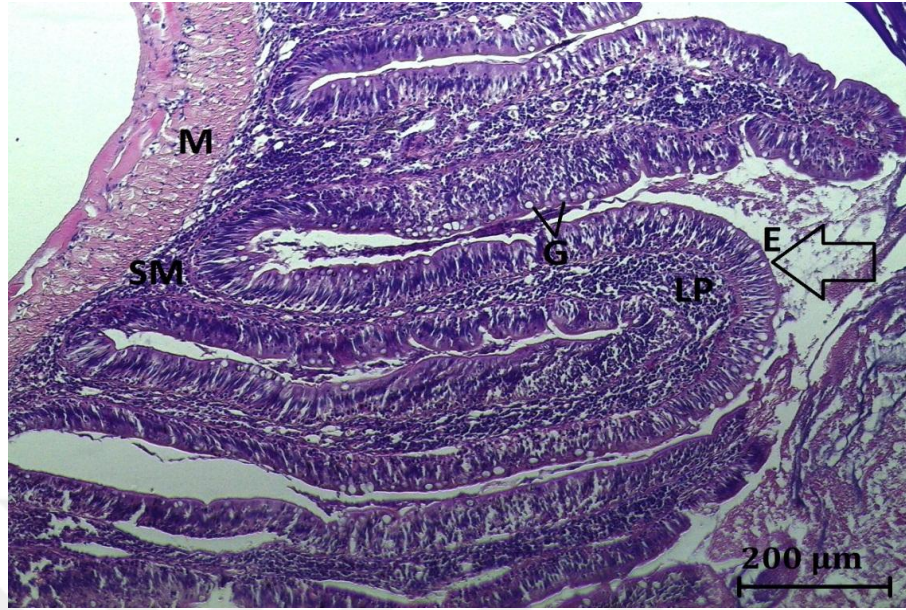
Aynı sütundaki farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar a-d istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05 Duncan testi).

4.12.4. Gastrointestinal sistem histolojisi

Balıkların sindirim sistemi histolojik kesitlerine bakıldığında mukoza, submukoza, muskularis ve adventisya olmak üzere 4 tabaka gözlenmiştir. Mukoza, epitel hücrelerinden ve lamina propria (gevşek lifli bağ doku) tabakasından oluşmuştur. Yine bağ dokusundan oluşan submukozanın altında muskularis tabakası yer almaktadır. Muskularis tabakası ise içte halkasal ve dışta boyuna düz kaslardan oluşmuştur. En dışta da sıkı bağ doku ile çevrili adventisya yani seroza tabakası gözlenmiştir.

Bağırsak

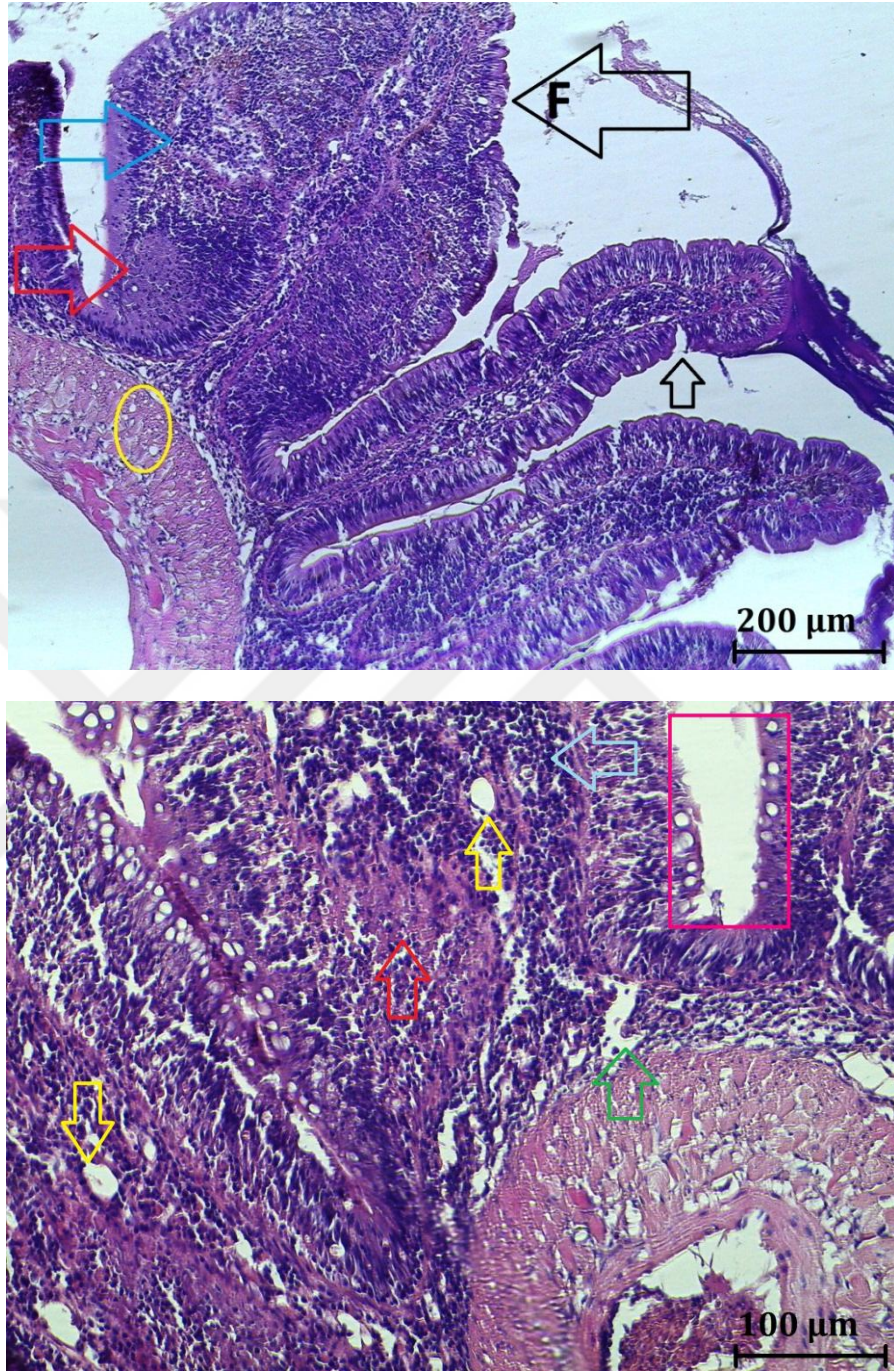
4. istasyondan yakalanan balıklardan hazırlanan preparatlardan gastrointestinal yapıda histolojik olarak herhangi bir patoloji göstermeyenlerinde yapılan incelemelerde bağırsak dokusunda villüsler rahatlıkla ayırt edilmiştir. Mukoza epiteli, hücre sınırları belirgin, tek katlı prizmatik çizgili kenarlı epitelyum hücreleri ve bu hücrelerin aralarındaki goblet hücreleri ve lenfositler ile tipik görünüm sergilemiştir. Epitelin altındaki lamina propria tabakasındaki yapılar normal olarak görülmüştür (Şekil 4.56).



Şekil 4.56. *C. capoeta*'da bağırsak histolojisi

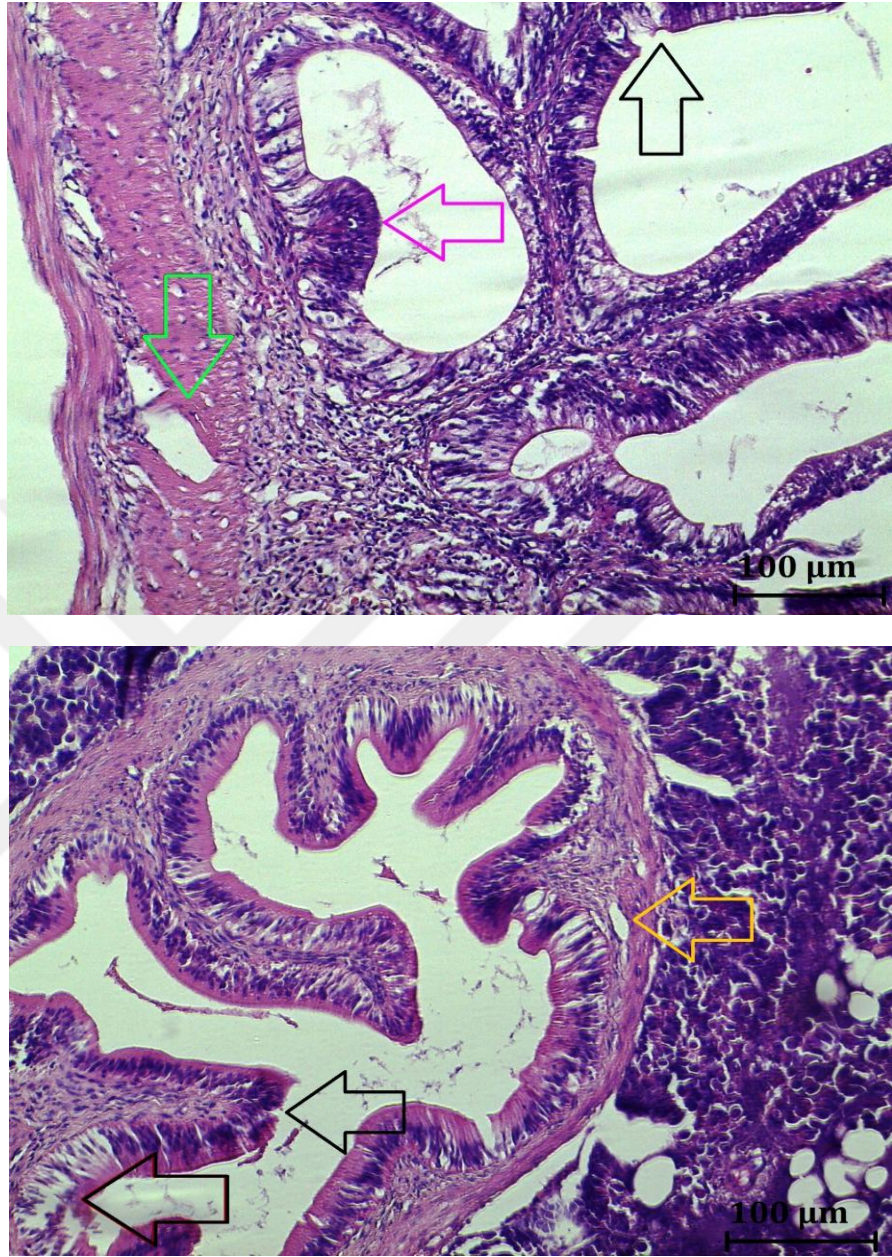
M: muskularis, **SM:** submukoza, **G:** goblet hücreleri, **LP:** lamina propria, **E:** epitel, **Ok:** villus, H&E

Yapılan incelemelerde türlerde istasyonlara göre değişen oranlarda olmak üzere ciddi bağırsak histopatolojileri saptanmıştır. İncelenen balıklardan *C. capoeta*'nın bağırsaklarında villuslarda füzyon, tek katlı prizmatik çizgili kenarlı epitelde belirgin dejenerasyon, infiltrasyon, muskularis tabakasında ve submukozada oldukça geniş vakuolizasyon öne çıkan hasarlar olarak saptanmıştır (Şekil 4.57). Ayrıca submukozada dejenerasyon ve fibroz belirlenmiştir (Şekil 4.57). *A. mossulensis*'te ise villus epitelinde dejenerasyon, submukoza ve muskularis tabakalarında dejenerasyon ve belirgin bir hiperplazi yaygın olarak gözlenmiştir (Şekil 4.58). *S. cephalus*'ta yine villuslarda dejenerasyon, infiltrasyon, submukozada konjesyon, kas tabakada balonlaşma, muskularis ve serozada ciddi dejenerasyonlar dikkat çekmiştir (Şekil 4.59). 2016 yılında balıklarda 2015'ten farklı bir anormallik saptanmamış ve balıklar arasında histopatolojik hasar çeşidi bakımından herhangi bir farklılık gözlenmemiştir.



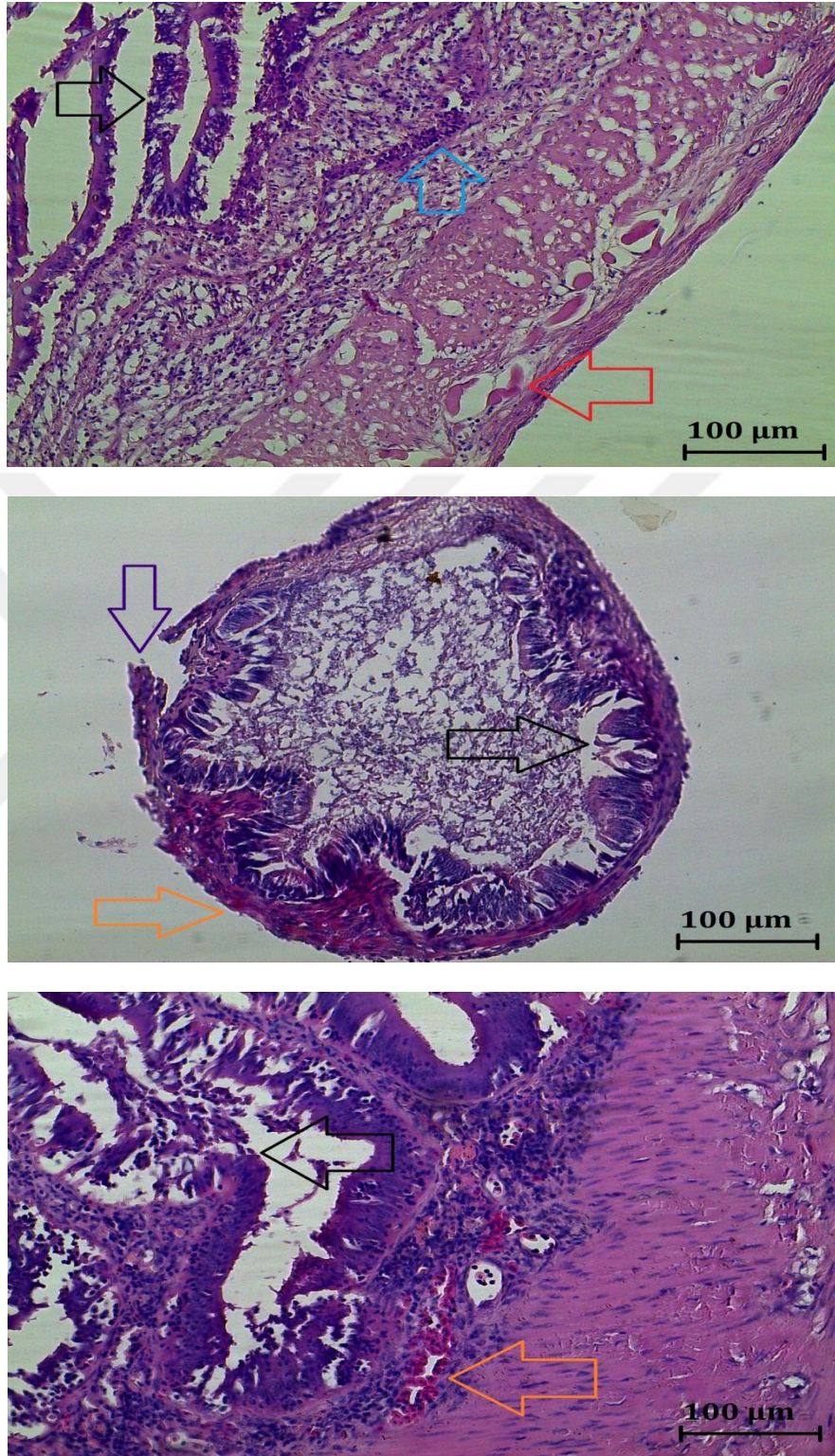
Şekil 4.57. *C. capoeta*'da gastrointestinal sistem patolojileri

F: füzyon, **dikdörtgen:** goblet hücrelerinde hipertrofi, **Oklar;** koyu mavi: infiltrasyon, **kırmızı:** fibroz, **küçük siyah ok:** epitelde dejenerasyon, **sarı daire ve ok:** vakuol, **yeşil:** submukozada dejenerasyon, **açık mavi:** füzyon, H&E



Şekil 4.58. *A. mossulensis*'te gastrointestinal sistem patolojileri

Oklar; **siyah**: epitelde dejenerasyon, **pembe**: hiperplazi, **yeşil**: muskulariste dejenerasyon, **sarı**: submukozada dejenerasyon, H&E



Şekil 4.59. *S. cephalus*'ta gastrointestinal sistem patolojileri

Oklar; **siyah**: villusta dejenerasyon, **mavi**: infiltrasyon, **kırmızı**: kas tabakada balonlaşma, **mor**: muskularis ve serozada dejenerasyon, **turuncu**: konjesyon, H&E

Çizelge 4.31’de istasyonlara göre balık türlerinin gastrointestinal sisteminde tespit edilen histolojik hasarlar DTC frekansları ile verilmiştir. Buna göre gastrointestinal sistemde tespit edilen hasarlar, 4. istasyona kıyasla 3. istasyondan ve özellikle 1. ve 2. istasyonlardan yakalanan balıklarda artış göstermiştir.

Çizelge 4.31. İstasyonlara göre türlerin bağırsağında tespit edilen histolojik hasarlar ve DTC frekansları

İstasyon Balık türü		1. İST.			2. İST.			3. İST.			4. İST.		
		C	A	S	C	A	S	C	A	S	C	A	S
Bağırsak Lezyonları	DTC evresi												
Epitelde dejenerasyon	I	2	2	2	2	2	3	1	1	1	1	1	1
Goblet hücresinde hipertrofi	I	1	2	2	2	2	2	0	0	1	0	0	0
İnfiltrasyon	I	1	1	2	1	2	2	0	1	1	0	0	0
Submukozada konjesyon	I	1	2	2	1	1	3	0	0	0	0	0	0
Vakuol oluşumu	I	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
Villuslarda füzyon	I	1	2	2	1	2	2	0	0	0	0	0	0
Hiperplazi	II	1	1	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0
Kas tabakada balonlaşma	II	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Muskularis tabakasında dejenerasyon	II	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Serozada dejenerasyon	II	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Submukozada dejenerasyon	II	1	1	1	1	1	2	0	0	1	0	0	0
Villuslarda dejenerasyon	II	2	2	2	2	3	3	1	1	1	1	1	1
Fibroz	III	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0

0: anormallik yok, 1: anormallik frekansı düşük, 2: anormallik frekansı orta, 3: anormallik frekansı yüksek. Evreler Bernet *et al.* (1999)’dan yararlanılarak uyarlanmıştır.

C; *C. capoeta*, A; *A. mossulensis*, S; *S. cephalus*

Balıkların gastrointestinal sistemine ait ortalama DTC değerleri 2015-2016 yılları için Çizelge 4.32’de gösterilmiştir. Buna göre 2015 yılında genel olarak daha düşük DTC değerleri elde edilmiştir. En yüksek DTC değeri *C. capoeta*’da 2. istasyonda, *A. mossulensis*’te 1. ve *S. cephalus*’ta 2. istasyonda kaydedilmiştir. Türler arasında *S. cephalus* bireylerinin en yüksek DTC değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir. Üç türde de her iki yılda istasyonlar arasındaki DTC değerlerindeki farklılık istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Özellikle 1. ve 2. istasyonlardaki DTC değerleri nin 4. istasyona kıyasla önemli oranda yüksek olması dikkat çekmiştir.

Elde edilen DTC değerleri, 4. istasyon balıklarının gastrointestinal sisteminin normal çalıştığını göstermiştir. *C. capoeta*'nın DTC değerleri, bu türün 3. istasyondan elde edilen bireylerinde organın normal ve 2. istasyondan elde edilen bireylerinde organın orta dereceli hasarlı olduğunu göstermiştir. Dikkat çeken bulgu ise 2015 yılında 1. istasyondan elde edilenlerde tespit edilen organda hafif hasar durumunun 2016'da orta dereceli hasara dönüşümü olmuştur. *A. mossulensis*'in DTC verileri, bu türün 3. istasyona ait bireylerinde organın hafif hasarlı ve 2. ile 1. istasyona ait bireylerinde organın orta dereceli hasarlı olduğunu göstermiştir. *S. cephalus* için ise DTC verileri, 2015 yılında türün 3. istasyona ait bireylerinde organın normal olduğunu gösterirken 2016'da organın hafif hasarlı olduğunu ve iki yılda da türün 2. ve 1. istasyonlara ait bireylerinin organının orta dereceli hasarlı olduğunu göstermiştir.

Çizelge 4.32. 2015-2016 yılları istasyonlara göre türlerin bağırsak DTC değerleri (Ort.±SH)

İst.	<i>C. capoeta</i>		<i>A. mossulensis</i>		<i>S. cephalus</i>	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016
1.	18,91±0,14 ^b	21,16±0,20 ^b	37,17±0,22 ^a	38,87±0,29 ^a	33,00±0,17 ^b	38,11±0,36 ^b
2.	26,05±0,12 ^a	29,08±0,24 ^a	24,02±0,26 ^b	29,96±0,13 ^b	41,34±0,19 ^a	45,63±0,30 ^a
3.	7,02±0,10 ^c	8,39±0,31 ^c	18,11±0,25 ^c	12,06±0,32 ^c	9,10±0,37 ^c	15,12±0,27 ^c
4.	4,81±0,13 ^d	5,00±0,35 ^d	6,82±0,34 ^d	8,02±0,19 ^d	6,94±0,31 ^d	9,93±0,11 ^d

Aynı sütundaki farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar a-d istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05 Duncan testi).

4.12.5. Gonad histolojisi

4.12.5.a. Ovaryum histolojisi

Nehirden yakalanan balıkların ovaryumlarına ait preparatlar incelendiğinde; epitel ile çevrili bir stroma içerisinde çok sayıda, farklı gelişim aşamasında (kromatin nükleolar, perinükleolar, kortikal alveolar, vitellojenik ve olgunlaşma) oositleri içeren foliküller gözlenmiştir.

Kromatin nükleolar (primer büyüme-previtellojenik) evrede küçük çaplı foliküller, bir nükleusa ve büyük bir nükleolusa sahip olan primer oositler gözlenmiştir. Her bir oositin etrafında ise yassı folikül hücreleri görülmüştür (Şekil 4.60).

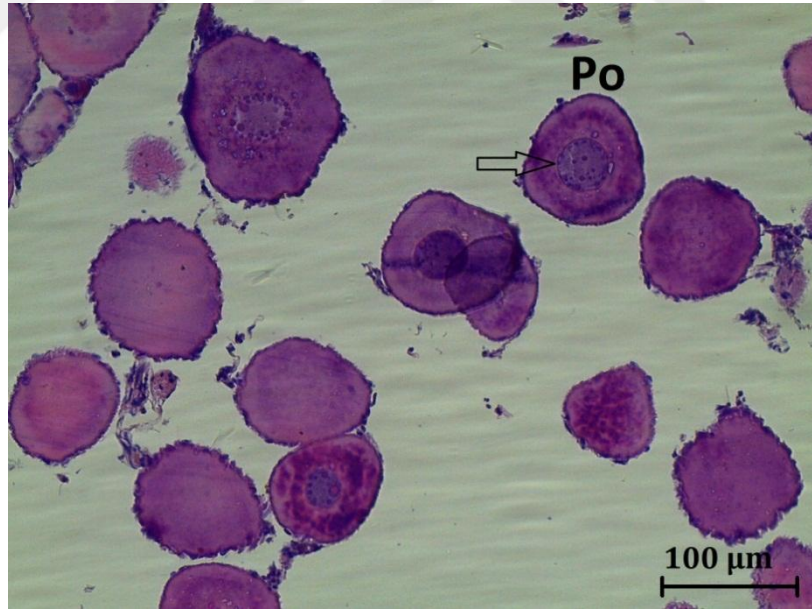
İncelenen preparatlarda koyu renkli boyanmış çok sayıda nükleolusun küçük parçalar şeklinde nükleusu çevrelediği perinükleolar (primer-sitoplazmik büyüme) evrede, nükleus sitoplazmaya göre daha açık boyanmış halde gözlenmiştir. Yassı folikül hücreleri oositin çevresinde tek katlı bir tabaka oluşturacak şekilde tamamen oositleri çevrelemiştir (Şekil 4.61).

Ooplazmada vitellüs veziküllerinin görüldüğü evre olan kortikal alveolar (vitellojenik büyüme) evrede veziküller hematoksilen-eosin ile içi boş küreler halinde boyanmıştır. Veziküller öncelikle oosit zarının hemen altında (periferde) daha sonra sayısı ve büyüklüğü artmış halde oositin her yerinde gözlemlenmiştir (Şekil 4.62). Ayrıca ince bir koryon (zona radiata, vitellin membran, zona pellucida), nükleus zarında kısmi bir bozulma gözlenmiştir.

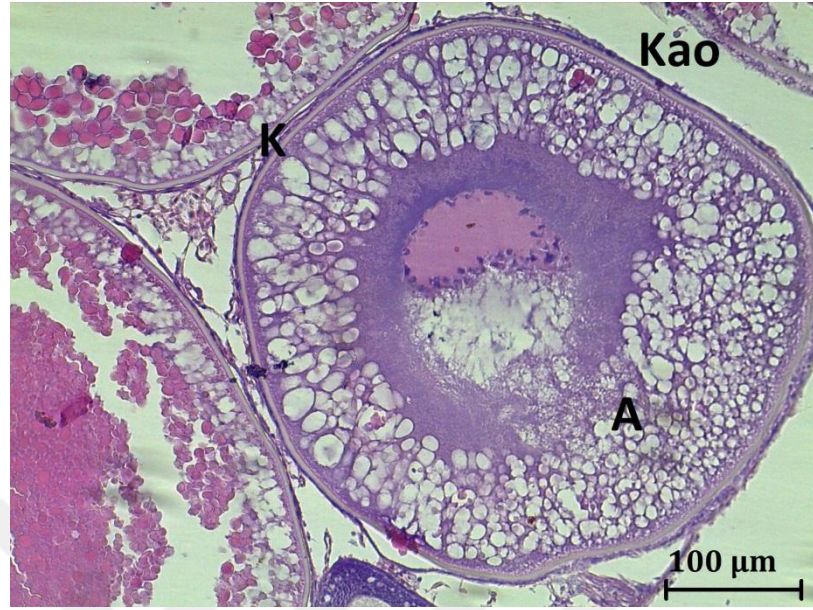
İlk olarak nükleusun etrafındaki vitellüs granüllerinin içinde vitellüs proteinlerinin belirgin halde görülmesiyle vitellojenik evre tanınmıştır. Granüller açık kırmızı renkte boyanmıştır. Membran dışında folikül epiteli hücreleri düzgün sıralı çekirdekleriyle görülmüştür (Şekil 4.63). Olgunlaşma evresine ait oositlerin olduğu preparatlarda nükleus animal kutba yakın, nükleus zarı tamamen çözülmüş ve nükleoluslar sitoplazmaya dağılmış halde görülmüştür. Vitellin membran, animal kutuptan oosit merkezine doğru invaginasyonla animal çöküntü oluşturmuştur (Şekil 4.64).



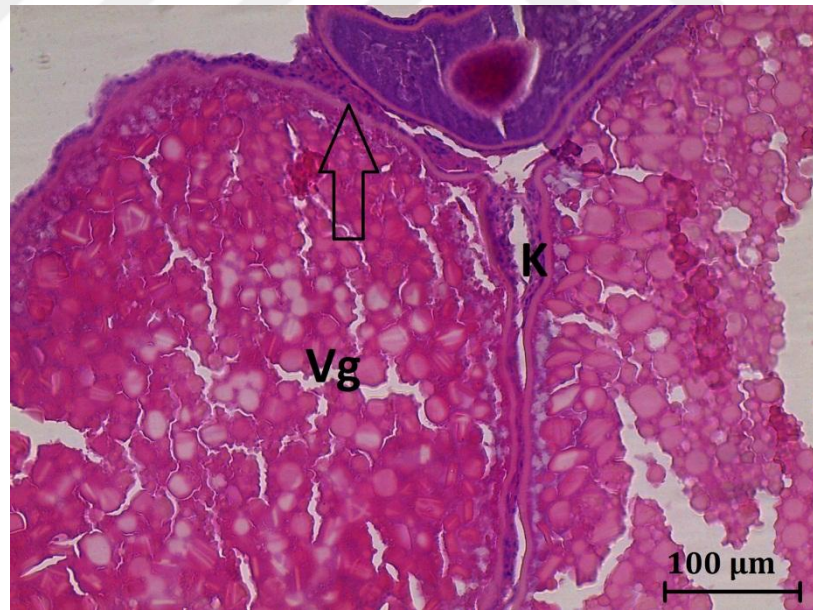
Şekil 4.60. Kromatin nükleolar oosit (*C. capoeta*)
N: nükleus, S: sitoplazma, H&E



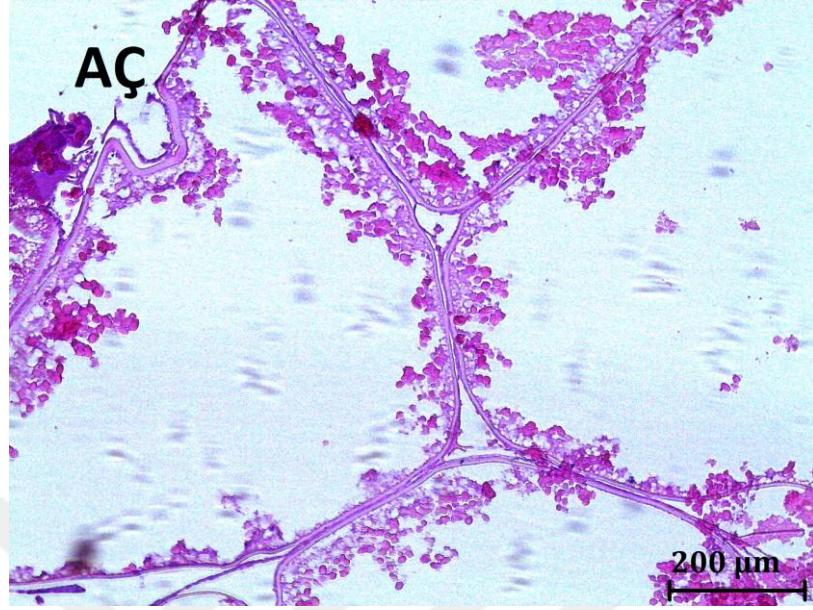
Şekil 4.61. Perinükleolar oosit (*C. capoeta*), H&E



Şekil 4.62. Kortikal alveolar oosit (*A. mossulensis*)
Kao: kortikal alveolar oosit, **K:** koryon, **A:** alveol, H&E



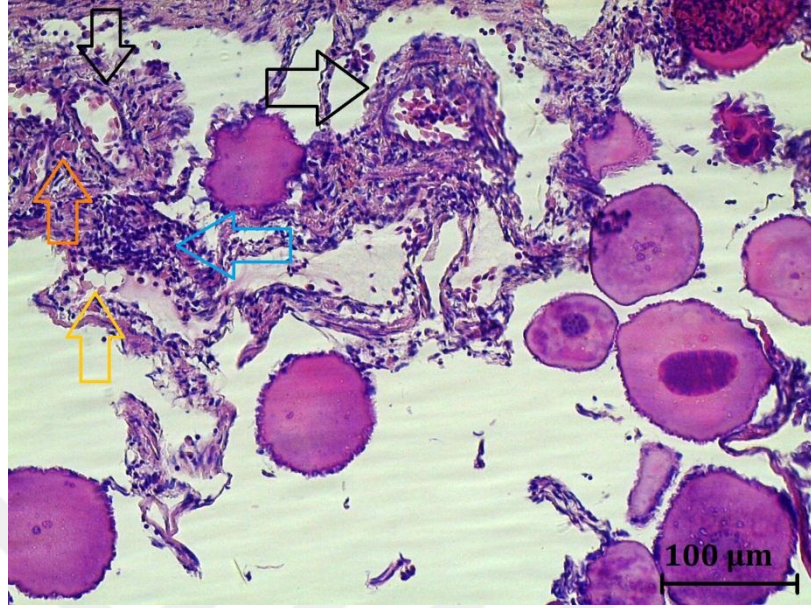
Şekil 4.63. Vitellojenik oosit (*C. capoeta*)
Ok: folikül epiteli, **K:** koryon, **Vg:** vitellüs granülü, H&E



Şekil 4.64. Olgun oosit (*A. mossulensis*)
AÇ: animal çöküntü, H&E

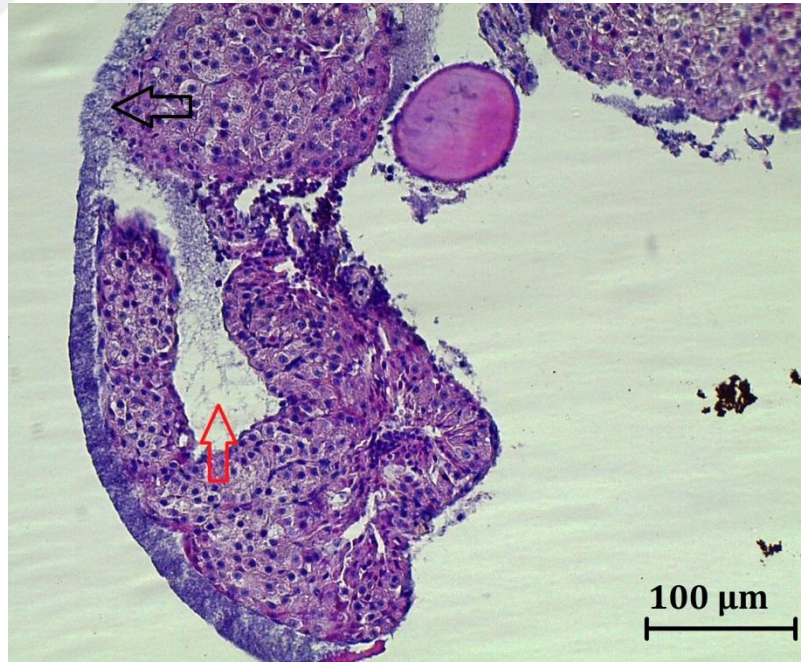
Ovaryumlar histopatolojik olarak değerlendirildiğinde üç türde de alındıkları istasyonlara göre değişen oranlarda patolojik hasarlar gözlenmiştir.

İncelenen balıklarda kromatin nükleolar evreye ait oositlerin bulunduğu kesitte kan damarlarında konjesyon, melanomakrofaj kümelenmeleri, infiltrasyon ve ödem gözlenmiştir (Şekil 4.65). Kapsülde dejenerasyon ve yaygın olmamakla birlikte stromada nekroz (Şekil 4.66), yine dokularda mononüklear hücre infiltrasyonunun yanı sıra ciddi fibroz oluşumuna rastlanmıştır (Şekil 4.67). Ayrıca kortikal alveolar oositin koryonunda dejenerasyon ve folikül epitelinde genişleme izlenmiştir (Şekil 4.68). Kortikal alveolar evreye ait oositlerin olduğu kesitte interstisyel alanda hemoraji ile ödem ve mononüklear hücre infiltrasyonu patolojilerine rastlanmıştır (Şekil 4.69), atrezya da gözlenmiştir (Şekil 4.70). Yine dikkat çeken patolojiler olarak oositlerde dejenerasyon, oositlerde şekil bozuklukları (Şekil 4.71), şekli değişmiş kortikal alveolar oositin folikül epitelinde ayrılma, koryonunda ve ooplazmasında dejenerasyon (Şekil 4.72) ve kahverengi boyanmış geniş melanomakrofaj kümeleri (Şekil 4.73) tespit edilmiştir. Histopatolojik hasarın çeşidi balıklar ve yıllar arasında herhangi bir farklılık sergilememiştir.



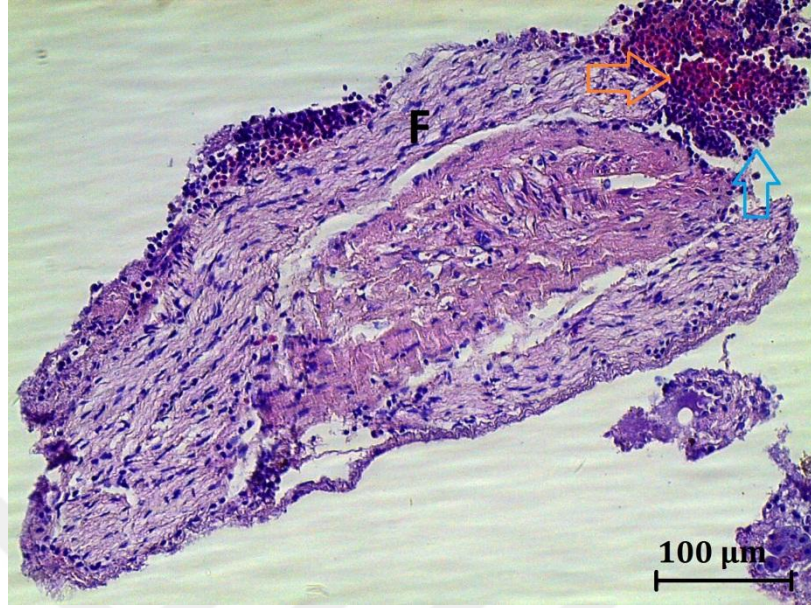
Şekil 4.65. *C. capoeta* 'da ovaryum patolojileri

Oklar; **siyah**: konjesyon, **turuncu**: melanomakrofaj, **mavi**: infiltrasyon, **sarı**: ödem, H&E



Şekil 4.66. *C. capoeta* 'da ovaryum patolojileri

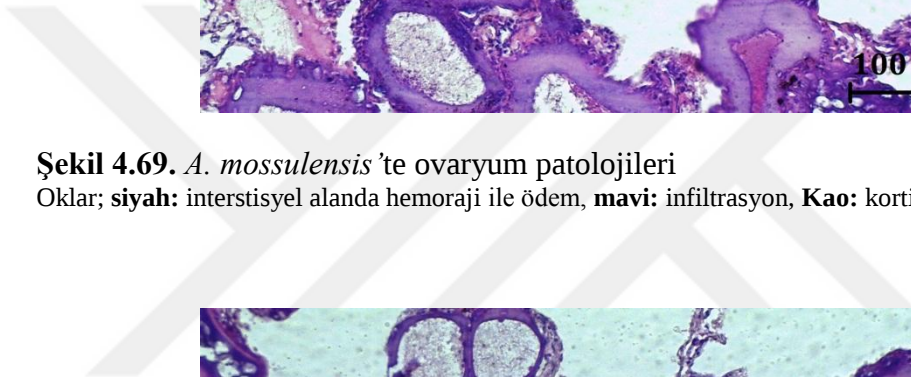
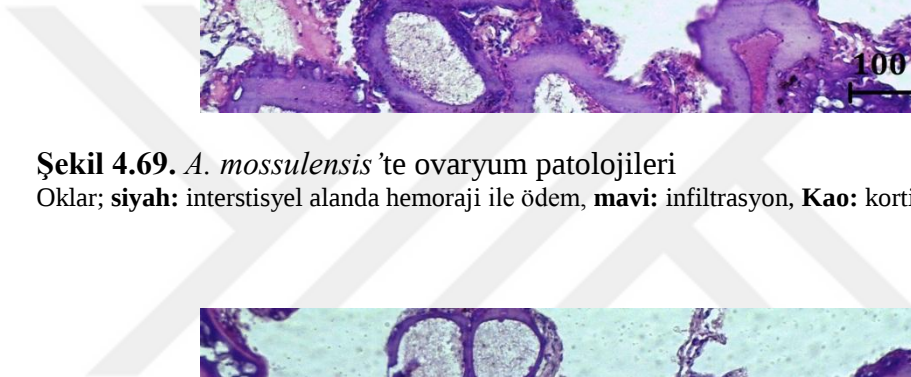
Oklar; **siyah**: kapsülde dejenerasyon, **kırmızı**: stromada nekroz, H&E



Şekil 4.67. *C. capoeta* 'da ovaryum patolojileri
Oklar; **turuncu ve mavi:** infiltrasyon, **F:** fibroz, H&E



Şekil 4.68. *A. mossulensis* 'te ovaryum patolojileri
Ok: Kortikal alveolar oositin koryonunda dejenerasyon ve folikül epitelinde genişleme, H&E





Şekil 4.71. *S. cephalus* 'ta ovaryum patolojileri

Oklar; **siyah**: oositte dejenerasyon, **kırmızı**: oositte şekil bozukluğu, H&E



Şekil 4.72. *S. cephalus* 'ta ovaryum patolojileri

Oklar; **yeşil**: şekli değişmiş kortikal alveolar oositin folikül epitelinde ayrılma, **siyah**: koryonda dejenerasyon ve **daire içi**: ooplazmada dejenerasyon, H&E



Şekil 4.73. *S. cephalus* 'ta ovaryum patolojileri
Ok; melanomakrofaj kümeleri, H&E

Çizelge 4.33'te istasyonlara göre balık türlerinin ovaryum dokularında tespit edilen histolojik hasarlar DTC frekansları ile verilmiştir. Buna göre üç türde de 4. istasyonda patoloji frekansının daha düşük olduğu ve frekansın incelenen özellikle 1. ve 2. istasyonlarda artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.33. İstasyonlara göre türlerin ovaryumunda tespit edilen histolojik hasarlar ve DTC frekansları

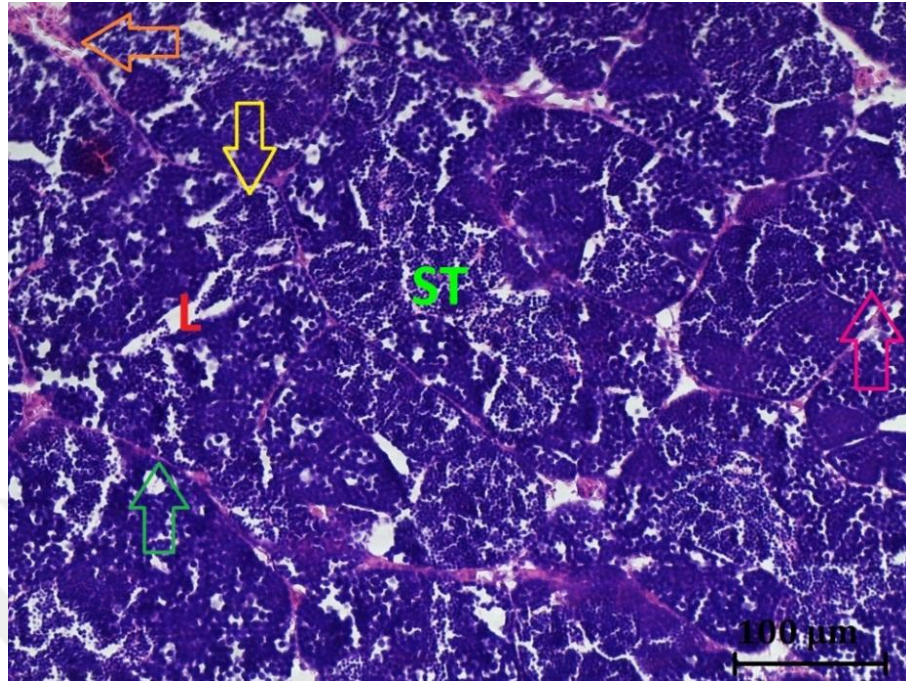
İstasyon Balık türü	DTC evresi	1. İST.			2. İST.			3. İST.			4. İST.		
		C	A	S	C	A	S	C	A	S	C	A	S
Ovaryum Lezyonları													
Atrezya	I	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
Folikül epitelinde ayrılma	I	2	3	3	2	2	3	1	2	1	0	1	1
İnfiltrasyon	I	1	2	2	2	2	2	1	0	1	0	0	0
İnterstisyel alanda hemoraji	I	1	2	2	1	2	2	0	0	1	0	0	0
Konjesyon	I	2	2	2	2	1	2	0	0	0	0	0	0
Melanomakrofaj kümeleri	I	1	3	3	2	1	3	1	1	1	1	1	1
Oositlerde şekil bozuklukları	I	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Ödem	I	1	1	1	1	1	2	0	0	1	0	0	0
Folikül epitelinde genişleme	II	0	1	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0
Kapsülde dejenerasyon	II	0	1	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0
Koryonda dejenerasyon	II	1	2	2	1	2	3	0	1	1	0	0	0
Ooplazmada dejenerasyon	II	1	1	1	0	1	2	0	1	0	0	0	0
Oositlerde dejenerasyon	II	1	1	1	1	1	2	0	0	1	0	0	0
Fibroz	III	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Nekroz	III	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0

0: anormallik yok, 1: anormallik frekansı düşük, 2: anormallik frekansı orta, 3: anormallik frekansı yüksek. Evreler Bernet *et al.* (1999)'dan yararlanılarak uyarlanmıştır.

C; *C. capoeta*, A; *A. mossulensis*, S; *S. cephalus*

4.12.5.b. Testis histolojisi

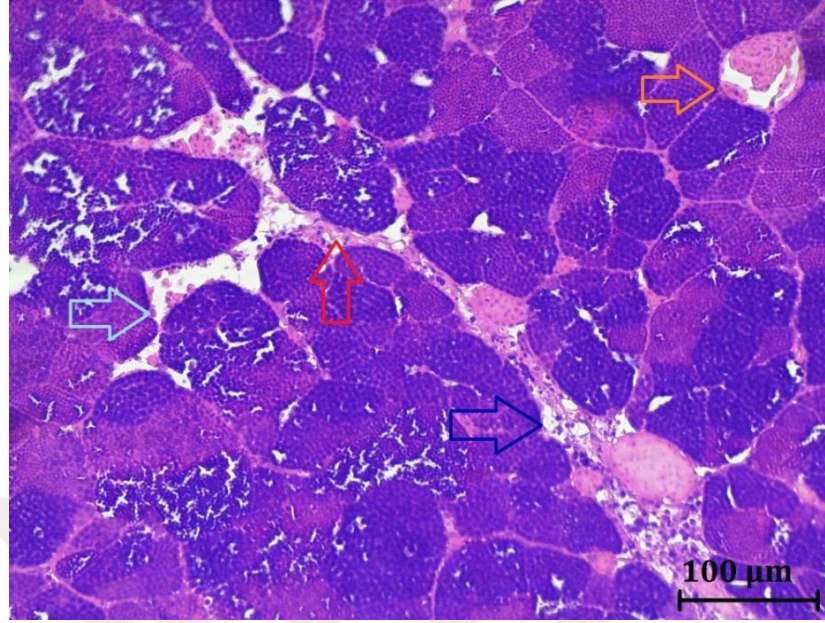
Testis dokusu incelendiğinde içlerinde farklı gelişim evrelerindeki germ hücrelerini bulunduran, kıvrık, oval ya da yuvarlak şekilli ve farklı büyüklüklerde çok sayıda seminifer tübül ve tübüller arası interstisyel alandan oluşmuş bir yapı gözlenmiştir. Seminifer tübüller olgunlaşan spermatositlerin boşaltıldığı efferent sperm kanallarıyla kuşatılmıştır. Her bir seminifer tübülün etrafında iri ve yuvarlak şekilli Sertoli hücreleri ve interstisyel alanda belirgin kan damarları görülmüştür (Şekil 4.74). Olgunlaşmamış testiste seminifer tübüllerinin içinde oldukça büyük çekirdekli ve koyu boyanan primer spermatositler tübüllerin çeperinde birkaç sıra oluşturmuştur. Testis gelişimine paralel olarak, tübüllerin lümenleri belirgin olarak görülebilmektedir. Olgun testiste koyu boyanan sekonder spermatositler tübül lümenine yakın bir bölgede kümeler halinde görülmüştür. Daha koyu boyanan en küçük hücreler olan spermatidler lümende yer almıştır. Birçok kesitte spermilerin tübüllerin içini tamamen doldurduğu gözlenmiştir (Şekil 4.74).



Şekil 4.74. *C. capoeta* türünde testis histolojisi

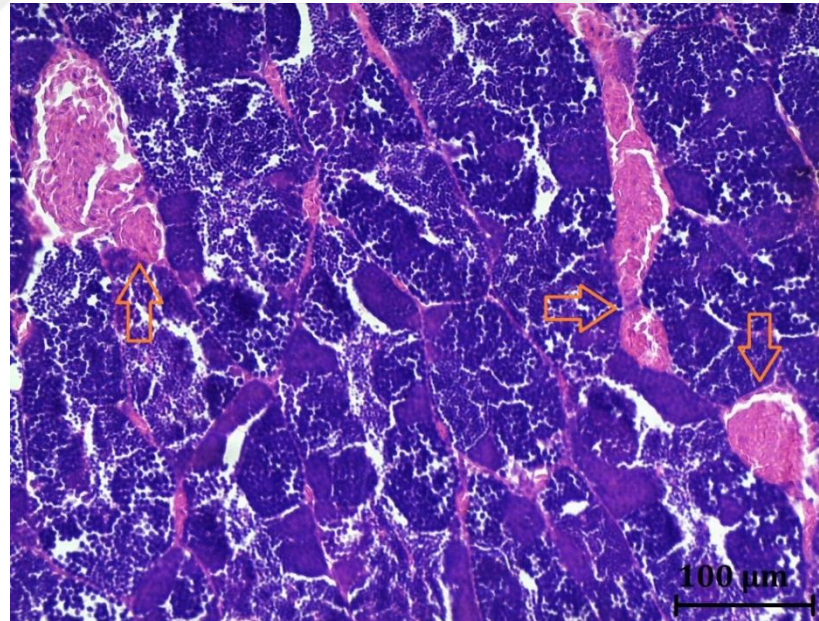
L: Lümen, **ST:** Seminifer tübül, **Oklar;** **turuncu:** kan damarı, **sarı:** spermatit, **fuşya:** sekonder spermatosit, H&E

İstasyonlardan alınan balıkların testislerinde frekansı istasyona göre değişen histolojik hasarlar tespit edilmiştir. Tespit edilen hasarların çeşidi yıllar arasında bir farklılık göstermemiştir. İncelenen balıkların testisinde özellikle vasküler hipertrofi (Şekil 4.76) ile ciddi konjesyon (Şekil 4.75, 76, 79) göze çarpmıştır. Seminifer tübüllerde şekil bozuklukları ve tübüllerin içinde kanlanmalar gözlenmiştir (Şekil 4.80). Seminifer tübül epitelinde (Şekil 4.78 ve 80) ve seminifer tübülde (Şekil 4.77) büyük ölçüde dejenerasyon dikkat çekmiştir. Birçok kesitte tübülleri çevreleyen epitelin sınırları seçilememiş (Şekil 4.79) ve testislerin doku bütünlüğünde bozulma (Şekil 4.78) görülmüştür. İlaveten primer spermatositlerde hipertrofi ve dejenerasyon (Şekil 4.79), efferent kanalda dejenerasyon (Şekil 4.77), interstisyel alanda ise geniş boşluklar halinde ayrılmalara (Şekil 4.75, 77), ödem (Şekil 4.75, 77), hemoraji (Şekil 4.77 ve 80), fibröz oluşumlar (Şekil 4.75, 77 ve 78) ve bu oluşumlarda belirgin bir genişleme göze çarpmıştır (Şekil 4.80).



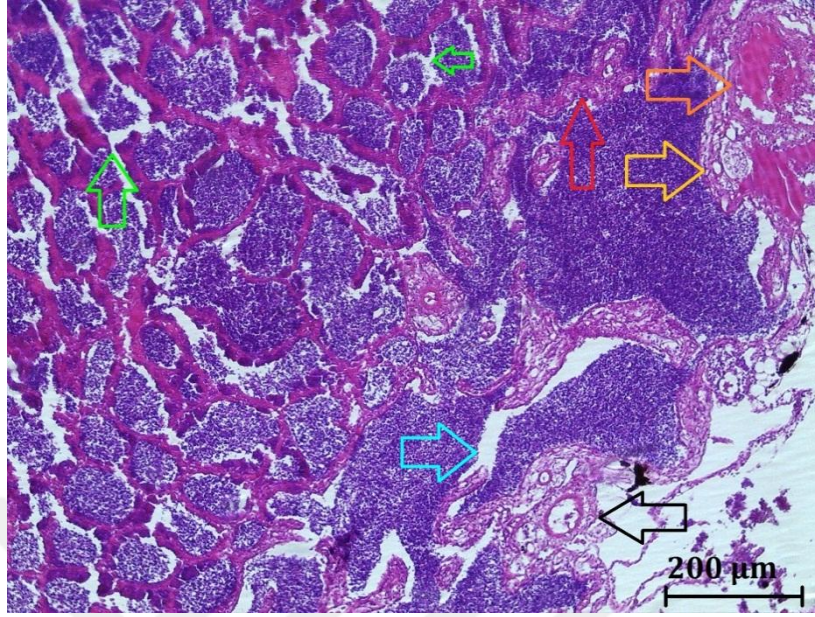
Şekil 4.75. *C. capoeta* türünde testis patolojileri

Oklar; turuncu: konjesyon, kırmızı: fibröz, mavi: interstisyel alanda ayrılma, lacivert: ödem, H&E



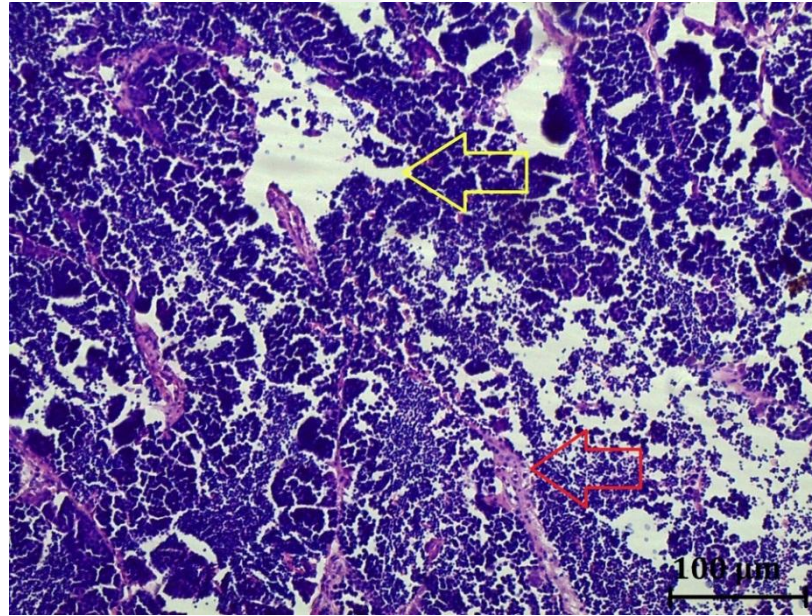
Şekil 4.76. *C. capoeta* türünde testis patolojileri

Oklar; **turuncu:** vasküler hipertrofi ve konjesyon, H&E



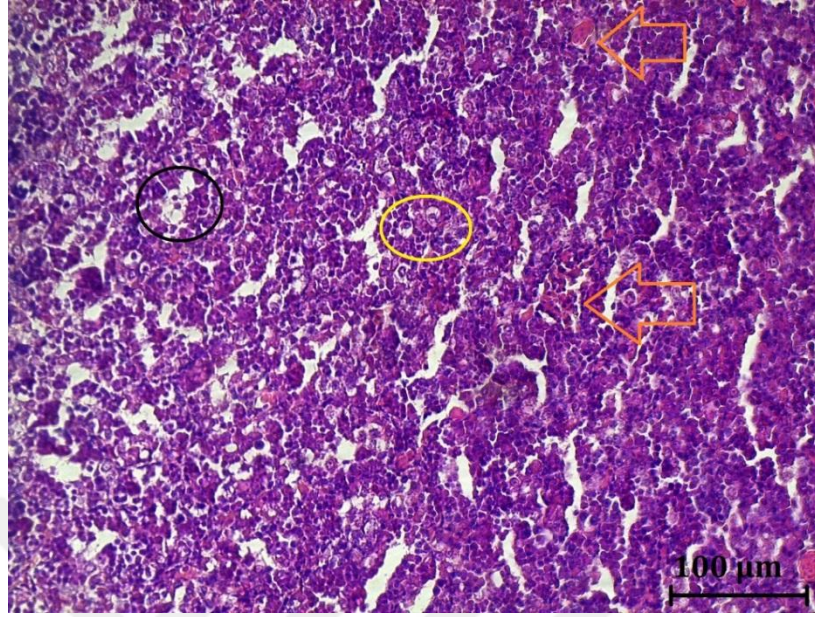
Şekil 4.77. *A. mossulensis* türünde testis patolojileri

Oklar; **turuncu:** hemoraji, **yeşil:** seminifer tübülde dejenerasyon, **kırmızı:** fibröz, **sarı:** ödem, **turkuaz:** interstisyel alanda ayrılma, **siyah:** efferent kanalda dejenerasyon, H&E

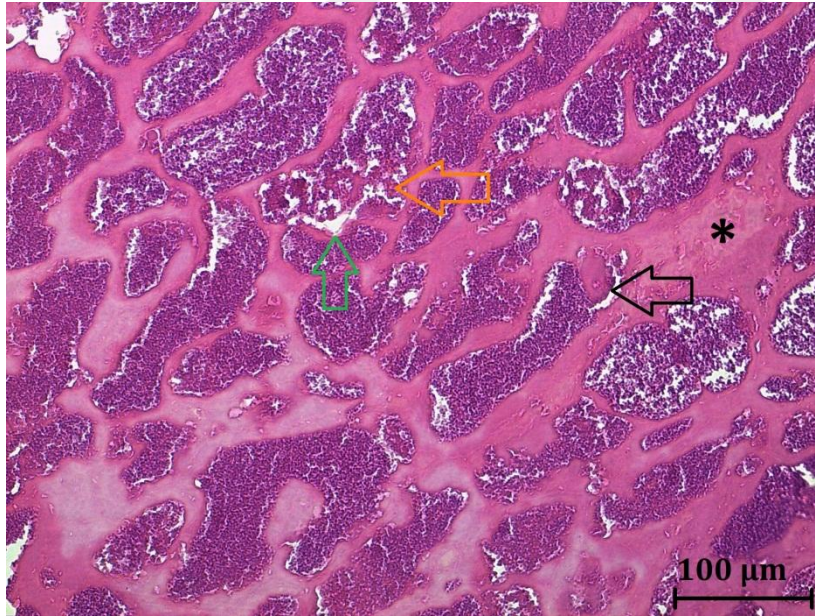


Şekil 4.78. *A. mossulensis* türünde testis patolojileri

Oklar; **sarı:** seminifer tübül epitelinde dejenerasyon, **kırmızı:** fibröz. Ayrıca seminifer tübül sınırları seçilememektedir. H&E



Şekil 4.79. *S. cephalus* türünde testis patolojileri (olgunlaşmamış testis)
siyah daire: primer spermatositte dejenerasyon, **sarı daire:** primer spermatositte hipertrofi, **turuncu ok:** kanlanma. Seminifer tübül sınırları seçilememektedir. H&E



Şekil 4.80. *S. cephalus* türünde testis patolojileri
 Oklar; **turuncu:** seminifer tübül içinde kanlanma, **yeşil:** seminifer tübül epitelinde dejenerasyon, **siyah:** hemoraji, **yıldız:** ileri seviyede fibröz. Ayrıca seminifer tübüllerde şekil bozukluğu, H&E

Çizelge 4.34'te istasyonlara göre balık türlerinin testislerinde tespit edilen histolojik hasarlar DTC frekansları ile verilmiştir. Buna göre balıklar arasında histopatolojik hasar çeşidi bakımından herhangi bir farklılık gözlenmemiştir. Üç türde de benzer şekilde 4. istasyondan diğerlerine doğru gidildikçe hasarların frekansında belirgin bir artış saptanmıştır.

Çizelge 4.34. İstasyonlara göre türlerin testislerinde tespit edilen histolojik hasarlar ve DTC frekansları

İstasyon Balık türü	DTC evresi	1. İST.			2. İST.			3. İST.			4. İST.		
		C	A	S	C	A	S	C	A	S	C	A	S
Testis Lezyonları													
Hemoraji	I	1	2	2	2	1	3	0	1	1	0	0	0
İnterstisyel alanda ayrılma	I	1	1	1	2	1	2	0	0	1	0	0	0
Konjesyon	I	2	2	2	2	2	3	1	1	1	1	1	1
Ödem	I	1	2	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0
Primer spermatositte hipertrofi	I	1	1	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0
Seminifer tübülde şekil bozukluğu	I	1	1	1	1	2	2	0	0	1	0	0	0
Tübül epitelyum sınır kaybı	I	2	2	3	2	2	3	1	1	1	0	0	0
Vasküler hipertrofi	I	1	1	2	1	2	2	1	1	1	0	0	0
Efferent kanalda dejenerasyon	II	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Germ hücrelerinde dejenerasyon	II	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Seminifer tübülde dejenerasyon	II	2	3	3	3	2	3	1	1	1	1	1	1
Fibroz	III	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0

0: anormallik yok, 1: anormallik frekansı düşük, 2: anormallik frekansı orta, 3: anormallik frekansı yüksek. Evreler Bernet *et al.* (1999)'dan yararlanılarak uyarlanmıştır.

C; *C. capoeta*, A; *A. mossulensis*, S; *S. cephalus*

Çizelge 4.35'te balıkların gonadlarına ait 2015-2016 yılları ortalama DTC değerleri verilmiştir. Buna göre 2015 yılında genel olarak DTC değerleri daha düşük bulunmuştur. Türler için hesaplanan DTC verileri karşılaştırıldığında en yüksek değerlere *S. cephalus* bireylerinin sahip olduğu belirlenmiştir. *C. capoeta* ve *S. cephalus* için en yüksek DTC değeri 2. istasyonda elde edilirken *A. mossulensis* için 1. istasyonda elde edilmiştir. İncelenen türlerde iki yılda da DTC değerlerinin istasyonlar arasındaki farkı istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

Çizelge 4.35. 2015-2016 yılları istasyonlara göre türlerin gonad DTC değerleri (Ort.±SH)

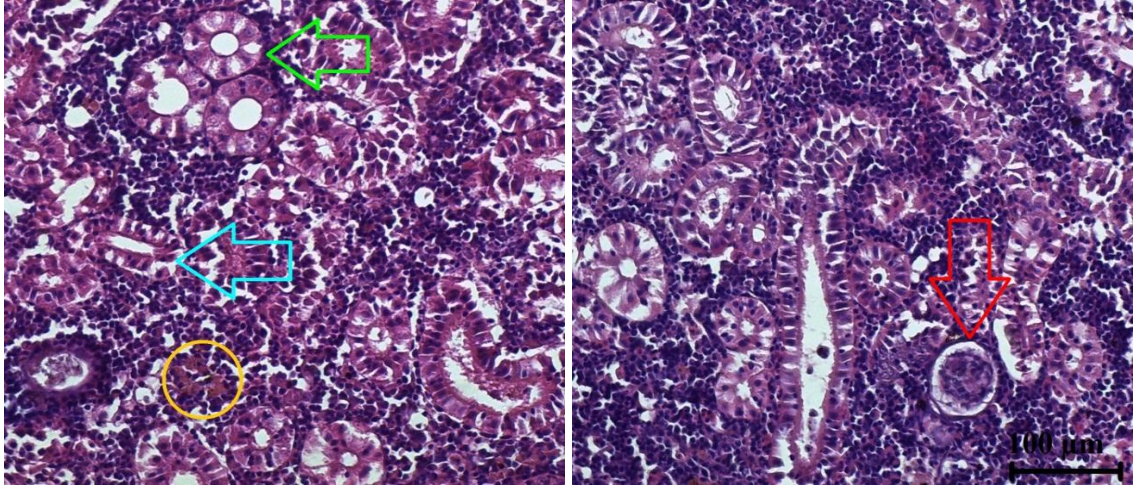
İst.	<i>C. capoeta</i>		<i>A. mossulensis</i>		<i>S. cephalus</i>	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016
1.	15,03±0,24 ^b	18,54±0,19 ^b	34,23±0,35 ^a	40,10±0,24 ^a	36,87±0,30 ^b	39,50±0,36 ^b
2.	23,87±0,36 ^a	28,60±0,34 ^a	25,17±0,31 ^b	23,16±0,27 ^b	44,29±0,28 ^a	47,63±0,25 ^a
3.	5,19±0,12 ^c	8,61±0,32 ^c	12,83±0,16 ^c	16,02±0,25 ^c	15,28±0,13 ^c	18,20±0,14 ^c
4.	3,16±0,15 ^d	5,85±0,22 ^d	4,78±0,20 ^d	8,03±0,31 ^d	6,80±0,29 ^d	8,07±0,35 ^d

Aynı sütundaki farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar a-d istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05 Duncan testi).

Elde edilen DTC değerleri üç türde de aynı şekilde 4. istasyonda gonadların normal çalıştığını diğer istasyonlarda ise gonadların hafif ve orta dereceli hasarlı olduğunu göstermiştir. Buna göre *C. capoeta* için elde edilen DTC değerleri; 1. istasyonda gonadlarda hafif hasarı, 2. istasyonda orta dereceli hasarı göstermiş, 3. istasyonda ise gonadlarda yapının normal olduğunu işaret etmiştir. *A. mossulensis* için elde edilen DTC değerleri; 1. ve 3. istasyonlarda organda orta dereceli hasarı, 2. istasyonda hafif hasarı göstermiştir. *S. cephalus* için elde edilen DTC değerleri ise 1. ve 2. istasyonlarda orta dereceli hasarı, 3. istasyonda ise hafif hasarı göstermiştir.

4.12.6. Böbrek histolojisi

Çalışma süresince istasyonlardan yakalanan balık türlerinin böbreklerinden hazırlanan preparatlardan 4. istasyona ait olanlarda yapılan histolojik incelemelerde nefronu oluşturan renal korpüskül ile tübüller net bir şekilde gözlenmiştir. Renal korpüskülü oluşturan glomerulus ve onu saran çift çeperli Bowman kapsülünün normal ayrıca proksimal ve distal tübüllerin lümenlerinin düzgün bir yapıda olduğu çekilen fotoğraflarda gözlenmiştir. Proksimal tübülde kübik epitel hücreleri yuvarlak-oval şekilli büyük çekirdekleri ile görülmüş, distal tübül epitel hücreleri eozin ile proksimal tübüle göre daha koyu boyanmış halde gözlenmiştir. Balıkların renal hematopoietik dokusunda ayrıca melanomakrofaj merkezleri de görülmüştür (Şekil 4.81).

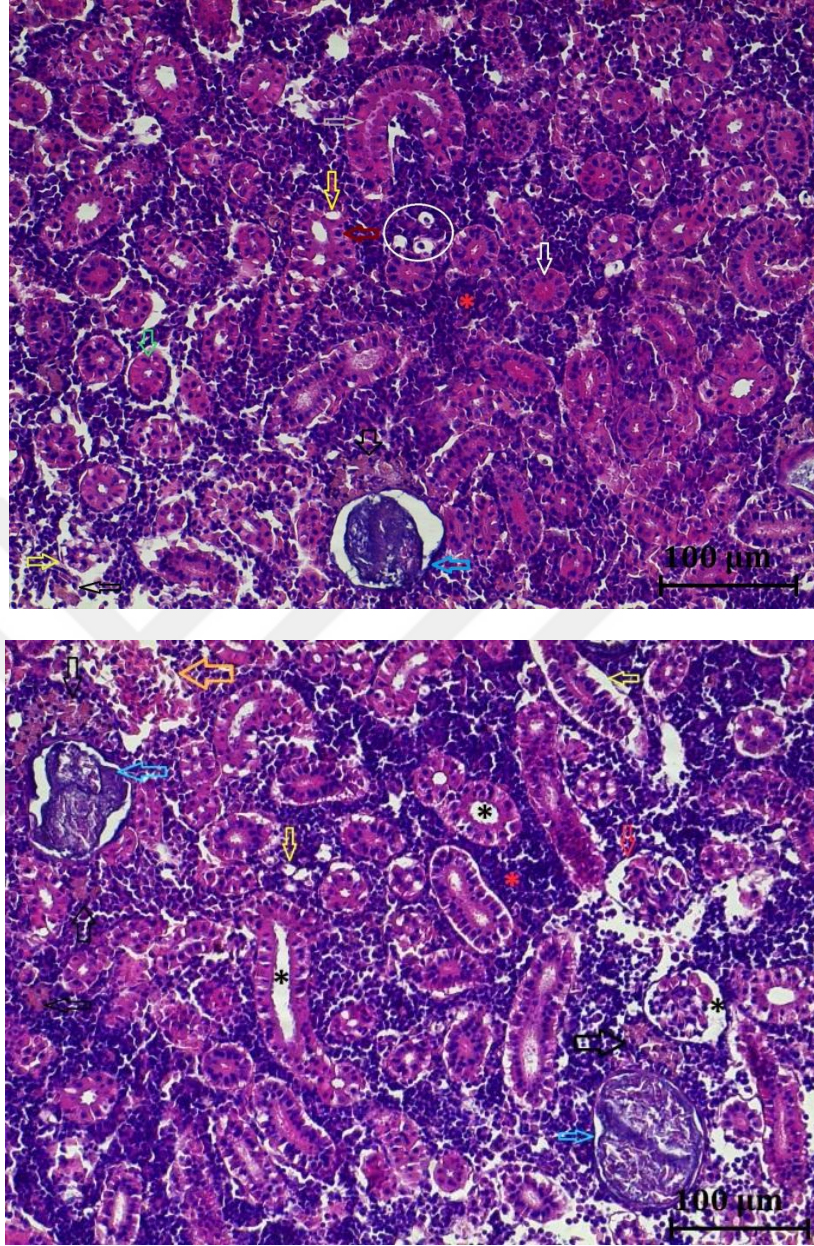


Şekil 4.81. Böbrek histolojisi (*A. mossulensis*)

Oklar; **yeşil:** proksimal tübül, **turkuaz:** distal tübül, **kırmızı:** Bowman kapsülü, **daire içi:** melanomakrofaj, H&E

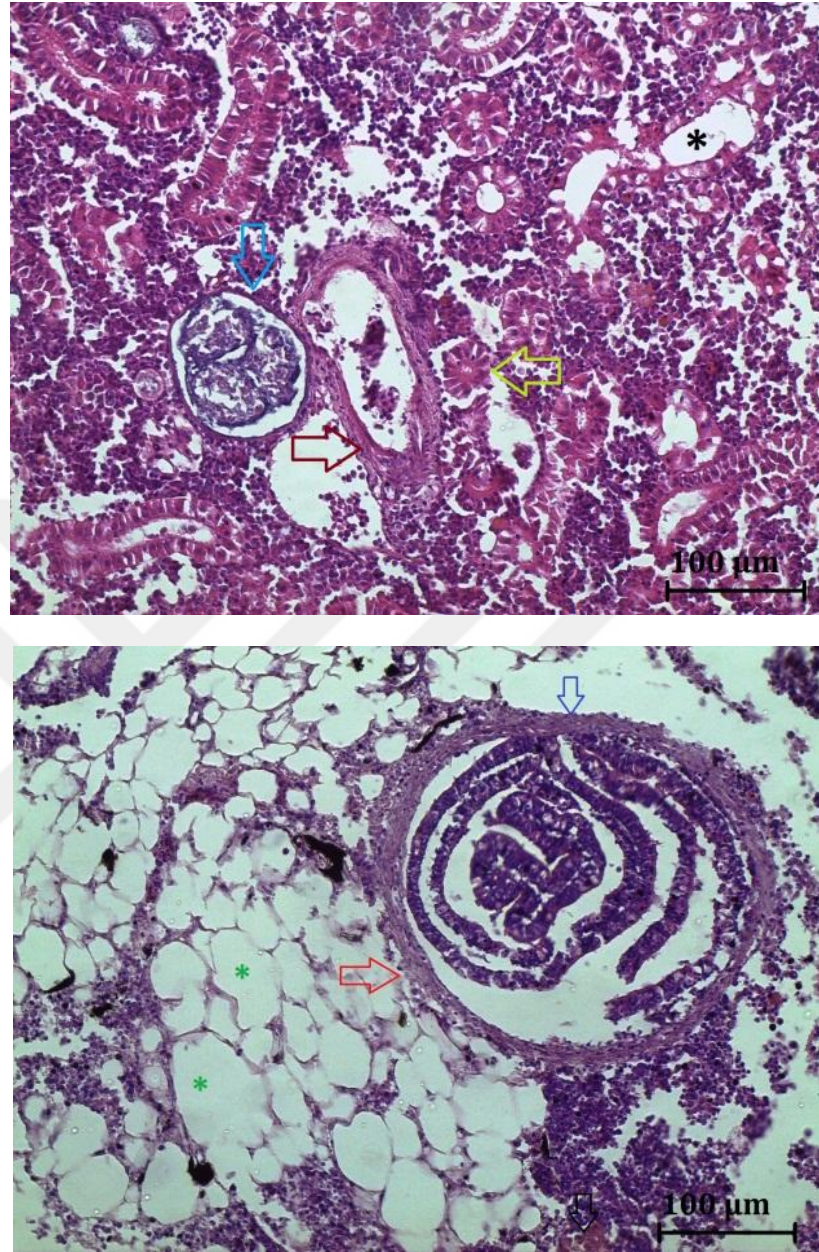
Tüm istasyonlardan elde edilen balıklarda yapılan incelemelerde istasyonlara göre değişen oranlarda olmak üzere birtakım böbrek histopatolojileri de tespit edilmiştir.

Yakalanan balıkların böbreklerinde proksimal ve distal tübüllerde tıkanma (Şekil 4.82), tübül lümen çapında azalma (Şekil 4.82), tübüler lümende dilatasyon (Şekil 4.82 ve 83), tübüllerde önemli ölçüde dejenerasyon ile parenkimden ayrılma (Şekil 4.82, 83 ve 84), toplayıcı kanalda hipertrofi ve dejenerasyon (Şekil 4.84) dikkat çekmiştir. Renal parankimada melanomakrofaj artışı (Şekil 4.82, 83 ve 84) ve ciddi derecede infiltrasyon (Şekil 4.82 ve 84) gözlenmiştir. İncelenen balıklarda tübül epitelyum hücrelerinde hiperkromatinik nükleuslar (Şekil 4.82), parankimada belirgin hücresel hipertrofi (Şekil 4.82), hem tübül epitelyum hücrelerinde (Şekil 4.82) hem de parankimada önemli vakuolizasyon (Şekil 4.82 ve 83) görülmüştür. Bowman boşluğunda genişleme (Şekil 4.84), protein birikimi (Şekil 4.82 ve 83), glomerulusta genişleme (Şekil 4.84) şeklinde renal dejenerasyonlar ve glomerulopati (Şekil 4.83) göze çarpan patolojiler olarak gözlenmiştir. İncelenen balıklarda ayrıca ciddi ölçüde konjesyon (Şekil 4.82), eozinofilik sıvı içeren mikrokistik lezyon (Şekil 4.84), kist (Şekil 4.84), fibroz (Şekil 4.83) ve nekroz (Şekil 4.82 ve 83) dikkat çekmiştir.



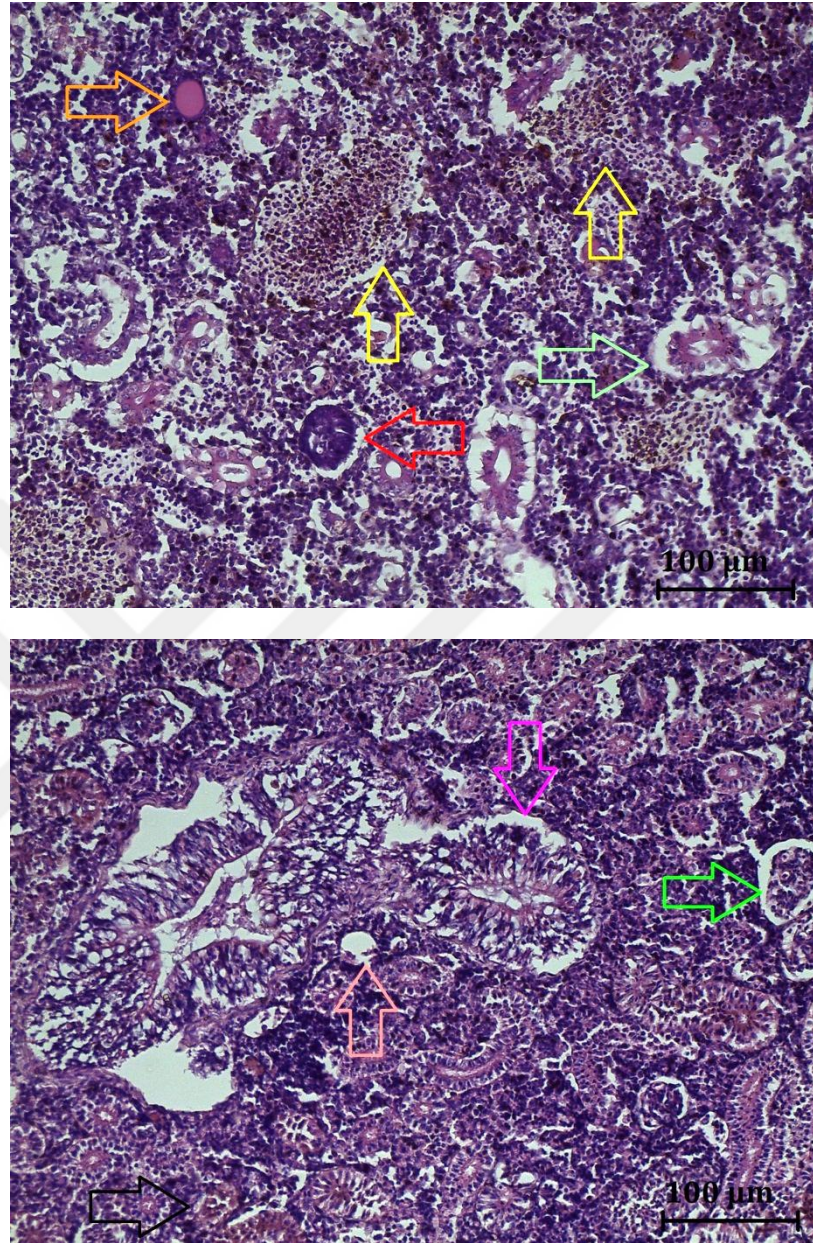
Şekil 4.82. *C. capoeta* türünde böbrek hasarları

Oklar; **gri**: distal tübülde tıkanma, **sarı**: vakuol, **kahverengi**: hiperkromatinik çekirdek, **beyaz**: tübüler lümende tıkanma, **koyu yeşil**: tübül lümen çapında azalma, **siyah**: melanomakrofaj, **mavi**: protein birikimi, **açık yeşil**: tübüler dejenerasyon ve parankimden ayrılma, **daire içi**: hücrel hipertrofi, **turuncu**: konjesyon, **kırmızı**: Bowman boşluğunda genişleme ve çevresinde nekrotik alan, **siyah yıldız**: lümende dilatasyon, **kırmızı yıldız**: infiltrasyon, H&E



Şekil 4.83. *A. mossulensis* türünde böbrek hasarları

Oklar; **mavi**: protein birikimi, **açık yeşil**: tübüler dejenerasyon, **bordo**: fibroz ve çevresinde nekroz, **siyah yıldız**: tübüler lümende dilatasyon, **lacivert**: glomerulopati, **siyah**: melanomakrofaj, **yeşil yıldız**: yağlanma, H&E



Şekil 4.84. *S. cephalus* türünde böbrek hasarları

Oklar; **turuncu**: tübülde eozinofilik sıvı mikrokistik lezyon, **koyu sarı**: infiltrasyon, **açık yeşil**: tübülde dejenerasyon, **kırmızı**: glomerulusta genişleme, **fuşya**: toplayıcı kanalda hipertrofi ve dejenerasyon, **koyu yeşil**: Bowman boşluğunda genişleme, **pembe**: kist, **siyah**: melanomakrofaj, H&E

Böbrek patolojik hasarlarının çeşidi bakımından hem 2015 ve 2016 yılları arasında hem de incelenen üç türün bireyleri arasında genel olarak herhangi bir fark gözlenmemiştir. Çizelge 4.36'da istasyonlara göre balık türlerinin böbreklerinde tespit edilen histolojik hasarlar DTC frekansları ile verilmiştir. Buna göre tespit edilen tüm histopatolojik anormalliklerin frekansı özellikle 1. ve 2. istasyonda artış göstermiştir.

Çizelge 4.36. İstasyonlara göre türlerinin böbreklerinde tespit edilen histolojik hasarlar ve DTC frekansları

İstasyon		1. İST.			2. İST.			3. İST.			4. İST.		
Balık türü		C	A	S	C	A	S	C	A	S	C	A	S
Böbrek Lezyonları	DTC evresi												
Glomerulusta genişleme	I	1	1	2	1	2	2	0	0	0	0	0	0
Hiperkromatinik çekirdek	I	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Hücrel hipertrofi	I	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
İnfiltrasyon	I	1	3	3	2	2	3	0	0	0	0	0	0
Melanomakrofaj artışı	I	2	1	3	2	3	2	1	1	1	1	1	1
Tübüler lümende dilatasyon	I	1	3	3	3	2	3	1	1	1	1	1	1
Vakuolizasyon	I	2	3	2	2	2	3	1	1	1	1	1	1
Bowman boşluğunda genişleme	II	0	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Glomerulopati	II	0	1	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0
Kist	II	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Konjesyon	II	1	2	2	1	2	2	0	0	0	0	0	0
Protein birikimi	II	1	2	2	2	3	3	0	0	0	0	0	0
Toplayıcı kanalda hipertrofi ve dejenerasyon	II	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Tübüler dejenerasyon	II	1	2	2	1	2	3	1	1	1	1	1	1
Tübüler lümen çapında azalma	II	0	1	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Fibroz	III	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Nekroz	III	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0

0: anormallik yok, 1: anormallik frekansı düşük, 2: anormallik frekansı orta, 3: anormallik frekansı yüksek. Evreler Bernet *et al.* (1999)'dan yararlanılarak uyarlanmıştır.

C; *C. capoeta*, A; *A. mossulensis*, S; *S. cephalus*

Çizelge 4.37'de balıkların böbrek dokusuna ait 2015-2016 yılları ortalama DTC değerleri verilmiştir. Buna göre 2015 yılında DTC değerleri 2016'ya göre daha düşük bulunmuştur. Türlerin DTC verileri karşılaştırıldığında en yüksek değerlerin *S. cephalus* bireylerinde olduğu gözlenmiştir. *C. capoeta* ve *S. cephalus* için en yüksek DTC değeri 2. istasyonda elde edilirken *A. mossulensis* için 1. istasyonda elde edilmiştir. İncelenen türlerde iki yılda da istasyonlar arasındaki DTC değerlerindeki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

Çizelge 4.37. 2015-2016 yılları istasyonlara göre türlerin böbrek DTC değerleri (Ort.±SH)

İst.	<i>C. capoeta</i>		<i>A. mossulensis</i>		<i>S. cephalus</i>	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016
1.	43,84±0,19 ^b	46,75±0,24 ^b	56,20±0,27 ^a	66,95±0,21 ^a	57,69±0,19 ^b	64,85±0,12 ^b
2.	52,32±0,22 ^a	58,11±0,20 ^a	37,83±0,29 ^b	54,04±0,23 ^b	69,88±0,15 ^a	75,13±0,14 ^a
3.	16,10±0,17 ^c	15,01±0,25 ^c	13,25±0,18 ^c	28,86±0,20 ^c	14,30±0,14 ^c	17,00±0,15 ^c
4.	6,06±0,25 ^d	9,05±0,40 ^d	8,11±0,34 ^d	9,30±0,42 ^d	7,15±0,29 ^d	7,92±0,31 ^d

Aynı sütundaki farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar a-d istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05 Duncan testi).

DTC verileri doğrultusunda 4. istasyona ait balıkların böbreklerinin normal çalıştığı anlaşılmıştır. 3. istasyon balıklarından *C. capoeta* ve *S. cephalus* türlerinin böbreklerinde iki yılda da hafif hasar saptanmasına karşın *A. mossulensis* türünün böbreklerinde sadece 2015 yılında hafif hasar saptanmış, 2016 yılında ise orta dereceli hasar belirlenmiştir. 2. istasyon balıkları için veriler değerlendirildiğinde böbrekte kuvvetli hasar *A. mossulensis* bireylerinde yalnız 2016 yılında, *C. capoeta* ve *S. cephalus* bireylerinde ise iki yılda da tespit edilmiştir. DTC verilerine bakıldığında 1. istasyonda sadece *C. capoeta* türünün böbreklerinde orta dereceli bir hasarın olduğu diğer türlerde ise ciddi kuvvetli patolojik hasarın olduğu anlaşılmıştır.

Histopatolojik analiz sonuçları bir bütün olarak ele alındığında öncelikle dokularda tespit edilen anormalliklerin çeşidi bakımından türler arasında herhangi bir fark gözlenmemiştir. Anormallik frekansı ise istasyonlar arasında bariz bir biçimde farklılık göstermiş ve buna bağlı olarak istasyonlarda farklı DTC değerleri kaydedilmiştir. 2015 yılında daha düşük DTC değerleri gözlenirken 2016'da değerlerin biraz daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Histopatolojik lezyonlara göre istasyonlar değerlendirildiğinde 2 yıl boyunca yakalanan türlerin dokularında hasarın en düşük olduğu istasyonun 4. istasyon olduğu saptanmıştır. 3. istasyondan itibaren hasar frekansı ve DTC değerleri artmış ve istasyonlar arasındaki hasar oranındaki artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0,05). 4. istasyonla kıyaslanınca özellikle 1. ve 2. istasyonlardan yakalanan balıkların dokularındaki hasarın derecesi dikkat çekmiştir. Öyle ki bu istasyonlarda solungaç, karaciğer ve böbrekte kuvvetli hasarın, bağırsak ve karaciğerde ise orta dereceli hasar varlığı göze çarpmıştır.

Elde edilen tüm bulgular özetlendiğinde;

Çalışmada 2015-2016 yıllarında Karasu Nehri'nin 4 farklı istasyonundan aylık olarak yakalanan *C. capoeta*, *A. mossulensis*, *S. cephalus* türlerinin yaş, boy-ağırlık, metrik ve meristik karakterlerine ait özelliklerinin ve organ anatomilerinin normal olduğu tespit edilmiştir.

Balıkların GSI değerlerine göre üreme zamanı Mayıs-haziran aylarına rastlamıştır. Dişi bireylerin GSI değerlerinin erkeklere göre daha yüksek ve türler arasında en yüksek GSI değerlerine *A. mossulensis* bireylerinin sahip olduğu tespit edilmiştir. IC değeri Temmuz-ağustos aylarında en yüksek ve Eylül-ekim aylarında en düşük bulunmuştur. Türler arasında en yüksek IC değerlerine *C. capoeta* bireylerinin sahip olduğu saptanmış ve bağırsak katsayısına göre *C. capoeta* türünün herbivor, *A. mossulensis* ve *S. cephalus* türlerinin ise omnivor beslendiği belirlenmiştir. KF'nin genel olarak üç türde de Mayıs ve Haziran aylarında en yüksek değerde, Temmuz ve Ağustos aylarında ise en düşük değerde ve GSI verileriyle uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Su ve sediment örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarına göre metallerin sedimentteki miktarlarının sudaki miktarlarına göre daha yüksek olduğu, su yönünden en kirli istasyonun 2. istasyon, sediment yönünden ise 1. istasyon olduğu saptanmıştır. Su ve sediment analiz sonuçlarıyla orantılı olarak 1. ve 2. istasyonlardan yakalanan balıklarda saptanan daha yüksek metal birikimi, daha yüksek HSI değerleri, daha düşük GSI değerleri, düşük TAS değerlerine karşın yüksek TOS değerleri, artan eritrositik çekirdek anormallikleri ile yüksek frekansta histopatolojik hasarlar; oksidatif stres, genotoksik ve histopatolojik hasar açısından en fazla etkilenen balıkların 1. ve 2. istasyon balıkları olduğunu göstermiştir. 1. ve 2. istasyon balıkları arasında ise *S. cephalus* en fazla etkilenen tür; karaciğer, solungaç ve böbrek ise kirlilikten en fazla etkilenen organlar olarak tespit edilmiş ve 2015 yılına göre 2016'da kirlilikte artış saptanmıştır.

5. TARTIŞMA

Akarsularımız uygun ekolojik özellikleri ile çok çeşitli balık türünü içeren zengin kaynaklardır. Ülkemizin sahip olduğu kaynakların ve buradaki biyolojik çeşitliliğin bilimsel olarak ele alınması ile bunların geçmiş, günümüz ve gelecekteki durumlarının karşılaştırılması sağlanabilir ve bu kaynaklardaki ekolojik hayatın en iyi nasıl korunacağı hakkında fikir edinilebilir.

Karasu Nehri'nin seçilen 4 istasyonunda iki yıl boyunca nehrin baskın balık türleri ile kapsamlı bir araştırma yürütülmüştür. Nehirden aylık olarak yakalanan türler sistematik ve anatomik açıdan, ayrıca nehrin kirlilik durumunun araştırılması ile toksikolojik ve histolojik yönlerden de değerlendirilmiştir. 2015 ve 2016 yıllarında nehirden yakalanan balıkların öncelikle cinsiyet, yaş, boy, ağırlık, kondisyon gibi biyo-ekolojik özellikleri belirlenmiştir.

Yaş tayininde en güvenilir sonuç verdiği bilinen pullardan yapılan tayinde tüm balıkların yaşı I-V yaş arasında dağılım göstermiştir. Çalışmada I ve V yaşlarındaki birey sayıları diğer yaşlara göre daha az bulunmuştur. I yaşındaki birey sayısının daha az olması genç balıkların yakalanmasının zor olmasından ya da üremeye bağlı olarak sayıca az olmalarından, V yaşındaki birey sayısının daha az olması ise avlanma yoğunluğu veya tabii ölümlerden kaynaklanmış olabilir. İncelediğimiz türler için farklı su sistemlerinde bildirilen önceki çalışmalarda yaş dağılımlarında çeşitlilik olduğu görülmüştür. *C. capoeta* türü için yaş değerlerini Yolaçan (2005) Kars Çayı'nda II-VI aralığında, Sen *et al.* (2008) Zerne Gölü'nde I-VII aralığında bildirmişler, Yayla (2014) ise ortalama yaşı Çıldır Gölü'nde III olarak bildirmiştir. *A. mossulensis* türü için ise yaşı Dicle Nehri'nde III-IX arasında dağılım gösterdiği bildirilmiştir (Çiçek 2013). Bu noktada, türlerin yaşadıkları ortamların ekolojik koşullarının farklı olmasının yaş aralığında farklılığa yol açabildiği söylenebilir. *S. cephalus* örnekleri için yaşı Gelingüllü Baraj Gölü'nde I-V yaş arasında dağılım gösterdiği (Kırankaya ve Ekmekçi 2007), Muş ili Karasu Çayı'nda yapılan çalışmada ise baskın yaş grubunun çalışmamızdaki gibi III yaş olarak bulunduğu bildirilmiştir (Sen and Saygin 2008). Yine

bu tür için Hafik Gölü'nde yaşımlar I-VIII (Kekilli 2010) ve Uzunçayır Baraj Gölü'nde 0-XI (Demirel vd 2016) arasında dağılım gösterdiği kaydedilmiştir. Bu çalışmalarda popülasyonda geniş bir yaş dağılım aralığı yaşama ortamının besin zenginliği ve çeşitliliği ile ilgili olabilir.

Araştırma süresince nehirlerden yakalanan balıkların boy ve ağırlık değerleri de hesaplanmıştır. Karasu Nehri'nde incelenen türler için tespit edilen boy ve ağırlık değerleri, farklı su sistemlerinde bildirilen değerlerin büyük bir kısmıyla benzerlik göstermiştir. Yakalanan *C. capoeta* örneklerinde total boy 13,5-30,5 cm, vücut ağırlığı ise 25,4-246,2 g arasında değişmiştir. Ülkemizde yapılan çalışmaların birinde *C. capoeta sieboldi* (Steindachner 1864) örneklerinde boy ve ağırlığın 7,8-34,1 cm ve 9-359 g arasında değiştiği (Gül vd 2005), diğer çalışmada ise *C. capoeta capoeta* (Guldenstaedt 1772) örneklerinde çatal boyun 13,2-37 cm, ağırlığın ise 43,3-668,9 g arasında değiştiği bildirilmiştir (Yolaçan 2005). Yine başka bir çalışmada bu tür için boy ve ağırlığın 4-41 cm ve 0,7-1060,4 g arasında değiştiği (Sen *et al.* 2008), İran'da yapılan bir çalışmada ise total boy ve ağırlığın 3,6-8,8 cm ve 0,8-6,6 g arasında değiştiği rapor edilmiştir (Radkhah and Eagderi 2015).

Karasu Nehri'nden yakalanan *A. mossulensis* örneklerinde ise total boy 15,0-19,6 cm, çatal boy 13,5-18,1 cm ve vücut ağırlığı 24,0-74,8 g arasında bulunmuştur. Ülkemizde *A. mossulensis* için Dicle Nehri'nde çatal boy 8,8-20,2 cm ve ağırlık 6-116 g arasında (Çiçek 2013), Karakaya Baraj Gölü'nde total boy ve ağırlık 12,3-20,4 cm ve 16,87-56,57 g arasında bildirilmiştir (Uçkun and Gökçe 2015).

Çalışmamızda *S. cephalus* örneklerinde total boy 12,5-21,0 cm, total ağırlık ise 18,9-108,4 g arasında dağılım göstermiştir. Aynı türün akarsu ve göllerde yaşayan bireylerinin boy ve ağırlık değerlerindeki farklılıklar, yaşam ortamlarının ekolojik ve biyolojik özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Mevcut çalışma ve ülkemizin çeşitli nehirlerinde bildirilen çalışmalar da bunu göstermiştir. Tatlısu kefal için ülkemizdeki çalışmalarda çatal boy ve ağırlık Gelingüllü Baraj Gölü'nde 11,9-31,2 cm ve 32-600 g (Kırankaya ve Ekmekçi 2007), Muş Karasu Çayı'nda 7,3-40,5 cm ve 4,8-1002,5 g (Sen

and Saygin 2008); Hafik Gölü'nde 11,4-33,2 cm ve 22,5-550,3 g (Kekilli 2010) arasında bildirilmiştir. Uzunçayır Baraj Gölü'nde ise total boy 13-36,2 cm ve ağırlık 22,1-616 g arasında bildirilmiştir (Demiröl vd 2016).

Çalışmada Karasu Nehri *C. capoeta*, *A. mossulensis*, *S. cephalus* türlerinin sistematik ve anatomik özelliklerinin, türe ait populasyonların dağılım alanları içerisindeki özellikleri yansıttığı görülmüştür. Türlerin morfometrik ve meristik karakterleri tür için tanımlanan sistematik karakterlere (Geldiay ve Balık 2009) ve aynı zamanda çeşitli nehirlerde yapılan çalışmalarda (Heidari *et al.* 2013; Yousefian *et al.* 2013; Keivany *et al.* 2016) bildirilen bulgulara çok benzediği ve nehrin 4 farklı istasyonundan yakalanmış olan türlerde organ anatomisinin normal olduğu tespit edilmiştir.

Arazi çalışmalarında bir balığın ve popülasyonun genel durumunun belirlenmesinde ve gonadların olgunlaşma zamanının değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan morfolojik parametrelerden biri olan kondisyon faktörü (Bervoets and Blust 2003) bu çalışmada aynı amaçla kullanılmış ve türler için aylık olarak değerlendirilmiştir. Karasu Nehri *C. capoeta* bireyleri için aylık olarak elde edilen kondisyon faktörü ile ilgili bulgular daha önceki çalışmalarda bildirilenlerle benzerlik sergilemiştir. Kars Çayı'ndan yakalanan balıklarda ortalama kondisyon faktörü 1,68 bulunmuş ve kondisyon faktörünün çalışmamızda olduğu gibi haziran ayında en yüksek olduğu rapor edilmiştir (Yolaçan 2005). Zernek Gölü'nde yapılan bir çalışmada ise kondisyon faktörü 1,31 olarak hesaplanmış, yine çalışmamızdaki gibi en yüksek değerler haziran ayında en düşük değerler ise ağustos ayında bildirilmiştir (Sen *et al.* 2008). Ülkemizin dışında Zarrineh Nehri'nde (İran) kondisyon faktörünün $0,075 \pm 0,24$ olarak bulunduğu (Radkhah and Eagderi 2015) bildirilmiştir. Yapılan çalışmalarda dikkat çeken husus kondisyon değerinin yağlanma ve gonadal gelişim durumunda artışı olmuştur. Birçok çalışmada kondisyon değerinin büyüme sezonunda beslenmedeki artışa bağlı olarak yüksek değerlere de erişebildiği bildirilmiştir (Couture and Rajotte 2003; Pyle *et al.* 2005). Diğer yandan, kondisyon faktörü balıkların yaşadıkları çevreye gösterdikleri adaptasyonun bir ölçüsü olarak kabul edildiğinden yıl içinde KF değerinde meydana gelen düşüş kışın azalmış besin alınımlı ve balığın aktivitesindeki azalışla

ilişkilendirilmiştir (Lenhardt *et al.* 2009). Ayrıca kondisyon faktörünü yaş, cinsiyet, üreme mevsimi, olgunlaşma dönemi, tüketilen besinin türü, bağırsakların doluluğu, vücuttaki yağ seviyesi ve balığın kas yapısının gelişim derecesi gibi faktörlerin etkileyebileceği de belirtilmektedir (Korkut vd 2007; Akhan vd 2010).

Karasu Nehri *A. mossulensis* örneklerinde 2015-2016 yıllarında ortalama kondisyon faktörü için en yüksek değerler haziran ayında, en düşük değerler ise ağustos ayında elde edilmiştir. Çalışmamız ve önceki çalışmalar incelendiğinde türün farklı nehirlerde yaşayan bireylerinde, en yüksek kondisyon ortalamasına sahip ayın su sıcaklığına bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir. *A. mossulensis*'in en yüksek kondisyon değeri ortalamasına Dicle Nehri'nde nisan ayında, en düşük kondisyon değeri ortalamasına dişilerde haziran ayında, erkeklerde ise ağustos ayında rastlandığı bildirilmiştir (Çiçek 2013). Mousavi-Sabet *et al.* (2013), Gamasiab Nehri'nden toplanan örneklerin kondisyon ortalamalarının 0,2-2,51 arasında değiştiğini ve en yüksek kondisyon değerinin mayıs ayında olduğunu bildirmişlerdir. Karakaya Baraj Gölü'nde en yüksek kondisyon değeri mayıs ayında, en düşük kondisyon değeri ise eylül ayında hesaplanmış ve kondisyon değerinin yaz aylarında düştüğü bildirilmiştir (Uçkun and Gökçe 2015).

Çalışmamızda *S. cephalus* örnekleri için ise 2015 ve 2016 yıllarında ortalama kondisyon değerinin en yüksek mayıs, en düşük ise temmuz ayında olduğu tespit edilmiştir. Bu tür için ülkemizin çeşitli illerinde yapılan çalışmalarda araştırmacılar farklı kondisyon değerleri elde etmiştir. Konya'da yapılan bir çalışmada kondisyon ortalaması 1,57 olarak bildirilmiş ve çalışmamızdaki bulgularla benzer veriler sunulmuştur (Altındağ 1995). Tozanlı Çayı'nda aynı türle yapılan bir çalışmada ortalama kondisyon faktörü 1,53 olarak hesaplanmış ve en yüksek değerin haziran ayında elde edildiği belirtilmiştir (Karataş 1996). Gelingüllü Baraj Gölü'ndeki bir çalışmada ise kondisyon faktörünün 0,68-1,98 arasında (Kırankaya ve Ekmekçi 2007), Uzunçayır Baraj Gölü'nde 0,89-1,29 arasında değiştiği (Demiröl vd 2016) bildirilmiştir. Muş Karasu Nehri'nde ise türün kondisyon faktörü $1,297 \pm 0,01$ olarak bulunmuş, ortalama kondisyon değeri en yüksek nisanda, en düşük ekimde hesaplanmıştır (Sen and

Saygin 2008). Kondisyon faktörü, aynı ortamdaki aynı türün bireyleri arasında bile yaşa, eşeye ve mevsime bağlı olarak değişim gösterirken aynı türün farklı ortamlarda yaşayan bireyleri arasında da doğal olarak farklılık göstermiştir. Ortam faktörlerinin özellikle de besin ve sıcaklığın etkisiyle balıkların büyümesi değiştiğinden bu türe ait balıkların farklı ortamlardaki ortalama kondisyon değerleri de farklılık arz etmiştir.

Balıklarda gonad gelişiminin belirlenmesi için çalışmada türlerin gonadosomatik indeksi (GSI) aylık olarak incelenmiştir. GSI, gonad gelişiminin olduğu dönemlerde artış gösterir. GSI'nin artışı ile gonad ağırlığının artışı orantılıdır. Buna göre balığın üreme öncesi gonadosomatik indeksi en yüksek değerlerine ulaşır ve balık GSI'nin en yüksek olduğu zaman yumurtlar. Karasu Nehri *C. capoeta* popülasyonunda 2015 yılında en yüksek ortalama GSI dişi ve erkeklerde haziran ayında, en düşük ortalama GSI ise ağustos ayında elde edilmiştir. 2016 yılında da 2015'te olduğu gibi en yüksek değerler haziran ayında, en düşük değerler ise ağustos ayında kaydedilmiştir. Ülkemiz Delice Irmağı'ndan yakalanan bu türün bireylerinde GSI değerlerinin çalışmamızda olduğu gibi haziran ayında en yüksek, ağustos ayında ise en düşük olduğu ve üremenin haziran-temmuz arasında gerçekleştirildiği bildirilmiştir (Gül vd 2005). Yolaçan (2005) çalışmasında Kars Çayı'nda bu balıkların üreme zamanının mayıs-haziran ayları arasında olduğunu bildirmiştir. Başka bir çalışmada *C. capoeta*'da yumurtlamanın haziran ayının ilk haftasından temmuz ayının 2. haftasına kadar devam ettiği bildirilmiş, GSI değerinin dişilerde mayıs ayının sonunda, erkeklerde ise haziran ayının başında en yüksek; temmuz ayında ise en düşük olduğu kaydedilmiştir (Sen *et al.* 2008). Önceki çalışmalar ve mevcut çalışmamız balığın türüne ve türlerin yakalandıkları bölgenin şartlarına göre üreme zamanının değiştiğini ve buna bağlı olarak türlerin farklı zamanlarda yumurta bıraktığını göstermektedir.

Karasu Nehri *A. mossulensis* popülasyonunda 2015 yılında en yüksek ve en düşük ortalama GSI sırasıyla haziran ve ağustos aylarında kaydedilmiştir. GSI 2016 yılında dişilerde haziranda, erkeklerde ise mayısta en yüksek değere ulaşmış ve iki cinsiyette de en düşük değer ağustosta kaydedilmiştir. Yapılan çalışmalar su sıcaklığı fazla olan nehirlerde türün daha erken üreme dönemine girdiğini göstermektedir. Öyle ki *A.*

mossulensis bireyleriyle Dicle Nehri'nde yapılan bir çalışmada bu tür için üreme zamanının nisan, mayıs ve haziran ayları arasında olduğu, en yüksek GSI değerinin nisan ayında olduğu bildirilmiştir (Çiçek 2013). Birçok çalışmada en yüksek GSI değerleri çalışmamızdaki gibi haziran ayında kaydedilmiştir. Yıldırım vd (2007), Karasu Nehri'nden yakalanan balıklarda GSI değerinin haziran ayında çok yüksek olduğunu bildirmişlerdir. *A. istanbulensis* örneklerinde de üreme ayı haziran olarak belirtilmiş; en yüksek GSI değeri haziranda, en düşük değer ise dişilerde ağustos ayında, erkeklerde ise eylül ayında bildirilmiştir (Hamzaoglu *et al.* 2015). Karakaya Baraj Gölü'nden alınan *A. mossulensis* örneklerinde ise üreme ayı mayıs-ağustos olarak belirtilmiş, en yüksek GSI değeri dişilerde haziranda, erkeklerde mayıs ayında; en düşük değer ise dişilerde ekim ayında, erkeklerde ise kasım ayında bulunmuştur (Uçkun and Gökçe 2015). Çalışmamızda GSI için elde edilen bulgular önceki araştırmacıların bulgularıyla büyük oranda benzerlik göstermiştir.

Karasu Nehri *S. cephalus* popülasyonunda 2015 ve 2016 yıllarında ortalama gonadosomatik indeksin mayıs ayında en yüksek, temmuz ayında ise en düşük değere sahip olduğu saptanmıştır. Akşehir Gölü'nde tatlısu kefali örneklerinin mayıs-haziran aylarında yumurtlama faaliyeti gösterdikleri ve GSI değerlerinin 1,27-11,69 arasında değiştiği (Altındağ 1995), Hafik Gölü'nde ise üreme döneminin nisan-temmuz ayları olduğu bildirilmiştir (Kekilli 2010). Tatlısu kefalinin üreme dönemleri Karakaya Baraj Gölü'nde ve Muş Karasu Çayı'nda mayıs-temmuz olarak bildirilmiş (Kalkan *et al.* 2005; Sen and Saygin 2008) ve çalışmamızla benzer sonuçlar rapor edilmiştir. Çalışmamızda incelenen türlerin gonad gelişimleriyle ilgili verilerin bilimsel olduğu kadar ekonomik olarak da büyük öneme sahip olduğu söylenebilir. Zira türlerin üretimin başlaması için üreme zamanlarının bilinmesi oldukça önemlidir.

Karasu Nehri'nden aylık olarak yakalanan balıklar morfometrik parametrelerden biri olan bağırsak katsayısı (IC) değerleri açısından da incelenmiştir. Bağırsak katsayısı balıklarda yaş, vücut gelişim derecesi ve beslenme alışkanlığı ile ilişkili olarak bireysel ve spesifik varyasyonların belirlenmesini sağlar. Mevcut çalışmada üç türde de benzer şekilde temmuz-ağustos aylarında bağırsak katsayısının (IC) yüksek, eylül-ekim

aylarında ise düşük olduğu tespit edilmiştir. Teleostlarda, sindirim sistemi morfolojisi genellikle diyet, beslenme ve vücut şekli ile bağlantılı olarak spesifik varyasyonlar gösterir ve sindirim sistemi kısımlarının yapısı ile beslenme şekli arasında korelasyon vardır. Yapılan çalışmalar IC değerinin genellikle karnivorlarda düşük, omnivorlarda orta, herbivorlarda ise yüksek olduğunu göstermiştir. Ward-Campbell *et al.* (2005)'e göre bağırsak katsayısı 1'den düşük ise tür karnivor, 1-3 arasında ise omnivor ve 3'ten büyükse herbivordur. Dolayısıyla mevcut çalışmada elde edilen bağırsak katsayısı değerlerine göre *C. capoeta* türünün herbivor (2,55-3,66), *A. mossulensis* (0,57-1,28) ve *S. cephalus* (0,62-1,30) türlerinin omnivor beslendiği saptanmıştır. Öte yandan Jacobshagen ve Bertin'e göre (Moraes *et al.* 2004), bağırsak katsayısı karnivorlarda 0,2-2,5 arasında, omnivorlarda 0,6-0,8 arasında, herbivorlarda ise 0,8-15,0 arasında değişmektedir. Buna göre *C. capoeta*'ya ait değerler türün yine herbivor olduğunu gösterirken *A. mossulensis* ve *S. cephalus* türleri için elde edilen değerler omnivor olan bu balıkların aynı zamanda karnivor beslenmeye meyilli olduklarını da göstermiştir. Bu bulgu diğer araştırmacıların bulgularını da destekler gözükmektedir. Nitekim *S. cephalus* türünün sindirim kanalı içeriği ile ilgili olarak yapılan bir çalışmada kanalda zooplanktonik, fitoplanktonik organizmalar ile hayvansal ve bitkisel detritus bulunduğu ve özellikle hayvansal organizmaların bu tür için baskın olarak tüketilen besin kaynağı olduğu bildirilmiştir (Tekatlı 2011). Cao *et al.* (2011) Cypridae familyasından *Culter alburnus* türünde IC değerinin çalışmada 0,68 bulunduğunu ve bu değerlerle kıyaslandığında türün omnivor veya karnivor olduğunu ve gerçekte türün karnivor olarak bilindiğini ifade etmişlerdir. Becker *et al.* (2010) ise *Rhamdia quelen* türünün omnivor olduğunu, 0,65 bulunan bağırsak katsayısı değerinin ise türün aynı zamanda karnivor beslenmeye eğilimli olduğuna bir işaret olduğunu bildirmişlerdir.

Sindirim sistemi yapısı diyete göre oldukça çeşitlilik gösterir. Herbivor ve detritivor balıklar karnivora göre daha uzun, ince ve dar bağırsaklara sahipken, omnivor türlerde bağırsak orta uzunluktadır. Gerçekten de çalışmamızda anatomik olarak en uzun bağırsak *C. capoeta*'da gözlenmiştir. Üstelik IC değeri de belirttiğimiz gibi bu türde daha yüksek bulunmuştur. Rios *et al.* (2004) uzun süre açlıktan sonra yeniden beslenen *Hoplias malabaricus* türünde katsayı değerine bakılarak bağırsak uzunluğunun

azaldığını ve sonrasında normal uzunluğa ulaşmadığını bildirmişlerdir. 4 farklı balık türünün sindirim sistemi morfolojilerinin araştırıldığı bir çalışmada incelenen türlerin bağırsaklarının 2 katlı olduğu ve beslenme tiplerine göre değerlerin değiştiği bildirilmiştir. *Astyanax altiparanae* için değer 1,35, *Parauchenipterus galeatus* için değer 0,96 ve bağırsak uzunluğu vücut uzunluğundan daha kısa, *Hoplias* aff. *malabaricus* için değer 0,83 bağırsak uzunluğu vücut uzunluğundan kısa ve *Serrasalmus marginatus* için değer 1,07 ve bağırsak uzunluğu vücut uzunluğuna eşit bulunmuştur (Peretti and Andrian 2008). Güney Brezilya’da yapılan bir çalışmada *Cynopoecilus fulgens* türü balıkların erginlerinin çoğunlukla böceklerle, juvenillerinin ise kabuklularla beslendiği, bağırsak katsayı değerinin büyüme zamanlarında değişim gösterdiği ve yetişkinlerde değerin düşük, gençlerde ise yüksek olduğu bildirilmiştir (Dias *et al.* 2016).

Akarsuyun canlı yaşamını doğrudan ve dolaylı olarak etkilediği bilindiğinden, araştırma bölgemiz olan Karasu Nehri’nin kirlilik durumu da araştırılmıştır. Zira Karasu Nehri’nde yapılan önceki çalışmalarda örnekleme bölgelerine birçok dere vasıtasıyla farklı kaynaklardan çeşitli atıkların ulaştığı bildirilmiştir (Sönmez vd 2013). Nehrin yakınında faaliyet gösteren sanayi işletmelerinin atık sularının ve kanalizasyon arıtım tesislerinin sularının nehre karışması, tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübre ve ilaçların yüzey akışları ile nehre taşınması nehir suyunun özelliğini değiştirmektedir (Anonim 2018f). Bu nedenle özellikle çalışmada Karasu Nehri’nin suyu ve sedimenti ağır metal yükü bakımından incelenmiştir.

2015-2016 yıllarında nehrin seçilen 4 istasyonundan alınan su ve sediment örneklerinden elde edilen kimyasal analiz sonuçlarına göre su yönünden en kirli istasyon 2. istasyon (8 ağır elementin seviyesi diğerlerinden daha fazla; V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Se, Sr) ve sediment yönünden en kirli istasyon 1. istasyon (8 ağır elementin seviyesi diğerlerinden daha fazla; Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Se, Br, Pb) bulunmuştur. As ve Zn seviyelerinin ise 3. istasyonda en yüksek olduğu tespit edilmiştir. Mevcut çalışmada elde edilen veriler nehrin seçilen istasyonlarının farklı miktarda kirlendiğini göstermektedir. Bu durum kuşkusuz kirlilik kaynaklarına olan yakınlığın doğal bir

sonucudur. Araştırma bölgemizde yapılan önceki çalışmalarda da bulgularımıza benzer sonuçlar kaydedilmiştir. Bu çalışmaların birinde nehirde 5 istasyondan 1 yıl boyunca alınan su örneklerinde Cu, Zn, Mn, Pb, Ni, Cd ve Fe metallerinin miktarında istasyonlar arasında önemli farklılık gözleendiği ve metallerin genelinin su kalite sınıflarına göre kabul edilebilir seviyede olmasına karşın bazı istasyonlarda seviyenin oldukça yüksek olduğu bildirilmiştir (Sönmez vd 2012). Çalışmamızda Karasu Nehri'nin 1. ve 2. istasyonlarının yüzey suyunun incelenen elementler açısından IV. sınıf kalitede yani çok kirlenmiş su durumunda olduğu saptanmıştır. Bu durum, nehrin Erzurum şehir merkezini terkettiği noktaların kirlilik seviyesini açıkça göstermektedir. Bir başka çalışmada, nehir ve çevresindeki sulak alanlardan alınan su ve sediment örneklerinde ağır element miktarının endüstri kaynaklarına olan yakınlığa ve motorlu araç trafiğinin yoğunluğuna bağlı olarak istasyonlar arasında farklılık gösterdiği ve benzer şekilde bazı metallerin miktarının su kalite sınıflarına göre kabul edilebilir sınırların üzerinde olduğu bildirilmiştir (Aydoğan 2015). Örnekleme bölgemizin yakınlarında olan Aşkale istasyonunda Cd, Al, As, Pb ve Mn metallerinin yüzey suyundaki 2013 yılı seviyelerinin TSE 2005 tarafından bildirilen standartların üzerinde olduğu önceki çalışmamızda da rapor edilmiştir (Dane and Şişman 2017). Su ve sediment örneklerinin 2015-2016 yılı kimyasal analiz değerlerine bakıldığında Ti ve V hariç diğer tüm metallerin sedimentteki miktarının sudaki miktarına göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Zira bu durum, Saeed and Shaker (2008)'ın bildirdiği gibi sedimentin tüm kirleticiler ve ekosistemden gelen tüm organik maddeler için bir nevi rezervuar olmasıyla alakalıdır. Karasu Havzası'nın tüm kirleticilerini alan Karasu Nehri, Aşkale Çimento Fabrikası'nın önünde tahminen 2014 yılında yapılan gölette (Şekil 5.1) dinlendirilmekte ve içindeki kirleticilerin çökmesi sağlanmaktadır. Buna rağmen aynı bölgede yapılmış önceki çalışmalarla da kıyaslandığında mevcut çalışmamız Karasu Nehri'ndeki metal kirliliğinin maalesef devam ettiğini göstermektedir.



Şekil 5.1. Aşkale Çimento Fabrikası'nın önündeki dinlendirme göleti

Karasu Nehri'nin kirliliği nedeniyle nehrin balıklarının dokularındaki ağır metal birikimlerinin belirlenmesi için, istasyonlarından alınan balıkların karaciğer ve kas dokuları incelenmiş ve dokularındaki Be, Al, P, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, La, Hg ve Pb ağır metallerinin ortalama konsantrasyonları tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada kirlilik yükünün fazla olduğu istasyonlardan alınan balıkların dokularında metal seviyesi, diğer istasyon balıklarınıninkine göre daha fazla bulunmuştur. Endüstriyel etkinin fazla olması dolayısıyla atık su kirliliğinin yoğun olduğu alanlardaki sucul ortamlardan yakalanan balıklarda doğal olarak ağır metal birikimi de yüksek olmaktadır. Nitekim Yeşilırmak Nehri'nden alınan sediment numunelerinde ve farklı balık türlerinde Fe, Zn, Cu, Pb, Mn, Ni ve Cd seviyelerini araştıran çalışmada da ağır metal birikimi, kirliliğe maruz kalan balıkların dokularında yüksek bulunmuştur (Ünal 2010). *C. capoeta*, *A. mossulensis* ve *S. cephalus* türlerinin dokularındaki metal seviyesindeki artış en fazla 1. ya da 2. istasyonlarda tespit edilmiş, 4. istasyondan yakalanan bireylerin dokularında ise metal birikimi en düşük bulunmuştur. Bu durum,

su ve sediment analiz sonuçlarına uygun olarak 1. ve 2. istasyonların en kirli noktalar olduğunu desteklemiştir.

Balıkların karaciğer ve kas dokularındaki metal seviyeleri incelendiğinde üç tür için de metal birikiminin en fazla karaciğerde olduğu görülmüştür. Benzer şekilde Bekmezci (2010), Aşağı Seyhan Ovası drenaj kanallarında seçilen beş istasyondan alınan *Clarias gariepinus* türünde Fe, Cu, Zn, Co, Cr ve Cd metallerinin en yüksek karaciğerde en düşük kasta birikim gösterdiğini bildirmiştir. Akgün vd (2007), Sakarya Nehri Çeltikçe Çayı'ndan alınan tatlısu kefalinin karaciğer, kas ve solungaçlarında ağır metallerin birikim düzeyinin Zn, Cd ve Pb için karaciğer>kas>solungaç; Cu için ise kas>karaciğer>solungaç şeklinde olduğunu bildirmişlerdir. Manisa Gölü'nde su, sediment ve sazan türünün solungaç, karaciğer, kas dokularında Zn, Pb, Fe, Co, Mn, Cr, Ni, Cu, Cd ağır metallerinin konsantrasyonlarının tespit edildiği çalışmada da benzer sonuçlar bildirilmiştir (Gürcü *et al.* 2010). Yine Karasu Nehri'nde yapılan bir çalışmada Cd, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn seviyelerinin *Capoeta capoeta umbla* ve *Chalcalburnus mossulensis* türlerinin kas, karaciğer ve solungaç dokularında istasyonların kontaminasyon düzeyine göre birikiminin değiştiği ve en az birikimin kas dokusunda gözlemlendiği bildirilmiştir (Sönmez *et al.* 2012).

Yurtdışında yapılan ağır metal analizi temelli çalışmalarda da sucul ortamın kirlilik durumuna bağlı olarak türlerin çeşitli dokularında farklı birikimler bildirilmiştir. Javed *et al.* (2016), ağır metallerce kirlenmiş kanal suyunda Cr, Mn, Fe ve Ni miktarlarının WHO tarafından belirlenen limitlerin üzerinde olduğunu, kanaldan elde edilen *Channa punctatus* türünün tüm organlarında (solungaç, karaciğer, böbrek, kas ve deri) Fe'nin yüksek miktarda biriktiğini, metal kirlilik indeksinin en yüksek solungaçlarda, en düşük ise karaciğerde olduğunu bildirmişlerdir. Sırbistan Danube Nehri'nden yakalanan farklı balık türlerinin (*Sander lucioperca*, *Siluris glanis*, *Lota lota* ve *Cyprinus carpio*) kas, karaciğer ve solungaçlarında Al, As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sr ve Zn ağır metallerinin analizinin yapıldığı çalışmada, dokulardaki metallerin maksimum kabul edilebilir değerleri aşmadığı, sadece Hg'nin sınır değerlere çok yakın olduğu bildirilmiştir (Subotić *et al.* 2013). Çalışmamızda ise 2015 yılına nazaran 2016

yılında dokularda metal birikiminde artış gözlenmesine karşın türlerin kas dokularında incelenen ağır metal seviyelerinin Türk Gıda Kodeksi ile FAO/WHO tarafından belirlenmiş insani tüketim için gıda maddelerinde kabul edilebilir en yüksek metal değerlerini aşmadığı tespit edilmiştir. Sonuçlar çerçevesinde etkilenmiş türlerin henüz insan tüketimi için bir tehlike arz etmediği söylenebilir. Fakat bu durumun, ileride sorun teşkil edebileceği göz ardı edilmemelidir.

Kontamine olmuş noktalardan alınan balıklarda oluşan cevabın ölçülmesi, çevresel risk değerlendirmelerinde önemli bilgiler sağlayabilir. Çalışmada kullanılan biyoişaretçiler hem çevresel kirlilik hem de mevsim, beslenme durumu gibi faktörler için birer göstergedir. Hepatosomatik indeks (HSİ) balığın sağlık durumu ve suyun kalitesi hakkında bilgi sağlar. Sucul çevre kirliliği hepatosomatik indekste artışa neden olur. Bu nedenle HSİ kimyasal su kirliliği için yararlanılacak iyi bir indikatör olarak görülür (Pyle *et al.* 2005). Bu çalışmada kirlilik derecesine göre istasyonlar arasında HSİ değerinde önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Buna göre 4. istasyonla kıyaslanınca diğer üç istasyonda daha yüksek HSİ değerleri elde edilmiştir. Mevcut çalışmada HSİ değerindeki artış diğer araştırmacıların da öne sürdüğü gibi su ortamındaki kirleticilerin varlığı ile ilişkilendirilmiştir. Authman (2011), yüksek doz Al'ye maruz kalan balıklarda hepatosomatik indeksin kontrol grubu balıklarından daha yüksek olmasını Al'ye maruz kalan balıkların karaciğerindeki lipid birikimine bağlamış ve histolojik kesitlerde yağlanmanın görülmesinin de bunu desteklediğini bildirmiştir. Ağır metalle kirlenmiş sucul çevrede balık karaciğerindeki metal miktarı kirliliğin derecesi ile direkt orantılıdır. Monsefrad *et al.* (2012) Hazar Denizi'nden yakalanan *Rutilus frisii kutum* türünde Cd artışının balığın karaciğer ağırlığını artırdığını ve Cd seviyesi ile HSİ değerleri arasında pozitif korelasyonun olduğunu bildirmişlerdir. Biyo-kimyasal kontaminantların bir karışımı olan kanalizasyon atık sularının tatlı su balıklarında hepatomegalinin indikatörü olarak bildirilen ortalama hepatosomatik indeksi yükselttiği ardından temizlenmiş kanalizasyon atık sularında kalan balıklarda yükselmiş HSİ değerlerinin yeniden restore edildiği rapor edilmiştir (Al-Ghais 2013). Sunduğumuz çalışmada da ağır metalle kirlenmiş noktalardan alınan balıklarda HSİ değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Laboratuvar ve arazide uzun süreli kirletici etkisinde

balıklarda yaygın olarak karaciğer büyümesi gözlenmektedir. Yabancı bileşikler metabolize etme kapasitesinde artış ile ilgili olan bu büyüme bozulma olmak yerine bir adaptasyon olabilir (Heath 1995).

Balık karaciğer ağırlığı genellikle hepatik enzim aktiviteleri ile ilgilidir ve kimyasal kirleticilerin etkileri ve balık sağlığı için bir indikatördür (Komsala *et al.* 1998). Kronik stres balıklarda enerji akışına etki eder ve karaciğer glikojeni gibi enerji kaynaklarının azalmasına neden olur. Bu durum HSI'deki azalma ile uyumludur. Fernandes *et al.* (2008), HSI değerinde düşüşün toksik metallerle karşı bir cevap olarak yağ kaynakları ya da glikojen kaybı nedeniyle karaciğerdeki küçülmenin bir sonucu olabileceğini bildirmiştir. Benzer şekilde Güneydoğu Sırbistan'da nehrin kirli noktasından yakalanan tatlısu kefalinin karaciğerinde Cd ve Zn konsantrasyonlarının yüksek olduğu ve yüksek Cd seviyesine bağlı olarak düşük hepatosomatik indeks değeri görüldüğü bildirilmiştir (Jovanović *et al.* 2011). HSI için bulunan düşük değerler yetersiz besin varlığında ya da üreme periyodunda enerji ihtiyacını karşılamak için karaciğerde birikmiş depoların kullanımından da kaynaklanmış olabilir.

HSI'nin kimyasal su kirliliği için iyi bir indikatör olduğu bilinmekle birlikte yapılan çalışmalarla HSI'nin sezonal değişimlere de bağlı olduğu gösterilmiştir. Lenhardt *et al.* (2009) HSI farklılıklarının balıkların yıl boyunca doğal koşullarında farklı beslenmelerinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Björklom *et al.* (2013) kontamine olmuş siteden alınan dişi balıklarda hem yüksek hem de düşük HSI değerleri gözlemlendiğini, kanalizasyon atıklarıyla birlikte feribot trafiğinin düşük HSI'ye yol açabileceğini bildirmişlerdir. HSI'deki artış normal olarak dişilerde vitellojenez sırasında görülür. Buna karşın HSI'deki artış toksik bileşiklere maruziyetten sonra detoksifikasyon işlemleri sebebiyle de olabilir. Çalışmamızda nehrin su ve sedimentinde tespit edilen ağır elementlere uzun süre maruziyetin incelenen balık türlerinin metabolizma gibi esas fizyolojik fonksiyonlarında olumsuz etkilere yol açabildiğini elde ettiğimiz HSI değerleri ve karaciğer histopatoloji bulgularının birleşimi ortaya koymaktadır.

Çalışmada metal kirliliğinin metabolizmanın yanı sıra üreme üzerine olan toksik etkileri de araştırılmıştır. Gonadosomatik indeks (GSİ) çeşitli kimyasal kirleticilere karşı duyarlı olan üreme başarısının göstergesidir. Balığın yumurta gelişimi ve yumurtlaması üzerine olumsuz etkilere sahip kirleticilerin izlenmesi balıkların bulundukları çevrede genetik dağılımları ve ekolojik işlemlerin korunması için gereklidir (Corsi *et al.* 2003). Çalışmada istasyonlar arasında GSİ değerleri bakımından bir karşılaştırma yapıldığında üç türde de hem 2015 hem de 2016 yıllarında aynı şekilde ortalama GSİ değerlerinin 1. ve 2. istasyonlarda 4. istasyona kıyasla anlamlı oranda düşük olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde Güney Brezilya'da *Atherinella brasiliensis* türü balıklarda yaz mevsiminde tüm somatik indeksler (KF ve GSİ) kirlilik yoğunluğunun en az olduğu istasyonda yüksek bulunmuştur (Ribeiro *et al.* 2013). Sadekarpawar and Parikh (2013), çalışmamızdaki gibi histopatolojik analiz sonuçları ve GSİ ve HSI verilerine dayanarak tarımda yaygın olarak kullanılan ve tatlı su kaynaklarında kirliliğe neden olan bitki besinlerinin *Oreochromis mossambicus* türünün gonad ve karaciğerini olumsuz yönde etkilediğini bildirmişlerdir. Kirlilik yükünün fazla olduğu istasyonlardan alınan balıklarda ortalama GSİ değerlerinin daha düşük olması, çalışmamızda sunduğumuz diğer bulgularımızı da destekler niteliktedir. Çalışmamızda elde ettiğimiz GSİ seviyeleri ile gonadlardaki histopatolojik değişiklikler, balıklar için kirliliğin önemli bir tehdit olduğunu işaret etmiştir.

Çalışmada balıklarda oksidatif stresi belirlemek için türlerin kan dokularında TAS ve TOS değerleri incelenmiştir. Yaptığımız çalışmada istasyonların kirlilik seviyesine göre üç türde de benzer şekilde TAS düzeyinin azaldığı ve TOS düzeyinin arttığı saptanmıştır. TOS seviyesinde tespit edilen artış ve TAS seviyesindeki düşüş, organizmada oksidatif stresi ve antioksidan savunma sistemi elemanlarının yetersiz kaldığını akla getirmektedir. Bulgularımıza benzer olarak Kaya *et al.* (2014), *Cyprinus carpio* (L., 1758)'da serum TAS düzeyinin kontrol grubuna kıyasla fungusit (tebukonazol) uygulanan gruplarda azaldığını, TOS düzeyinde ise artış olduğunu bildirmişlerdir. Genel olarak toksikanlar TOS seviyesini artırırken TAS seviyesini etkilemez. Öte yandan kuvvetli toksikanlar TAS seviyesini azaltabilir. Ancak bu durum ciddi çevresel problemler sonucu ortaya çıkar. Öyle ki termik santral nedeniyle

kirlenmiş çevrede yetiştirilen bitkilerle yapılmış bir çalışmada bitkilerde ağır metal birikiminin (Pb, Cd, Zn, Mn and Fe) reaktif radikal türlerinde artışa ve kontrol bölgedeki bitkilere göre daha düşük total antioksidant kapasiteye yol açtığı bildirilmiştir (Lulzim *et al.* 2013). Haliyle mevcut çalışma uzun süreli maruziyete bağlı olarak türlerde ciddi bir toksik etkiyi ve çevresel problemin gerçekliğini düşündürmüştür. Metallerin omurgalılarda oksidatif strese etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada fareler kullanılmış ve balıklardaki bulgulara benzer sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre bakır (II) sülfat toksikasyonunun ergin fare plazma TOS seviyesini önemli oranda artırdığı, TAS düzeyinde ise önemli bir değişikliğe neden olmadığı bildirilmiştir (Karademir vd 2015).

Son yıllarda balıklarda kirlilikten bağımsız olarak yapılan yemleme ve doz belirlemeye dayalı biyokimyasal çalışmalarda TAS-TOS analizlerinden yararlanılmıştır. Juvenil gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) yemlerine ilave edilen sarı kantaron (*Hypericum perforatum*) yağının TAS değerleri açısından bir farka yol açmadığı, TOS düzeyinde ise istatistiksel açıdan farklılığa yol açtığı bildirilmiştir (Çilingir vd 2017).

Pek çok kimyasal madde hücrede oksidatif stresin artmasına sebep olmaktadır. Doğan vd (2011) sucul ekosistemde kirliliğe yol açabilen fenpiroksimat akarisitinin ergin lepistes balıklarının karaciğerinde TAS değerinde herhangi bir değişikliğe yol açmadığını aksine oksidatif stresi teşvik ettiğini tespit etmişlerdir. Antioksidan seviyenin değişmeden kalması ise ilgili enzimlerin üretimi için yeterli sürenin geçmediği şeklinde yorumlanmıştır.

Oksidatif stresin biyolojik indikatörlerinin artışı, bazı patolojik durumların tespitinde belirleyici rol oynamaktadır. Oksidatif stres biyoişaretçileri olan lipid peroksidaz (LPO) ve protein karbonil (PC) seviyeleri, sucul ekosisteme karışan bir çeşit fungusit olan propikonazolun etkisiyle *Channa punctata*'nın karaciğer, böbrek ve solungaçlarında kontrol grubuna göre oldukça yüksek bulunmuştur (Tabassum *et al.* 2016). Dündar (2010), arseniğin karaciğer, solungaç ve kas dokularında oluşturduğu toksik etkiden dolayı dokularda CAT aktivitesini düşürdüğü ve lipid peroksidasyonunun son ürünü

olan MDA'yı arttırdığını bildirmiştir. Pereira *et al.* (2013) Kuzeybatı Portekiz nehirlerinden yakalanan balıklarda oksidatif stresi Glutatyon-S-transferaz aktivitesi ile belirlemişler, bu enzimin aktivitesinin kirli ortam şartlarında yükseldiğini bildirmişlerdir. Oksidatif stres yanıtları sudaki kirleticilerin varlığına türlerin verdikleri yanıtın farklılığını göstermiştir. Kanalizasyon atık sularına maruz kalan tatlı su balıklarının kas ve karaciğerlerinde kontrol grubuna göre önemli oranda düşük AChE aktivitesi ve yüksek GSH seviyesi tespit edilmiştir (Al-Ghais 2013). Mevcut çalışmanın sonuçları, tüm bu çalışmalarda toksik maddelerin hücrede oluşturduğu oksidatif hasara karşı vücudu savunan antioksidan sistemlerin yetersiz kaldığını ve bu durumun antioksidan sistemlerin toksik ve karsinojenik ajanlara karşı hassasiyetlerini artırmış olabileceğini gösteren sonuçlarla uyum içindedir.

Ağır metaller, antioksidan enzimlerin aktivitesini azaltarak serbest radikal üretimini artırdıklarından hücresel membranlarda lipid peroksidasyonun oluşumuna yol açarlar. Topal *et al.* (2015) nikel kloritin gökkuşağı alabalıklarının beyinde SOD, LPO aktivitelerinde ve GSH seviyesinde önemli oranda artışa, AChE ve CAT enzim aktivitelerinde düşüşe yol açtığını bildirmişlerdir. Balıklarda ağır metal birikimi sonucu, hidroksil radikallerinin oluşumu ve hidrojen peroksitlerin artışı ile GSH-Px ve CAT aktivitesinde azalmaların meydana geldiği yapılan araştırmalarda rapor edilmiştir. Ağır metallerce kirlenmiş kanaldan elde edilen balıklarda meydana gelen değişimleri oksidatif stres açısından değerlendiren Javed *et al.* (2016), SOD ve LPO seviyelerinin balıkların incelenen tüm dokularında önemli ölçüde yüksek olduğunu, CAT, GST ve GSH seviyelerinin referans siteye göre düşük olduğunu bildirmişlerdir.

Lipit peroksidasyonunun başlamasında ve ilerlemesinde rol oynayan artmış reaktif oksijen türlerinin hücre bileşenlerine oksidatif saldırısı sonucunda organizmalarda birçok hasar olduğu bildirilmektedir. Brezilya tatlı su kaynaklarında Cu maruziyetinin incelenen balıklarda önemli biyolojik ve ekolojik hasarlara yol açtığı vurgulanmıştır. Simonato *et al.* (2016) farklı biyolojik evrelerde *Prochilodus lineatus* balıklarında akut Cu maruziyetinin LPO seviyesinde ve SOD aktivitesinde artışa ve AChE aktivitesinde inhibisyona yol açtığını bildirmişlerdir. Mevcut çalışmada tespit edilen sudaki

kirleticilerin varlığına karşı türlerin verdikleri oksidatif stres yanıtlarının, bu canlıların habitatlarında strese maruz kaldıklarının bir göstergesi olarak yorumlanabilir.

Sucul çevrede bulunan kirleticiler, organizmaların fizyolojisini etkilemekle kalmaz aynı zamanda mutasyonlara ve kansere yol açan genetik değişikliklere de sebep olurlar (Russo *et al.* 2004). Çalışmamızda sitogenetik analizler sonucunda türlerde istasyonlara göre değişen oranlarda eritrositik çekirdek anormallikleri tespit edilmiştir. Seçilen istasyonlar anormallikler açısından değerlendirildiğinde 4. istasyona göre özellikle 1. ve 2. istasyonlarda nükleer hasarların önemli ölçüde artış gösterdiği bulunmuştur. 1. istasyondan 4. istasyona doğru gidildikçe azalan nükleer anormallikler kirletici gradientine bağlı olarak genotoksisiteyi göstermiştir.

Çalışmamızda bulduğumuz eritrositik çekirdek anormalliklerinin kirli istasyonlardan alınan su ve sediment örneklerinde tespit edilen ağır metal konsantrasyonlarının etkisiyle meydana gelmiş olabileceği düşünülmektedir. Nitekim önceki birçok çalışma, habitatlarında ağır metallere maruz kalan balık türlerinde maruziyet ile artan mikroçekirdek ve diğer çekirdek anormallikleri arasında bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Akdeniz bölgesinde Göksu deltasında yapılan bir çalışmada üç farklı balık türünde eritrositik çekirdek anormalliklerinin oranlarının sudaki ağır metal kirliliğine bağlı olarak önemli artış gösterdiği bulunmuştur (Ergene *et al.* 2007). Evsel ve sanayi kaynaklı atıklardan etkilenen Nilüfer Çayı'nın seçilen istasyonlarında tespit edilen yüksek oranda ağır metallerin İsrail sazani *Oreochromis niloticus*'un eritrositlerinde önemli oranda mikroçekirdek ve diğer çekirdek anormalliklerine yol açtığı bildirilmiştir (Summak *et al.* 2010). Karasu Nehri'nde 2012 yılında yapılmış olan çalışmada, *Barbus plebejus* türünde genotoksik etkinin artan kirlilik nedeniyle ortaya çıktığı bildirilmiştir (Yazıcı ve Şişman 2015). Çalışmamızda da benzer sonuçlar elde edilmesinin yanı sıra Karasu Nehri balıklarında genotoksisitenin önceki yıllara nazaran bariz bir şekilde artışı da dikkat çekmiştir.

Marcon *et al.* (2010), balıklardaki genetik hasarın sebebi olarak sucul ekosistemde yüksek oranda tespit edilen metalleri göstermektedir. Metallerin DNA'ya bağlanıp tek

zincir kırılmalarına yol açarak (Privezentsev *et al.* 1996), DNA hasarına yol açan reaktif oksijen radikalleri oluşturup DNA onarımını engelleyerek (Kasprzak *et al.* 2003) veya önemli biyolojik moleküllere spesifik olmayan bağlanmalarla (Gabbianelli *et al.* 2003) ya da mikrotübül fonksiyonunu bozmak suretiyle (Bonacker *et al.* 2005) genotoksisiteye sebep olabileceği öne sürülmektedir.

Farklı balık türleri farklı mikroçekirdek frekansları göstermesine karşın çalışmalar yüksek mikroçekirdek frekansının daha kirli bölgelerden (Rybakovas *et al.* 2009; Ferreira *et al.* 2010; Arantes *et al.* 2016) ve farklı tipte kirleticilere (Siu *et al.* 2008; Ramsdorf *et al.* 2009; Arslan vd 2011) maruziyetten sonra elde edildiğini göstermiştir. Dünyada farklı balık türlerinde yapılan çok sayıda araştırma da atıkların sucul ekosistemdeki türlerde genotoksisiteye sebep olduğunu göstermektedir. Omar *et al.* (2012), ağır metallerle kirlenmiş habitatlardaki *Oreochromis niloticus* ve *Mugil cephalus* türlerinde ve Martins *et al.* (2015), ağır metallere maruz kalan 2 farklı balık türünde mikroçekirdek ve çekirdek anormalliklerinin frekanslarında önemli bir artış olduğunu saptamışlardır. Çalışmamızla benzer sonuçlar Güney Brezilya Paranaguá Haliç’inde kirlilik yoğunluğu bakımından farklı 4 istasyondan alınan *Atherinella brasiliensis* türü balıklarda yapılan bir çalışmada bildirilmiş olup çalışmada comet ve mikroçekirdek analiz sonuçlarına göre kirli istasyondan temize doğru gidildikçe azalan DNA hasarları ve çekirdek anormallikleri tespit edilmiştir (Ribeiro *et al.* 2013). Çalışmamızdaki bulguların gösterdiği gibi Karasu Nehri, genotoksik kirleticilerle -ağır metaller- kontamine olmakta, bu kirleticiler ise büyük oranda nehrin civarında bulunan sanayi kuruluşlarından gelen endüstriyel ve evsel atıklardan kaynaklanmaktadır (Anonim 2018f). Rezende *et al.* (2014), Brezilya’da kanalizasyon sularına maruz kalan *Oreochromis niloticus* türünde kontrol noktasına göre kirli noktadan alınan örneklerde mikroçekirdek sıklığında artış olduğunu bildirmişlerdir. Görüldüğü üzere mevcut çalışmanın sonuçları daha önce sucul ortamlarda yapılmış çalışmalarının sonuçlarıyla uyum içindedir. Çalışmada kan doku örneklerinde gözlenen mikroçekirdek ve diğer çekirdek anormallikleri dokunun alındığı canlının genotoksik etki altında olduğunu göstermekte ve balıkların alındığı istasyonların kirlilik derecesinin anlaşılmasını sağlamaktadır.

Yaptığımız çalışmada su kirliliğinin Karasu Nehri'ndeki türlere etkileri histopatolojik yöntemle de belirlenmiştir. Çalışmada incelenen türlerin dokularında (solungaç, karaciğer, böbrek, bağırsak, beyin, gonad) tespit edilen patolojik anormallikler, metal kirliliğinin üç türde de önemli hasarlara yol açtığını göstermiştir. Birçok ağır metal özellikle Hg, Pb, Cu, Zn ve As balık doku ve organları için toksiktir. Bunların aminoasit, enzim, protein ve nörolojik reseptörlere yüksek afiniteleri (birleşme eğilimi) toksik etkinin oluşmasında etkilidir. Özellikle Pb, Cu, Zn, ve As'nin yüksek konsantrasyonlarının farklı balık türlerindeki toksik etkisi birçok çalışmayla gösterilmiştir. Batı Grönland'da kirlilik gradientine göre seçilen 5 istasyonun sedimentinde ve buralardan örneklenen balıkların dokularında Hg, Pb, Cu, Zn, As, Fe, Se, Cd, Ag, Co ve Ni seviyeleri analiz edilmiş ve istasyonlara göre balıkların karaciğerindeki metallerin -Pb, As, Hg- seviyeleri farklılık göstermiştir. Metallerin etkisiyle solungaçlarda füzyon, sekonder lamellerde ödem, telangiektazi, mononükleer hücre infiltrasyonu; karaciğerde aktif melanomakrofaj merkezleri, mononükleer hücre infiltrasyonu, vakuolizasyon, nekroz, fibroz ve safra kanalında hiperplazi olduğu bildirilmiştir (Sonne *et al.* 2014). Ağır metal kirliliğinin *Chanos chanos* türünün farklı dokularındaki histolojik etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada ise Cu, Pb, Zn, Cd, Mn ve Fe metallerinin miktarları su ve sedimentte, Zn, Cd ve Fe metallerinin miktarları ise dokularda yüksek bulunmuştur. Kirli noktadan yakalanan balıkların solungaçlarında filamentlerde hücresel proliferasyon, hücrelerarası mesafede artış; karaciğerinde merkezi vende hasar ve çok sayıda vakuol oluşumu tespit edilmiştir (Rajeshkumar and Munuswamy 2011). Yine benzer bir çalışma Macaristan-Sırbistan sınırındaki Danube Koyu'nun 3 farklı sitesinde yürütülmüş, *Acipenser ruthenus* türünün solungaç, kas ve karaciğer dokuları arasında Cd, As, Pb, Cr, Hg, Cu, Ni, Fe, Mn ve Zn metallerinin en yüksek birikimi karaciğerde gözlenmiştir. Ağır metal birikimin yol açtığı lezyonlar ise solungaçta hiperplazi, hiperemi, sekonder lamellerde füzyon ve uçlarında şişlik; karaciğerde fibroz, fokal lökosit infiltrasyonu, sinüzoidlerde kanlanma, vazodilatasyon, melanomakrofajlarda artış ve nekroz olarak bildirilmiştir (Poleksic *et al.* 2010).

Çalışmamızda tespit edilen tüm histopatolojik değişiklikler nehirdeki ağır metallerin konsantrasyonu ile ilişkilendirilmiştir. Benzer şekilde farklı balık türlerinde daha önce

yapılmış çalışmalar da bunu göstermektedir. Portekiz’de su kalitesi ve solungaç patolojisi arasındaki ilişkinin araştırıldığı bir çalışmada balıklardaki (*Luciobarbus bocagei* ve *Pseudochondrostoma sp.*) histopatolojik hasarlar (ödem, lamellerde füzyon, nekroz, vazodilatasyon) nehrin kirli noktasındaki yüksek ağır metal miktarı -özellikle Zn ve Pb- ile ilişkilendirilmiştir (Fonseca *et al.* 2016). Sucul ortamda yüksek konsantrasyonda tespit edilen ağır metallerin balıklarda metabolik ve fizyolojik sistemlerde ciddi bozulmalara neden olarak patolojilere yol açtığı görülmektedir. Zimbabwe’de 3 farklı nehir boyunca farklı istasyonlardan yakalanan *Clarias gariepinus* türünün solungaç, karaciğer, kas ve böbreklerinde Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn ağır metallerinin birikimi ve etkileri araştırılmış ve balıklarda Zn ve Fe miktarı tüm dokularda, Ni solungaçlarda ve karaciğerde, Pb ise kaslarda yüksek konsantrasyonda bulunmuştur. Yüksek seviyedeki metallerin solungaçlarda füzyon ve kemikleşmeye neden olduğu ayrıca böbrekte kronik inflamasyona; karaciğerde hemosiderin depolarında ve safrada birikime neden olduğu bildirilmiştir (Barson *et al.* 2014).

Çeşitli kaynaklardan gelen atıklarla kirlenen Dünya’daki farklı nehirlerden elde edilen değişik balık türlerinde kirliliğin histopatolojik etkilerini bildiren çok sayıda araştırmada bulgularımıza benzer sonuçlar kaydedilmiştir. Rezende *et al.* (2014) Brezilya’da kanalizasyon sularına maruz kalan *Oreochromis niloticus* türünde solungaçlarda anevrizma, sekonder lamellerde kısmi füzyon; karaciğerde ise hepatositlerde vakuolizasyon, hepatik kanalda hiperemi gözlendiğini bildirmişlerdir. Nehrin kirlilik yoğunluğunun fazla olduğu istasyonlarından yakalanmış olan balıklarda patolojilerin de fazla olduğunu gösteren başka bir çalışmada, sekonder lamellerde neoplazi ve füzyon, hücrel proliferasyon ve anevrizma; karaciğerde ise nekroz, hepatositlerde yağlanma, hepatositlerde vezikül oluşumu, neoplazi bildirilmiştir (Ribeiro *et al.* 2013). Pereira *et al.* (2013), Kuzeybatı Portekiz nehirlerinden yakalanan 3 farklı yerli balık türünde (*Luciobarbus bocagei*, *Squalius carolitertii* ve *Pseudochondrostoma sp.*) benzer şekilde lameller füzyon, filament ve lameller epitelde proliferasyon, anevrizma, ödem, epitelde ayrılma, vazodilatasyon ve nekroz gözlemlemişlerdir. Bir başka çalışmada Javed *et al.* (2015), termal enerji tesislerinin atık sularının ağır metal içerdiğini ve bu atık suların suyun fizikokimyasal özelliğini etkilediğini ve sucul organizmalara zarar verdiğini

bildirmişler ve inceledikleri *Channa punctatus* türünün solungaçlarında metallerin nekroza, epitelde kopmaya, lamellar füzyona, hiperplazi ve lenfosit infiltrasyonuna yol açtığını kaydetmişlerdir.

Solungaçlar kirleticilerle çok geniş temas yüzeyi oluşturduğu için kirlilikten en fazla etkilenen organlardan biridir. Kirleticiler için ilk hedef organ olan solungaçlarda meydana gelen histopatolojik değişiklikler potansiyel biyobelirteç oluşturabildiklerinden birçok araştırmacı solungaç hasarlarını incelemiştir. Çalışmamızda da gözlenen vasküler hasarlardan olan anevrizma, solungaç dokusuna çok miktarda gelen kanın lamel epitelini dışarı doğru itmesiyle oluşur ve bu durum damarda bütünlüğün bozulduğunun bir göstergesidir (Alazemi *et al.* 1996). Lamellar epitelde hipertrofi ve hiperplazi su-kan difüzyon mesafesini yükselterek toksik ajanların absorpsiyonunu düşürür ancak tüm bu değişiklikler gaz değişimini etkileyebilir ve oksijen alınmasını azaltabilir (Fernandes *et al.* 2007). Yine lamellar füzyon ve epitelde ayrılma gibi yapısal hasarlar, solungaçların strese karşı klasik fizyolojik reaksiyonları olup çoğunlukla savunma fonksiyonlarıdır (Mallat 1985). Çalışmamızda ağır metallerle kirlenmiş alanlardan yakalanan balık türlerinde tespit edilen lezyonlar çeşitli çalışmalarda da bildirildiği gibi balıkların habitatlarında strese olduğunu göstermiştir.

Araştırmacıların yine sıklıkla inceledikleri bir diğer organ ise karaciğerdir. Balık karaciğeri hem anabolizma hem de katabolizmada görev alan dolayısıyla birçok hayati fonksiyonu kontrol eden önemli bir organdır. Görevlerinden biri de kirleticileri kandan temizlemek olan karaciğerin sucul çevre kirliliği için iyi bir indikatör olduğu bildirilmektedir (Saleh 1982). Karaciğer, detoksifikasyon süreçlerinin esas organı olduğundan toksik maddelerden haliyle en çok etkilenen organlardan biridir. Bu bağlamda çalışmamızdaki balıkların karaciğerinde tespit edilen histolojik hasarların nehrin kirliliğini ve toksisiteyi gösteren iyi bir biyobelirteç olduğu görülmüştür. Nitekim melanomakrofaj artışı toksik durumlarda oluşur ve ağır metal konsantrasyonlarını işaret eder (Poleksic *et al.* 2010). Yine konjesyon hepatik dokuya gelen kan akışının artışı olup detoksifikasyon mekanizmasının bir göstergesidir ve bu yüzden konjesyon ksenobiyotik kimyasalların varlığıyla balıkta oluşan stresin bir göstergesi olarak görülür

(Rezende *et al.* 2014). Karaciğerde biriken birçok toksik madde karaciğerde biyolojik olarak daha az zehirli maddelere dönüştürülür ve safra kesesi yardımıyla dışarı atılır. Çalışmamızda safra kanalındaki genişlemenin toksik maddelerin atılabilmesi için gerçekleşmiş ve kanalda tespit edilen histopatolojik hasarların da bu organdan toksik maddelerin uzaklaştırılamamasına bağlı olarak karaciğerde ciddi lezyonlara yol açmış olabileceğini düşündürmüştür. Mevcut çalışma metal kirliliği ile karaciğer patolojileri arasında bir korelasyon olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde çeşitli araştırmacılar da farklı nehirlerde ağır metal kirliliği ile bağlantılı olarak farklı balık türlerinin karaciğerlerinde çeşitli patolojiler bildirmişlerdir (Stentiford *et al.* 2014; Feist *et al.* 2015). Çalışmalarda ayrıca doz ve süreye bağlı olarak balıklarda artan karaciğer dejenerasyonları bildirilmiştir. Cd maruziyetinin *Oreochromis niloticus*'ta karaciğerin karakteristik yapısını bozduğu, eritrositlerde infiltrasyon, hemoraji, hepatositlerde vakuolizasyon, lökosit ve sinuzoidlerde infiltrasyona yol açtığı (Younis *et al.* 2013), metallerin *Schizothorax niger* (Heckel) türünde konjesyon, hiperplazi ve hepatositlerde dejenerasyonlara neden olduğu (Yousuf *et al.* 2012), kanalizasyon arıtma tesisleri atık sularının *Salmo trutta f. fario* türünün karaciğerinde glikojen depolarında boşalmaya, kapilerde dilatasyona, melanomakrofajlarda ve granulositlerde artışa, vakuolizasyona, parçalanmış hepatik dokuya, nükleusta balonlaşmaya, nekroz ve safra kanalında genişlemeye neden olduğu (Vincze *et al.* 2015) bildirilmiştir.

Sucul ekosistemdeki kirliliğin balıkların solungaçlarının ve karaciğerinin yanı sıra diğer dokularda da ciddi hasarlara yol açtığı yapılan çalışmalarla gösterilmiştir. Böbrek, özellikle tatlı su balıklarında solungaçlarla vücuda giren fazla miktardaki suyun atılmasını sağlar. Bu nedenle suda bulunan toksik maddeler doğrudan böbreklerde hasara neden olmaktadır. Metaller, böbrekte Faz-I ve Faz-II reaksiyonlarını engelleyerek (Förlin *et al.* 1986) çeşitli patolojilere neden olur ve böbrek uzun süre metal etkisinde zarar görür (Spry and Wiener 1991). Çalışmamızda böbrek histopatolojilerinin, su ve sediment analiz bulgularıyla da nehrin en kirli alanları olarak değerlendirilmiş istasyonlarında artış göstermesi tesadüf değildir. Jafarizadeh *et al.* (2012), İran'da 4 farklı noktadan alınan balıkların (*Hypophthalmichthys molitrix*) böbreklerinde su kalitesine bağlı olarak ödem, nekroz, ürolit, hemoraji ve dejenerasyon

gözlendiğini bildirmişlerdir. Kanalizasyon arıtma tesisleri atık sularının bırakıldığı nehirde kafeslenen balıkların böbreklerinde hematopoetik dokuda inflamasyon ve nekroz, proksimal ve distal tübüllerde dilatasyon ve protein atıkları, makrofaj infiltrasyonu, tübüler hücrelerde hipertrofi ile nekroz, vakuolizasyon, nükleusta şişme, parçalanmış ve nekrotik glomerulus, kapillerde dilatasyon, Bowman kapsülünde hasar olduğu bildirilmiştir (Vincze *et al.* 2015). Balık çiftliğinden elde edilen balıklarla yapılan bir çalışmada hiperemi, tübüllerde dejenerasyon, hemopoetik dokuda nekroz ve nefrokalsinoz görüldüğü kaydedilmiştir (Saraiva *et al.* 2015). Başka bir çalışmada Tapee Nehri'nde 3 örnekleme noktasından yakalanan balıklarda Bowman kapsülünde ve glomerulusta dilatasyon ve bazı tübül hücrelerinde nekroz gözlendiği rapor edilmiştir (Senarat *et al.* 2015). Bu noktada araştırmamızda tespit edilen böbrek patolojilerinin, biyoişaretçi olarak balıkların habitatının kirliliğini yansıttığı anlaşılmaktadır.

Organizmaya giren toksik maddelerin izlediği ana yollardan biri olan sindirim sistemi, hem doğrudan hem de besinler vasıtasıyla dolaylı maruziyet yüzeyi olarak oldukça önemlidir. Çalışmada gastrointestinal sistemde istasyonların kirlilik durumuna göre değişen oranlarda hasarlar gözlenmiştir. İncelediğimiz türlerle daha önce yapılmış deneysel çalışmalarda ağır metallerin bağırsak dokusunda hasarlara yol açtığı gösterilmiştir. Kars Çayı'ndan yakalanan *Capoeta capoeta capoeta*'da civa (II) klorür (Erdoğan 2009) ve kobalt (II) klorür (Bayram *et al.* 2010) doz artışlarıyla orantılı olarak artan bağırsak dejenerasyonları bildirilmiştir. Mevcut çalışmamızda gözlenen histopatolojik lezyonlar kuvvetle muhtemelen, bağırsak dokusunun toksik kimyasallar için önemli bir absorpsiyon yüzeyi olması ile yakından ilişkilidir. Balıklarda toksik maddeler villusların yüzeyinden kolaylıkla emilebilir ve böylece hücre membranındaki fosfolipitlerle tepkimeye girip membran geçirgenliğini artırarak bağırsakta yüzey hasarlarına yol açabilirler (Li *et al.* 2013). Toksik maddelerin bağırsakta neden olduğu epitelde parçalanma, vakuolizasyon, ülser, ödem ve nekroz oluşumu, villus hasarları, hemoraji, lamina propria lenfosit infiltrasyonu, hiperplazi, goblet hücrelerinde şişme gibi histopatolojik değişiklikler birçok balık türünde rapor edilmiştir (Önen vd 2011; Li *et al.* 2013; Kaya *et al.* 2016). Çalışmamızda da mevcut literatürü destekleyen bulgular elde edilmiştir. Maharajan *et al.* (2016) *Lates calcarifer* türünde mukus membranda

sıyrılma, villuslarda füzyon, halkasal ve boyuna kas tabakalarında hasar, vakuol oluşumu, lamina propriada balonlaşma, goblet hücrelerinde hasar, muskularis mukozada düzensizlik patolojilerinin subletal Cu dozlarına maruziyetle oluştuğunu bildirmişlerdir. Cd maruziyetinin ise *Oreochromis niloticus*'ta bağırsak dokusunda çok sayıda nükleusta dejenerasyona, apoptoza, lökositlerde inflamasyona ve kas tabakasında bozulmaya yol açtığı gösterilmiştir (Younis *et al.* 2013). İran'da su kalitesine göre farklı noktalardan alınan balıkların bağırsaklarının histometrik analizlerinde mukus tabakasındaki kalınlaşmaya bağlı olarak bağırsak tabakalarının kalınlığında önemli artış olduğu (Jafarizadeh *et al.* 2012), başka bir çalışmada ise yine su kirliliğine bağlı olarak balıkların bağırsaklarında hafif enterit görüldüğü (Saraiva *et al.* 2015) bildirilmiştir. Tebuconazole uygulanmış balıklarda ise doz artışına bağlı olarak bağırsak dokusunda nekroz ve dejenerasyonlar bildirilmiştir (Özgür 2013).

Vücudun hareketinin ve tüm fonksiyonlarının kontrol edildiği merkez olan beyinde mevcut çalışmada tespit edilen histolojik hasarlar metal kirliliğinin balıklarda nörotoksisiteye yol açabildiğini göstermiştir. Nitekim Loganathan *et al.* (2006) Zn toksisitesine maruz bırakılan *Labeo rohita* türü balıkların beyinde gözlemledikleri piramidal hücrelerde genişleme, binükleuslu çekirdek, nekroz ve yoğun vakuolizasyon patolojilerine dayanarak Zn'nin nörotoksisiteye neden olduğunu bildirmişlerdir. Beyin dokusu ile yapılan bir çalışmada Ni maruziyetinin gökkuşağı alabalıklarının beyin korteksinde demiyelinasyona ve purkinje hücrelerinde nekroza neden olduğu bildirilmiştir (Topal *et al.* 2015). Pb ve Cd subletal konsantrasyonlarının *Cyprinus carpio communis* nöronlarında dejenerasyona, piramidal hücrelerde balonlaşmaya, vakuolizasyon ve distrofik değişikliklere (Patnaik *et al.* 2011), Al'un asidik şartlarda *Salmo salar* türünün ön beynini etkileyerek davranış değişikliğine sebep olduğu bildirilmiştir (Grassie *et al.* 2013). Bose *et al.* (2013) beyinde vakuolizasyonun mikrozomal ve mitokondriyal bozukluğa neden olan glikolizis sebebiyle olabileceğini ve nissl kaybının kimyasalların nörotoksik etkisinin delili olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmalarında Cu ve Fe ağır metallerine maruz bırakılan *Catla catla* türünün beyin hücrelerinde dejenerasyon, nissl yapılarında kayıp, parankimada ve beyin hücrelerinde vakuolizasyon, piramidal hücrelerde ve aksonda şişme, atrofi, nekroz, konjesyon,

meningeal kanallarda dilatasyon ve mononükleer hücrelerde infiltrasyon bildirilmiştir. Metallerin dışında balık beyin dokusunda yapılan histopatolojik çalışmalarda herbisite maruz bırakılmış *Clarias gariepinus* türünün beyin dokusunda ödem, koyu boyanmış purkinje hücreleri, vakuolar değişiklikler ve glia hücrelerinde proliferasyon bildirilmiştir (Erhunmwunse *et al.* 2014). Chamarthi *et al.* (2014), bir çeşit pestisit *Cyprinus carpio* türünün beyinde vakuolizasyon ve nekroza yol açtığını, Mishra and Devi (2014) ise yine başka bir pestisit *Channa punctatus* türünün beyinde nöronlarda dejenerasyona, spongiyöz, kanlanma ve nekroza yol açtığını gözlemlemişlerdir. Tüm bu sonuçlar çalışmamızda tespit edilen beyinpatolojileri ile uyumludur.

Mevcut çalışmanın sonuçları balıklarda istasyonların kirlilik seviyelerindeki artışla orantılı olarak artan gonad hasarlarını göstermiştir. GSI ile gonad histopatolojileri birlikte ele alındığında metal kirliliğinin incelenen organizmaların üreme sistemini ne denli etkilediğini açıkça göstermektedir. Ülkemiz Van Gölü'nde yapılan bir çalışmada ovaryum anormallikleri kirliliğin bir sonucu olarak artan oksidatif stresle ilişkilendirilmiştir. Gölün kirli bölümünden alınan *Alburnus tarichi* balıklarının oksidatif stres biyobelirteçleri olan lipid peroksidasyon (LPO) ve glutatyon (GSH) seviyeleri ve süperoksit dismutaz (SOD), glutatyon peroksidaz (GPx) ve glutatyon-S-transferaz (GST) aktiviteleri yüksek ve gonadosomatik indis de dâhil biyometrik indisleri kirlenmemiş bölümden alınanlara göre önemli derece düşük bulunmuştur. Ovaryumlarda ayrıca atrezya, melanomakrofaj merkezlerinde artış ve ciddi fibröz bildirilmiştir (Kaptaner 2015). Balık ovaryumunda atrezya süreci normal fizyolojik bir mekanizma olarak gerçekleşebilir. Diğer yandan, atrezyanın su kirliliğine verilen önemli bir yanıt olduğu da bilinmektedir. Özellikle previtellogenik oositlerde görülen atrezya patolojik durumun önemli bir göstergesidir (Kaptaner 2015). Atrezya sürecinde görev alan granuloza hücrelerinde hiperplazi ve hipertofi ise atrezya için tipik bir bulgudur (İşisağ Üçüncü and Çakıcı 2009). Yine karaciğerde de bahsedildiği gibi yabancı materyalleri depolayan, pigment içeren melanomakrofaj merkezlerinin ovaryumdaki sayı ve boyutlarındaki artış balıkların özellikle kimyasal kirlilik gibi çevrelerindeki stres koşullarını yansıtmaktadır. Blazer (2002), ovaryumda gözlenen ciddi fibrözün ise kirlitici hasarlarına karşı kronik doku yanıtı olabileceğini bildirmiştir.

Çalışmamızda da gözlenen hasarlardan olan oositlerde ve zona radiatada histopatolojik değişimler hakkında Berois *et al.* (2011), oosit kılıflarının ve özellikle zona radiatanın sucul çevredeki değişimleri belirlemek için kullanışlı bir biyobelirteç olduğunu belirtmişlerdir. Primer oositlerde sonrasında ise gelişimin daha ileri aşamalarındaki oositlerde gözlenen zar hasarları kirliliğe karşı epiteliyal yanıt olarak değerlendirilmiştir.

Ağır metal maruziyetinin gonad histolojisine etkileri, kimyasal maruziyet temelli birçok araştırmanın konusu olmuştur. Erkek üreme sisteminin önemli parçası olan testisler iç ve dış ortam değişikliklerinden en çok etkilenen dokulardan biridir. Hormonlar, büyüme faktörlerindeki bozukluklar ya da kimyasal maddeler testiste önemli problemler oluşturabilmektedir. Ksenobiyotik metallere birisi olan cıvanın bir tür tatlı su balığı olan *Rasbora dandia* türünün olgun bireylerinin testislerinde intersitisyel dokuda proliferasyona, gonadosomatik indekste ve spermatozoa sayısında azalmaya yol açtığı dolayısıyla üreme başarısını düşürdüğü bildirilmiştir (Rajan and Kuzhivelil 2015). Feist *et al.* (2015), ağır metal ve çeşitli kirleticileri içeren koydan alınan deniz balıklarının gonadlarında çeşitli inflamasyon ve dejeneratif lezyonların gözlemlendiğini bildirmişlerdir. Hindistan'da ağır metal kirliliğinin ovaryumlara etkisinin araştırıldığı çalışmaların birinde (Ambani 2015) 2 farklı siteden yakalanan *Labeo rohita* türü, diğerinde ise (Khillare *et al.* 2017) kroma maruz bırakılmış *Channa punctatus* türü kullanılmış ve her iki çalışmada da oositlerde deformasyon ve oositlerin sayılarında azalma bildirilmiştir. Blazer *et al.* (2013) ise yapılaşmanın ve kentsel kirliliğin yoğun olduğu bölgelerden yakalanan *Perca flavescens* örneklerinde zona pellusida (radiata) anormallikleri bildirmişlerdir. Bu çalışmaların yanı sıra yine birçok kaynak bize doğal ortamlarında çeşitli kimyasal maddelerle temas halinde kalan balıkların gonadlarında ciddi değişimler olduğunu işaret etmektedir. Kanalizasyon atık sularının deşarj edildiği Baltık Denizi'nden yakalanan *Gasterosteus aculeatus* türünde testislerde dejenerasyon, lopların lümeninde sarı-kahverengi pigment birikimi, lobüler yapıda disorganizasyon, nekroz ve spermatogenezde inhibisyon; ovaryumda makrofaj kümelerinde infiltrasyon gözlenmiştir (Björkblom *et al.* 2013). Torres-Martínez *et al.* (2017) ise Meksika'da 4 farklı tatlı su balığında kirliliğin etkilerini; testislerde melanomakrofaj merkezlerinde

artış, seminifer lobların sınırlarında kaybolma ve protozoa enfeksiyonları olarak ovaryumda ise foliküler epitelde hipertrofi, folikül bazal membranında kırılma, foliküler atrezya ve interstisyel alanda proteinli sıvı birikimi olarak bildirmişlerdir. Gonadlarla ilgili tüm bu çalışmalar ve elde ettiğimiz bulgular doğrultusunda histopatolojik olarak balıklarda geri dönüşümü olmayacak şekilde meydana gelecek hasarların, ileri vadede türün üreme başarısını ve popülasyonun dengelerini değiştirebileceği rahatlıkla söylenebilir.

Karasu Nehri'nde iki yıl boyunca yürütülen çalışmamızda elde edilen bulgular, nehirde metal kirliliğinin devam ettiğini ve buradaki balık türlerinin etkilendiğini açıkça göstermektedir. Her ne kadar türler biyokimyasal, genetik ve histolojik olarak etkilenseler de nehrin kirlilik yüküne rağmen halen hayatlarını devam ettirebilmektedirler. Ancak kirliliğin bu şekilde devam etmesi halinde bu türlerin hayatta kalmasının zor olacağı aşikârdır. Gelecekte bu durumun sadece balıkları değil nehirdeki diğer canlıları da olumsuz etkileyerek türlerin sayı ve çeşitliliğinde azalmaya hatta türlerin tamamen yok olmasına yol açabileceği olasılığı ise oldukça endişe vericidir. Bu noktada söylenecek tek şey, ekolojik hayatın devamlılığı için doğal kaynaklarımız ve burada yaşayan türlerin korunmasının elzem oluşudur.

Özetle bu çalışmada, Karasu Nehri'nde seçilen 4 istasyondan aylık olarak yakalanan 3 farklı tür ile biyo-ekolojik, toksikolojik ve histolojik bir inceleme yürütülmüş, türlerin genel özellikleri ve sağlık durumlarının, nehrin kirliliğinin ve kirliliğinin balık türlerine etkilerinin belirlenmesinde aydınlatıcı sonuçlar elde edilmiştir. İncelenen türlerin bağırsak katsayısı değerleri ile solungaç, karaciğer ve böbrek dokularının yanı sıra beyin, bağırsak ve gonadlarının histopatolojileri bir bütün olarak ilk kez bu çalışmada ortaya konmuştur. Böylelikle araştırmacılara bütüncül bir bakış açısıyla akarsularımızı ve buradaki biyolojik hayatın durumunu değerlendirme olanağı sunulmuştur.

KAYNAKLAR

- Abdel-Moneim, A.M., Al-Kahtani, M.A., Elmenshawy, O.M., 2012. Histopathological biomarkers in gills and liver of *Oreochromis niloticus* from polluted wetland environments, Saudi Arabia. *Chemosphere*, 88, 1028-1035.
- Abdollahi, M., Ranjbar, A., Shadnia, S., Nikfar, S., Rezaie, A., 2004. Pesticides and oxidative stress: A review. *Medical Science Monitor.*, 10, 141-147.
- Ağcasulu Ö., 2007. Sakarya Nehri Çeltikçe Çayında yaşayan *Capoeta tinca* (Heckel, 1843)'nın dokularında ağır metal birikiminin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Türkiye.
- Akbulut, K., Zengin, U., Gönek, Ü., Bakır, M., 2008. Balıklarda yaş tayini yöntemleri ve önemi. *Erzincan Üniversitesi Aqua Club Su Ürünleri Araştırma ve Geliştirme Bilim Kulübü, Kemaliye 5. Geleneksel Su Ürünleri Bilimsel ve Kültürel Platformu (Ulusal)*, 31 Mayıs-1 Haziran 2008, Erzincan, Kemaliye.
- Akgün, M., Gül, A., Yılmaz, M., 2007. Sakarya Nehri Çeltikçe Çayı'nda yaşayan *Leuciscus cephalus* L., 1758 dokularında ağır metal birikimi. *GÜ, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 27 (2), 179-189.
- Akhan, S., Okumuş, İ., Delihasan, S.F., Koçak, N., 2010. Growth, slaughter yield and proximate composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) raised under commercial farming condition in Black Sea. *Kafkas Üniv. Vet. Fak. Derg.*, 16 (Suppl-B), 291-296.
- Akyurt, İ., Tarım, S., Yanık, T., 1990. Doğu Anadolu'nun su kaynakları ve balık yönünden değerlendirilmesi. *MPM Yay: 431, Ankara*. 41-50.
- Alaş, A., Solak, K., 2005. Balık sistematigi, Bölüm 1. Balık biyolojisi araştırma yöntemleri (Editor: M. Karataş) Nobel Yay., No: 772, Ankara. 498.
- Alazemi, B.M., Lewis, J.W., Andrews, E.B., 1996. Gill damage in the freshwater fish *Gnathonemus petersii* (Family: Mormyridae) exposed to selected pollutants: An ultrastructural study. *Environ. Technol.*, 17, 225-238.
- Al-Ghais, S.M., 2013. Acetylcholinesterase, glutathione and hepatosomatic index as potential biomarkers of sewage pollution and depuration in fish. *Marine Pollution Bulletin*, 74, 183-186.
- Aloj Totaro, E., Pisanti, F.A., Glees, P., Continillo, A., 1986. The effect of copper pollution on mitochondrial degeneration. *Mar. Environ. Res.*, 18, 145-253.
- Alp, H.H., 2005. Hiper ve hipotroidili hastalarda homosistein s-adenozilmetiyonin ve antioksidan düzeyleri. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Altındağ, 1995. Akşehir (Konya) Gölü'ndeki Tatlısu Kefali (*Leuciscus cephalus* L., 1758)'nin biyolojisi. Doktora tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Altındağ, A., Yiğit, S., 2005. Assesment of heavy metal concentrations in the food web of lake Beyşehir, Turkey. *Chemosphere*, 60, 552-556.
- Altun 2011. Büyükçekmece Gölü'nün mikrobiyolojik ve kimyasal kirlilik düzeyinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü. İstanbul.

- Al-Zaidan, A.S., Al-Sarawi, H.A., Massouda, M.S., Al-Enezi, M., Smith, A.J., Bignell, J.P., Greenc, M.J., Askem, C., Bolam, T.P.C., Barber, J.L., Bersuder, P., Lyons, B.P., 2015. Histopathology and contaminant concentrations in fish from Kuwait's marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 100, 637–645.
- Ambani, M.M., 2015. Effects of reproductive biology on heavy metal pollution on the histopathological structure of gonads in India. *Adv. Aquacult. Fish Manage.*, 2, 223-227.
- Anlaş, F.C., 2014. Amoksisilin'in alabalıklarda (*Oncorhynchus mykiss*) in vivo genotoksik aktivitesinin değerlendirilmesi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Annabi, A., Said, K., Messaoudi, I., 2015. Monitoring and assessment of environmental disturbance on natural *Gambusia affinis* populations-histopathological analysis. *Environ. Monit. Assess.*, 187, 318.
- Anonim, 2006. Milli Eğitim Bakanlığı MEGEP (Meslekî eğitim ve öğretim sisteminin güçlendirilmesi projesi), Denizcilik, Balıklar, Ankara.
- Anonim, 2016. <http://diltarihcoğrafya.blogspot.com/2016/02/su-kirliligine-sebep-olan-faktorler.html> erişim tarihi (17.02.2016).
- Anonim, 2018a. <https://www.leisurepro.com/blog/explore-the-blue/fish-identification-guide-fish-anatomy-part-ii/> Erişim tarihi (04.08.2018).
- Anonim, 2018b. <https://www.fishbase.de/summary/Capoeta-capoeta.html> Erişim tarihi (04.08.2018).
- Anonim, 2018c. <https://www.sabah.com.tr/webtv/yasam/eber-golu-tamamen-kurudu> eber gölü
- Anonim, 2018d. https://nctc.fws.gov/resources/course-resources/fish-histology/Fish_Histology_Manual_v4.pdf Erişim tarihi (01.09. 2018).
- Anonim, 2018e. <https://www.bioscience.org/2017/v9s/af/468/figures.htm> Erişim tarihi (04.08.2018).
- Anonim, 2018f. http://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/editordosya/Erzurum_icdr2016.pdf Erişim tarihi (29.10.2018).
- Arantes, A.C.M., Adam, M.L., Souza, J.R.B., Bastos, L.P., Jacobina, U.P., Torres, R.A., 2016. Frequency of fish micronuclei to diagnose aquatic environmental conditions from Brazilian megacities: a case study of Iguaçu river, Southern Brazil. *Brazilian Journal of Biosciences*, 14 (2), 111-116.
- Arslan, P., Dalgıç, M.A., Sarıçakmak, S., Sarıgil, N., Ülker, Ş., Koçak Memmi, B., 2011. Çamaşır suyu ve bulaşık deterjanının *Lepistes* (*Poecillia reticulata* Peters, 1859) balıkları üzerindeki genotoksik etkilerinin mikroçekirdek testi kullanılarak araştırılması. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 4, 29-37.
- Ataseven, Y., 2010. Tarımsal faaliyetlerin içme suyu havzalarındaki etkilerinin araştırılması: Ankara ili örneği. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Atay, D., Pulatsü, S., 2000. Su kirlenmesi ve kontrolü. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, Ankara, 15 (13), 41-42.
- Atay, Ş., 2009. Kirlenmiş su ortamının ekotoksikolojik olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.

- Authman, M.M.N., 2011. Environmental and experimental studies of aluminium toxicity on the liver of *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) fish. Life Science Journal, 8 (4), 764-776.
- Avigliano, E., Schenone, N.F., Volpedo, A.V., Goessler, W., Cirelli, A.F., 2015. Heavy metals and trace elements in muscle of silverside (*Odontesthes bonariensis*) and water from different environments (Argentina): Aquatic pollution and consumption effect approach. Science of the Total Environment, 506-507, 102-108.
- Ayandiran, T.A., Dahunsi, S.O., 2016. Toxicological assessment of fish (*Clarias gariepinus*) from bitumen-polluted River Oluwa, Nigeria. Environ. Monit. Assess., 188, 71.
- Aydoğan, Z., 2015. Erzurum ve çevresindeki sulak alanlarda yaşayan bazı sucul böcek (Hydrophilidae) türlerindeki ağır element birikimlerinin XRF analiz yöntemi ile araştırılması. Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Banihashem, E.S., Khara, H., Pajand, Z., Rahnandeh, M., 2016. Histopathological study of gill, kidney and liver of Persian Sturgeon (*Acipenser persicus* Borodin, 1897) and Stellate (*Acipenser stellatus* Pallas, 1811) exposed to sublethal concentration of un-ionised ammonia UAN. J. Parasit Dis., 40 (4), 1443-1450.
- Barišić, J., Dragun, Z., Ramani, S., Marijić, V.F., Krasnići, N., Čož-Rakovac, R., Kostov, V., Rebok, K., Jordanova, M., 2015. Evaluation of histopathological alterations in the gills of Vardar chub (*Squalius vardarensis* Karaman) as an indicator of river pollution. Ecotoxicology and Environmental Safety, 118, 158-166.
- Barson, M., Mabika, N., Cooper, R.G., Nhwatiwa, T., 2014. Histopathology and helminth parasites of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) in relation to heavy metal pollution in a subtropical river system. J. Appl. Ichthyol., 30: 923-929.
- Bayram, Y., Yılmaz, M., Ersan, Y., Koc, E., Baysal, A., 2010. Toxic effects of cobalt II chloride on tissue histopathology and serum proteins in *Capoeta capoeta capoeta* (Guldenstaedt 1772). Kafkas Univ. Vet. Fak Derg., 16 (Suppl. B):259-263.
- Becker, A.G., Gonçalves, J.F., Garcia, L.O., Behr, E.R., Graça, D.L., Filho, M.K., Martins, T., Baldisserotto, B., 2010. Morphometric parameters comparisons of the digestive tract of four teleosts with different feeding habits. Ciência Rural, Santa Maria, 40 (4), 862-866.
- Bekmezci H.D., 2010. Aşağı Seyhan Ovası drenaj sistemlerindeki kirlilik etmenlerinin *Clarias gariepinus*'da toksik etkileri. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Benli, A.Ç., 2006. Subletal amonyak konsantrasyonlarının tilapia (*Oreochromis niloticus*) ve sazan (*Cyprinus carpio*) balıklarında büyüme ve kan parametreleri ile dokulara etkisi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bernet, D., Schmidt, H., Meier, W., Brkhardt-Holm, P., Wahli, T., 1999. Histopathology in fish: Proposal for a protocol to assess aquatic pollution. J. Fish. Dis., 22, 25-34.

- Berois, N., Arezo, M.J., Papa, N.G., 2011. Gamete interactions in teleost fish: the egg envelope. Basic studies and perspectives as environmental biomonitor. *Biological Research*, 44, 119-124.
- Bervoets, L., Blust, R., 2003. Metal concentrations in water, sediment and gudgeon (*Gobio gobio*) from a pollution gradient: relationship with fish condition factor. *Environmental Pollution*, 126, 9-19.
- Bhatnagar, C., Bhatnagar, M., Regar, B.C., 2007. Fluoride-induced histopathological changes in gill, kidney, and intestine of fresh water teleost, *Labeo rohita*. *Fluoride*, 40 (1), 55-61.
- Björkblom, C., Mustamäki, N., Olsson, P., Katsiadaki, I., Wiklund, T., 2013. Assessment of reproductive biomarkers in three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) from sewage effluent recipients. *Environ. Toxicol.*, 28, 229-237.
- Blazer, V.S., 2002. Histopathological assessment of gonadal fish tissue in wild fishes. *Fish Physiology and Biochemistry*, 26, 85-101.
- Blazer, V.S., Pinkney, A.E., Jenkins, J.A., Iwanowicz, L.R., Minkinen, S., Draugelis-Dale, R.O., Uphoff, J.H., 2013. Reproductive health of yellow perch *Perca flavescens* in selected tributaries of the Chesapeake Bay. *Science of the Total Environment*, 447, 198-209.
- Bonacker, D., Stoiber, T., Böhm, K.J., Prots, I., Wang, M., Unger, E., Thier, R., Bolt, H.M., Degen, G.H., 2005. Genotoxicity of inorganic lead salts and disturbance of microtubule function. *Environ. Mol. Mutagen.*, 45 (4), 346-353.
- Bonneris, E., Giguere, A., Perceval, O., Bronfosse, T., Masson, S., Hare, L., Campbell, P.G.C., 2005. Sub-cellular partitioning of metals (Cd, Cu, Zn) in the gills of a freshwater bivalve, *Pyganodon grandis*: Role of calcium concretions in metal sequestration. *Aquat. Toxicol.*, 71, 319-334.
- Bose, M.T.J., Ilavazhahan, M., Tamilselvi, R., Viswanathan, M., 2013. Effect of heavy metals on the histopathology of gills and brain of fresh water fish *Catla catla*. *Biomed. & Pharmacol. J.*, 6 (1), 99-105.
- Bostancı, D., Polat, N., 2008. Balıkların yaş tayininde kullanılan kemiksi yapılarıdaki halka özellikleri. *Journal of Fisheries Sciences.com*, 2 (2), 107- 113.
- Bostancı, D., Polat, N., Kandemir, Ş., Yılmaz, S., 2007. Bafra Balık Gölü'nde yaşayan havuz balığı, *Carassius gibelio* (Bloch, 1782)'nın kondisyon faktörü ve boy-ağırlık ilişkisinin belirlenmesi. *SDÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 2 (2), 117-125.
- Bozkurt, M., Eren, Ü., 2009. Balıklarda lenfoid organlar. *Vet. Hekim. Der. Derg.*, 80 (2), 13-18.
- Cajaraville, M.P., Bebianno, M.J., Blasco, J., Porte, C., Sarasquete, C., Viarengo, A., 2000. The use biomarkers to assess the impact of pollution in coastal environments of the Iberian Peninsula; a practical approach. *The Science of the Total Environment*, 247, 295-311.
- Canli, M., Atli, G., 2003. The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environmental Pollution* 121, 129-136.
- Cao, X.J., Wang, W.M., Song, F., 2011. Anatomical and histological characteristics of the intestine of the topmouth culter (*Culter alburnus*). *Anatomia Histologia Embryologia*, 40, 292-298.

- Carrasco, K.R., Tilbury, K.L., Myers, M.S., 1990. An assessment of the piscine micronucleus test as an in-situ biological indicator of chemical contaminant effects. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 47 (11), 2723-2136.
- Chamarthi, R.R., Bangeppagari, M., Gooty, J.M., Mandala, S., Tirado, J.O., Marigoudar, S.R., 2014. Histopathological alterations in the gill, liver and brain of *Cyprinus carpio* on exposure to quinalphos. *American Journal of Life Sciences*, 2 (4), 211-216.
- Chattopadhyay, B., Chatterjee, A., Mukhopadhyay, S.K., 2002. Bioaccumulation of metals in the East Calcutta wetland ecosystem. *Aquatic Ecosyst. Health Manage*, 5, 191-203.
- Chaudiere, J., Ferrai-Iliou, R., 1999. Intracellular antioxidants: from chemical to biochemical mechanism. *Food and Chemical Toxicology*, 37, 949-962.
- Chavan, V.R., Muley, D.V., 2014. Effect of heavy metals on liver and gill of fish *Cirrhinus mrigala*. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 3 (5), 277-288.
- Conner, J.M., Smith, F.M.A., 1993. *Essential medical genetics*. Blackwell Scientific Publications, Fourth edition.
- Correia, A.D., Costa, K.P.R., Nott, J.A., 2002. Studies on biomarkers of copper exposure and toxicity in the marine amphipod *Gammarus locusta* (Crustacea). I. copper-containing granules within the midgut gland. *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, 82, 827-834.
- Corsi, I., Mariottini, M., Sensini, C., Lancini, L., Focardi, S., 2003. Cytochrome P450, acetylcholinesterase and gonadal histology for evaluating contaminant exposure levels in fishes from a highly eutrophic brackish ecosystem: the Orbetello Lagoon, Italy. *Marine Pollution Bulletin*, 46, 203-212.
- Couture, P., Rajotte, J.W., 2003. Morphometric and metabolic indicators of metal stress in wild yellow perch (*Perca flavescens*) from Sudbury, Ontario: a review. *J. Environ. Monit.*, 5, 216-221.
- Çalta, M., Çökmez, T., 2005. Balık taksonomisinde kullanılan morfolojik yöntemler, Bölüm 2. Balık biyolojisi araştırma yöntemleri (Editor: M. Karataş) Birinci Basım. Nobel Yayın Dağıtım, Yayın No: 772, Ankara. 498.
- Çavas, T., Könen, S., 2008. In vivo genotoxicity testing of the amnesic shellfish poison (domoic acid) in piscine erythrocytes using the micronucleus test and the comet assay. *Aquatic Toxicology*, 90 (2), 154-159.
- Çavaş, T., 2010. Genotoksik etkilerin araştırılmasında hızlı bir yöntem olarak mikroçekirdek testi ve comet testi uygulamaları. Çevre toksikolojisinde hızlı tarama testleri kursu. 03-06 Şubat, 89-105.
- Çelikkale, M.S., 1986. Balık Biyolojisi. Karadeniz Üniversitesi, Sürmene Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Yüksekokulu, Genel Yayın No:101, Yüksekokul Yayın No:1, 387 s. Trabzon.
- Çelikkale, S., 1991. Balık biyolojisi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Sürmene Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Yüksek Okulu. Fakülte Yayın No: 1-387.
- Çetinbaş, A., 2003. İzmit Körfezi'nde avlanan istavrit (*Trachurus trachurus* L., 1758) balıklarının dokularında Cu ve Zn birikiminin incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara 67s.
- Çetinkaya, O., Şen, F., Elp, M., 2005. Balıklarda büyüme ve büyüme analizleri, Bölüm 4. Balık biyolojisi araştırma yöntemleri (Editor: M. Karataş) Nobel Yay., No: 772, Ankara. 498.

- Çiçek, T., 2013. Dicle Nehri'nde yaşayan *Carassius gibelio*, *Acanthobrama marmid* ve *Alburnus mossulensis* türlerinin biyolojisi üzerine araştırmalar. Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Çilingir, Ç., Diler, İ., İlhan, İ., Gültekin, F., 2017. Gökkuşluğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) yemlerine farklı oranlarda ilave edilen kantaron yağının (*Hypericum perforatum*) büyüme performansı, bazı çevresel stres parametreleri ve antioksidan aktivitesi üzerine etkileri. Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research, 3 (3), 116-127.
- Da Rocha, C.A.M., Dos Santos, R., Bahai, M.D.O., Da Cunha, L.A., Ribeiro, H.F., Burbano, R.M.R., 2009. The micronucleus assay in fish species as an important tool for xenobiotic exposure risk assesment- a brief review and an example using neotropical fish exposed to methylmercury. Rev. Fish Sci., 17 (4), 478-484.
- Dane, H., Şişman, T., 2015. Histopathological changes in gill and liver of *Capoeta capoeta* living in the Karasu River, Erzurum. Environ. Toxicol., 30, 904-917, 2015.
- Dane, H., Şişman, T., 2017. A histopathological study on the freshwater fish species chub (*Squalius cephalus*) in the Karasu River, Turkey. Turk. J. Zool., 41, 1-11.
- Das, M., 1994. Age determination and longevity in fishes. Gerontology, 40, 70-96.
- David, M., Kartheek, R.M., 2016. In vivo studies on hepato-renal impairments in freshwater fish *Cyprinus carpio* following exposure to sublethal concentrations of sodium cyanide. Environ. Sci. Pollut. Res., 23, 722-733.
- David, R.M., 2009. Xenobiotic metabolism and markers of genotoxicity in regulatory nonvertebrate ecotoxicological test species. The University of Birmingham for the degree of Doctor Philosophy.
- Demir, N., 1992. İhtiyoloji. İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Basımevi, İstanbul, 391s.
- Demiröl, F., Gündüz, F., Yıldız, N., Kurtoğlu, M., Çoban, M.Z., Yüksel, F., 2016. Uzunçayır Baraj Gölü (Tunceli-Türkiye)'nde yaşayan tatlısu kefalı (*Squalius cephalus*)'nin bazı büyüme parametreleri. LimnoFish, 2 (2), 67-76.
- Depeledge, M.H. 1996. Genetic ecotoxicology: an overview. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 200, 57-66.
- DeVries, D.R., Frie, R.V., 1996. Determination of age and growth. Pages 483-512 (Chapter 16). In: B.R.Murphy and D.W.Willis (eds), fisheries techniques, 2nd edition. American Fisheries Society, Methesda, Maryland.
- Dias, T.S., Stein, R.J., Fialho, C.B., 2016. Ontogenetic variations and feeding habits of a Neotropical annual fish from southern Brazil. Iheringia, Série Zoologia, 107, e2017020.
- Doğan, N., Yazıcı, Z., Şişman, T., 2011. Lepistes balığının karaciğeri üzerine fenpiroksimat akarisit'i'nin biyokimyasal etkileri. BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi, 13(1), 1-8.
- Dostbil, M., 2010. Mogan Gölünde su ve sedimentte ağır metal düzeylerinin tespiti; sazan (*Cyprinus carpio*) ve kadife (*Tinca tinca*) balık dokuları üzerine etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Duffus, J.H., Howard G.J. Worth., 1996. Fundamental toxicology for chemists. Cambridge, UK : Royal Society of Chemistry Information Services, c1996.

- Dutta, H.M., 1996. A composite approach for evaluation of the effects of pesticides on fish. In: Fish Morphology, (eds) J.S.D. Munshi & H.M. Dutta. Science Publishers Inc. USA. 249 p.
- Dündar, S.P., 2010. Sazan balıklarına arsenik uygulaması sonucu biyokimyasal, histopatolojik, mikrobiyolojik ve hematolojik parametrelerde meydana gelen değişimler üzerine propolisin etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Erdoğan, B., 2009. Kars Çayı'nda yaşayan *Capoeta capoeta capoeta* (L.,1758) bireylerinin karaciğer, solungaç, bağırsak dokuları üzerine civa (II) klorürün etkisinin histopatolojik yöntemlerle incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kars, Türkiye.
- Erel, O., 2004. A novel automated method to measure total antioxidant response against potent free radical reactions. Clinical Biochemistry (Toronto), 37 (2), 112-119.
- Erer, H., 2002. Balık hastalıkları. Selçuk Üniversitesi Basımevi, 2. Baskı, Konya.
- Ergene, S., Çavas, T., Çelik, A., Köleli, N., Kaya, F., Karahan, A., 2007. Monitoring of nuclear abnormalities in peripheral erthrocytes of three fish species from Göksu delta (Turkey): genotoxic damage in relation to water pollution. Ecotoxicology, 16, 385-391.
- Ergin, C., 2012. Uzunçayır Baraj Gölü su kalitesinin biyokimyasal indikatörler kullanılarak belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tunceli.
- Erhunmwunse, N.O., Ekaye, S.A., Ainerua, M.O., Ewere, E.E., 2014. Histopathological changes in the brain tissue of Africa catfish exposure to glyphosate herbicide. J. Appl. Sci. Environ. Manage., 18 (2), 275-280.
- Feist, S.W., Stentiford, G.D., Kent, M.L., Ribeiro Santos, A., Lorange, P., 2015. Histopathological assessment of liver and gonad pathology in continental slope fish from the northeast Atlantic Ocean. Marine Environmental Research, 106, 42-50.
- Fenech, M., 2000. The in vitro micronucleus technique. Mutation Research, 455 (1-2), 81-95.
- Ferguson, H.W., 1989. Systemic pathology of fish. A text and atlas of comparative tissue responses in diseases of teleosts. Iowa, USA, 263p.
- Fernandes, C., Fontainhas-Fernandes, A., Monteiro, S.M., Salgado, M.A., 2007. Histopathological gill changes in wild leaping grey mullet (*Liza saliens*) from the Esmoriz- Paramos Coastal Lagoon, Portugal. Environ. Toxicol., 22, 443-448.
- Fernandes, D., Bebianno, M.J., Porte, C., 2008. Hepatic levels of metal and metallothioneins in two commercial fish species of the Northern Iberian shelf. Science of the Total Environment, 391, 159-167.
- Ferreira, M., Caetano, M., Antunes, P., Costa, J., Gil, O., Bandarra, N., Ferreira-Pousao, P., Vale, C., Reis-Henriques, M.A., 2010. Assessment of contaminants and biomarkers of exposure in wild and farmed seabass. Ecotoxicology and Environmental Safety, 73 (4), 579-588.
- Fonseca, A.R., Sanches Fernandes, L.F., Fontainhas-Fernandes, A., Monteiro, S.M., Pacheco, F.A.L., 2016. From catchment to fish: Impact of anthropogenic pressures on gill histopathology. Science of the Total Environment, 550, 972-986.

- Förlin, L., Haux, C., Karlsson-Norrgren, L., Runn, P., Larsson, A., 1986. Biotransformation enzyme activities and histopathology in rainbow trout, *Salmo gairdneri*, treated with cadmium. *Aquatic Toxicology*, 8 (1), 51-64.
- Gabbianelli, R., Lupidi, G., Villarini, M., Falcioni, G., 2003. DNA damage induced by copper on erythrocytes of gilthead sea bream *Sparus aurata* and mollusk *Scapharca inaequivalvis*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 45 (3), 350-356.
- Gabryelak, T., Filipiak, A., Brichon, G., 2000. Effects of zinc on lipids of erythrocytes from carp (*Cyprinus carpio* L.) acclimated to different temperatures. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 127, 335-343.
- Galindo, R.J.G., Leyva, N.R., Millan, O.A., Lazcano, G.A., 2002. Effects of pesticides on DNA and protein of shrimp larvae *Litopenaeus stylirostris* of the California Gulf. *Exotoxicol. Environ. Saf.*, 53 (2), 191-5.
- Geldiay, R., Balık, S., 2009. Türkiye tatlısu balıkları. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları No:46 VI. Baskı Bornova, İzmir, 644 s.
- Giannetto, D., La Porta, G., Maio, G., Pizzul, E., Turin, P., Lorenzoni, M., 2011. Proposed standard mass equations for European chub *Leuciscus cephalus* in Italy. *J. Fish Biol.* 78 (7), 1890-1899.
- Giltrap, M., Ronan, J., Bignell, J.P., Lyons, B.P., Collins, E., Rochford, H., McHugh, B., McGovern, E., Bull, L., Wilson, J., 2017. Integration of biological effects, fish histopathology and contaminant measurements for the assessment of fish health: A pilot application in Irish marine waters. *Mar. Environ. Res.*, 129, 113-132.
- Grassie, C., Braithwaite, V.A., Nilsson, J., Nilsen, T.O., Teien, H.C., Handeland, S.O., Stefansson, S.O., Tronci, V., Gorissen, M., Flik, G., Ebbesson, L.O.E., 2013. Aluminum exposure impacts brain plasticity and behavior in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *The Journal of Experimental Biology*, 216, 3148-3155.
- Grisolia, C.K., Rivero, C.L.G., Starling, F.L.R.M., Silva, I.C.R., Barbosa, A.C., Dorea, J.G., 2009. Profile of micronucleus frequencies and DNA damage in different species of fish in a eutrophic tropical lake. *Genet. Mol. Biol.*, 32 (1), 138-143.
- Gül, A., Yılmaz, M., Saylar, Ö., 2005. Kızılırmak Nehri Delice Irmağı'nda yaşayan *Capoeta capoeta sieboldi* (Steindachner, 1864)'nin büyüme ve üreme özellikleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 1, 7-17.
- Gürcü, B., Yıldız Ş., Başimoğlu Koca, Y., Koca, S., 2010. Investigation of histopathological and cytogenetic effects of heavy metals pollution on *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758) in the Gölarmara Lake, Turkey. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9 (4), 798-808.
- Halliwell, B., 1996. Antioxidant in human health and disease. *Annual Review of Nutrition*, 16, 33-50.
- Halliwell, B., Gutteridge, J.M.C., 1989. *Free radicals in biology and medicine*. 2.ed. Clarendon Pres, Oxford.
- Haloi, K., Kalita, M., Nath, N., 2013. The study on the histopathological changes of stomach of *Channa punctatus* (Bloch) by used pesticide endosulfan. *Global Journal of Science Frontier Research (C)*, 13 (2), 1-6.
- Hamzaoglu, E., Özuluğ, M., Tunali, Y., Erkan, M., 2015. Macroscopic and microscopic examination of seasonal gonad change in *Alburnus istanbulensis* (Battalgil, 1941) (Teleostei: Cyprinidae). *Turk. J. Fish. Aquat. Sci.*, 15, 639-646.

- Heath, A.G., 1995. Water pollution and fish physiology. Second edition. Lewis Publisher, CRC Press, Florida, U.S.A.
- Heidari, A., Mousavi, H., Khoshkholgh, M.R., Esmaeili, H.R., 2013. Morphometric and meristic characteristics of a population of *Capoeta capoeta* (Pisces: Cyprinidae) in the Sefidroud River, from the southern Caspian Sea Basin. *Aquaculture Europe 2013- Trondheim*, 237.
- Heywood, V.H., Iriondo J.M., 2003. Plant conservation: old problems, new perspectives. *Biological Conservation*, 113, 321-335.
- Hibiya, T., 1982. An atlas of fish histology. Normal and pathological features. Tokyo, Japan, 147.
- Hilmy, A.M., El-Domiaty, N.A., Daabees, A.Y., Abdel-Latife, H.A., 1987. Toxicity in *Tilapia zilli* and *Clarias lazera* (Pisces) induced by zinc seasonaly, *Comp. Biochem. Physiol.*, 86, 263-265.
- Hinton, D.E. and Lauren D.J., 1990. Integrative histopathological approaches to detecting effects of environmental stressors on fishes. *American Fisheries Society Symposium*, 8, 51-65.
- Hoyle, I., Shaw, B.J., Handy, R.D., 2007. Dietary copper exposure in the African walking catfish, *Clarias gariepinus*: Transient osmoregulatory disturbances and oxidative stress. *Aquatic Toxicology*, 83, 62-72.
- İşisağ Üçüncü, S., Çakıcı, Ö., 2009. Atresia and apoptosis in preovulatory follicles in the ovary of *Danio rerio* (zebrafish). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 9, 215-221.
- İzmirlioğulları, P., 2004. Ömerli Baraj Gölü'nde mikrobiyolojik (*E.coli*) ve kimyasal (Aluminyum, Demir, Kurşun ve Kadmiyum) kirlilik parametrelerinin saptanması. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Jafarizadeh, M., Peyghan, R., Mohammadian, B., 2012. The reports of lesions in kidney and intestine of apparently normal cultured silver carp (*Hypophthalmictys molitrix*). *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 3, 115-120.
- 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.
- Javed, M., Usmani, N., Ahmad, I., Ahmad, M., 2015. Studies on the oxidative stress and gill histopathology in *Channa punctatus* of the canal receiving heavy metal-loaded effluent of Kasimpur Thermal Power Plant. *Environ. Monit. Assess.*, 187:4179.
- Jordanova, M., Rebok, K., Dragun, Z., Ramani, S., Ivanova, L., Kostov, V., Valić, D., Krasnići, N., Marijić, V.P., Kapetanović, D., 2016. Histopathology investigation on the Vardar chub (*Squalius vardarensis*) populations captured from the rivers impacted by mining activities. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 129, 35-42.
- Jovanović, B., Mihaljev, Ž., Maletin, S., Palić, D., 2011. Assessment of heavy metal load in chub liver (Cyprinidae-*Leuciscus cephalus*) from the Nišava River (Serbia). *Biologica Nyssana*, 2 (1), 51-58.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., 2008. Metallerin çevresel etkileri-I. İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Ders Notları.

- Kakkar, P., Jaffery, F.N., 2005. Biological markers for metal toxicity. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 19, 335-349.
- Kalkan, E., Yılmaz, M., Erdemli, U., 2005. Some biological properties of the *Leuciscus cephalus* (L., 1758) population living in Karakaya Dam Lake in Malatya (Turkey). *Tr. J. Vet. Anim. Sci.*, 29, 49-58.
- Kaptaner, B., 2015. Relation between increased oxidative stress and histological abnormalities in the ovaries of *Alburnus tarichi* in Lake Van, Turkey. *Environ Monit Assess.*, 187, 702.
- Karademir, B., Koç, E., Ersan, Y., Yılmaz, M., Uslu, H., 2015. Bakır (II) sülfat toksikasyonunun fare (*Mus musculus*) karaciğer histopatolojisi, karaciğer protein elektroforezi ve plazma biyokimyası üzerine etkisi. *Van Vet. J.*, 26 (1), 25-30.
- Karakaş, H.H., Türkoğlu, H., 2005. Su ürünlerinin dünyada ve Türkiye'deki durumu. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9 (3), 21-28.
- Karaman, M.S., 1969. Sübwasserrfische der Türkei 7. Teil Revision der kleinasiatischen und Vonderasiatischen Arten des Genus *Capoeta* (*Varichorhinus*, partim), Mitt. Hamburg. Zool. Mus. Inst., 66, 17-54.
- Karamete, T., 2008. Konya katı atık depolama sahası sızıntı sularının toksisitesinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Karataş, M., 1996. Tokat yöresi Tozanlı Çayında yaşayan tatlısu kefalinin (*Leuciscus cephalus* L., 1758) kondisyon faktörü üzerine bir araştırma. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi*, 412-417.
- Karataş, M., Başusta, N., Gökçe, M.A., 2005. Balıklarda üreme, Bölüm 3. Balık biyolojisi araştırma yöntemleri (Editor: M. Karataş) Birinci Basım. Nobel Yayın Dağıtım, Yayın No: 772, Ankara. 498.
- Kardong, K.V., 2012. Vertebrates: comparative anatomy, function, evolution. Sixth edition. Washington State University, Chapter 11- 413, 764p.
- Kasprzak, S., Sunderman, W.F., Salnikow, K., 2003. Nickel carcinogenesis. *Mutat Res.*, 533 (1-2), 67-97.
- Kaya H., Aydın, F., Gürkan, M., Yılmaz, S., Ates, M., Demir, V., Arslan, Z., 2016. A comparative toxicity study between small and large size zinc oxide nanoparticles in tilapia (*Oreochromis niloticus*): Organ pathologies, osmoregulatory responses and immunological parameters. *Chemosphere*, 144, 571-582.
- Kaya, İ., Yılmaz, M., Koç, E., Deveci, H.A., Ersan, Y., Karapehlivan, M., 2014. Tebukonazol (fungisit) uygulanan *Cyprinus carpio* (L. 1758)'da serum total antioksidan, oksidan ve sialik asit düzeylerinin incelenmesi. *Journal of FisheriesSciences.com*, 8 (3), 214-219.
- Keivany, Y., Mousavi, S.M.A., Dorafshan, S., Zamani-faradonbe, M., 2016. Morphological variations of *Alburnus mossulensis* Heckel, 1843 populations in the Tigris tributaries of the Persian Gulf basin in Iran (Teleostei: Cyprinidae). *Iran. J. Ichthyol.*, 3 (3), 190-202.
- Kekilli, S., 2010. Hafik Gölü (Hafik/Sivas) tatlı su kefali, *Squalius cephalus* (L.,1758) populasyonunda gonad gelişiminin morfolojik ve histolojik analizi. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Kelly, S.A., Havrilla, C.M., Brady, T.C., Abrama, K.H., Levin, E.D., 1998. Oxidative stress in toxicology established mammalian and emerging piscine model system. *Environmental Health Perspective*, 106 (7), 375-384.

- Khillare, K., Khillare Y.K., Wagh, U., 2017. Histological changes in gonads of fresh water fishes due to heavy metal pollution. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6:7, 601-609.
- Kırankaya, Ş.G., Ekmekçi, F.G., 2007. Gelingüllü Baraj Gölü'ndeki tatlısu kefalı (*Squalius cephalus*, L., 1758)'nin büyüme özelliklerindeki değişimler. *BAÜ FBE Dergisi*, 9, 2, 125-134.
- Kıbaroğlu, A., Çakmak, B., Doğan, A., 2007. Global water policies and river basin management: reflections on water resources management in Turkey. *International Congress on River Basin Management*, 22-24 March 2007, Antalya.
- Koca, S., Koca, Y.B., Yıldız, Ş., Gürcü, B., 2008. Genotoxic and histopathological effects of water pollution on two fish species, *Barbus capito pectoralis* and *Chondrostoma nasus* in the Büyük Menderes River, Turkey. *Biological Trace Element Research*, 122, 276-291.
- Komsala, A., Migeon, B., Flammorion, P., Garric, J., 1998. Impact assessment of a wastewater treatment plant effluent using the fish biomarker Ethoxyresorufin-O Deethylase: field and on-site experiments. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 41, 19-28.
- Korkut, A.Y., Kop, A., Demirtaş, N., Cihaner, A., 2007. Balık beslemede gelişim performansının izlenme yöntemleri. *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, 24 (1-2), 201-205.
- Ku, S.K., Lee, J.H., Lee, H.S., 2004. Immunohistochemical study on the endocrine cells in the gut of the stomachless teleost, *Zacco platypus* (Cyprinidae), *Anatomia Histologia Embryologia*, 33, 212-219.
- Kurelec, B., 1993. The genotoxic disease syndrome. *Marine Environmental Research*, 35: 341-348.
- Kurt, M.A., 2010. Deliçay ve Tarsus Çayı (Mersin) arasında kalan alandaki toprak profillerinin mineralojisi, toprak ve su kirliliğinin araştırılması. Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin.
- Kurtovic, B., Teskeredzic, E., Teskeredzic, Z., 2008. Histological comparison of spleen and kidney tissue from farmed and wild European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Acta Adriatica*, 49 (2), 147-154.
- Kuru, M., 2004. Türkiye içsu balıklarının son sistematik durumu. *Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 24 (3), 1-21.
- La Via, M.F., Hill, R.B., 1971. *Principles of Pathobiology*, Oxford University Press, New York. 281p.
- Lakshmaiah, G., 2017. Brain histopathology of the fish *Cyprinus carpio* exposed to lethal concentrations of an organophosphate insecticide phorate. *International Journal of Advanced Research and Development*, 2 (5), 668-672.
- Lam, P.K.S., Gray, J.S., 2003. The use of biomarkers in environmental monitoring programmes. *Marine Pollution Bulletin*, 46, 182-186.
- Laurent, P., Perry, S.F., 1990. Effects of cortisol on gill chloride cell morphology and ionic uptake in the freshwater trout, *Salmo gairdneri*. *Cell Tissue Res*, 259, 429-442.
- Lawrence, A.J., Hemingway, K.L., 2003. Effects of pollution on fish: molecular effects and population responses. *UK*. 144-153p.

- Leblanck, G.A., Dauterman, W.C., 2001. Conguotion and elimination of toxicants, (E. Hodgson, R.C. Smart, Edts.). Introduction to biochemical toxicology. Wiley-Interscience, New York, Third Edition. 697 p.
- Lee, J., Spector, D., Godon, C., Labarre, J., Toledano, M.B., 1999. A new antioxidant with alkyl hydroperoxide defense properties in yeast. *Journal of Biological Chemistry*, 274 (8), 4537-4544.
- Lenhardt, M., Jarić, I., Cakić, P., Cvijanović, G., Gačić, Z., Kolarević, J., 2009. Seasonal changes in condition, hepatosomatic index and parasitism in sterlet (*Acipenser ruthenus* L.). *Turk. J. Vet. Anim. Sci.*, 33 (3), 209-214.
- Li, X.Y., Zeng, S.H., Zhang, W.H., Liu, L., Ma, S., Wang, J.J., 2013. Acute toxicity and superficial damage to goldfish from the ionic liquid 1-methyl-3-octylimidazolium bromide. *Environ. Toxicol.*, 28, 207-214.
- Loganathan, K., Velmurugan, B., Hongray Howrelia, J., Selvanayagam, M., Patnaik, B.B., 2006. Zinc induced histological changes in brain and liver of *Labeo rohita* (Ham.). *Journal of Environmental Biology*, 27 (1), 107-110.
- López-López, E., Sedeño-Díaz, J.E., 2015. Biological indicators of water quality: The role of fish and macroinvertebrates as indicators of water quality. In *environmental indicators*. Springer Netherlands, 643-661.
- Lulzim, Z., Majlinda, D.A., Nexhat, M.D., Dafina, H., Agron, S., 2013. Environmental pollution and relationship between total antioxidant capacity and heavy metals (Pb, Cd, Zn, Mn, and Fe) in *Solanum tuberosum* L. and *Allium cepa* L. *Human and Ecological Risk Assessment*, 19, 1618-1627.
- Luna, L.G., 1968. Manual of histological staining methods of the armed forces institutude of pathology. Third Edition, McGraw-Hill Book Company, USA, 258.
- Macit K. A., 2010. Sapanca Gölü'nün (Adapazarı) mikrobiyolojik ve kimyasal kirlilik düzeylerinin saptanması. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Maharajan, A., Rufus Kitto, M., Paruruckumani, P.S., Ganapiriya, V., 2016. Histopathology biomarker responses in Asian sea bass, *Lates calcarifer* (Bloch) exposed to copper. *The Journal of Basic & Applied Zoology*, 77, 21-30.
- Mallat, J., 1985. Fish gill structural changes induced by toxicants and other irritants: a statistical review. *Canadian J. Fish Aquat. Sci.*, 42, 630-648.
- Marcon, A.E., Ferreira, D.D.M., Moura, M.F.V., 2010. Genotoxic analysis in aquatic environment under influence of cyanobacteria, metal and radioactivity. *Chemosphere*, 81 (6), 773-780.
- Martins, T.E.P., Dos Santos, L.M.F., De Oliveira, A.C.A.X., De Machado Torres, J.P., Araújo, F.G., Delgado, I.F., Paumgarten, F.J.R. 2015. The concentrations of heavy metals and the incidence of micronucleated erythrocytes and liver EROD activity in two edible fish from the Paraíba do Sul river basin in Brazil. *Vigilância Sanitária em Debate*, 3, 88-92.
- Matsumoto, S.T., Mantovani, M.S., Malagutti, M.I.A., Dias, A.L., Fonseca, I.C. and Marin Morales, M.A., 2006. Genotoxicity and mutagenicity of water contaminated with tannery effluents ,as evaluated by the micronucleus test and comet assay using the fish *Oreochromis niloticus* and chromosome aberrations in onion root tips. *Genetics and Molecular Biology*, 29 (1), 148-158.

- Mendes, R., Cardoso, C., Pestana, C., 2009. Measurement of malondialdehyde in fish: A comparison study between HPLC methods and the traditional spectrophotometric test. *Food Chemistry*, 112: 1038-1045.
- Meyers, T.R., Hendricks, J.D., 1985. Histopathology in Fundamentals of aquatic toxicology. methods and applications, Rand, G.M. and S.R. Petrocelli, Eds., Hemisphere Publishing Corp., Washington , DC.
- Miandare, H.K., Niknejad, M., Shabani, A., Safari, R., 2016. Exposure of Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) to cadmium results in biochemical, histological and transcriptional alterations. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C* 181-182, 1-8.
- Mishra, A., Devi, Y., 2014. Histopathological alterations in the brain (optic tectum) of the freshwater teleost *Channa punctatus* in response to acute and subchronic exposure to the pesticide chlorpyrifos. *Acta Histochemica*, 116, 176-181.
- Mishra, A.K., Mohanty, B., 2008. Acute toxicity impacts of hexavalent chromium on behavior and histopathology of gill, kidney and liver of the freshwater fish, *Channa punctatus* (Bloch). *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 26, 136-141.
- Monsefrad, F., Imanpour Namin, J., Heidary, S., 2012. Concentration of heavy and toxic metals Cu, Zn, Cd, Pb and Hg in liver and muscles of *Rutilus frisii kutum* during spawning season with respect to growth parameters. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 11 (4), 825-839.
- Moraes, M.F., Freitas-Barbola, I., Duboc, L.F., 2004. Feding habits and morphometry of digestive tracts of *Geophagus brasiliensis* (Osteichthyes, Cichlidae), in a lagoon of high tibagi river, Parana State, Brazil. *Publ. UEPG Biol. Health Sci., Ponta Grossa*, 10, 37-45.
- Morcillo, P., Esteban, M.Á., Cuesta, A., 2016. Heavy metals produce toxicity, oxidative stres and apoptosis in the marine teleost fish SAF-1 cellline. *Chemosphere*, 144, 225-233.
- Morovvati, H., Mahabady, M.K., Shahbazi, S., 2012. Histomorphological and anatomical study of kidney in berzem (*Barbus pectoralis*). *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, 4 (11), 221-227.
- Mousavi-Sabet, H., Abdollahpour, S., Salehi-Farsani, A., Vatandoust, S., Langroudi, H.F., Jamalzade, H.R., Nasrollahzadeh, A., 2013. Length-weight and length-length relationships and condition factor of *Alburnus mossulensis* (Heckel, 1843) from the Persian Gulf basin. *AACL BIOFLUX*, 6 (4), 297-302.
- Nagahama, Y., 1983. The functional morphology of teleost gonads. In fish physiology (w.S. Hoar, D.J. Randall and E.M. Donaldson, eds.), Vol. IXA, Academic Pres, 223-275.
- Nagai, T., Myoda, T., Nagashima, T., 2005. Antioxidative activities of water extract and ethanol extract from field horsetail (tsukushi) *Equisetum arvense*. *Food Chemistry*, 91, 389-394.
- Newman, M.C., 2013. Ekotoksiklojinin temel ilkeleri. Palme yayıncılık, 541s, Ankara.
- Ni, D.S., Hong, X.F., 1963. Histology of the digestive tract of the grass carp, *Ctenopharyngodon idellus*. *Acta Hydrobiol. Sin.*, 3, 1-25.
- Nikolsky, G.V., 1963. The ecology of fishes. Academic Pres, London and New York, 352p.

- Omar, W.A., Zaghloul, K.H., Abdel-Khaleka, A.A., Abo-Hegab, S., 2012. Genotoxic effects of metal pollution in two fish species, *Oreochromis niloticus* and *Mugil cephalus*, from highly degraded aquatic habitats. *Mutation Research, Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 746 (1), 7-14.
- Öğmen Ö., 2004. Küçükçekmece Gölü'nde mikrobiyolojik (*E. coli*) ve kimyasal (Alüminyum, Demir, Kadmiyum ve Kurşun) Kirlilik Parametrelerinin Saptanması. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Önen, Ö., 2013. Ham petrolün suda çözünebilen kısımlarının *Poecilia sphenops* (Poeciliidae, Teleostei) solungaçlar, karaciğer ve gonadlar üzerindeki akut etkileri. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Önen, Ö., Gündüz, Ö., İşisağ Üçüncü, S., 2011. Ham petrolün suda çözünebilen kısımlarının *Pelvicachromis pulcher* (Boulenger, 1901) (Cichlidae, Teleostei) bağırsak ve karaciğeri üzerindeki etkileri. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 17 (Suppl A), 105-110.
- Özdemir, Z.K., 2014. Kocabaş Çayındaki (Çanakkale) evsel ve endüstriyel kirliliğin tatlı su kefali (*Leuciscus cephalus* L., 1758) üzerindeki etkilerinin biyomarkırlar kullanılarak araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- Özgür, E., 2013. Tebuconazole (fungisit)'nin *Cyprinus carpio* (L., 1758)'nun karaciğer, solungaç, böbrek ve bağırsak histopatolojisi üzerindeki etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kars.
- Özsoy, S., 2009. Su ve yaşam: Suyun toplumsal önemi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Özuluğ, M., Freyhof, J., 2011. Revision of the genus *Squalius* in western and central Anatolia, with description of four new species (Teleostei: Cyprinidae), *Ichthyological Exploration of Freshwaters*, 22, 107-148.
- Padrilah, S.N., Shukor, M.Y.A., Yasid, N.A., Ahmad, S.A., Sabullah, M.K., Shamaan, N.A., 2018. Toxicity effects of fish histopathology on copper accumulation. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 41 (2), 519-540.
- Parlak, H., Arslan Ö.Ç., Boyacıoğlu, M., Karaaslan, M.A., 2011. Ekotoksikoloji. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları No:79, 339 s, Bornova, İzmir.
- Parvez, S., Raisuddin, S., 2005. Protein carbonyls: novel biomarkers of exposure to oxidative stres inducing pesticides in freshwater fish *Channa punctata* (Bloch). *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 20, 112-117.
- Patnaik, B.B., Hongray Howrelia, J., Mathews, T., Selvanayagam, M., 2011. Histopathology of gill, liver, muscle and brain of *Cyprinus carpio communis* L. exposed to sublethal concentration of lead and cadmium. *African Journal of Biotechnology*, 10 (57), 12218-12223.
- Paulo, D.V., Fontes, F.M., Flores-Lopes, F., 2012. Histopathological alterations observed in the liver of *Poecilia vivipara* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) as a tool for the environmental quality assessment of the Cachoeira River, BA. *Braz. J. Biol.*, 72 (1), 131-40.
- Pereira, S., Pinto, A.L., Cortes, R., Fontainhas-Fernandes, A., Coimbra, A.M., Monteiro, S.M., 2013. Gill histopathological and oxidative stress evaluation in native fish captured in Portuguese northwestern rivers. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 90, 157-166.

- Peretti, D., Andrian, I.F., 2008. Feeding and morphological analysis of the digestive tract of four species of fish (*Astyanax altiparanae*, *Parauchenipterus galeatus*, *Serrasalmus marginatus* and *Hoplias aff. malabaricus*) from the upper Paraná River floodplain, Brazil. *Braz. J. Biol.*, 68 (3), 671-679.
- Plaa, G.L., Charbonneau, M., 2008. Chapter 29. Detection evaluation of chemically induced liver injury, in *Principles and Methods of Toxicology*, 5th Edition, Hayes, A.W., Ed., CRC/Taylor&Francis Pres, Boca Raton, FL.
- Polat A., 2009. Bir damla su. *Barın Cilt Evi*, s. 296, İstanbul.
- Poleksic, V., Lenhardt, M., Jaric, I., Djordjevic, D., Gacic, Z., Cvijanovic, G., Raskovic, B., 2010. Liver, gills, and skin histopathology and heavy metal content of the Danube sterlet (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758). *Environ. Toxicol. Chem.*, 29, 515-521.
- Poleksic, V., Mitrovic- Tutundzic, V., 1994. Fish gills as a monitor of sublethal and chronic effects of pollution. In: R. Müller and R. Lloyd, Editors, *Sublethal and Chronic Effects of Pollutants on Freshwater Fish*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 339-352p.
- Press, C.McL., Evensen, Ø., 1999. The morphology of the immune system in teleost fishes. *Fish Shellfish Immunol*, 9, 309-318.
- Privezentsev, K.V., Sirota, N.P., Gaziev, A.I., 1996. The genotoxic effects of cadmium studied in vivo. *Tsitol Genet.*, 30 (3), 45-51.
- Pyle, G.G., Rajotte, J.W., Couture, P., 2005. Effects of industrial metals on wild fish populations along a metal contamination gradient. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 61, 287-312.
- Radkhah, A., Eagderi, S., 2015. Length-weight and length-length relationships and condition factor of six cyprinid fish species from Zarrineh River (Urmia Lake basin, Iran). *Iranian Journal of Ichthyology*, 2 (1), 61-64.
- Rajan, P., Kuzhivelil, B.T., 2015. Mercury induced histopathological changes in the testis of the freshwater fish, *Rasbora dandia*. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 4:8, 252-254.
- Rajeshkumar, S., Munuswamy, N., 2011. Impact of metals on histopathology and expression of HSP 70 in different tissues of milk fish (*Chanos chanos*) of Kaattuppalli Island, South East Coast, India. *Chemosphere*, 8, 415-421.
- Ramsdorf, W.A., Ferraro, M.V.M., Oliveira-Ribeiro, C.A., Costa, J.R.M., Cestari, M.M., 2009. Genotoxic evaluation of different doses of inorganic lead (PbII) in *Hoplias malabaricus*. *Environ. Monit. Assess.*, 158, 77-85.
- Raskovic, B., Poleksic, V., Visnjic-Jeftic, Z., Skoric, S., Gacic, Z., Djikanovic, V., Jaric, I., Lenhardt, M., 2014. Use of histopathology and elemental accumulation in different organs of two benthophagous fish species as indicators of river pollution. *Environ. Toxicol.*, 30 (10), 1153-61.
- Resmi Gazete, 2015. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği. Sayı: 29327.
- Rezende, K.F.O., Santos, R.M., Borges, J.C.S., Salvo, L.M., Silva, J.R.M.C., 2014. Histopathological and genotoxic effects of pollution on Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758) in the billings reservoir (Brazil). *Toxicol Mech Methods*, Early Online: 1-8.
- Ribeiro, C.A.O., Katsumiti, A., França, P., Maschio, J., Zandoná, E., Cestari, M.M., Vicari, T., Roche, H., Assis, H.C.S., Neto, F.F., 2013. Biomarkers responses in

- fish (*Atherinella Brasiliensis*) of Paranaguá Bay, Southern Brazil, for assessment of pollutant effects. Brazilian Journal of Oceanography, 61 (1), 1-11.
- Rios, F.S., Kalinin, A.L., Fernandes, M.N., Rantin, F.T., 2004. Changes in gut gross morphology of traíra, *Hoplias malabaricus* (Teleostei, Erythrinidae) during long-term starvation and after refeeding. Braz. J. Biol., 64 (3B), 683-9.
- Roberts, R.J., 2001. Fish pathology, 3rd edition., London, 467.
- Roberts, S.D., Powell, M.D., 2003. Comparative ionic flux and gill mucous cell histochemistry: effects of salinity and disease status in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Comp. Biochem. Physiol. Part A, 134, 525-537.
- Ruiz-Picos, R., Lopez-Lopez, E., 2012. Gill and liver histopathology in *Goodea atripinnis* Jordan, related to oxidative stress in Yuriria Lake, Mexico. Int. J. Morphol., 30 (3), 1139-1149.
- Russo, C., Rocco, L., Morescalchi, M.A., Stingo, V., 2004. Assessment of environmental stress by micronucleus test and comet assay on genome of teleost populations from two natural environments. Ecotoxicol. Environ. Saf., 57 (2), 168-174.
- Rybakovas, A., Barsiene, J., Lang, T., 2009. Environmental genotoxicity and cytotoxicity in the offshore zones of the Baltic and the North Seas. Marine Environmental Research, 68, 246-256.
- Sadekarpawar, S., Parikh, P., 2013. Gonadosomatic and hepatosomatic indices of freshwater fish *Oreochromis mossambicus* in response to a plant nutrient. World Journal of Zoology, 8 (1), 110-118.
- Saeed, S.M., Shaker, I.M., 2008. Assessment of heavy metals pollution in water and sediment and their effect on *Oreochromis niloticus* in the Northern Delta Lakes, Egypt. 8. International Symposium on *Tilapia* in Aquaculture.
- Saleh, H.H., 1982. Fish liver as indicator of aquatic environmental pollution. Bull. Inst. Oceanogr. and Fish. A.R.E., 8 (1), 69-79.
- Salim, F., 2015. Histopathological effect of heavy metal on different organs of fresh water fish tissues from Garbat Ali River adjacent to Al- Najebyia Power Station. Kufa Journal For Veterinary Medical Sciences, 6, 141-153.
- Saraiva, A., Costa, J., Serrão, J., Cruz, C., Eiras, J.C., 2015. A histology-based fish health assessment of farmed seabass (*Dicentrarchus labrax* L.). Aquaculture, 448, 375-381.
- Saygın, F., 2007. Karasu Çayı (Murat Nehri-Muş) tatlısu kefalinin (*Leuciscus cephalus* Linnaeus, 1758) bazı büyüme ve üreme özellikleri üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Schlenk, D., Benson, W.H., 2001. target organ toxicity in marine and freshwater teleosts. London, UK: Taylor & Francis.
- Sen, F., Elp, M., Kankaya, E., 2008. Growth and reproduction properties of *Capoeta capoeta* (Guldenstaedt, 1772) in Zerne Dam Lake, Van, Turkey. Journal of Animal and Veterinary Advances, 7, 1267-1272.
- Sen, F., Saygin, F., 2008. Biological properties of chub (*Leuciscus cephalus* L., 1758) in Karasu Stream (Mus/Turkey). J Anim Vet Adv. 7 (8), 1034-1037.
- Senarat, S., Kettratad, J., Poolprasert, P., Yenchum, W., Jiraungkoorskul, W., 2015. Histopathological finding of liver and kidney tissues of the yellow mystus, *Hemibagrus filamentus* (Fang and Chau, 1949), from the Tapee River, Thailand. Songklanakarin J. Sci. Technol., 37 (1), 1-5.

- Serafini, M., Del Rio, D., 2004. Understanding the association between dietary antioxidants, redox status and disease: is the total antioxidant capacity the right tool?. *Redox Report*, 9 (3), 145-152.
- Shimizu, N., Itoh, H., Utiyama, H., Wahl, G.M., 1998. Selective entrapment of extrachromosomally amplified DNA by nuclear budding and micronucleation during S phase. *The Journal of Cell Biology*, 140, 1307-1320.
- Simonato, J.D., Mela, M., Doria, H.B., Guiloski, I.C., Randi, M.A.F., Carvalho, P.S.M., Meletti, P.C., Silva de Assis, H.C., Bianchini, A., Martineza, C.B.R., 2016. Biomarkers of waterborne copper exposure in the Neotropical fish *Prochilodus lineatus*. *Aquatic Toxicology*, 170, 31-41.
- Siu, S.Y.M., Lam, P.K.S., Martin, M., Caldwell, C.W., Richardson, B.J., 2008. The use of selected genotoxicity assays in green-lipped mussels (*Perna viridis*): A validation study in Hong Kong coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*, 57, 479-492.
- Solak C.N., 2009. Bazı akuatik organizmalara bağlı olarak Felent Çayı (Porsuk-Kütahya)'ndaki kirliliğin tespiti. Doktora Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
- Sonne, C., Bach, L., Søndergaard, J., Rigét, F.F., Dietz, R., Mosbech, A., Leifsson, P.S., Gustavson, K., 2014. Evaluation of the use of common sculpin (*Myoxocephalus scorpius*) organ histology as bioindicator for element exposure in the fjord of the mining area Maarmorilik, West Greenland. *Environ Res.*, 13, 304-311.
- Sönmez, A.Y., Haşiloğlu, S., Hisar, O., Aras Mehan, H.N., Kaya, H., 2013. Karasu Nehri (Türkiye) ağır metal kirliliği için su kalite sınıflandırılmasının bulanık mantık ile değerlendirilmesi. *Ekoloji*, 22, 87, 43-50.
- Sönmez, A.Y., Hisar, O., Yanık, T., 2012. Karasu Irmağında ağır metal kirliliğinin tespiti ve su kalitesine göre sınıflandırılması. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 43 (1): 69-77.
- Sönmez, A.Y., Yağanoğlu, A.M., Arslan, G., Hisar, O., 2012. Metals in two species of fish in Karasu River. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 89, 1190-1195.
- Sparks, A.K., 1972. *Intervertebrate pathology. Noncommunicable diseases*, Academic Press, Inc, New York.
- Spry, D.J. and Wiener J.G., 1991. Metal bioavailability and toxicity to fish in low-alkalinity lakes a critical review. *Environmental Pollution*, 71, 243-304.
- Squibb, S., Fowler, B.A., 1981. Relationship between metal toxicity to subcellular system and the carcinogenic response. *Environ. Health Perspec.*, 40, 181-188.
- Stentiford, G.D., Massoud, M.S., Al-Mudhhi, S., Al-Sarawi, M.A., Al-Enezi, M., Lyons, B.P., 2014. Histopathological survey of potential biomarkers for the assessment of contaminant related biological effects in species of fish and shellfish collected from Kuwait Bay, Arabian Gulf. *Marine Environmental Research*, 98, 60-67.
- Subotić, S., Spasić, S., Višnjić-Jeftić, Z., Hegediš, A., Krpo-Ćetković, J., Mićković, B., Skorić, S., Lenhardt, M., 2013. Heavy metal and trace element bioaccumulation in target tissues of four edible fish species from the Danube River (Serbia). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 98, 196-202.
- Summak, Ş., Aydemir, N., Vatan, Ö., Yılmaz, D., Zorlu, T., Bilaloğlu, R., 2010. Evaluation of genotoxicity from Nilufer Stream (Bursa/Turkey) water using piscine micronucleus test. *Food and Chemical Toxicology*, 48 (8-9), 2443-2447.

- Sweet, L.I., Passino-Reader, D.R., Meier, P.G., Omann, G.M., 1999. Xenobiotic-induced apoptosis: Significance and potential application as a general biomarker of response. *Biomarkers*, 4, 237-253.
- Şekerci İ., 2011. Van Gölü'ne dökülen Karasu (Mermit) Çayı'nın su kalite kriterlerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Şekeroğlu, V., Şekeroğlu, Z.A., 2011. Genotoksik hasarın belirlenmesinde mikroçekirdek testi. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 68 (4), 241-252.
- Şenol, N., Bayram, D., Yeşil, Ö., 2014. Farklı omurgalı türlerinde bazı sindirim kanalı bölgelerinin histolojik ve histokimyasal yapısı. *SDU Journal of Science (E-Journal)*, 9 (2), 61-70.
- Tabassum, H., Dawood, A.Q., Sharma, P., Khan, J., Raisuddin, S., Parvez, S., 2016. Multi-organ toxicological impact of fungicide propiconazole on biochemical and histological profile of freshwater fish *Channa punctata* Bloch. *Ecological Indicators*, 63, 359-365.
- Teh, S.J., Adams, S.M., Hinton, D.E., 1997. Histopathological biomarkers in freshwater fish populations exposed to different types of contaminant stress. *Aquatic Toxicology*, 37, 51-70.
- Tejeda-Vera, R., Lopez-Lopez, E., Seden-Diaz, J.E., 2007. Biomarkers and bioindicators of the health condition of *Ameca splendens* and *Goodea atripinnis* (Pisces: Goodeidae) in the Ameca River, Mexico. *Environmental International*, 33, 521-531.
- Tekatlı Ç., 2011. Yeniçağa Gölü'nde yaşayan tatlı su kefalli *Squalius cephalus* (L. 1758)'un beslenme biyolojisi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tetreault, G.R., Bennett, C.J., Shires, K., Knight, B., Servosa, M.R., McMaster, M.E., 2011. Intersex and reproductive impairment of wild fish exposed to multiple municipal wastewater discharges. *Aquatic Toxicology*, 104, 278-290.
- Tetreault, G.R., Bennetta, C.J., Cheng, Carl., Servosa, M.R., McMaster, M.E., 2012. Reproductive and histopathological effects in wild fish inhabiting an effluent-dominated stream, Wascana Creek, SK, Canada. *Aquatic Toxicology*, 110-111, 49-161.
- Timur, G., 2008. Balık anatomisi. 112, Nobel yayınevi, Ankara.
- Tomasch, R., Wager, K.H., Elmadfa, I., 2001. Antioxidative power of plant oils in humans: the influence of alpha- and gamma-tocopherol. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 45, 110-115.
- Topal, A., Atamanalp, M., Oruç, E., Halıcı, M.B., Şişecioğlu, M., Erol, H.S., Gergit, A., Yılmaz, B., 2015. Neurotoxic effects of nickel chloride in the rainbow trout brain: Assessment of c-Fos activity, antioxidant responses, acetylcholinesterase activity, and histopathological changes. *Fish Physiol. Biochem.*, 41 (3), 625-34.
- Toroğlu, E., Toroğlu, S., Alaeddinoğlu, F., 2006. Aksu Çayı'nda (Kahramanmaraş) akarsu kirliliği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 4 (1), 93-103.
- Torres-Martínez, A., Sánchez, A.J., Álvarez-Pliego, N., Hernández-Franyutti, A.A., López-Hernández, J.C., Bautista-Regil, J., 2017. Gonadal histopathology of fish from La Pólvera Urban Lagoon in the Grijalva Basin, Mexico. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 33 (4), 713-717.

- Trepel, M., Kluge, W., 2002. Ecohydrological characterisation of a degenerated valley peatland in Northern Germany for use in restoration. *Journal of Nature Conservation*, 10, 155-169.
- Turan, D., Kottelat, M., Doğan, E., 2013. Two new species of *Squalius*, *S. adanaensis* and *S. seyhanensis* (Teleostei: Cyprinidae), from the Seyhan River in Turkey. *Zootaxa*, 3637 (3), 308-324.
- Türkez, H., 2007. Bazı bor bileşiklerinin *in vitro* şartlarda periferik insan kanı üzerine genetik ve biyokimyasal etkileri. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Türkmen, M., Başusta, N., Demirhan, A.S., 2005. Balıklarda yaş tayini. Balık biyolojisi araştırma yöntemleri kitabı. Nobel Yayınları, Ankara, 121-147.
- Uçar, A., Atamanalp, M., 2008. Balıklarda toksikopatolojik lezyonlar I. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Dergisi, 39 (2), 255-261.
- Uçar, A., Atamanalp, M., 2009. Balıklarda toksikopatolojik lezyonlar II. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg., 40 (1), 95-101.
- Uçkun, A.A., Gökçe, D., 2015. Assessing age, growth, and reproduction of *Alburnus mossulensis* and *Acanthobrama marmid* (Cyprinidae) populations in Karakaya Dam Lake (Turkey). *Turk. J. Zool.*, 39, 1-14.
- Ünal, Ö.F., 2010. Yeşilırmak Nehri'nden toplanan balık ve sediment örneklerinde eser element tayini. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat, Türkiye.
- Van der Oost, R., Beyer, J., Vermeulen, N.P., 2003. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment. *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 13 (2), 57-149.
- Van Dyk, J.C., Cochrane, M.J., Wagenaar, G.M., 2012. Liver histopathology of the sharptooth catfish *Clarias gariepinus* as a biomarker of aquatic pollution. *Chemosphere*, 87, 301-311.
- Van Dyk, J.C., Pieterse, G.M., 2008. A histo-morphological study of the testis of the sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*) as reference for future toxicological assessments. *Journal of Applied Ichthyology*, 24, 415-422.
- Vincze, K., Scheil, V., Kuch, B., Köhler, H.R., Triebkorn, R., 2015. Impact of wastewater on fish health: a case study at the Neckar River (Southern Germany) using biomarkers in caged Brown trout as assessment tools. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 22, 11822-11839.
- Vural S., 2011. Azotlu gübrenin *Capoeta capoeta capoeta* (Guldensttead 1772)'nın karaciğer, bağırsak, solungaç, böbrek histopatolojisi ve serum proteinleri üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kars.
- WHO (World Health Organization), 2006. Guidelines for drinking water quality, incorporating first addendum, third ed. Geneva.
- Ward-Campbell, B.M.S., Beamish, F.W.H., Kongchaiya, C., 2005. Morphological characteristics in relation to diet in five coexisting Thai fish species. *Journal of Fish Biology*, 67 (5), 1266-1279.
- Yağdı, K., Kaçar, O., Azkan, N., 2000. Topraklarda ağır metal kirliliği ve tarımsal etkileri. OMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, Samsun, 15 (2), 109-115.
- Yang, X., Meier, J., Chang, L., Rowan, M., Baumann, P.C., 2006. DNA damage and external lesions in brown bullheads (*Ameiurus nebulosus*) from contaminated habitats. *Environ Toxicol Chem.*, 25 (11), 3035-8.

- Yardımcı, B., 2007. Nil tilapyaalarında (*Oreochromis niloticus*) deneysel *Aeromonas hydrophila* enfeksiyonundaki (bakteriyel hemorajik sepsis) patolojik bulgular. Doktora Tezi, Patoloji ABD, Ankara.
- Yayla, D., 2014. Çıldır Gölündeki sazan (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758), karabalıksiraz (*Capoeta capoeta* Güldenstadt, 1773) ve tatlısu kefalı (*Squalius turcicus* De Filippi, 1865) türlerinin bazı fenotipik özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Kars.
- Yazıcı, Z., Şişman, T., 2014. Genotoxic effects of water pollution on two fish species living in Karasu River, Erzurum, Turkey. Environ. Monit. Assess., 186, 8007-8016.
- Yazıcı, Z., Şişman, T., 2015. Karasu Nehri'ndeki su kirliliğinin *Barbus plebejus*'daki genotoksik etkileri. Yunus Araştırma Bülteni, (2), 9-16.
- Yıldırım, A., Haliloğlu, H.İ., Erdoğan, O., Türkmen, M., 2007. Some reproduction characteristics of *Chalcalburnus mossulensis* (Heckel, 1843) inhabiting the Karasu River (Erzurum, Turkey). Turkish Journal of Zoology, 31 (2), 193-200.
- Yılmaz, D., Kalay, M., Dönmez, E., Yılmaz, N., 2016. Assessment of biological effects of environmental pollution in Mersin Bay (Turkey, Northeastern Mediterranean Sea) using *Mullus barbatus* and *Liza ramada* as target organisms. Environmental Pollution, 208, 361-370.
- Yolaçan, E., 2005. Kars Çayı'ndaki *Capoeta capoeta capoeta* (Guldenstaedt, 1772)'nın büyüme ve üreme özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kars.
- Yong, R.N., 2000. Geoenvironmental engineering: Contaminated soils, pollutant fate and mitigation. CRC Press, Boca Raton, 307 p.
- Yong, R.N., Mulligan, C.N., 2004. Natural attenuation of contaminants in soils. Lewis Publications, Boca Raton, Florida, 307 p.
- Younis, E.M., Abdel-Warith, A.A., Al-Asgah, N.A., Ebaid, H., Mubarak, M., 2013. Histological changes in the liver and intestine of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, exposed to sublethal concentrations of cadmium. Pakistan J. Zool., 45 (3), 833-841.
- Yousefian, M., Keshavarz, K., Kafshkari, Y.Y., 2013. Principal components analysis of *Alburnus mossulensis* morphology. International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences, 3 (1), 160-165.
- Yousuf, R., Mir, S.H., Tanveer, S., Darzi, M.M., Mir, M.S., 2012. Metals and histopathological alterations in the liver of *Schizothorax niger*, Heckel from the Dal Lake of Kashmir Valley. J. Environ. Sci. Nat. Resour., 5, 231-237.
- Zwollo, P., Cole, S., Bromage, E., Kaattari, S., 2005. B cell heterogeneity in the teleost kidney: evidence for a maturation gradient from anterior to posterior kidney. The Journal of Immunology, 174, 6608-6616.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Erzurum’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Erzurum’da tamamladı. 2005 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi’nden 2010 yılında bölüm birincisi olarak mezun oldu. Üniversite öğrenimi sırasında Atatürk Üniversitesi’nde memur olarak çalıştı ve 2011 yılında Erzurum Pasinler Anadolu Lisesi’ne biyoloji öğretmeni olarak atandı. 2013 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Genel Biyoloji Bilim Dalı’nda yüksek lisansını ve 2018 yılında aynı bilim dalında doktora programını tamamladı. 2012 yılından beri Erzurum Atatürk Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi’nde biyoloji öğretmeni olarak çalışmaktadır.