



**T. C.**

**ORDU ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CURİ DERESİ (ORDU) SU, SEDİMENT VE *Alburnus chalcoides* TÜRÜNDE AĞIR METAL BİRİKİMİ VE GENOTOKSİK ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**GÜLŞAH KURUCU**

**DOKTORA TEZİ**

**MOLEKÜLER BİYOLOJİ VE GENETİK ANABİLİM DALI**

**ORDU 2020**

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan ve kullanılan intihal tespit programının sonuçlarına göre; bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

  
GÜLŞAH KURUCU

**Bu çalışma Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün TF-1609 numaralı projesi ile desteklenmiştir.**

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

## ÖZET

### CURİ DERESİ (ORDU) SU, SEDİMENT VE *Alburnus chalcoides* TÜRÜNDE AĞIR METAL BİRİKİMİ VE GENOTOKSİK ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

GÜLŞAH KURUCU

ORDU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MOLEKÜLER BİYOLOJİ VE GENETİK ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ, 204 SAYFA

(TEZ DANIŞMANI: Prof. Dr. Derya BOSTANCI)

Çalışmada, Curi Deresi'nde belirlenen altı farklı istasyondan, ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde alınan su, sediment ve *Alburnus chalcoides* (tatlısu kolyoz balığı) türü kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn elementlerinin konsantrasyonları belirlenmiştir. İstasyonların su ve sediment numunelerindeki element konsantrasyonlarının genotoksik etkisinin belirlenmesi amacıyla örneklenen *A. chalcoides* türünün eritrosit hücreleri kullanılarak, mikronükleus (MN) testi ve comet analizi yapılmıştır.

Curi Deresi suyunun fiziko-kimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla; sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen, iletkenlik, toplam çözülmüş madde, direnç ve tuzluluk parametrelerinin analizleri arazide yapılmış; nitrit azotu, nitrat azotu, sülfat ve fosfat değerleri de laboratuvarında ölçülmüştür. Fiziko-kimyasal parametrelerin mevsimsel değerleri her bir istasyon için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

İstasyonlardan alınan su numunelerinde tespit edilen elementlerin mevsimlere göre yıllık ortalama ağır metal konsantrasyonları Al, As ve Pb elementleri için istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur ( $P < 0.05$ ). Fe, Cu, Zn, Al ve Pb elementleri tüm mevsimlerde ve tüm istasyonlarda limit değerin üzerinde iken Ni elementi suda yalnızca sonbahar mevsiminde limit değerin üzerinde belirlenmiştir. Yıllık ortalama ağır metal konsantrasyonları istasyonlara göre değerlendirildiğinde tüm elementler için istasyonlar arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamsız bulunmuştur ( $P > 0.05$ ). Fe, Cu, Zn, Al ve Pb elementleri tüm istasyonlarda su kalite kriterlerinde belirtilen değerlerden yüksektir. Ni elementi 2., 4. ve 5. istasyonlarda limit değerin üzerinde belirlenmiştir.

İstasyonlardan alınan sediment örneklerinde Mn ve Cu elementlerinin tüm mevsimler için yer kabuğu limit değerlerinden yüksek olduğu saptanmış ancak mevsimler için ortalama ağır metal konsantrasyonları arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamsız bulunmuştur ( $P > 0.05$ ). Mn, Cu, Al, As ve Pb elementleri istasyonlara göre değerlendirildiğinde; yıllık ortalama ağır metal konsantrasyonları arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur ( $P < 0.05$ ). Mn ve Cu tüm istasyonlarda Curi Deresi sedimentinde belirtilen limit değerlerin üzerinde bulunmuştur.

Balıkların kas dokusunda araştırılan elementlerin mevsimlere göre yıllık ortalama ağır metal konsantrasyonları Al ve Mn elementlerinde anlamlı iken ( $P < 0.05$ ), Mn elementi sonbaharda, Cu elementi kış mevsiminde, Al ve Ni elementleri tüm

mevsimlerde belirtilen limit değerlerin üzerinde tespit edilmiştir. Yıllık ortalama ağır metal konsantrasyonları arasındaki fark istasyonlara göre değerlendirildiğinde yalnızca Zn elementi için konsantrasyonlar arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur ( $P<0.05$ ). Mn, Cu, ve Ni elementlerinin ortalama konsantrasyonları bazı istasyonlarda limit değerlerin üzerindeyken; Al elementinin ortalama konsantrasyonları tüm istasyonlarda limit değerlerin üzerinde tespit edilmiştir.

Balık eritrositlerinde belirlenen mikronükleus oluşumları, hücrede kromozomal bir hasarın olduğunu göstermektedir. Yapılan Mikronükleus (MN) testi sonucunda mikronükleus oluşumu, *A. chalcoides* türü için dört mevsimde de farklı frekanslarda bulunmuştur. Ortalama MN frekansları arasındaki fark mevsimsel olarak istatistiksel açıdan anlamlı iken ( $P<0.05$ ), istasyonlar arasındaki MN frekansı istatistiksel açıdan anlamsız bulunmuştur ( $P>0.05$ ). MN testinin yanı sıra comet analizi ile de DNA'da meydana gelen kırılmaların tespiti gerçekleştirilmiştir. Comet analizi ile eritrosit hücrelerindeki kuyruk boyu, kuyruktaki % DNA miktarı, baştaki % DNA miktarı, kuyruk yoğunluğu, baş yoğunluğu, ve kuyruk momenti parametrelerinin ölçümleri yapılmıştır. Tüm parametreler her istasyon ve her mevsim için ayrı ayrı hesaplanmış DNA hasarının miktarını gösteren kuyruk boyu, kuyruktaki % DNA ve kuyruk momenti değerleri; 2., 3. ve 4. istasyonlarda kış mevsiminde en yüksek değerlerde iken 5. istasyonda ilkbahar 6. istasyonda ise sonbahar mevsiminde ölçülmüştür. Comet parametreleri istasyonlar arasında değerlendirildiğinde kuyruk boyu dışındaki tüm parametreler arasındaki farkın istatistiksel açıdan anlamlı olduğu bulunmuştur ( $P<0.05$ ).

Curi Deresi'nin genotoksik potansiyeli daha önce hiçbir çalışmada değerlendirilmemiştir. Yapılan mikronükleus testi ve comet analizi sonuçları dereye konsantrasyonu belirlenen elementlerin yanı sıra, dereye etki eden birçok faktörün de etkisi ile derenin genotoksik bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Çalışma, Ordu ilinde bulunan Curi Deresi'nde yayılım gösteren *A. chalcoides* türü için yapılan ilk genotoksisite çalışmasıdır. Curi Deresi'nin genotoksisite değerlendirmesinin yapıldığı bu çalışmada, mikronükleus testi ve comet analizi sonuçları birbirini desteklemiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ağır Metal, *A. chalcoides*, Comet Analizi, Curi Deresi, DNA Hasarı, Genotoksisite, Mikronükleus Testi

## ABSTRACT

### ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN WATER, SEDIMENT AND *Alburnus chalcoides* SPECIES OF CURI STREAM (ORDU) AND INVESTIGATION OF GENOTOXIC EFFECT

GÜLŞAH KURUCU

ORDU UNIVERSITY INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED  
SCIENCES

MOLECULAR BIOLOGY AND GENETIC

PHD THESIS, 204 PAGES

(SUPERVISOR: PROF. DR. DERYA BOSTANCI)

In this study, the concentrations of Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn elements in *Alburnus chalcoides* (Danube bleak) type muscle, liver and gill, sediment, and water collected from six different stations specified in Curi Stream were determined in spring, summer, autumn and winter. Micronucleus (MN) test and comet analysis of *A. chalcoides* type in the stations' water and sediment specimens sampled to determine the genotoxic affect of the element consantrations were invastigated using erythrocyte cells.

In order to determine the physico-chemical features of Curi Stream water: Temperature, pH, dissolved oxygen, electrical conductivity, total dissolved material, resistance and salinity parameters were analyzed on site; nitrite and nitrate nitrogen, sulfate and phosphate values were also measured in a laboratory environment. The seasonal values of the physico-chemical parameters were calculated for each station.

The annual average heavy metal concentrations for Al, As and Pb elements with respect to seasons were found to be statistically significant in water specimen collected from each station ( $P < 0.05$ ). While Fe, Cu, Zn, Al ve Pb elements were above the limit in all seasons and all stations, Ni elements in water were determined to be above the limit only in autumn season. The variations in the annual average heavy metal concentrations with respect to the stations were found to be statistically insignificant ( $P > 0.05$ ). Fe, Cu, Zn, Al ve Pb elements in all the stations are higher than the water quality criteria. Ni element in the 2<sup>nd</sup>, 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> stations were determined to be higher than the limit.

Mn and Cu elements in the sediment specimens collected from the stations were recognized to be higher than the earth crust limit values for all seasons, however, the variations in the average heavy metal concentrations were found to be statistically insignificant in each season ( $P > 0.05$ ). When Mn, Cu, Al, As and Pb elements were evaluated with respect to the stations: the variations in the annual average heavy metal concentrations were found to be statistically significant ( $P < 0.05$ ). Mn and Cu in all the stations were found to be higher than the limit given in Curi Stream sediment.

While the annual average heavy metal concentrations investigated in the muscle tissue of fishes are important in Al and Mn elements with respect to the seasons ( $P < 0.05$ ), Mn element in autumn, Cu element in winter, Al and Ni elements in all

seasons are determined to be higher than the limit values. When the difference in the annual average heavy metal concentrations are evaluated with respect to the stations it for only Zn element was found to be statistically significant ( $P<0.05$ ). While the average concentrations of Mn, Cu and Ni elements are higher than the limit values in some stations; the average concentrations of Al elements in all the stations were determined to be higher than the limit values.

Micronucleus formations determined in fish erythrocytes indicates a chromosomal damage in the cell. Micronucleus formations for *A. chalcoides* type was found to be in different frequencies in each season through an MN test conducted. While the difference between the average MN frequencies with respect to seasons is statistically significant ( $P<0.05$ ) it with respect to the stations was found to be statistically insignificant ( $P>0.05$ ). Brakes in DNA were also detected through a comet analysis besides the MN test. Tail length, %DNA in tail, %DNA in head, tail density, head density and tail moment parameters were measured on the erythrocyte cells through the comet analysis. All the parameters were calculated for each station and season. Tail length representing the amount of the DNA damage, %DNA in tail and tail moment values were measured to be the highest in winter season at the 2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup>, and 4<sup>th</sup> stations while in spring at the 5<sup>th</sup> station and in autumn at the 6<sup>th</sup> station. When the comet parameters are evaluated with respect to the stations the difference in all the parameters except tail length were found to be statistically significant ( $P<0.05$ ).

Geneticist potential of Curi Stream had never been evaluated in previous studies. Micronucleus test conducted and the results from the comet analysis show that the stream has a geneticist potential due to the effects of various factors as well as the elements, which their concentrations were determined in the stream. This study is the first genotoxicity study on *A. chalcoides* type showing a spread in Curi Stream located in city of Ordu. Results from both micronucleus test and comet analysis support each other in this study where the genotoxicity evaluation of Curi Stream was investigated.

**Keywords:** Heavy Metal, *A. chalcoides*, Comet Assay, Curi Stream, DNA Damage, Genotoxicity, Micronucleus Test.

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Derya BOSTANCI'ya içten teőekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmalarımız sırasında hem balık örneklerinin teminine yardım eden hem de bizlere evini ve kalbini açan değerli balıkımız Süleyman ODABAŐI ve ailesine saygı ve minnetlerimi sunarım.

Ağır metal analizlerinin yapılması aşamasında her zaman yol gösteren, destek olan değerli hocam Doç. Dr. Tamer AKKAN'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında bana yardımcı ve destek olan arkadaşlarım Arş. Gör. Dr. Seda KONTAŞ, Arş. Gör. Dr. Serdar YEDİER ve Seval KONTAŞ YEDİER'e teőekkürü bir borç bilirim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan, desteklerini sürekli yanımda hissettiğim aileme, özellikle de sabır, anlayış ve desteklerinden ötürü eşim Öğr. Gör. Kaan KURUCU ve varlığıyla bana güç veren biricik oğlum Dağhan KURUCU'ya en içten sonsuz sevgi ve teőekkürlerimi sunarım.

Bu tez Ordu Üniversitesi BAP Birimi tarafından TF-1609 kodlu proje ile desteklenmiştir.

## İÇİNDEKİLER

|  | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| <b>TEZ BİLDİRİMİ</b> .....   | I            |
| <b>ÖZET</b> .....  | II           |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | IV           |
| <b>TEŞEKKÜR</b> .....  | VI           |
| <b>İÇİNDEKİLER</b> .....   | VII          |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....   | IX           |
| <b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....   | XI           |
| <b>SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....                                   | XV           |
| <b>1. GİRİŞ</b> .....  | 1            |
| 1.1 Ağır Metaller .....  | 3            |
| 1.1.1 Ağır Metallerin Genel Özellikleri .....                                  | 4            |
| 1.1.2 Tez Kapsamında Varlığı Araştırılan Elementler.....                       | 5            |
| 1.1.2.1 Alüminyum Elementi (Al).....   | 7            |
| 1.1.2.2 Arsenik Elementi (As).....   | 8            |
| 1.1.2.3 Bakır Elementi (Cu) .....  | 8            |
| 1.1.2.4 Çinko Elementi (Zn).....   | 9            |
| 1.1.2.5 Demir Elementi (Fe).....   | 10           |
| 1.1.2.6 Kadmiyum Elementi (Cd).....  | 10           |
| 1.1.2.7 Kobalt Elementi (Co) .....   | 11           |
| 1.1.2.8 Krom Elementi (Cr).....  | 12           |
| 1.1.2.9 Kurşun Elementi (Pb).....  | 12           |
| 1.1.2.10 Mangan Elementi (Mn) .....  | 14           |
| 1.1.2.11 Nikel (Ni).....   | 15           |
| 1.2 Genotoksisite ve Genotoksisite Araştırmalarında Kullanılan Yöntemler ..... | 15           |
| 1.2.1 Mikronükleus (MN) Testi.....   | 17           |
| 1.2.2 Comet Analizi .....  | 19           |
| <b>2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR</b> .....  | 22           |
| <b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....   | 40           |
| 3.1 Çalışma Alanı ve İstasyonlar .....   | 40           |
| 3.2 Örneklerin Toplanması.....   | 44           |
| 3.3 Laboratuvar Çalışmaları ve Analizler .....                                 | 46           |
| 3.3.1 Curi Deresi Suyunda Yapılan Analizler .....                              | 46           |
| 3.3.2 Sediment Örneklerinde Yapılan Analizler .....                            | 47           |
| 3.3.3 Balık Dokularında Yapılan Analizler.....                                 | 48           |
| 3.3.4 Ekotoksikolojik Analizler.....   | 49           |
| 3.3.4.1 Arazi Çalışmaları .....  | 50           |
| 3.3.4.2 Mikronükleus (MN) Testi.....   | 50           |
| 3.3.4.3 Comet Analizi (Tek Hücre Jel Elektroföresi).....                       | 52           |
| 3.4 İstatistiksel Analizler.....   | 57           |
| <b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA</b> .....   | 59           |
| 4.1 Suyun Genel Kimyasal ve Fiziko-Kimyasal Parametreleri.....                 | 59           |
| 4.1.1 Sıcaklık .....   | 64           |
| 4.1.2 pH .....   | 64           |
| 4.1.3 Çözünmüş Oksijen (ÇO) .....  | 65           |
| 4.1.4 Tuzluluk.....  | 66           |



|   |            |
|---|------------|
| 4.1.5 Toplam Çözünmüş Madde (TDS).....  | 66         |
| 4.1.6 İletkenlik.....   | 67         |
| 4.1.7 Direnç .....  | 68         |
| 4.1.8 Nitrit Azotu (NO <sub>2</sub> N).....   | 68         |
| 4.1.9 Nitrat Azotu (NO <sub>3</sub> N) .....  | 69         |
| 4.1.10 Sülfat (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ).....   | 70         |
| 4.1.11 Fosfat (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> ) .....  | 70         |
| 4.2 Suda Tespit Edilen Element Konsantrasyonları .....  | 78         |
| 4.3 Sedimentte Tespit Edilen Element Konsantrasyonları.....   | 90         |
| 4.4 A. <i>chalcoides</i> Türünün Dokularına Ait Verilerin Değerlendirilmesi.....  | 103        |
| 4.4.1 Örneklenen Balıkların Boy ve Ağırlık Değerleri.....   | 103        |
| 4.4.2 Balık Dokularında Belirlenen Element Konsantrasyonları .....  | 103        |
| 4.4.2.1 A. <i>chalcoides</i> Bireylerinin Organ ve Dokularındaki Esansiyel Ağır Metallerin Birikimi .....                           | 104        |
| 4.4.2.2 A. <i>chalcoides</i> Bireylerinin Organ ve Dokularındaki Esansiyel Olmayan Ağır Metallerin Birikimi .....                   | 111        |
| 4.4.2.3 A. <i>chalcoides</i> Bireylerinin Organ ve Dokularındaki Esansiyel Ağır Metallerin Mevsimlere Göre Birikimi .....           | 119        |
| 4.4.2.4 A. <i>chalcoides</i> Bireylerinin Organ ve Dokularındaki Esansiyel Olmayan Ağır Metallerin Mevsimlere Göre Birikimi .....   | 122        |
| 4.4.2.5 A. <i>chalcoides</i> Bireylerinin Organ ve Dokularındaki Esansiyel Ağır Metallerin İstasyonlara Göre Birikimi.....          | 124        |
| 4.4.2.6 A. <i>chalcoides</i> Bireylerinin Organ ve Dokularındaki Esansiyel Olmayan Ağır Metallerin İstasyonlara Göre Birikimi ..... | 128        |
| 4.5 İstasyonlardan Alınan Balık Numunelerinde Genotoksik Etkilerin İncelenmesi .....  | 132        |
| 4.6 Comet Analizi Sonuçları .....   | 148        |
| <b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>   | <b>169</b> |
| <b>6. KAYNAKLAR .....</b>   | <b>173</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>   | <b>203</b> |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|   |     |
|---|-----|
| Şekil 3.1.1 Çalışma alanında bulunan istasyonların genel görünüşü .....   | 41  |
| Şekil 3.1.2 Kurtboğaz istasyonunun genel görünüşü .....   | 41  |
| Şekil 3.1.3 Akbaba Mahallesi istasyonunun genel görünüşü.....   | 42  |
| Şekil 3.1.4 Tekkiraz-Yeni Cuma istasyonunun genel görünüşü .....  | 42  |
| Şekil 3.1.5 Yavi Mahallesi istasyonunun genel görünüşü .....  | 43  |
| Şekil 3.1.6 Göbü Mahallesi istasyonunun genel görünüşü .....  | 43  |
| Şekil 3.1.7 Akarsu Ağzı istasyonunun genel görünüşü .....   | 44  |
| Şekil 3.2.1 <i>Alburnus chalcoides</i> 'in genel görünüşü .....   | 45  |
| Şekil 3.2.2 Örneklerin analiz işlemlerinden önceki genel görünüşü .....   | 45  |
| Şekil 3.3.1.1 Curi Deresi suyunda arazide gerçekleştirilen ölçümler.....  | 46  |
| Şekil 3.3.1.2 Curi Deresi suyunda laboratuvarında gerçekleştirilen ölçümler.....  | 47  |
| Şekil 3.3.2.1 Curi Deresi sedimentinde analizden önce gerçekleştirilen aşamalar ....  | 48  |
| Şekil 3.3.4.2.1 MN incelemeleri için preparat hazırlama aşamaları .....   | 52  |
| Şekil 3.3.4.3.1 Comet incelemeleri için lamaların hazırlanması .....  | 54  |
| Şekil 3.3.4.3.2 Elektroforez aşaması .....  | 55  |
| Şekil 3.3.4.3.3 Preparatların incelenmesi.....  | 56  |
| Şekil 3.3.4.3.4 Farklı boyutlardaki comet görüntüleri.....  | 56  |
| Şekil 4.1.1.1 İstasyonlarda ölçülen su sıcaklık değerlerinin mevsimlere göre değişimi .....   | 64  |
| Şekil 4.1.2.1 İstasyonlarda ölçülen pH değerlerinin mevsimlere göre değişimi.....   | 65  |
| Şekil 4.1.3.1 İstasyonlarda ölçülen ÇO değerlerinin mevsimlere göre değişimi .....  | 65  |
| Şekil 4.1.4.1 İstasyonlarda ölçülen tuzluluk değerlerinin mevsimlere göre değişimi .....  | 66  |
| Şekil 4.1.5.1 İstasyonlarda ölçülen TDS değerlerinin mevsimlere göre değişimi .....   | 67  |
| Şekil 4.1.6.1 İstasyonlarda ölçülen iletkenlik değerlerinin mevsimlere göre değişimi .....  | 67  |
| Şekil 4.1.7.1 İstasyonlarda ölçülen direnç değerlerinin mevsimlere göre değişimi .....  | 68  |
| Şekil 4.1.8.1 İstasyonlarda ölçülen NO <sub>2</sub> -N değerlerinin mevsimlere göre değişimi .....  | 69  |
| Şekil 4.1.9.1 İstasyonlarda ölçülen NO <sub>3</sub> -N değerlerinin mevsimlere göre değişimi .....  | 69  |
| Şekil 4.1.10.1 İstasyonlarda ölçülen SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> değerlerinin mevsimlere göre değişimi .....  | 70  |
| Şekil 4.1.11.1 İstasyonlarda ölçülen PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> değerlerinin mevsimlere göre değişimi .....  | 71  |
| Şekil 4.5.1 Balıkların eritrosit hücrelerine ait genel MN preparatı görüntüsü (X100) .....  | 132 |
| Şekil 4.5.2 Balık örneklerine ait bazı preparatlarda gözlemlenen çekirdek morfolojisi değişiklikleri; Mikronükleus oluşumu (a), İkili mikronükleus oluşumu (b), Üçlü mikronükleus oluşumu (c), Dörtlü mikronükleus oluşumu (d), Beşli mikronükleus oluşumu (e) (X100) ..... | 133 |
| Şekil 4.5.3 Balık örneklerine ait preparatlarda gözlemlenen mikronükleus (MN) oluşumları (X100).....  | 134 |
| Şekil 4.5.4 <i>A. chalcoides</i> örneklerinin eritrositlerinde belirlenen mikronükleus frekanslarının 2. istasyonda mevsimsel dağılımı .....  | 135 |
| Şekil 4.5.5 <i>A. chalcoides</i> örneklerinin eritrositlerinde belirlenen mikronükleus frekanslarının 3. istasyonda mevsimsel dağılımı .....  | 136 |
| Şekil 4.5.6 <i>A. chalcoides</i> örneklerinin eritrositlerinde belirlenen mikronükleus frekanslarının 4. istasyonda mevsimsel dağılımı .....  | 136 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Şekil 4.5.7</b> <i>A. chalcoides</i> örneklerinin eritrositlerinde belirlenen mikronükleus frekanslarının 5. istasyonda mevsimsel dağılımı ..... | 137 |
| <b>Şekil 4.5.8</b> <i>A. chalcoides</i> örneklerinin eritrositlerinde belirlenen mikronükleus frekanslarının 6. istasyonda mevsimsel dağılımı ..... | 137 |
| <b>Şekil 4.5.9</b> Mevsimlere göre mikronükleus (MN) frekanslarının dağılımı .....  | 138 |
| <b>Şekil 4.5.10</b> İstasyonlara göre mikronükleus (MN) frekanslarının dağılımı .....   | 138 |
| <b>Şekil 4.6.1</b> İkinci istasyon örneklerinin yaz (a) ve kış (b) mevsimlerine ait comet görüntüleri .....   | 151 |
| <b>Şekil 4.6.2</b> Üçüncü istasyon örneklerinin kış (a), ilkbahar (b), yaz (c) ve sonbahar (d) mevsimlerine ait comet görüntüleri .....             | 153 |
| <b>Şekil 4.6.3</b> Dördüncü istasyon örneklerinin kış (a), sonbahar (b) ve ilkbahar (c) mevsimlerine ait comet görüntüleri .....                    | 156 |
| <b>Şekil 4.6.4</b> Beşinci istasyon örneklerinin ilkbahar (a), kış (b) ve sonbahar (c) mevsimlerine ait comet görüntüleri .....                     | 158 |
| <b>Şekil 4.6.5</b> Altıncı istasyon örneklerinin sonbahar (a), kış (b) ve ilkbahar (c) mevsimlerine ait comet görüntüleri .....                     | 160 |

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|  |    |
|--|----|
| <b>Çizelge 4.1.1</b> Kıtaçi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fiziko-kimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri (YSKY, 2012) .....  | 59 |
| <b>Çizelge 4.1.2</b> 1. İstasyonda Tespit Edilen Genel Kimyasal ve Fiziko-kimyasal Parametrelerin Mevsimsel Değerleri (A.D.:Aralığın Dışında) .....  | 60 |
| <b>Çizelge 4.1.3</b> 2. İstasyonda Tespit Edilen Genel Kimyasal ve Fiziko-kimyasal Parametrelerin Mevsimsel Değerleri .....  | 61 |
| <b>Çizelge 4.1.4</b> 3. İstasyonda Tespit Edilen Genel Kimyasal ve Fiziko-kimyasal Parametrelerin Mevsimsel Değerleri .....  | 61 |
| <b>Çizelge 4.1.5</b> 4. İstasyonda Tespit Edilen Genel Kimyasal ve Fiziko-kimyasal Parametrelerin Mevsimsel Değerleri .....  | 62 |
| <b>Çizelge 4.1.6</b> 5. İstasyonda Tespit Edilen Genel Kimyasal ve Fiziko-kimyasal Parametrelerin Mevsimsel Değerleri .....  | 63 |
| <b>Çizelge 4.1.7</b> 6. İstasyonda Tespit Edilen Genel Kimyasal ve Fiziko-kimyasal Parametrelerin Mevsimsel Değerleri .....  | 63 |
| <b>Çizelge 4.2.1</b> Kıtaçi Yerüstü Su Kaynakları için Belirli Kirleticiler ve Çevresel Kalite Standartları Kalite Kriterleri (YSKY, 2012; YO-ÇKS: yıllık ortalama çevresel kalite standardı; MAK-ÇKS: maksimum izin verilebilir çevresel kalite standardı) .....                              | 78 |
| <b>Çizelge 4.2.2</b> İlkbahar mevsiminde istasyonlardan alınan su numunelerinin element konsantrasyonları (*: YSKY (2012)'ye göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda; YO-ÇKS: yıllık ortalama çevresel kalite standardı; MAK-ÇKS: maksimum izin verilebilir çevresel kalite standardı) ..... | 84 |
| <b>Çizelge 4.2.3</b> Yaz mevsiminde istasyonlardan alınan su numunelerinin element konsantrasyonları (*: YSKY (2012)'ye göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda; YO-ÇKS: yıllık ortalama çevresel kalite standardı; MAK-ÇKS: maksimum izin verilebilir çevresel kalite standardı) .....      | 84 |
| <b>Çizelge 4.2.4</b> Sonbahar mevsiminde istasyonlardan alınan su numunelerinin element konsantrasyonları (*: YSKY (2012)'ye göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda; YO-ÇKS: yıllık ortalama çevresel kalite standardı; MAK-ÇKS: maksimum izin verilebilir çevresel kalite standardı) ..... | 85 |
| <b>Çizelge 4.2.5</b> Kış mevsiminde istasyonlardan alınan su numunelerinin element konsantrasyonları (*: YSKY (2012)'ye göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda; YO-ÇKS: yıllık ortalama çevresel kalite standardı; MAK-ÇKS: maksimum izin verilebilir çevresel kalite standardı) .....      | 85 |
| <b>Çizelge 4.2.6</b> Su numunelerinde tespit edilen bazı esansiyel elementlerin mevsimlere göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (*: YSKY (2012)'ye göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda; YO-ÇKS: yıllık ortalama çevresel kalite standardı) .....                               | 88 |
| <b>Çizelge 4.2.7</b> Su numunelerinde tespit edilen bazı esansiyel olmayan elementlerin mevsimlere göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (*: YSKY (2012)'ye göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda; YO-ÇKS: yıllık ortalama çevresel kalite standardı) .....                       | 88 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Çizelge 4.2.8</b> Su numunelerinde tespit edilen bazı esansiyel elementlerin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (*: YSKY (2012)'ye göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda; YO-ÇKS: yıllık ortalama çevresel kalite standardı) .....         | 89  |
| <b>Çizelge 4.2.9</b> Su numunelerinde tespit edilen bazı esansiyel olmayan elementlerin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (*: YSKY (2012)'ye göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda; YO-ÇKS: yıllık ortalama çevresel kalite standardı) ..... | 89  |
| <b>Çizelge 4.3.1</b> İlkbahar mevsiminde istasyonlardan alınan sediment numunelerinde tespit edilen elementlerin konsantrasyonları (*:Yer kabuğunda doğal olarak bulunan ortalama miktarlara göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda).....                               | 95  |
| <b>Çizelge 4.3.2</b> Yaz mevsiminde istasyonlardan alınan sediment numunelerinde tespit edilen elementlerin konsantrasyonları (*:Yer kabuğunda doğal olarak bulunan ortalama miktarlara göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda) .....                                   | 95  |
| <b>Çizelge 4.3.3</b> Sonbahar mevsiminde istasyonlardan alınan sediment numunelerinde tespit edilen elementlerin konsantrasyonları (*:Yer kabuğunda doğal olarak bulunan ortalama miktarlara göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda).....                               | 96  |
| <b>Çizelge 4.3.4</b> Kış mevsiminde istasyonlardan alınan sediment numunelerinde tespit edilen elementlerin konsantrasyonları (*:Yer kabuğunda doğal olarak bulunan ortalama miktarlara göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda) .....                                   | 96  |
| <b>Çizelge 4.3.5</b> Sediment numunelerinde tespit edilen esansiyel elementlerin mevsimlere göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (*:Yer kabuğunda doğal olarak bulunan ortalama miktarlara göre yüksek değerler) .....   | 101 |
| <b>Çizelge 4.3.6</b> Sediment numunelerinde tespit edilen esansiyel olmayan elementlerin mevsimlere göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (*:Yer kabuğunda doğal olarak bulunan ortalama miktarlara göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda).....               | 101 |
| <b>Çizelge 4.3.7</b> Sediment numunelerinde tespit edilen esansiyel elementlerin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (*:Yer kabuğunda doğal olarak bulunan ortalama miktarlara göre yüksek değerler) .....   | 102 |
| <b>Çizelge 4.3.8</b> Sediment numunelerinde tespit edilen esansiyel olmayan elementlerin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (E.M.: Eser Miktarda).....  | 102 |
| <b>Çizelge 4.4.1.1</b> <i>A. chalcoides</i> türünün mevsimlere göre boy ve ağırlık değerleri....   | 103 |
| <b>Çizelge 4.4.2.1</b> Balık kasında tespit edilen esansiyel ve esansiyel olmayan bazı elementlerin ulusal ve uluslararası standartlardaki sınır değerleri (mg/kg, yaş ağırlık).....   | 104 |
| <b>Çizelge 4.4.2.1.1</b> İlkbahar mevsiminde örneklenen <i>A. chalcoides</i> bireylerinin dokularında belirlenen esansiyel metal konsantrasyonları (*:limit değerinin üzerinde (*IAEA, 2003); E.M.: Eser Miktarda).....  | 108 |

|                          |  |     |
|--------------------------|--|-----|
| <b>Çizelge 4.4.2.1.2</b> | <i>A. chalcoides</i> bireylerinin dokularında yaz mevsiminde belirlenen esansiyel metal konsantrasyonları (*: limit değerin üzerinde (*IAEA, 2003); E.M.: Eser Miktarda) .....                                       | 108 |
| <b>Çizelge 4.4.2.1.3</b> | <i>A. chalcoides</i> bireylerinin dokularında sonbahar mevsiminde belirlenen esansiyel metal konsantrasyonları (*: limit değerin üzerinde (*IAEA, 2003); E.M.: Eser Miktarda) .....                                  | 109 |
| <b>Çizelge 4.4.2.1.4</b> | <i>A. chalcoides</i> bireylerinin dokularında kış mevsiminde belirlenen esansiyel metal konsantrasyonları (*: limit değerin üzerinde (*IAEA, 2003; **FAO, 1983); E.M.: Eser Miktarda) .....                          | 109 |
| <b>Çizelge 4.4.2.2.1</b> | <i>A. chalcoides</i> bireylerinin dokularında ilkbahar mevsiminde belirlenen esansiyel olmayan metal konsantrasyonları (*: limit değerin üzerinde (*IAEA, 2003); E.M.: Eser Miktarda) .....                          | 116 |
| <b>Çizelge 4.4.2.2.2</b> | <i>A. chalcoides</i> bireylerinin dokularında yaz mevsiminde belirlenen esansiyel olmayan metal konsantrasyonları (*: limit değerin üzerinde (*IAEA, 2003); E.M.: Eser Miktarda) .....                               | 116 |
| <b>Çizelge 4.4.2.2.3</b> | <i>A. chalcoides</i> bireylerinin dokularında sonbahar mevsiminde belirlenen esansiyel olmayan metal konsantrasyonları (*: limit değerin üzerinde (*IAEA, 2003); E.M.: Eser Miktarda) .....                          | 116 |
| <b>Çizelge 4.4.2.2.4</b> | <i>A. chalcoides</i> bireylerinin dokularında kış mevsiminde belirlenen esansiyel olmayan metal konsantrasyonları (*: limit değerin üzerinde (*IAEA, 2003); E.M.: Eser Miktarda) .....                               | 117 |
| <b>Çizelge 4.4.2.3.1</b> | <i>A. chalcoides</i> Bireylerinin Kas Dokularındaki Esansiyel Ağır Metallerin Mevsimlere Göre Birikimi (*: Çizelge 4.4.2.1’de belirtilen limit değerlerin üzerinde; E.M.: Eser Miktarda) .....                       | 120 |
| <b>Çizelge 4.4.2.3.2</b> | <i>A. chalcoides</i> Bireylerinin Karaciğer Dokularındaki Esansiyel Ağır Metallerin Mevsimlere Göre Birikimi (E.M.: Eser Miktarda) .....   | 121 |
| <b>Çizelge 4.4.2.3.3</b> | <i>A. chalcoides</i> Bireylerinin Solungaç Dokularındaki Esansiyel Ağır Metallerin Mevsimlere Göre Birikimi (E.M.: Eser Miktarda) .....  | 121 |
| <b>Çizelge 4.4.2.4.1</b> | <i>A. chalcoides</i> bireylerinin kas dokularındaki esansiyel olmayan ağır metallerin mevsimlere göre birikimi (*: Çizelge 4.4.2.1’de belirtilen limit değerlerin üzerinde; E.M.: Eser Miktarda) .....               | 122 |
| <b>Çizelge 4.4.2.4.2</b> | <i>A. chalcoides</i> bireylerinin karaciğer dokularındaki esansiyel olmayan ağır metallerin mevsimlere göre birikimi (E.M.: Eser Miktarda) .....   | 123 |
| <b>Çizelge 4.4.2.4.3</b> | <i>A. chalcoides</i> bireylerinin solungaç dokularındaki esansiyel olmayan ağır metallerin mevsimlere göre birikimi (E.M.: Eser Miktarda) .....  | 124 |
| <b>Çizelge 4.4.2.5.1</b> | Kas dokusunda tespit edilen bazı esansiyel ağır metallerin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (*: Çizelge 4.4.2.1’de belirtilen limit değerlerin üzerinde; E.M.: Eser Miktarda) ...         | 126 |
| <b>Çizelge 4.4.2.5.2</b> | Karaciğer dokusunda tespit edilen bazı esansiyel ağır metallerin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (E.M.:Eser Miktarda).....   | 126 |
| <b>Çizelge 4.4.2.5.3</b> | Solungaç dokusunda tespit edilen bazı esansiyel ağır metallerin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (E.M.: Eser Miktarda).....   | 127 |
| <b>Çizelge 4.4.2.6.1</b> | Kas dokusunda tespit edilen bazı esansiyel olmayan ağır metallerin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (*: Çizelge 4.4.2.1’de belirtilen limit değerlerin üzerinde; E.M.: Eser Miktarda) ... | 130 |

|  |     |
|--|-----|
| Çizelge 4.4.2.6.2 Karaciğerlerde tespit edilen bazı esansiyel olmayan ağır metallerin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (E.M.: Eser Miktarda)..... | 130 |
| Çizelge 4.4.2.6.3 Solungaçlarda tespit edilen bazı esansiyel olmayan ağır metallerin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (E.M.: Eser Miktarda).....  | 131 |
| Çizelge 4.5.1 A. <i>chalcoides</i> türünün eritrositlerinde tespit edilen MN frekanslarının (%) mevsimlere göre değişimi.....  | 135 |
| Çizelge 4.5.2 İstasyonlardan örneklenen bireylerin eritrositlerinde tespit edilen ortalama MN frekanslarının mevsimlere göre değişimi .....                                  | 139 |
| Çizelge 4.5.3 Mevsimsel örneklenen bireylerin eritrositlerinde tespit edilen ortalama MN frekanslarının istasyonlara göre değişimi .....                                     | 139 |
| Çizelge 4.5.4 İkinci istasyon suyunda konsantrasyonu yüksek tespit edilen bazı elementlerin mevsimsel ortalama ağır metal konsantrasyonları ve MN frekansları.....           | 140 |
| Çizelge 4.5.5 Üçüncü istasyon suyunda konsantrasyonu yüksek tespit edilen bazı elementlerin mevsimsel ortalama ağır metal konsantrasyonları ve MN frekansları.....           | 141 |
| Çizelge 4.5.6 Dördüncü istasyon suyunda konsantrasyonu yüksek tespit edilen bazı elementlerin mevsimsel ortalama ağır metal konsantrasyonları ve MN frekansları.....         | 142 |
| Çizelge 4.5.7 Beşinci istasyon suyunda konsantrasyonu yüksek tespit edilen bazı elementlerin mevsimsel ortalama ağır metal konsantrasyonları ve MN frekansları.....          | 143 |
| Çizelge 4.5.8 Altıncı istasyon suyunda konsantrasyonu yüksek tespit edilen bazı elementlerin mevsimsel ortalama ağır metal konsantrasyonları ve MN frekansları.....          | 144 |
| Çizelge 4.6.1 İkinci istasyondan örneklenen A. <i>chalcoides</i> bireylerinde belirlenen comet parametrelerinin değerleri.....   | 150 |
| Çizelge 4.6.2 Üçüncü istasyondan örneklenen A. <i>chalcoides</i> bireylerinde belirlenen comet parametrelerinin değerleri.....   | 151 |
| Çizelge 4.6.3 Dördüncü istasyondan örneklenen A. <i>chalcoides</i> bireylerinde belirlenen comet parametrelerinin değerleri.....   | 154 |
| Çizelge 4.6.4 Beşinci istasyondan örneklenen A. <i>chalcoides</i> bireylerinde belirlenen comet parametrelerinin değerleri.....  | 157 |
| Çizelge 4.6.5 Altıncı istasyondan örneklenen A. <i>chalcoides</i> bireylerinde belirlenen comet parametrelerinin değerleri.....  | 159 |
| Çizelge 4.6.6 Hesaplanan comet parametrelerinin yıllık ortalama değerleri.....   | 161 |
| Çizelge 4.6.7 İkinci istasyonun parametrelerine ait sonuçlar (*sınır değerlerin üzerinde).....   | 164 |
| Çizelge 4.6.8 Üçüncü istasyonun parametrelerine ait sonuçlar (*sınır değerlerin üzerinde).....   | 165 |
| Çizelge 4.6.9 Dördüncü istasyonun parametrelerine ait sonuçlar (*sınır değerlerin üzerinde).....   | 166 |
| Çizelge 4.6.10 Beşinci istasyonun parametrelerine ait sonuçlar (*sınır değerlerin üzerinde).....   | 167 |
| Çizelge 4.6.11 Altıncı istasyonun parametrelerine ait sonuçlar (*sınır değerlerin üzerinde).....   | 168 |

## SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

---

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>A.D.</b>             | : Aralığın Dışında                                      |
| <b>Ag</b>               | : Gümüş   |
| <b><math>A_h</math></b> | : Tüm piksel baş yoğunluğu                              |
| <b>Al</b>               | : Alüminyum   |
| <b>As</b>               | : Arsenik   |
| <b><math>A_t</math></b> | : Tüm piksel kuyruk yoğunluğu                           |
| <b>ATSDR</b>            | : Agency for Toxic Substances and Disease Registry      |
| <b>B</b>                | : Bor   |
| <b>Cd</b>               | : Kadmiyum  |
| <b>cm</b>               | : Santimetre  |
| <b>cm<sup>3</sup></b>   | : Santimetre küp  |
| <b>Co</b>               | : Kobalt  |
| <b>Cr</b>               | : Krom  |
| <b>Cu</b>               | : Bakır   |
| <b>ÇO</b>               | : Çözünmüş Oksijen                                      |
| <b>DMSO</b>             | : Dimetil Sülfoksit                                     |
| <b>EC</b>               | : European Commission                                   |
| <b>EDTA</b>             | : Etilendiamin tetraasetik asit                         |
| <b>E.M.</b>             | : Eser miktarda   |
| <b>FAO</b>              | : Food and Agriculture Organization                     |
| <b>Fe</b>               | : Demir   |
| <b>g</b>                | : Gram  |
| <b>HCl</b>              | : Hidroklorik asit                                      |
| <b>Hg</b>               | : Cıva  |
| <b>HNO<sub>3</sub></b>  | : Nitrik asit   |
| <b>IAEA</b>             | : International Atomic Energy Agency                    |
| <b>ICP-OES</b>          | : İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektroskopisi |
| <b><math>I_c</math></b> | : Toplam comet yoğunluğu                                |
| <b><math>I_h</math></b> | : Toplam comet başı yoğunluğu                           |
| <b><math>I_t</math></b> | : Toplam comet kuyruğu yoğunluğu                        |
| <b>kg</b>               | : Kilogram  |
| <b>km<sup>2</sup></b>   | : Kilometre kare  |
| <b>km</b>               | : Kilometre   |
| <b>kΩ.cm</b>            | : Kiloohm.santimetre                                    |
| <b>L</b>                | : Litre   |
| <b>LMPA</b>             | : Low Melting Point Agarose                             |
| <b><math>L_c</math></b> | : Tüm comet boyu  |
| <b><math>L_h</math></b> | : Comet başı uzunluğu                                   |
| <b><math>L_t</math></b> | : Comet kuyruk uzunluğu                                 |
| <b>m<sup>3</sup></b>    | : Metreküp  |
| <b>M</b>                | : Molar   |
| <b>mA</b>               | : Miliamper   |
| <b>Maks.</b>            | : Maksimum  |
| <b>Mg</b>               | : Magnezyum   |

---



---

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| <b>mg</b>                          | : Miligram                                 |
| <b>Min.</b>                        | : Minimum                                  |
| <b>mL</b>                          | : Mililitre                                |
| <b>mM</b>                          | : Milimolar                                |
| <b>Mn</b>                          | : Mangan                                   |
| <b><math>M_t</math></b>            | : Kuyruk Momenti                           |
| <b>MN</b>                          | : Mikronükleus                             |
| <b>Mo</b>                          | : Molibden                                 |
| <b>N</b>                           | : Normal                                   |
| <b>NaCl</b>                        | : Sodyum Klorür                            |
| <b>NaOH</b>                        | : Sodyum Hidroksit                         |
| <b>Ni</b>                          | : Nikel                                    |
| <b>NMPA</b>                        | : Normal Melting Point Agarose             |
| <b>Ort.</b>                        | : Ortalama                                 |
| <b>Pb</b>                          | : Kurşun                                   |
| <b>PBS</b>                         | : Phosphate Buffered Saline                |
| <b><math>Q_{max100}</math></b>     | : 100 yıl frekanslı taşkın pik debisi      |
| <b><math>Q_{max500}</math></b>     | : 500 yıl frekanslı taşkın pik debisi      |
| <b>Se</b>                          | : Selenyum                                 |
| <b>SS</b>                          | : Standart Sapma                           |
| <b>SH</b>                          | : Standart Hata                            |
| <b>TDS</b>                         | : Toplam Çözünmüş Madde                    |
| <b>U</b>                           | : Uranyum                                  |
| <b>V</b>                           | : Volt                                     |
| <b>ppb</b>                         | : Parts per billion                        |
| <b>ppm</b>                         | : Parts per million                        |
| <b>WHO</b>                         | : World Health Organization                |
| <b>Zn</b>                          | : Çinko                                    |
| <b><math>\mu\text{g}</math></b>    | : Mikrogram                                |
| <b><math>\mu\text{l}</math></b>    | : Ortalama comet kuyruğu ve başı yoğunluğu |
| <b><math>\mu\text{m}</math></b>    | : Mikrometre                               |
| <b><math>\mu\text{M}</math></b>    | : Mikromolar                               |
| <b><math>\mu\text{L}</math></b>    | : Mikrolitre                               |
| <b><math>\mu\text{S/cm}</math></b> | : Mikrosiemens / Santimetre                |
| <b>%DNA<sub>H</sub></b>            | : Baştaki DNA yüzdesi                      |
| <b>%DNA<sub>T</sub></b>            | : Kuyruktaki DNA yüzdesi                   |
| <b>%</b>                           | : Yüzde                                    |
| <b>‰</b>                           | : Binde                                    |
| <b>&gt;</b>                        | : Büyük                                    |
| <b>≥</b>                           | : Büyük eşit                               |
| <b>&lt;</b>                        | : Küçük                                    |
| <b>±</b>                           | : Artı-eksi                                |
| <b>°C</b>                          | : Santigrat derece                         |

---

## 1. GİRİŞ

Her canlı hem yaşadığı çevreden etkilenir hem de yaşam faaliyetiyle çevresini etkiler ve değişikliğe uğratar. Diğer yandan, ekosistemlere sürekli olarak zehirli maddeler de katılır. Bunların bir kısmı insan aktivitelerinden bir kısmı da doğadan kaynaklanır (Köse, 2007). Nüfus artışıdaki hıza bağlı olarak artan çevre kirliliği, kentsel yaşamın başlamasıyla ortaya çıkmıştır. Endüstriyel gelişmeye bağlı olarak daha da artmıştır. Yaşam kaynaklarının kirlenmesine neden olan çevre kirliliği sonucunda ekosistemlerdeki bozulmalar ciddi boyutlara ulaşmıştır (Çalışkan, 2005; Köse, 2007). Çevre kirliliği denildiğinde akla su, toprak ve hava kirlenmesi gelmektedir. Havadaki ve topraktaki kirleticiler de son olarak su ortamına ulaşmakta ve su kirliliğine neden olmaktadır. Çünkü havaya ve toprağa bırakılan kirleticiler buldukları bölgelerden; sel, yağmur gibi yollarla yeraltı ve yerüstü sularına karışarak kirlenmeye yol açmaktadır (Karadede, 1997; Köse, 2007).

Çevre sorunlarının en başında su kirliliği gelmektedir. Su kaynaklarının tükenmesi ve kirlenmesi ekonomik, sosyolojik ve ekolojik bakımdan ciddi sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bunlar genel olarak, sucul ekosistemde ekolojik dengenin bozulması, besin maddesi üretiminin azalması, hastalıkların artması, politik ve sosyal istikrarın sarsılması olarak sıralanabilir (Köse, 2007). Günümüzde endüstri, içme, kullanma ve su canlıları için yeterli, uygun ve kaliteli su temini önem kazanmıştır. Amaca uygun su kaynakları bulmakta zorluk yaşanırken, bir yandan mevcut kaynaklar kirletilmektedir. Sularda bulunan zararlı maddeler, endüstriyel atıklara bağlı olarak cins ve miktar yönünden gitgide artmakta ve canlılar açısından çok önemli tehlikeleri beraberinde getirmektedir. Toksik organik artıkların metaller ile birleşerek ya da başka bileşiklere dönüşerek daha toksik hale geçmeleri daha büyük sorunlar ortaya çıkarmaktadır (Atamanalp ve ark., 2002; Atamanalp ve ark., 2013).

Pek çok sanayi ve yerleşim atıkları için uygun deşarj yeri olarak kabul edilen, ucuz ve basit boşaltma seçeneği olarak görülen sucul ekosistemler dünya üzerinde bulunan önemli ekosistemlerdendir (Taylan ve Böke Özkoç, 2007). Sucul ortamların kalitesini metaller, organik maddeler, yapay tarımsal gübreler, petrol türevleri, radyoaktivite, deterjanlar, inorganik tuzlar, yapay organik kimyasal maddeler, pestisitler ve atık ısı şeklindeki deşarjlar olumsuz yönde etkilemekte ve çok ciddi

kirlenmelere neden olmaktadır (Hu, 2000; Yarsan ve ark., 2000; Bat ve ark., 2006; Arslan ve ark., 2011a). Ağır metaller de dahil olmak üzere çeşitli toksik kimyasalları barındıran sular arıtılmaksızın sanayi tesislerinden ve tarlaların drenaj sistemlerinden kanallar yoluyla akarsulara oradan da denizlere kadar gelmekte ve kirliliği önemli boyutlara ulaştırmaktadır (Basha ve Rani, 2003; Atamanalp ve ark., 2013). Metaller, hem abiyotik hem biyotik faktörlerde birikim göstererek, uzun süre ortamda bulunabilmeleri, sucul canlılarda toksik etkileri meydana getirmeleri ve canlılar arasında besin zinciri yoluyla aktarılabilmesi sebebiyle sucul ekosistemlerde önem taşımaktadırlar (Shrivastava ve ark., 2003; Arslan ve ark., 2011a). Farklı yollar ile sucul sistemlere giren kirleticiler, burada yaşayan canlılara zarar verecek şekilde suyun sıcaklığını, kimyasal veya mikrobiyal bileşimini değiştirerek suyun kirlenmesine ve kalitesinin bozulmasına yol açmaktadır (Lloyd, 1992; Atamanalp ve ark., 2013).

Besin piramidinin en üst basamağında bulunan türler, dokularında kirleticileri biriktirmekte olan alt basamaklarda bulunan türlerle beslendiklerinden, birçok kirleticiyi daha da fazla biriktirme eğilimindedirler (Arslan ve ark., 2009). Bu sebeple ağır metaller besin zincirinin üst basamaklarında yer alan balıklara, hatta en üst basamakta bulunan insanlara kadar ulaşarak önemli toksik etkileri meydana getirmektedir (Arslan ve ark., 2012). Farklı fizyolojik yapıya sahip farklı balık türleri maruz kalınan ağır metallerin çeşidi ve maruz kalma süresine göre, ağır metalleri her bir dokuda farklı miktarlarda biriktirmektedir (Tokatlı ve ark., 2016a).

Sucul ortamdaki besin zincirinin uçhalkasını oluşturan balıklar önemli bir protein kaynağıdır. Sucul ekosistemlerde biyolojik çevrimin önemli bir halkası olan balıklar önemli boyutlarda ağır metal kirliliğine maruz kalmaktadır. Metaller, sucul ekosistemler içinde yüksek konsantrasyonlarda bulduklarında organizmalar için potansiyel anlamda toksik etki yapmaktadırlar (Akgün ve ark., 2007). Sucul organizmalar ağır metalleri belirli bir dereceye kadar yapılarında depolayabilirler. Ağır metaller, organizmalar için zararlı veya zehirli olmasa da besin zinciri yoluyla insana geçtiğinde, insan sağlığını etkileyebilirler (Merlini, 1971; Akgün ve ark., 2007). Balık dokularında bulunan metal konsantrasyonlarının; suda bulunan besin zincirine, su kimyasına, av rekabetine ve göldeki hidrodinamiklere bağlı değiştiği ifade edilmiştir (Förstner ve Wittmann, 1981; Akgün ve ark., 2007). Bu sebeple sucul ortamlarda artan ağır metal kirliliğinin balıklara ne derecede akümüle olduğunun

araştırılması hem insan sağlığı hem de balık biyolojisi açısından önemli bir konudur (Köse, 2007).

Hayvansal proteine olan ihtiyacın karşılanması için tüm dünya ülkelerindeki gibi, ülkemizde de iç sular ve denizlerden sistemli şekilde faydalanma yollarına başvurulmaktadır. Balıklardan daha fazla yarar sağlamak için, yem içerik çalışmaları ve yeni yetiştirme teknikleri yapıyor olsa bile, balıkların hastalıklara karşı korunma çalışmaları ve tedavileri stratejik açıdan öneme sahiptir (Atamanalp ve ark., 2013).

### **1.1 Ağır Metaller**

Metaller, uygarlığın ve endüstrinin temelini oluşturmaktadır. Taş devri zamanında bakır işlemeyi öğrenen insan daha sonraları değişik metallerle uğraşmaya başlamış, diğer taraftan metalleri faydalı şekilde kullanırken çevresini kirletmiştir (Karadede, 1997; Köse, 2007). Sucul organizmalarda ağır metal birikiminin ve hasarlarının incelendiği çalışmaların yapılması, bu metallere duyarlılığı fazla olan türlerin belirlenmesinin yanında organizmada meydana gelebilecek fizyolojik, biyokimyasal, işlevsel ve yapısal bozuklukların belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Çevre kirliliğinin göstergesi olarak canlılarda tespit edilen metalik kirleticiler özellikle sucul organizmalarda yüksek seviyelere ulaşabilir. Besinlerle birlikte düşük düzeylerde ancak sürekli olarak alınan kadmiyum, kurşun ve cıva gibi metal kalıntıları insan ve çevre sağlığını önemli derecede etkilemektedirler (Kayhan ve ark., 2009; Atamanalp ve ark., 2013).

Balıklar, ağır metal etkisine göre genellikle fizyolojik ve metabolik olayların sonucunda davranışlarını değiştirerek tepki gösterirler. Başlangıç olarak balıklarda metal etkisinin yüzme performansında düşmeye, besin almamaya, yüze yönelmeye, fiziki etkilere duyarsızlığa ve benzeri çeşitli davranış değişikliklerine sebep olduğu gözlenmiştir (Sağlantımur ve ark., 2003; Atamanalp ve ark., 2013). Bakır elementinin balıklarda belirtilen toksik etkilerinin gelişmeyi yavaşlattığı (Martinez ve ark., 2004; Atamanalp ve ark., 2013), immün sistemi baskıladığı (Ay ve ark., 1999; Atamanalp ve ark., 2013), testis ve ovaryumda eşey hücrelerin sayısını azalttığı ve buna bağlı olarak da olgunlaşmayı engelleyerek üreme oranını azalttığı belirlenmiştir. Farklı balık türleri ile yapılan çalışmalarda bakırın subletal derişimlerinin uzun sürede etkisinin dokularda birikmeye (Cicik, 2003; Atamanalp ve ark., 2013) omurgada deformasyonlara, solungaçlarda yapısal bozukluklara,

immün sistemin zayıflamasına bağlı olarak nörolojik bozukluklara (Stagg ve Shuttleworth, 1982; Atamanalp ve ark., 2013), biyokimyasal ve hematolojik parametrelerde değişimlere sebep olduğu (Arslan ve ark., 2006; Atamanalp ve ark., 2013) belirlenmiştir. Gerek doğal ortam gerekse laboratuvar koşullarında sucul omurgasız ve omurgalı türler ile yapılan çalışmalarda krom etkisinin immün sistemi zayıflatarak patojenik organizmalara karşı dirençte azalmaya ve bunların yanı sıra histopatolojik ve morfolojik değişimlere sebep olduğu belirlenmiştir (Synder ve Valle, 1991; Atamanalp ve ark., 2013). Kadmiyum biyokimyasal düzeyde RNA, DNA ve ribozom sentezini (Gerhard ve ark., 1998; Atamanalp ve ark., 2013) ve bazı enzimlerin aktivitelerini engelleyerek (Doi ve ark., 1993; Atamanalp ve ark., 2013) immün yanıtlarda değişikliğe sebep olarak (Saxena ve ark., 1992; Atamanalp ve ark., 2013) toksik etkisini göstermektedir. Kadmiyum, bakır ve kromun düşük ortam derişimlerinin etkisinde dört ay süre ile maruz bırakılan *Salmo gairdneri* türünde immün yanıtların oluştuğu, buna bağlı olarak da metallerin balıklarda immün sistemi değiştirdiği belirlenmiştir (Atamanalp ve ark., 2013). Balıklarda kromun toksik etkilerinden bir diğeri de bağışıklık sistemine olan etkisidir. Bu etki viral mücadele sırasında kromun humoral bağışıklık cevabını baskılaması ile olmaktadır (O'Neill, 1981; Atamanalp ve ark., 2013). Balıklarda kurşun etkisinin ise; subletal derişimlerde doku ve organlardaki birikime, bakır etkisinde görüldüğü gibi davranış değişikliklerine, yüzgeçlerde koyulaşmaya, pigment oluşumuna bağlı olarak renklenme anomalilerine, omurgada eğrilik benzeri morfolojik değişikliklere ve antikör düzeyini azaltarak immün sistemin çökmesine sebep olduğu belirlenmiştir (Atamanalp ve ark., 2013).

### **1.1.1 Ağır Metallerin Genel Özellikleri**

Ağır metaller genelde iz element olarak da adlandırılırlar. Bu iz elementler organizmadaki düşük konsantrasyon miktarı için kullanılırlar ve organizmaların ihtiyacı olduğu esansiyel metalleri ifade ederler. Birçok metal organizmalar için esansiyel olup yokluğunda hem üreme hem de büyüme durur. Magnezyum, potasyum, kalsiyum ve sodyum gibi iyonlar hayatın devamlılığı için esansiyel olup diğerleri de sadece iz miktarda organizmada bulunur (Köse, 2007).

Biyolojik anlamda metaller üç gruba ayrılır (Karadede, 1997; Köse, 2007). Bunlar; sıvı ortamlarda hareketli katyonlar olarak taşınan hafif metaller (kalsiyum, sodyum, potasyum vb.), düşük konsantrasyonlarda esansiyel ancak yüksek

konsantrasyonlarda toksik olan geçiş elementleri (inko, demir, bakır, kobalt ve mangan) ve metabolik aktivite için genelde gereksiz fakat oldukça düşük konsantrasyonlarda hücrelerde toksik etki yapan metaloitlerdir (arsenik, cıva, kadmiyum ve kurşun). Metaloitler ve geçiş elementleri genelde ağır metal olarak adlandırılmaktadırlar.

Bakır, inko, demir, kobalt, kalsiyum, magnezyum, mangan, potasyum gibi metaller canlılarda bulunmadığı zaman çeşitli semptomik bozukluklara neden olduğu gibi belirli seviyelerin üzerinde bulunduğunda da toksik etki yaparak organizmaya zarar verirler. Arsenik, cıva, kadmiyum ve kurşun metalleri ise endüstri atıkları sonucu ortama girerek çok az konsantrasyonlarda bile canlı organizmalarda çok yüksek toksik etki meydana getirirler (Karadede, 1997; Köse, 2007). Özetle ağır metaller, organizmalar için ihtiyaç olsun ya da olmasın belirli yüksek konsantrasyonlarda toksik etkiler meydana getirirler. Ağır metaller etkilerini, membran yapısına bağlanarak veya enzimlerle reaksiyona girerek gösterirler. Metal ile hücre yapıları arasında meydana gelen etkileşimler fonksiyonel ve yapısal değişikliklere neden olur. Bunun sonucunda canlıların solunum, kas, dolaşım, bağışıklık ve hormonal sistemleri tahrip olur ve böylece popülasyonlarda büyük değişiklik meydana gelir (etinbaş, 2003; Köse, 2007).

### **1.1.2 Tez Kapsamında Varlığı Araştırılan Elementler**

Ağır metaller önemli şekilde çevre kirlenmesine sebep olurlar. Metaller, su kaynaklarına endüstriyel, tarımsal, evsel gibi birçok antropojenik kaynaklarla veya ortamdaki metallerin asit yağmurlarıyla çözünmesiyle yeraltı sularına, göl ve ırmaklara ulaşmasıyla geçmektedir. Taşınan metaller yoğun şekilde seyrelir ve az miktarda sülfür, sülfat ve karbonat ile katı bileşikler oluşturup su tabanına çökerler. Suların ağır metal düzeyi sediment tabakasının biriktirme kapasitesi belirli seviyelere kadar olduğundan dolayı artış göstermektedir. Bu yüzden insan kaynaklı ya da doğal yollarla ortama geçen metaller bitkilere, hayvanlara, insanlara ve tekrar çevreye geçerek döngü sürmektedir (Ansari ve ark., 2004; Won ve ark., 2008; Özkurnaz, 2012).

Günümüzde ağır metal kullanımı yaşam standartlarının yükselmesine bağlı olarak artmaktadır. Ağır metal kirliliğinin nedenlerinin başında endüstriyel faaliyetler gelir (Güner, 2008). Madencilik endüstrisi de diğer bir kirlenici etkenidir.

Maden cevheri eritme ve işleme gibi faaliyetler sırasında ortaya çıkan atıklar nedeniyle çevrede ağır metal kontaminasyonu gerçekleşebilmektedir (Zhuang ve ark., 2009). Ağır metal içeren ve tarımsal mücadelede kullanılan gübre ve pestisitlerin sulara karışması, belediye atık sularının arıtılmadan denizlere deşarjı, açık denizlerde petrol ve gaz arama, petrol arıtımı gibi işlemler sonucunda sucul ortama deşarj olan metaller su ortamında artan miktarlarda bulunmaktadır (Houk, 1992; Ansari ve ark., 2004; Özkurnaz, 2012).

Ağır metaller, solungaç, deri ve sindirim sistemi yolu olmak üzere üç yolla sucul canlılara geçer (Kayhan ve ark., 2009). Bunlardan en önemlisi solungaçlardan absorpsiyonudur. Bunun nedeni ise solungaçların sahip olduğu yüzey yapısı ve bulunduğu ortamla temas halinde olmasıdır (Gómez-Mendikute ve ark., 2005; Monteiro ve ark., 2005). Sucul canlılar solungaçları yoluyla suda çözülmüş halde bulunan metalleri, askıdaki maddeleri ve partikül şeklindeki metallerin alımını gerçekleştirmektedirler (Rainbow, 1985; Özkurnaz, 2012).

Vercauteren ve Blust (1999)'a göre, ağır metallerin sucul organizmalar tarafından alınımı genellikle üç basamakta gerçekleşmektedir. Birinci basamakta, ortamda bulunan inorganik ve organik maddeler metallerle etkileşime girerek yeni oluşan kimyasal çözümlerden biyolojik yüzeylere geçiş olduğu, ikinci basamakta metallerin hücre membran yüzeyinde koruyucu glikoprotein tabakasına bağlanarak membran yüzeyinde dağıldığı, üçüncü basamakta ise, metal iyonlarının membranın dış yüzeyinde bağlanma noktaları ile etkileşime girerek membrandan iç ortama belirli bir kanal veya pompa gibi taşıma kanallarıyla taşındığı belirtilmiştir.

Ağır metaller, sucul hayatı etkileyen inorganik kirleticilerdir. Su ve besinler ile dolaylı ya da doğrudan vücuda giren ağır metaller dokulara taşıyıcı proteinler ile taşınmaktadır (Olsson ve ark., 1998). Her doku ve organda metal birikimi farklı düzeyde görülmektedir. Metal detoksifikasyonu ve metal metabolizması ile ilgili karaciğer, böbrek gibi organlarda metal birikimi daha fazla olmaktadır (Kayhan ve ark., 2009).

Çeşitli metabolik yollardan canlıların bünyesine alınan metaller vücut dışına fizyolojik fonksiyonu yoksa atılır. Depolanan metallerin toksik özelliği varsa hücrelere bir şekilde bağlanarak bu etkileri yok edebilmekte veya enzimlerin yapısını bozabilmektedir. Toksik metaller hücre metabolizmasını, eritrosit membran

yapılarını ve iyon geçirgenliğini dolaylı veya doğrudan etkilemektedir. Bu metaller hücre zarının fizyolojik özelliklerini ve yapısını etkilediği için organ, doku ve hücrelere zarar verir. Bunun sonucunda, sucul ekosistemlerde fonksiyonel ve yapısal değişimlere neden olduğundan üreme bozukluklarına ve ölüm oranında artışa sebep olmaktadır (Pavlica ve ark., 2008; Kayhan ve ark., 2009; Özkurnaz, 2012).

Suda eser miktarlarda bulunan çinko, cıva, kurşun ve bakır gibi metaller 1 ppm değerine ulaştığında öldürücü etkilere sebep olmaktadır. Solungaçlar üzerine çöken ağır metaller solungaçların salgıladığı salgıyı pıhtılaştırarak oksijen alımını zorlaştırır (Güner, 2008; Özkurnaz, 2012).

Tez çalışmasında; Curi Deresi'nden alınan sediment, su ve balık türünde arsenik, bakır, alüminyum, çinko, demir, krom, kurşun, kadmiyum, kobalt, mangan ve nikel elementleri araştırılmıştır.

#### **1.1.2.1 Alüminyum Elementi (Al)**

Alüminyum (Al) doğada çok fazla bulunan bir metaldir ve canlılara çeşitli yollarla geçmektedir. Doğal toprak erozyonu, maden ya da tarımsal faaliyetler ve volkanik patlamalardan kaynaklanarak atmosfere girmektedir. Birçok evsel ve endüstriyel kullanım biçimine sahiptir. Gıda katkı maddelerinde, elektrik sektöründe, otomotiv ve uçak sanayinde kullanılmaktadır. Ayrıca Al tuzları, suların renk ve bulanıklık seviyesinin azaltılmasında da kullanılmaktadır (Güler ve Çobanoğlu, 1997; Özkurnaz, 2012). Al elementi insanlar için esansiyel elementlerden biri değildir. Günlük yaşamda fazla kullanılması nedeniyle başta insanlar olmak üzere toksik etkilere neden olmaktadır (Güler ve Çobanoğlu, 1997; Özkurnaz, 2012).

Dünya ekonomisi açısından çok önemli yere sahip olan Al elementi günümüz endüstrisinde birçok farklı ürünün yapımında kullanılmaktadır. Özellikle uzay ve havacılık sanayisinde Alüminyumdan üretilmiş yapısal bileşenler hafif olmasından dolayı çok tercih edilmektedir. Ayrıca yüksek dayanım özelliğinden dolayı inşaat ve taşımacılık sektöründe geniş kullanım alanına sahiptir. Yerkabuğunda bol miktarda bulunan Al elementi, serbest halde nadir bulunduğundan bir zamanlar altından daha kıymetli görülmüştür (Teber, 2013).

Yapılan çalışmalarda, Al toksisitesinin deney hayvanlarının sinir sistemlerinde önemli olduğu görülmüştür. Ağız yoluyla alınan yüksek dozdaki Al elementinden sonra deney hayvanlarında belirgin hasarlar görülmemesine rağmen,



kavrama ve hareket yeteneklerinde güçlükler ve olumsuzluklar gözlemlenmiştir (ATSDR, 2008).

### **1.1.2.2 Arsenik Elementi (As)**

Arsenik (As) element halinde zararlı olmayıp bileşik halinde toksik etkilere neden olmaktadır. Toksik olduğu çok eskilerden beri bilinmesine rağmen çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları; kağıt, deri, cam, boya, cila, seramik ve lastik endüstrisidir. Ayrıca pestisit olarak da kullanılmaktadır. As elementi çevrede doğal olarak bulunduğundan çeşitli yollarla sucul sistemlere ulaşmış canlılarda birikim göstermektedir (Vural, 1984).

Akut As zehirlenmelerinin etkileri, kusma, bulantı ve şiddetli karın ağrısı şeklinde görülebilmektedir. Ayrıca görme bozukluğu, böbrek ve karaciğer hasarı, deri pigmentinde artış da oluşan etkileri arasındadır. Keratine olan afinitesinden dolayı keratinden zengin dokularda (saç, tırnak, deri) ve karaciğerde birikim göstermektedir (Güler ve Çobanoğlu, 1997; Bakar ve Baba, 2009). Kronik As zehirlenmelerinde, iştahsızlık, kusma, şiddetli deri dökülmesi böbrek harabiyeti ile ilgili fonksiyon bozukluğu en belirgin özellikleridir (Vural, 1984; Özkurnaz, 2012).

Metal kirliliği bulunan sularda yaşayan balıkların fizyolojik fonksiyonlarında meydana gelen olumsuz etkilerden biri olan bağışıklık sistemlerinin zayıflaması ile bu balıkların bulaşıcı hastalıklara yakalanmasına ve sonucunda ölüm riskinin artmasına sebep olduğu belirtilmiştir (Larsson ve Haux, 1985; Akgün ve ark., 2007).

### **1.1.2.3 Bakır Elementi (Cu)**

Bakır (Cu) elementi hayvanlar için esansiyel bir elementtir. Biyolojik sistemlerde Cu elementi, omuriliğin kalp fonksiyonlarında miyelinleşmesinde, bağışıklık sisteminin organizmalarda düzenlenmesinde ve doku pigmentasyonunda etkin bir rol oynar (Kalay ve Erdem, 1995; Cicik, 2003; Çetinbaş, 2003; Köse, 2007). Madeni kaplama işlemleri sonucunda oluşan endüstriyel atıkların ve bakırın bazı tarımsal ilaçlar ile sucul ortamlara karışması sonucunda; organizma, su ve sedimentte önemli miktarlarda bakır elementi birikmektedir. Yüksek konsantrasyonlardaki bu birikimler toksik etki sonucunda canlıların ölümüne neden olabilir ve çok ciddi ekolojik değişikliklere sebep olur (Köse, 2007).

Cu elementininin balıklarda birikim göstermesi öncelikle solungaçlar ve alınan besinlerle gerçekleşir (Karadede, 1997; Köse, 2007). Balıkların Cu elementine

maruz kalma süresinin artması sonucunda letal olmayan derişimlerde organ ve dokularda Cu birikir ve toksik etkiler meydana gelir (Cicik, 2003; Cicik ve ark., 2004; Köse, 2007). Balıklarda Cu elementinin en fazla birikim gösterdiği organ karaciğerdir. Bakır elementinin vücuttan atılması ise idrar ve dışkı yoluyla olur (Karadede, 1997; Çetinbaş, 2003; Köse, 2007).

Solungaç dokusundaki Cu birikimi ise karaciğere göre çok daha kısa sürede başlar. Karaciğerdeki Cu düzeyinin etkide kaldığı süreye bağlı olarak arttığı, yüksek konsantrasyonlarda ise balıklarda belirli hemoostatik mekanizmaları uyarması sonucu hayvanlarda daha fazla miktarda bakırın biriktiği ve karaciğerin işlevini yapamadığı ve kısa sürede öldükleri bildirilmiştir (Kargın ve Erdem, 1992; Köse, 2007).

#### **1.1.2.4 Çinko Elementi (Zn)**

Temel iz elementlerden biri olan çinko (Zn), canlı organizmalarda ve çevrede yaygın olarak bulunur. Zn elementi canlılarda büyüme ve gelişme açısından esansiyel bir elementtir. Bu elementin yem ve suların içinde az miktarda da olsa bulunması zorunludur. Biyolojik sistemlerde yalnız +2 değerlikli olarak bulunan Zn yaklaşık 300 enzimin yapısına girer (Çetinbaş, 2003; Köse, 2007).

Zn endüstride yaygın bir şekilde kullanılır. Demir levhaların korozyondan korunmasında, elektrotların ve birçok alaşımların yapılmasında, tekstil, boya, kauçuk, deodorant, dezenfektan, tutkal imalatı, kozmetik, lastik sanayinde, eczacılıkta ve tarım ilaçlarının yapımında kullanılır (Çetinbaş, 2003; Belgemen ve Akar, 2004; Çalışkan, 2005; Köse, 2007).

Balık vücudunda en yüksek konsantrasyonda bulunan iz element çinkodur. Balıklar çinkoyu, sudan ve besinlerden alırlar. Suyun Zn konsantrasyonu balık vücudundaki Zn konsantrasyonu üzerinde kayda değer bir öneme sahiptir. Hayvanlarda çinkonun esansiyel fonksiyonu, çok sayıda metalloenzimin tamamlayıcı parçası olarak üstlendiği rol ve çinkoya bağımlı özel enzimlerin aktivitelerini düzenlemesiyle ilgilidir (Belgemen ve Akar, 2004; Köse, 2007).

Zn karbonhidrat metabolizması, enzimatik reaksiyonlar ve protein sentezi için gereklidir. İnsan vücudu içerisinde demirden sonra en çok bulunan eser element çinkodur. Zn en fazla böbrek ve karaciğer dokularında birikir. Çinkonun vücuda fazla alınması durumunda bağışıklık sistemi aktivitesinde ve iştahda azalma, yaraların zor

iyileşmesi, kolesterolün yükselmesi ve deride hassasiyet gibi olumsuzluklar meydana gelir. Eksikliğinde ise gençlerde büyümenin yavaşlaması, gebe kadınlarda bebek gelişiminin olumsuz etkilenmesi ve bağışıklık sisteminde zayıflama görülür (Çalışkan, 2005; Köse, 2007).

#### **1.1.2.5 Demir Elementi (Fe)**

Alüminyumdan sonra %4.2 ile yer kabuğunda en çok rastlanan demir (Fe) elementi toprak ve kayalarda bol miktarda bulunmaktadır. Fe; insanlar, hayvanlar ve bitkiler tarafından ihtiyaç duyulan bir elementtir. Fe elementi normalde çözünemeyen formda olmasına rağmen, doğal olarak gerçekleşen reaksiyonlar ile çözülebilir formları oluşabilir ve sonucunda sulara karışarak girdikleri suyu kirletirler. (Aközcan, 2009; Çağlar, 2010; Gülcü Gür, 2014).

Demirin 2/3'ü kırmızı kan hücrelerinde oksijen transport pigmenti olan hemoglobinde, geri kalan kısmı da depo olarak kemik iliği, dalak ve karaciğerde ferritin ya da hemosiderin şeklinde bulunur. Çizgili kas miyoglobulininde ve oksijen depo eden pigmentlerde de Fe bulunur (Dökmeci, 2005; Çağlar, 2010). Alyuvarlar içerisinde bulunan demirin hayvansal organizmalar tarafından tekrar kullanılabilmesi günlük Fe ihtiyacını oldukça azaltır (Şanlı ve Kaya, 1995; Gülcü Gür, 2014).

Aşırı miktarda vücuda alınan Fe vücuttaki peroksitlerle reaksiyona girerek vücutta zehir etkisi yaratır. İnsan vücudunun demiri kontrol eden bir mekanizmaya sahip olmasına rağmen vücuttan atılmasına ilişkin fizyolojik bir yetisi yoktur. İnsanlarda Fe fazlalığı sonucunda, kan dolaşım sistemine Fe karışabilir ve sindirim sistemindeki hücreler zarar görebilir. Kan dolaşım sistemine giren Fe karaciğer, kalp ve diğer organlara ait hücrelere zarar vermeye başlayarak uzun süreli organ hasarlarına veya aşırı dozdan ölümlere neden olabilir. Fe zehirlenmesinin başlangıç değeri; insan vücut ağırlığının her bir kilogramı başına alınacak 20 miligramdır (Arabacı, 2011; Gülcü Gür, 2014).

#### **1.1.2.6 Kadmiyum Elementi (Cd)**

Kullanım alanı çok yaygın olan kadmiyum (Cd) elementi besin zinciri yolu ile insana zararlı konsantrasyonlarda transfer olabildiğinden insan toksikolojisinde önemli bir yere sahiptir. Cd, doğada Zn ile birlikte bulunur. Cd elementi suda bulunan inorganik ve organik partiküller üzerine güçlü bir biçimde tutunur. Bununla birlikte, katı partiküllere bağlandığından dolayı suda toplam Cd seviyesinin önemi

sınırlandırılmış olur. Fakat bunun da büyük bir kısmı sedimentte depolanır. Burada biriken Cd sedimentte yaşayan organizmaların vücuduna geçer. Besin zinciri ile de balıklara ve insanlara kadar transfer olur (Karadede, 1997; Köse, 2007).

Cd, solunum ve sindirim yolları aracılığı ile basitçe vücutta birikim yapan, zehir etkisi yüksek bir metaldir. Yüksek Cd derişimlerine karşı hassas olan sucul organizmalar, sucul canlıların üremelerini olumsuz etkiler. Kadmiyumun zehir etkisini, suda bulunan Cu ve Zn gibi ağır metallerin arttırdığı belirtilmektedir (Mc Neely ve ark., 1979; Akgün ve ark., 2007).

Canlılarda biyolojik işlevi olmayan Cd, mutajen ve kanserojen etkileri bilinen ve gerekli elementler grubuna girmeyen bir ağır metaldir (Kalay ve Karataş, 1999; Köse, 2007). Balığın büyüme ve gelişmesi için gerekli değildir. Cd elementi balık larvalarının büyüme ve yaşama sürelerinin azalmasına neden olduğundan çok düşük derişimlerde bile oldukça toksiktir. Biyolojik sistemlerde Cu ve Zn gibi davranan Cd elementi, balıkların böbrek ve karaciğer gibi aktif doku ve organlarında proteinlere bağlanarak akümüle olur (Karadede, 1997; Çalışkan, 2005; Köse, 2007).

Balıklarda Cd; büyüme ve gelişimi yavaşlatmaya, iskelet deformasyonuna, üreme, karaciğer, beyin ve sinir sisteminde patolojik değişikliklere, mukus salgılamasını arttırarak doku düzeyinde hipoksiyaya, solungaç lamelleri epitelyumunda erimeye, solungaç yapısında patolojik değişikliklere ve kılcal damarlarda tıkanma gibi toksik etkilere neden olmaktadır (Kuşatan ve Cicik, 2004; Cicik ve Engin, 2005; Köse, 2007).

#### **1.1.2.7 Kobalt Elementi (Co)**

Kobalt (Co) elementi çevreye; doğal kaynaklardan ve kömür, petrol veya kobalt alaşımı ürünlerin yanması sonucunda girmektedir. Solunum yoluyla, içme suyuyla ve gıda alımıyla düşük miktarlarda Co elementi alımı söz konusudur (ATSDR, 2003).

En fazla karaciğerde rastlanan Co elementi yüksek miktarda alındığı takdirde, hayvanlarda ve insanlarda karaciğer, akciğer, böbrek, kalp ve deri hastalıklarına neden olabilir. Gıda ve su yoluyla alınan radyoaktif olmayan kobaltın hayvan ve insanlarda kanserojen etkisinin olmadığı bildirilmektedir. Yapılan hayvansal deneylerde ise Co elementinin doğrudan solunum yoluyla verildiğinde ya da kas ve deri altına uygulandığında kansere neden olduğu görülmüştür. Yapılan bu deney

sonucuna dayanarak, Co elementinin insanlar üzerinde de kanserojen etkisinin olabileceği bildirilmiştir. Ayrıca yüksek düzeye sahip Co radyasyonunun hücreler içindeki genetik materyalleri değiştirerek, farklı bazı kanser tiplerinin gelişmesine neden olabileceği bildirilmiştir (Özdilek, 2002; Türkmen, 2003; ATSDR, 2003; Çağlar, 2010).

#### **1.1.2.8 Krom Elementi (Cr)**

Krom (Cr) elementi; kaya, volkanik toz ve gazlarda, ayrıca toprak, bitki ve hayvanlarda doğal olarak bulunan elementtir (Aközcan, 2009). En önemli Cr minerali kromittir. Cr içeren diğer mineraller magnezyum (Mg), Pb ve Al gibi elementlerle kompleks oluşturmuştur (Vernay ve ark., 2007). Çeşitli minerallerin yapısında da yer alan Cr elementi yeryüzünde en fazla bulunan yedinci elementtir (Cervantes ve ark., 2001). Cr elementinin başlıca doğal kaynağı yer kabuğudur (Begum ve ark., 2006).

Cr elementi, birçok alaşımın yapısında bulunduğu gibi pompaları korumak için kullanılan soğutma sularında ve tekstil endüstrisinde de kullanılmaktadır. Ayrıca gıda koruyucu madde olarak ve deri endüstrisinde de kullanılmaktadır (ATSDR, 2003; Aközcan, 2009; Başaran, 2010). Cr oksitlenmediği için çeşitli ev aletleri, mimaride kullanılan dekoratif amaçlı parçalar, otomobil, bisiklet aksamaları Cr kaplanmış çeliklerden yapılmaktadır (Tezcan ve Tezcan, 2007).

Cr elementinin kayalara, toprağa, suya, havaya ve tekrar ekosisteme olmak üzere doğal bir döngüsü vardır. Bu çevrimden yılda yaklaşık 6.700 ton Cr denize akar ve okyanus tabanında birikir (Kahvecioğlu ve ark., 2003). Cr elementinin çevresel konsantrasyonunun yüksek olması, kusurlu doku veya organ oluşmasına sebep olmakla birlikte sonucunda kansere neden olabilmektedir. Yapılan çalışmalarda besin zincirinde genellikle biyokonsantrasyona uğramayan Cr elementinin yarı ömrünün 6 ile 84 gün arasında olduğu bulunmuştur (Aközcan, 2009; Gülcü Gür, 2014).

#### **1.1.2.9 Kurşun Elementi (Pb)**

Çoğunlukla gümüş (Ag), Fe, Cu ve Zn metalleriyle birleşmiş halde bulunan ve ağır metallerden biri olan kurşun (Pb), canlı organizma ve doğal çevrede iz element halinde bulunmaktadır (Alhas, 2007). İnsanların yapmış olduğu faaliyetler sonucu ekolojik sisteme en çok zarar veren metallerin başında Pb yer almaktadır.

Atmosferde metal veya bileşik olarak bulunabilen Pb elementi toksik özellik taşıdığından önemli düzeyde çevre kirliliği oluşturur. 1920'li yıllarda Pb elementinin benzine ilave edilmesi, Pb elementinin ekolojik sisteme yayılımında etkili olmuştur (Kahvecioğlu ve ark., 2003).

Pb elementinin çevrede bulunmasına sebep; maden ve metal endüstrilerinde kullanılması, otomobil akülerinde bulunması, tıbbi ekipmanlarda kullanılması, kurşunlu boyalar üretilmesi, seramik endüstrisinde kullanılması, bilimsel ve optik aletlerde kullanılması, katı atık yapımında kullanılması ve kurşunlu benzin kullanımı kaynak olarak gösterilebilir (Çalışkan, 2005). Özellikle şehir merkezlerinde yetiştirilen baklagil, tahıl, meyve ve birçok et ürünüde olması gereken seviyelerden fazla miktarda Pb bulunur. Özellikle evlerdeki su tesisatlarında kullanılan kurşun suya karışabilir. Kozmetik malzemelerin yapımında kullanılan pigment ve diğer maddeler de kurşun içermektedirler. Ayrıca böcek ilaçları ve sigara kullanımı da kurşun kaynakları arasında gösterilebilir (Toscalı ve Eren, 2004).

Pb elementi diğer birçok metale kıyasla, çevrede daha uzun kalış süresine sahiptir. Bu sebeple de sedimentte ve toprakta birikme eğilimi göstermektedir (Özden, 2008). Yerkabuğunda yaygın olarak bulunan Pb elementinin topraktaki konsantrasyon değeri yaklaşık olarak 12.5 ppm'dir. Bu element sediment parçacıkları ve toprak tarafından yüksek oranlarda absorbe edilmektedir. Sucul ortamlarda Pb birikimine, organik madde, pH, sıcaklık, sertlik ve tuzluluk gibi faktörler etki etmektedir (Çalışkan, 2005).

Kurşunun toksik etkileri her ne kadar akut ve kronik olmak üzere ikiye ayrılarak incelense de aralarında keskin bir ayırım yoktur. Düşük dozlarda kurşunun akut etkileri, çoğunlukla hissedilmez. Bunun yanında yüksek miktarlarda tekrarlanarak alınan Pb elementi, mide ağrısı, kusma, ağızda metalik tat, sinir sistemi hasarına bağlı zehirlenme, solunum durması, koma ve hatta ölüme kadar bir çok olumsuz sonuçlar doğurabilir (Dündar ve Aslan, 2005).

Pb elementinin organizmalardaki yarılanma ömrü oldukça uzundur. Bu element larvaları tamamen öldürmez ancak önemli hasarlar verebilir. Öncelikle iskelete giren kurşunun vücudu terk etmesi yaklaşık 20 yıl almaktadır. Genellikle, iskelet, böbrek, dalak ve karaciğerde birikim yaptığı bildirilmektedir. Yumurta ve embriyolarda da birikebilir (Çalışkan, 2005; Gülcü Gür, 2014).

### 1.1.2.10 Mangan Elementi (Mn)

Mangan (Mn) elementi atmosferik olayların etkisiyle toprak veya tortul kütlelerden çözünerek suya geçer. Özellikle baraj ve göl gibi yüzey sularında, rezervuarların dibinde bulunan çamurların içerisinde ve sonrasında çamurdan suya geçer. Mn elementinin su içerisinde bulunmasının zararı Fe elementinin etkisiyle aynıdır (Dumlu, 1975). Mn elementine insanlarda ve hayvanlarda eser miktarda rastlanmakta ve alınan manganın ancak %3'ü absorbe edilmektedir. Kalp, damar hastalıklarından korunmak için içme sularında Mn bulunması tavsiye edilmektedir. Organizmalarda bulunan enzimlerin yapısal bütünlüğünün sağlanması için Mn gerekli bir elementtir. Bu elementin eksikliği halinde ise kemiklerde bükülme, boy kısalığı ve kısırlık gibi problemler görülebilmektedir (Akbaba, 2010).

Kimya sanayinde kullanılan Mn; suni gübre, petrokimya, çimento, cam, pil ve ilaç sektörlerinde değişik miktarlarda kullanılmaktadır (Özdemir ve ark., 2007). Tahıl, hububat ve çay gibi bir çok gıda ürününde esansiyel bir iz elementi olarak Mn elementi bulunmaktadır. Gıda, su ve hava yoluyla düşük miktarda mangana herkes maruz kalabilir. Mn elementinin suya ve toprağa karşımı doğal kaynaklardan olabildiği gibi atmosferik taşınım ve atıkların deşarjıyla da olabilir. Yeraltı sularında, göl ve nehirlerde doğal olarak bulunan Mn elementi ve suda yaşayan bitkiler tarafından bir miktar alınır. Bu elementin organizmalardaki birikim yerleri genellikle karaciğer, böbrek ve pankreastır. Mn elementinin havaya karışma yolları arasında, yakma fırınları, demir-çelik fabrikaları, güç santralleri ve maden yatakları yer almaktadır. Ayrıca bilinçsiz şekilde pestisit kullanımı bu metalin yüksek dozlarda birikimine sebep olmaktadır (Çağlar, 2010).

Mn elementi, insan vücudunda çok yüksek konsantrasyonlarda bulunursa toksiktir. Uzun süre toz ve duman solunması kronik Mn zehirlenmesine neden olur (Radjaei, 2006). Solunum yoluyla alınan manganın beyne ulaşması ve sindirimle alınan manganın ise metabolize ve elimine etme yeteneğinde olan karaciğere geçmesinden dolayı sindirilen Mn elementinin toksik etkisi düşük olabilirken, solunumla alınan Mn elementinin etkisi nörotoksik olabilmektedir (Başaran, 2010). Mn elementinin oluşturduğu bileşiklerin tozu veya dumanına maruz kalan işçilerde üst solunum yolu enfeksiyonları gözlenmiştir. Hastalık belirtileri olarak; bitkinlik, spastik yürüyüş, tekrarlı bacak krampları, felç, güçsüzlük, duygusal bozukluk

görülmektedir. Bu hastalıktan en çok hasar gören bölge merkezi sinir sistemidir (Radjaei, 2006; Başaran, 2010; Gülcü Gür, 2014).

#### **1.1.2.11 Nikel (Ni)**

Nikel (Ni) elementi toprakta eser miktarda bulunmaktadır. Yeryüzünde oksit ve sülfatlar halinde bulunan Ni elementinin ortalama konsantrasyon değeri %0.008'dir (Kartal ve ark., 2004).

Ni elementi yakıtların yanması, kentsel atıkların külleştirilmesi, madencilik ve rafinasyon işlemleri ile atmosfere yayılmaktadır. Ayrıca lağım çamurunun karıştığı toprakta ve sigarada da Ni elementi bulunmaktadır (Kartal ve ark., 2004; Çağlar, 2010). Ni elementi doğal yayılımı yanı sıra insan aktivitelerine bağlı olarak da doğada bulunmaktadır. Deriyi tahriş etmesinin yanında bu element, kalp-damar sistemine de zararlı olan kanserojen bir metaldir. Ni elementinin organik formu, inorganik formuna göre daha zehirleyicidir (Kartal ve ark., 2004). Ni elementinin esansiyel yokluğunda, insanlarda nefes darlığı ve kronik bronşit problemleri bildirilmiştir (Bıçkıcı, 2010; Çağlar, 2010).

Balıklarda Ni birikimi sonucu, solungaçlardaki membran lamelleri kalınlaşır. Bu da hücre membranlarından difüzyon kapasitesinin azalmasına neden olur. Sonuçta solungaçtaki bu kalınlaşma, balığın boğularak ölümüne yol açmaktadır (Koç, 2009; Gülcü Gür, 2014).

### **1.2 Genotoksisite ve Genotoksisite Araştırmalarında Kullanılan Yöntemler**

Pek çok kirleticinin önce ortamda daha sonra canlıda birikerek kanserojenik veya genotoksik etki gösterdikleri bilinmektedir. Bu etkiler kendilerini organizmalar dolayısıyla da ekosistem üzerinde hemen gösterebildiği gibi, uzun bir zaman sonra da gösterebilirler. Örnek olarak; pestisitlerin ekosistemi genellikle etkilemediği fakat organizmadan organizmaya besin zinciri yoluyla geçtiklerinde miktarlarının artarak toksik etki gösterdiği bilinmektedir (Kocataş, 1991; Düzel, 2013).

Genetik toksikoloji, DNA üzerinde meydana gelen genotoksik etkileri inceleyen bilim dalıdır. DNA içerisinde kodlanan genetik bilgi replike edildikten sonra olabildiğince aslına uygun biçimde oğul döllere aktarılır. Bu esnada DNA'nın doğrudan veya dolaylı olarak biyolojik, kimyasal ve fiziksel etmenlerle etkileşimi ya da normal biyolojik süreçler sonucunda bazı bozulmalar meydana gelmektedir. Bu



şekilde, DNA üzerinde bozulma veya hasara yol açan etmenleri açıklamak için “genotoksik” terimi kullanılmaktadır (Brusick, 1987; Düzel, 2013).

Tüm diğer organizmalarda olduğu gibi genotoksik maddelerin farklı konsantrasyonlarının balık türlerinin DNA materyalinin üzerinde oluşturabileceği hasarlar çeşitli sonuçlara yol açabilir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir; DNA hasarı onarılmadan kalan mutasyonlar olarak varlıklarını devam ettirebilirler, hasarlar onarılamayacak kadar büyükse hücre ölümü gerçekleşebilir ya da somatik hücrelerde kanser oluşumu germinal hücrelerde ise gelecek popülasyonlara aktararak genetik yapının bozulmasına neden olacağından üremede bozukluklara yol açabilirler (Düzel, 2013).

Genotoksisite test yöntemlerinde aranan başlıca özellikler ise hızlı sonuç alabilme, basit uygulanabilirlik, ekonomiklik, az sayıda örnek ile çalışılabilirlik ve genetik hasarları tespit etmede tercih edilir olması şeklinde sıralanabilir. Günümüzde doku ve organizmalar üzerinde yaygın olarak kullanılan MN testi bu yöntemlerin başında gelmektedir (Ma, 1981; Scarpato ve ark., 1990; Düzel, 2013). Sucul organizmalardaki DNA hasarını tespit etmek için MN testinin yanı sıra, hız ve basitlik konusunda avantaj sağlayan tek hücre jel elektroforezi (comet assay) kullanılmaktadır (Güner ve Gökalg Muranlı, 2013).

Genotoksisite testlerinin ve histopatolojik bulguların balıkların dolayısıyla çevrenin maruz kaldığı potansiyel tehlikelerin belirlenmesinde iyi birer biyoindikatör olarak kullanılabilmesi belirtilmiştir (Van der Oost ve ark., 2003; Çelik Çakıroğulları, 2011). Sucul türlerde DNA hasarının ölçülmesinin birçok nedeni vardır. En önemlisi çevrede genotoksik maddelerin etkisi ve maruziyet seviyesi hakkında bilgi verir. DNA’daki hasar doğrudan karsinogenezis ile ilişkilendirilmektedir ki bu süreç sonuç olarak kontrolsüz hücre büyümesine sebebiyet veren çoklu genetik değişimleri içermektedir. Organizmalar için, üreme üzerine olan olumsuz etkileri popülasyon seviyesinde karsinogenik etkilerden daha büyük etkiler yapmaktadır. DNA hasarının potansiyel önemi kanserden farklı olarak geri dönüşümsüz toksisiteye dahil olmasıdır (Mitchelmore ve Chipman, 1998; Çelik Çakıroğulları, 2011).

### 1.2.1 Mikronükleus (MN) Testi

Bu yöntem ilk olarak 1970'li yılların ortalarında tanıtılmıştır (Fenech ve Crott, 2002; Düzel, 2013). Mikronükleus; mitotik hücre bölünmesinin metafaz/anafaz geçiş safhaları sırasında oluşmuş ana nükleusa dahil olmayan ve tam kromozomlardan oluşan, sitoplazma içerisinde ana nükleusun yanında gözlenen ikinci küçük nükleus yapısı olarak tanımlanmaktadır (Heddle ve ark., 1983; Düzel, 2013).

Önceleri sadece biyokimyasal ve fizyolojik çalışmalarda kullanılan balıklar son zamanlarda genetik toksikoloji ve sitogenetik alanında yapılan araştırmalarda kullanılmaya başlanmıştır. Sucul ekosistemlerde besin zincirinin üst basamaklarında bulunan balıkların solunum sırasında fazla oranda su kullandıklarından dolayı, kirleticilere maruziyetleri oldukça yüksektir. Bu sebeple son zamanlarda yapılan çalışmalarda genetik toksikoloji alanında balık hücre ve dokularının kullanımında artışlar görülmektedir (Ericson ve Larsson, 2000; Düzel, 2013).

*In vivo* / *In situ* genotoksisite testlerinde kullanılabilen balık türleri, kimyasallara maruz bırakılabilmeleri ve laboratuvar şartlarında saklanabilmeleri kolay olduğundan, insan sağlığı ve diğer yüksek omurgalılar için riskli görülebilecek kimyasalların incelenmesinde önemli organizmalar olmuşlardır. Balıklar üzerindeki genotoksik etkiler bugüne kadar farklı tür ve dokularda değişik yöntemler kullanılarak araştırılmıştır (Ericson ve Larsson, 2000; Düzel, 2013). Çekirdekli bir yapıya sahip olan balık eritrositlerinin mikronükleus testinde kullanımı son derece kolaydır. *In-situ* laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen çalışmalarda mikronükleus frekanslarının genotoksik maddelere maruz kalan balıklarda önemli düzeyde arttığı gözlenmiştir (Könen, 2007; Düzel, 2013).

Mikronükleus (MN); mitoz bölünme sırasında kromozom kırılması (klastojeni) ve gen farklılaşması (mutasyon) ile meydana gelen; tam kromozom veya düzensiz kromozom parçalarından oluşan sitoplazma içerisinde bulunan küçük çekirdekçik görünümündeki oluşumlardır ve çekirdek ile aynı özelliği taşırlar. MN miktarının sayısal artışı genetik düzensizliğin en önemli belirtecidir. MN testi hem anojenik hem de klastojenik etkileri birlikte değerlendirebilmek için geniş kullanım alanı bulunan bir testtir (Heddle ve ark., 1991). Bazı kromozomların genomlarındaki orantısız sayısal artışı veya azalışı tetikleyen ajanlar sentromer bölünme sorunlarına

ve iğ iplikçiklerinde işlevsel farklılaşmalara sebep olur ve kromozomal kırıklar ortaya çıkararak MN oluşumunu sağlarlar (Schiffmann ve De Boni, 1991; Fenech, 2000; Şekeroğlu ve Şekeroğlu, 2011; Yıldırım ve Yıldırım, 2011). MN testi dış kaynaklı fiziksel ve kimyasal ksenobiyotiklerin oluşturduğu genotoksik hasarların *in vitro* ve *in vivo* olarak tespit edilmesinde sıklıkla kullanılan bir testtir. MN testi önceden kandaki kimyasal maddelerin sebep olduğu anormalileri *in vitro* olarak saptamak için kullanılmış, fakat araştırmacıların geliştirdiği birçok yeni yöntem sonucu başka dokularda da uygulama alanı bulmuştur (Yıldırım ve Yıldırım, 2011). Stopper ve Müller (1997), MN testinin memelilerin birçok türündeki hücrelerin kromozomal düzensizliklerini tespit etmek için geliştirildiğini ve oldukça faydalı bir inceleme yöntemi olduğunu bildirmişlerdir. İnsanlarda mikronükleus frekansını belirleme ve DNA hasarının ölçülmesi çalışması MN test yöntemleri kullanılarak yapılmıştır (Fenech ve ark., 1999). Bu test kromozom deformasyonlarını gösteren diğer testlere göre hem hızlı hem de basit bir şekilde cevap vermektedir. Anojenler etkisi altında oluşan MN'ler tam bir kromozom içerebileceğinden daha büyük hatta hücre çekirdeğine çok yakın bir büyüklükte bile olabilir. Klastojenler kromozom kopması veya parçalanmasına sebebiyet verdikleri için bu tip maddelere maruz kalan hücrelerde oluşan MN'ler genellikle daha küçük boyutlu olabilmektedirler (Fenech, 2000; Şekeroğlu ve Şekeroğlu, 2011). Doku örneklerinde karşılaşılan MN'ler dokunun alındığı canlının herhangi bir genotoksik etki altında olup olmadığının anlaşılmasında oldukça önemli belirteçlerdir (Gül, 2014).

Sitotoksik etkili maddeler ve potansiyel mutajenler sucul canlılar üzerinde oldukça etkilidir. Çünkü sucul canlılar yaşadıkları ortam itibari ile bu maddelere doğrudan maruz kalırlar. Sucul canlılarda meydana gelen sitotoksik etki insanlar ve deney hayvanlarında tümöre sebep olabilmektedir (Matsumoto ve ark., 2006). Son yıllarda sucul ortamlarda bulunabilen toksik kimyasalların genotoksik etkilerinin özellikle balıklar üzerinde incelenmesi giderek artmıştır. Bu etkiler incelenirken özellikle mikronükleus testi yaygın olarak kullanılmıştır (Çavaş ve Ergene-Gözükar, 2003a). Ayllon ve Garcia-Vazquez (2000), *Phoxinus phoxinus* ve *Poecilia latipinna* türlerinde mikronükleus miktarını ve nükleer anomalileri karşılaştırmalı olarak ölçümlenmişlerdir. Sepici-Dincel ve ark., (2011) bir organofosforlu insektisit olan fenitrothionun subletal dozlarının juvenil *Cyprinus carpio* türünün karaciğer, solungaç, kas ve beyin dokuları üzerine genotoksik yan etkilerini eritrosit

mikronükleus testi ile araştırmışlardır. Matsumoto ve ark., (2006) *Oreochromis niloticus* üzerine tabakhane atıklarının etkilerini ve bu etkilerin diğer canlılara olan aktarımını incelemişlerdir. Laboratuvar şartları altında ksenobiyotiklere maruz kalan balıkların periferik sistemlerinde mikronükleus indüksiyonu araştırılmıştır (Bolognesi ve ark., 2006; Gül, 2014).

### **1.2.2 Comet Analizi**

Çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik stres faktörlerinin; canlılarda karbonhidrat, enzim, hormon ve protein metabolizmalarını etkilediği, buna bağlı olarak morfolojik ve fizyolojik değişikliklere neden olduğu bilinmektedir. Stres faktörlerinin DNA üzerinde hasar oluşturup oluşturmadığı, hasar oluşturuyor ise hasarın ne derecede olduğu hem hedef organizma açısından hem de çevreye duyarlılık açısından önemlidir (Güner ve Gökçalp Muranlı, 2013).

Günümüzde DNA hasarının belirlenebilmesi için farklı pek çok analiz metodu kullanılmıştır. DNA hasarlarının belirlenmesinde kullanılan bu yöntemler pahalı, uzun süren, özel donanım ve sarf malzemeler gerektiren ve uzmanlık isteyen yöntemler olduğundan alternatif başka yöntemlere ihtiyaç duyulmuştur (Tice ve ark., 2000). Bu sebeple DNA hasarını ve seviyesini gösteren comet analizi Singh ve ark., (1988) tarafından ortaya çıkarılmıştır (Cotelle ve Ferard 1999; Güner ve Gökçalp Muranlı, 2013). DNA'lar hasar derecesine göre dairesel formdan kuyruklu yıldız benzer formlara kadar farklı derecelerde görüntüler oluşturduklarından dolayı yönteme İngilizce "kuyruklu yıldız" anlamına gelen "comet assay" adı verilmiştir (Güner ve Gökçalp Muranlı, 2013). Son dönemlerde comet analizi diğer yöntemlere göre sitogenetik ve DNA hasarlarını belirlemedeki hassasiyetinden ve çalışma süresinin kısa olmasından dolayı akutiktoksisite araştırmalarında daha çok tercih edilmektedir (Al-Sabti ve Metcalfe, 1995; Tice ve ark., 2000; Çavaş ve Könen, 2007; Çavaş ve Könen, 2008; Bopp ve ark., 2008; Konaş, 2018).

Bu yöntemdeki temel prensip; fiziksel ve kimyasal nedenlerle oluşan sitotoksik ve genotoksik ajanların canlı hücreler üzerinde oluşturduğu etkileri ve bu hücrelerin DNA'larının ayrı ayrı incelenerek tespit edilmesidir (Rajaguru ve ark., 2003). Çekirdek içindeki DNA canlı dokulardan izole edildikten sonra agaroz jel içerisine fikse edilerek elektriksel alan içinde yürütme işlemi yapılır (Singh ve ark., 1988). Farklı elektrik yüküne ve farklı molekül ağırlıklarına sahip kırılmış DNA

molekülleri elektriksel alan içinde farklı hızlarda hareket ederler. Çünkü genotoksik ajanlarla hasar gören DNA'ların tek veya çift zincirlerinde kırılmalar olmuş ve tamir mekanizmaları ile tamir edilememiştir (Çavaş, 2011). Yöntemin uygulanışı tamamlandıktan sonra DNA molekülleri incelenmek için etidyum bromür gibi spesifik boyalar kullanılarak boyanıp flüoresan mikroskop altına alınır ve boyanan preparatlardan burada elde edilen DNA görüntüleri incelenerek değerlendirilir. Comet analizinde çıkan sonuçların değerlendirilmesi için; kuyruk uzunluğu, kuyruktaki ve baştaki DNA yüzdeleri ve kuyruk momenti gibi çeşitli parametreler kullanılmaktadır (Güner ve Gökalp Muranlı, 2013).

Daha önceki dönemlerde memeli hücrelerindeki DNA hasarının değerlendirilmesinde kullanılan comet analizi, bugün balıkların da içinde bulunduğu pek çok hücre ve organizmaya uygulanabilmektedir (Çok ve ark., 2011). Sucul kirliliğin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan balıklar; geniş yayımlı, toksik maddeleri biriktiren, düşük konsantrasyonlardaki mutajen ve çevresel kirleticilere bile tepki gösteren sucul organizmalardır (Al-Sabti ve Metcalfe, 1995; Russo ve ark., 2004; Klobučar ve ark., 2010; Kondaş, 2018). Balıkların diğer deney hayvanlarına nazaran daha fazla sayıda, daha kolay elde edilebilmesi ve belirlenmek istenen maddelerin balıklara kontrollü ortamlarda verilebilmesi kullanımlarını arttırmaktadır (Güner ve Gökalp Muranlı, 2013). Balıkların çekirdekli eritrosit hücrelerine sahip olması, eritrositlerin kullanımının kolay oluşu, hücre sayısının fazla olmasından dolayı pek çok çalışmada balık kanı tercih edilmektedir (Kondaş, 2018).

Balıklar, çevresel kirleticilerden hızlı sürede etkilenmeleri ve sınırlı çevrede yaşamaları nedeniyle deneysel araştırmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Comet analizi son yıllarda genetik toksikolojide daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Sazan (*C. carpio*), (Buschini ve ark., 2004; Jin ve ark., 2004; Klobučar ve ark., 2010) gökkuşuğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) ve yılan kafa (*Channa punctatus*) (Ali ve Kumar, 2008) gibi birçok farklı balık türünde genotoksik maddelerin etkilerinin belirlenmesi için comet analizi kullanılmıştır. Yetişkin balıkların yanında yavru ve embriyolar da comet çalışmalarında kullanılmaktadır (Keiter ve ark., 2006). Bunun yanında genotoksik potansiyele sahip pestisit ve herbisitlerin (Bony ve ark., 2010) risk değerlendirmesinde kullanılmış bir yöntemdir (Pandey ve ark., 2011). Tek hücre jel elektroforezi (comet assay) sucul canlılarda ksenobiyotiklerin DNA üzerindeki etkisini gösteren ayrıca hız ve basitlik açısından büyük avantaj sağlayan bir testtir

(Çavaş, 2011). Pek çok araştırmada DNA hasarı ile sulardaki ksenobiyotikler (Da Rocha ve ark., 2009) arasındaki ilişki tespit edilmeye çalışılmıştır (Selvi ve ark., 2010; Güner ve Gökalg Muranlı, 2013).



## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatür araştırmaları sonucunda tezin çalışma alanı ile ilgili az sayıda çalışma bulunmakla beraber çalışma konusunu içeren başka bir araştırmaya da rastlanmamıştır. Curi Deresi'nde yaşayan *A. chalcoides* türünün genotoksik özelliklerini belirlemeye yönelik daha önce yapılmış bir çalışma bulunmamasıyla birlikte derenin su, sediment ve diğer balık trlerindeki ağır metal tespitinin belirlenmesiyle ilgili de çalışmalar literatürde mevcut değildir. Bu bölümde Curi Deresi ve *A. chalcoides* türü ile ilgili yapılan bazı çalışmalar verilmiştir. Bu çalışmaların dışında farklı lokalitelerde yaşayan farklı trler için yapılan ağır metal çalışmaları; su ve sediment özelliklerinin değerlendirildiği araştırmalar da mevcuttur.

Akinsorotan ve ark., (2019) Nijerya'nın Lagos Eyaleti'nde yaptıkları çalışmalarında *Clarias gariepinus* türündeki eser metal konsantrasyonlarını araştırmışlardır. Araştırma sonucunda Cu, Pb, Co, Al ve Cr metalleri balıkların kas dokusunda en düşük seviyede birikim gösterirken; Fe ve Mn metallerinin en yüksek düzeyde biriktiği belirlenmiştir. Bununla birlikte balık kasında birikim gösteren Fe ve Mn düzeylerinin tüketiciler için sağlık tehdidi oluşturabilecek seviyede olmadığı gözlenmiştir. Ancak sonuç olarak çalışma alanlarındaki akuakltrel faaliyetler için kullanılan tüm su ktellerinde iz metal konsantrasyonlarının sürekli izlenmesi gerekliliğini önerilmektedir.

Al-Jobory ve Yücel (2019) Razzaza Gölü su, sediment ve üç farklı balık türünde ağır metal birikimini araştırdıkları çalışmalarında glde ağır metal birikim sırasını; sediment>balık (karaciğer>solungaç>kas dokusu)>gl suyu olarak tespit etmişlerdir.

Dabak ve ark., (2019) dört farklı lokasyondan alınan su örneklerinde Cr, Mn, Co ve Ni metallerinin konsantrasyonlarını belirlemeyi amaçlamışlardır. Farin Gada Nehri'nde  $0.4133 \pm 0.0100$  mg/L ile en yüksek konsantrasyon Mn elementinde gözlenmiştir. Bunu sırasıyla Ni, Co ve Cr elementleri takip etmiştir. Diğer üç kaynaktan alınan su örneklerinde Mn elementi tespit edilememiştir. Diğer element konsantrasyonları sırayla; Ni>Co>Cr şeklinde bulunmuştur.

Ezekiel ve ark., (2019) yaptıkları çalışmada, analiz edilen metaller içinde Mn ve Ni haricindeki diğer metallerin konsantrasyonlarını bazı kuruluşların belirtilen maksimum sınır değerleri ile karşılaştırdıklarında limit değerin altında olduğunu

belirlemişlerdir. En yüksek konsantrasyona sahip metalin  $96.060 \pm 0.45$  mg/L ile Mg; en düşük konsantrasyona sahip metalin ise  $0.030 \pm 0.01$  mg/L ile Pb olduğunu bildirmişlerdir. Cu, Cr, Co, Ni, Cd ve Mn konsantrasyonları sırasıyla;  $0.121 \pm 0.02$  mg/L,  $0.948 \pm 0.21$  mg/L,  $0.184 \pm 0.04$  mg/L,  $0.208 \pm 0.05$  mg/L,  $0.110 \pm 0.04$  mg/L ve  $1.249 \pm 0.14$  mg/L olarak ölçülmüştür.

Gure ve ark., (2019) yaptıkları çalışmada *O. niloticus* ve *Labeoherbus infermedius* türlerinin kas, karaciğer ve solungaçlarında Cr, Co, Cu, Cd ve Pb metallerinin konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Cr (solungaçlarda) ve Cd (kaslarda) haricinde; her iki balık türünün kas, karaciğer ve solungaçlarında hedef metaller tespit edilmiş ve dokular arasında çeşitli dağılımlar göstermiştir. *Labeoherbus infermedius*'un solungaç, karaciğer ve kas dokusundaki metal konsantrasyonları sırasıyla; Cu>Pb>Co>Cd; Cr>Cu>Pb>Co>Cd; Cr>Pb>Cu>Co şeklinde iken, *O. niloticus*'da Cu>Co>Pb>Cd; Cr>Cu>Co>Pb>Cd; Cr>Pb>Cu>Co şeklinde tespit edilmiştir. Balık dokularında metallerin ortalama konsantrasyonları arasında önemli farklılıklar gözlenmiştir ( $P < 0.05$ ). Cr, Co ve Pb konsantrasyonları, FAO / WHO ve AB tarafından önerilen izin verilen maksimum sınırlardan daha yüksek bulunmuştur. Cu konsantrasyonu ise FAO / WHO tarafından önerilen izin verilen maksimum limitinin altında, ancak AB tarafından önerilen izin verilen maksimum sınırların üzerinde tespit edilmiştir.

Murwani ve ark., (2019) Krakatau Adaları'ndaki resif (mercan) balık türlerinde ağır metal (Pb, Ni, Cd, Cr, Fe, Mn, Zn, Co ve Ag) konsantrasyonlarını belirlemeyi amaçlamışlardır. Balık örnekleme noktası Anak Krakatau Adası, Panjang Adası ve Rakata Adası olmak üzere üç noktada gerçekleştirilmiştir. Pb konsantrasyonları *Plectorhincus vittatus*, *Siganus viragatus*, *Scarus schlegeli* ve *Acanthurus xanthopterus* türlerinde FAO tarafından belirlenen kalite standart değerlerinin üzerinde ölçülmüştür. En yüksek Ni metal konsantrasyonu *P. vittatus* türünde bulunmuştur. Cd konsantrasyonu tüm resif balık türlerinde kalite standardı değerlerinin üzerinde belirlenmiştir. Co konsantrasyonu 0.1 mg/kg olarak belirtilen kalite standart değerinin *S. viragatus* hariç, tüm türlerde üzerinde bulunmuştur. Bunun yanı sıra elde edilen tüm türler için Cr, Mn, Fe ve Zn konsantrasyonlarının standart kalite değerlerini aşmadığı belirlenmiştir. *Zanclus cornutus* türünde en yüksek konsantrasyonda bulunan metal Fe ( $14.427$  mg/kg) en düşük konsantrasyonda bulunan metal ise Co ( $0.099$  mg/kg) olarak tespit edilmiştir.



Güldiren ve Tekin Özan (2018), Seyhan Baraj Gölü'nden örnekledikleri sazann karaciğer, kas ve solungaç dokularındaki bazı ağır metallerin seviyelerini belirlemişlerdir. Analizi yapılan metallerin birikimi kas dokuda en düşük seviyede iken; solungaç ve karaciğerde en yüksek seviyede belirlenmiştir. Metal birikiminin balıkların boy ve ağırlık değerleri arasındaki ilişkisi belirlenmiş metal birikimi ile balıkların boy ve ağırlığı arasındaki ilişkinin negatif olduğu saptanmıştır. Elde edilen sonuçların bazıları; EC, WHO ve TGK tarafından bildirilen limit değerlerin üzerinde bulunmuştur. Metal birikimleri karaciğer ve kas dokusunda kış mevsiminde artış gösterirken, solungaçta yaz mevsiminde arttığı belirlenmiştir.

Kontaş (2018), Melet Irmağı suyu, sedimenti ve burada yaşayan balık türlerindeki ağır metal birikimini araştırmıştır. Kocaali istasyonundaki *A. chalcoides* örnekleri için kurşun miktarlarının yaz (1.13 mg/kg), kış (0.51 mg/kg) ve sonbahar (0.45 mg/kg) mevsimlerinde belirtilen limit değerlerin üzerinde olduğunu bildirmiştir. Nehir ağız istasyonundan yakalanan *A. chalcoides* örneklerindeki kurşun miktarlarının ise kış (0.93 mg/kg), sonbahar (0.47 mg/kg) ve ilkbahar (0.60 mg/kg) mevsimlerinde kas dokusunda belirtilen limit değerlerin üzerinde bulunduğunu tespit etmiştir.

Minareci ve Çakır (2018), Adıgüzel Baraj Gölü'nden aldıkları su numunelerinin anyonik deterjan (0.235 mg/L), fosfat (0.009 mg/L), bor (0.659 mg/L), bakır (0.0048 mg/L), nikel (0.0170 mg/L), krom (0.0016 mg/L) ve kurşunun ortalama (0.0002 mg/L) konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Sonuçlar “Kıta İçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri” ile karşılaştırıldığında baraj gölünün anyonik deterjan parametresi bakımından II. sınıf, bor, fosfat ve ağır metal parametreleri bakımından I. sınıf su kalitesinde olduğu bildirilmiştir.

Sökmen ve ark., (2018) Karasu Nehri'den alınan su ve sediment örneklerinde, ayrıca nehirden yakalanan *C. umbla* balıklarının karaciğer, solungaç ve kas dokularında bazı ağır metallerin (Al, As, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn) birikim düzeylerini belirlemişlerdir. Suda yapılan analizler sonucunda seviyesi en yüksek metal As iken; Al, Fe, Pb ve Zn metalleri suda tespit edilememiştir. Sedimentte yapılan analizler sonucunda en yüksek seviye Fe metalinde iken; Al, Cu ve Mn metalleri ise sediment örneklerinde tespit edilememiştir. Balık dokularında ise tüm metallere rastlanmış, metallerin genel olarak karaciğer dokusunda diğer dokulara

göre daha fazla birikim gösterdiği belirlenmiştir. Tüm dokularda en fazla birikim Fe metalinde ölçülmüşken, yine tüm dokularda en düşük birikim Pb metalinde görülmüştür. Ayrıca, balıklarda tespit edilen metal seviyeleri ile balıkların ağırlık ve boyları arasındaki ilişki incelenmiştir. Suda, sedimentte ve balık dokularında belirlenen ağır metallerin miktarı ulusal ve uluslararası kurumların belirlediği kabul edilebilir değerlerle kıyaslanmış ve insanların veya sucul organizmaların sağlığına zararlı olup olmadıkları değerlendirilmiştir.

Eroğlu ve ark., (2017) Keban Baraj Gölü suyunda ve burada yaşayan *Mastacembelus mastacembelus*'un kas dokusunda Cu, Fe, Zn, Cr, Cd ve Pb elementlerinin birikim düzeylerini araştırmışlardır. Dikenli yılan balığının kas dokusunda belirlenen ağır metal birikiminin; balıkların vücut uzunluğu, vücut ağırlığı ve eşeylerine göre değişiklik gösterdiği EPA, FAO ve TGK tarafından belirtilen limit değerlerin altında olduğu saptanmıştır. Su numunelerindeki ağır metal birikiminin mevsimsel olarak değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir.

Güldiren ve Tekin Özcan (2017), Seyhan Baraj Gölü su ve sediment örneklerinde Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Pb ve Zn elementlerinin konsantrasyonlarının mevsimsel değişimini tespit etmek amacıyla yaptıkları çalışmalarında, sediment numunelerinde her mevsimde tüm metalleri tespit etmişlerdir. Hem su hem de sedimentteki metal miktarlarının genel olarak yaz mevsiminde arttığını saptanmış ve suda ve sedimentte yapılan ölçümler sonucunda en az biriken metalin kadmiyum, en fazla biriken metalin ise demir olduğu bildirilmiştir.

Kaptanoğlu ve Bakır (2017), Van Bölgesi'nde bulunan Engil Çayı'ndan mevsimsel olarak aldıkları su ve toprak numunelerinden ağır metal kirliliğini tespit etmeyi amaçlamışlardır. Alınan numunelerde Cr, Cd, Ni, Cu, Pb ve Zn metallerinin konsantrasyonları belirlenmiştir. Yapılan analizlerin sonuçları; bakır, nikel ve kadmiyum iyonlarının varlığı suyun kirlenme aşamasında olduğunu göstermiş, sediment numunelerinde ise kadmiyum, nikel, krom ve kurşun kirliliğine rastlanmıştır.

Karayakar ve ark., (2017) çalışmalarında; Mersin Körfezi'nden örneklenen ekonomik öneme sahip bazı balık türlerinin farklı dokularındaki çinko, bakır, kurşun ve kadmiyum düzeylerini belirlemişlerdir. Metal düzeylerinin; yaşam alanlarına,

dokulara, mevsime ve incelenen metale göre değişim gösterdiği en düşük birikimin balıkların kas dokusunda olduğu ve TGK kriterlerine göre karşılaştırıldığında insan sağlığı açısından bir tehlike oluşturmadığı bildirilmiştir. Diğer dokular için en yüksek düzeyde belirlenen metaller; dalakda çinko, solungaçta kurşun, karaciğerde ise bakır ve kadmiyumdur.

Mutlu ve ark., (2017) Rize kıyılarına dökülen Sarayköy, Derepazarı, Çiftkavak, Taşlıdere derelerinin fiziko-kimyasal parametrelerini 13 aylık süreyle araştırmışlardır. Çalışma sonunda yapılan ölçümlerde ortalama su sıcaklığı; 13.10-14.2°C, pH; 7.35-7.85, çözülmüş oksijen; 10-10.34 mg/L, iletkenlik 143.96-170.22 µS/cm, toplam çözülmüş katı madde (TDS); 52.37-94.19 mg/L arasında değişiklik göstermiştir.

Alkan ve ark., (2016) tarafından yapılan çalışmada, Doğu Karadeniz’de ekonomik açıdan öneme sahip iki demersal balık türünün (barbunya ve mezigit) kas dokularındaki Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd ve Pb konsantrasyonlarının her iki balık türü için de sonbahar ve yaz döneminde yüksek olduğu bildirilmiştir. Mezigit balığının kas dokusunda arsenik ve kurşun konsantrasyonu; barbunyanın kas dokusunda kobalt, bakır ve kurşun konsantrasyonları arasındaki farkın istatistiksel manada önemli olduğu belirlenmiştir. Balıkların kas dokularındaki ağır metal konsantrasyonları çeşitli yasal değerler ile karşılaştırıldığında, metal derişimlerinin insan sağlığı açısından bir tehdit oluşturmadığı ve belirtilen limit değerlerin altında olduğu bildirilmiştir.

Bostancı ve ark., (2016) Curi Deresi’nde yaşayan balık türlerini belirlemek amacıyla yaptıkları araştırmalarında mevsimsel olarak gerçekleştirdikleri örnekleme sonucunda 4 familyaya ait 9 tür teşhis etmişlerdir. Örneklerin değerlendirilmesi sonucunda, istilacı bir balık türü olan *Carassius gibelio*’nun Türkiye iç suları yanında Ordu ili derelerinde de yayılışının hızla arttığı bildirilmiştir.

Çetin ve ark., (2016) Altınyazı Baraj Gölü (Edirne) su ve sedimentinin ve buradan örneklenen beş balık türünün kas, karaciğer, solungaç ve böbrek dokularındaki ağır metal birikimlerini araştırmışlardır. Suda yalnızca demir elementine rastlanmış diğer metaller tespit edilememiştir. Sedimentte araştırılan tüm metaller tespit edilmiş, ağır metal konsantrasyonları büyükten küçüğe doğru; Fe>Mn>Cr>Pb>Zn>Cu>Cd şeklinde sıralanmıştır. Su ve sedimentte belirlenen

değerler kabul edilebilir sınır değerlerin altında bulunmuştur. Balık dokularında ise kadmiyum ve kurşun konsantrasyonları kabul edilebilir sınır değerlerin üzerinde bulunmuştur.

Kalyoncu ve ark., (2016) Isparta Deresi'nin su ve sediment örneklerindeki; Zn, Se, Pb, Ni, Mo, Mn, Fe, Cu, Cr ve Cd ağır metallerinin mevsimsel değişimlerini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada; su örnekleri için yaz mevsiminde Cd, Mo ve Se elementlerinin, kış mevsiminde Cr, Cu ve Ni elementlerinin, sonbahar mevsiminde Mn ve Fe elementlerinin, ilkbahar mevsiminde ise Pb ve Zn elementlerinin artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Yine yaz mevsiminde ise Pb, Cu, Fe ve Zn, sonbahar mevsiminde Cd, Mo ve Se, ilkbahar mevsiminde Cr, Mn ve Mo elementlerinin azaldığı bildirilmiştir. Ayrıca suda en yüksek tespit edilen Fe iken, en düşük belirlenen metal ise Cd olmuştur. Sediment örnekleri için; yaz mevsiminde Mo, kış mevsiminde Zn sonbahar mevsiminde Ni, Cd, Cu ve Mn, ilkbahar mevsiminde ise Fe, Cr, Se ve Pb elementlerinin artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Yine yaz mevsiminde Cu, Fe, Ni ve Zn, kış mevsiminde Mo, Cd, Mn, Se ve Pb, sonbahar mevsiminde Cr elementlerinin azaldığı bildirilmiştir. Ayrıca sediment örneklerinde de su örneklerindeki gibi en yüksek tespit edilen metal Fe iken, en düşük belirlenen metal ise Cd olmuştur.

Sönmez ve ark., (2016) çalışmalarında İnebolu ve Cide limanları arasında kalan bir bölgeden örneklenen beş türün karaciğer, kas ve solungaçlarında Fe, Cd, Pb, Zn, Ni birikimini belirlemişler, Fe konsantrasyonu tüm dokularda ve tüm türlerde diğer metallere göre yüksek bulunmuştur. Çalışma sonucunda araştırılan ağır metaller ulusal ve uluslararası standartlardaki limit değerler ile karşılaştırılmış; çinko, demir, nikel ve bakır konsantrasyonları kabul edilebilir sınır değerler içerisinde belirlenirken kurşun ve kadmiyum bu sınır değerlerin üzerinde bulunmuştur.

Tokatlı ve ark., (2016a) çalışmalarında Emet Çayı'nda belirlenen üç istasyondan ve bu havza içerisinde bulunan Dursunbey Çayı'nda belirlenen bir istasyondan mevsimsel örnekleedikleri üç balık türünde (*B. oligolepis*, *C. tinca*, *S. cii*) Ni, Zn, As, B, Cd, Cu, Mn, Pb, Ag ve Cr elementlerinin kas, karaciğer, solungaç dokularındaki birikim seviyelerinin balık ağırlıkları ile ilişkisini değerlendirmişlerdir. Sonuçlar; her üç balık türünün dokularında belirlenen ağır

metal birikimi (özellikle krom ve nikel elementleri) ile balıkların total ağırlık değerleri arasındaki ilişkinin istatistiki anlamda önemli olduğunu göstermiştir.

Tokatlı ve ark., (2016b) yaptıkları çalışmada Cd, Pb, As, B, Cr, Ni, Zn ve Cu'nun Meriç Nehri ve Gala Gölü'nden örnekledikleri balık türlerinin (*C. carpio*, *C. gibelio*, *Sander lucioperca*, *Scardinius erythrophthalmus*, *Silurus glanis*, *S. orpheus*, *Esox lucius*, *Perca fluviatilis*) kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki biyobirikimlerini araştırmışlardır. Araştırılan toksik element düzeylerinin tüm dokularda sınır değerleri aştığı, özellikle kas dokularında belirlenen kurşun, nikel, krom ve kadmiyum miktarlarının insani tüketim değerlerinin oldukça üzerinde olduğu bildirmişlerdir.

Türkmen ve ark., (2016) çalışmalarında Aksu Deresi'nde yaşayan *B. capito*, *C. tinca*, *S. trutta macrostigma* ve *C. carpio* türlerinin kas ve solungaç ve dokularındaki metal konsantrasyonlarını incelemişlerdir. Türlerin kas ve solungaç dokularındaki metal birikimleri sırasıyla; Co: <0.01-1.00 ve 0.08-0.2 mg/kg, Cr: 0.36-2.57 ve 0.18-3.61 mg/kg, Cu: 7.92-40.4 ve 6.10-33.8 mg/kg, Fe: 46.0-469 ve 54.6-671 mg/kg, Mn: 1.36-15.2 ve 7.74-62.0 mg/kg, Ni: 0.66-3.29 ve 0.95-4.34 mg/kg, Pb: 0.88-8.89 ve 0.72-7.07 mg/kg, Zn: 43.8-233 ve 66.8-315 mg/kg yaş ağırlık olarak belirlenmiştir. Genellikle kas dokudaki metal birikimi solungaçlardaki metal birikiminden düşük bulunmuş FAO, EPA ve WHO tarafından belirtilen limit değerlerle karşılaştırıldıklarında metal konsantrasyonlarının bu sınır değerlerin altında olduğu bildirilmiştir.

Bostancı ve ark., (2015) yaptıkları çalışmada dört farklı *Alburnus* türünün otolit şekil ve morfolojileri belirlemişler, yapılan otolit ölçümleri ve elektron mikroskop görüntüleri sonucunda belirtilen farklılıkların aynı cinsin farklı türlerinin farklı habitatlarda bulunmasından kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir.

Köse ve ark., (2015) Porsuk Çayı sedimentinde yaptıkları çalışmada Zn, Cu, Mn, Ni, Cr, Pb, As değerlerini sırasıyla 28.2-234.57 mg/kg, 9.9-47.8 mg/kg, 177.8-404.6 mg/kg, 30.9-292.1 mg/kg, 22.33-161.9 mg/kg, 4.2-85.1 mg/kg, 3.5-7.6 mg/kg aralığında tespit etmişlerdir. Çayın Eskişehir ve Kütahya bölgelerinden gelen inorganik kirlilikten önemli oranda etkilendiğini bildirmişlerdir.

Çağlak ve Karşlı (2014), Beyşehir Gölü'nden örneklenen sudak balığının kas dokusundaki Cd, Co, Pb, Ni, Cr, Cu, Fe, Al, Zn ve Mn metal konsantrasyonlarını

mevsimsel olarak değerlendirmişler, belirlenen sonuçlar ulusal/uluslararası standartlardaki sınır değerler ile karşılaştırıldıklarında Pb konsantrasyonunun belirtilen sınır değerlerin üzerinde olduğunu bildirmişlerdir.

Canpolat (2013), Hazar Gölü'nden (Elazığ, Türkiye) yakalanan *C. umbla* türünün karaciğer, kas, deri, solungaç, gonad ve böbrek dokularındaki Fe, Cu, Zn, Mn, Co, Cd, Pb, Cr, As, Hg, Ni, Ca ve Mg düzeylerini araştırmıştır. İncelenen ağır metal ve minerallerin en düşük konsantrasyonu kas dokusunda; en yüksek konsantrasyonu ise karaciğer dokusunda tespit edilmiş ve konsantrasyonları farklı doku ve organlarda farklı bulunmuştur. Ağır metal birikimlerinin balığın yaş gruplarına, vücut ağırlığına, uzunluğuna ve cinsiyetine bağlı olarak değişiklik gösterdiği saptanmıştır. Bu türün insanlar tarafından tüketilmesinin herhangi bir risk taşıyıp taşımadığı; Çevre Koruma Ajansı (EPA), Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve Türk Gıda Kodeksi (TGK) tarafından önerilen kabul edilebilir değerler ile karşılaştırılmış ve ağır metal konsantrasyonları sınır değerlerin altında tespit edildiğinden türün tüketilmesinin insan sağlığı açısından bir risk taşımadığı belirtilmiştir.

İskender (2013), yaptığı tez çalışmasında; Turnasuyu ve Curi derelerinin balık faunasını belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışma alanlarını temsil eden Turnasuyu Deresi için 4 istasyon, Curi Deresi için 5 istasyondan balık örnekleri toplanmıştır. 362 adet balık örneğinin incelenmesi sonucunda, Turnasuyu ve Curi derelerinde 4 familyaya ait 10 tür tespit edilmiştir. Turnasuyu ve Curi derelerinde seçilen istasyonlardaki suyun bazı fiziko-kimyasal özellikleri belirlenmiştir.

Özbay ve ark., (2013) Berdan Çayı sedimentinde ağır metal düzeylerini araştırdıkları çalışmalarında; Fe, Al, Mn, Ni, Cr, Zn, Cu, Pb ve Cd elementlerini sırasıyla; 18521.91 µg/g, 12907.70 µg/g, 377.40 µg/g, 167.68 µg/g, 57.81 µg/g, 45.59 µg/g, 28.38 µg/g, 22.82 µg/g ve 4.54 µg/g olarak tespit etmişlerdir. Bu veriler sonucunda akarsuyun ağır metal düzeyinin oldukça yüksek olduğunu, bunun sanayi ve evsel atık suları, yoğun şekilde kullanılan tarım ilaçları ve bölgenin jeomorfolojik yapısından kaynaklandığını bildirmişlerdir.

Yabanlı ve ark., (2013) Bafa Gölü suyu ve gölden örneklenen *D. labrax* türünün kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki ağır metal (As, Al, Cd, Cr, Ni, Hg, Cu, Pb) konsantrasyonunu mevsimsel olarak incelemişlerdir. Hesaplanan

biyobirikim oranı sonuçlarına göre dokularda en fazla Cd, Cu ve Pb birikimi; en az ise Hg birikimi olduğu tespit edilmiştir. Ulusal/uluslararası standartlardaki sınır değerler ile karşılaştırıldıklarında, balıkların kas dokusunda belirlenen ortalama ağır metal konsantrasyonlarının belirtilen limit değerleri aşmadığı, bu sebeple de halk sağlığı bakımından herhangi bir risk teşkil etmediği bildirilmiştir. Göl suyunun araştırılan ağır metaller açısından değerlendirildiğinde, balıklar için toksik etkiye sebep olabilecek seviyelerde konsantrasyonlar içermediği görülmüştür.

Arslan ve ark., (2012) çalışmalarında, Yedigöller Bölgesi'nde bulunan en büyük göletten alınan numunelerde, suyun sıcaklık, tuzluluk, pH, iletkenlik, % oksijen doygunluğu, çözülmüş oksijen, nitrit, nitrat, fosfat gibi bazı fizikokimyasal özellikleri ile As, Cd, B, Pb, Zn, Cr ve Cu gibi toksik özellik gösteren elementlerin su, sediment ve gölden örneklenen; *C. gibelio*, *Capoeta sieboldii* ve *Squalius pursakensis* türlerinin kas dokularındaki konsantrasyonlarını araştırmışlardır. Sonuçlar değerlendirildiğinde gölet suyunun inorganik kirlilik parametreleri bakımından dördüncü sınıf su kalitesinde olduğu, balık örneklerinin kaslarında tespit edilen arsenik ve kadmiyum konsantrasyonlarının belirtilen limit değerlerin üzerinde olduğu bildirilmiştir.

Sönmez ve ark., (2012) Karasu Irmağı'nda belirlenen 5 istasyondan aylık örneklenen su numunelerinde Cu, Zn, Mn, Pb, Ni, Cd ve Fe varlığını incelemişler, istasyonlar arasında belirlenen tüm ağır metal konsantrasyonlarında önemli derecede fark tespit etmişlerdir ( $P < 0.01$ ). Ağır metal konsantrasyonları aylık değerlendirildiğinde; bulunan sonuçlar arasındaki farkın önemli olmadığı bildirilmiştir ( $P > 0.05$ ).

Arslan ve ark., (2011a) Yedigöller Bölgesi için; 2 istasyondan alınan su ve sediment örneklerini; fizikokimyasal özellikleri ve ağır metal birikimleri açısından incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda tıbbi, endüstriyel ve evsel atıklar sebebiyle yoğun bir kirlenmenin tespit edildiği ve yok olma tehlikesi altında olan bölgenin sediment örneklerinde araştırılan tüm metal derişimlerinin yüksek olduğu, göllerin selenyum ve bor metalleri bakımından dördüncü, fizikokimyasal parametreler bakımından ise üçüncü sınıf su kalitesinde olduğu bildirilmiştir.

Alinnor ve Obiji (2010), Nworie Nehri'nde farklı bölgelerden elde edilen balık örneklerindeki; Pb, Fe, Cd, Mn, Hg, Cu ve Zn ağır metallerin birikimini analiz

etmişlerdir. Yapılan çalışmanın sonucunda nehrin kirlilik seviyesinin belirlenmesi gerektiği bildirilmiş, Nworie Nehri'nden balık örneklerindeki ağır metal kirleticilerinin seviyesi belirlenerek bu temel toksik maddelerin ve ilgili sağlık tehlikelerinin etkileri incelenmiştir.

Patimar ve ark., (2010) yaptıkları çalışmalarında; Güney Hazar Havzası'nın iki farklı bölgesinden yakalanan balıkları, üreme döneminde yaşam özellikleri açısından incelemiştir. Balıkların 5 yıllık yaşam döngüsü incelenerek Von Bertalanfy büyüme denklemleri hesaplanmıştır. Sonuçlar *A. chalcoides* türünün yaşam özelliklerine ait durumların nehirler arasında önemli derece farklı olduğunu göstermiş ve bu farklılıkların habitat özelliklerinden dolayı kaynaklanmış olabileceği bildirilmiştir.

Çoban ve ark., (2009) levrek balıklarının (*Dicentrarchus labrax*) karaciğer, kas ve solungaç dokularında ağır metal birikimi üzerine yaptıkları çalışmalarında; Al, Cr, Hg, Cd, Cu ve Fe konsantrasyonlarının dokulardaki sıralamalarını karaciğer>solungaç>kas dokuları şeklinde; Pb ve Zn konsantrasyonlarının ise solungaç>karaciğer>kas dokusu şeklinde olduğunu bildirmişlerdir.

Akgün ve ark., (2007) Çeltikçe Çayı'ndan örneklenen *Leuciscus cephalus* bireylerinin kas, karaciğer ve solungaç dokularında Cd, Cu, Pb ve Zn ağır metallerinin birikim düzeyleri üzerine yaptıkları çalışmada Zn, Cd ve Pb metallerinin en çok karaciğerde (98.5000 ppm, 4.5354 ppm ve 38.9649 ppm), bakırın ise en çok kasta (6.0330 ppm) olduğu saptanmıştır. Farklı dokularda birikim düzeyleri araştırılan metallerin vücut ağırlığı ile ilişkileri belirlenmiştir.

Arslan ve ark., (2007) yaptıkları çalışmada; *L. cephalus* bireylerinin gonad ve böbreklerinde Cd, Cu, Pb ve Zn metallerinin birikim düzeylerini araştırmışlardır. Çeltikçe Çayı'ndan örneklenen *L. cephalus* bireylerinde belirlenen Cd, Pb ve Zn miktarlarının limit değerlerin üstünde, bakırın ise limit değerlerin altında olduğu saptanmıştır.

Cicik (2003), bakır, çinko ve bakır-çinko etkileşimine maruz bırakılan *C. carpio* türünün kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki ağır metal birikimini incelemiştir. Çalışma sonucunda en düşük bakır ve çinko birikimi, kas dokusunda iken, en yüksek birikimin karaciğerde olduğu belirlenmiştir.



Göksu ve ark., (2003) çalışmalarında Seyhan Baraj Gölü'nden örnekledikleri *C. carpio* ve *Stizostedion lucioperca*'nın kas dokusunda, demir, çinko ve kadmiyum birikimini araştırmışlardır. Birikim büyükten küçüğe Fe>Zn>Cd şeklinde belirlenmiştir. *C. carpio* ve *S. lucioperca*'da sırasıyla ortalama Fe birikim değerleri;  $1.93\pm 0.36$  µg/g,  $1.85\pm 0.20$  µg/g, ortalama Zn birikim değerleri;  $0.84\pm 0.57$  µg/g,  $0.54\pm 0.22$  µg/g ve ortalama Cd birikim değerleri;  $0.46\pm 0.10$  µg/g,  $0.49\pm 0.09$  µg/g (yaş ağırlık) olarak saptanmıştır.

Çiçek ve Koparal (2001), çalışmalarında Porsuk Baraj Gölü'nden örnekledikleri *C. carpio*, *Barbus plebejus* türlerinde ve baraj suyunda bulunan ağır metallere kadmiyum, krom ve kurşunun miktarlarını incelemiştir. Balık dokularında krom ve kurşuna rastlanmamıştır.

Yukarıda verilen birçok çalışmada görüldüğü gibi, sucul ekosistemlerde çevresel birçok faktörün, kimyasal maddelerin, özellikle de ağır metallerin neden olduğu kontaminasyonun belirlenmesi için genotoksik yöntemlere başvurulmalıdır. Bu araştırmanın asıl noktasını oluşturan mikronükleus testi ve comet analizi kullanılarak farklı araştırmacıların farklı balık türlerinde yaptıkları benzer çalışmalara da değinilmiştir.

Asad ve ark., (2019) 30'ar adet *Labeo rohita* balığının bulunduğu yedi grup oluşturulmuştur; biri kontrol grubu olmak üzere üç gruba krom klorür heksahidrat (0.3, 0.5 ve 0.6 mg/kg), üç gruba da Cr-Picolinat (0.3, 0.5 ve 0.6 mg/kg) eklenmiştir. *L. rohita* kan örneklerinde farklı organik ve inorganik krom dozlarında analiz edilen çeşitli comet parametrelerinin ortalamaları karşılaştırılmıştır. Comet sonuçları, balık eritrositlerinde genetik hasarın olduğunu göstermiştir. Comet parametreleri olarak kuyruktaki DNA, kuyruk uzunluğu ve kuyruk momenti hesaplanmıştır. Kuyruktaki DNA oluşturulan gruplarda; birinci grupta (T1) (CCH1, 0.3 mg/kg)  $56.57\pm 0.839$ , ikinci grupta (T2) (CCH2, 0.5 mg/kg)  $54.00\pm 0.987$ , üçüncü grupta (T3) (CCH3, 0.6 mg/kg)  $26.78\pm 0.806$  olarak hesaplanmış krom klorür heksahidratın dozu arttıkça kuyruktaki DNA parametresi değerinin düştüğü belirlenmiştir. Dördüncü grupta (T4) (CP1, 0.3 mg/kg)  $27.74\pm 1.380$ , beşinci grupta (T5) (CP2, 0.5 mg/kg)  $43.98\pm 2.461$ , altıncı grupta (T6) (CP3, 0.6 mg/kg)  $50.56\pm 1.566$  olarak hesaplanmış Cr-Picolinatın dozu arttıkça kuyruktaki DNA parametresi değerinin arttığı belirlenmiştir. Yedinci

grup (T7) ise kontrol grubu olup, kuyruktaki DNA değeri  $4.12 \pm 0.306$  şeklinde hesaplanmıştır.

Asllani ve ark., (2019) Kosova'da bulunan Drenica ve Sitnica Nehirleri'nden örnekledikleri *R. rutilus* türlerinde genotoksik riski değerlendirmek için, iki yıllık (2016-2017) bir çalışma yapmışlardır. Örnekler, Drenica Nehri boyunca üç yerde ve Sitnica Nehri boyunca iki yerde toplanmış ve genotoksisite, eritrositlerdeki comet analizinin (DNA hasarı) yanı sıra mikronükleus testi ile değerlendirilmiştir. Comet analizi iki yıl boyunca beş mevsim toplanan örnekler üzerinde değerlendirilmiştir. DNA hasar seviyelerinin 2016'da toplanan örneklerde 2017'deki mevsimlere göre anlamlı derecede yüksek olduğu yönünde belirlenmiştir. Comet sonuçları değerlendirildiğinde; kuyruktaki DNA uzunluğunun en yüksek 20.60 ile Mitrovica istasyonunda 2016 yaz mevsiminde, en düşük 6.08 ile Grabovc istasyonunda 2017 yaz mevsiminde olduğu bildirilmiştir.

Kontaş (2018), Melet Irmağı'ndan örneklediği *A. chalcoides* türünün eritrosit hücrelerinde belirlenen kuyruk yoğunluğunu ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde sırasıyla; Kocaali istasyonunda %33.98, %35.99, %33.36, %32.85 olarak, Nehir ağzı istasyonunda %40.27, %40.42, %40.11, %38.05 olarak tespit etmiştir. Baş yoğunluğu değerlerini ise, Kocaali istasyonunda %66.02, %64.01, %66.64, %67.15 ve Nehir ağzı istasyonunda %59.73, %59.58, %59.89, %61.95 olarak belirlemiştir.

Elgendy ve ark., (2017) *T. zilli* ve *S. vulgaris* türlerinde comet analizi ile ağır metal birikiminin balık dokularına etkisini belirlemiştir. *T. zilli* türünde kuyruk uzunluğu 13.2  $\mu\text{m}$  iken, *S. vulgaris*'te bu değer 21.8  $\mu\text{m}$ ; kuyruktaki DNA yüzdesi *T. zilli*'de %29.85 iken *S. vulgaris*'te %36.99; kuyruk momenti ise iki türde de 8.90 olarak ölçülmüştür.

Çakal Arslan ve ark., (2015) Aliğa Körfezi kirli sularında bulunan çeşitli mutajenik ajanların neden olduğu balıklardaki biyolojik zararları değerlendirmek amacıyla yaptıkları çalışmalarında, körfezin hem kirli hem de nispeten temiz bölgelerinden aldıkları balık örneklerinin periferik eritrositleri ve solungaçları kullanılarak mikronükleus (MN) testi uygulanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, kirli sahalarda MN sıklığı yüksek düzeyde bulunmuştur. Sonuç olarak, bu çalışma mikronükleik testinin kirliliği, özellikle limanın kirlenmesini izlemeye hassas

sonuçlar verdiğini ve bu nedenle kıyı ekosisteminin kirlenmesinin düzenli olarak izlenmesinde standart bir yöntem olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Yazıcı ve Şişman (2015) toksik metallerin Karasu Nehri'nde (Erzurum) ve burada belirlenen iki farklı istasyondan örneklenen *B. plebejus* türünde meydana getirdiği genotoksik etkilerini araştırmışlardır. Suda; Al, As, Cd, Cr, Cu, Mn ve Pb metallerinin konsantrasyonları belirlenmiş, balık türünde mikronükleus (MN) oluşumu ve diğer çekirdek anormallikleri (A) araştırılmıştır. Belirlenen iki istasyon (kirlenmiş nehir alanı ve kirlenmemiŐ referans alan) karşılaştırıldığında; MN ve A frekanslarının kirlenmiş alandan örneklenen balıklarda kirlenmemiŐ referans alandan örneklenen balıklara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak; evsel, tarımsal ve endüstriyel atıkların nehre deşarjının ağır metal konsantrasyonlarında artışa ve toksisiteye bunun sonucunda da genotoksik etkilere neden olduğu bildirilmiştir.

Güner ve Gökalp Muranlı (2013) yaptıkları derleme çalışmasında, balıklarda comet analizinin nasıl iŐlediđini, çalışma prensiplerini ve comet analizi sonuçlarının nasıl değerlendirildiğini bildirmişlerdir.

Arslan ve ark., (2011b) alıŐmalarında, sucul ekosistemlere bir Şekilde kirletici olarak giren çamaşır suyu ve bulaşık deterjanının *Poecillia reticulata* türü üzerindeki genotoksik etkilerini araştırmışlardır. Araştırmada balıklar 96 saat boyunca 15  $\mu\text{L/L}$  konsantrasyonundaki bulaşık deterjanı ve çamaşır suyuna maruz bırakılmıŐ, süre sonunda balıklardan alınan kan örnekleri mikronükleus testi ile incelenmiştir. İncelemeler sonucunda doza maruz kalan balıkların morfolojik nükleus düzensizlikleri ve mikronükleus değerlerinde kontrol grubuna göre artış olduğu bildirilmiştir.

akal Arslan ve ark., (2010) yaptıkları çalışmada, MN testi için kullandıkları *Gobius niger* ve *Mytilus galloprovincialis* türlerini İzmir Körfezi'nin en kirli yedi bölgesinden toplamıŐlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre testin kirliliğinin özellikle limanın kirlenmesini izlemede hassas sonuçlar verdiğini ve bu nedenle kıyı ekosisteminin kirliliğinin düzenli olarak izlenmesinde standart bir yöntem olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Nwani ve ark., (2010) karboslfanın mutajenik ve genotoksik etkisini belirlemeyi amaçladıkları çalışmalarında, *C. punctatus* türünde mikronükleus (MN)

ve comet analizi gerçekleştirmişlerdir. Periferik kandaki tüm konsantrasyonlarda MN indüksiyonu 96 saatte en yüksek düzeyde bulunmuştur. Eritrosit ve solungaç hücrelerinde kuyruk DNA'sı yüzdesi olarak ölçülen DNA hasarı için de benzer bir eğilim gözlenmiştir. Çalışma sonucunda, comet ve mikronükleus analizlerinin, su kirleticilerin potansiyel genotoksitesini belirlemede faydalı araçlar olduğu ve izleme programının bir parçası olarak uygun olabileceği bildirilmiştir.

Summak (2009) yaptığı çalışmada, Nilüfer Çayı'nda kirleticilerin genotoksik etkilerini İsrail sazanında (*O. niloticus*) mikronükleus testi ile belirlemiştir. Çalışmada Nilüfer Çayı'nın üç farklı bölgesinden toplanan su örneklerinin fizikokimyasal analizlerinde Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn oranlarının yüksek olduğu bildirilmiştir. İstasyonlar kendi aralarında mikronükleus oranı açısından karşılaştırılmış, Baraklı (temiz bölge) ile Buttım ve Balıklı (kirli bölgeler) bölgelerine ait su örneklerine maruz bırakılan balıkların eritrositlerinde önemli oranda mikronükleus artışı olduğunu gözlenmiştir.

Ali ve ark., (2008) çalışmalarında Nil Nehri ve diğer 3 bölgeden (Abou Homous, Kafr Eldawar ve Mariout) alınan dört balık türü (nil tilapya, mavi tilapya, tatlı su çupra ve karabalık) üzerinde MN frekanslarını değerlendirmişlerdir. Nil Nehri'nden alınan örnekler Nil Nehri suyu içme suyu olarak kullanılmasından dolayı kontrol grubu olarak belirlenirken, diğer 3 bölgeden alınan balıklar deneme grubu olarak kullanılmıştır. Farklı bölgeler ve türler arasındaki MN frekansı değerlendirildiğinde en yüksek MN frekansının Moriout bölgesinden alınan *C. gariepinus* türünde olduğunu bildirmişlerdir.

Koca ve ark., (2008) Büyük Menderes Nehri'nde iki balık türü (*B. capito pectoralis* ve *Chondrostoma nasus*) üzerinde su kirliliğinin genotoksik ve histopatolojik etkilerini araştırmışlardır. Eritrosit mikronükleus frekansı istasyonlar arasında farklılık göstermemiştir. Bunun yanında histopatolojik bakımdan incelenen solungaç, karaciğer ve kas dokusunda farklılıklar tespit edilmiştir.

Yılayaz (2008a); *C. trutta* bireylerinde chlorpyrifos-ethyl'in 125, 150, 175, 200 ve 225 ppm'lik dozlarının 96 saat süre ile örnekler üzerindeki genotoksik etkisini belirlemek için MN testini kullanmıştır. 24 adet örneğin eritrositlerinde meydana gelen MN frekansları hesaplanmış en yüksek MN frekansı %2.19 ile 225 ppm'lik

doza maruz bırakılan bireylerde tespit edilmiştir. Sonuç olarak, doz artışına bağlı olarak mikronükleuslu eritrosit sayısında artış olduğu bildirilmiştir.

Yılayaz (2008b); *B. rajanorum mystaseus* bireylerinde chlorpyrifos-ethyl'in 125, 150, 175, 200 ve 225 ppm'lik dozlarının 96 saat süre ile örnekler üzerindeki genotoksik etkisini belirlemek için MN testini kullanmıştır. 24 adet örneğin eritrositlerinde meydana gelen MN frekansları hesaplanmış en yüksek MN frekansı %2.47 ile 225 ppm'lik doza maruz bırakılan bireylerde tespit edilmiştir. Sonuç olarak, doz artışına bağlı olarak mikronükleuslu eritrosit sayısında artış olduğu bildirilmiştir.

Ergene ve ark., (2007a) yaptıkları çalışmada, Göksu Deltası'nın iki sucul ekosistemi olan Paradeniz ve Akgöl'den aldıkları karayayın (*C. gariepinus*), inci balığı (*A. orontis*) ve has kefal (*Mugil cephalus*) türlerini inceleyerek ağır metallerin (Cu, Cd, Ni, Pb) balıklar üzerine genotoksik etkilerini, mikronükleus (MN) ve nüklearbuds (NB) değerlerine bakarak belirlemiştir. Çalışma sonunda Göksu Deltası'nın genotoksik kirleticiler ile kontamine olduğu, bunun da tarım ve antropojenik atık sularının deşarjı ile ilgili olduğunu belirtmişlerdir.

Ergene ve ark., (2007b) yaptıkları bir diğer çalışmada, Berdan Irmağı'nda biriken endüstriyel ve evsel atıkların balıklarda genotoksik etkisini araştırmak için mikronükleus testini kullanmışlardır. Laboratuvarında Nil tilapyası (*O. niloticus*) balıkları farklı bölgelerden, farklı mevsimlerde alınan su örneklerine 2, 4 ve 6 gün boyunca maruz bırakılmıştır. Balıklarda, periferalden alınan kan eritrositleri, solungaç hücreleri ve kaudal yüzgeç epitel hücrelerindeki mikronükleus frekanslarına bakıldığında farklı bölgelerden alınan su örneklerine göre balık dokularındaki MN frekanslarının değiştiği görülmüştür.

Yırtıcı (2007), *C. carpio*'yu bir gıda katkı maddesi olan tartazinin farklı dozlarına (250, 500, 1000 ve 1500 mg/L) farklı sürelerde (24, 48 ve 72 saat) maruz bırakmış ve tartazinin neden olduğu genotoksik etkiyi mikronükleus testi ile analiz etmiştir. Balıkların eritrositlerinde meydana gelen mikronükleus frekanslarının kontrol grupları ile karşılaştırıldığında hem zamana hem de dozlara bağlı olarak artış gösterdiğini bildirmişlerdir.

Baršienė ve ark., (2006) ham petrole maruz kalan kalkan balığı (*Scophthalmus maximus*) ve atlantik morinasında (*Gadus morua*) sefalik böbrek ve

periferalden alınan kan eritrositlerinde mikronükleus ve diğer nükleer anormalliklerine bakmışlardır. Balıklar ortama alıştıktan sonra 3 hafta boyunca 0.5 ppm ham petrole, 30 ppb nonifenol, 0.5 ppm Hint sümbülü yağına maruz bırakılarak, kontrol grubuyla periferik kan örnekleri, böbrek üstü bezleri ve nükleer anormallikler karşılaştırılmıştır.

Bolognesi ve ark., (2006) yaptıkları çalışmada, kalkan balığında (*S. maximus*) mikronükleus ve çekirdek anomalilerini incelemiştir. Balıkları farklı kimyasallara (dialkil fitalat, bisfenol A ve tetra bromo difenil eter) tek tek maruz bıraktıkları gibi kimyasalları bir arada da vermişlerdir. Özellikle kimyasallar birlikte verildiğinde, mikronükleus ve çekirdek anomalilerinde anlamlı bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

Deguchi ve ark., (2006) çalışmalarında Japon balığını (*C. auratus*), 9 gün süresince endüstriyel ve yerel atık alanlarındaki sızıntı sularına maruz bırakarak, genotoksik etkiyi eritrosit ve solungaç dokularında mikronükleus testini uygulayarak belirlemişlerdir. Normal ya da işlenmiş sızıntı sularında yapılan deneylerle mikronükleus frekansları değerlendirilmiştir. Solungaç eritrosit hücrelerinde mikronükleus frekansı yüksek olurken, periferik eritrosit hücrelerinde mikronükleus tespiti yapılamamıştır.

Matsumoto ve ark., (2006) çalışmalarında, akarsuda belirledikleri farklı kirlilik düzeylerine sahip üç istasyondan örnekledikleri *O. niloticus* bireylerinde meydana gelen genotoksik etkiyi mikronükleus testi ve comet analizi ile belirlemişlerdir. Nehrin su içeriğinde bulunan Cr bileşiklerinin balıkların eritrosit hücrelerinde mikronükleus frekanslarını arttırdığını ve çekirdek anormalliklerine neden olduğunu bildirmişlerdir. Comet sonuçları da aynı doğrultuda en büyük DNA hasarlarının Cr içeren sudan meydana geldiğini göstermiştir.

Çavaş ve ark., (2005) üç farklı balık türünü 21 gün süre boyunca kadmiyum (0.005-0.1 mg/L) ve bakırın (0.01-0.25 mg/L) farklı dozlarına maruz bırakmışlardır. Ağır metal maruziyetinin, balık türlerini farklı dokularda farklı derecelerde etkilediğini ve mikronükleus frekanslarında önemli derecede artışa neden olduğunu bildirmişlerdir.

Russo ve ark., (2004) *Gambusia holbrooki* türünde Sarno Nehri'nin kirlilik sularında bulunan çeşitli mutajenik maddelere maruz bırakılmasından kaynaklanan biyolojik hasarı değerlendirmek amacıyla mikronükleus ve comet analizi

uygulamışlardır. Sarno Nehri'nden alınan numunelerde hem MN hem de DNA göçü için bulguların istatistiksel olarak yüksek değerleri gösterdiğini ve Sarno Nehri'nde bulunan kirletici karışımının güçlü bir genotoksik etkisi olduğunu bildirmişlerdir.

Bombail ve ark., (2001) genotoksik etkiyi iki farklı bölgeden temin ettikleri *Pholis gunnellus* türü üzerinde mikronükleus ve nükleus değişikliklerini inceleyerek tespit etmişlerdir. Endüstriyel kirliliğin olduğu bölgenin iç kısmından alınan balıklarda eritrosit mikronükleus frekanslarının, bölgenin dış kısmından (kontrol alanı) alınan örneklerde görülenden daha fazla olduğunu bulmuşlardır. Bunun nedeninin de bölgenin iç kısmında kontaminasyon oluşturan ajanlardan dolayı olduğunu belirtmişlerdir.

Bu tez çalışmasında; Curi Deresi'nin su ve sediment niteliklerinin ortaya konulması, belirlenen istasyonlardan mevsimsel olarak örneklenen *A. chalcoides* türünün kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki ağır metal birikimlerinin tespiti ve bu birikimlerin ilgili türün DNA'sında meydana getirebileceği genotoksik etkinin araştırılması amaçlanmıştır.

Araştırılan elementlerin, alınan su, sediment ve doku numunelerinde tespit edilmesine; akarsuyun bulunduğu bölgenin jeolojik yapısı, bölgede gerçekleştirilen hayvancılık faaliyetleri, tarımsal faaliyetlerde kullanılan pestisitler, evsel atık girdileri, maden işletmeleri ve fabrikalar gibi çeşitli çevresel kirliliğe sebep olabilecek faktörler düşünülerek çalışma yapılmıştır. İstasyonlara ait su örneklerinin bazı fizikokimyasal parametreleri belirlenmiş, ağır metal düzeyleri standartlarda belirtilen sınır değerlerle karşılaştırılmıştır. İstasyonlardan alınan sediment numuneleri de Turekian ve Wedepohl (1961)'da belirtilen limit değerler ile karşılaştırılmıştır. Ağır metallerin balıkların farklı dokularında farklı miktarlarda birikimi, balıkların maruz kaldığı ağır metalin çeşidine ve süresine göre değişebileceğinden; ırmaktan örneklenen *A. chalcoides* türünün kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki ağır metal birikimleri mevsimsel olarak her istasyon için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada, Curi Deresi'nde yaşayan ve yöre halkı tarafından tüketilen bir balık olan *A. chalcoides*, tüm istasyonlarda ve her mevsimde örneklendiği için seçilmiş olup, belirlenen istasyonlarda yaşayan bu tür üzerinde çevresel faktörlerin meydana getirdiği biyolojik etkilerine yönelik ilk ve değerli veriler ortaya

konmuştur. Türün solungaç ve karaciğeri ile kas dokusundaki ağır metal içeriğinin tespit edilerek, insan sağlığı açısından bir tehdit unsuru olup olmadığı gözlemlenebilecek ve çevresel kirlenme hakkında veriler elde edilerek önemi vurgulanmış olacaktır. Bu sayede balıkların eritrositlerinden faydalanılarak mikronükleus oluşumları ve bazı comet parametrelerinin yardımıyla akarsuyun genotoksik potansiyeli de belirlenmiş olacaktır. Genotoksik etkiye sahip ağır metaller gibi maddelerin bulunduğu ortamlardan uzaklaştırılması ve su ortamına karışmasının önüne geçilmesi adına da, bu çalışmadan elde edilecek sonuçların erken bir uyarı sistemi olarak kullanılabilmesi düşünülmektedir.

Çalışmanın sonucunda elde edilecek olan veriler, çevre kirliliği bakımından risk oluşturan birçok faktörün gözden geçirilmesi ve bertaraf edilmesinde güçlü bir kanıt olarak kullanılabilir. Bu sonuçlar ışığında, gerek ekosistemdeki diğer canlılar gerekse insanlar için meydana gelebilecek sağlık risklerine karşı önceden önlemler alınabilmesi için öneriler sunulabilecektir. Dolayısıyla, bu çalışma ile doğacak sonuçların birçok farklı lokalitede de benzer sonuçları doğurabileceği düşünülerek ağır metallerin ülkemizde neden olduğu çevre kirliliğine yönelik bilinçlenmeye de katkı sağlanması hedeflenmiştir.

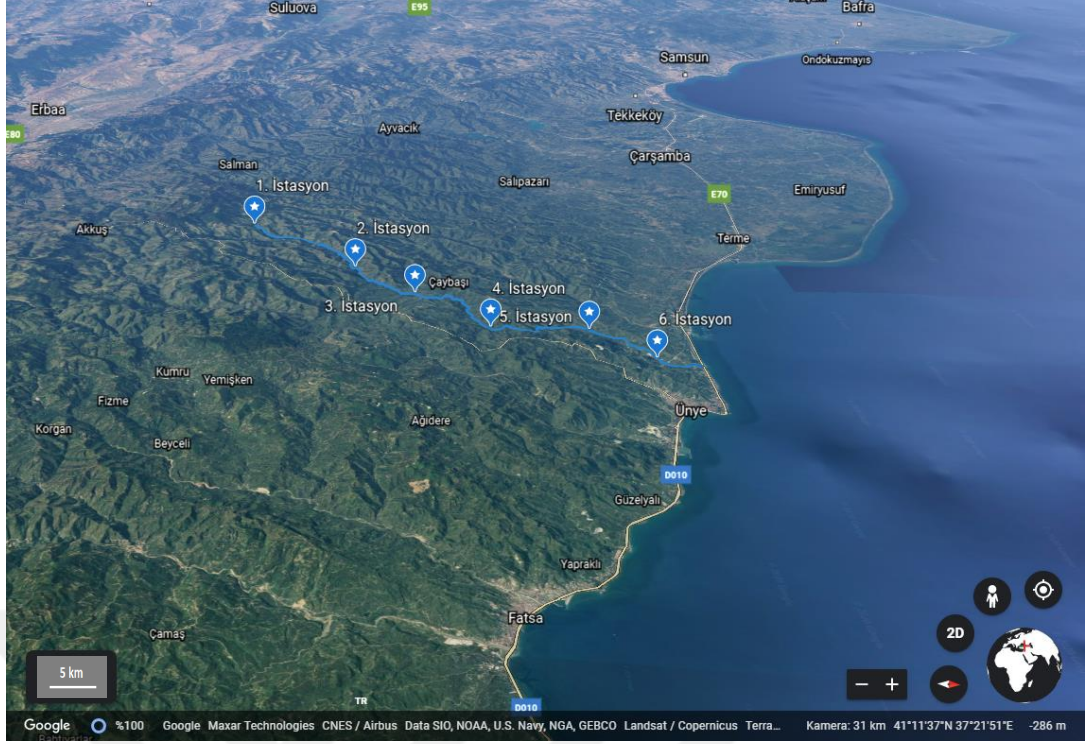


### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 Çalışma Alanı ve İstasyonlar

Curi Deresi, Ordu ili Akkuş ilçesindeki dağların eteklerinden doğan, iki yanından aldığı kollarla büyüyerek Karadeniz'e dökülen bir akarsudur. Ordu ili Çatalpınar ilçesine yakın konumda bulunan Curi Deresi 41°08'36"N (enlem) ve 37°13'41"E (boylam) koordinatlarında yer almaktadır. Taşkın ve kıyı oyuntusu zararlarına sebep olabilecek potansiyele sahip olan Curi Deresi 242 km<sup>2</sup> yağış alanına sahiptir. Bu akarsuyun 100 yıl frekanslı taşkın pik debisi  $Q_{max100}=485 \text{ m}^3/\text{s}$ , 500 yıl yinelenmeli taşkın pik debisi  $Q_{max500}=637 \text{ m}^3/\text{s}$ ' dir. 49 km kolektör uzunluğuna sahip akarsuyun memba ile mansap arasındaki kot farkı 1620 m'dir (ÇDR, 2011; İskender, 2013).

Curi Deresi üzerinde yapılan arazi çalışmaları; Mart 2017 - Aralık 2018 tarihleri arasında belirlenen altı istasyonda gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1.1). Her bir istasyondan alınan su, sediment ve balık dokularındaki ağır metal birikimini, örneklenen balık türünün kan hücrelerinde meydana gelebilecek mikronükleus oluşumlarını ve genotoksik hasar ile ortaya çıkabilecek olan DNA kırıklarının belirlenmesini tespit etmek amacıyla, mevsimsel olarak örnekleme yapılmıştır. Örnekleme istasyonları olarak sırasıyla; 1. istasyon Kurtboğaz istasyonu, 2. istasyon Akbaba Mahallesi istasyonu, 3. istasyon Tekkiraz - Yeni Cuma istasyonu, 4. istasyon Yavi Mahallesi istasyonu, 5. istasyon Göbü Mahallesi istasyonu ve 6. istasyon Akarsu Ağzı istasyonu olarak belirlenmiştir (Şekil 3.1.2-3.1.7).



**Şekil 3.1.1** Çalışma alanında bulunan istasyonların genel görünüşü

1. istasyon, Ordu ili Akkuş İlçesine bağlı,  $40^{\circ}53'24''N$  ve  $36^{\circ}59'16''E$  koordinatlarında yer alan Kurtboğaz istasyonu kaynağa en yakın istasyon olarak seçilmiştir. Çevresinde yerleşim alanı neredeyse bulunmadığı için evsel atık girdisi oldukça azdır (Şekil 3.1.2).



**Şekil 3.1.2** Kurtboğaz istasyonunun genel görünüşü

2. istasyon akarsuyun yine üst kısımlarına yakın bir bölgede bulunan Akbaba Mahallesi mevkiindeki,  $40^{\circ}57'39''N$  ve  $37^{\circ}04'18''E$  koordinatlarında bulunur. Bu istasyonun çevresinde yer yer yerleşim alanları ve fındık bahçeleri şeklinde tarım arazileri yer almaktadır (Şekil 3.1.3).



**Şekil 3.1.3** Akbaba Mahallesi istasyonunun genel görünüşü

3. istasyon,  $40^{\circ}59'50''N$  ve  $37^{\circ}07'01''E$  koordinatlarının bulunduğu bölgede yer alan Tekkiraz - Yeni Cuma istasyonudur. Bu istasyonun bulunduğu bölgede alabalık tesisinin olması, akarsuyun yerleşim bölgeleri içerisinde akarak gelmesi ve aynı zamanda bölgede hayvancılık yapılması bu noktanın 3. istasyon olarak belirlenmesine sebep olmuştur (Şekil 3.1.4).



**Şekil 3.1.4** Tekkiraz-Yeni Cuma istasyonunun genel görünüşü

4. istasyon,  $41^{\circ}02'07''N$  ve  $37^{\circ}10'25''E$  koordinatlarının bulunduğu bölgede yer alan ve çevresinde tarım alanlarının bulunması nedeniyle seçilmiş olan Yavi Mahallesi mevkisidir. Çevresinde yoğun fındık bahçeleri ve diğer tarım arazileri bulunmaktadır. Bu bölgede yapılan yoğun tarımsal çalışmalar sonucu yağmur suyu ve sızıntı gibi nedenlerden ötürü tarımsal ilaçların bu bölgedeki suya karışabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, bölgede aktif olarak hayvancılık faaliyetleri yapılmaktadır (Şekil 3.1.5).





**Şekil 3.1.5** Yavi Mahallesi istasyonunun genel görünüşü

5. istasyon olarak,  $41^{\circ}05'27''N$  ve  $37^{\circ}10'33''E$  koordinatlarının bulunduğu bölgede yer alan ve çevresinde tarım arazilerinin bulunduğu, fabrikaların olduğu nokta seçilmiştir. Akarsu ağzı bölgesi ile Yavi Mahallesi arasında kalan derenin Göbü Mahallesi istasyonunda oldukça fazla yerleşim alanları bulunmaktadır. Ayrıca bölgeye yakın bir noktada bulunan taş ocağı işletmesinde yapılan taş kırma işlemlerinden ötürü oluşan toz havaya, oradan ise suya karışmaktadır (Şekil 3.1.6).



**Şekil 3.1.6** Göbü Mahallesi istasyonunun genel görünüşü

6. istasyon akarsu ağzı bölgesinde olup,  $41^{\circ}07'26''N$  ve  $37^{\circ}13'02''E$  koordinatlarında yer almaktadır. Bulduğu yere çok yakın bir noktada kil fabrikası bulunmaktadır. Genel anlamda akarsu ağzı bölgeleri, akarsu ile denizin birleştiği ve akarsuyun doğduğu bölgeden başlamak üzere akış boyunca aşağılara doğru gelen suyun, ağır metallerin ve diğer kimyasal maddelerin akarsu boyunca taşındığı alan olarak ifade edilmektedir.

Ayrıca, akarsuyun bu bölgesine çok yakın bir mesafede karayolu trafiğinin yoğun olduğu anayol geçmektedir. Bölge etrafında bulunan bahçelerde hayvanlar otlatılmakta ve bazı tarımsal faaliyetler yürütülmektedir (Şekil 3.1.7).



Şekil 3.1.7 Akarsu Ağızı istasyonunun genel görünüşü

### 3.2 Örneklerin Toplanması

Curi Deresi'nin kaynağından başlamak üzere Karadeniz ile birleştiği noktaya kadar seçilen toplam altı istasyondan Mart 2017 ile Aralık 2018 tarihleri aralığında; su, sediment ve balık örnekleri mevsimsel olarak alınmıştır. Arazideki tüm istasyonlarda örnek alımları esnasında su numunelerinin sıcaklık, iletkenlik, pH, çözülmüş oksijen, tuzluluk, toplam çözülmüş madde ve direnç değerleri multi ölçüm cihazı (HQ40D, Hach Company) ile ölçülmüştür. Laboratuvar ortamında yapılacak su analizleri için ise numune kaplarına alınan su örnekleri Ordu Üniversitesi Hidrobiyoloji Laboratuvarına getirilmiştir. İstasyonlardan alınan her bir sediment örneği etiketli poşetlere konularak, araç tipi buzdolabında muhafaza edilmiş ve laboratuvara getirilmiştir. Balıkların yayılış gösterdiği tespit edilen istasyonlardan element analizi için mümkün olduğu kadar farklı büyüklük ve yaşlarda *A. chalcoides* örneği yakalanmıştır (Şekil 3.2.1). Balık numuneleri Curi Deresi'nden balıkçılar yardımıyla serpme ağ kullanılarak yakalanmıştır. Ağır metal analizleri için yeterli sayıda balık örneği toplanmıştır. Balıklar laboratuvara canlı olarak getirilmiş (Şekil 3.2.2.), MN testi için kan yayma yapılmış, comet analizi için ise preparatlar hazırlanmıştır. Genotoksik çalışmalar için istasyonlardan yakalanan ve canlı olarak getirilen balık örneklerinin her birinden kan numuneleri alınmıştır. Balıklara ait kan örnekleri balığın kalbinden şırınga yardımıyla toplanmıştır. Pıhtılaşmanın engellenmesi için işlemde önce şırıngalara birkaç defa heparin çekilip boşaltılmıştır. Denemelerin yapılması amacıyla yapılan bu çalışmada comet protokolü izlenmiştir. Laboratuvara canlı olarak getirilen balık örneklerinden kan alma işlemleri gerçekleştirildikten hemen sonra örnekler etiketli naylon poşetler içerisinde; kas, karaciğer ve solungaçlarından yapılacak olan ağır metal analizleri için -20°C derin dondurucuda muhafaza edilmiştir.

***Alburnus chalcoides* (Güldenstadt, 1772)**

Türkçe isim : Tatlısu Kolyoz Balığı

Tip lokalitesi :Rusya

Dağılım alanı : Aras Havzası, Türkiye'nin farklı havzalarına taşındığı rapor edilmiştir (Soyubelli, 2018).

Bulunma şekli : Doğal

IUCN kategorisi: LC



**Şekil 3.2.1** *Alburnus chalcoides*'in genel görünüşü



**Şekil 3.2.2** Örneklerin analiz işlemlerinden önceki genel görünüşü

*A. chalcoides* türü pelajik olup planktonik organizmalar üzerinden süzerek beslenme özelliğine sahip bir türdür. Söz konusu türün doğal dağılımı Aras Havzası olmasına karşın Türkiye'nin farklı bölgelerindeki su kütlelerine aşılannmıştır. Hangi bölgelere ve ne zaman aşılındığı hakkında detaylı bilgiler mevcut değildir (Soyubelli, 2018).



### 3.3 Laboratuvar Çalışmaları ve Analizler

#### 3.3.1 Curi Deresi Suyunda Yapılan Analizler

Sıcaklık (°C), çözünmüş oksijen (mg/L), pH, iletkenlik ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), TDS (mg/L), direnç ( $\text{k}\Omega.\text{cm}$ ) ve tuzluluk (%) parametrelerinin analizleri multi ölçüm cihazı (HACH HQ40D) ile arazide yapılmıştır (Şekil 3.3.1.1). Uygun numune kaplarına yeterli miktarda alınan su örnekleri, uygun koşullarda araç tipi buzdolabı içerisinde muhafaza edilerek laboratuvara getirilmiştir. Aynı gün laboratuvara getirilen su örneklerinin bir kısmında, ağır metal analizi dışında, laboratuvarda yapılması gereken nitrit azotu (mg/L), fosfat (mg/L), nitrat azotu (mg/L) ve sülfat (mg/L) değerleri HACH kitleri kullanılarak spektrofotometre (HACH DR 2800) ile ölçülmüştür (Şekil 3.3.1.2). Ağır metal birikim düzeylerinin belirlenmesi amacıyla, her mevsim ve istasyondan üç kez aynı noktadan olmak üzere uygun derinliklerden su numuneleri alınmıştır. Alınan numuneler Whatman GF/C tipi  $0.45 \mu\text{m}$ 'lik membran filtrelerle süzildükten sonra toplama kaplarına yerleştirilmiştir. Örnekler alınmadan önce numune kapları ortam suyuyla üç defa çalkalanmıştır (Alam ve ark., 2001). Numuneler ağır metal analizleri yapılmaya kadar buzdolabında  $+4^\circ\text{C}$ 'de bekletilmiştir. Su numunelerindeki; Co, Cu, Zn, Mn, Fe, Al, Ni, Cd, As, Cr ve Pb miktarları; icap 7000 plus indüktif eşleşmiş plazma optik emisyon spektroskopisi (ICP-OES) ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde  $\mu\text{g}/\text{L}$  (ppb) düzeyinde belirlenmiştir.



Şekil 3.3.1.1 Curi Deresi suyunda arazide gerçekleştirilen ölçümler



**Şekil 3.3.1.2** Curi Deresi suyunda laboratuvarında gerçekleştirilen ölçümler

### **3.3.2 Sediment Örneklerinde Yapılan Analizler**

Mevsimsel olarak altı ayrı istasyondan alınan sediment numuneleri laboratuvara getirildikten hemen sonra; iyice yıkanmış ve kurutulmuş temiz cam beherlere en az 2 kg olacak şekilde alınmıştır. Homojen bir karışım elde edilecek şekilde alınan numuneler saat camı üzerine alınarak tam anlamıyla kuruyana kadar  $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de etüvde 1.5 gün süreyle tutulmuştur. Etüv içerisinde nemi giderilen numuneler iyice karıştırılarak homojen hale getirilmiştir.  $0.5\ \mu\text{m}$ 'lik elek kullanılarak elenmiş her numuneden analitik terazi yardımı ile 0.5 g olacak şekilde numune alınmıştır (Şekil 3.3.2.1). Mikrodalga yakma ünitesinde kapalı kaplara yerleştirilen numuneler, nitrik asit-perklorik asit ile yaş yakma yöntemi uygulanarak sindirme işlemine tabi tutulmuştur. Numuneler organik yıkımları bittikten sonra soğutulup santrifüjlenmiştir. Daha sonra icap 7000 plus ICP-OES cihazı ile numunelerin element içerikleri okunmuştur. ICP-OES cihazı ile mg/kg (ppm) düzeyinde analiz edilen sediment örneklerinin içerisindeki Mn, Fe, Ni, Al, As, Co, Cu, Zn, Cr, Cd, Pb elementlerinin konsantrasyonları araştırılmıştır (Köse, 2012).





Şekil 3.3.2.1 Curi Deresi sedimentinde analizden önce gerçekleştirilen aşamalar

### 3.3.3 Balık Dokularında Yapılan Analizler

Balık örneklerinin yakalanması ve laboratuvar çalışmaları sırasında gerekli olacak olan araştırma izni Tarım ve Köyişleri Bakanlığı'ndan, etik kurul izni ise Ordu Üniversitesi Hayvan Denepleri Yerel Etik Kurulu'ndan alınmıştır. Arazi çalışmaları sırasında mevsimsel olarak yakalanan balık örnekleri; genotoksik etkilerin araştırılması amacıyla canlı olarak laboratuvara getirilmiştir. Tür tayini yapılan ve kan örnekleri alınan balıkların, boy ve ağırlık değerleri belirlendikten sonra cinsiyetleri tespit edilmiştir.

Daha sonra solungaç, karaciğer ve kas dokuları dikkatli bir şekilde alınmıştır. Doku örnekleri poşetlenip kategorize edildikten sonra derin dondurucuda  $-20^{\circ}\text{C}$ 'de analiz işlemine kadar muhafaza edilmiştir. Homojen bir karışım oluşturacak şekilde hazırlanan numunelerin tamamen kuruması için  $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de etüvde tutulmuştur. Etüv içerisinde nemi giderilen numuneler havanda öğütülerek homojen hale getirilmiştir. Öğütülen numuneler yaklaşık 2 saat kadar kuru ağırlık çalışılması için tekrar etüvde bekletilmiştir. Daha sonra analitik terazi kullanılarak numunelerden 0.5 gramlık örnekler alınmıştır. Örnekler üzerine  $3\pm 0.1$  mL konsantre perklorik asit ve  $9\pm 0.1$  mL konsantre nitrik asit ilâve edilip karıştırıldıktan sonra sindirme işlemi için

mikrodalga yakma ünitesine yerleştirilmiştir. Örneklerin organik yıkımları bittikten sonra soğutulup, santrifüjlenip, filtre kâğıdından geçirilerek, hacimleri 100 mL'ye tamamlanmış ve element içerikleri ICP-OES cihazı ile saptanmıştır (ASTM, 1985; APHA, 1992, Köse, 2012). Analizi yapılan elementler; Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn'dur. Elementlerin konsantrasyonları mg/kg (ppm) olarak ifade edilmiştir. Balık kas dokusunda tespit edilen ağır metal konsantrasyonlarının, insanların tüketimi açısından maksimum kabul edilebilir değerleri Gıda ve Tarım Örgütü (FAO, 1983; FAO, 1989), Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 1989), Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği (TGK, 2002; 2011); Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA, 2003) ve Avrupa Komisyonuna (EC, 2008) göre karşılaştırılmıştır.

### **3.3.4 Ekotoksikolojik Analizler**

Son yıllarda günümüzde çevre sağlığının değerlendirilmesinde kirleticilerin toksik etkilerinin bir göstergesi olan biyoindikatörler ile yapılan çalışmalar büyük önem kazanmıştır. Özellikle biyokimyasal düzeyde meydana gelen değişimler, çevresel değişimlere göre organizmanın “erken uyarı” cevabını oluşturması açısından önem taşımaktadır. Moleküler veya hücresele biyoindikatörlerin en önemli özelliklerinden birisi ekosistem ve popülasyon gibi biyolojik organizasyonun güçlü düzeylerinde oluşabilecek değişiklikler hakkında muhtemel tahminler verebilmeleridir. Dolayısıyla biyoindikatörler, uzun dönemde oluşacak biyolojik tesirlerin kısa sürede gözlenen göstergeleri olup, biyolojik sistem ile kimyasal, fiziksel veya biyolojik olabilecek potansiyel bir tehlike arasındaki interaksyonu yansıtan bir ölçümdür (Van der Oost ve ark., 2003; Okuşluk, 2008). Balıklar ve sucul omurgasızlar, su kaynaklı kirleticileri metabolize etme, konsantre etme ve depolama özelliklerinden dolayı (Osman ve ark., 2007), kirleticilerin toksik, mutajenik ve karsinojenik potansiyelini değerlendirmede etkili model sistemleri olarak değerlendirilmektedir (Belpaeme ve ark., 1996; Spitsbergen ve Kent, 2003; Braunbeck ve ark., 2005; Kumar ve ark., 2010). Son zamanlarda, genotoksisitenin duyarlı bir indikatörü olarak comet analizi ve mikronükleus testine özel ilgi gösterilmektedir (Okuşluk, 2008).

#### 3.3.4.1 Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları, Curi Deresi'nde yapılan keşifler sonucunda belirlenen altı farklı bölgedeki istasyondan mevsimsel olarak örneklenen toplam 121 birey (*A. chalcoides*) üzerinde gerçekleştirilmiştir. İstasyonlardan alınan su örnekleri, ağır metal konsantrasyonlarına bağlı olarak meydana gelebilmesi muhtemel genotoksik etkiler için tüm mevsimlerde ayrı ayrı değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Balık türlerine ait kan örneklerindeki mikronükleus oluşumunun varlığı ile comet parametreleri, bölgesel ve mevsimsel olarak ayrı ayrı araştırılarak aralarındaki önem düzeyi belirlenmiştir. Balık örnekleri, su ve sediment örneklerinin alındığı istasyonlardan yakalanmıştır.

Örneklemeler Mart 2017 ile Aralık 2018 tarihleri aralığında bulunan ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde gerçekleştirilmiştir. Balık numuneleri; istasyon ve mevsimsel açıdan o bölgeyi temsil etmektedir. Her istasyondan yakalanan beş birey üzerinden yapılan genotoksik testler, her istasyon için mevsimsel olarak, yıllık değerler de istasyonlara göre kendi içinde değerlendirilmiştir.

Mikronükleus (MN) testi ve comet analizi için, laboratuvara canlı olarak getirilen balık örneklerinin kalplerinden heparinize şırınga yardımıyla alınan kan numuneleri kısa süre içerisinde test ve analizlerde kullanılacak olan preparatlar haline getirilmiştir. Mikronükleus testi için preparatlar; lam üzerine bir damla kan damlatılıp, damlatılan kanın lam üzerine yayılması suretiyle hazır hale getirilmiştir. Comet analizi için kullanılacak olan preparatlar; buzdolabı içerisinde +4°C'de uygun koşullarda muhafaza edilen yakalanma süresi 1 haftayı geçmemiş her bir bireyden alınan kan numunelerinden, belirlenen comet protokolü uygulanarak hazırlanmıştır (Tice ve ark., 2000).

#### 3.3.4.2 Mikronükleus (MN) Testi

Balıkların periferik kan hücrelerinde yapılacak olan mikronükleus analizleri için yakalanan örnekler, laboratuvara hava motorları yardımıyla canlı olarak getirilmiş ve balıkların kalplerinden vakit kaybetmeden heparinize şırıngalar ile kan numuneleri alınmıştır. Her bir örnekden alınan kan numuneleri, numaralandırılmış temiz lamlar üzerine damlatılıp yüzeyde ince bir tabaka oluşturacak şekilde yayılmıştır (Şekil 3.3.4.2.1). Yakalanan her örnek için 2 adet kan preparatı hazırlanmıştır. Kuruyarak hazır hale gelen kan preparatları Çavaş (2004)'in belirttiği

metoda göre; laboratuvar şartlarına uygun revize edilerek, oranı %98 olan etil alkol içerisinde 20 dakikalık sürelerde fikse edilmiştir. Daha sonra tekrar kurutulan lamalar, içerisinde %5'lik Giemsa solüsyonu bulunan şalelere konularak 15 dakikalık sürelerde bekletilip boyanma işlemi sağlanmıştır. Boyama işlemi bittikten sonra preparatlar üzerindeki boyanın fazlası saf su ile akıtılarak tekrar kurutulmaya bırakılmıştır. Kurutulan preparatlar daha sonra ışık mikroskobu altında incelenmiştir. Mikronükleus oluşumunun değerlendirilmesinde her örnek için toplam 2000 hücre sayılarak, toplamda 75 örnek analiz edilmiş ve 150000 hücre sayılarak değerlendirme yapılmıştır.

Mikronükleus incelemelerinin gerçekleştirilmesi sırasında ışık mikroskobu altında görülebilecek yabancı diğer etkenler, mikronükleuslar ile karıştırılabilir. Oluşabilecek bu karışıklığın ortadan kaldırılması amacıyla, dikkat edilmesi gereken kriterler şu şekilde sıralanabilir:

- Hücre içerisinde tespit edilen mikronükleuslar, hücrenin ana çekirdeği ile benzer yansıma özelliğinde olmalıdır.
- Hücre içerisindeki mikronükleuslar ve ana çekirdek özdeş oranda boyanmış olmalıdır.
- Hücre içerisindeki mikronükleusların yeri ana çekirdeğin yanında olmalıdır.
- Hücre içerisinde tespit edilen mikronükleusun büyüklüğü, ana çekirdeğin büyüklüğünün 1/3'ünden daha küçük olmalıdır.
- Hücre içerisinde mikronükleus sayımı yapılırken, incelenen hücre diğer hücrelerden izole olmalıdır (Çavaş, 2004).



Şekil 3.3.4.2.1 MN incelemeleri için preparat hazırlama aşamaları

### 3.3.4.3 Comet Analizi (Tek Hücre Jel Elektrofrezisi)

Tice ve ark., (2000) tarafından bildirilen comet basamakları laboratuvar koşullarına uygun şekilde değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Comet analizinde kullanılacak olan çözeltilerin soğuk distile su ile hazırlanmasına ve analiz basamakları süresince buzdolabında bekletilmesine dikkat edilmiştir.

#### **Kullanılan Çözeltiler:**

- Normal Erime Isılı Agar (NMPA): 1 g NMPA üzerine 100 mL distile su eklenmiş ve mikrodalga fırında tamamen erimesi sağlanarak kaynatılmıştır.
- Düşük Erime Isılı Agar (LMPA): 0.15 g LMPA üzerine 20 mL Fosfat Tamponlu Tuz Çözeltisi (PBS) ilave edilerek mikrodalga fırında kaynatılmıştır.
- Fosfat Tamponu: 100 mL stok PBS solüsyonu üzerine 900 mL distile su ilave edilerek hazırlanmıştır.
- Stok Lizis Solüsyonu: 100 mL'lik solüsyon için; 100  $\mu$ M Tris-HCl, 100 mM EDTA, 2.5 M NaCl karıştırılarak, pH 10'a sabitleninceye kadar 10 M'luk NaOH çözeltisi ilave edilmiştir. pH sabitlendiğinde ise çözeltinin hacmi 100 mL'ye distile su ile tamamlanmıştır. Hazırlanan solüsyonlar +4°C'deki buzdolabı içerisinde muhafaza edilmiştir.
- Lizis Çözeltisi: 89 mL stok lizis solüsyonunu üzerine 10 mL dimetil sülfoksit (DMSO) (%10) ve 1 mL Triton X (%1) ilave edilerek 100 mL'ye tamamlanmıştır.

Lizis çözeltisinin soğuk olmasına ve kullanılmaya yakın hazırlanılmasına özen gösterilmiştir.

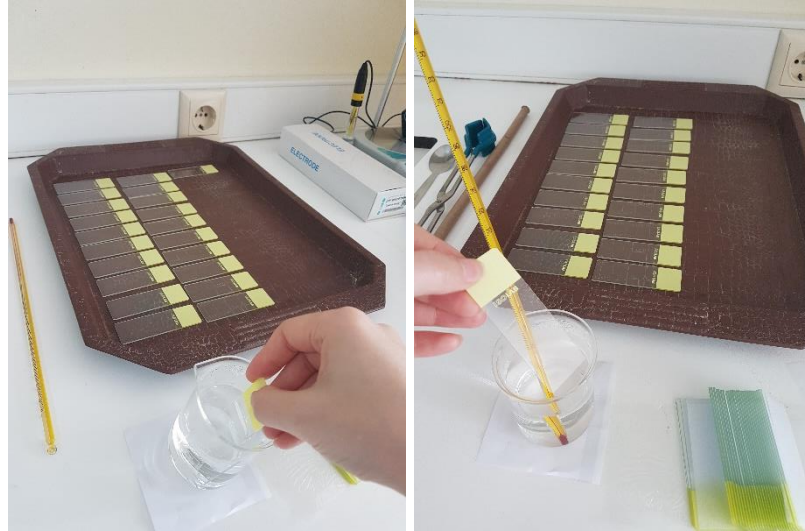
- Elektroforez Tamponu: 500 mL'lik elektroforez solüsyonu için, 15 mL 10 N NaOH çözeltisi ile 2.5 mL 200 mM EDTA (pH: 10) karıştırılıp, üzerine 482.5 mL distile su ilave edilerek hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltinin pH'ı,  $pH \geq 13$  olacak şekilde ayarlanmıştır. Hazırlanan çözeltinin mümkün olduğunca soğuk olmasına özen gösterilmiştir.
- Nötralizasyon Tamponu: 100 mL'lik 0.4 M Tris HCl hazırlanmıştır. Çözeltinin pH'ını 7.5'e ayarlamak amacıyla, 1 N HCl kullanılmıştır. Çözelti  $+4^{\circ}C$ 'deki buzdolabında saklanmıştır.
- Stok Etidyum Bromür Çözeltisi: 10 mg etidyum bromür üzerine 50 mL distile su ilave edilerek çözelti hazırlanmıştır.
- Boyama Çözeltisi: İncelenecek preparatlar şale içerisinde bulunan 100 mL distile suyun üzerine 1 damla stok etidyum bromür solüsyonu damlatılarak boyanmıştır.

#### **Analizin Uygulanması:**

Comet analizi, laboratuvar şartlarına uygun şekilde revize edilerek uygulanmıştır. Preparatların hazırlanması süresince işlemler soğuk ve karanlık ortamda en steril şekilde gerçekleştirilmiştir.

- Lamların Hazırlanışı: Kullanılacak olan lamlar, %1 oranındaki normal erime ısıyla agar ile kaplanmıştır (Tice ve ark., 2000). NMPA kaynatılarak hazırlandıktan hemen sonra şaleye aktarılmış ve şale sıcak su banyosu içerisine yerleştirilmiştir. Lamlar, şale içerisinde bulunan agara daldırılıp  $45^{\circ}$ 'lik açı ile çekilerek agarın fazlalığının lam yüzeyinden akması sağlanmıştır. Daha sonra lamın alt kısmı peçete ile temizlenerek düz bir zemin üzerine dizilmiştir (Şekil 3.3.4.3.1). En az 24 saat boyunca lamların üzerindeki agarın donması sağlandıktan sonra, preparat kutusu içerisinde kullanıma hazır şekilde muhafaza edilmiştir. Lamlar üzerine hücreler yayılmadan önce, her bir örnek için katalog numaraları yazılarak numaralandırılmıştır.

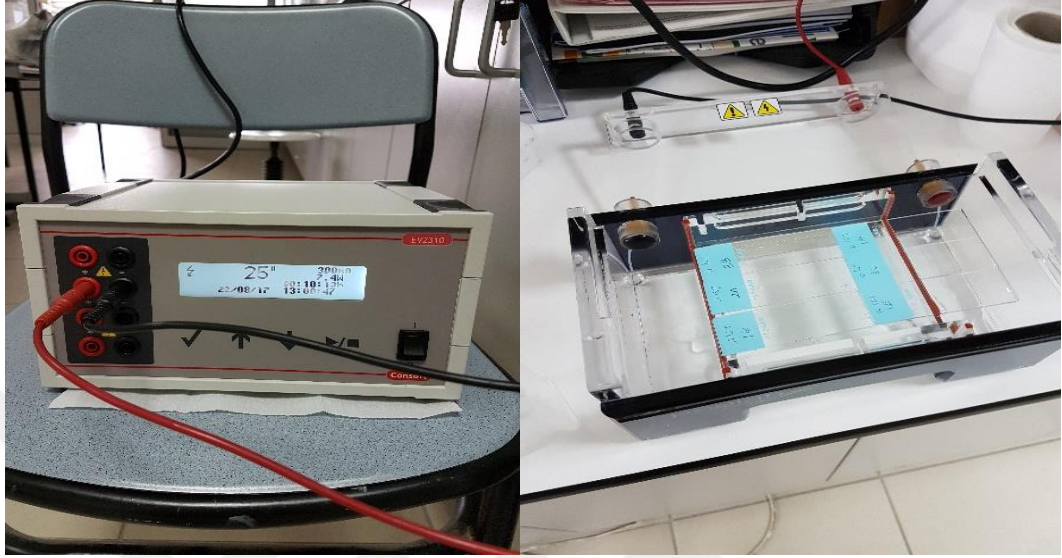




**Şekil 3.3.4.3.1** Comet incelemeleri için lamaların hazırlanması

- **Hücrelerin Hazırlanışı:** Her bir balık örneğinin kalbinden alınan kan numuneleri şiringalardan, üzerinde örnek numaralarının yazdığı ependorf tüpler (1.5 mL'lik) içine boşaltılmıştır. Ependorf tüpler içerisinden mikropipetler yardımıyla alınan 10  $\mu$ L kan örneği ile 350  $\mu$ L stok PBS çözeltisi karıştırılarak homojen bir karışım hazırlanmıştır. Agar ve kan karışımının donmasını engellemek amacıyla 37°C'lik su banyosu içerisine 0.5 mL'lik içi boş ependorf tüpler yerleştirilmiştir. Üzerinde örnek numaralarının yazılı olduğu 0.5 mL'lik içi boş ependorf tüpler içerisine mikropipetler yardımıyla 10  $\mu$ L kan karışımı ve 180  $\mu$ L %0.75'lik LMPA aktarılmıştır. Karışımın lamın yüzeyine eşit oranda yayılmasını sağlamak ve hava kabarcığı oluşmasını engellemek amacıyla lamın yüzeyinin iki farklı noktasına 75'şer  $\mu$ L olacak şekilde LMPA + kan karışımından alınarak üzeri hızlıca lamelle kapatılmıştır. Daha sonra soğuk bir yüzey üzerine dizilen preparatlar donması için ortalama 10 dakika buzdolabında bekletilmiştir. Her bir balık örneği için 2 preparat hazırlanmıştır (Tice ve ark., 2000).
- **Lizis Aşaması:** LMPA + kan kaplı donmuş halde olan lamaların üzerlerindeki lameller tek bir seferde çekilip alınarak şale içerisindeki lizis solüsyonuna konulmuştur. Lamalar şale içerisine birbirine temas etmeyecek şekilde ve sırt sırta dizilmiştir. Lizis aşamasının tamamlanması için şale buzdolabında +4°C'de en az 60 dakika bekletilmiştir (Tice ve ark., 2000).
- **Elektroforez Aşaması:** Hazır halde bulunan elektroforez solüsyonu yürütmenin yapılması amacıyla elektroforez tankına aktarılmıştır. Lizis solüsyonundan alınan lamalar, rodajsız tarafları kırmızı kutba gelecek şekilde tanka

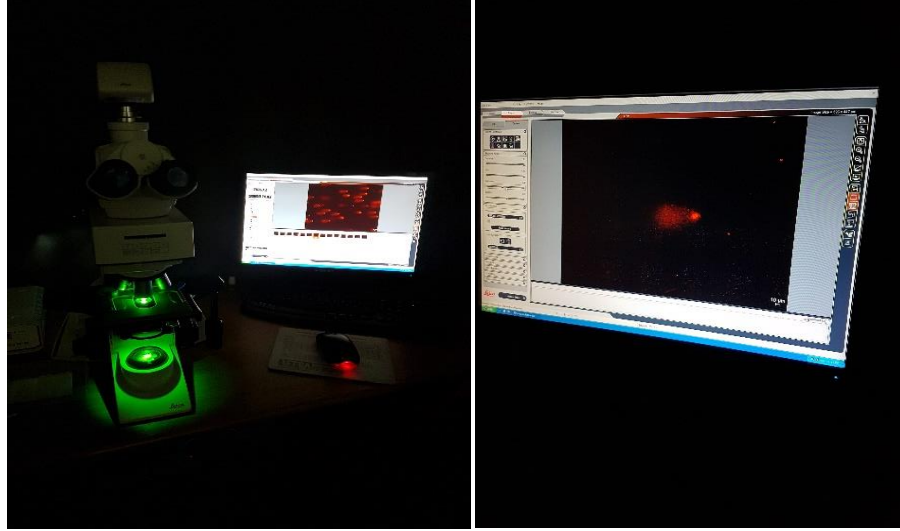
yerleştirilmiştir (Şekil 3.3.4.3.2). Tank içerisinde bulunan lamalar, sıcaklık dengelenmesi için buzdolabı içerisinde 20 dakika bekletilmiştir. Daha sonra, karanlık ortamda +4°C'de 20 dakika boyunca 25 V 300 mA akım değerinde yürütme işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3.4.3.2) (Tice ve ark., 2000).



Şekil 3.3.4.3.2 Elektroforez aşaması

- Nötralizasyon Aşaması: Yürütme işleminin tamamlanmasından sonra preparatlar tank içerisinde alınarak şale içerisine yerleştirilmiştir. Nötralizasyon tamponu içerisinde 10 dakika bekletilen lamalar, distile su ile dikkatlice yıkanmış ve oda sıcaklığında 24 saat kurumaya bırakılmıştır (Tice ve ark., 2000).
- Boyama Aşaması: Oda sıcaklığında kuruyan preparatlar, boyanmak üzere daha önce şale içerisinde hazırlanmış boya çözeltisine daldırılarak boyanmaları sağlanmıştır (Tice ve ark., 2000).
- Preparatların İncelenmesi Aşaması: Hazırlanan preparatların incelenmesi aşamasında, floresan mikroskopta filtre olarak Texas Red tipi seçilmiştir. Preparatlardaki comet oluşumları floresan mikroskopta X20 büyütmede incelenerek fotoğraflanmıştır (Şekil 3.3.4.3.3). Her örnek için toplamda 100 eritrosit hücresi rastgele seçilerek sayılmıştır (Tice ve ark., 2000). Hücrelerde comet oluşumlarının değerlendirilmesi 75 bireyde toplamda 15000 eritrosit hücresi sayılarak yapılmıştır.

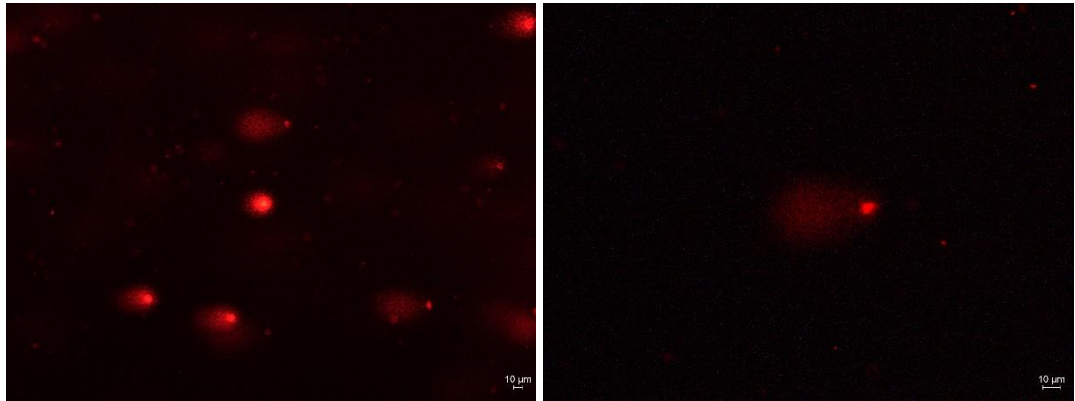




**Şekil 3.3.4.3.3** Preparatların incelenmesi

Hücrelerin seçimi ve değerlendirilmesi aşamasında, çalışmanın hassasiyetini desteklemek ve objektif bir bakış açısı oluşması için, şu hususlara dikkat edilmiştir:

- Preparatlar incelenirken kenar bölgelerindeki hücrelerden ziyade orta kısımdaki hücreler incelemeye alınmıştır.
- Hazırlanan tüm preparatlar değerlendirilmiştir.
- Seçilen hücrelerin preparatlarda ayrı ayrı düşmesine dikkat edilmiştir.
- Sayılan hücreler rastgele seçilmiştir.
- Tüm preparatlar aynı orandaki ışığa derecesinde değerlendirilerek görüntülenmiştir. Hücrelerin sayımı ve değerlendirilmesi için CometScore programı kullanılmıştır. Bunun sonucunda; kuyruk momenti, kuyruk boyu, baştaki % DNA miktarı, kuyruktaki % DNA miktarı, ortalama baş yoğunluğu (%) ve ortalama kuyruk yoğunluğu (%) değerleri TriTek CometScore 2.0 yazılımı ile ölçülmüş ve hesaplanmıştır (Şekil 3.3.4.3.4).



**Şekil 3.3.4.3.4** Farklı boyutlardaki comet görüntüleri

## TriTek CometScore 2.0 Yazılımı:

Comet bulguları için, güçlü ve özgün bir metot olarak kullanılan bu yazılım, görüntülerin geometrik şekil özellikleri ile comet başlarının parçalara ayrılmış fotoğraf yoğunluğunun profil analizine dayanmaktadır. Bu yazılım hücreleri otomatik kontrolünden dolayı kişinin kendi bakış açısını katmaksızın, manuel analizden daha doğru ve hızlı sonuçlar verir. Yazılım, canlı analiz işlevselliği sayesinde araştırmacıların mikroskoptan çekilen görüntüleri doğrudan analiz etmelerine imkan vermektedir (Gyori ve ark., 2014).

Her piksel yoğunluğunun ilgili lokasyondaki DNA miktarına eşdeğer segmentasyon işleminden sonraki belirlenmiş tüm piksellerin konumu comet olarak tanımlanmaktadır. CometScore yazılımında ölçümler yapılırken elde edilen parametreler aşağıdaki denklemlere dayandırılmıştır (Kontaş, 2018).

- **Kuyruk Boyu ( $L_t$ )**: Tüm comet boyundan ( $L_c$ ), comet başı uzunluğunun ( $L_h$ ) çıkarılması ile hesaplanır.
- **Ortalama Kuyruk Yoğunluğu ( $\mu_t$ )**: Toplam comet kuyruğu yoğunluğunun ( $I_t$ ), tüm piksel kuyruk yoğunluğuna ( $A_t$ ) bölünmesi ile hesaplanır.
- **Ortalama Baş Yoğunluğu ( $\mu_h$ )**: Toplam comet başı yoğunluğunun ( $I_h$ ), tüm piksel baş yoğunluğuna ( $A_h$ ) bölünmesi ile hesaplanır.
- **Kuyruktaki % DNA (%DNA<sub>T</sub>)**: Toplam comet kuyruk yoğunluğunun ( $I_t$ ), toplam comet yoğunluğuna ( $I_c$ ) oranının, 100 ile çarpılması ile hesaplanır.
- **Baştaki % DNA (%DNA<sub>H</sub>)**: Toplam comet baş yoğunluğunun ( $I_h$ ), toplam comet yoğunluğuna ( $I_c$ ) oranının, 100 ile çarpılması ile hesaplanır.
- **Kuyruk Momenti ( $M_t$ )**: Kuyruktaki % DNA'nın (%DNA<sub>T</sub>), kuyruk boyuyla ( $L_t$ ) çarpılması ile hesaplanır.

### 3.4 İstatistiksel Analizler

Curi Deresi istasyonlarından alınan su örneklerinin fiziko-kimyasal parametrelerinin ölçüm sonuçlarından elde edilen bulgular, Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (2012)'ndeki Kıtaçi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizikokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri'ne göre değerlendirilmiştir. Sedimentte ölçülen element seviyeleri ise Turekian ve Wedepohl, (1961) sediment kalite kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Curi Deresi istasyonlarından alınan su, sediment ve balık dokularından tespit edilen ağır

metallerin mevsimsel ve yıllık ortalama değerleri ve minimum, maksimum değer aralıkları belirlenmiştir. Belirlenen bu konsantrasyonların yıllık ve mevsimsel değerlerine ait istatistiksel veriler MİNİTAB 19 paket programı ile hesaplanmıştır.

MN testi ve comet analizi de dahil olmak üzere gerçekleştirilen tüm analizlerden elde edilen verilerin, normal dağılıma sahip olup olmadığının kontrolü Kolmogorov-Smirnov testi kullanılarak yapılmıştır. Normal dağılım gösteren veri gruplarının değerlendirilmesi ANOVA (tek yönlü varyans analizi) ile yapılmıştır.



## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1 Suyun Genel Kimyasal ve Fiziko-Kimyasal Parametreleri

Curi Deresi üzerinde belirlenen altı farklı istasyonda ilkbahar (nisan), yaz (temmuz), sonbahar (ekim) ve kış (ocak) mevsimlerinde yapılan ölçümlerde elde edilen parametrelerin sonuçları Çizelge 4.1.1’de verilen yönetmelik değerleri (YSKY, 2012) ile karşılaştırılmış ve sonuçlar Çizelge 4.1.2-4.1.7’de verilmiştir. Parametreler karşılaştırılarak akarsuyun genel kimyasal ve fiziko-kimyasal değerlerinin hangi sınıfta yer aldığı belirlenmiştir. Mart 2017- Aralık 2018 tarihleri arasında yapılan bu çalışmada, “tüm mevsimler” ifadesi sırasıyla “ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış” mevsimlerini ifade etmektedir.

**Çizelge 4.1.1** Kıtaiçi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fiziko-kimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri (YSKY, 2012)

| Su Kalite Parametreleri                              | Su Kalite Sınıfları |            |            |            |
|--|---------------------|------------|------------|------------|
|  | I (Çok İyi)         | II (İyi)   | III (Orta) | IV (Zayıf) |
| Sıcaklık (°C)  | ≤ 25                | ≤ 25       | ≤ 30       | >30        |
| pH   | 6.0-9.0             | 6.0-9.0    | 6.0-9.0    | 6.0-9.0    |
| Çözünmüş Oksijen (mg O <sub>2</sub> /L)              | > 8                 | 6          | 3          | < 3        |
| İletkenlik (µS/cm)                                   | < 400               | 1000       | 3000       | > 3000     |
| Toplam Çözünmüş Madde (mg/L)                         | < 500               | 500-1500   | 1500-5000  | > 5000     |
| Nitrit Azotu (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N /L) | < 0.002             | 0.002-0.01 | 0.010-0.05 | > 0.050    |
| Nitrat Azotu (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N /L) | < 3                 | 10         | 20         | > 20       |
| Sülfat İyonu (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L)   | < 200               | < 200      | 200 - 400  | > 400      |
| Kadmiyum (µg Cd/L)                                   | 3                   | 5          | 10         | >10        |
| Kurşun (µg Pb/L)                                     | 10                  | 20         | 50         | >50        |
| Arsenik (µg As/L)                                    | 20                  | 50         | 100        | >100       |
| Bakır (µg Cu/L)                                      | 20                  | 50         | 200        | >200       |
| Krom (µg Cr/L)                                       | 20                  | 50         | 200        | >200       |
| Kobalt (µg Co/L)                                     | 10                  | 20         | 200        | >200       |
| Nikel (µg Ni/L)                                      | 20                  | 50         | 200        | >200       |
| Çinko (µg Zn/L)                                      | 200                 | 500        | 2000       | >2000      |
| Demir (µg Fe/L)                                      | 300                 | 1000       | 5000       | >5000      |
| Mangan (µg Mn/L)                                     | 100                 | 500        | 3000       | >3000      |
| Alüminyum (mg Al/L)                                  | 0.3                 | 0.3        | 1          | >1         |

Su kaynaklarının içme suyu kaynağı olarak kullanılabilmesi ve balıkların yaşam ortamlarını oluşturması açısından su kalite sınıfları önemlidir. Su kalite sınıflarının genel kimyasal ve fiziko-kimyasal parametreler açısından sınıflandırılması çok iyi, iyi, orta, zayıf şeklinde ifade edilmiştir (YSKY, 2012).

1. istasyon için alınan su örnekleri YSKY (2012)’ye göre Çizelge 4.1.2’deki fiziko kimyasal parametrelerle karşılaştırıldığında; belirlenen sıcaklık değerleri, tüm mevsimlerinde I. sınıf su kalitesine sahiptir. pH değerleri, tüm mevsimlerde belirlenen limit değerler aralığındadır. Çözünmüş oksijen değerleri yaz ve sonbahar

mevsimlerinde I. sınıf, ilkbahar ve kış mevsimlerinde ise II. sınıf su kalitesine sahiptir. İletkenlik ve toplam çözünmüş madde değerleri tüm mevsimlerde I. sınıf su kalitesi özelliği göstermektedir. Bunun yanında, nitrit azotu değerleri yaz ve kış mevsimlerinde II. sınıf, nitrat azotu ve sülfat iyonu değerleri tüm mevsimlerde I. sınıf su kalitesi özelliği göstermektedir.

**Çizelge 4.1.2** 1. İstasyonda Tespit Edilen Genel Kimyasal ve Fiziko-kimyasal Parametrelerin Mevsimsel Değerleri (A.D.:Aralığın Dışında)

| <b>Genel Kimyasal ve Fiziko-Kimyasal Parametreler</b>   | <b>İlkbahar</b> | <b>Yaz</b> | <b>Sonbahar</b> | <b>Kış</b> |
|---|-----------------|------------|-----------------|------------|
| Sıcaklık (°C)   | 21.9            | 17.3       | 14              | 8.8        |
| pH  | 8.13            | 7.57       | 8.7             | 8.62       |
| Çözünmüş Oksijen (mg/L)                                 | 6.91            | 8.09       | 8.54            | 7.98       |
| Tuzluluk (‰)  | 0.03            | 0.07       | 0.07            | 0.08       |
| Toplam Çözünmüş Madde (mg/L)                            | 61.1            | 73.3       | 102.5           | 86.3       |
| İletkenlik (µS/cm)                                      | 57.5            | 145.8      | 178.3           | 167.2      |
| Direnç (kΩ.cm)  | A.D.            | 6.81       | 5.31            | 6.12       |
| Nitrit Azotu (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N /L)    | 0.026           | 0.007      | 0.011           | 0.006      |
| Nitrit (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L)             | 0.084           | 0.022      | 0.036           | 0.022      |
| Sodyum Nitrit (mg NaNO <sub>2</sub> /L)                 | 0.126           | 0.033      | 0.055           | 0.037      |
| Nitrat Azotu (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N /L)    | 2.1             | 0.6        | 0.7             | 1.2        |
| Nitrat (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)             | 9.2             | 2.8        | 2.9             | 3.4        |
| Sülfat (mg SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /L)            | 7               | 1          | 2               | 9          |
| Fosfat Fosforu (mg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> -P/L)  | 0.032           | 0.034      | 0.015           | 0.017      |
| Toplam Fosfat (mg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> /L)     | 0.099           | 0.106      | 0.053           | 0.055      |
| Fosfor Pentaoksit (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /L) | 0.074           | 0.079      | 0.033           | 0.031      |

2. istasyon için alınan su örnekleri YSKY (2012)'ye göre Çizelge 4.1.3'teki fiziko kimyasal parametrelerle karşılaştırıldığında; belirlenen sıcaklık değerleri, tüm mevsimlerinde I. sınıf su kalitesine sahiptir. pH değerleri, tüm mevsimlerde belirlenen limit değerler aralığındadır. Çözünmüş oksijen değerleri ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde I. sınıf su kalitesine sahiptir. İletkenlik ve toplam çözünmüş madde değerleri tüm mevsimlerde I. sınıf su kalitesi özelliği göstermektedir. Bunun yanında, nitrit azotu değerleri tüm mevsimlerde II. sınıf, nitrat azotu ve sülfat iyonu değerleri tüm mevsimlerde I. sınıf su kalitesi özelliği göstermektedir.

**Çizelge 4.1.3** 2. İstasyonda Tespit Edilen Genel Kimyasal ve Fiziko-kimyasal Parametrelerin Mevsimsel Değerleri

| Genel Kimyasal ve Fiziko-Kimyasal Parametreler          | İlkbahar | Yaz   | Sonbahar | Kış   |
|---|----------|-------|----------|-------|
| Sıcaklık (°C)   | 16       | 23.7  | 15.2     | 11.5  |
| pH  | 8.31     | 8.55  | 8.5      | 8.88  |
| Çözünmüş Oksijen (mg/L)                                 | 9.19     | 8.36  | 8.78     | 7.04  |
| Tuzluluk (‰)  | 0.06     | 0.13  | 0.08     | 0.06  |
| Toplam Çözünmüş Madde (mg/L)                            | 43.3     | 134.1 | 83.2     | 60.1  |
| İletkenlik (µS/cm)                                      | 119.6    | 271   | 168      | 118.4 |
| Direnç (kΩ.cm)  | 8.36     | 3.73  | 6.27     | 8.33  |
| Nitrit Azotu (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N /L)    | 0.006    | 0.007 | 0.005    | 0.008 |
| Nitrit (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L)             | 0.019    | 0.024 | 0.016    | 0.026 |
| Sodyum Nitrit (mg NaNO <sub>2</sub> /L)                 | 0.029    | 0.036 | 0.024    | 0.039 |
| Nitrat Azotu (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N /L)    | 0.9      | 0.7   | 1.1      | 1.3   |
| Nitrat (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)             | 4        | 3.1   | 5        | 5.9   |
| Sülfat (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L)            | 6        | 16    | 13       | 9     |
| Fosfat Fosforu (mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P/L)  | 0.029    | 0.052 | 0.015    | 0.010 |
| Toplam Fosfat (mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L)     | 0.088    | 0.161 | 0.047    | 0.032 |
| Fosfor Pentaoksit (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /L) | 0.066    | 0.120 | 0.035    | 0.024 |

3. istasyon için alınan su örnekleri YSKY (2012)'ye göre Çizelge 4.1.4'teki fiziko kimyasal parametrelerle karşılaştırıldığında; belirlenen sıcaklık değerleri, ilkbahar, sonbahar ve kış mevsimlerinde I. sınıf su kalitesine sahiptir. pH değerleri, tüm mevsimlerde belirlenen limit değerler aralığındadır. Çözünmüş oksijen değerleri ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde I. sınıf, kış mevsiminde ise II. sınıf su kalitesine sahiptir. İletkenlik ve toplam çözünmüş madde değerleri tüm mevsimlerde I. sınıf su kalitesi özelliği göstermektedir. Bunun yanında, nitrit azotu değerleri tüm mevsimlerinde II. sınıf, nitrat azotu ve sülfat iyonu değerleri tüm mevsimlerde I. sınıf su kalitesi özelliği göstermektedir.

**Çizelge 4.1.4** 3. İstasyonda Tespit Edilen Genel Kimyasal ve Fiziko-kimyasal Parametrelerin Mevsimsel Değerleri

| Genel Kimyasal ve Fiziko-Kimyasal Parametreler          | İlkbahar | Yaz   | Sonbahar | Kış   |
|---|----------|-------|----------|-------|
| Sıcaklık (°C)   | 16.8     | 26.1  | 14.7     | 13.5  |
| pH  | 8.40     | 8.80  | 8.56     | 8.48  |
| Çözünmüş Oksijen (mg/L)                                 | 9.32     | 8.23  | 9.61     | 7.74  |
| Tuzluluk (‰)  | 0.07     | 0.14  | 0.09     | 0.07  |
| Toplam Çözünmüş Madde (mg/L)                            | 78.9     | 150   | 95.1     | 79.3  |
| İletkenlik (µS/cm)                                      | 148.8    | 298   | 166.9    | 157.1 |
| Direnç (kΩ.cm)  | 6.35     | 3.33  | 5.21     | 6.26  |
| Nitrit Azotu (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N /L)    | 0.006    | 0.005 | 0.005    | 0.007 |
| Nitrit (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L)             | 0.020    | 0.017 | 0.017    | 0.024 |
| Sodyum Nitrit (mg NaNO <sub>2</sub> /L)                 | 0.029    | 0.026 | 0.026    | 0.036 |
| Nitrat Azotu (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N /L)    | 0.9      | 0.6   | 1.4      | 0.7   |
| Nitrat (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)             | 4.1      | 2.7   | 6.3      | 3.3   |
| Sülfat (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L)            | 7        | 15    | 14       | 8     |
| Fosfat Fosforu (mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P/L)  | 0.019    | 0.054 | 0.018    | 0.020 |
| Toplam Fosfat (mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L)     | 0.057    | 0.166 | 0.055    | 0.062 |
| Fosfor Pentaoksit (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /L) | 0.042    | 0.124 | 0.041    | 0.047 |

4. istasyon için alınan su örnekleri YSKY (2012)'ye göre Çizelge 4.1.5'teki fiziko kimyasal parametrelerle karşılaştırıldığında; belirlenen sıcaklık değerleri, ilkbahar, sonbahar ve kış mevsimlerinde I. sınıf, yaz mevsiminde III. sınıf su kalitesi değerindedir. pH değerleri, tüm mevsimlerde belirlenen limit değerler aralığındadır. İletkenlik ve toplam çözünmüş madde değerleri tüm mevsimlerde I. sınıf su kalitesi özelliği göstermektedir. Bunun yanında, nitrit azotu değerleri tüm mevsimlerinde II. sınıf, nitrat azotu ve sülfat iyonu değerleri tüm mevsimlerde I. sınıf su kalitesi özelliği göstermektedir.

**Çizelge 4.1.5** 4. İstasyonda Tespit Edilen Genel Kimyasal ve Fiziko-kimyasal Parametrelerin Mevsimsel Değerleri

| <b>Genel Kimyasal ve Fiziko-Kimyasal Parametreler</b>   | <b>İlkbahar</b> | <b>Yaz</b> | <b>Sonbahar</b> | <b>Kış</b> |
|---|-----------------|------------|-----------------|------------|
| Sıcaklık (°C)   | 18.8            | 27.9       | 20.1            | 13.2       |
| pH  | 7.91            | 8.94       | 8.65            | 8.8        |
| Çözünmüş Oksijen (mg/L)                                 | 8.78            | 9.89       | 9.69            | 8.16       |
| Tuzluluk (‰)  | 0.10            | 0.12       | 0.13            | 0.10       |
| Toplam Çözünmüş Madde (mg/L)                            | 107.5           | 125.7      | 133.4           | 106.3      |
| İletkenlik (µS/cm)                                      | 216.2           | 250        | 271             | 210.3      |
| Direnç (kΩ.cm)  | 4.86            | 3.97       | 3.98            | 4.66       |
| Nitrit Azotu (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N /L)    | 0.007           | 0.008      | 0.004           | 0.007      |
| Nitrit (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L)             | 0.023           | 0.026      | 0.014           | 0.022      |
| Sodyum Nitrit (mg NaNO <sub>2</sub> /L)                 | 0.035           | 0.038      | 0.022           | 0.032      |
| Nitrat Azotu (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N /L)    | 1               | 0.7        | 1.6             | 0.7        |
| Nitrat (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)             | 4.2             | 3          | 7.1             | 2.9        |
| Sülfat (mg SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /L)            | 7               | 13         | 13              | 10         |
| Fosfat Fosforu (mg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> -P/L)  | 0.397           | 0.023      | 0.014           | 0.014      |
| Toplam Fosfat (mg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> /L)     | 1.22            | 0.070      | 0.043           | 0.043      |
| Fosfor Pentaoksit (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /L) | 0.910           | 0.052      | 0.032           | 0.032      |

5. istasyon için alınan su örnekleri YSKY (2012)'ye göre Çizelge 4.1.6'daki fiziko kimyasal parametrelerle karşılaştırıldığında; belirlenen sıcaklık değerleri, ilkbahar, sonbahar ve kış mevsimlerinde I. sınıf, yaz mevsiminde III. sınıf su kalitesi değerindedir. pH değerleri, tüm mevsimlerde belirlenen limit değerler aralığındadır. Çözünmüş oksijen değerleri tüm mevsimlerde I. sınıf su kalitesine sahiptir. İletkenlik ve toplam çözünmüş madde değerleri tüm mevsimlerde I. sınıf su kalitesi özelliği göstermektedir. Bunun yanında, nitrit azotu değerleri tüm mevsimlerinde II. sınıf, nitrat azotu ve sülfat iyonu değerleri tüm mevsimlerde I. sınıf su kalitesi özelliği göstermektedir.

**Çizelge 4.1.6** 5. İstasyonda Tespit Edilen Genel Kimyasal ve Fiziko-kimyasal Parametrelerin Mevsimsel Değerleri

| Genel Kimyasal ve Fiziko-Kimyasal Parametreler          | İlkbahar | Yaz   | Sonbahar | Kış   |
|---|----------|-------|----------|-------|
| Sıcaklık (°C)   | 22.3     | 28.2  | 22       | 14.7  |
| pH  | 8.43     | 8.64  | 8.88     | 8.53  |
| Çözünmüş Oksijen (mg/L)                                 | 8.78     | 8.32  | 9.12     | 9.31  |
| Tuzluluk (‰)  | 0.12     | 0.13  | 0.13     | 0.12  |
| Toplam Çözünmüş Madde (mg/L)                            | 129.9    | 132.2 | 139.4    | 125.8 |
| İletkenlik (µS/cm)                                      | 104.8    | 262   | 268      | 247   |
| Direnç (kΩ.cm)  | 3.84     | 3.76  | 3.59     | 3.98  |
| Nitrit Azotu (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N /L)    | 0.004    | 0.006 | 0.006    | 0.007 |
| Nitrit (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L)             | 0.014    | 0.018 | 0.019    | 0.021 |
| Sodyum Nitrit (mg NaNO <sub>2</sub> /L)                 | 0.021    | 0.027 | 0.029    | 0.032 |
| Nitrat Azotu (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N /L)    | 1.1      | 0.7   | 1.6      | 0.6   |
| Nitrat (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)             | 4.8      | 3     | 7        | 2.8   |
| Sülfat (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L)            | 8        | 13    | 13       | 12    |
| Fosfat Fosforu (mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P/L)  | 0.043    | 0.016 | 0.011    | 0.005 |
| Toplam Fosfat (mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L)     | 0.132    | 0.050 | 0.034    | 0.014 |
| Fosfor Pentaoksit (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /L) | 0.099    | 0.037 | 0.025    | 0.010 |

6. istasyon için alınan su örnekleri YSKY (2012)'ye göre Çizelge 4.1.7'deki fiziko kimyasal parametrelerle karşılaştırıldığında; belirlenen sıcaklık değerleri, ilkbahar, sonbahar ve kış mevsimlerinde I. sınıf, yaz mevsiminde III. sınıf su kalitesi değerindedir. pH değerleri, tüm mevsimlerde belirlenen limit değerler aralığındadır. Çözünmüş oksijen değerleri tüm mevsimlerde I. sınıf su kalitesine sahiptir. Bunun yanında, nitrit azotu değerleri tüm mevsimlerinde II. sınıf, nitrat azotu ve sülfat iyonu değerleri tüm mevsimlerde I. sınıf su kalitesi özelliği göstermektedir.

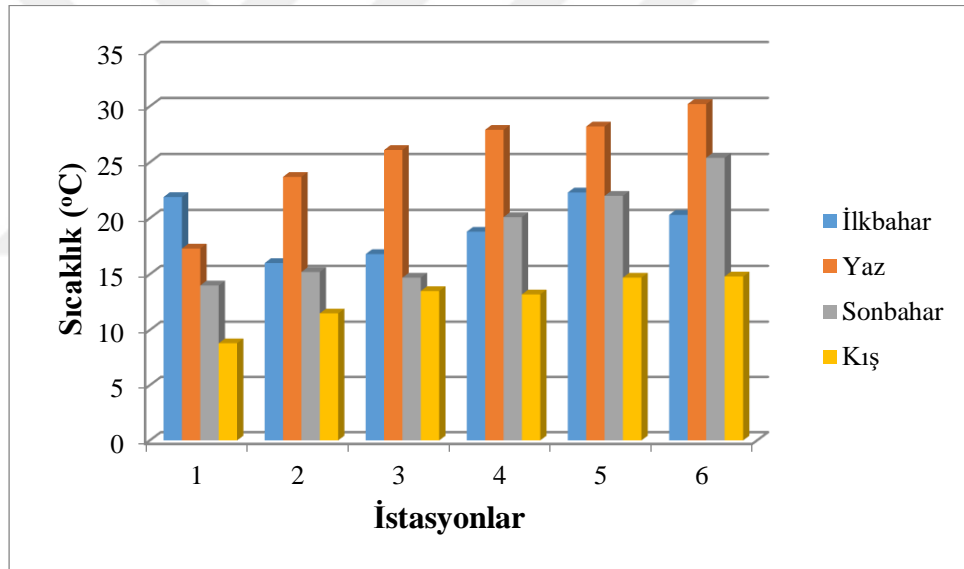
**Çizelge 4.1.7** 6. İstasyonda Tespit Edilen Genel Kimyasal ve Fiziko-kimyasal Parametrelerin Mevsimsel Değerleri

| Genel Kimyasal ve Fiziko-Kimyasal Parametreler          | İlkbahar | Yaz   | Sonbahar | Kış   |
|---|----------|-------|----------|-------|
| Sıcaklık (°C)   | 20.3     | 30.2  | 25.4     | 14.8  |
| pH  | 8.25     | 8.90  | 9.7      | 8.98  |
| Çözünmüş Oksijen (mg/L)                                 | 10.05    | 7.96  | 10.52    | 8.49  |
| Tuzluluk (‰)  | 0.07     | 0.10  | 0.09     | 0.11  |
| Toplam Çözünmüş Madde (mg/L)                            | 131.2    | 110.3 | 100.1    | 120.2 |
| İletkenlik (µS/cm)                                      | 263      | 218.9 | 202.3    | 239   |
| Direnç (kΩ.cm)  | 3.84     | 4.61  | 5.18     | 4.15  |
| Nitrit Azotu (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N /L)    | 0.008    | 0.005 | 0.005    | 0.004 |
| Nitrit (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L)             | 0.025    | 0.018 | 0.017    | 0.014 |
| Sodyum Nitrit (mg NaNO <sub>2</sub> /L)                 | 0.037    | 0.027 | 0.026    | 0.021 |
| Nitrat Azotu (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N /L)    | 0.9      | 0.5   | 1        | 0.6   |
| Nitrat (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)             | 3.9      | 2.3   | 4.5      | 2.5   |
| Sülfat (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L)            | 5        | 13    | 13       | 11    |
| Fosfat Fosforu (mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P/L)  | 0.108    | 0.009 | 0.002    | 0.003 |
| Toplam Fosfat (mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L)     | 0.332    | 0.028 | 0.006    | 0.010 |
| Fosfor Pentaoksit (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /L) | 0.248    | 0.021 | 0.005    | 0.007 |



#### 4.1.1 Sıcaklık

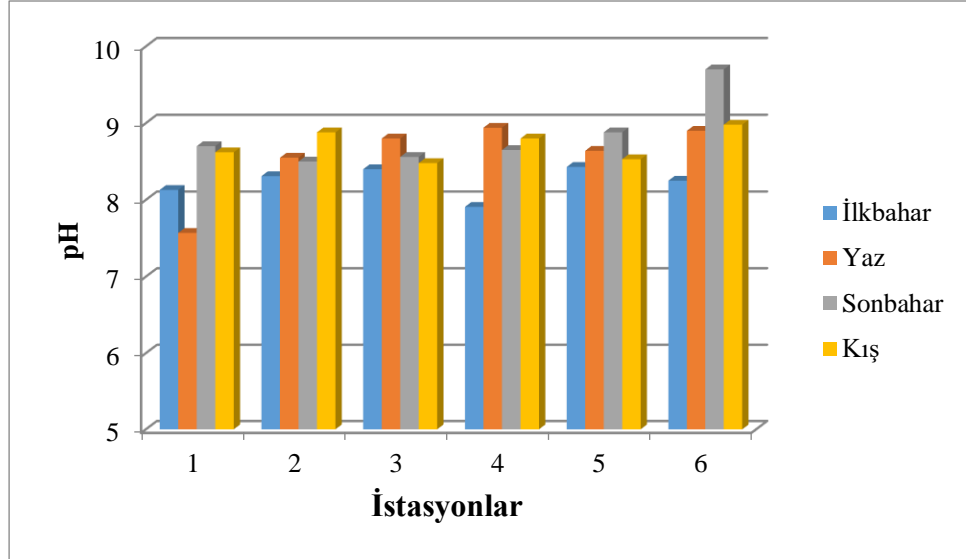
Belirlenen istasyonlardan tüm mevsimlerde ölçülen su sıcaklık değerleri Çizelge 4.1.2-4.1.7'de verilmiştir. En düşük su sıcaklık değeri 8.8°C, kış mevsiminde 1. istasyonda ölçülmüştür. En yüksek su sıcaklık değeri 30.1°C ise yaz mevsiminde, Curi Deresi'nin 6. istasyonu olan akarsu ağzı bölgesinde ölçülmüştür. İkinci istasyonda ölçülen en yüksek sıcaklık değeri 23.7°C yaz mevsiminde, en düşük su sıcaklık değeri 11.5°C kış mevsiminde ölçülmüştür. Üçüncü istasyonda ölçülen en düşük sıcaklık değeri 13.5°C kış mevsiminde, en yüksek sıcaklık değeri 26.1°C yaz mevsiminde belirlenmiştir. Dördüncü istasyonda ölçülen en yüksek 27.9°C yaz mevsiminde, en düşük su sıcaklığı 13.2°C kış mevsiminde ölçülmüştür. Beşinci istasyonda ölçülen sıcaklık değerleri ilkbahar (22.3°C) ve sonbahar (22°C) mevsimlerinde birbirine çok yakındır. İstasyonlarda ölçülen su sıcaklık değerlerinin mevsimlere göre değişimi Şekil 4.1.1.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1.1.1 İstasyonlarda ölçülen su sıcaklık değerlerinin mevsimlere göre değişimi

#### 4.1.2 pH

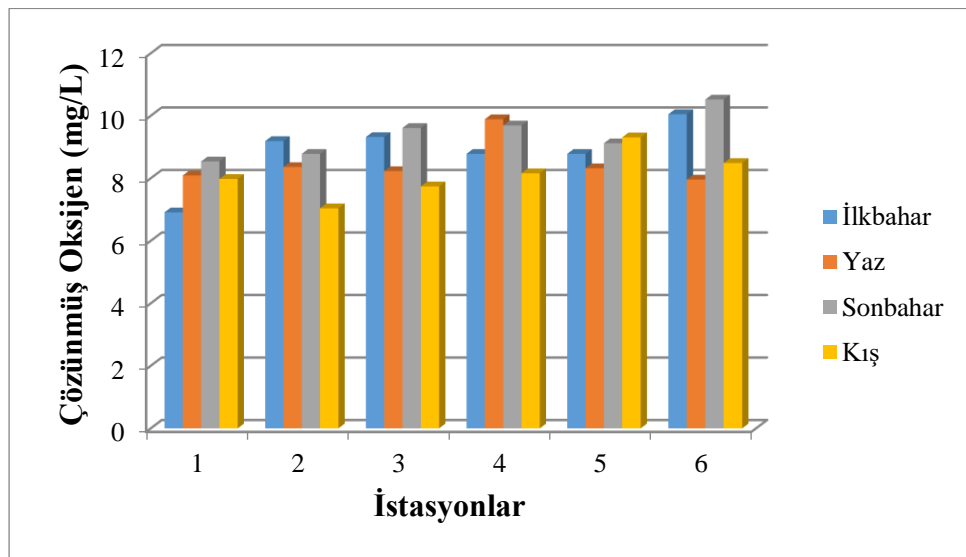
Belirlenen istasyonlardan ölçülen pH değerleri Çizelge 4.1.2-4.1.7'de verilmiştir. pH değerleri tüm mevsimler için, 1. istasyonda; 7.57-8.7, 2. istasyonda; 8.31-8.88, 3. istasyonda; 8.40-8.80, 4. istasyonda; 7.91-8.94, 5. istasyonda; 8.43-8.88; 6. istasyonda; 8.25-9.7 aralığında ölçülmüştür. En düşük pH değeri 7.57 ile 1. istasyon yaz mevsiminde, en yüksek pH değeri ise 9.7 ile 6. istasyon sonbahar mevsiminde ölçülmüştür. İstasyonlarda ölçülen pH değerlerinin mevsimlere göre değişimi Şekil 4.1.2.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1.2.1 İstasyonlarda ölçülen pH değerlerinin mevsimlere göre değişimi

#### 4.1.3 Çözünmüş Oksijen (ÇO)

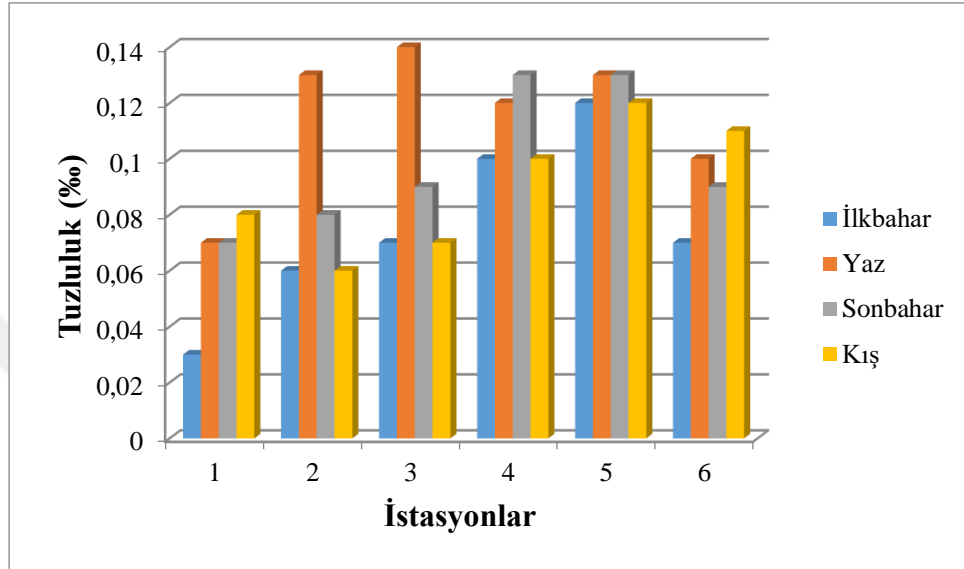
Belirlenen istasyonlardan tüm mevsimlerde ölçülen çözünmüş oksijen değerleri Çizelge 4.1.2-4.1.7’de verilmiştir. Çözünmüş oksijen değerleri tüm mevsimler için, 1. istasyonda; 6.91-8.54, 2. istasyonda; 7.04-9.19, 3. istasyonda; 7.74-9.61, 4. istasyonda; 8.16-9.89, 5. istasyonda; 8.32-9.31, 6. istasyonda; 7.96-10.52 mg/L aralığında ölçülmüştür. En düşük çözünmüş oksijen değeri 6.91 mg/L ile 1. istasyon ilkbahar mevsiminde, en yüksek çözünmüş oksijen değeri ise 10.52 mg/L ile 6. istasyon sonbahar mevsiminde ölçülmüştür. İstasyonlarda ölçülen ÇO değerlerinin mevsimlere göre değişimi Şekil 4.1.3.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1.3.1 İstasyonlarda ölçülen ÇO değerlerinin mevsimlere göre değişimi

#### 4.1.4 Tuzluluk

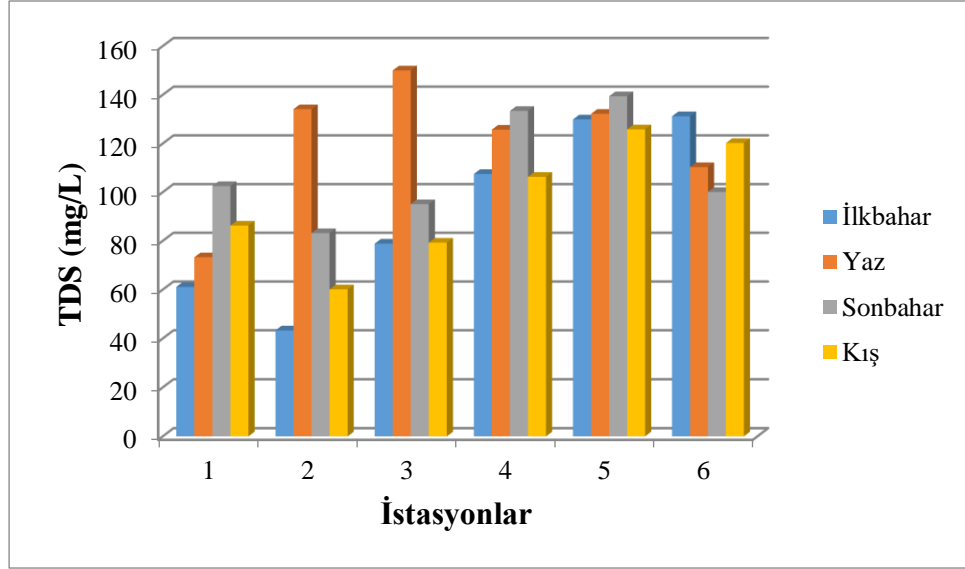
Belirlenen istasyonlardan tüm mevsimlerde ölçülen tuzluluk değerleri Çizelge 4.1.2-4.1.7’de verilmiştir. En düşük tuzluluk değeri %0.03 ile 1. istasyon sonbahar mevsiminde, en yüksek tuzluluk değeri %0.14 ile 3. istasyon yaz mevsiminde ölçülmüştür. İstasyonlarda ölçülen tuzluluk değerlerinin mevsimlere göre değişimi Şekil 4.1.4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1.4.1 İstasyonlarda ölçülen tuzluluk değerlerinin mevsimlere göre değişimi

#### 4.1.5 Toplam Çözünmüş Madde (TDS)

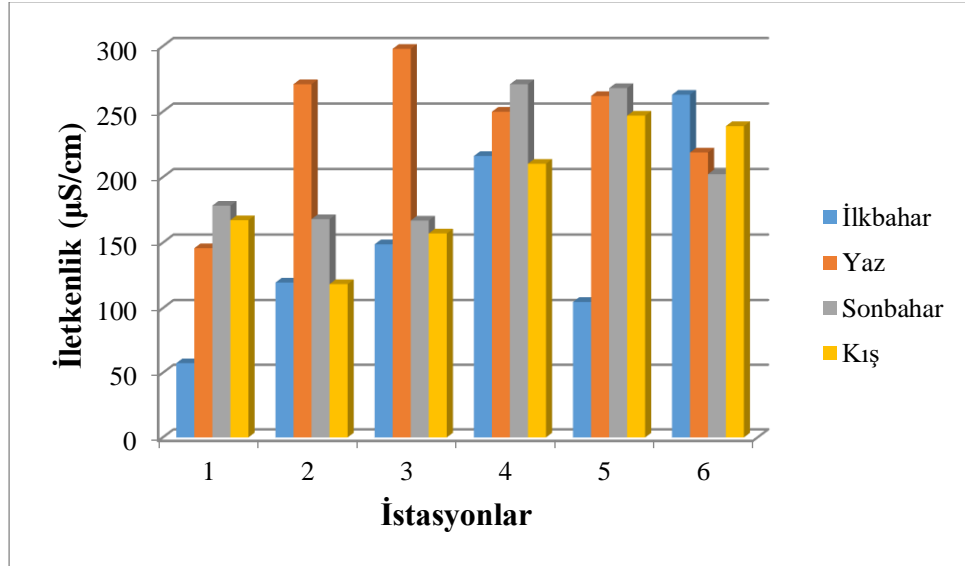
Belirlenen istasyonlardan tüm mevsimlerde ölçülen toplam çözünmüş madde değerleri Çizelge 4.1.2-4.1.7’de verilmiştir. En yüksek toplam çözünmüş madde değeri 150 mg/L ile 3. istasyon yaz mevsiminde, en düşük değer 43.3 mg/L ile 2. istasyon ilkbahar mevsiminde ölçülmüştür. İstasyonlarda ölçülen TDS değerlerinin mevsimlere göre değişimi Şekil 4.1.5.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1.5.1 İstasyonlarda ölçülen TDS değerlerinin mevsimlere göre değişimi

#### 4.1.6 İletkenlik

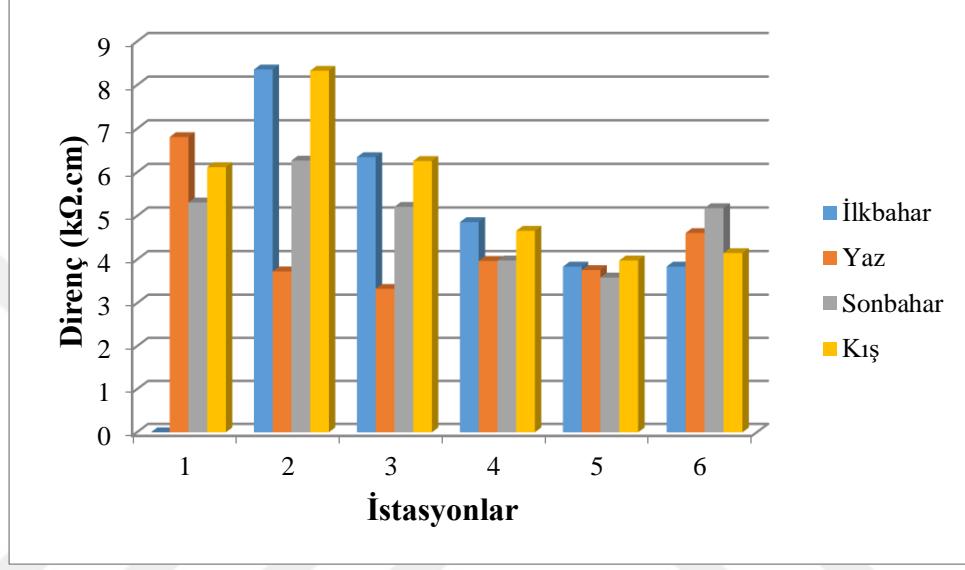
Belirlenen istasyonlardan ölçülen iletkenlik değerleri Çizelge 4.1.2-4.1.7’de verilmiştir. En yüksek iletkenlik değeri 298  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ile 3. istasyon yaz mevsiminde ölçülmüştür. En düşük iletkenlik değeri 57.5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ile 1. istasyonda ilkbahar mevsiminde ölçülmüştür. İstasyonlarda ölçülen iletkenlik değerlerinin mevsimlere göre değişimi Şekil 4.1.6.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1.6.1 İstasyonlarda ölçülen iletkenlik değerlerinin mevsimlere göre değişimi

#### 4.1.7 Direnç

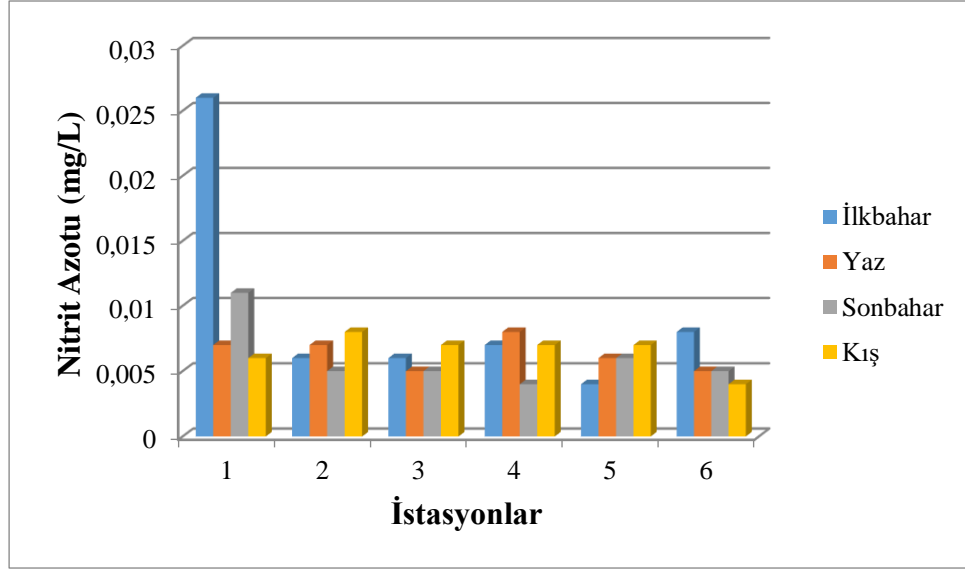
Belirlenen istasyonlardan ölçülen direnç değerleri Çizelge 4.1.2-4.1.7’de verilmiştir. 1. istasyon ilkbahar mevsiminde ölçülen direnç değeri aralığı dışında tespit edilmiştir. En düşük direnç değeri 3.33 k $\Omega$ .cm ile 3. istasyon yaz mevsiminde, en yüksek direnç değeri 8.36 k $\Omega$ .cm ile 2. istasyon ilkbahar mevsiminde ölçülmüştür. İstasyonlarda ölçülen direnç değerlerinin mevsimlere göre değişimi Şekil 4.1.7.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1.7.1 İstasyonlarda ölçülen direnç değerlerinin mevsimlere göre değişimi

#### 4.1.8 Nitrit Azotu (NO<sub>2</sub>-N)

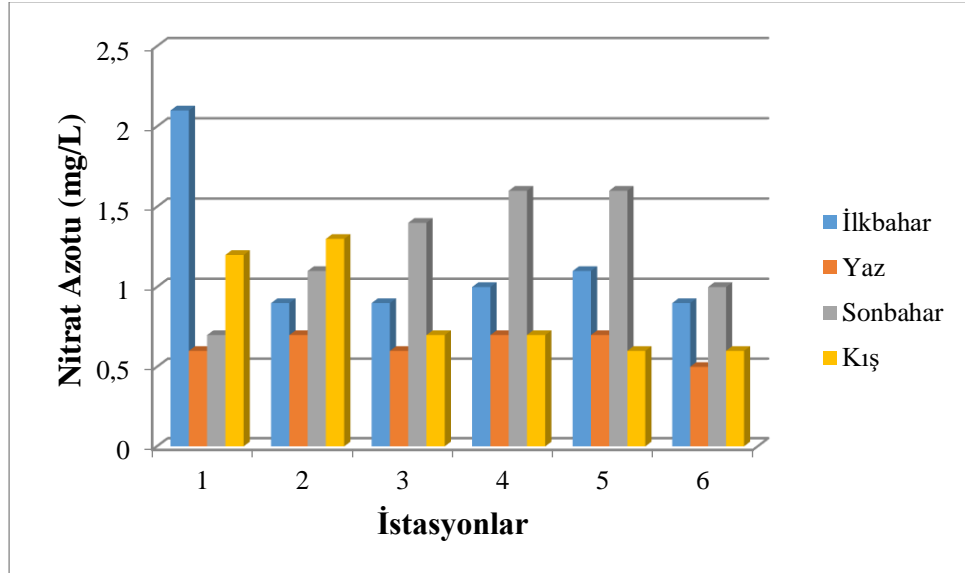
Belirlenen istasyonlardan ölçülen nitrit azotu değerleri Çizelge 4.1.2-4.1.7’de verilmiştir. Tüm mevsimlerde ölçülen nitrit azotu değerleri; 1. istasyon için 0.006-0.026, 2. istasyon için 0.005-0.008, 3. istasyon için 0.005-0.007, 4. istasyon için 0.004-0.008, 5. istasyon için 0.004-0.007, 6. istasyon için 0.004-0.008 mg/L aralıklarında ölçülmüştür. İstasyonlarda ölçülen NO<sub>2</sub>-N değerlerinin mevsimlere göre değişimi Şekil 4.1.8.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1.8.1 İstasyonlarda ölçülen  $\text{NO}_2\text{-N}$  değerlerinin mevsimlere göre değişimi

#### 4.1.9 Nitrat Azotu ( $\text{NO}_3\text{-N}$ )

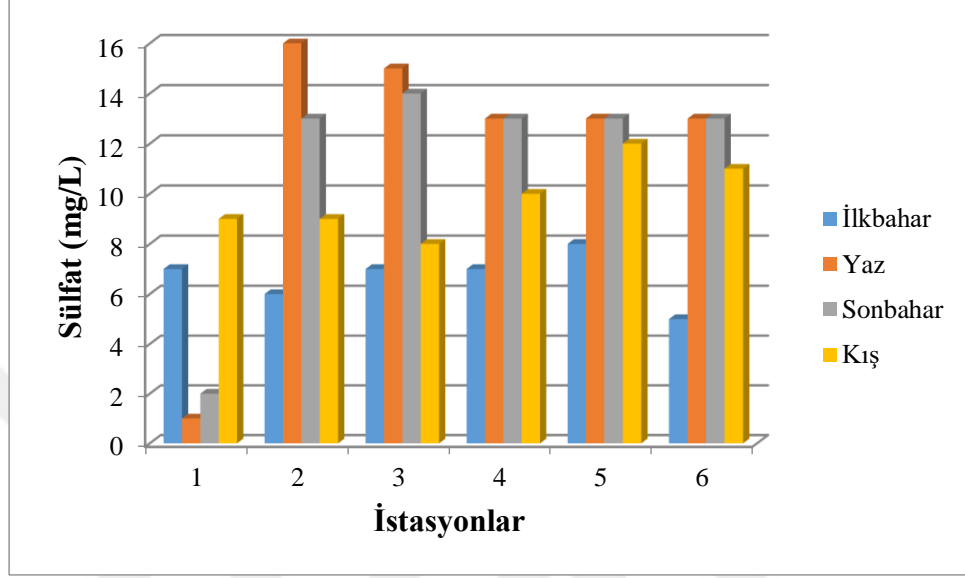
Belirlenen istasyonlardan ölçülen nitrat azotu değerleri Çizelge 4.1.2-4.1.7’de verilmiştir. En düşük nitrat azotu değeri 0,5 mg/L ile 6. istasyon yaz mevsiminde ölçülürken, en yüksek değer 2,1 mg/L ile 1. istasyon ilkbahar mevsiminde ölçülmüştür. İstasyonlarda ölçülen  $\text{NO}_3\text{-N}$  değerlerinin mevsimlere göre değişimi Şekil 4.1.9.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1.9.1 İstasyonlarda ölçülen  $\text{NO}_3\text{-N}$  değerlerinin mevsimlere göre değişimi

#### 4.1.10 Sülfat ( $\text{SO}_4^{-2}$ )

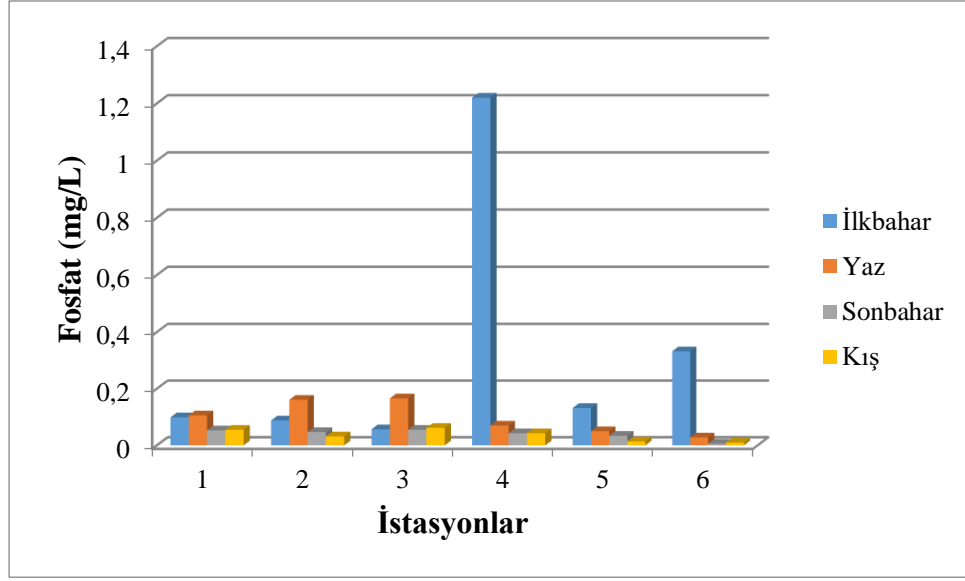
Belirlenen istasyonlardan ölçülen sülfat değerleri Çizelge 4.1.2-4.1.7'de verilmiştir. En düşük sülfat değeri 1 mg/L ile 1. istasyon yaz mevsiminde, en yüksek sülfat değeri 16 mg/L ile 2. istasyon yaz mevsiminde ölçülmüştür. İstasyonlarda ölçülen  $\text{SO}_4^{-2}$  değerlerinin mevsimlere göre değişimi Şekil 4.1.10.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1.10.1 İstasyonlarda ölçülen  $\text{SO}_4^{-2}$  değerlerinin mevsimlere göre değişimi

#### 4.1.11 Fosfat ( $\text{PO}_4^{-3}$ )

Belirlenen istasyonlardan ölçülen fosfat değerleri Çizelge 4.1.2-4.1.7'de verilmiştir. En yüksek fosfat değeri 1.22 mg/L ile 4. istasyon ilkbahar mevsiminde, en düşük fosfat değeri 0.010 mg/L ile 6. istasyon kış mevsiminde ölçülmüştür. İstasyonlarda ölçülen  $\text{PO}_4^{-3}$  değerlerinin mevsimlere göre değişimi Şekil 4.1.11.1'de verilmiştir.



**Şekil 4.1.11.1** İstasyonlarda ölçülen  $PO_4^{3-}$  değerlerinin mevsimlere göre değişimi

Homoioterm canlıların aksine balıkların içinde yaşadığı sucul ortamın sahip olduğu sıcaklık, pH, sertlik, tuzluluk, çözülmüş oksijen miktarları gibi fiziksel ve metal karışımları gibi kimyasal özellikler, balıklar üzerinde toksik etkilerini artırarak bağışıklık sistemi üzerine direkt etki ederler (Akgün ve ark., 2007; Atamanalp ve ark., 2013). Araştırmalar sonucunda Curi Deresi ile ilgili çok az sayıda çalışma olduğu görülmektedir. Bostancı ve ark., (2016)'nın bildirdiğine göre Curi Deresi için ilk kez belirlenen fiziko-kimyasal özelliklerinden sıcaklık ve çözülmüş oksijenin bu sucul ekosistemde yaşayan balıklar için elverişli ve suyun bazı özellikte olduğu tespit edilmiştir (Bostancı ve ark., 2016).

Belirlenen altı istasyona ait ölçülen sıcaklık değerleri 1. istasyon için (Kurtboğaz istasyonu) Çizelge 4.1.3'te, 2. istasyon için (Akbaba Mahallesi) Çizelge 4.1.4'de, 3. istasyon için (Tekkiraz-Yeni Cuma) Çizelge 4.1.5'te, 4. istasyon için (Yavi Mahallesi) Çizelge 4.1.6'da, 5. istasyon için (Göbü Mahallesi) Çizelge 4.1.7'de, 6. istasyon için (Akarsu Ağız istasyonu) Çizelge 4.1.8'de mevsimsel olarak verilmiştir. Ölçülen su sıcaklık değerlerinin mevsimlere göre olan değişkenliği normal tespit edilmiştir. Akarsu ağzından kaynak bölgesine doğru gidildikçe akarsu yatağının daralması, su akımının hızlanması ve su sıcaklığının düşmesi beklenen bir durum olup, sıcaklık değerlerinin değişkenliği akarsuların bölgelere ayrılmasında ve sınıflandırılmasında önemlidir (Tanyolaç, 2009; Zeybek ve Kalyoncu, 2016). Bu çalışmada da sıcaklık değerlerine ait sonuçlar incelendiğinde en düşük sıcaklık



değerinin akarsuyun kaynak bölgesinde olduğu görülmektedir. Benzer bulgular yurt içinde yapılan diğer çalışmalarda da görülmektedir (Ustaoglu ve Tepe, 2019). Curi Deresi'nin su sıcaklığı ilkbahar mevsimi itibariyle, azalan akış ve hava sıcaklıklarının artmasıyla orantılı olarak artmaya başlamış, yaz mevsiminde en yüksek değere ulaşmıştır. Benzer şekilde Sinokrot ve Gulliver (2000), su akımı ile su sıcaklığı arasındaki ilişkinin önemini Platte Nehri'nde yaptıkları çalışmada özellikle yaz aylarında görülen düşük akarsu akışlarının yüksek su sıcaklıkları üzerinde önemli bir etkiye neden olduğunu bildirmişlerdir. Bu bulgu, Curi Deresi'nin Mayıs ve Haziran aylarında hava sıcaklıklarının artmasıyla birlikte taşıdığı su miktarının azalması ve dolayısıyla da azalan akıma bağlı olarak su sıcaklığının artması sonucunu desteklemektedir.

Mevcut çalışmada belirlenen altı istasyonun pH değerleri Çizelge 4.1.3-4.1.8'de verilmiş olup tüm mevsimlerdeki  $pH \geq 7.5$  olarak ölçülmüştür. En yüksek pH değeri 9.7 olarak Curi Deresi 6. istasyonunda sonbahar mevsiminde tespit edilmiştir. Bazik özellik gösteren suyun bu özelliği bikarbonat iyonlarının suda bulunmasından kaynaklanmaktadır (Yılmaz, 2004; Atea ve ark., 2017). Sudaki pH değerinin bölgenin hidrojeokimyasal yapısı (Garg ve ark., 2010) ve su içerisindeki fotosentez olayının düzeyi ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Kocataş, 2008). Sudaki karbondioksit miktarı ile pH ters orantılıdır. Yaz mevsimlerinde sıcak suda karbondioksit daha az çözüneceği için pH yükselmekte, kış mevsiminde ise düşmektedir (Sönmez ve ark., 2008). Bu çalışmada belirlenen pH değerleri genel olarak literatürde belirlenen değerler ile benzerlik göstermektedir. Ortamın pH değeri, ağır metallerin sudaki konsantrasyonunu etkilemektedir. Ağır metallerin sert ve bazik sulara göre, yumuşak ve distile sularda daha toksik olduğu bildirilmiştir. Ayrıca çözülmüş oksijen, sıcaklık, çözültideki diğer maddeler ve sinerjetik etki gibi faktörler de toksisiteyi etkilemektedirler (Güner, 2008; Özkurnaz, 2012).

İskender (2013) çalışmasında, Curi Deresi'nde 5 istasyon belirlemiştir. Bu istasyonlardan Kurtboğaz istasyonuna yakın olan İmamoğlu Mahallesi istasyonundan aldıkları su sıcaklığını  $13.7^{\circ}\text{C}$ , pH'ı 7.8 olarak bildirmiştir. Kurtboğaz istasyonunun su sıcaklık değerleri ise bu çalışmada  $8.8-21.9^{\circ}\text{C}$  aralığında değişmektedir (Çizelge 4.1.3). Aynı şekilde, Akbaba istasyonuna yakın olan Armutlu Mahallesi'nden aldıkları su numunelerinin sıcaklığı  $16.8^{\circ}\text{C}$  ve pH'ı 7.5 olarak bildirmiştir. Akbaba istasyonunun su sıcaklık değerleri ise bu çalışmada  $11.5-23.7^{\circ}\text{C}$

ve pH değerleri ise 8.31-8.88 aralığında bulunmuştur (Çizelge 4.1.4). Bu çalışmada 3. istasyon olan Tekkiraz-Yeni Cuma Mevkisi'ne yakın olan Çavuşoğulları Mahallesi'nden aldıkları su örneklerinin sıcaklık ve pH değerleri sırasıyla 17.6°C ve 7.5 olduğu bildirilmiştir. Göbü ve Yavi Mahalleleri arasında kalan Hacıbel Mevkisi'nin su sıcaklığı 18.8°C, pH değeri ise 7.6 olarak, Kavaklık Mahallesi'nden aldıkları su örneklerinin sıcaklık ve pH değerleri sırasıyla 20.6 °C ve 7.7 olduğu bildirilmiştir (İskender, 2013). Sonuçlar karşılaştırıldığında, bu çalışmadaki sıcaklık ve pH değerlerinin İskender (2013)'in yaptığı çalışmaya göre daha yüksek olduğu, ancak ölçülen bir çok değerinde benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca mevcut çalışmanın Çömlekçi Deresi'nde (Ustaoglu ve ark., 2020b) belirlenen sıcaklık (13.28°C) ve pH (8.03) değerleri ile de benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

Mevsimsel olarak Curi Deresi'nde belirlenen 6 istasyonda değerlendirilen; çözünmüş oksijen, tuzluluk, toplam çözünmüş madde, iletkenlik ve direnç parametreleri çalışmada bu akarsu için ilk kez tespit edilmiştir. Bu fiziko-kimyasal parametreler Curi Deresi için başka herhangi bir çalışmada değerlendirilmediğinden karşılaştırma yapılamamıştır. Ancak Curi Deresi ile benzer sayılabilecek lokalitelerden biri olan Melet Irmağı'nda Ustaoglu ve ark., (2017) bazı su kalitesi parametrelerini aylık topladıkları su numunelerinden belirlemişlerdir. Melet Irmağı suyunun pH ortalamasını 7.96, çözünmüş oksijen (ÇO) ortalamasını 11.4 mg/L, sıcaklık ortalamasını 14°C, iletkenlik ortalamasını 216 µS/cm, tuzluluk ortalamasını 0.11, nitrit ortalamasını 0.04 mg/L, nitrat ortalamasını 1.22 mg/L, sülfat ortalamasını 10.42 mg/L olarak belirlemişlerdir. Elde edilen verilere göre Melet Irmağı'nın sulama için uygun ancak yaşayan habitat için uygun olmadığı belirlenmiştir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre 0.40 mg/L fosfat, 0.04 mg/L nitrit seviyeleri ile orta derece kirli su sınıfına girdiği bildirilmiştir.

Curi Deresi'nde belirlenen en yüksek çözünmüş oksijen değerinin sonbahar mevsiminde tespit edilmiş olması, o mevsimde soğumaya başlayan suyun oksijen tutma kapasitesinin artmasıyla ve yüksek fotosentez oranı ile ilişkili olabilir (Tanyolaç, 2009; Kaptan ve Tekin-Özan, 2014). Çözünmüş maddeler ve tuz yoğunluğu çözünmüş oksijen miktarını etkileyen parametrelerdir. Belirlenen fiziko-kimyasal değerler incelendiğinde; çözünmüş oksijen miktarının düşük çıkmasına, tuzluluk ve iletkenlik değerlerinin yüksek olması, bölgedeki organik içeriğin yüksekliği etki edeceği fikrini desteklemektedir (Arslan ve ark., 2012). Sıcaklık, suda

bulunan oksijenin eriyebilirliğini etkilemektedir. Sıcaklık azaldıkça sudaki çözünmüş oksijen artmaktadır (Tanyolaç 2009; Arslan ve ark., 2012). Çözünmüş oksijen hem su kirliliğinin kontrol parametresi hem de sucul ekosistemdeki yaşamın devamlılığının sağlanması açısından önemli bir parametre olup metabolik olayların düzenleyicisidir (Tanyolaç, 2009; Zeybek ve Kalyoncu, 2016; Tunç Dede ve Sezer, 2017). Minimum çözünmüş oksijen değerinin 5.0 mg/L'den az olması durumunda tatlı su ekosistemlerinde sucul yaşamın devamlılığı sürdürülemez (EPA, 1997; Zeybek ve Kalyoncu, 2016). Oksijen değeri; çevresel kirletici faktörler nedeni ile yoğun kirlilik baskısı altındaki bölgelerde düşüktür (Simić, 1996; Barlas ve ark., 2000; Kara ve Çömlekçioğlu, 2004; Uyanık ve ark., 2005; Kalyoncu ve Zeybek, 2011; Zeybek ve Kalyoncu, 2016). Yapılan bu çalışmada çözünmüş oksijen değerleri 6.91-10.52 mg/L arasında ölçülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde çözünmüş oksijen değeri bakımından akarsuya etki eden çevresel kirleticilerin sucul yaşamı olumsuz etkilemediği ve tüm istasyonlar değerlendirildiğinde çok yoğun bir kirletici etkisi olmadığı söylenebilir.

Elektriksel iletkenlik, tatlı su ve tuzlu su karışımını izlemek, akarsu hidrograflarını ayırmak ve kirlenmiş yeraltı suyunun jeofizik eşleşmesini izlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Ustaoglu ve ark., 2017). İletkenlik değeri su içerisinde bulunan iyon ve çözünmüş madde konsantrasyonuna bağlı olarak değişkenlik gösterebilir (Tanyoloç, 2009; Kaptan ve Tekin-Özan, 2014). Çalışma alanının kaynağa yakın ilk üç istasyonunda diğer istasyonlara göre düşük iletkenlik değerleri göstermesi; yüksek yağış değerlerine ve yıkanmaya bağlanabilir (Hatipoğlu, 2017). Bu durum, yağış periyodunda meydana gelen değişimlerin istasyonlar arasında su parametrelerini etkilediğinin göstergesidir (Kontaş, 2018). Akarsu akımına yeraltı sularının birincil düzeyde katkıda bulunduğu, düşük akım periyotlarında olan mineralleşmeden dolayı akarsularda genelde elektriksel iletkenliğin yüksek olduğu belirtilmiştir. Buna karşın artan yağışlar ile akımın artması iletkenliğin azalmasına neden olmaktadır (Şen ve Gölbaşı 2008; Sönmez ve Battal, 2017). Suda çözünmüş mineral ve tuzların etkisiyle ilişkili olan iletkenlik değeri kirlenme ve çözünmüş toplam madde miktarı için bir göstergedir (Taşdemir ve Göksu, 2001). Tespit edilen tüm iletkenlik değerleri incelendiğinde akarsu ağız bölgesine doğru 4., 5. ve 6. istasyonlarda yüksek değerler elde edildiği görülmüştür. Yapılan araştırmalarda da denizel etkinin, iletkenlik değerlerinde artışa neden olduğu

ifade edilmiştir (Kumbur ve ark., 2008; Çiçek ve Ertan, 2012). İstasyonların iletkenlik değerlerine bakıldığında birbirlerine yakın olduğu, kaynak bölgesinden uzaklaştıkça istasyonların değerlerinde artış olduğu belirlenmiştir. Tatlı sularda iletkenlik değerinin kirlilik etkisi ile doğru orantılı olarak arttığı bilinmektedir. Akarsu ağızı bölgesinde insan etkisinin daha çok olduğu ve insanlar tarafından meydana gelen kirletici etkiye diğer istasyonlara göre daha fazla maruz kaldığı bilinmektedir (Verap ve ark., 2005; Zeybek ve Kalyoncu, 2016). Curi Deresi'nde belirlenen altı istasyondan alınan iletkenlik değerleri; Melet Irmağı'ndan 216  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'lik ortalama iletkenlik değeri (Ustaoğlu ve ark., 2017) ile Çınarlı Deresi'nden (Mutlu ve ark. 2016) belirlenen 201.34  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'lik iletkenlik değeri seviyelerine çok benzer ancak; 423-1197 $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değişen Biga Deresi'nden (Hacıoğlu ve Dulger 2009) kaydedilen seviyelerin çok altında bulunmuştur.

İskender (2013) Turnasuyu ve Curi derelerinin balık faunasını araştırdığı çalışmada, Curi Deresi suyunun fiziko-kimyasal parametrelerinden nitrit, sülfat ve fosfat iyonlarını değerlendirmiştir. Çalışmada kaynak kısmına yakın olan 5. istasyonun nitrit, sülfat ve fosfat değerleri sırasıyla; 0.003 mg/L, 10 mg/L, 0.528 mg/L olarak ölçülmüştür. Yapılan bu çalışma ile karşılaştırıldığında İskender (2013)'in tespit ettiği nitrit değerinin (0.003 mg/L) bu çalışmada kaynak kısmına yakın olarak seçilen 1. istasyondan tüm mevsimlerde elde edilen nitrit (0.084 mg/L, 0.022 mg/L, 0.036 mg/L, 0.022 mg/L) değerlerinden düşük, sülfat değerinin (10 mg/L) bu çalışmada elde edilen sülfat değerlerinden (7 mg/L, 1 mg/L, 2 mg/L, 9 mg/L) yüksek olduğu görülmektedir. İskender (2013)'in çalışmasında nitrit, sülfat ve fosfat değerlerinin sırasıyla; 4. istasyonda 0.40 mg/L, 12 mg/L, 0.098 mg/L; 3. istasyonda 0.031 mg/L, 13 mg/L, 0.668 mg/L; 2. istasyonda 0.013 mg/L, 27 mg/L, 0,008 mg/L; 1. istasyonda 0.031 mg/L, 113 mg/L, 0.196 mg/L olarak tespit edildiği bildirilmiştir. Bu sonuçlarla kıyaslandığında 4. istasyon için İskender (2013)'in tespit ettiği nitrit değerinin (0.40 mg/L) bu çalışmada 2. istasyon için tüm mevsimlerde elde edilen nitrit (0.019 mg/L, 0.024 mg/L, 0.016 mg/L, 0.026 mg/L) değerlerinden yüksek, sülfat değerinin (12 mg/L) bu çalışmada elde edilen sülfat değerlerinin (6 mg/L, 16 mg/L, 13 mg/L, 9 mg/L) bir ortalaması şeklinde olduğu söylenebilir. Aynı şekilde 3. istasyon için İskender, (2013)'in tespit ettiği nitrit ve fosfat değerlerinin (0.031 mg/L, 0.668 mg/L) bu çalışmada 3. istasyon için tüm mevsimlerde elde edilen nitrit (0.020 mg/L, 0.017 mg/L, 0.017 mg/L, 0.024 mg/L) ve fosfat (0.057 mg/L,

0.166 mg/L, 0.055 mg/L, 0.062 mg/L) değerlerinden yüksek olduğu görülmüştür. Son olarak 1. istasyon için İskender (2013)'in tespit ettiği nitrit ve sülfat değerlerinin (0.031 mg/L, 113 mg/L) bu çalışmadaki 6. istasyon için tüm mevsimlerde elde edilen nitrit (0.025 mg/L, 0.018 mg/L, 0.017 mg/L, 0.014 mg/L) ve sülfat (5 mg/L, 13 mg/L, 13 mg/L, 11 mg/L) değerlerinden yüksek olduğu görülmüştür. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, tespit edilen verilerin benzerlik ve farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum akarsuyun fiziko-kimyasal özelliklerinin stabil kalmadığını zaman içinde değişiklikler olabileceğini göstermektedir.

Tarımsal faaliyetler, deniz sularının etkileri, çeşitli endüstriyel ve evsel atıklar tatlı suda sülfat konsantrasyonunun artmasına neden olur (Çiçek ve Ertan, 2012). Sülfat seviyesi doğal sularda 5-100 mg/L arasında değişmekte, ancak su ürünleri için gerekli sülfat seviyesi maksimum 90 mg/L olarak belirlenmiştir (Küçük, 2007). Doğal sularda sülfat bulunması biyolojik üretkenliğin artmasını sağlar (Taş ve ark., 2010).

Azotlu gübreler, tabiattaki bazı mineraller ve organik maddeler sulardaki nitrit ve nitratın asıl kaynağını oluşturmaktadır (Egemen ve Sunlu, 1996; Alaş ve Çil, 2002). Azot döngüsünün bir ara ürünü olan nitrit; normal şartlarda ortamda birikmez. Aerobik ortamlarda nitrit sularda kısa bir süre için bulunur çünkü oksijen bulunan ortamda yükseltgenerek nitrate dönüşür (Giritlioğlu, 1975; Alaş ve Çil, 2002). Curi Deresi'nde belirlenen altı istasyondan alınan su örneklerinde tespit edilen düşük nitrit değerlerine rağmen belirlenen yüksek nitrat konsantrasyonları bunu açıklamaktadır. Plankton gelişimine nitrit gibi nitrat da katkıda bulunmaktadır (Taş, 2011). Doğal sularda nitratın bulunmaması düşünülemez (Yılmaz, 2004). Büyümek için nitrate gereksinim duyan tüm yeşil bitkiler, büyüme mevsiminin sonunda doğru ortamdaki bileşiğin miktarını azaltabilir (Tanyolaç, 2009). Bu çalışma boyunca elde edilen veriler değerlendirildiğinde; en yüksek nitrat değerinin ilkbahar, en düşük nitrat değerinin yaz mevsiminde ölçülmüş olması bu durumu kanıtlar niteliktedir. Araştırmanın yapıldığı istasyonlardan çözünmüş oksijen miktarının en yüksek olduğu 6. istasyonda en düşük nitrit değerlerinden biri tespit edilmiştir. Bu da oksijenlenmeye bağlı olarak nitritin hemen yükseltgendiğini göstermektedir. Bu durum, içme suyu kalitesi açısından oldukça önemlidir. Çünkü içme suyunda nitritin bulunması hiç istenmeyen bir durumdur (Alaş ve Çil, 2002). Sonuç olarak; Curi Deresi suyunda önemli bir nitrit, nitrat kirliliği yoktur ve su kalite kriterleri

bakımından problem sayılabilecek seviyede nitrat bulunmadığı anlaşılmaktadır. Suda fazla miktarda nitrat bulunması o suyun içilmesine bir engel değildir. Ancak bunun nedeni araştırılmalı ve ona göre karar verilmelidir (Yılmaz, 2004). Benzer şekilde; subtropikal bölgede bulunan Türkiye nehir sistemlerinde dere kalitesi ve sağlık riskinin değerlendirilmesi üzerine Turnasuyu Deresi'nde yapılan çalışmada birçok su parametresi belirlenmiş, derenin çok iyi bir su kalitesi özelliğine sahip olduğu ve belirlenen eser elementlerin halk sağlığı için tehlikeli sınırlar içinde olmadığı bildirilmiştir (Ustaoglu ve ark., 2020c).

Doğal sulara bulunan toplam fosfor yoğunluğu; bölgenin jeolojik yapısının kimyasal içeriğine, havzanın morfometresine, sudaki organik metabolizmaya ve suya karışan organik madde olup olmadığına bağlıdır (Tanyolaç, 2009; Yılmaz, 2004). Depolanmış suyun içerisinde bulunan fosfat alglerin üremesini kolaylaştırdığından, içme suyunda kokuya ve tat bozukluğuna neden olabilir. Bu sebepten içme sularında fosfatın fazla bulunması istenmeyen bir durumdur (Giritlioğlu 1975; Yılmaz, 2004). Su içerisindeki fosfat miktarının 0.3 mg/L'den yüksek olması durumda kirlenmeden söz edilebilir. Organik ve evsel atıkların arıtılması sonucunda suya karışan fosfat alg üremesine ve ötrofikasyon olayına neden olabilmektedir (Yılmaz, 2004). Tokatlı (2019) Meriç Havzası'ndan belirlenen 24 istasyondan alınan su örneklerinde; 19 farklı su kalitesi parametresini (sıcaklık, çözülmüş oksijen, pH, iletkenlik, TDS, tuzluluk, nitrat, nitrit, fosfat, sülfat v.b.) incelemiştir. Tespit edilen verilere göre, incelenen nehir ve göllerin kirlilik seviyeleri; Ergene Nehri>Meriç Nehri>Tunca Nehri şeklinde bulunmuştur. Bu çalışmanın sonucunda fosfat ve biyolojik oksijen ihtiyacı neredeyse tüm havza çevresinde yoğun olarak yürütülen tarımsal faaliyetlerden kaynaklandığı düşünülen, sistemin su kalitesi üzerinde en kritik parametreler olarak kaydedilmiştir. Çalışmamızda tespit edilen fosfat değerleri incelendiğinde, genel olarak bölgenin bu parametre açısından kritik seviyelere ulaşmadığını hatta fosfat seviyesinin bir kirlilik tehdidi oluşturmadığını göstermektedir. Ancak yapılan ölçümler sonucunda 4. istasyonda ilkbahar mevsiminde görülen değer (1.22 mg/L) bölgede gerçekleşmiş olan anlık bir etkinin sonucu olabileceği fikrini güçlendirmektedir. Bunun yanı sıra 6. istasyonda yine ilkbahar mevsiminde 0.332 mg/L olarak ölçülmüş olan değer bu istasyon bölgesine çok yakın kurulmuş olan mandıra ve evsel atıklar sebebiyle olabileceği düşünülmektedir. Curi Deresi suyunda fosfat birikimi kritik değerlerde tespit

edilmemiştir. Ancak gelecekte bu değerin artma ihtimali ötrofikasyona neden olabileceğinden, fosfat değerin göz önünde bulundurularak kontrol altında tutulması gerektiği düşünülmektedir.

#### 4.2 Suda Tespit Edilen Element Konsantrasyonları

Su numunelerinde tespit edilen elementlerin konsantrasyonları Çizelge 4.2.1’de verilen YSKY (2012)’ye göre değerlendirilmiş olup, istasyonlara ait sonuçlar, her mevsim için ayrı ayrı Çizelge 4.2.2-4.2.5’te sunulmuştur. Ayrıca su numunelerinde tespit edilen elementler kendi içerisinde esansiyel ve esansiyel olmayan şeklinde gruplandırılarak yıllık ortalama element konsantrasyonları mevsimlere göre Çizelge 4.2.6 ve Çizelge 4.2.7’de, istasyonlara göre ise Çizelge 4.2.8 ve Çizelge 4.2.9’da sunulmuştur.

**Çizelge 4.2.1** Kıtaçi Yerüstü Su Kaynakları için Belirli Kirleticiler ve Çevresel Kalite Standartları Kalite Kriterleri (YSKY, 2012; YO-ÇKS: yıllık ortalama çevresel kalite standardı; MAK-ÇKS: maksimum izin verilebilir çevresel kalite standardı)

| Element (µg/L)        | YO-ÇKS           | MAK-ÇKS         |
|-----------------------|------------------|-----------------|
| <b>Alüminyum (Al)</b> | 2.2              | 27              |
| <b>Arsenik (As)</b>   | 53               | 53              |
| <b>Krom (Cr)</b>      | 1.6              | 142             |
| <b>Kadmiyum (Cd)</b>  | <0.08 (Sınıf I)  | <0.45 (Sınıf I) |
|                       | 0.08 (Sınıf II)  | 0.45 (Sınıf II) |
|                       | 0.09 (Sınıf III) | 0.6 (Sınıf III) |
|                       | 0.15 (Sınıf IV)  | 0.9 (Sınıf IV)  |
|                       | 0.25 (Sınıf V)   | 1.5 (Sınıf V)   |
| <b>Kurşun (Pb)</b>    | 1.2              | 14              |
| <b>Mangan (Mn)</b>    | -                | -               |
| <b>Demir (Fe)</b>     | 36               | 101             |
| <b>Kobalt (Co)</b>    | 0.3              | 2.6             |
| <b>Bakır (Cu)</b>     | 1.6              | 3.1             |
| <b>Çinko (Zn)</b>     | 5.9              | 231             |
| <b>Nikel (Ni)</b>     | 4                | 34              |

Metalloid ve ağır metallerin toksik seviyeleri sucul canlıların yaşamını olumsuz yönde etkilediğinden dolayı (Katip ve ark., 2013) çalışma kapsamında altı istasyondan alınan su örneklerinde; As, Al, Cr, Cd, Cu, Co, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn miktarlarının analizleri yapılmıştır. Bazı elementlerin (kadmiyum ve kobalt) sudaki seviyeleri belirlenememiş; alüminyum, demir, bakır, kurşun, çinko gibi elementlerin değerlerinde ise artış olduğu görülmüştür. Alüminyum, mangan ve demir elementleri doğada en fazla bulunan elementler olmasına rağmen limit değerlerin üzerindeki seviyeleri canlılar üzerinde olumsuz etkiler gösterebilir (Tunç Dede ve Sezer, 2017).

Curi Deresi Havzası'nda; yoğun şekilde fındık tarımının yapılması, hayvancılığın yaygın olması, ırmağa yakın bölgelerde maden ocaklarından arıtma tesislerine kadar pek çok işletmenin yer alması ve evsel atık sularının ırmağa deşarjının kirliliğe sebep olduğu, bunun sonucunda da ağır metal girdisinin olduğu düşünölmektedir. Fakat sonuçlardan göröldüğü üzere, Curi Deresi suyunda aşırı bir kirlilik söz konusu değildir, ancak herhangi bir arıtma olmadan kullanımına da uygun değildir.

Genotoksik açıdan etkileri belirlenmek istenen ağır metallerin konsantrasyonları, suda kabul edilebilir sınır değerlerle (YSKY, 2012) karşılaştırıldığında Curi Deresi üzerinde belirlenen bazı istasyonlarda ve bazı mevsimlerde esansiyel ağır metallere Cu, Fe, Ni, Zn elementlerinin; esansiyel olmayan ağır metallere ise Al ve Pb elementlerinin limit değerlerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.2.2-4.2.5). Bhuyan ve ark., (2019) Bangladeş'in Eski Brahmaputra Nehri'nin su ve sedimentinde ağır metal konsantrasyonunu inceledikleri çalışmada sudaki metal konsantrasyonunu; Al>Mn>Ni>Co>Cu>Pb>Zn>Cr>Cd>Hg mg/L şeklinde belirlemişlerdir. Curi Deresi suyundaki metal konsantrasyonu ise; Fe>Al>Zn>Pb>Ni>Mn>Cu>As>Cr şeklinde belirlenmiştir. Sudaki element konsantrasyonları mevsimsel olarak değerlendirildiğinde genel olarak yaz ve sonbahar mevsimlerinde element konsantrasyonunun daha yüksek olduğu görölmektedir. Benzer şekilde; Asi Nehri suyunda yapılan araştırmada en fazla metal birikiminin yaz mevsiminde olduğunu bildirilmiştir (Çalışkan, 2005). Yapılan literatür taramaları sonucunda Curi Deresi suyunda ağır metal konsantrasyonlarını belirlemeye yönelik daha önce yapılan herhangi bir çalışmaya rastlanamamıştır. Değerlendirilen elementler Curi Deresi'nde ilk kez ölçölmüş ve tespit edilmiştir.

İlkbahar mevsiminde istasyonlardan alınan su örneklerinin element sonuçları (Çizelge 4.2.2), Çizelge 4.2.1'deki YSKY (2012)'ye göre değerlendirildiğinde; Al elementi 5. istasyonun dışında tüm istasyonlarda, Fe elementi ise tüm istasyonlarda maksimum izin verilebilir çevresel kalite standardı (MAK-ÇKS) değerinin üzerinde bulunmuştur. Pb elementi yalnızca 2. istasyonda (16.26 µg/L) limit değerinin üzerindedir. Cu elementi ise birinci (12.31 µg/L) ve dördüncü (5.78 µg/L) istasyonlarda MAK-ÇKS değerinin üzerinde bulunmuştur. Cu elementi; ilkbahar mevsiminde 6. istasyonda suda tespit edilememiştir. İkinci,



üçüncü ve dördüncü istasyonların ilkbahar mevsiminde Mn elementine rastlanmamıştır.

Yaz mevsiminde istasyonlardan alınan su örneklerinin element sonuçları (Çizelge 4.2.3), Çizelge 4.2.1’deki YSKY (2012)’ye göre değerlendirildiğinde; Al konsantrasyonu üçüncü (29.60 µg/L), beşinci (30.04 µg/L) ve altıncı (51.28 µg/L) istasyonlarda, Fe elementi istasyonların tümünde MAK-ÇKS değerinin üzerinde bulunmuştur. Dördüncü istasyonda Mn elementine rastlanmamıştır. Pb elementi tüm istasyonlarda limit değerinin üzerindedir. Cu elementi 3. istasyonda tespit edilemezken; 2., 4. ve 6. istasyonlarda limit değerinin üzerinde bulunmuştur.

Sonbahar mevsiminde istasyonlardan alınan su örneklerinin element sonuçları (Çizelge 4.2.4), Çizelge 4.2.1’deki YSKY (2012)’ye göre değerlendirildiğinde; Al; 1. istasyonda 11.82 µg/L, 2. istasyonda 51.93 µg/L, 3. istasyonda 25.06 µg/L, 4. istasyonda 35.47 µg/L, 5. istasyonda 32.55 µg/L ve 6. istasyonda 52.27 µg/L tespit edilmiştir. Pb elementi 1. istasyon haricindeki tüm istasyonlarda limit değerlerinin üzerinde tespit edilmiştir. Cu elementi 2., 3. ve 6. istasyonlarda sırasıyla 3.29 µg/L, 3.45 µg/L ve 3.70 µg/L olarak belirlenmiştir. İstasyonların tamamının su kalitesinin, Fe elementi bakımından incelendiğinde (Çizelge 4.2.4), 1. istasyonda 190.949 µg/L, 2. istasyonda 216.081 µg/L, 3. istasyonda 231.057 µg/L, 4. istasyonda 231.980 µg/L, 5. istasyonda 230.115 µg/L ve 6. istasyonda 233.107 µg/L şeklinde olduğu görülmektedir. Ayrıca, 2. istasyonda Ni elementinin konsantrasyonu (49.37 µg/L) MAK-ÇKS değerinin üzerinde bulunmuştur.

Kış mevsiminde istasyonlardan alınan su örneklerinin element sonuçları (Çizelge 4.2.5), Çizelge 4.2.1’deki YSKY (2012)’ye göre değerlendirildiğinde; Al elementi, tüm istasyonlarda izin verilebilir çevresel kalite standardı değerinin üzerinde bulunmuştur. Demir elementi istasyonlarda sırasıyla; 232.424 µg/L, 223.523 µg/L, 226.570 µg/L, 226.053 µg/L, 206.054 µg/L, 193.922 µg/L olarak belirlenmiştir. Cu elementi birinci (6.36 µg/L), beşinci (5.34 µg/L) ve altıncı istasyonlarda (7.62 µg/L) MAK-ÇKS değerinin üzerinde iken ikinci istasyonda suda tespit edilememiştir.

Curi Deresi’nde akarsuyun en üst kısmında bulunan 1. istasyon için ilkbahar ve kış mevsimlerinde Al, Fe ve Cu, yaz mevsiminde Pb ve Fe, sonbahar mevsiminde

ise sadece Fe elementleri limit değerlerin üzerinde tespit edilmiştir (Çizelge 4.2.2-4.2.5). Summak (2009) pestisitlerin; As, Cu, Pb, Mn ve Zn gibi elementlerin birikimine ve bunun sonucunda sucul ekosistemde kontaminasyonlara neden olduğunu bildirmiştir. Derenin bu bölgesindeki bazı elementlerdeki bu fazlalığın tarım arazilerinde kullanılan pestisitlerden ve özellikle ilkbahar ve yaz mevsimlerinde yüksek konsantrasyon gösteren Cu ve Pb elementlerinin de artışının zaman zaman yaşanan ani yağışlardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

İkinci istasyon suyunda tüm mevsimlerde; Al, Fe ve Pb; Pb, Fe ve Cu; Al, Pb, Cu, Fe ve Ni; Al ve Fe elementleri yüksek konsantrasyonda tespit edilmiştir (Çizelge 4.2.2-4.2.5). İkinci istasyon akarsu üzerinde belirlenen kaynağın hemen altındaki ilk istasyondur ve akarsuyun yine üst kısımlarına yakın olan bölgeden seçilmiş, Akbaba Mahallesi Mevki olarak belirlenmiştir. Özellikle Nisan Mayıs aylarında yer yer yağışların istasyonun coğrafik konumu nedeniyle bol olduğu mevsimlerde bölgenin yağış ortalamasının artmasıyla bazı elementler yüksek konsantrasyon göstermiştir. İstasyonda ilkbahar ve yaz mevsimlerinde yüksek değerlerde tespit edilen Pb ve Cu elementlerinin yine tarımsal amaçlı kullanılan pestisitlerden kaynaklandığı; bu elementlerin çeşitli nedenlerle topraktan yağmur sularıyla (Sönmez ve ark., 2012) süzülerek akarsuya deşarjı sonucunda konsantrasyonlarının yükseldiği düşünülmektedir.

Üçüncü istasyon suyunda tüm mevsimlerde; Al ve Fe; Al, Pb ve Fe; Pb, Fe ve Cu; Al ve Fe elementleridir (Çizelge 4.2.2-4.2.5). Çalışmada yaz ve sonbahar mevsimlerinde tespit edilen Pb değeri sonuçları (sırayla 15.51 ve 16.37 mg/L), Curi Deresi suyunun Pb içeren atıklarla kontamine olduğunu göstermektedir. Toksikolojik çalışmaların çoğu bu elemente maruz kalmış sulardaki canlıların dokularında Pb elementinin biriktiğini besin zinciri yoluyla en üst basamaklara kadar taşındığını göstermiştir (Weber ve ark., 1991; Landis ve Yu 1999; Arslan ve ark., 2011a).

Dördüncü istasyon suyunda tüm mevsimlerde; Al, Fe ve Cu; Pb, Fe ve Cu; Al, Pb ve Fe; Al ve Fe elementleri yüksek konsantrasyonda tespit edilmiştir (Çizelge 4.2.2-4.2.5). Çalışmada yıllık ortalama Fe ve Cu konsantrasyonlarının tüm mevsimlerde limit değerlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Bakır elementinin doğada bulunmasına kaynak olan ve suda yayılmasını artıran önemli faaliyetlerin başında; pestisitler, araba ve kamyon fren balataları, soğutma suyu deşarjı, işleme

endüstrisi ve yoğun endüstri faaliyetleri yer almaktadır (Sönmez ve ark., 2012). Dördüncü istasyon boyunca yoğun şekilde işlemeli tarım yapılmakta, ilaç ve gübre yoğun şekilde kullanılmaktadır. Diğer yandan istasyonun karayoluna yakınlığı da önemli etkenler arasında yer almaktadır. Bu sebeple gerek istasyon konumu gerekse yapılan yoğun tarım faaliyetleri, Cu değerlerinin suda yüksek çıkmasını rahatlıkla açıklamaktadır. Ayrıca Cu birikiminin, hem pestisitlerden hem de evsel sıvı atıklardan kaynaklandığı bildirilmiştir (Aonghusa ve Gray, 2002; Summak, 2009). Zn konsantrasyonlarının da yine aynı şekilde tüm mevsimlerde limit değerleri aştığı ancak ilkbahar ve yaz mevsimlerindeki seviyelerinin; sonbahar ve kış mevsimlerindeki seviyelerine göre çok yüksek olduğu bulunmuştur. Sonbahar ve kış mevsimlerinde metal konsantrasyonlarının azalmasının nedeni yağışın fazla olmasından kaynaklı buharlaşmanın az olması; ilkbahar ve yaz mevsimlerinde ise tarımsal faaliyetlerin artması ve buharlaşmanın fazla olmasıdır (Kır ve ark., 2007).

Akarsuyun beşinci istasyonu çevresinde hem tarım arazilerinin bulunduğu, hem de fabrikaların olduğu bölgede bulunması nedeniyle seçilmiştir. Beşinci istasyon suyunda tüm mevsimlerde; Fe; Al ve Fe; Al, Pb ve Fe; Al, Fe, Cu konsantrasyonlarının yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.2.2-4.2.5). Yıllık ortalama değerler göz önüne alındığında Curi Deresi 5. istasyonunda Fe, Cu, Zn, Ni, Al ve Pb konsantrasyonları limit değerlerin üzerinde tespit edilmiştir. Bu durum metallerin suda birikiminin hem çeşitli etkiler vasıtasıyla çözünme hem de suyun hızının azaldıkça dipte çökme şeklinde meydana geldiğini göstermektedir (Taylan ve Böke Özkoç, 2007).

Altıncı istasyon suyunda tüm mevsimlerde Al ve Fe; Al, Pb, Fe ve Cu; Al, Pb, Fe ve Cu; Al, Fe ve Cu konsantrasyonlarının yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.2.2-4.2.5). Altıncı istasyon ise akarsu ağzı bölgesi olup, bulunduğu yerde bir kil fabrikası ve atık su sırtma tesisi ve birçok fabrika bulunmaktadır. Yıllık ortalama değerler incelendiğinde Fe, Cu, Zn, Al ve Pb konsantrasyonları limit değerlerin üzerinde tespit edilmiştir. Yeryüzünde doğal olarak bulunan Pb elementinin, limit değerlerin üzerindeki birikimi canlılarda önemli toksik etkiye sebep olmaktadır. Pb elementi günümüzde; benzinde, kurşun bazlı boyalarda ve su borusu yapımında çokça kullanılmaktadır. Kurşunlu yakıtların yanması sonucunda Pb elementi öncelikle atmosfere, atmosferden yağmur damlaları ile en yakın sucul ekosisteme karıştığı bilinmektedir (Denny ve ark., 1987; Arslan ve ark., 2012). Curi

Deresi genel olarak karayoluna oldukça yakın mesafededir ve hatta dere boyunca ulaşımın sağlanması için açılan yoldan çok miktarda taşıt trafiği gerçekleşmektedir. Bu durumun istasyondaki Pb seviyesinin artmasına neden olabileceği düşünülmektedir. Metaller doğada kaybolma özellikleri olmadığından dolayı, ancak farklı bir metal bileşimine dönüşürler (Rainbow, 1995). Kaynak bölgesinden akarsu ağzı bölgesine kadar belirli düzeylerde birikim gösteren elementlerin 6. istasyonda da limit değerlerin üzerinde bulunması, akarsuyun ağır metal yükünün akarsu boyunca taşındığını göstermektedir. Tüm istasyonlarda da su kalite sınıflandırmasına göre kirli grubuna dahil ortalamalar çıkması, istasyonlar bölgesinde yerleşim yerlerinin olması, sanayi faaliyetlerinin yürütülmesi ve yoğun tarım uygulamalarına bağlanmaktadır (Sönmez ve ark., 2012).

**Çizelge 4.2.2** İlkbahar mevsiminde istasyonlardan alınan su numunelerinin element konsantrasyonları (\*: YSKY (2012)'ye göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda; YO-ÇKS: yıllık ortalama çevresel kalite standardı; MAK-ÇKS: maksimum izin verilebilir çevresel kalite standardı)

| Element (µg/L) | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | 4. İstasyon | 5. İstasyon | 6. İstasyon | YO-ÇKS (YSKY, 2012) | MAK-ÇKS (YSKY, 2012) |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|----------------------|
| Al             | 43.53*      | 43.55*      | 27.28*      | 30.97*      | 21.05       | 41.07*      | 2.2                 | 27                   |
| As             | 2.050       | 1.013       | 2.355       | 2.268       | 1.695       | 1.992       | 53                  | 53                   |
| Cr             | 0.655       | 1.109       | 0.441       | 1.453       | 1.379       | 1.061       | 1.6                 | 142                  |
|                |             |             |             |             |             |             | <0.08 (Sınıf I)     | <0.45 (Sınıf I)      |
|                |             |             |             |             |             |             | 0.08 (Sınıf II)     | 0.45 (Sınıf II)      |
| Cd             | E.M.        | E.M.        | E.M.        | E.M.        | E.M.        | E.M.        | 0.09 (Sınıf III)    | 0.6 (Sınıf III)      |
|                |             |             |             |             |             |             | 0.15 (Sınıf IV)     | 0.9 (Sınıf IV)       |
|                |             |             |             |             |             |             | 0.25 (Sınıf V)      | 1.5 (Sınıf V)        |
| Pb             | 12.89       | 16.26*      | 11.11       | 10.75       | 12.11       | 13.10       | 1.2                 | 14                   |
| Mn             | 6.08        | E.M.        | E.M.        | E.M.        | 5.99        | 4.91        | -                   | -                    |
| Fe             | 202.527*    | 199.388*    | 221.640*    | 211.797*    | 192.685*    | 205.426*    | 36                  | 101                  |
| Co             | E.M.        | E.M.        | E.M.        | E.M.        | E.M.        | E.M.        | 0.3                 | 2.6                  |
| Cu             | 12.31*      | 1.75        | 1.27        | 5.78*       | 1.47        | E.M.        | 1.6                 | 3.1                  |
| Zn             | 15.81       | 21.43       | 11.11       | 5.92        | 39.55       | 3.51        | 5.9                 | 231                  |
| Ni             | 4.08        | 2.86        | 4.73        | 2.05        | 9.68        | 0.01        | 4                   | 34                   |

**Çizelge 4.2.3** Yaz mevsiminde istasyonlardan alınan su numunelerinin element konsantrasyonları (\*: YSKY (2012)'ye göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda; YO-ÇKS: yıllık ortalama çevresel kalite standardı; MAK-ÇKS: maksimum izin verilebilir çevresel kalite standardı)

| Element (µg/L) | 1. İstasyon | 2. İstasyon | 3. İstasyon | 4. İstasyon | 5. İstasyon | 6. İstasyon | YO-ÇKS (YSKY, 2012) | MAK-ÇKS (YSKY, 2012) |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|----------------------|
| Al             | 17.28       | 18.19       | 29.60*      | 10.79       | 30.04*      | 51.28*      | 2.2                 | 27                   |
| As             | 1.508       | 2.666       | 3.299       | 6.838       | 4.681       | 2.981       | 53                  | 53                   |
| Cr             | 0.930       | 1.586       | 1.450       | 0.886       | 1.206       | 1.957       | 1.6                 | 142                  |
|                |             |             |             |             |             |             | <0.08 (Sınıf I)     | <0.45 (Sınıf I)      |
|                |             |             |             |             |             |             | 0.08 (Sınıf II)     | 0.45 (Sınıf II)      |
| Cd             | E.M.        | E.M.        | E.M.        | E.M.        | E.M.        | E.M.        | 0.09 (Sınıf III)    | 0.6 (Sınıf III)      |
|                |             |             |             |             |             |             | 0.15 (Sınıf IV)     | 0.9 (Sınıf IV)       |
|                |             |             |             |             |             |             | 0.25 (Sınıf V)      | 1.5 (Sınıf V)        |
| Pb             | 14.87*      | 14.57*      | 15.51*      | 16.15*      | 12.39       | 15.96*      | 1.2                 | 14                   |
| Mn             | 8.54        | 6.12        | 0.06        | E.M.        | 5.19        | 5.25        | -                   | -                    |
| Fe             | 227.050*    | 210.929*    | 207.735*    | 222.360*    | 220.993*    | 221.750*    | 36                  | 101                  |
| Co             | E.M.        | E.M.        | E.M.        | E.M.        | E.M.        | E.M.        | 0.3                 | 2.6                  |
| Cu             | 1.28        | 6.14*       | E.M.        | 8.40*       | 2.11        | 7.08*       | 1.6                 | 3.1                  |
| Zn             | 8.94        | 10.56       | 86.77       | 11.39       | 36.99       | 17.37       | 5.9                 | 231                  |
| Ni             | 2.51        | 1.21        | 2.48        | 14.40       | 3.13        | 0.29        | 4                   | 34                   |

**Çizelge 4.2.4** Sonbahar mevsiminde istasyonlardan alınan su numunelerinin element konsantrasyonları (\*: YSKY (2012)'ye göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda; YO-ÇKS: yıllık ortalama çevresel kalite standardı; MAK-ÇKS: maksimum izin verilebilir çevresel kalite standardı)

| Element (µg/L) | 1. İstasyon     | 2. İstasyon     | 3. İstasyon     | 4. İstasyon     | 5. İstasyon     | 6. İstasyon     | YO-ÇKS (YSKY, 2012)   | MAK-ÇKS (YSKY, 2012)   |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---|--|
| Al             | 11.82           | <b>51.93*</b>   | 25.06           | <b>35.47*</b>   | <b>32.55*</b>   | <b>52.27*</b>   | 2.2   | 27   |
| As             | 0.805           | 1.737           | 1.254           | 1.772           | 1.635           | 2.689           | 53  | 53   |
| Cr             | 1.791           | 1.397           | 2.159           | 0.856           | 0.932           | 1.726           | 1.6   | 142  |
| Cd             | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | <0.08 (Sınıf I)<br>0.08 (Sınıf II)<br>0.09 (Sınıf III)<br>0.15 (Sınıf IV)<br>0.25 (Sınıf V) | <0.45 (Sınıf I)<br>0.45 (Sınıf II)<br>0.6 (Sınıf III)<br>0.9 (Sınıf IV)<br>1.5 (Sınıf V) |
| Pb             | 4.13            | <b>15.78*</b>   | <b>16.37*</b>   | <b>16.70*</b>   | <b>16.46*</b>   | <b>15.57*</b>   | 1.2   | 14   |
| Mn             | 6.56            | 5.92            | 3.92            | 5.37            | 5.22            | 4.77            | -   | -  |
| Fe             | <b>190.949*</b> | <b>216.081*</b> | <b>231.057*</b> | <b>231.980*</b> | <b>230.115*</b> | <b>233.107*</b> | 36  | 101  |
| Co             | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | 0.3   | 2.6  |
| Cu             | E.M.            | <b>3.29*</b>    | <b>3.45*</b>    | 2.92            | 2.81            | <b>3.70*</b>    | 1.6   | 3.1  |
| Zn             | 7.18            | 5.48            | 8.80            | 5.76            | 8.21            | 4.77            | 5.9   | 231  |
| Ni             | 2.60            | <b>49.37*</b>   | 1.36            | 2.28            | 1.45            | 0.93            | 4   | 34   |

**Çizelge 4.2.5** Kış mevsiminde istasyonlardan alınan su numunelerinin element konsantrasyonları (\*: YSKY (2012)'ye göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda; YO-ÇKS: yıllık ortalama çevresel kalite standardı; MAK-ÇKS: maksimum izin verilebilir çevresel kalite standardı)

| Element (µg/L) | 1. İstasyon     | 2. İstasyon     | 3. İstasyon     | 4. İstasyon     | 5. İstasyon     | 6. İstasyon     | YO-ÇKS (YSKY, 2012)   | MAK-ÇKS (YSKY, 2012)   |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---|--|
| Al             | <b>66.59*</b>   | <b>48.20*</b>   | <b>52.63*</b>   | <b>59.25*</b>   | <b>56.65*</b>   | <b>59.19*</b>   | 2.2   | 27   |
| As             | 1.738           | 1.539           | 0.873           | 2.054           | 2.246           | 2.005           | 53  | 53   |
| Cr             | 1.000           | 1.115           | 1.526           | 1.102           | 0.541           | 1.481           | 1.6   | 142  |
| Cd             | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | <0.08 (Sınıf I)<br>0.08 (Sınıf II)<br>0.09 (Sınıf III)<br>0.15 (Sınıf IV)<br>0.25 (Sınıf V) | <0.45 (Sınıf I)<br>0.45 (Sınıf II)<br>0.6 (Sınıf III)<br>0.9 (Sınıf IV)<br>1.5 (Sınıf V) |
| Pb             | 10.90           | 9.48            | 9.20            | 9.49            | 5.43            | 4.09            | 1.2   | 14   |
| Mn             | 1.33            | 4.28            | 3.54            | E.M.            | 5.37            | 4.70            | -   | -  |
| Fe             | <b>232.424*</b> | <b>223.523*</b> | <b>226.570*</b> | <b>226.053*</b> | <b>206.054*</b> | <b>193.922*</b> | 36  | 101  |
| Co             | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | 0.3   | 2.6  |
| Cu             | <b>6.36*</b>    | E.M.            | 1.85            | 2.19            | <b>5.34*</b>    | <b>7.62*</b>    | 1.6   | 3.1  |
| Zn             | 6.83            | 3.90            | 5.09            | 4.40            | 16.94           | 8.39            | 5.9   | 231  |
| Ni             | 3.30            | 1.52            | 3.46            | 0.46            | 2.62            | 4.40            | 4   | 34   |

Su numunelerinde tespit edilen esansiyel elementlerin (Co, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn) yıllık ortalama element konsantrasyonları mevsimlere göre Çizelge 4.2.6'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Co elementine yıl boyunca rastlanmamıştır. Fe elementinin mevsimlere göre konsantrasyonları sonbahar mevsiminde 222.21 µg/L, yaz mevsiminde 218.47 µg/L, kış mevsiminde 218.09 µg/L, ilkbahar mevsiminde 205.58 µg/L tespit edilmiştir. Tespit edilen tüm değerler limit değerinin üzerindedir. Cu elementi tüm mevsimlerde sırasıyla; 3.76 µg/L, 4.17 µg/L, 2.695 µg/L ve 3.89 µg/L olarak belirlenmiş ve dört mevsimde de limit değerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Zn elementi ise ilkbahar (16.22 µg/L), yaz (28.70 µg/L), sonbahar (6.70 µg/L) ve kış (7.59 µg/L) mevsimlerinde belirtilen yıllık ortalama çevresel kalite standardı (YO-ÇKS) değerinin üzerindedir. Su örneklerinde tespit edilen esansiyel elementlerin mevsimlere göre yıllık ortalama konsantrasyonları arasındaki fark tek tek değerlendirilmiş ve istatistiksel açıdan anlamsız bulunmuştur ( $P>0.05$ ).

Su numunelerinde tespit edilen esansiyel olmayan (Al, As, Cd, Cr ve Pb) elementlerin yıllık ortalama element konsantrasyonları mevsimlere göre Çizelge 4.2.7'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Al elementi tüm mevsimlerde sırasıyla; 34.58 µg/L, 26.20 µg/L, 34.85 µg/L, 57.08 µg/L olarak tespit edilmiştir. Al elementinin en yüksek değere sahip olduğu mevsim kış mevsimidir. Al tüm mevsimlerde YO-ÇKS değerinin üzerindedir. As ve Cr elementleri tüm mevsimlerde YO-ÇKS değerinin altındadır. Cd elementine ise yıl boyunca rastlanmamıştır. Pb elementi 8.10 µg/L olarak en düşük kış mevsiminde belirlenmiştir. Su numunelerinde tespit edilen esansiyel olmayan elementlerin mevsimlere göre yıllık ortalama konsantrasyonları arasındaki fark tek tek değerlendirilmiş; Cr elementi dışında tüm elementlerin konsantrasyonları arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur ( $P<0.05$ ).

Su numunelerinde tespit edilen esansiyel elementlerin (Co, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn) istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları Çizelge 4.2.8'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Fe elementi tüm mevsimlerde YO-ÇKS değerinin üzerinde bulunmuştur. Sudaki Fe konsantrasyonları istasyonlara göre sırasıyla; 213.24 µg/L, 212.48 µg/L, 221.75 µg/L, 223.05 µg/L, 212.46 ve 213.55 µg/L'dir. Cu elementi yıl boyunca tüm istasyonlarda YO-ÇKS değerinin üzerinde olup en yüksek 1. istasyonda (4.99 µg/L) ölçülmüştür. Zn elementi tüm istasyonlarda yönetmelikte belirtilen YO-ÇKS değerinin üzerinde bulunmuştur. Co elementine ise

yıl boyunca hiçbir istasyonda rastlanmamıştır. Su numunelerinde tespit edilen esansiyel metallerin istasyonlara göre yıllık ortalama konsantrasyonları arasındaki fark tek tek değerlendirilmiş ve istatistiksel açıdan anlamsız bulunmuştur ( $P>0.05$ ).

Su numunelerinde tespit edilen esansiyel olmayan elementlerin (Al, As, Cd, Cr ve Pb) istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları Çizelge 4.2.9'da verilmiştir. Al elementinin en yüksek değeri 6. istasyonda ( $50.95 \mu\text{g/L}$ ) belirlenmiştir. Al elementi tüm istasyonlarda YO-ÇKS değerinin üzerinde tespit edilmiştir. As elementi; 1. istasyonda  $1.525 \mu\text{g/L}$ , 2. istasyonda  $1.739 \mu\text{g/L}$ , 3. istasyonda  $1.945 \mu\text{g/L}$ , 4. istasyonda  $3.23 \mu\text{g/L}$ , 5. istasyonda  $2.564$  ve 6. istasyonda  $2.417 \mu\text{g/L}$  olarak bulunmuştur. Cr elementi tüm istasyonlarda yıl boyunca YO-ÇKS değerinin altındadır. Cd elementi ise yıl boyunca hiçbir istasyonda tespit edilmemiştir. Su numunelerinde tespit edilen esansiyel olmayan metallerin istasyonlara göre yıllık ortalama konsantrasyonları arasındaki fark tek tek değerlendirilmiş ve istatistiksel açıdan anlamsız bulunmuştur ( $P>0.05$ ).



**Çizelge 4.2.6** Su numunelerinde tespit edilen bazı esansiyel elementlerin mevsimlere göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (\*: YSKY (2012)'ye göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda; YO-ÇKS: yıllık ortalama çevresel kalite standardı).

| Element (µg/L) | İlkbahar (Ort±SH Min-Maks)                 | Yaz (Ort±SH Min-Maks)                     | Sonbahar (Ort±SH Min-Maks)                  | Kış (Ort±SH Min-Maks)                      | Önem Düzeyi (P) | YO-ÇKS (YSKY, 2012) |
|----------------|--|---|---|--|-----------------|---------------------|
| Mn             | 2.83 ± 1.280<br>E.M. - 6.08                | 4.19 ± 1.410<br>E.M. - 8.54               | 5.29 ± 0.373<br>3.92 - 6.56                 | 3.203 ± 0.856<br>E.M. - 5.37               | P>0.05          | -                   |
| Fe             | <b>205.58*</b> ± 4.130<br>192.69 - 221.64  | <b>218.47*</b> ± 3.040<br>207.74 - 227.05 | <b>222.21*</b> ± 6.760<br>190.95 - 233.11   | <b>218.09*</b> ± 6.050<br>193.92 - 232.42  | P>0.05          | 36                  |
| Co             | E.M.                                       | E.M.                                      | E.M.  | E.M.                                       | -               | 0.3                 |
| Cu             | <b>3.76*</b> ± <b>1.890</b><br>E.M.- 12.31 | <b>4.17*</b> ± <b>1.420</b><br>E.M.- 8.40 | <b>2.695*</b> ± <b>0.556</b><br>E.M.- 3.700 | <b>3.89*</b> ± <b>1.220</b><br>E.M. - 7.62 | P>0.05          | 1.6                 |
| Zn             | <b>16.22*</b> ± 5.370<br>3.51 - 39.55      | <b>28.70*</b> ± 12.400<br>8.90 - 86.80    | <b>6.70*</b> ± 0.659<br>4.77 - 8.80         | <b>7.59*</b> ± 1.990<br>3.90 - 16.94       | P>0.05          | 5.9                 |
| Ni             | 3.90 ± 1.340<br>0.01 - 9.68                | 4.00 ± 2.120<br>0.29 - 14.40              | <b>9.67*</b> ± 7.950<br>0.93 - 49.37        | 2.63 ± 0.583<br>0.46 - 4.40                | P>0.05          | 4                   |

**Çizelge 4.2.7** Su numunelerinde tespit edilen bazı esansiyel olmayan elementlerin mevsimlere göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (\*: YSKY (2012)'ye göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda; YO-ÇKS: yıllık ortalama çevresel kalite standardı)

| Element (µg/L) | İlkbahar (Ort±SH Min-Maks)             | Yaz (Ort±SH Min-Maks)                  | Sonbahar (Ort±SH Min-Maks)             | Kış (Ort±SH Min-Maks)                  | Önem Düzeyi (P) | YO-ÇKS (YSKY, 2012)   |
|----------------|--|--|--|--|-----------------|---|
| Al             | <b>34.58*</b> ± 3.880<br>21.05 - 43.55 | <b>26.20*</b> ± 5.880<br>10.79 - 51.28 | <b>34.85*</b> ± 6.400<br>11.82 - 52.27 | <b>57.08*</b> ± 2.570<br>48.20 - 66.59 | P<0.05          | 2.2   |
| As             | 1.896 ± 0.200<br>1.013 - 2.355         | 3.662 ± 0.761<br>1.508 - 6.838         | 1.649 ± 0.256<br>0.805 - 2.689         | 1.742 ± 0.201<br>0.873 - 2.246         | P<0.05          | 53  |
| Cr             | 1.016 ± 0.163<br>0.441 - 1.453         | 1.336 ± 0.168<br>0.886 - 1.957         | 1.477 ± 0.209<br>0.856 - 2.159         | 1.127 ± 0.147<br>0.541 - 1.526         | P>0.05          | 1.6   |
| Cd             | E.M.                                   | E.M.                                   | E.M.                                   | E.M.                                   | -               | <0.08 (Sınıf I)<br>0.08 (Sınıf II)<br>0.09 (Sınıf III)<br>0.15 (Sınıf IV)<br>0.25 (Sınıf V) |
| Pb             | <b>12.703*</b> ± 0.807                 | <b>14.908*</b> ± 0.562                 | <b>14.17*</b> ± 2.020                  | <b>8.10*</b> ± 1.100                   | P<0.05          | 1.2   |

**Çizelge 4.2.8** Su numunelerinde tespit edilen bazı esansiyel elementlerin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (\*: YSKY (2012)'ye göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda; YO-ÇKS: yıllık ortalama çevresel kalite standardı)

| Element (µg/L) | 1.İstasyon (Ort±SH Min-Maks)              | 2.İstasyon (Ort±SH Min-Maks)              | 3.İstasyon (Ort±SH Min-Maks)              | 4.İstasyon (Ort±SH Min-Maks)              | 5.İstasyon (Ort±SH Min-Maks)              | 6.İstasyon (Ort±SH Min-Maks)              | Önem Düzeyi (P) | YO-ÇKS (YSKY, 2012) |
|----------------|---|---|---|---|---|---|-----------------|---------------------|
| Mn             | 5.63 ± 1.530<br>1.33 - 8.54               | 4.08 ± 1.420<br>E.M. - 6.12               | 1.88 ± 1.070<br>E.M. - 3.92               | 1.34 ± 1.340<br>E.M. - 5.37               | 5.44 ± 0.187<br>5.19 - 5.99               | 4.91 ± 0.122<br>4.70 - 5.25               | P>0.05          | -                   |
| Fe             | <b>213.24*</b> ± 9.880<br>190.95 - 232.42 | <b>212.48*</b> ± 5.070<br>199.39 - 223.52 | <b>221.75*</b> ± 5.050<br>207.74 - 231.06 | <b>223.05*</b> ± 4.240<br>211.80 - 231.98 | <b>212.46*</b> ± 8.250<br>192.69 - 230.11 | <b>213.55*</b> ± 8.660<br>193.92 - 233.11 | P>0.05          | 36                  |
| Co             | E.M.                                      | E.M.                                      | E.M.                                      | E.M.                                      | E.M.                                      | E.M.                                      | -               | 0.3                 |
| Cu             | <b>4.99*</b> ± 2.800<br>E.M. - 12.31      | <b>2.79*</b> ± 1.300<br>E.M. - 6.14       | <b>1.64*</b> ± 0.716<br>E.M. - 3.45       | <b>4.82*</b> ± 1.420<br>2.19 - 8.40       | <b>2.93*</b> ± 0.848<br>1.47 - 5.34       | <b>4.60*</b> ± 1.760<br>E.M. - 7.62       | P>0.05          | 1.6                 |
| Zn             | <b>9.69*</b> ± 2.090<br>6.83 - 15.81      | <b>10.34*</b> ± 3.960<br>3.90 - 21.43     | <b>27.9*</b> ± 19.60<br>5.1 - 86.8        | <b>6.87*</b> ± 1.550<br>4.40 - 11.39      | <b>25.42*</b> ± 7.650<br>8.21 - 39.55     | <b>8.51*</b> ± 3.130<br>3.51 - 17.37      | P>0.05          | 5.9                 |
| Ni             | 3.122 ± 0.365<br>2.510 - 4.080            | <b>13.7*</b> ± 11.9<br>1.2 - 49.4         | 3.007 ± 0.717<br>1.360 - 4.730            | <b>4.80*</b> ± 3.23<br>0.46 - 14.40       | <b>4.22*</b> ± 1.85<br>1.45 - 9.68        | 1.41 ± 1.02<br>0.01 - 4.40                | P>0.05          | 4                   |

**Çizelge 4.2.9** Su numunelerinde tespit edilen bazı esansiyel olmayan elementlerin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (\*: YSKY (2012)'ye göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda; YO-ÇKS: yıllık ortalama çevresel kalite standardı)

| Element (µg/L) | 1.İstasyon (Ort±SH Min-Maks)          | 2.İstasyon (Ort±SH Min-Maks)           | 3.İstasyon (Ort±SH Min-Maks)           | 4.İstasyon (Ort±SH Min-Maks)           | 5.İstasyon (Ort±SH Min-Maks)           | 6.İstasyon (Ort±SH Min-Maks)           | Önem Düzeyi (P) | YO-ÇKS (YSKY, 2012)   |
|----------------|---------------------------------------|--|--|--|--|--|-----------------|---|
| Al             | <b>34.8*</b> ± 12.700<br>11.8 - 66.6  | <b>40.47*</b> ± 7.620<br>18.19 - 51.93 | <b>33.64*</b> ± 6.400<br>25.06 - 52.63 | <b>34.12*</b> ± 9.950<br>10.79 - 59.25 | <b>35.07*</b> ± 7.600<br>21.05 - 56.65 | <b>50.95*</b> ± 3.730<br>41.07 - 59.19 | P>0.05          | 2.2   |
| As             | 1.525 ± 0.265<br>0.805 - 2.050        | 1.739 ± 0.345<br>1.013 - 2.666         | 1.945 ± 0.550<br>0.873 - 3.299         | 3.230 ± 1.210<br>1.770 - 6.840         | 2.564 ± 0.719<br>1.635 - 4.681         | 2.417 ± 0.249<br>1.992 - 2.981         | P>0.05          | 53  |
| Cr             | 1.094 ± 0.244<br>0.655 - 1.791        | 1.302 ± 0.116<br>1.109 - 1.586         | 1.394 ± 0.355<br>0.441 - 2.159         | 1.074 ± 0.138<br>0.856 - 1.453         | 1.015 ± 0.183<br>0.541 - 1.379         | 1.556 ± 0.192<br>1.061 - 1.957         | P>0.05          | 1.6   |
| Cd             | E.M.                                  | E.M.                                   | E.M.                                   | E.M.                                   | E.M.                                   | E.M.                                   | -               | <0.08 (Sınıf I)<br>0.08 (Sınıf II)<br>0.09 (Sınıf III)<br>0.15 (Sınıf IV)<br>0.25 (Sınıf V) |
| Pb             | <b>10.70*</b> ± 2.330<br>4.13 - 14.87 | <b>14.02*</b> ± 1.560<br>9.48 - 16.26  | <b>13.05*</b> ± 1.720<br>9.20 - 16.37  | <b>13.27*</b> ± 1.840<br>9.49 - 16.70  | <b>11.60*</b> ± 2.280<br>5.43 - 16.46  | <b>12.18*</b> ± 2.770<br>4.09 - 15.96  | P>0.05          | 1.2   |

### 4.3 Sedimentte Tespit Edilen Element Konsantrasyonları

Tüm mevsimlerde istasyonlardan alınan sediment numunelerinde tespit edilen elementlerin konsantrasyonları Çizelge 4.3.1-4.3.4'te verilmiştir. Araştırılan elementler kendi içerisinde esansiyel ve esansiyel olmayan şeklinde gruplandırılarak yıllık ortalama element konsantrasyonları mevsimlere göre Çizelge 4.3.5-4.3.6'da, istasyonlara göre ise Çizelge 4.3.7 ve Çizelge 4.3.8'de sunulmuştur. Tespit edilen element konsantrasyonları, yer kabuğu içeriğinde doğal olarak bulunan elementlerin ortalamaları (Turekian ve Wedepohl, 1961) ile karşılaştırılmıştır.

Curi Deresi'nden alınan sediment örneklerinin element analizleri incelendiğinde (Çizelge 4.3.1-4.3.4); altıncı istasyonun sonbahar mevsimi dışında, tüm istasyonlar için tüm mevsimlerde Mn ve Cu elementlerinin konsantrasyonlarının limit değerlerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak 3. istasyonun sonbahar mevsiminde sedimentte Mn ve Cu elementlerinin yanı sıra Zn elementinin de konsantrasyonu yüksek bulunmuştur. Pandey ve ark., (2019) yüzey sularındaki metallerin kirlilik derecesinin ve dağılım özelliklerinin Nakdong, Yeongsan, Geum ve Han Nehirlerine ait sediment numunelerinin değerlendirildiği ilk rapor niteliğindeki araştırmasında; sudaki Ni ve sedimentlerdeki Cu ve Zn konsantrasyonunu belirtilen sınır değerlerden daha yüksek bulmuşlardır. Bu da Kore nehirlerinin bu nehir ekosistemleri üzerinde olumsuz etkilere neden olabilecek metaller tarafından kirlendiğini göstermektedir. PCA analizi Kore nehirlerinin orta bölgelerinin, yukarı akış yönündeki havza bölgelerinden nispeten daha kirli olduğunu göstermiştir.

İlkbahar mevsiminde istasyonlardan alınan sediment numunelerinde tespit edilen elementlerin konsantrasyonları yer kabuğu element içeriklerine göre değerlendirildiğinde (Çizelge 4.3.1), Mn ve Cu elementleri tüm istasyonlarda belirtilen değerlerin üzerinde tespit edilmiştir. Al elementi en fazla 1. istasyonda (12057.7 µg/g) iken en az 3. istasyonda (10761.8 µg/g) bulunmuştur. As elementi en fazla 5. istasyonda (4.01 µg/g) iken en az 6. istasyonda (1.40 µg/g) tespit edilmiştir. As elementine 2. ve 3. istasyonlardan alınan sediment numunelerinde rastlanmamıştır. Cd ve Cr elementlerine ilkbahar mevsiminde hiçbir istasyonda rastlanmamıştır. İlkbahar mevsiminde Cu elementi en fazla 1. istasyonda (117.42 µg/g) en az 6. istasyonda (55.74 µg/g) belirlenmiştir. İstasyonlarda tespit edilen Fe konsantrasyonları 1. istasyondan 6. istasyona sırasıyla; 21742.7 µg/g, 26126.7 µg/g, 45214.8 µg/g, 21399.8 µg/g, 20918.3 µg/g ve 23860.3 µg/g'dır.

Yaz mevsiminde istasyonlardan alınan sediment numunelerinde tespit edilen elementlerin konsantrasyonları yer kabuğu element içeriklerine göre değerlendirildiğinde (Çizelge 4.3.2), As elementi en fazla 5. istasyonda (4.60 µg/g) birikim göstermiş, en az 3. istasyonda (0.39 µg/g) belirlenmiştir. Birinci istasyonda 2913.84 µg/g konsantrasyonda tespit edilen Mn elementi limit değerinin üzerinde tespit edilmiştir. Cd ve Cr elementlerine ilkbahar mevsiminde olduğu gibi yaz mevsiminde de hiçbir istasyonda rastlanmamıştır. Cu elementi, 166.48 µg/g değeri ile 1. istasyonda en yüksek değerde tespit edilmiştir. Pb elementi; 4. ve 5. istasyonlarda tespit edilemezken; 2. istasyonda 3.27 µg/g olarak belirlenmiştir.

Sonbahar mevsiminde istasyonlardan alınan sediment numunelerinde tespit edilen elementlerin konsantrasyonları yer kabuğu element içeriklerine göre değerlendirildiğinde (Çizelge 4.3.3), Mn konsantrasyonu 6. istasyon hariç tüm istasyonlarda sırasıyla; 2017.73 µg/g, 1019.55 µg/g, 1212.67 µg/g, 1843.16 µg/g, 1184.94 µg/g değerinde tespit edilmiş ve limit değerinin üzerinde bulunmuştur. Ancak 6. istasyonda Mn konsantrasyonunun yer kabuğu değerini aşmadığı (556.86 µg/g) görülmüştür. Cu elementi en yüksek 1. istasyonda tespit edilmiş (129.43 µg/g) ve yer kabuğu element içerikleri limit değerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Cu elementi 6. istasyonda ise sınır değeri aşmamıştır. Co elementi 6. istasyonda sedimentte tespit edilemezken, 1. istasyonda (4.23173 µg/g) en yüksek değere sahiptir. Zn elementi 4. istasyonda 56.88 µg/g olarak en yüksek değerde bulunmuş, ancak yer kabuğu değerini aşmadığı görülmüştür. Ni konsantrasyonu, 1. istasyonda (11.25 µg/g) en yüksek; 6. istasyonda (2.22 µg/g) en düşük değerde bulunmuş ve bulunan bu değerlerin yer kabuğu değerini aşmadığı tespit edilmiştir.

Kış mevsiminde istasyonlardan alınan sediment numunelerinde tespit edilen elementlerin konsantrasyonları yer kabuğu element içeriklerine göre değerlendirildiğinde (Çizelge 4.3.4), diğer mevsimlerde olduğu gibi; Mn ve Cu değerleri tüm istasyonlarda limit değerlerinin üzerinde bulunmuştur. Cu elementi en fazla 135.79 µg/g değeri ile 1. istasyonda daha sonra sırasıyla; ikinci (70.23 µg/g), altıncı (64.69 µg/g), dördüncü (61.90 µg/g), beşinci (49.81 µg/g) ve üçüncü (46.90 µg/g) istasyonlarda birikim göstermiştir. Cr ve Cd elementlerine kış mevsiminde de hiçbir istasyonda rastlanmamıştır. Zn elementi 61.94 µg/g değeri ile 3. istasyonda, Ni elementi 14.49 µg/g değeri ile 1. istasyonda, Al elementi 12390.6 µg/g değeri ile 1. istasyonda ve As elementi ise 7.50712 µg/g değeri ile 4. istasyonda en fazla birikimi

göstermiştir. Pb elementine 5. istasyonda hiç rastlanmazken diğer istasyonlarda da limit değerinin altında bulunmuştur.

Curi Deresi'nde 1. istasyon suyunda Cu elementine, yaz ve sonbahar mevsimlerinde rastlanmamasına rağmen, Cu elementinin sediment konsantrasyonunun bu istasyonda yüksek olması bölgede mevsimsel birtakım değişikliklerin meydana geldiğini göstermektedir. Sucul ekosistemlerde ağır metal birikiminin en çok olduğu yer olan sediment örnekleri, ağır metal kontaminasyonunun en önemli göstergesidir (Kontaş, 2018). Curi Deresi suyunda analizi yapılan tüm elementler sedimentte de farklı düzeylerde belirlenmiştir. Curi Deresi suyunda limit değerleri aşmamış olan Mn elementine, sedimentte 6. istasyonun sonbahar mevsimi haricindeki tüm istasyonlarda yıl boyunca rastlanmış ve limit değerinin üzerinde ölçülmüştür. Ayrıca suda tespit edilemeyen Co elementi sedimentte tüm mevsim ve istasyonlarda belirli konsantrasyonlarda ölçülmüştür. Suda tespit edilemeyen elementlerin, sedimentte tespit edilebilmesinin nedenleri; sediment partiküllerinin suda bulunan metalleri bünyesine çekmesi, suyun içindeki metalleri bünyesinde barındıran organik ve inorganik moleküllerin ve molekül ağırlığı yüksek metallerin dibe çökmesi şeklinde sıralanabilir (Başyigit, 2011; Kaptan ve Tekin-Özan, 2014). Çalışmamızda farklı bir şekilde suda konsantrasyonları farklı mevsimlerde limit değerlerinin üzerinde olan Al, Fe ve Pb elementlerinin sedimentte limit değerleri aşmadığı görülmüştür. Ighariemu ve ark., (2019) Nijerya'da bulunan Ikoli Deresi'nden aldıkları sediment numunelerindeki metallerin konsantrasyonunu Fe>Zn>Cd>Cr>Pb şeklinde analiz etmişlerdir. Çeşitli ağır metallerin sağlık risk değerlendirmesi hesaplanmış sedimentteki birikim en yüksek Fe metalinde tespit edilirken diğer metaller için (Cd, Cr, Pb ve Zn), limit değerlerinin altında bulunmuştur. Fe elementinin; deniz, göl ve nehirlerden alınan sedimentlerde bol miktarda tespit edilmesinin nedeni yerküre kabuğunda en çok bulunan elementin Fe olması ile açıklanabilir (Usero ve ark., 2003). Çalışmalar arasındaki bu farklılığın örnekleme alanlarının farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Salam ve ark., (2019b), Malezya'da Perak Nehri'nden belirlenen 15 örnekleme istasyonundan alınan sediment numunelerindeki ağır metallerin konsantrasyonunun Fe>Zn>Pb>Cu>Cd sırasına göre değiştiğini tespit etmişlerdir. Çalışılan tüm istasyonlar dikkate alındığında aşağı havzadaki bölgenin yukarı akış bölgesinden daha kirli olduğu bildirilmiştir. Kaynak analizinden, Pb, Zn ve Cu konsantrasyonlarının temel olarak doğal kaynaklardan kaynaklandığı,

antropojenik aktivitelerin ise Fe ve Cd konsantrasyonlarının yüksek olmasına katkıda bulunduğu açıktır. Bizim çalışmamızda da Fe elementi tüm istasyonlar için tüm mevsimlerde yüksek değerlerde bulunmuştur ancak limit değerleri aşmadığı görülmüştür. Li ve ark., (2019), Yangtze Nehri'nde 20 farklı istasyondan alınan sediment numunelerinin ağır metal yükünü Hg>Cd>Pb>Cu>Zn>As şeklinde bulmuşlardır. Bu çalışmada incelenen ağır metallerin araştırma bölgesinde yüksek oranda dağılmış olduğu görülmektedir.

İkinci istasyondan alınan sediment numunelerinin ağır metal konsantrasyonları incelendiğinde (Çizelge 4.3.1-4.3.4); Al, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn elementlerinin tüm mevsimlerde suda limit değerleri aşmış olmasına rağmen, sedimentte konsantrasyonlarının Cu elementi dışında yüksek olmadığı görülmektedir. Bu da bize istasyonda anlık ya da mevsimlik yağışların, yağışlarla tarım arazilerinden taşınan pestisit kalıntılarının, suda ani metal konsantrasyonlarının yükselmesine neden olmuş olabileceği fikrini akla getirmektedir. Yine aynı şekilde Curi Deresi suyunda 3., 4., 5. ve 6. istasyonlarda konsantrasyonları limit değerlerin üzerinde ölçülen Al, Fe ve Pb elementlerinin sedimentte limit değerleri aşmaması elementlerin sudaki ani değişimlerinden kaynaklandığını doğrulamaktadır.

Üçüncü istasyondan alınan sediment numunelerinin ağır metal konsantrasyonları incelendiğinde (Çizelge 4.3.1-4.3.4); sonbahar mevsiminde Mn ve Cu elementleri dışında Zn elementinin de sedimentte belli miktarda bulunduğu hatta belirtilen limit değerleri aştığı görülmüştür. Bu çalışmadan farklı olarak Türkmen ve Akbulut (2015) Giresun ilinde bazı akarsularda yaptıkları benzer bir çalışmada Mn, Cu ve Zn elementlerinin kış mevsiminde yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Homeostazisin korunması için önemli ve esansiyel bir metal olan Zn, Curi Deresi'nde yaşayan *A. chalcoides* türü için 3. istasyona ait sediment örneğinde yüksek konsantrasyonda tespit edildiğinden toksik özellik göstermiş olabilir (Clearwater ve ark., 2002; Ergönül ve Altındağ, 2011; Kontaş, 2018).

Akarsu ağız istasyonu olan 6. istasyonun element konsantrasyonu sediment açısından incelendiğinde, sonbahar mevsiminde hiçbir elementin limit değeri aşmadığı görülmüştür. İlkbahar, yaz ve kış mevsimlerinde ise yine tüm istasyonlarda ve tüm mevsimlerde Mn ve Cu elementleri limit değerlerin üzerinde bulunmuştur. Altıncı istasyonda suda Al, Pb, Fe, Cu ve Zn elementleri limit değerlerin üzerindeyken

sedimentte yalnızca Cu elementi konsantrasyonu limit değerin üzerinde tespit edilmiştir. Ağır metal konsantrasyonları, sudaki anlık ölçümlerde değişiklik gösterebilir. Su numunelerinde yüksek miktarlarda tespit edilen ağır metallerin dere suyuna yağış, erozyon vb. etkilerle karışabileceği belirtilmiştir. Ağır metal yükünü sedimentte stabil bir şekilde görmek mümkündür (Kontaş, 2018). Bu durum Curi Deresi suyunda tespit edilemeyen Co elementinin sedimentte tüm mevsim tüm istasyonlarda belirlenmesi ile açıklamaktadır. Harikumar ve Jiji (2019) Hindistan'da sulak bir alandan belirledikleri dört farklı istasyondan aldıkları sediment numunelerinin ağır metal birikimini araştırmışlardır. Her sediment diliminde Fe, Mn, Ni, Zn, Cd, Pb ve Cu konsantrasyonu belirlenmiştir. Her istasyon için kirlenme derecesi belirlenmiş ve çalışmanın sonuçları, sedimentteki ağır metallerin konsantrasyonunun derinlikler arasında büyük ölçüde farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca yüzey tabakalarında daha derin olan bölgelere göre daha fazla iz metal konsantrasyonu olduğu bildirilmiştir. Analiz sonuçları Kattampally'den örneklenen sediment numunelerinin sediment kalite esaslarına göre, nikel için ağır oranda, çinko için ise orta oranda kirlendiğini göstermiş, Kattampally sulak alanlarının ağır metaller nedeniyle ciddi kirlenme tehdidi altında olduğunu doğrulamıştır.

**Çizelge 4.3.1** İlkbahar mevsiminde istasyonlardan alınan sediment numunelerinde tespit edilen elementlerin konsantrasyonları (\*:Yer kabuğunda doğal olarak bulunan ortalama miktarlara göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda)

| Element (µg/g) |            | 1. İstasyon     | 2. İstasyon     | 3. İstasyon     | 4. İstasyon     | 5. İstasyon     | 6. İstasyon     | Limit Değerler (Yer Kabuğu) (Turekian ve Wedepohl, 1961) |
|----------------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|
| Al             |            | 12057.7         | 11690.4         | 10761.8         | 11463.0         | 11200.2         | 11133.3         | 80000.00   |
| As             | Esansiyel  | 2.73            | E.M.            | E.M.            | 1.81            | 4.01            | 1.40            | 13.00  |
| Cr             | Olmayan    | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | 90.00  |
| Cd             | Elementler | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | 0.30   |
| Pb             |            | E.M.            | 2.83            | 0.08            | 2.10            | 0.31            | 1.13            | 20.00  |
| Mn             |            | <b>2485.37*</b> | <b>1870.77*</b> | <b>2724.93*</b> | <b>1621.17*</b> | <b>1822.04*</b> | <b>1367.07*</b> | 850.00   |
| Fe             |            | 21742.7         | 26126.7         | 45214.8         | 21399.8         | 20918.3         | 23860.3         | 47200.00   |
| Co             | Esansiyel  | 4.33            | 5.06            | 12.37           | 3.24            | 2.85            | 4.16            | 19.00  |
| Cu             | Elementler | <b>117.42*</b>  | <b>91.19*</b>   | <b>61.70*</b>   | <b>79.82*</b>   | <b>59.42*</b>   | <b>55.74*</b>   | 45.00  |
| Zn             |            | 47.87           | 73.19           | <b>128.07*</b>  | 45.25           | 45.41           | 56.18           | 95.00  |
| Ni             |            | 13.27           | 9.96            | 23.63           | 8.11            | 9.97            | 9.00            | 68.00  |

**Çizelge 4.3.2** Yaz mevsiminde istasyonlardan alınan sediment numunelerinde tespit edilen elementlerin konsantrasyonları (\*:Yer kabuğunda doğal olarak bulunan ortalama miktarlara göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda)

| Element (µg/g) |            | 1. İstasyon     | 2. İstasyon     | 3. İstasyon     | 4. İstasyon     | 5. İstasyon     | 6. İstasyon     | Limit Değerler (Yer Kabuğu) (Turekian ve Wedepohl, 1961) |
|----------------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|
| Al             |            | 12837.5         | 12006.6         | 11378.7         | 11485.6         | 11322.0         | 11021.8         | 80000.00   |
| As             | Esansiyel  | 2.87            | 0.63            | 0.39            | 2.34            | 4.60            | 1.86            | 13.00  |
| Cr             | Olmayan    | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | 90.00  |
| Cd             | Elementler | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | 0.30   |
| Pb             |            | 1.06            | 3.27            | 0.18            | E.M.            | E.M.            | 0.42            | 20.00  |
| Mn             |            | <b>2913.84*</b> | <b>1793.60*</b> | <b>1158.68*</b> | <b>1202.91*</b> | <b>1407.95*</b> | <b>1421.93*</b> | 850.00   |
| Fe             |            | 25642.0         | 28348.5         | 16346.0         | 15774.7         | 21078.4         | 33839.2         | 47200.00   |
| Co             | Esansiyel  | 6.62            | 5.79            | 1.15            | 1.87            | 2.07            | 5.12            | 19.00  |
| Cu             | Elementler | <b>166.48*</b>  | <b>100.79*</b>  | <b>51.07*</b>   | <b>65.74*</b>   | <b>71.03*</b>   | <b>47.49*</b>   | 45.00  |
| Zn             |            | 58.76           | 71.99           | 37.65           | 39.31           | 44.13           | 64.62           | 95.00  |
| Ni             |            | 7.60            | 5.69            | 4.74            | 15.94           | 12.40           | 14.37           | 68.00  |



**Çizelge 4.3.3** Sonbahar mevsiminde istasyonlardan alınan sediment numunelerinde tespit edilen elementlerin konsantrasyonları (\*:Yer kabuğunda doğal olarak bulunan ortalama miktarlara göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda)

| Element<br>(µg/g) |            | 1. İstasyon     | 2. İstasyon     | 3. İstasyon     | 4. İstasyon     | 5. İstasyon     | 6. İstasyon | Limit Değerler<br>(Yer Kabuğu)<br>(Turekian ve Wedepohl, 1961) |
|-------------------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|--|
| Al                |            | 11957.1         | 11751.4         | 11750.2         | 11611.5         | 11236.7         | 11384.4     | 80000.00   |
| As                | Esansiyel  | 5.13            | 0.92            | 0.53            | 1.82            | 4.50            | 3.04        | 13.00  |
| Cr                | Olmayan    | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.        | 90.00  |
| Cd                | Elementler | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.        | 0.30   |
| Pb                |            | 3.76            | 2.96            | E.M.            | E.M.            | 0.41            | 0.86        | 20.00  |
| Mn                |            | <b>2017.73*</b> | <b>1019.55*</b> | <b>1212.67*</b> | <b>1843.16*</b> | <b>1184.94*</b> | 556.86      | 850.00   |
| Fe                |            | 21035.5         | 18764.2         | 18162.7         | 28576.9         | 16806.7         | 6216.2      | 47200.00   |
| Co                | Esansiyel  | 4.23            | 1.46            | 1.20            | 4.08            | 1.66            | E.M.        | 19.00  |
| Cu                | Elementler | <b>129.43*</b>  | <b>70.22*</b>   | <b>59.02*</b>   | <b>62.96*</b>   | <b>54.20*</b>   | 19.84       | 45.00  |
| Zn                |            | 45.48           | 40.53           | 40.96           | 56.88           | 37.02           | 27.40       | 95.00  |
| Ni                |            | 11.25           | 7.80            | 7.36            | 8.12            | 7.02            | 2.22        | 68.00  |

**Çizelge 4.3.4** Kış mevsiminde istasyonlardan alınan sediment numunelerinde tespit edilen elementlerin konsantrasyonları (\*:Yer kabuğunda doğal olarak bulunan ortalama miktarlara göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda)

| Element<br>(µg/g) |            | 1. İstasyon     | 2. İstasyon     | 3. İstasyon     | 4. İstasyon     | 5. İstasyon     | 6. İstasyon     | Limit Değerler<br>(Yer Kabuğu)<br>(Turekian ve Wedepohl, 1961) |
|-------------------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|
| Al                |            | 12390.6         | 11961.7         | 11728.7         | 12043.4         | 11676.6         | 11523.4         | 80000.00   |
| As                | Esansiyel  | 6.35            | 1.09            | 0.02            | 7.51            | 4.05            | 2.54            | 13.00  |
| Cr                | Olmayan    | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | 90.00  |
| Cd                | Elementler | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | E.M.            | 0.30   |
| Pb                |            | 1.83            | 3.33            | 0.16            | 0.13            | E.M.            | 0.16            | 20.00  |
| Mn                |            | <b>2333.69*</b> | <b>1153.44*</b> | <b>1357.97*</b> | <b>1238.74*</b> | <b>1212.62*</b> | <b>1092.05*</b> | 850.00   |
| Fe                |            | 23700.6         | 25055.5         | 34530.9         | 23104.2         | 17288.1         | 21877.0         | 47200.00   |
| Co                | Esansiyel  | 4.48            | 2.68            | 4.56            | 3.04            | 1.57            | 2.17            | 19.00  |
| Cu                | Elementler | <b>135.79*</b>  | <b>70.23*</b>   | <b>46.90*</b>   | <b>61.90*</b>   | <b>49.81*</b>   | <b>64.69*</b>   | 45.00  |
| Zn                |            | 49.17           | 51.88           | 61.94           | 45.12           | 36.00           | 46.76           | 95.00  |
| Ni                |            | 14.49           | 3.04            | 10.15           | 7.44            | 4.25            | 5.57            | 68.00  |

İstasyonlardan alınan sediment numunelerinde tespit edilen esansiyel elementlerin mevsimlere göre yıllık ortalama element konsantrasyonları Çizelge 4.3.5'te verilmiştir. Fe ve Zn konsantrasyonlarının en fazla ilkbahar mevsiminde en az ise sonbahar mevsiminde olduğu görülmüştür. Fe elementi tüm mevsimlerde sırasıyla; 26544 µg/g, 23505 µg/g, 18260 µg/g, 24259 µg/g olarak bulunmuştur. Zn elementi ise tüm mevsimlerde sırasıyla; 66.0 µg/g, 52.74 µg/g, 41.38 µg/g, 48.48 µg/g olarak bulunmuştur. Ni elementi, en fazla ilkbahar (12.32 µg/g), en az sonbahar (7.30 µg/g) mevsiminde tespit edilmiştir. Sediment numunelerinde tespit edilen esansiyel elementlerin yıllık ortalama konsantrasyonları arasındaki fark mevsimlere göre değerlendirilmiş ve istatistiksel açıdan anlamsız bulunmuştur ( $P>0.05$ ).

İstasyonlardan alınan sediment numunelerinde tespit edilen esansiyel olmayan elementlerin mevsimlere göre yıllık ortalama element konsantrasyonları Çizelge 4.3.6'da verilmiştir. Al elementi; en fazla kış mevsiminde (11887 µg/g), en az ilkbahar mevsiminde (11384 µg/g), As elementi; en fazla kış mevsiminde (3.59 µg/g), en az ilkbahar mevsiminde (1.66 µg/g), Pb elementi; en fazla sonbahar mevsiminde (1.33 µg/g), en az yaz mevsiminde (0.82 µg/g) tespit edilmiştir. Cd ve Cr elementleri konsantrasyonlarına hiçbir mevsimde rastlanmamıştır. Sediment numunelerinde tespit edilen esansiyel olmayan elementlerin yıllık ortalama konsantrasyonları arasındaki fark mevsimlere göre değerlendirilmiş ve istatistiksel açıdan anlamsız bulunmuştur ( $P>0.05$ ).

İstasyonlarından alınan sediment numunelerinde tespit edilen esansiyel elementlerin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları Çizelge 4.3.7'de verilmiştir. Mn elementi en fazla 1. istasyonda (2438 µg/g), en az 6. istasyonda (1109 µg/g) belirlenmiş ve tüm istasyonlarda sınır değeri aşmıştır. Aynı şekilde Cu elementi en fazla 1. istasyonda (137.30 µg/g) en az 6. istasyonda (46.94 µg/g) tespit edilmiştir. Fe elementi en fazla 3. istasyonda (28564 µg/g), en az 5. istasyonda (19023 µg/g) birikim göstermiştir. Co elementi; en fazla 1. istasyonda (4.92 µg/g), en az 5. istasyonda (2.04 µg/g), Zn elementi; en fazla 3. istasyonda (67.20 µg/g), en az 5. istasyonda (40.64 µg/g), Ni elementi; en fazla 1. istasyonda (11.65 µg/g), en az 2. istasyonda (6.62 µg/g) tespit edilmiştir. Fe, Co, Zn ve Ni değerleri hiçbir istasyonda sınır değeri aşmamıştır. Sediment numunelerinde tespit edilen esansiyel elementlerin istasyonlara göre yıllık ortalama konsantrasyonları değerlendirilmiş; Mn ve Cu elementlerinin konsantrasyonları arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlı

( $P < 0.05$ ) iken; Fe, Co, Zn ve Ni elementleri konsantrasyonları arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamsız ( $P > 0.05$ ) bulunmuştur.

İstasyonlarından alınan sediment numunelerinde tespit edilen esansiyel olmayan elementlerin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları Çizelge 4.3.8’de verilmiştir. Al, As ve Pb elementlerine ait değerler tüm istasyonlarda sınır değerlerin altında bulunmuştur. Cd ve Cr elementlerine ise yıl boyunca hiçbir istasyonda rastlanmamıştır. Sediment numunelerinde tespit edilen esansiyel olmayan elementlerin istasyonlara göre yıllık ortalama konsantrasyonları arasındaki fark değerlendirilmiş; Al, As ve Pb elementleri için istasyonlar arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlı ( $P < 0.05$ ) bulunmuştur.

Bu çalışmada sediment numunelerinde ölçülen Mn ve Cu konsantrasyonları, suda ölçülen değerlere göre oldukça yüksek bulunmuştur. Bu durum sucul ekosistemde ağır metal birikimi açısından sedimentin depo görevi görmesine bağlanabilir. Ayrıca gerçekleştirilen birçok çalışmada da en fazla ağır metal birikiminin sedimentte tespit edildiği bildirilmiştir (Kır ve ark. 2007; Mendil ve Uluözlü 2007; Türkoğlu 2008; Yıldız ve Yener 2010; Öner ve Çelik 2011; Kır ve Tumantozlu, 2012).

Ülkemizde ve dünyada sediment kalitesine yönelik çalışmalar son yıllarda artmıştır (Ustaoğlu ve Tepe, 2019). Yozgat çevresindeki akarsulardan alınan sediment örneklerinde; Cu, Cr, Co, Fe, Mn, Ni ve Pb elementlerinin seviyeleri tespit edilerek, element içeriklerinin bu akarsularda yaşayan canlılar için tehlikeli olmadığı bildirilmiştir (Soylak ve ark., 2002). Başka bir çalışmada ise; Varol ve Şen (2012) Dicle Nehri sedimentinde As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn ortalama miktarlarını sırasıyla 5.9 mg/kg, 3.02 mg/kg, 135.81 mg/kg, 1257.76 mg/kg, 284 mg/kg, 380.45 mg/kg, 509.84 mg/kg olarak tespit etmişler; Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn miktarlarının sedimentte yaşayan organizmalar üzerinde zararlı etkilerinin olabileceğini bildirmişlerdir. Bhuyan ve ark., (2019) Bangladeş’in Eski Brahmaputra Nehri’nin su ve sedimentinde ağır metal konsantrasyonunu araştırdıkları çalışmalarında sedimentteki metal konsantrasyonlarını Al>Mn>Zn>Ni>Pb>Cr>Cu>Co>Cd>Hg mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Ustaoğlu ve İslam (2020) Giresun’da bulunan bazı nehirlerin sedimentlerindeki ortalama potansiyel toksik elementlerin konsantrasyonlarının miktarlarını Al>Fe>Mn>Zn>Cu>Pb>Cr>Ni>Co>As>U>Cd olarak belirlemişlerdir.

Curi Deresi sediment örneklerindeki yıllık ortalama ağır metal konsantrasyonları ise; Fe>Al>Mn>Cu>Zn>Ni>Co>As>Pb şeklinde belirlenmiş olup Ustaoglu ve İslam (2020)'ın çalışmasıyla benzerlik göstermektedir. Mevcut çalışmamızda sediment örneklerinde Cd ve Cr elementlerine rastlanmamıştır. Baron ve ark., (1990), yaptıkları çalışmada sediment örneklerinde bulunan organik maddelerin bileşiminde Cd elementine düşük oranda rastlandığını belirtmişlerdir. Kaymak Abay, (2017) çalışmasında, Dicle Nehri'ndeki üç lokaliteden her mevsimde aldığı sediment numunelerinde Co, Cu, Ni, Pb ve Zn elementlerinin konsantrasyonlarını belirlemeyi amaçlamış ancak sedimentte Cd metalini tespit edememiştir. Curi Deresi sediment örneklerinde de aynı şekilde Cd elementi hiçbir mevsimde belirlenememiştir. Rauf ve ark., (2009) Ravi Nehri'nin sedimentinde ağır metal miktarını araştırdıkları çalışmalarında ise Cd ve Cr elementlerini sırasıyla; 0.99-3.17 µg/g ve 4.60-57.40 µg/g olarak belirlemişlerdir. Akarsuyun yoğun bir metal kirliliğine maruz kaldığını ve sedimentteki bu ağır metal miktarının oldukça yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Toksik ağır metallere biri olan Cd, çevresel kirlenmelerden biridir. Sucul ortamlarda düşük konsantrasyonlarda bile, sucul organizmalar için oldukça zararlıdır. Cd elementi sucul ekosistemlere; antropojenik, tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerden, lağım sularından ve toprağın ana materyali gibi nedenlerden ötürü geçebilmektedir (Assche ve Clijsters, 1990; Öktüren Asri ve ark., 2007; Konaş, 2018). Buna göre değerlendirildiğinde, hiçbir mevsimde hiçbir istasyonda kadmiyum seviyesinin limit değerleri aşmaması kirlilik oluşturacak boyutta bir birikimin olmadığını göstermektedir.

Dra ve ark., (2019), Sebou Nehri'nin sedimanlarının fiziko-kimyasal karakterizasyonunu incelediği çalışmalarında bulunan sonuçlar değerlendirildiğinde metallere (Ca, Fe, Cu, Cd, Zn ve Ni) kirlilik seviyelerinin çalışılan tüm istasyonlarda yüksek olduğunu ve belirtilen değerleri aştığını bildirmişlerdir. Tokatlı (2019), Meriç Havzası'ndan belirlediği 24 istasyondan alınan sediment örneklerinde; toplam 9 inorganik kirlilik parametresini (Cd, Pb, As, B, Cu, Zn, Cr, Ni ve Se) incelemiştir. Tespit edilen verilere göre, incelenen nehir ve göllerin kirlilik seviyeleri şöyledir; Ergene Nehri>Meriç Nehri>Tunca Nehri şeklinde bulunmuştur. Ergene Havzası çevresinde yoğun olarak gerçekleştirilen endüstriyel faaliyetlerden kaynaklandığı düşünülen sistemin sediment kalitesinde en kritik parametrelerin ise krom ve nikel olduğu bildirilmiştir. İslam ve ark., (2015) Korotoa Nehri sedimentinde kış ve yaz

mevsimlerinde Cr, Ni, Cu, As, Cd ve Pb ağır metallerinin ortalama miktarını araştırdıkları çalışmalarında en fazla bulunan elementin krom olduğunu bunun nedeninin tekstil ve deri endüstri artıklarının arıtılmadan nehre verilmesinden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Ayrıca çalışmada As elementi mevcut çalışmamızda olduğu gibi kış mevsiminde daha yüksek tespit edilmiştir. Curi Deresi suyunda yıl boyunca Cr elementi belirlenirken sediment örneklerinde Cr elementine rastlanmamıştır. İstasyonlardan alınan sediment numularında tüm mevsimlerde belirli miktarlarda Co konsantrasyonuna rastlanmasına rağmen, suda rastlanmamıştır. Bu duruma sudaki dalgalanma, sedimentin herhangi bir sebeple kalkması ve bileşiklerin çözünmesi gibi faktörlerin olmamasıyla açıklanabilir. Çünkü, sediment ve sudaki ağır metal konsantrasyonlarının miktarları, sıcaklık, pH ve çözünen konsantrasyonu gibi pek çok parametreye bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir (Banerjee ve ark., 2016; Üçüncü Tunca, 2016; Konaş, 2018). Sediment numunelerinde limit değerin üzerinde tespit edilen Cu ve Mn elementlerinin, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde artış göstermesinin nedeni; suyun buharlaşması ile suda artış gösteren metal konsantrasyonunun daha kolay sedimente geçmesiyle açıklanabilir (Kır ve ark., 2007).

Ustaoğlu ve ark., (2020a) Çalışlar ve Akçaova derelerinin sedimentlerindeki ağır metal seviyelerini değerlendirdikleri çalışmalarında; Çalışlar Deresi sedimentinin ağır metal seviyesini Fe>Mn>Zn>Cu>Co>Pb>Ni>Cr>Cd şeklinde; Akçaova Deresi sedimentinin ağır metal seviyesini Fe>Mn>Zn>Cu>Ni>Co>Cr>Pb>Cd>Ag şeklinde belirlemişlerdir. Her iki dereden de elde edilen benzer sonuçların Curi Deresi ile de benzer olduğu tespit edilmiştir ve bu durumun akarsular çevresinde uygulanan aynı ölçekli tarımsal faaliyetlerin sonucu olabileceği düşünülmektedir. Türkiye'nin en uzun nehri olan Kızılırmak'taki ortalama Cr (153.5 mg/kg) ve Pb (30.56 mg/kg) seviyeleri bu çalışmanınkinden oldukça yüksek belirlenmiştir (Akbulut ve Akbulut, 2010). Curi Deresi sedimentinde belirlenen Zn değerine en yakın değer Sürmene Irmağı'nda belirlenmiştir (Alkan ve ark., 2018). Bu çalışmada ortalama Mn ve Pb düzeyleri Engiz ve Mert Derelerinde bulunan değerlerden daha yüksek belirlenmiştir (Bakan ve Özkoç, 2007). Curi Deresi sedimentinde ölçülen Co değerinin (3.57 mg/kg) sırasıyla Pazarsuyu ve Çalışlar derelerinden (5.73 mg/kg; 5.13 mg/kg) elde edilen değerlere yakın olduğu belirlenmiştir (Ustaoğlu ve Tepe, 2019; Ustaoğlu ve ark., 2020). Sakarya Deresi'nden belirlenen Cr düzeyinin (36.96 mg/kg) bu çalışmadakinden oldukça yüksek olduğu görülmüştür (Dündar ve ark., 2012).

**Çizelge 4.3.5** Sediment numunelerinde tespit edilen esansiyel elementlerin mevsimlere göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (\*:Yer kabuğunda doğal olarak bulunan ortalama miktarlara göre yüksek değerler)

| Element (µg/g) | İlkbahar<br>(Ort±SH<br>Min-Maks)        | Yaz<br>(Ort±SH<br>Min-Maks)            | Sonbahar<br>(Ort±SH<br>Min-Maks)       | Kış<br>(Ort±SH<br>Min-Maks)             | Önem Düzeyi (P) | Limit Değerler<br>(Yer Kabuğu)<br>(Turekian ve Wedepohl, 1961) |
|----------------|---|--|--|---|-----------------|--|
| Mn             | <b>1982* ± 212</b><br>1367 - 2725       | <b>1650* ± 269</b><br>1159 - 2914      | <b>1306* ± 221</b><br>557 - 2018       | <b>1398* ± 191</b><br>1092 - 2334       | P>0.05          | 850.00   |
| Fe             | 26544 ± 3817<br>20918 - 45215           | 23505 ± 2897<br>15775 - 33839          | 18260 ± 2953<br>6216 - 28577           | 24259 ± 2324<br>17288 - 34531           | P>0.05          | 47200.00   |
| Co             | 5.33 ± 1.440<br>2.85 - 12.37            | 3.77 ± 0.955<br>1.15 - 6.62            | 2.11 ± 0.690<br>E.M. - 4.23            | 3.08 ± 0.498<br>1.57 - 4.56             | P>0.05          | 19.00  |
| Cu             | <b>77.55* ± 9.720</b><br>55.74 - 117.42 | <b>83.80* ± 18.30</b><br>47.50 - 166.5 | <b>65.90* ± 14.60</b><br>19.80 - 129.4 | <b>71.60* ± 13.40</b><br>46.90 - 135.80 | P>0.05          | 45.00  |
| Zn             | 66.0 ± 13.100<br>45.30 - 128.10         | 52.74 ± 5.860<br>37.65 - 71.99         | 41.38 ± 3.970<br>27.40 - 56.88         | 48.48 ± 3.480<br>36.00 - 61.94          | P>0.05          | 95.00  |
| Ni             | 12.32 ± 2.370<br>8.11 - 23.63           | 10.12 ± 1.930<br>4.74 - 15.94          | 7.30 ± 1.190<br>2.22 - 11.25           | 7.49 ± 1.730<br>3.04 - 14.49            | P>0.05          | 68.00  |

**Çizelge 4.3.6** Sediment numunelerinde tespit edilen esansiyel olmayan elementlerin mevsimlere göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (\*:Yer kabuğunda doğal olarak bulunan ortalama miktarlara göre yüksek değerler; E.M.: Eser Miktarda)

| Element (µg/g) | İlkbahar<br>(Ort±SH<br>Min-Maks) | Yaz<br>(Ort±SH<br>Min-Maks)  | Sonbahar<br>(Ort±SH<br>Min-Maks) | Kış<br>(Ort±SH<br>Min-Maks)  | Önem Düzeyi (P) | Limit Değerler<br>(Yer Kabuğu)<br>(Turekian ve Wedepohl, 1961) |
|----------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|-----------------|--|
| Al             | 11384 ± 186<br>10762 - 12058     | 11675 ± 267<br>11022 - 12838 | 11615 ± 108<br>11237 - 11957     | 11887 ± 127<br>11523 - 12391 | P>0.05          | 80000.00   |
| As             | 1.66 ± 0.640<br>E.M. - 4.01      | 2.12 ± 0.633<br>0.39 - 4.60  | 2.66 ± 0.772<br>0.53 - 5.13      | 3.59 ± 1.200<br>0.02 - 7.51  | P>0.05          | 13.00  |
| Cr             | E.M.                             | E.M.                         | E.M.                             | E.M.                         | -               | 90.00  |
| Cd             | E.M.                             | E.M.                         | E.M.                             | E.M.                         | -               | 0.30   |
| Pb             | 1.07 ± 0.479<br>E.M. - 2.83      | 0.82 ± 0.515<br>E.M. - 3.27  | 1.33 ± 0.662<br>E.M. - 3.76      | 0.94 ± 0.556<br>E.M. - 3.33  | P>0.05          | 20.00  |

**Çizelge 4.3.7** Sediment numunelerinde tespit edilen esansiyel elementlerin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (\*:Yer kabuğunda doğal olarak bulunan ortalama miktarlara göre yüksek değerler)

| Element (µg/g) | 1. İstasyon (Ort±SH Min-Maks)       | 2. İstasyon (Ort±SH Min-Maks)    | 3. İstasyon (Ort±SH Min-Maks)    | 4. İstasyon (Ort±SH Min-Maks)   | 5. İstasyon (Ort±SH Min-Maks)   | 6. İstasyon (Ort±SH Min-Maks)   | Önem Düzeyi (P) | Limit Değerler (Yer Kabuğu) (Turekian ve Wedepohl, 1961) |
|----------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|--|
| Mn             | 2438* ± 186<br>2018 - 2914          | 1459* ± 218<br>1020 - 1871       | 1614* ± 373<br>1159 - 2725       | 1476* ± 155<br>1203 - 1843      | 1407* ± 147<br>1185 - 1822      | 1109* ± 198<br>557 - 1422       | P<0.05          | 850.00   |
| Fe             | 23030 ± 1037<br>21036 - 25642       | 24574 ± 2054<br>18764 - 28348    | 28564 ± 6894<br>16346 - 45215    | 22214 ± 2636<br>15775 - 28577   | 19023 ± 1145<br>16807 - 21078   | 21448 ± 5712<br>6216 - 33839    | P>0.05          | 47200.00   |
| Co             | 4.92 ± 0.571<br>4.23 - 6.62         | 3.75 ± 1.010<br>1.46 - 5.79      | 4.82 ± 2.640<br>1.15 - 12.37     | 3.06 ± 0.456<br>1.87 - 4.08     | 2.04 ± 0.292<br>1.57 - 2.85     | 2.86 ± 1.130<br>E.M. - 5.12     | P>0.05          | 19.00  |
| Cu             | 137.30* ± 10.500<br>117.40 - 166.50 | 83.11* ± 7.690<br>70.22 - 100.79 | 54.67* ± 3.440<br>46.90 - 61.70  | 67.60* ± 4.150<br>61.90 - 79.82 | 58.61* ± 4.580<br>49.81 - 71.03 | 46.94* ± 9.690<br>19.84 - 64.69 | P<0.05          | 45.00  |
| Zn             | 50.32 ± 2.920<br>45.48 - 58.76      | 59.40 ± 7.970<br>40.53 - 73.19   | 67.20 ± 21.000<br>37.60 - 128.10 | 46.64 ± 3.680<br>39.31 - 56.88  | 40.64 ± 2.410<br>36.00 - 45.41  | 48.74 ± 7.990<br>27.40 - 64.62  | P>0.05          | 95.00  |
| Ni             | 11.65 ± 1.510<br>7.60 - 14.49       | 6.62 ± 1.480<br>3.04 - 9.96      | 11.47 ± 4.200<br>4.74 - 23.63    | 9.90 ± 2.020<br>7.44 - 15.94    | 8.41 ± 1.770<br>4.25 - 12.40    | 7.79 ± 2.590<br>2.22 - 14.37    | P>0.05          | 68.00  |

**Çizelge 4.3.8** Sediment numunelerinde tespit edilen esansiyel olmayan elementlerin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (E.M.: Eser Miktarda)

| Element (µg/g) | 1. İstasyon (Ort±SH Min-Maks) | 2. İstasyon (Ort±SH Min-Maks) | 3. İstasyon (Ort±SH Min-Maks) | 4. İstasyon (Ort±SH Min-Maks) | 5. İstasyon (Ort±SH Min-Maks) | 6. İstasyon (Ort±SH Min-Maks) | Önem Düzeyi (P) | Limit Değerler (Yer Kabuğu) (Turekian ve Wedepohl, 1961) |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|--|
| Al             | 12311 ± 199<br>11957 - 12838  | 11853 ± 77.5<br>11690 - 12007 | 11405 ± 231<br>10762 - 11750  | 11651 ± 135<br>11463 - 12043  | 11359 ± 109<br>11200 - 11677  | 11266 ± 115<br>11022 - 11523  | P<0.05          | 80000.00   |
| As             | 4.27 ± 0.885<br>2.73 - 6.35   | 0.66 ± 0.240<br>E.M. - 1.09   | 0.24 ± 0.134<br>E.M. - 0.53   | 3.37 ± 1.380<br>1.81 - 7.51   | 4.29 ± 0.152<br>4.01 - 4.60   | 2.21 ± 0.363<br>1.40 - 3.04   | P<0.05          | 13.00  |
| Cr             | E.M.                          | E.M.                          | E.M.                          | E.M.                          | E.M.                          | E.M.                          | -               | 90.00  |
| Cd             | E.M.                          | E.M.                          | E.M.                          | E.M.                          | E.M.                          | E.M.                          | -               | 0.30   |
| Pb             | 1.66 ± 0.793<br>E.M. - 3.76   | 3.10 ± 0.120<br>2.83 - 3.33   | 0.10 ± 0.041<br>E.M. - 0.18   | 0.56 ± 0.515<br>E.M. - 2.10   | 0.18 ± 0.106<br>E.M. - 0.41   | 0.64 ± 0.217<br>0.16 - 1.13   | P<0.05          | 20.00  |

#### 4.4 A. *chalcoides* Türünün Dokularına Ait Verilerin Değerlendirilmesi

##### 4.4.1 Örneklenen Balıkların Boy ve Ağırlık Değerleri

1. istasyon haricindeki tüm istasyonlarda; *A. chalcoides* türüne ait bireyler tüm mevsimlerde yakalanmıştır. İstasyonlardan örneklenen *A. chalcoides* türünün mevsimlere göre boy ve ağırlık değerleri Çizelge 4.4.1.1’de verilmiştir.

İstasyonlardan yakalanan *A. chalcoides* bireyleri; ilkbahar mevsiminde 31, yaz mevsiminde 18, sonbahar mevsiminde 24, kış mevsiminde 49 adet yakalanmıştır. Bireylerin boy ve ağırlık değerlerinin ortalamaları tüm mevsimlerde sırasıyla;  $12.33 \pm 0.215$  ve  $16.59 \pm 0.876$ ,  $12.29 \pm 0.424$  ve  $15.39 \pm 1.58$ ,  $12.18 \pm 0.254$  ve  $13.74 \pm 0.902$ ,  $12.52 \pm 0.156$  ve  $17.95 \pm 0.670$  olarak bulunmuştur (Çizelge 4.4.1.1).

**Çizelge 4.4.1.1** *A. chalcoides* türünün mevsimlere göre boy ve ağırlık değerleri

| Tür                  | Mevsim   | n  | Boy (cm) (Ort. $\pm$ SH)<br>(Min.-Maks.) | Ağırlık (g) (Ort. $\pm$ SH)<br>(Min.-Maks.) |
|----------------------|----------|----|--|---|
| <i>A. chalcoides</i> | İlkbahar | 31 | $12.33 \pm 0.215$                        | $16.59 \pm 0.876$                           |
|                      |          |    | 10.00 - 15.20                            | 9.60 - 31.60                                |
|                      | Yaz      | 18 | $12.29 \pm 0.424$                        | $15.39 \pm 1.58$                            |
|                      |          |    | 9.50 - 14.60                             | 5.80 - 31.80                                |
|                      | Sonbahar | 24 | $12.18 \pm 0.254$                        | $13.74 \pm 0.902$                           |
|                      |          |    | 10.00 - 14.50                            | 6.80 - 22.80                                |
|                      | Kış      | 49 | $12.52 \pm 0.156$                        | $17.95 \pm 0.670$                           |
|                      |          |    | 9.90 - 15.40                             | 9.20 - 31.40                                |

##### 4.4.2 Balık Dokularında Belirlenen Element Konsantrasyonları

Yapılan araştırmalar; balıkların kas dokusunun metalleri depolamada karaciğer gibi aktif bir yapısı olmamasına rağmen (Kayhan ve ark., 2009), insanlar tarafından tüketilmesi, su ve sedimentte bulunan element miktarının balık dokularında giderek artması sonucu besin zinciri yoluyla insana kadar taşınabileceğini göstermektedir (Arslan ve ark., 2012). Bu yüzden ulusal ve uluslararası (EPA, FAO, WHO) kuruluşlar balık dokularında metallerin kabul edilebilir limit değerlerini bildirmişlerdir.

Curi Deresi’nden belirlenen istasyonlardan örneklenen bireylerin kas dokularında tespit edilen elementlerin değerleri ulusal ve uluslararası standartlardaki sınır değerler ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.4.2.1).



**Çizelge 4.4.2.1** Balık kasında tespit edilen esansiyel ve esansiyel olmayan bazı elementlerin ulusal ve uluslararası standartlardaki sınır değerleri (mg/kg, yaş ağırlık)

| Elementler (mg/kg) | FAO, (1983) | FAO / WHO, (1989) | Türk Gıda Kodeksi (TGK, 2002) | IAEA, (2003) | EC, (2008) | Türk Gıda Kodeksi (TGK, 2011) |
|--------------------|-------------|-------------------|-------------------------------|--------------|------------|-------------------------------|
| Mn                 | -           | -                 | -                             | 3.52         | -          | -                             |
| Fe                 | -           | -                 | -                             | 146          | -          | -                             |
| Co                 | -           | -                 | -                             | 0.1          | -          | -                             |
| Cu                 | 10          | 30                | 20                            | 3.28         | -          | -                             |
| Zn                 | 150         | 40                | 50                            | 67.1         | -          | -                             |
| Ni                 | -           | -                 | -                             | 0.6          | -          | -                             |
| Al                 | -           | -                 | -                             | 13.8         | -          | -                             |
| As                 | 0.1         | -                 | -                             | -            | -          | -                             |
| Cr                 | -           | -                 | -                             | 0.73         | -          | -                             |
| Cd                 | 0.2         | 0.5               | 0.05-0.1                      | 0.189        | 0.05-0.3   | 0.05-0.3                      |
| Pb                 | -           | 0.5               | 0.2-0.4                       | 0.12         | 0.3        | 0.3                           |

#### 4.4.2.1 A. *chalcoides* Bireylerinin Organ ve Dokularındaki Esansiyel Ağır Metallerin Birikimi

Örneklenen balıkların kas, karaciğer ve solungaçlarında tüm mevsimlerde tespit edilen esansiyel (Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Ni) element konsantrasyonlarının mevsimlere göre değişimleri çizelgelerde (Çizelge 4.4.2.1.1-4.4.2.1.4) verilmiştir. Balık kasında tespit edilen elementlerin değerleri ulusal ve uluslararası standartlardaki sınır değerler ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.4.2.1).

Bireylerinin kas dokusunda tespit edilen Mn konsantrasyonları tüm mevsimlerde sırasıyla; 1.09±0.196 mg/kg, 2.83±0.560 mg/kg, 3.93±0.581 mg/kg ve 3.38±0.655 mg/kg olarak bulunmuştur. IAEA (2003)'da bildirilen limit değerlerle karşılaştırıldığında (Çizelge 4.4.2.1), ilkbahar, yaz ve kış mevsimlerinde (Çizelge 4.4.2.1.1-4.4.2.1.2-4.4.2.1.4) Mn konsantrasyonu limit değerlerin altındayken, sonbahar mevsiminde (Çizelge 4.4.2.1.3) balıkların kas dokusunda Mn konsantrasyonları limit değerlerin üstündedir. Sonbahar mevsiminde balıklardaki Mn konsantrasyonu 2.26-5.98 mg/kg aralığındadır (Çizelge 4.4.2.1.3). Karaciğerde ortalama Mn konsantrasyonu tüm mevsimlerde sırasıyla; 5.85±0.390 mg/kg, 21.60±16.400 mg/kg, 23.24±6.990 mg/kg ve 28.10±4.930 mg/kg olarak bulunmuştur. Karaciğerde biriken Mn konsantrasyonu mevsimler arasında kış>sonbahar>yaz>ilkbahar şeklinde bir sıralama ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.4.2.1.1-4.4.2.1.4). Solungaçlardaki ortalama Mn konsantrasyonu tüm mevsimlerde sırasıyla; 8.98±0.863 mg/kg, 20.76±4.790 mg/kg, 29.05±4.500 mg/kg, 23.04±1.950 mg/kg bulunmuştur. Solungaçlarda biriken Mn miktarları mevsimler arasında

sonbahar>kış>yaz>ilkbahar şeklinde bir sıralama ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.4.2.1.1-4.4.2.1.4). Sonuçlar değerlendirildiğinde; Mn elementi tüm mevsimlerde en az kas dokuda birikim göstermiştir. Curi Deresi'nin 2. istasyon sedimentinde tüm mevsimlerinde limit değerlerin üzerinde tespit edilen Mn elementi, *A. chalcoides* bireylerinin kas, karaciğer ve solungaç dokularında da birikime neden olmuştur. Kas dokusunda belirlenen en yüksek Mn birikimi sonbahar mevsiminde tespit edilmiştir (Çizelge 4.4.2.1.3). Çağlak ve Karslı (2014)'nın *S. lucioperca* türü üzerinde yaptıkları çalışmada en yüksek birikimi, kas dokusunda ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde tespit etmişlerdir.

Kas dokusunda tespit edilen Fe miktarları tüm mevsimlerde sırasıyla  $51.70 \pm 10.000$  mg/kg,  $63.21 \pm 3.890$  mg/kg,  $45.00 \pm 6.420$  mg/kg ve  $41.61 \pm 6.98$  mg/kg bulunmuştur. IAEA (2003)'da bildirilen limit değerlerle karşılaştırıldığında, tüm mevsimler için Fe konsantrasyonunun limit değeri aşmadığı görülmüştür (Çizelge 4.4.2.1). Fe konsantrasyonları değerleri; ilkbaharda 27.10-106.00 mg/kg, yazda 49.74-70.41 mg/kg, sonbaharda 28.28-63.77 mg/kg ve kışta ise 25.27-70.13 mg/kg bulunmuştur (Çizelge 4.4.2.1.1-4.4.2.1.4). Karaciğerde tespit edilen ortalama Fe konsantrasyonu tüm mevsimlerde sırasıyla;  $100.30 \pm 1.620$  mg/kg,  $182.80 \pm 18.300$  mg/kg,  $115.90 \pm 27.600$  mg/kg ve  $72.30 \pm 10.200$  mg/kg bulunmuştur. Fe konsantrasyonları mevsimler arasında değerlendirildiğinde yaz>sonbahar>ilkbahar>kış şeklinde bir sıralama ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.4.2.1.1-4.4.2.1.4). Solungaçlarda tespit edilen ortalama Fe konsantrasyonu tüm mevsimlerde sırasıyla;  $78.50 \pm 8.390$  mg/kg,  $81.12 \pm 5.290$  mg/kg,  $74.90 \pm 2.300$  mg/kg,  $55.78 \pm 3.120$  mg/kg bulunmuştur. Fe konsantrasyonları mevsimler arasında değerlendirildiğinde yaz>ilkbahar>sonbahar>kış şeklinde bir sıralama ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.4.2.1.1-4.4.2.1.4). Mendil ve ark., (2005)'nin farklı türler üzerinde yaptıkları çalışmada Fe birikiminin mevsimsel olarak değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Yapılan çalışmalar doku ve organlardaki element konsantrasyonunu etkileyen birçok parametrenin olduğunu göstermektedir. Bu parametreler içerisinde balıkların yaşadığı ortam ve su kalitesi, balık türü, su ve sedimentte bulunan element konsantrasyonu ve bu elementleri doku ve organların depolama kabiliyeti gibi faktörler yer almaktadır. Buna bağlı olarak balıkların doku ve organlarında tespit edilen elementlerin konsantrasyonları yaşadıkları ortamın kirlilik düzeyi ile ilgili bilgi vermektedir (Kontaş, 2018).

A. *chalcoides* bireylerine ait kas, karaciğer ve solungaçlarda Co konsantrasyonuna hiçbir mevsimde rastlanmamıştır. Bizim çalışmamızın aksine *C.gariepinus* türünde ise en yüksek Co elementi tespit edilmiştir (Dabak ve ark., 2019). Bireylerin kas dokusunda belirlenen Cu konsantrasyonları tüm mevsimlerde sırasıyla;  $1.16\pm 0.232$  mg/kg,  $1.99\pm 0.693$  mg/kg,  $2.99\pm 0.851$  mg/kg ve  $10.55\pm 6.010$  mg/kg bulunmuştur (Çizelge 4.4.2.1.1-4.4.2.1.4). Balıkların kas dokusunda belirlenen Cu konsantrasyonları Çizelge 4.4.2.1’de belirtilen limit değerler ile karşılaştırıldığında ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimleri için oldukça düşük olup; karaciğer>solungaç>kas sırasını izlemektedir (Çizelge 4.4.2.1.1-4.4.2.1.3). Aniagor ve ark., (2019)’nın yaptığı çalışmada da bu çalışmadakine benzer şekilde Cu birikimi en fazla iç organlarda ( $0.084\pm 0.114$  mg/kg) iken bunu solungaçlar ( $0.035\pm 0.039$  mg/kg) ve kas ( $0.011\pm 0.013$  mg/kg) izlemiştir. Kış mevsiminde tespit edilen Cu konsantrasyonu ise; FAO (1983) ve IAEA (2003)’da bildirilen limit değerlerin üzerindedir ve dokular arasındaki sıralaması; kas>solungaç>karaciğer şeklindedir (Çizelge 4.4.2.1.4). Karaciğerdeki ortalama Cu konsantrasyonu tüm mevsimlerde sırasıyla;  $3.67\pm 1.230$  mg/kg,  $27.3\pm 16.200$  mg/kg,  $18.02\pm 6.340$  mg/kg ve  $4.00\pm 0.510$  mg/kg bulunmuştur. Cu konsantrasyonları mevsimler arasında değerlendirildiğinde yaz>sonbahar>kış>ilkbahar şeklinde bir sıralama ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.4.2.1.1-4.4.2.1.4). Solungaçlardaki ortalama Cu konsantrasyonu tüm mevsimlerde sırasıyla;  $2.27\pm 0.475$  mg/kg,  $3.10\pm 0.951$  mg/kg,  $4.13\pm 1.080$  mg/kg,  $4.42\pm 0.916$  mg/kg bulunmuştur. Cu konsantrasyonları mevsimler arasında değerlendirildiğinde kış>sonbahar>yaz>ilkbahar şeklinde bir sıralama ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.4.2.1.3-4.4.2.1.4).

Akinsorotan ve ark., (2019), Nijerya'nın Lagos eyaletinde seçilen bazı lokasyonlardaki sularda yaptıkları çalışmada *C. gariepinus*'taki bazı eser metal konsantrasyonlarını araştırmışlardır. Balıkların kas dokusunda en az birikim Cu, Pb, Co, Al ve Cr elementlerinde iken; en fazla birikim, Fe ve Mn'da gözlenmiştir. Mirzajani ve ark., (2016)'nın yaptığı araştırmada Hazar Denizi'nin farklı tropik seviyelerinden elde edilen dört balık türünde (*A. chalcoides*, *Liza aurata*, *Rutilus frisii* ve *S. lucioperca*) Cu, Cd, Ni, Cr, Co, Mn, Zn ve Fe metallerinin biyolojik birikimleri ölçülmüştür. Çoğu balık numunesinde Cd, Cr, Co ve Ni konsantrasyonları belirtilen sınır değerlerin altında tespit edilmiştir. Dört balık türü arasında en yüksek Mn, Ni ve

Fe konsantrasyonları *L. aurata* türünde görülürken, en düşük Mn ve Fe konsantrasyonları *S. lucioperca* türünde gözlenmiştir.

Kas dokusunda belirlenen Zn konsantrasyonları tüm mevsimlerde sırasıyla; 12.96±1.990 mg/kg, 11.15±0.815 mg/kg, 9.24±1.280 mg/kg ve 13.38±1.760 mg/kg bulunmuştur. Değerler incelendiğinde, kas dokusunda tespit edilen Zn konsantrasyonunun limit değerleri (Çizelge 4.4.2.1) geçmediği tespit edilmiştir (Çizelge 4.4.2.1.1-4.4.2.1.4). Karaciğerdeki ortalama Zn konsantrasyonu tüm mevsimlerde sırasıyla; 22.95±0.775 mg/kg, 44.80±14.400 mg/kg, 44.70±13.500 mg/kg ve 39.82±2.580 mg/kg bulunmuştur. Zn konsantrasyonları mevsimler arasında değerlendirildiğinde yaz>sonbahar>kış>ilkbahar şeklinde bir sıralama ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.4.2.1.1-4.4.2.1.4). Solungaçlardaki ortalama Zn konsantrasyonu tüm mevsimlerde sırasıyla; 42.48±3.780 mg/kg, 43.25±3.730 mg/kg, 46.91±6.520 mg/kg, 35.17±2.010 mg/kg bulunmuştur. Zn konsantrasyonları mevsimler arasında değerlendirildiğinde sonbahar>yaz>ilkbahar>kış şeklinde bir sıralama ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.4.2.1.1-4.4.2.1.4). Dokulardaki Zn birikimi ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde solungaç>karaciğer>kas şeklinde iken; yaz ve kış mevsimlerinde karaciğer>solungaç>kas şeklindedir. Aniğor ve ark., (2019), Zn konsantrasyonu açısından çalışılan üç balık türünde de benzer sonuçları elde etmişlerdir. Çinko konsantrasyonları, *C. gariepinus*'ta 0.454±0.256 mg/kg, *C. obscura*'da 0.518±0.246 mg/kg ve *Tilapia zilli*'de 0.514±0.279 mg/kg olarak ölçülmüştür. Dokular arasındaki çinko konsantrasyonu karşılaştırıldığında ise en fazla birikimin solungaçta olduğu bunu iç organlar ve kas dokusunun izlediği bildirilmiştir.

Kas dokusunda belirlenen Ni konsantrasyonu tüm mevsimlerde sırasıyla; 3.16±1.730 mg/kg, 1.72±1.12 mg/kg, 2.28±1.33 mg/kg ve 0.70±0.450 mg/kg bulunmuştur. Değerler incelendiğinde, kas dokusunda tespit edilen Ni konsantrasyonunun tüm mevsimler için limit değerleri (Çizelge 4.4.2.1) geçmediği tespit edilmiştir (Çizelge 4.4.2.1.1-4.4.2.1.4). Karaciğerdeki ortalama Ni konsantrasyonu tüm mevsimlerde sırasıyla; 1.76±0.240 mg/kg, 4.58±2.750 mg/kg, 4.02±2.53 mg/kg ve 2.06±1.19 mg/kg bulunmuştur. Ni konsantrasyonları mevsimler arasında değerlendirildiğinde yaz>sonbahar>kış>ilkbahar şeklinde bir sıralama ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.4.2.1.1-4.4.2.1.4). Solungaçlardaki ortalama Ni konsantrasyonu tüm mevsimlerde sırasıyla; 6.08±2.690 mg/kg, 0.66±0.658 mg/kg, 5.57±2.62 mg/kg, 2.54±1.56 mg/kg olarak bulunmuştur. Ni konsantrasyonları mevsimler arasında

değerlendirildiğinde ilkbahar>sonbahar>kış>yaz şeklinde bir sıralama ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.4.2.1.1-4.4.2.1.4). Yapılan bir başka çalışmada, *Petrocephalus bovei* türünde en yüksek Mn ve Ni konsantrasyonu baş kısmında gözlenirken diğer türlerde düşük konsantrasyonlar göstermiştir (Dabak ve ark., 2019).

**Çizelge 4.4.2.1.1** İlkbahar mevsiminde örneklenen *A. chalcoides* bireylerinin dokularında belirlenen esansiyel metal konsantrasyonları (\*:limit değer üzerinde (\*IAEA, 2003); E.M.: Eser Miktarda)

| Element (mg/kg) | Kas (Ort.±SH) (Min.-Maks.)           | Karaciğer (Ort.±SH) (Min.-Maks.) | Solungaç (Ort.±SH) (Min.-Maks.) |
|-----------------|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Mn              | 1.09 ± 0.196<br>0.58 - 2.03          | 5.85 ± 0.390<br>5.46 - 6.24      | 8.98 ± 0.863<br>6.90 - 13.75    |
| Fe              | 51.70 ± 10.000<br>27.10 - 106.00     | 100.30 ± 1.620<br>98.71 - 101.95 | 78.50 ± 8.390<br>50.21 - 108.76 |
| Co              | E.M.                                 | E.M.                             | E.M.                            |
| Cu              | 1.16 ± 0.232<br>0.53 - 2.35          | 3.67 ± 1.230<br>2.44 - 4.91      | 2.27 ± 0.475<br>0.54 - 3.89     |
| Zn              | 12.96 ± 1.990<br>7.77 - 22.80        | 22.95 ± 0.775<br>22.17 - 23.72   | 42.48 ± 3.780<br>27.39 - 53.90  |
| Ni              | <b>3.16*</b> ± 1.730<br>0.15 - 10.87 | 1.76 ± 0.240<br>1.52 - 2.00      | 6.08 ± 2.690<br>0.19 - 15.79    |

**Çizelge 4.4.2.1.2** *A. chalcoides* bireylerinin dokularında yaz mevsiminde belirlenen esansiyel metal konsantrasyonları (\*: limit değer üzerinde (\*IAEA, 2003); E.M.: Eser Miktarda)

| Element (mg/kg) | Kas (Ort.±SH) (Min.-Maks.)          | Karaciğer (Ort.±SH) (Min.-Maks.)   | Solungaç (Ort.±SH) (Min.-Maks.) |
|-----------------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Mn              | 2.83 ± 0.560<br>0.90 - 4.18         | 21.60 ± 16.400<br>5.20 - 37.90     | 20.76 ± 4.790<br>6.97 - 31.98   |
| Fe              | 63.21 ± 3.890<br>49.74 - 70.41      | 182.80 ± 18.300<br>164.60 - 201.10 | 81.12 ± 5.290<br>69.20 - 97.30  |
| Co              | E.M.                                | E.M.                               | E.M.                            |
| Cu              | 1.99 ± 0.693<br>0.12 - 3.87         | 27.3 ± 16.200<br>11.10 - 43.50     | 3.10 ± 0.951<br>E.M. - 5.51     |
| Zn              | 11.15 ± 0.815<br>8.82 - 13.86       | 44.80 ± 14.400<br>30.40 - 59.20    | 43.25 ± 3.730<br>30.22 - 51.14  |
| Ni              | <b>1.72*</b> ± 1.120<br>E.M. - 5.48 | 4.58 ± 2.750<br>1.82 - 7.33        | 0.66 ± 0.658<br>E.M. - 3.29     |

**Çizelge 4.4.2.1.3** *A. chalcoides* bireylerinin dokularında sonbahar mevsiminde belirlenen esansiyel metal konsantrasyonları (\*: limit değerin üzerinde (\*IAEA, 2003); E.M.: Eser Miktarda)

| Element<br>(mg/kg) | Kas<br>(Ort.±SH)<br>(Min.-Maks.) | Karaciğer<br>(Ort.±SH)<br>(Min.-Maks.) | Solungaç<br>(Ort.±SH)<br>(Min.-Maks.) |
|--------------------|----------------------------------|--|---------------------------------------|
| Mn                 | 3.93* ± 0.581                    | 23.24 ± 6.990                          | 29.05 ± 4.500                         |
|                    | 2.26 - 5.98                      | 10.94 - 35.14                          | 17.13 - 44.65                         |
| Fe                 | 45.00 ± 6.420                    | 115.90 ± 27.600                        | 74.90 ± 12.300                        |
|                    | 28.28 - 63.77                    | 69.90 - 165.20                         | 45.40 - 122.30                        |
| Co                 | E.M.                             | E.M.                                   | E.M.                                  |
| Cu                 | 2.99 ± 0.851                     | 18.02 ± 6.340                          | 4.13 ± 1.080                          |
|                    | 0.13 - 5.32                      | 9.96 - 30.53                           | 1.36 - 8.74                           |
| Zn                 | 9.24 ± 1.280                     | 44.70 ± 13.500                         | 46.91 ± 6.520                         |
|                    | 4.04 - 12.99                     | 18.20 - 62.30                          | 27.75 - 70.56                         |
| Ni                 | 2.28* ± 1.330                    | 4.02 ± 2.530                           | 5.57 ± 2.620                          |
|                    | E.M. - 6.59                      | E.M. - 8.70                            | E.M. - 14.65                          |

**Çizelge 4.4.2.1.4** *A. chalcoides* bireylerinin dokularında kış mevsiminde belirlenen esansiyel metal konsantrasyonları (\*: limit değerin üzerinde (\*IAEA, 2003; \*\*FAO, 1983); E.M.: Eser Miktarda)

| Element<br>(mg/kg) | Kas<br>(Ort.±SH)<br>(Min.-Maks.) | Karaciğer<br>(Ort.±SH)<br>(Min.-Maks.) | Solungaç<br>(Ort.±SH)<br>(Min.-Maks.) |
|--------------------|----------------------------------|--|---------------------------------------|
| Mn                 | 3.38 ± 0.655                     | 28.10 ± 4.930                          | 23.04 ± 1.950                         |
|                    | 2.16 - 7.22                      | 18.71 - 39.44                          | 15.97 - 31.52                         |
| Fe                 | 41.61 ± 6.980                    | 72.30 ± 10.200                         | 55.78 ± 3.120                         |
|                    | 25.27 - 70.13                    | 50.30 - 95.70                          | 43.87 - 66.82                         |
| Co                 | E.M.                             | E.M.                                   | E.M.                                  |
| Cu                 | 10.55*** ± 6.010                 | 4.00 ± 0.510                           | 4.42 ± 0.916                          |
|                    | 1.57 - 51.04                     | 2.47 - 4.53                            | 1.58 - 9.84                           |
| Zn                 | 13.38 ± 1.760                    | 39.82 ± 2.580                          | 35.17 ± 2.010                         |
|                    | 7.55 - 23.37                     | 36.59 - 47.50                          | 28.67 - 44.08                         |
| Ni                 | 0.70* ± 0.450                    | 2.06 ± 1.190                           | 2.54 ± 1.56                           |
|                    | E.M. - 3.47                      | E.M. - 4.30                            | E.M. - 11.93                          |

Doku ve organların metal birikimi açısından gösterdikleri farklılıklar, işlevlerindeki farklılıkla açıklanabilir (Cicik, 2003). Diğer dokulara göre metal birikiminin en az kas dokusunda olması, kas dokusunun diğer doku örnekleri ve balık organları ile karşılaştırıldığında daha az aktif olması olabilir. Fakat kas, insanlar tarafından tüketildiği için metal kirliliğinin rutin izlenmesi altındaki ana ilgi alanıdır (Canpolat, 2013). *Puntius ticto*, *Heteropneustes fossilis* ve *C. punctatus* türlerinin ağır metal konsantrasyonları karaciğerde; böbrek, bağırsak ve kastaki birikimden daha yüksek bulunmuş en yüksek metal konsantrasyonu *P. ticto* türünde tespit edilmiştir (Baki ve ark., 2019). Organizmalardaki ağır metal birikim seviyesi, ortamdaki değişikliklerin seviyesinden çok daha yüksektir. Bu birikim seviyesi metalin türüne ve konsantrasyonuna bağlı olduğu kadar organizmanın türüne, yaşına, yaşadığı ortamın su kalitesine, beslenme tipine ve yakalandığı mevsime göre değişebilir (Biney ve ark., 1994; McCoy ve ark., 1995; Çalta, 1996; Özkan ve ark., 1997; Canpolat, 2013).

Ayanda ve ark., (2019) dört balık türünde yaptıkları çalışmada, *O. niloticus*'ta Pb, *Chrysichthys nigrodigitatus* türünde ise Mn elementini tespit etmişlerdir. Birkaç durum haricinde, *O. niloticus* türünün kas dokusunda Pb, *Parachanna obscura* türünün kas dokusunda ise Ni birikimleri karaciğer ve solungaçlarda daha fazla olmuştur. Mar (2019) *Mystus cavasius*, *M. leucophasis* ve *Wallago attu* balık türlerinin kas dokularında Ca'un en fazla biriken metal iken Pb'un en düşük birikim gösteren metal olduğunu bildirmiştir. Cd tespit edilememiş ve metal birikiminin sırası Ca>Fe>Pb şeklinde bulunmuştur. Çalışılan balıkların kaslarındaki Ca ve Fe, FAO/WHO belirtilen limit değerlerden düşük, Pb ise yüksek bulunmuştur. *M. cavasius* türü dışında diğer balıkların kas dokularında Cd tespit edilmemiştir. Ayrıca, ağır metallerin, özellikle derin suda beslenen Cyprinidae türleri için su ekosistemleri için tehlikeli olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, bu türlerin avcı balıklarla karşılaştırıldığında daha fazla kirlendikleri tespit edilmiştir (Popek ve ark., 2003). Sonuçlardaki farklılıklar karasal çevrenin neden olduğu evsel ve endüstriyel atıklar ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanabilir. Sucul ekosistemin doğrudan veya dolaylı olarak atıklarla kirlenmesi sonucu ağır metal konsantrasyon seviyesinin yükselmesi kaçınılmazdır (Seng ve ark., 1995; Karadede ve Ünlü 2000; Karadede ve ark., 2004; Canpolat, 2013). Yardım ve Bat (2019) Sinop ilindeki Sırakaraağaçlar Deresi'nden örneklenen *C. carpio* türünün solungaç, karaciğer ve kas dokularındaki Zn, Cu, Pb ve Cd seviyelerini araştırmışlardır. En yüksek Pb konsantrasyonu (0.66 mg/kg yaş ağırlık), solungaç dokusundayken Zn (23 mg/kg yaş ağırlık), Cu (6.2 mg/kg yaş ağırlık) ve Cd (0.081 mg/kg yaş ağırlık) konsantrasyonları karaciğerde birikim göstermiştir. Analiz edilen tüm metaller için en düşük konsantrasyonlar kas dokusunda tespit edilmiştir. Sazanların yenilebilir dokularında Zn, Cu, Pb ve Cd metallerinin konsantrasyonları sırasıyla 6, 0.6, 0.025 ve 0.015 mg/kg bulunmuştur. Sonuçlar ölçülen tüm metallerin *C. carpio*'nun yenilebilir dokularındaki konsantrasyonlarının belirtilen limit değerlerin altında olduğunu göstermiştir. Nzeve ve Kitur (2019) Masinga Barajı'nda belirlenen beş örnekleme alanından toplanan *C. carpio* türünün kaslarında on iki ay boyunca Pb, Cd, Cr, Cu, Zn ve Mn elementlerinin birikimini değerlendirmişlerdir. Balık kaslarındaki ortalama metal konsantrasyonları Cu için 0.519-1.422, Zn için 39.466-62.233, Pb için 0.994-1.424, Cr için 0.324-0.709 ve Mn içinse 0.659-1.432 mg/kg aralığında tespit edilmiştir. İncelenen balık türlerinin kaslarındaki ağır metal konsantrasyonları, Cr hariç Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO, 1989) balık türleri için

belirlediği sınır değerlerden düşük bulunmuştur. Balık kaslarındaki yüksek Cr konsantrasyonları, büyük olasılıkla havzada bulunan tabakhanelerin arıtılmamış veya yeterince arıtılmamış atık sularının bir işareti olduğu bildirilmiştir.

Uzun süre ağır metallere maruz kalan balıklar, bu metalleri karaciğer gibi metabolik olarak aktif olan organlarında daha çok birikirler. Karaciğerde çok sayıda metallothionein proteini bulunmaktadır. Ağır metaller balık vücuduna girdiğinde öncelikle birbirleriyle kompleks oluşturabilen metallothionein proteinlerine bağlanırlar (Kargın ve Erdem, 1992; Ünlü ve ark., 2008; Kaptan ve Tekin-Özan, 2014). Sonuç olarak karaciğerde yüksek oranda tespit edilen metal konsantrasyonları; balık biyolojisinin olumsuz yönde etkilenmesine ve bu organdaki kimyasal parametrelerin düşmesine neden olur (Ferguson, 1989; Kaptan ve Tekin-Özan, 2014).

Bir balığın tüm dış yüzeyinin yarısından fazlasını oluşturan dokusu ise solungaçlardır. Dış ortamdaki metaller için ilk hedef doku olup metallerin vücuda alınışında önemli role sahiptir (Tao ve ark., 1999; Kaptan ve Tekin-Özan, 2014). Metallerin vücuda alınışında ilk hedef doku oluşu, toksik etkilerin ilk olarak burada görülmesine neden olur. Bunun asıl sebebi ise lamelli yapıları ile geniş bir yüzey alanına sahip olmaları ve dış ortamla doğrudan temas halinde olmaları gelir. Bunların yanında su ve kan arasındaki difüzyon aralığı çok kısadır (Kalay ve Erdem, 1995; Kuşatan ve Cicik, 2004; Kaptan ve Tekin-Özan, 2014).

#### **4.4.2.2 A. *chalcoides* Bireylerinin Organ ve Dokularındaki Esansiyel Olmayan Ağır Metallerin Birikimi**

Curi Deresi'nde belirlenen altı istasyondan mevsimlere göre örneklenen *A. chalcoides* bireylerinin kas doku, karaciğer ve solungaçlarındaki esansiyel olmayan (Al, As, Cd, Cr, Pb) elementlerin konsantrasyonları Çizelge 4.4.2.2.1-4.4.2.2.4'de verilmiştir.

Kas dokusunda tespit edilen ortalama Al konsantrasyonu tüm mevsimlerde sırasıyla; 58.9±26.000 mg/kg, 98.60±22.500 mg/kg, 189.70±37.000 mg/kg ve 126.6±15.2 mg/kg bulunmuştur. Değerler incelendiğinde, kas dokusunda tespit edilen Al konsantrasyonlarının IAEA (2003)'da bildirilen limit değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir. Al konsantrasyonları mevsimler arasında değerlendirildiğinde sonbahar>kış>yaz>ilkbahar şeklinde bir sıralama ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.4.2.2.1-4.4.2.2.4). Karaciğerdeki ortalama Al konsantrasyonu tüm mevsimlerde sırasıyla;



39.59±1.410 mg/kg, 280±217 mg/kg, 307.40±72.200 mg/kg ve 210.80±39.500 mg/kg bulunmuştur. Al konsantrasyonları mevsimler arasında değerlendirildiğinde sonbahar>yaz>kış>ilkbahar şeklinde bir sıralama ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.4.2.2.1-4.4.2.2.4). Solungaçlardaki ortalama Al konsantrasyonu tüm mevsimlerde sırasıyla; 46.80±9.990 mg/kg, 123.10±38.500 mg/kg, 210.30±45.600 mg/kg, 159.00±14.700 mg/kg bulunmuştur. Al konsantrasyonları mevsimler arasında değerlendirildiğinde sonbahar>kış>yaz>ilkbahar şeklinde bir sıralama ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.4.2.2.1-4.4.2.2.4). Kontaş (2018) Melet Irmağı'nın Kocaali istasyonundan örnekledikleri *A. chalcoides* bireylerinde ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde sırasıyla; 4.59 mg/kg, 5.11 mg/kg, 3.32 mg/kg ve 6.59 mg/kg olarak, nehir ağzı istasyonundan yakalanan *A. chalcoides* bireylerinde ise tüm mevsimlerde sırasıyla; 2.63 mg/kg, 1.8 mg/kg, 5.63 mg/kg ve 18.50 mg/kg olarak tespit etmiştir.

Al-Jobory ve Yücel, (2019) Razzaza Gölü su, sediment ve üç farklı balık türünde ağır metal birikimini araştırdıkları çalışmalarında; metaller arasında en yüksek konsantrasyona sahip metalin su, sediment ve balık dokuları için Al olduğunu bildirmişlerdir. Göl suyunda tespit edilen ağır metal seviyeleri, su ortamında izin verilen ağır metal seviyelerinin altında tespit edilmiştir. Sedimentte As, Cu, Pb, Hg ve Zn metalleri en düşük konsantrasyona sahip iken Cd ve Ni metalleri ise en yüksek konsantrasyona sahip olan metaller olarak tespit edilmiştir. Gölde ağır metal birikim sırası; sediment>balık (karaciğer>solungaç>kas dokusu)>göl suyu olarak tespit edilmiştir. Tüm dokulardaki Pb seviyeleri ve *Ctenopharyngodon idella* solungaçlarındaki Ni seviyeleri, FAO ve Türkiye mevzuatı tarafından önerilen ve izin verilen seviyelerin üzerinde tespit edilmiştir. *C. carpio* ve *B. grypus* türlerinin kaslarındaki metal seviyesinin FAO ve Türkiye mevzuatı tarafından önerilen ve izin verilen seviyeleri aşmadığı ve bu balıkların insan tüketim için güvenli kabul edildiği bildirilmiştir.

Kas dokusundaki ortalama As konsantrasyonu tüm mevsimlerde sırasıyla; 0.02±0.012 mg/kg, E.M., 0.02±0.010 mg/kg ve 0.06±0.054 mg/kg bulunmuştur. Değerler incelendiğinde, kas dokusunda tespit edilen As konsantrasyonlarının Çizelge 4.4.2.1'de belirtilen limit değerlerin üzerinde olmadığı görülmektedir. As konsantrasyonları mevsimler arasında değerlendirildiğinde; kış>ilkbahar=sonbahar>yaz şeklinde bir sıralama ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.4.2.2.1-4.4.2.2.4). Karaciğerdeki ortalama As konsantrasyonu tüm mevsimlerde sırasıyla;

0.01±0.005 mg/kg, 0.07±0.067 mg/kg, 0.09±0.067 mg/kg ve 0.04±0.021 mg/kg bulunmuştur (Çizelge 4.4.2.2.1-4.4.2.2.4). Solungaçlardaki ortalama As konsantrasyonu tüm mevsimlerde sırasıyla; 0.05±0.024 mg/kg, 0.03±0.012 mg/kg, 0.04±0.021 mg/kg, 0.06±0.018 mg/kg bulunmuştur. As konsantrasyonları mevsimler arasında değerlendirildiğinde; kış>ilkbahar>sonbahar>yaz şeklinde bir sıralama ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.4.2.2.1-4.4.2.2.4).

Solgi ve ark., (2019) Hazar Denizi'nden örnekledikleri ekonomik açıdan önemli iki balık türünün (*C. carpio*, *Chelon aurata*) karaciğer, solungaç, böbrek ve kaslarındaki ağır metallerin (kadmium, kurşun, arsenik, cıva, çinko, bakır, mangan ve kobalt) konsantrasyonlarını belirleyerek balık tüketicileri için potansiyel insan sağlığı risklerini de incelemiştir. Her iki balık türünde de Zn konsantrasyonu dokularda en yüksek seviyeleri gösterirken, As konsantrasyonları genellikle diğer metallerden daha düşük belirlenmiştir. Her iki balık türünde de As, Cd, Pb, Mn, Co, Cu ve Zn konsantrasyonlarının dağılımı karaciğer>solungaç>böbrek>kas sırasını izlemiştir. Varyans analizinin sonuçları her iki balık türünde de farklı dokulardaki metal konsantrasyonlarında anlamlı ( $P<0.05$ ) farklılıklar göstermiştir. Elde edilen konsantrasyonlar balık tüketimi için belirtilen referans değerlerinin altında tespit edilmiştir. Bu bulgular her iki balık türünün kaslarının tüketilmesi yoluyla metal alımının insanlar için kayda değer bir tehlike teşkil etmediğini göstermiştir. Metal konsantrasyonlarının *C. carpio* türünün karaciğeri, *C. aurata* türünün kas dokusu ve her iki balık türünün solungaçlarında; As>Co>Cd>Mn>Pb>Cu>Zn, *C. aurata* türünün karaciğerinde; As>Cd>Mn>Co>Pb>Cu>Zn, *C. carpio* türünün böbreklerinde; As>Cd>Co>Mn>Pb>Cu>Zn, *C. aurata* türünün böbreklerinde; As>Cd~Co>Mn>Pb>Cu>Zn, *C. carpio* türünün kas dokusunda; As>Cd>Pb>Mn>Co>Cu>Zn sırasını izlediği belirlenmiştir.

Kas dokusundaki ortalama Cr konsantrasyonu tüm mevsimlerde sırasıyla; 0.09±0.032 mg/kg, 0.13±0.016 mg/kg, 0.11±0.028 mg/kg ve 0.17±0.031 mg/kg olarak bulunmuştur. Veriler incelendiğinde, kas dokusundaki Cr konsantrasyonunun belirtilen limit değerinin üzerinde olmadığı görülmüştür. Karaciğerdeki ortalama Cr konsantrasyonu tüm mevsimlerde sırasıyla; 0.12±0.101 mg/kg, 0.10±0.055 mg/kg, 0.14±0.081 mg/kg ve 0.24±0.030 mg/kg bulunmuştur. Cr konsantrasyonları mevsimler arasında değerlendirildiğinde kış>sonbahar>ilkbahar>yaz şeklinde bir sıralama ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.4.2.2.1-4.4.2.2.4). Solungaçlardaki ortalama Cr

konsantrasyonu tüm mevsimlerde sırasıyla;  $0.15\pm 0.016$  mg/kg,  $0.15\pm 0.023$  mg/kg,  $0.17\pm 0.052$  mg/kg,  $0.18\pm 0.012$  mg/kg bulunmuştur. Cr konsantrasyonları mevsimler arasında değerlendirildiğinde kış>sonbahar>ilkbahar=yaz şeklinde bir sıralama ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.4.2.2.1-4.4.2.2.4).

A. *chalcoides* bireylerinin kas dokusunda, karaciğerde ve solungaçlarında hiçbir mevsimde Cd elementine rastlanmamıştır (Çizelge 4.4.2.2.1-4.4.2.2.4). Bu çalışmadan farklı olarak; Altinyazı Baraj Gölü'nden (Edirne) örneklenen *Blicca bjoerkna*, *C. carassius*, *C. carpio*, *P. fluviatilis* ve *S. lucioperca* türlerinin kas, karaciğer, solungaç ve böbrek dokularındaki ağır metal birikimleri araştırılmış, balık dokularında belirlenen Cr, Cu, Fe, Mn ve Zn konsantrasyonları kabul edilebilir sınır değerler düzeyinde belirlenirken; Cd ve Pb konsantrasyonları sınır değerlerin üzerinde tespit edilmiştir (Çetin ve ark., 2016). Bir başka çalışmada ise; Aytekin ve ark., (2019) İskenderun Yumurtalık Sahillerinde *Solea solea*, *Sparus aurata* türlerinin ağır metal konsantrasyonlarını belirledikleri çalışmalarında dokulardaki Cu, Fe, Pb ve Zn konsantrasyonlarını yüksek, Cd seviyelerini ise nispeten daha düşük tespit etmişlerdir. Ancak Avrupa Birliği ve Gıda ve Tarım Örgütü'nün balık ve karides için belirtilen sınır değerleri ile karşılaştırıldığında, Cu, Fe ve Zn ortalama konsantrasyonları kabul edilebilir değerlerde iken, Cd ve Pb ortalama konsantrasyonları belirtilen sınır değerlerin üzerine tespit edilmiştir. *S. solea* ve *S. aurata*'da metal birikimleri; Fe>Zn>Pb>Cu>Cd şeklinde belirlenmiştir. Balıkların kas dokularında en fazla Zn metali birikim gösterirken, en az Cd metali birikim göstermiştir. Ayrıca kas dokularında birikim gösteren Cd ve Pb konsantrasyonlarının çeşitli sağlık kuruluşları tarafından belirlenen insan sağlığı için kabul edilebilir sınır değerlerden yüksek olduğu bulunmuş ve tüketiciler için olası bir sağlık riski oluşturabileceği bildirilmiştir. Sattari ve ark., (2019) Hazar Denizi'nin güney kıyılarından üç farklı balıkçılık bölgesinden örnekleedikleri (Astara, Anzali, Kiashahr) 77 adet *A. chalcoides* bireyinin kas ve karaciğer dokularındaki element konsantrasyonunu Eylül 2017 ile Haziran 2018 tarihleri arasında incelemişlerdir. Balık kasındaki ve karaciğer dokularındaki element konsantrasyonlarını ölçmek için ICP-OES kullanılmıştır. Karaciğer dokusunda 27, kas dokusunda ise 22 farklı element tespit edilmiş; *A. chalcoides*'in kasındaki element konsantrasyonları uluslararası standartlar tarafından önerilen izin verilen maksimum seviyelerden anlamlı derecede düşük bulunmuştur. Balıkların karaciğerlerinde Co

elementine, kas dokusunda ise Co ve Cd elementlerine rastlanmamıştır. Bu açıdan bizim çalışmamızla benzerlik göstermektedir.

Kas dokusundaki ortalama Pb konsantrasyonu ilkbahar mevsiminde  $0.03\pm 0.013$  mg/kg, yaz mevsiminde  $0.07\pm 0.045$  mg/kg ve sonbahar mevsiminde  $0.01\pm 0.006$  mg/kg bulunmuştur. Kış mevsiminde ise Pb elementine kas dokusunda rastlanmamıştır. Tüm mevsimlere ait veriler incelendiğinde, kas dokusundaki Pb konsantrasyonunun belirtilen limit değerin üzerinde olmadığı görülmüştür (Çizelge 4.4.2.2.1-4.4.2.2.4). *A. chalcoides* örneklerinin kas dokusunda belirlenen Pb konsantrasyonlarının ortalamaları E.M.-0.07 mg/kg değerleri arasında bulunmuştur. Çizelge 4.4.2.1'de belirtilen sınır değerler ile karşılaştırıldığında balıkların kas dokusunda belirlenen Pb konsantrasyonunun hiçbir mevsimde limit değeri aşmadığı hatta tehlikeli bir birikim göstermediği belirlenmiştir. Karaciğerdeki ortalama Pb konsantrasyonu ilkbahar mevsiminde  $0.04\pm 0.011$  mg/kg, yaz mevsiminde  $0.40\pm 0.011$  mg/kg ve sonbahar mevsiminde  $0.01\pm 0.008$  mg/kg bulunmuştur. Kış mevsiminde ise Pb elementine karaciğer dokusunda rastlanmamıştır (Çizelge 4.4.2.2.1-4.4.2.2.4). Solungaçlardaki ortalama Pb konsantrasyonu ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla;  $0.26\pm 0.184$  mg/kg,  $0.12\pm 0.094$  mg/kg,  $0.01\pm 0.006$  mg/kg bulunmuştur. Kış mevsiminde ise Pb konsantrasyonuna rastlanmamıştır (Çizelge 4.4.2.2.1-4.4.2.2.4).

Dukić ve ark., (2019) Karadağ'ın Bar Bölgesi'nden örnekledikleri on beş farklı balık türünde Pb konsantrasyonunu en yüksek 1.12 mg/kg ile *Trachurus mediterraneus* türünün kas dokusunda tespit etmişlerdir. Bunu 0.78 mg/kg ile *M. cephalus*, 0.75 mg/kg ile *Oblada melanura* türleri takip etmiştir. İnsan ve hayvan hastalıklarını ve çevre kirliliğini önlemek için Pb ve diğer ağır metallerin konsantrasyonlarının su, sediment ve balıkta sürekli izlenmesi gerektiği bildirilmiştir. Shaqiri ve ark., (2019) Makedonya Vardar Nehri'nden örnekledikleri *S. cephalus* ve *B. barbuis* türlerinin kas, karaciğer ve deri dokularındaki Pb birikimini tespit etmeyi amaçladıkları çalışmada doku örneklerinde biriken metal konsantrasyonlarının karaciğer>kas>deri şeklinde olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada Pb konsantrasyonunun analiz edilen dokularda ve belirlenen dokuz farklı lokasyonda değişiklik gösterdiği gözlenmiştir. Bu bulgu, balık dokularında ağır metal birikimi arasındaki farklarla ilgili diğer çalışmalarla uyumludur.

**Çizelge 4.4.2.2.1** *A. chalcoides* bireylerinin dokularında ilkbahar mevsiminde belirlenen esansiyel olmayan metal konsantrasyonları (\*: limit değerin üzerinde (\*IAEA, 2003); E.M.: Eser Miktarda)

| Element<br>(mg/kg) | Kas<br>(Ort.±SH)<br>(Min.-Maks.)        | Karaciğer<br>(Ort.±SH)<br>(Min.-Maks.) | Solungaç<br>(Ort.±SH)<br>(Min.-Maks.) |
|--------------------|---|--|---------------------------------------|
| Al                 | <b>58.90*</b> ± 26.000<br>3.90 - 208.70 | 39.59 ± 1.410<br>38.17 - 41.00         | 46.80 ± 9.990<br>10.07 - 84.80        |
| As                 | 0.02 ± 0.012<br>E.M. - 0.09             | 0.01 ± 0.005<br>E.M. - 0.01            | 0.05 ± 0.024<br>E.M. - 0.13           |
| Cr                 | 0.09 ± 0.032<br>E.M. - 0.27             | 0.12 ± 0.101<br>0.02 - 0.22            | 0.15 ± 0.016<br>0.01 - 0.22           |
| Cd                 | E.M.                                    | E.M.                                   | E.M.                                  |
| Pb                 | 0.03 ± 0.013<br>E.M. - 0.08             | 0.04 ± 0.011<br>0.03 - 0.05            | 0.26 ± 0.184<br>0.00 - 1.34           |

**Çizelge 4.4.2.2.2** *A. chalcoides* bireylerinin dokularında yaz mevsiminde belirlenen esansiyel olmayan metal konsantrasyonları (\*: limit değerin üzerinde (\*IAEA, 2003); E.M.: Eser Miktarda)

| Element<br>(mg/kg) | Kas<br>(Ort.±SH)<br>(Min.-Maks.)         | Karaciğer<br>(Ort.±SH)<br>(Min.-Maks.) | Solungaç<br>(Ort.±SH)<br>(Min.-Maks.) |
|--------------------|--|--|---------------------------------------|
| Al                 | <b>98.60*</b> ± 22.500<br>56.90 - 180.80 | 280 ± 217<br>63 - 497                  | 123.10 ± 38.500<br>53.10 - 271.30     |
| As                 | E.M.<br>E.M.                             | 0.07 ± 0.067<br>E.M. - 0.13            | 0.03 ± 0.012<br>E.M. - 0.05           |
| Cr                 | 0.13 ± 0.016<br>0.08 - 0.17              | 0.10 ± 0.055<br>0.05 - 0.16            | 0.15 ± 0.023<br>0.07 - 0.21           |
| Cd                 | E.M.                                     | E.M.                                   | E.M.                                  |
| Pb                 | 0.07 ± 0.045<br>E.M. - 0.20              | 0.40 ± 0.011<br>0.38 - 0.41            | 0.12 ± 0.094<br>E.M. - 0.48           |

**Çizelge 4.4.2.2.3** *A. chalcoides* bireylerinin dokularında sonbahar mevsiminde belirlenen esansiyel olmayan metal konsantrasyonları (\*: limit değerin üzerinde (\*IAEA, 2003); E.M.: Eser Miktarda)

| Element<br>(mg/kg) | Kas<br>(Ort.±SH)<br>(Min.-Maks.)           | Karaciğer<br>(Ort.±SH)<br>(Min.-Maks.) | Solungaç<br>(Ort.±SH)<br>(Min.-Maks.) |
|--------------------|--|--|---------------------------------------|
| Al                 | <b>189.70*</b> ± 37.000<br>101.00 - 316.70 | 307.40 ± 72.200<br>169.70 - 414.10     | 210.30 ± 45.600<br>109.40 - 406.80    |
| As                 | 0.02 ± 0.010<br>E.M. - 0.06                | 0.09 ± 0.067<br>E.M. - 0.22            | 0.04 ± 0.021<br>E.M. - 0.13           |
| Cr                 | 0.11 ± 0.028<br>E.M. - 0.18                | 0.14 ± 0.081<br>E.M. - 0.28            | 0.17 ± 0.052<br>0.09 - 0.43           |
| Cd                 | E.M.                                       | E.M.                                   | E.M.                                  |
| Pb                 | 0.01 ± 0.006<br>E.M. - 0.03                | 0.01 ± 0.008<br>E.M. - 0.03            | 0.01 ± 0.006<br>E.M. - 0.03           |

**Çizelge 4.4.2.2.4** *A. chalcoides* bireylerinin dokularında kış mevsiminde belirlenen esansiyel olmayan metal konsantrasyonları (\*: limit değerin üzerinde (\*IAEA, 2003); E.M.: Eser Miktarda)

| Element<br>(mg/kg) | Kas<br>(Ort.±SH)<br>(Min.-Maks.) | Karaciğer<br>(Ort.±SH)<br>(Min.-Maks.) | Solungaç<br>(Ort.±SH)<br>(Min.-Maks.) |
|--------------------|----------------------------------|--|---------------------------------------|
| Al                 | 126.6* ± 15.2<br>57.80 - 178.10  | 210.80 ± 39.500<br>155.90 - 326.80     | 159.00 ± 14.700<br>120.10 - 223.10    |
| As                 | 0.06 ± 0.054<br>E.M. - 0.44      | 0.04 ± 0.021<br>E.M. - 0.08            | 0.06 ± 0.018<br>E.M. - 0.13           |
| Cr                 | 0.17 ± 0.031<br>0.0001 - 0.30    | 0.24 ± 0.030<br>0.18 - 0.32            | 0.18 ± 0.012<br>0.13 - 0.23           |
| Cd                 | E.M.                             | E.M.                                   | E.M.                                  |
| Pb                 | E.M.                             | E.M.                                   | E.M.                                  |

Yapılan birçok çalışma incelendiğinde; balıkların doku ve organlarındaki en yüksek ağır metal birikiminin karaciğer ve solungaç dokusunda, en düşük birikimin ise kas dokusunda olduğu bildirilmiştir (Köse, 2007; Yılmaz ve Doğan, 2007; Erdoğan ve Erbilir, 2007; Tekin-Özan ve Kır, 2008; Türkoğlu, 2008; Alhas ve ark., 2009; Mol ve ark., 2010; Kır ve Tumantozlu, 2012; Kaptan ve Tekin-Özan, 2014). Ağır metallerin solungaçta yüksek çıkmasının nedeni bu dokunun su ve sediment ile doğrudan temas halinde olmasından; karaciğerde yüksek çıkmasının nedeni ise karaciğerin metabolik olarak aktif bir doku olmasından kaynaklanmış olabilir.

Salam ve ark., (2019a) yaptıkları çalışmada, Malezya'da yaygın olarak tüketilen dört balık türünün (*Euthynnus affinis*, *Descapterus macrosoma*, *Leiognathus daura* ve *Pampus argenteus*) kas, karaciğer ve solungaçlarındaki ağır metallerin (Zn, Cu, Fe, Cd ve Pb) birikimini tespit etmişlerdir. Tüm balık türlerindeki ağır metallerin konsantrasyonları Malezya Gıda Yasası'na göre düşük olmasına rağmen, konsantrasyonlar dokular arasında değerlendirildiğinde dikkate değer farklılıklar göstermiştir. Tüm balık türlerinde ağır metal konsantrasyonu en yüksek solungaçlarda tespit edilmiş bunu karaciğer ve kas dokusu takip etmiştir. Ağır metallerin toplam birikimi en yüksek *E. affinis* türünde tespit edilmiş, bunu *L. daura*, *D. macrosoma* ve *P. argenteus* türleri takip etmiştir. Balığın tüm ağır metal içerikleri arasında en yüksek konsantrasyonlar; Zn ( $72.97 \pm 2.75$  µg/g), Fe ( $4.309 \pm 0.68$  µg/g), Cd ( $1.189 \pm 0.78$  µg/g), Cu ( $1 \pm 0.87$  µg/g) ve Pb'da ( $0.41 \pm 0.19$  µg/g) bulunmuştur. Ağır metallerin genellikle balıkların kas dokularında düşük seviyede tespit edilmesinin nedeni kas dokusunun aktif bir organ olmamasından kaynaklanmaktadır (Kır ve Tumantozlu, 2012).

Literatür taramaları sonucunda ağır metal birikiminin mevsimsel değişiminin araştırıldığı çalışmalara çok fazla rastlanmamıştır. Tekin Özan ve Kır (2008),

yaptıkları çalışmada Beyşehir Gölü'nden örneklenen sazan dokularındaki ağır metal konsantrasyonunun yaz ve kış mevsimlerinde yükseldiğini, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde ise düştüğünü bildirmişlerdir. Balıkların farklı dokularında yapılan çalışmalarda en yüksek ağır metal birikiminin yaz mevsiminde olduğu ve birikimlerin mevsimler arasında farklılık gösterdiği tespit edilmiştir (Çalışkan, 2005; Kır ve ark., 2007). Tekin Özan ve ark., (2004) Kovada Gölü'nden örneklenen *S. lucioperca* türünün kas, karaciğer ve solungaç dokularında Fe, Zn ve Mn konsantrasyonlarının yaz mevsiminde artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Keban Baraj Gölü'nde yaşayan *C. capota umbla*'nın bazı doku ve organlarındaki metal konsantrasyonlarının ilkbahar ve yaz mevsimlerinde arttığı, sonbahar ve kış mevsimlerinde ise azaldığı tespit edilmiştir (Çalta ve Canpolat, 2002).

Doğu Karadeniz'den örneklenen iki demersal balık türü olan mezgit ve barbunya balıklarının kas dokularındaki ağır metal (As, Cd, Co ve Zn) birikim düzeylerinin incelendiği çalışmada balık türleri arasındaki farklılığın istatistiksel açıdan önemli olduğu belirlenmiştir ( $P < 0.05$ ). Hem barbunya hem de mezgit türü için kas dokusundaki metal birikimlerinin yaz ve sonbahar mevsimlerinde daha fazla olduğu belirlenmiştir. Her iki balık türünün kas dokusundaki metal derişimlerinin farklılığının örneklendikleri lokasyonlar açısından istatistiksel manada önemli olduğu bildirilmiştir (Alkan ve ark., 2016). Darweesh ve ark., (2019) yaptıkları çalışmada ağır metal konsantrasyonunu en yüksek kış mevsiminde, en düşük ise yaz mevsiminde belirlemişlerdir. Üstelik Pb konsantrasyonu yaz mevsimi hariç her mevsimde, Cd konsantrasyonu ise sonbahar ve kış mevsimlerinde kabul edilebilir limit değerlerin üzerinde bulunmuştur. Balık örneklerinin solungaçlarındaki ağır metal konsantrasyonları kas dokusunda belirlenen konsantrasyonlardan çok daha yüksek belirlenmiştir. Bu çalışmada *A. chalcoides* bireylerinin kas dokusundaki metal birikimi sonbahar ve kış mevsimlerinde artış gösterirken; ilkbahar ve yaz mevsimlerindeki birikimin azaldığı görülmüştür. Balık dokusundaki ağır metal birikiminin etkilerinin incelendiği MN ve comet analizlerinde de genel olarak sonbahar ve kış mevsimlerinde eritrositlerde meydana gelen hasar miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum ağır metal birikiminin bir etkisinin olduğunu göstermektedir.

Sulara belirli bir seviyede giren ağır metaller, biyotanın yaşamını tehlikeye atan ve deniz ekosistemlerinde diğer doğal kaynakları bozan kirliliğe neden olabilir (Murwani ve ark., 2019). Sonuçlar değerlendirildiğinde; Curi Deresi'nde yaşayan *A.*

*chalcoides* bireylerinin dokularında tespit edilen ağır metal miktarları, farklı sucul sistemlerdeki aynı veya farklı türlerle yapılan çalışmalarda tespit edilen ağır metal miktarları ile benzerlik ve farklılık göstermektedir. Organizmalarda birikim gösteren ağır metallerin konsantrasyonlarının farklı organ ve dokularda birikiminin tahmin edilmesi ya da standart bir birikim gösterdiklerinin belirtilmesi mümkün değildir. Çünkü balıkların organ ve dokularındaki element birikimlerinin; balıkların türüne, biyolojik özelliklerine, beslenme durumuna, cinsiyetine ve yaşadığı habitata, bu habitatın fiziko-kimyasal özelliklerine ve diğer çevresel faktörlere göre farklılık gösterdiği, ağır metalleri biriktirme düzeylerinin her tür için farklı olduğu bilinmektedir (Ersoy, 2006; Çağlak ve Karşlı, 2014; Konaş, 2018).

#### **4.4.2.3 A. *chalcoides* Bireylerinin Organ ve Dokularındaki Esansiyel Ağır Metallerin Mevsimlere Göre Birikimi**

Curi Deresi'nden örneklenen *A. chalcoides* türünün kas, karaciğer ve solungaç dokularında tespit edilen esansiyel element konsantrasyonları mevsimlere göre (Çizelge 4.4.2.3.1-4.4.2.3.3) ayrı ayrı verilmiş, önem düzeyleri belirlenmiş ve elde edilen veriler ulusal ve uluslararası standartlar ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.4.2.1).

Kas dokusunda tespit edilen Mn konsantrasyonu en yüksek sonbahar mevsiminde ( $3.93 \pm 0.581$  mg/kg) bulunmuş ve Çizelge 4.4.2.1'de belirtilen limit değerler ile karşılaştırıldığında IAEA (2003)'ya göre limit değerinin üzerinde tespit edilmiştir. Fe elementi de en yüksek yaz mevsiminde ( $63.21 \pm 3.890$  mg/kg) tespit edilmiştir. Co elementine hiçbir mevsimde balıkların kas dokusunda rastlanmamıştır. Cu elementi konsantrasyonları; ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde limit değerleri aşmamışken; kış mevsiminde  $10.55 \pm 6.010$  mg/kg değeri ile hem IAEA (2003)'ya hem de FAO (1983)'ya göre yüksek tespit edilmiştir. Ni elementinin konsantrasyonları *A. chalcoides* bireylerinin kas dokusunda tüm mevsimlerde IAEA (2003)'ya göre limit değerinin üzerinde bulunmuştur (Çizelge 4.4.2.3.1). Curi Deresi'nden örneklenen *A. chalcoides* bireylerinin kas dokularında tespit edilen esansiyel metallerin mevsimlere göre yıllık birikimleri arasındaki fark tek tek değerlendirilmiş Mn dışındaki tüm metallerin ortalama konsantrasyonları arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamsız bulunmuştur ( $P > 0.05$ ).



**Çizelge 4.4.2.3.1** *A. chalcoides* Bireylerinin Kas Dokularındaki Esansiyel Ağır Metallerin Mevsimlere Göre Birikimi (\*: Çizelge 4.4.2.1’de belirtilen limit değerlerin üzerinde; E.M.: Eser Miktarda)

| Element<br>(µg/g) | İlkbahar<br>(Ort±SH<br>Min-Maks)     | Yaz<br>(Ort±SH<br>Min-Maks)        | Sonbahar<br>(Ort±SH<br>Min-Maks)   | Kış<br>(Ort±SH<br>Min-Maks)           | Önem Düzeyi<br>(P) |
|-------------------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
|                   | <b>Mn</b>                            | 1.09 ± 0.196<br>0.58 - 2.03        | 2.83 ± 0.560<br>0.90 - 4.18        | <b>3.93*</b> ± 0.581<br>2.26 - 5.98   |                    |
| <b>Fe</b>         | 51.70 ± 10.000<br>27.10 - 106.00     | 63.21 ± 3.890<br>49.74 - 70.41     | 45.00 ± 6.420<br>28.28 - 63.77     | 41.61 ± 6.98<br>25.27 - 70.13         | P>0.05             |
| <b>Co</b>         | E.M.                                 | E.M.                               | E.M.                               | E.M.                                  | -                  |
| <b>Cu</b>         | 1.16 ± 0.232<br>0.53 - 2.35          | 1.99 ± 0.693<br>0.12 - 3.87        | 2.99 ± 0.851<br>0.13 - 5.32        | <b>10.55*</b> ± 6.010<br>1.57 - 51.04 | P>0.05             |
| <b>Zn</b>         | 12.96 ± 1.990<br>7.77 - 22.80        | 11.15 ± 0.815<br>8.82 - 13.86      | 9.24 ± 1.280<br>4.04 - 12.99       | 13.38 ± 1.760<br>7.55 - 23.37         | P>0.05             |
| <b>Ni</b>         | <b>3.16*</b> ± 1.730<br>0.15 - 10.87 | <b>1.72*</b> ± 1.12<br>E.M. - 5.48 | <b>2.28*</b> ± 1.33<br>E.M. - 6.59 | <b>0.70*</b> ± 0.450<br>E.M. - 3.47   | P>0.05             |

Yakalanan bireylerin karaciğer dokusunda tespit edilen Mn elementinin mevsimlere göre yıllık ortalama element konsantrasyonları 5.85±0.390 mg/kg ile en düşük ilkbahar mevsiminde, 28.10±4.930 mg/kg ile en yüksek kış mevsiminde tespit edilmiştir. Fe elementi en yüksek yaz mevsiminde 182.80±18.300 mg/kg iken; Zn elementi yaz ve sonbahar mevsimlerinde sırasıyla; 44.80±14.400 mg/kg ve 44.70±13.500 mg/kg tespit edilmiştir. Co elementinin konsantrasyonu hiçbir mevsimde tespit edilememiştir (Çizelge 4.4.2.3.2). Cu elementi sırasıyla tüm mevsimlerde sırasıyla; 3.67±1.230 mg/kg, 27.3±16.200 mg/kg, 18.02±6.340 mg/kg, 4.00±0.510 mg/kg bulunmuştur. Ni konsantrasyonu en yüksek yaz mevsiminde görülürken (4.58±2.750 mg/kg) en düşük ilkbahar mevsiminde (1.76±0.240 mg/kg) görülmüştür. *A. chalcoides* bireylerinin karaciğer dokularında belirlenen esansiyel metallerin mevsimlere göre yıllık birikimleri arasındaki fark tek tek değerlendirilmiş Fe dışındaki tüm metallerin ortalama konsantrasyonları arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamsız bulunmuştur (P>0.05).

**Çizelge 4.4.2.3.2** *A. chalcoides* Bireylerinin Karaciğer Dokularındaki Esansiyel Ağır Metallerin Mevsimlere Göre Birikimi (E.M.: Eser Miktarda)

| Element (µg/g) | İlkbahar (Ort±SH Min-Maks) | Yaz (Ort±SH Min-Maks) | Sonbahar (Ort±SH Min-Maks) | Kış (Ort±SH Min-Maks) | Önem Düzeyi (P) |
|----------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------|
| Mn             | 5.85 ± 0.390               | 21.60 ± 16.400        | 23.24 ± 6.990              | 28.10 ± 4.930         | P>0.05          |
|                | 5.46 - 6.24                | 5.20 - 37.90          | 10.94 - 35.14              | 18.71 - 39.44         |                 |
| Fe             | 100.30±1.620               | 182.80±18.300         | 115.90±27.600              | 72.30±10.200          | P<0.05          |
|                | 98.71-101.95               | 164.60-201.10         | 69.90 - 165.20             | 50.30 - 95.70         |                 |
| Co             | E.M.                       | E.M.                  | E.M.                       | E.M.                  | -               |
| Cu             | 3.67 ± 1.230               | 27.3 ± 16.200         | 18.02 ± 6.340              | 4.00 ± 0.510          | P>0.05          |
|                | 2.44 - 4.91                | 11.10 - 43.50         | 9.96 - 30.53               | 2.47 - 4.53           |                 |
| Zn             | 22.95 ± 0.775              | 44.80 ± 14.400        | 44.70 ± 13.500             | 39.82 ± 2.580         | P>0.05          |
|                | 22.17 - 23.72              | 30.40 - 59.20         | 18.20 - 62.30              | 36.59 - 47.50         |                 |
| Ni             | 1.76 ± 0.240               | 4.58 ± 2.750          | 4.02 ± 2.53                | 2.06 ± 1.19           | P>0.05          |
|                | 1.52 - 2.00                | 1.82 - 7.33           | E.M. - 8.70                | E.M. - 4.30           |                 |

Curi Deresi'nden örneklenen bireylerin solungaç dokularında tespit edilen yıllık ortalama Mn elementi konsantrasyonları mevsimlere göre değerlendirildiğinde; en düşük 8.98±0.863 mg/kg ile ilkbahar mevsiminde, en yüksek 29.05±4.500 mg/kg değeri ile sonbahar mevsiminde ölçülmüştür. Co elementi konsantrasyonuna; kas ve karaciğer dokularında olduğu gibi balıkların solungaç dokularında da hiçbir mevsimde rastlanmamıştır. Zn elementi en düşük kış mevsiminde tespit edilirken; en yüksek sonbahar mevsiminde tespit edilmiştir. Ni konsantrasyonu; en düşük 0.66±0.658 mg/kg ile yaz mevsiminde belirlenirken, en yüksek 6.08±2.690 mg/kg ile ilkbaharda tespit edilmiştir (Çizelge 4.4.2.3.3). Yakalanan *A. chalcoides* bireylerinin solungaç dokularında tespit edilen esansiyel metallerin mevsimlere göre yıllık birikimleri arasındaki fark tek tek değerlendirilmiş Mn dışındaki tüm metallerin ortalama konsantrasyonları arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamsız bulunmuştur (P>0.05).

**Çizelge 4.4.2.3.3** *A. chalcoides* Bireylerinin Solungaç Dokularındaki Esansiyel Ağır Metallerin Mevsimlere Göre Birikimi (E.M.: Eser Miktarda)

| Element (µg/g) | İlkbahar (Ort±SH Min-Maks) | Yaz (Ort±SH Min-Maks) | Sonbahar (Ort±SH Min-Maks) | Kış (Ort±SH Min-Maks) | Önem Düzeyi (P) |
|----------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------|
| Mn             | 8.98 ± 0.863               | 20.76 ± 4.790         | 29.05 ± 4.500              | 23.04 ± 1.950         | P<0.05          |
|                | 6.90 - 13.75               | 6.97 - 31.98          | 17.13 - 44.65              | 15.97 - 31.52         |                 |
| Fe             | 78.50 ± 8.390              | 81.12 ± 5.290         | 74.90 ± 12.300             | 55.78 ± 3.120         | P>0.05          |
|                | 50.21 - 108.76             | 69.20 - 97.30         | 45.40 - 122.30             | 43.87 - 66.82         |                 |
| Co             | E.M.                       | E.M.                  | E.M.                       | E.M.                  | -               |
| Cu             | 2.27 ± 0.475               | 3.10 ± 0.951          | 4.13 ± 1.080               | 4.42 ± 0.916          | P>0.05          |
|                | 0.54 - 3.89                | E.M. - 5.51           | 1.36 - 8.74                | 1.58 - 9.84           |                 |
| Zn             | 42.48 ± 3.780              | 43.25 ± 3.730         | 46.91 ± 6.520              | 35.17 ± 2.010         | P>0.05          |
|                | 27.39 - 53.90              | 30.22 - 51.14         | 27.75 - 70.56              | 28.67 - 44.08         |                 |
| Ni             | 6.08 ± 2.690               | 0.658 ± 0.658         | 5.57 ± 2.62                | 2.54 ± 1.56           | P>0.05          |
|                | 0.19 - 15.79               | E.M. - 3.290          | E.M. - 14.65               | E.M. - 11.93          |                 |

#### 4.4.2.4 A. *chalcoides* Bireylerinin Organ ve Dokularındaki Esansiyel Olmayan Ağır Metallerin Mevsimlere Göre Birikimi

Curi Deresi'nden örneklenen *A. chalcoides* türünün kas, karaciğer ve solungaç dokularında tespit edilen esansiyel olmayan element konsantrasyonları mevsimlere göre (Çizelge 4.4.2.4.1-4.4.2.4.3) ayrı ayrı verilmiş, önem düzeyleri belirlenmiş ve elde edilen veriler ulusal ve uluslararası standartlar ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.4.2.1).

IAEA (2003)'ya göre Çizelge 4.4.2.1'de belirtilen sınır değerler, balıkların kas dokusunda tespit edilen Al elementi konsantrasyonu ile karşılaştırıldığında; Al elementinin tüm mevsimlerde limit değeri aştığı belirlenmiştir. As element konsantrasyonu balıkların kas dokusunda yaz mevsiminde belirlenemezken; en yüksek kış mevsiminde  $0.06 \pm 0.054$  mg/kg bulunmuştur. Cr element konsantrasyonu; en yüksek  $0.17 \pm 0.031$  mg/kg kış mevsiminde ölçülürken; en düşük ilkbahar mevsiminde  $0.09 \pm 0.032$  mg/kg ölçülmüştür. Cd elementine *A. chalcoides* bireylerinin kas dokusunda hiçbir mevsimde rastlanmamıştır. Pb element konsantrasyonuna bireylerin kas dokusunda kış mevsiminde rastlanmazken, ilkbahar mevsiminde  $0.03 \pm 0.013$  mg/kg, yaz mevsiminde  $0.07 \pm 0.045$  mg/kg ve sonbahar mevsiminde  $0.01 \pm 0.006$  mg/kg bulunmuştur (Çizelge 4.4.2.4.1). Bireylerinin kas dokularında belirlenen esansiyel olmayan elementlerin mevsimlere göre yıllık birikimleri değerlendirildiğinde Al elementinin mevsimler arasındaki farkı istatistiksel açıdan anlamlı iken ( $P < 0.05$ ); diğer elementlerin ortalama konsantrasyonları arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamsız bulunmuştur ( $P > 0.05$ ).

**Çizelge 4.4.2.4.1** *A. chalcoides* bireylerinin kas dokularındaki esansiyel olmayan ağır metallerin mevsimlere göre birikimi (\*: Çizelge 4.4.2.1'de belirtilen limit değerlerin üzerinde; E.M.: Eser Miktarda)

| Element (µg/g) | İlkbahar (Ort±SH Min-Maks)             | Yaz (Ort±SH Min-Maks)                   | Sonbahar (Ort±SH Min-Maks)                | Kış (Ort±SH Min-Maks)              | Önem Düzeyi (P)  |
|----------------|--|---|---|------------------------------------|------------------|
| Al             | <b>58.90*</b> ±26.000<br>3.90 - 208.70 | <b>98.60*</b> ±22.500<br>56.90 - 180.80 | <b>189.70*</b> ±37.000<br>101.00 - 316.70 | <b>126.6*</b> ±15.2<br>57.80178.10 | <b>P&lt;0.05</b> |
| As             | $0.02 \pm 0.012$<br>E.M. - 0.09        | E.M.<br>E.M.                            | $0.02 \pm 0.010$<br>E.M. - 0.06           | $0.06 \pm 0.054$<br>E.M. - 0.44    | P>0.05           |
| Cr             | $0.09 \pm 0.032$<br>E.M. - 0.27        | $0.13 \pm 0.016$<br>0.08 - 0.17         | $0.11 \pm 0.028$<br>E.M. - 0.18           | $0.17 \pm 0.031$<br>0.0001-0.30    | P>0.05           |
| Cd             | E.M.                                   | E.M.                                    | E.M.                                      | E.M.                               | -                |
| Pb             | $0.03 \pm 0.013$<br>E.M. - 0.08        | $0.07 \pm 0.045$<br>E.M. - 0.20         | $0.01 \pm 0.006$<br>E.M. - 0.03           | E.M.<br>E.M.                       | P>0.05           |

Örneklerin karaciğerlerinde tespit edilen Al elementinin mevsimlere göre yıllık ortalama element konsantrasyonları en yüksek sonbahar mevsiminde iken ( $307.40 \pm 72.200$  mg/kg), en düşük ilkbahar mevsiminde ( $39.59 \pm 1.410$  mg/kg) tespit edilmiştir. Cd elementi konsantrasyonuna kas dokusunda olduğu gibi karaciğer dokusunda da hiçbir mevsimde rastlanmamıştır. Cr elementinin balıkların karaciğer dokularındaki konsantrasyonları değerlendirildiğinde en yüksek  $0.24 \pm 0.030$  mg/kg değerinde kış mevsiminde tespit edilmiştir. Pb elementi konsantrasyonuna kış mevsiminde rastlanmazken; en yüksek  $0.40 \pm 0.011$  mg/kg değerinde yaz mevsiminde tespit edilmiştir (Çizelge 4.4.2.4.2). Balıkların karaciğer dokularında tespit edilen esansiyel olmayan elementlerin mevsimlere göre yıllık ortalama konsantrasyonları arasındaki fark değerlendirildiğinde; Pb elementi konsantrasyonları arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur ( $P < 0.05$ ).

**Çizelge 4.4.2.4.2** *A. chalcoides* bireylerinin karaciğer dokularındaki esansiyel olmayan ağır metallerin mevsimlere göre birikimi (E.M.: Eser Miktarda)

| Element (µg/g) | İlkbahar (Ort±SH Min-Maks)         | Yaz (Ort±SH Min-Maks)            | Sonbahar (Ort±SH Min-Maks)             | Kış (Ort±SH Min-Maks)                  | Önem Düzeyi (P) |
|----------------|------------------------------------|----------------------------------|--|--|-----------------|
| Al             | $39.59 \pm 1.410$<br>38.17 - 41.00 | $280 \pm 217$<br>63 - 497        | $307.40 \pm 72.200$<br>169.70 - 414.10 | $210.80 \pm 39.500$<br>155.90 - 326.80 | $P > 0.05$      |
| As             | $0.01 \pm 0.005$<br>E.M. - 0.010   | $0.07 \pm 0.067$<br>E.M. - 0.133 | $0.09 \pm 0.067$<br>E.M. - 0.22        | $0.04 \pm 0.021$<br>E.M. - 0.08        | $P > 0.05$      |
| Cr             | $0.12 \pm 0.101$<br>0.02 - 0.22    | $0.10 \pm 0.055$<br>0.05 - 0.16  | $0.14 \pm 0.081$<br>E.M. - 0.28        | $0.24 \pm 0.030$<br>0.18 - 0.32        | $P > 0.05$      |
| Cd             | E.M.                               | E.M.                             | E.M.                                   | E.M.                                   | -               |
| Pb             | $0.04 \pm 0.011$<br>0.03 - 0.05    | $0.40 \pm 0.011$<br>0.38 - 0.41  | $0.01 \pm 0.008$<br>E.M. - 0.03        | E.M.<br>E.M.                           | $P < 0.05$      |

Bireylerinin solungaçlarında tespit edilen Al konsantrasyonları tüm mevsimlerde sırasıyla;  $46.80 \pm 9.990$  mg/kg,  $123.10 \pm 38.500$  mg/kg,  $210.30 \pm 45.600$  mg/kg,  $159.00 \pm 14.700$  mg/kg olarak bulunmuştur. As elementi konsantrasyonu bireylerin solungaç dokusunda, tüm mevsimlerde eser miktarda tespit edilmiştir. Cr elementi konsantrasyonu; en yüksek  $0.18 \pm 0.012$  mg/kg ile kış mevsiminde tespit edilmiştir. Pb elementi konsantrasyonuna kış mevsiminde rastlanmazken; ilkbahar mevsiminde  $0.26 \pm 0.184$  mg/kg, yaz mevsiminde  $0.12 \pm 0.094$  ve sonbahar mevsiminde  $0.01 \pm 0.006$  mg/kg bulunmuştur (Çizelge 4.4.2.4.3). Balıkların kaslarında olduğu gibi solungaç dokularında da tespit edilen esansiyel olmayan metallerin mevsimlere göre yıllık ortalama konsantrasyonları arasındaki fark değerlendirildiğinde; yalnızca Al

elementi konsantrasyonları arasındaki fark, istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur (P<0.05).

**Çizelge 4.4.2.4.3** *A. chalcoides* bireylerinin solungaç dokularındaki esansiyel olmayan ağır metallerin mevsimlere göre birikimi (E.M.: Eser Miktarda)

| Element<br>(µg/g) | İlkbahar             | Yaz                  | Sonbahar             | Kış                  | Önem Düzeyi<br>(P) |
|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
|                   | (Ort±SH<br>Min-Maks) | (Ort±SH<br>Min-Maks) | (Ort±SH<br>Min-Maks) | (Ort±SH<br>Min-Maks) |                    |
| Al                | 46.80±9.990          | 123.10±38.500        | 210.30±45.600        | 159.00±14.700        | <b>P&lt;0.05</b>   |
|                   | 10.07 - 84.80        | 53.10 - 271.30       | 109.40-406.80        | 120.10-223.10        |                    |
| As                | 0.05 ± 0.024         | 0.03 ± 0.012         | 0.04 ± 0.021         | 0.06 ± 0.018         | P>0.05             |
|                   | E.M. - 0.13          | E.M. - 0.05          | E.M.- 0.13           | E.M. - 0.13          |                    |
| Cr                | 0.15 ± 0.016         | 0.15 ± 0.023         | 0.17 ± 0.052         | 0.18 ± 0.012         | P>0.05             |
|                   | 0.01 - 0.22          | 0.07 - 0.21          | 0.09 - 0.43          | 0.13 - 0.23          |                    |
| Cd                | E.M.                 | E.M.                 | E.M.                 | E.M.                 | -                  |
| Pb                | 0.26 ± 0.184         | 0.12 ± 0.094         | 0.01 ± 0.006         | E.M.                 | P>0.05             |
|                   | 0.00 - 1.34          | E.M. - 0.48          | E.M. - 0.03          | E.M.                 |                    |

#### 4.4.2.5 *A. chalcoides* Bireylerinin Organ ve Dokularındaki Esansiyel Ağır Metallerin İstasyonlara Göre Birikimi

Curi Deresi'nden örneklenen *A. chalcoides* türünün kas, karaciğer ve solungaç dokularında tespit edilen esansiyel element konsantrasyonları istasyonlara göre (Çizelge 4.4.2.5.1-4.4.2.5.3) ayrı ayrı verilmiş, önem düzeyleri belirlenmiş ve elde edilen veriler ulusal ve uluslararası standartlar ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.4.2.1).

Bireylerin kas dokusunda tespit edilen Mn konsantrasyonu en yüksek 4. istasyonda (3.82±1.09 mg/kg) bulunmuştur. Bulunan değerler Çizelge 4.4.2.1'de belirtilen limit değerler ile karşılaştırıldığında IAEA (2003)'ya göre sınır değerinin üzerinde tespit edilmiştir. Fe elementi hiçbir istasyonda limit değerleri aşmazken; Co elementine hiçbir istasyonda rastlanmamıştır. Cu elementi konsantrasyonları; 2., 3. ve 5. istasyonlarda limit değerleri aşmamışken, 4. ve 6. istasyonlarda sırasıyla 9.85±6.890 mg/kg ve 4.09±2.320 mg/kg değerleri ile IAEA (2003)'ya göre yüksek tespit edilmiştir. Ni elementinin konsantrasyonları *A. chalcoides* bireylerinin kas dokusunda yalnızca 3. istasyonda limit değerinin altındadır (Çizelge 4.4.2.5.1). Kas dokularında tespit edilen ağır metallerin istasyonlara göre yıllık birikimleri arasındaki fark tek tek değerlendirilmiş Zn dışındaki tüm ağır metallerin ortalama konsantrasyonları arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamsız bulunmuştur (P>0.05).

Bireylerin karaciğer dokusunda tespit edilen Mn elementinin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları 13.14±7.950 mg/kg ile en düşük 2. istasyonda, 26.90±10.400 mg/kg ile en yüksek 5. istasyonda tespit edilmiştir. Yaz mevsiminde; Fe elementi 102.36±5.210 mg/kg ile en düşük konsantrasyonda

belirlenirken, Zn elementi  $41.65 \pm 9.140$  mg/kg ile en yüksek konsantrasyonda tespit edilmiştir. Co elementinin konsantrasyonuna hiçbir istasyonda rastlanmamıştır. Cu elementi sırasıyla 2., 5. ve 6. istasyonlarda  $24.00 \pm 19.500$  mg/kg,  $6.45 \pm 1.760$  mg/kg,  $7.39 \pm 2.900$  mg/kg tespit edilmiştir. Ni elementi konsantrasyonu en yüksek  $4.16 \pm 1.130$  mg/kg ile 6. istasyonda bulunmuştur (Çizelge 4.4.2.5.2). Üçüncü ve dördüncü istasyonlarda örnek sayısı yetersiz olduğu için değerlendirme yapılamamıştır. *A. chalcoides* bireylerinin karaciğer dokularında belirlenen esansiyel ağır metallerin istasyonlara göre yıllık birikimleri arasındaki fark tek tek değerlendirilmiş ve tüm ağır metallerin ortalama konsantrasyonları arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan anlamsız bulunmuştur ( $P > 0.05$ ).

Bireylerin solungaç dokularında tespit edilen yıllık ortalama Mn elementi konsantrasyonları istasyonlara göre değerlendirildiğinde; en düşük  $12.16 \pm 5.200$  mg/kg ile 2. istasyonda, en yüksek  $24.52 \pm 4.920$  mg/kg değeri ile 4. istasyonda ölçülmüştür. Co elementi konsantrasyonuna; kas ve karaciğer dokularında olduğu gibi balıkların solungaç dokularında da rastlanmamıştır. Cu elementi konsantrasyonları 2., 3., 4., 5. ve 6. istasyonlarda sırasıyla;  $2.31 \pm 0.255$  mg/kg,  $2.55 \pm 0.742$  mg/kg,  $4.05 \pm 0.977$  mg/kg,  $3.22 \pm 0.715$  mg/kg,  $4.41 \pm 1.270$  mg/kg olarak bulunmuştur. Zn elementi en yüksek 4. ve 5. istasyonlarda sırasıyla;  $47.43 \pm 4.720$  mg/kg ve  $41.36 \pm 2.660$  mg/kg bulunmuştur. Ni konsantrasyonu;  $0.04 \pm 0.038$  mg/kg ile en düşük 3. istasyonda tespit edilirken en yüksek  $6.31 \pm 2.660$  mg/kg ile 6. istasyonda belirlenmiştir (Çizelge 4.4.2.5.3). Bireylerin solungaç dokularında belirlenen esansiyel ağır metallerin, istasyonlara göre yıllık birikimleri arasındaki fark tek tek değerlendirilmiş tüm ağır metallerin ortalama konsantrasyonları arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamsız bulunmuştur ( $P > 0.05$ ).

**Çizelge 4.4.2.5.1** Kas dokusunda tespit edilen bazı esansiyel ağır metallerin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (\*: Çizelge 4.4.2.1’de belirtilen limit değerlerin üzerinde; E.M.: Eser Miktarda)

| Element (µg/g) | 2. İstasyon (Ort±SH Min-Maks)       | 3. İstasyon (Ort±SH Min-Maks)  | 4. İstasyon (Ort±SH Min-Maks)        | 5. İstasyon (Ort±SH Min-Maks)      | 6. İstasyon (Ort±SH Min-Maks)        | Önem Düzeyi (P)  |
|----------------|-------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------|
| Mn             | 1.86 ± 0.960<br>0.90 - 2.82         | 2.92 ± 0.430<br>2.03 - 4.52    | <b>3.82*</b> ± 1.09<br>0.63 - 7.22   | 2.19 ± 0.410<br>0.58 - 3.30        | 2.44 ± 0.545<br>0.95 - 4.34          | P>0.05           |
| Fe             | 48.00 ± 21.100<br>26.90 - 69.10     | 42.52 ± 7.870<br>27.18 - 63.77 | 48.71 ± 5.99<br>27.10 - 67.61        | 47.22 ± 6.800<br>25.27 - 70.13     | 59.20 ± 11.400<br>28.30 - 106.00     | P>0.05           |
| Co             | E.M.                                | E.M.                           | E.M.                                 | E.M.                               | E.M.                                 | -                |
| Cu             | 1.99 ± 0.305<br>1.69 - 2.30         | 2.10 ± 0.708<br>0.73 - 4.47    | <b>9.85*</b> ± 6.890<br>0.53 - 51.04 | 2.09 ± 0.926<br>0.12 - 6.45        | <b>4.09*</b> ± 2.320<br>0.13 - 15.39 | P>0.05           |
| Zn             | 8.19 ± 0.635<br>7.55 - 8.82         | 13.92 ± 2.240<br>10.92 - 22.80 | 15.05 ± 1.620<br>9.38 - 23.37        | 9.87 ± 1.110<br>7.77 - 14.82       | 9.74 ± 1.360<br>4.04 - 13.64         | <b>P&lt;0.05</b> |
| Ni             | <b>3.62*</b> ± 1.870<br>1.75 - 5.48 | 0.05 ± 0.054<br>E.M. - 0.27    | <b>1.76*</b> ± 1.24<br>E.M. - 8.62   | <b>1.46*</b> ± 1.01<br>E.M. - 6.35 | <b>3.57*</b> ± 1.78<br>E.M. - 10.87  | P>0.05           |

**Çizelge 4.4.2.5.2** Karaciğer dokusunda tespit edilen bazı esansiyel ağır metallerin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (E.M.:Eser Miktarda)

| Element (µg/g) | 2. İstasyon (Ort±SH Min-Maks)    | 3. İstasyon (Ort±SH Min-Maks) | 4. İstasyon (Ort±SH Min-Maks) | 5. İstasyon (Ort±SH Min-Maks)    | 6. İstasyon (Ort±SH Min-Maks)     | Önem Düzeyi (P) |
|----------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| Mn             | 13.14 ± 7.950<br>5.19 - 21.09    | -                             | -                             | 26.90 ± 10.400<br>6.20 - 39.40   | 21.87 ± 8.030<br>5.46 - 37.92     | P>0.05          |
| Fe             | 131.2 ± 69.900<br>61.30 - 201.10 | -                             | -                             | 102.36 ± 5.210<br>95.73 - 112.63 | 104.60 ± 21.100<br>69.90 - 164.60 | P>0.05          |
| Co             | E.M.                             | -                             | -                             | E.M.                             | E.M.                              | -               |
| Cu             | 24.00 ± 19.500<br>4.50 - 43.50   | -                             | -                             | 6.45 ± 1.760<br>4.49 - 9.96      | 7.39 ± 2.900<br>2.44 - 13.58      | P>0.05          |
| Zn             | 33.49 ± 3.100<br>30.39 - 36.59   | -                             | -                             | 41.65 ± 9.140<br>23.72 - 53.72   | 34.17 ± 9.280<br>18.18 - 59.16    | P>0.05          |
| Ni             | 3.06 ± 1.240<br>1.82 - 4.30      | -                             | -                             | 3.41 ± 2.68<br>E.M. - 8.70       | 4.16 ± 1.130<br>2.00 - 7.33       | P>0.05          |

**Çizelge 4.4.2.5.3** Solungaç dokusunda tespit edilen bazı esansiyel ağır metallerin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (E.M.: Eser Miktarda)

| Element<br>(µg/g) | 2. İstasyon<br>(Ort±SH<br>Min-Maks) | 3. İstasyon<br>(Ort±SH<br>Min-Maks) | 4. İstasyon<br>(Ort±SH<br>Min-Maks) | 5. İstasyon<br>(Ort±SH<br>Min-Maks) | 6. İstasyon<br>(Ort±SH<br>Min-Maks) | Önem Düzeyi<br>(P) |
|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| <b>Mn</b>         | 12.16 ± 5.200<br>6.97 - 17.36       | 15.97 ± 2.470<br>9.74 - 23.97       | 24.52 ± 4.920<br>7.85 - 44.65       | 17.79 ± 3.240<br>7.69 - 24.58       | 23.79 ± 5.030<br>6.90 - 40.51       | P>0.05             |
| <b>Fe</b>         | 73.30 ± 24.000<br>49.40- 97.30      | 63.20 ± 10.800<br>43.90 - 97.90     | 75.42 ± 7.940<br>61.47 - 122.28     | 71.05 ± 8.690<br>47.68 - 108.36     | 72.26 ± 9.270<br>45.40 - 108.76     | P>0.05             |
| <b>Co</b>         | E.M.                                | E.M.                                | E.M.                                | E.M.                                | E.M.                                | -                  |
| <b>Cu</b>         | 2.31 ± 0.255<br>2.05 - 2.56         | 2.55 ± 0.742<br>0.54 - 4.63         | 4.06 ± 0.976<br>E.M. - 8.740        | 3.22 ± 0.715<br>1.36 - 5.19         | 4.41 ± 1.270<br>1.20 - 9.84         | P>0.05             |
| <b>Zn</b>         | 34.47 ± 5.790<br>28.67 - 40.26      | 39.82 ± 6.030<br>29.99 - 57.51      | 47.43 ± 4.720<br>33.71 - 70.56      | 41.36 ± 2.660<br>32.32 - 51.14      | 38.05 ± 4.180<br>27.39 - 50.10      | P>0.05             |
| <b>Ni</b>         | 1.92 ± 1.370<br>0.54 - 3.29         | 0.04 ± 0.038<br>E.M. - 0.19         | 5.87 ± 2.800<br>E.M. - 15.79        | 2.77 ± 1.57<br>E.M. - 8.65          | 6.31 ± 2.660<br>E.M. - 14.65        | P>0.05             |



#### 4.4.2.6 A. *chalcoides* Bireylerinin Organ ve Dokularındaki Esansiyel Olmayan Ağır Metallerin İstasyonlara Göre Birikimi

Curi Deresi'nden örneklenen *A. chalcoides* türünün kas, karaciğer ve solungaç dokularında tespit edilen esansiyel olmayan element konsantrasyonları istasyonlara göre (Çizelge 4.4.2.6.1-4.4.2.6.3) ayrı ayrı verilmiş, önem düzeyleri belirlenmiş ve elde edilen veriler ulusal ve uluslararası standartlar ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.4.2.1).

Kas dokusunda tespit edilen Al elementinin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları sırasıyla; 2., 3., 4., 5. ve 6. istasyonlarda  $80.6 \pm 23.700$  mg/kg,  $124.40 \pm 31.800$  mg/kg,  $150.6 \pm 51.8$  mg/kg,  $102.20 \pm 25.600$  mg/kg,  $105.00 \pm 21.500$  mg/kg bulunmuştur. Al elementi konsantrasyonunun Çizelge 4.4.2.1'de belirtilen limit değerler ile karşılaştırıldığında tüm istasyonlarda IAEA, (2003)'na göre sınır değeri aştığı belirlenmiştir. As elementi konsantrasyonu tüm istasyonlarda eser miktarlarda tespit edilmiştir. Cr elementi konsantrasyonu; en yüksek 2. ve 6. istasyonlarda ölçülürken; en düşük 4. istasyonda bulunmuştur. Hiçbir istasyonda bireylerin kas dokusunda Cd elementine rastlanmamıştır. Pb elementi konsantrasyonunun bireylerin kas dokusundaki yıllık ortalama değerleri 2. ve 6. istasyonlarda;  $0.10 \pm 0.099$  mg/kg ve  $0.05 \pm 0.027$  mg/kg bulunurken, 3., 4. ve 5. istasyonlarda rastlanmamıştır (Çizelge 4.4.2.6.1). Kas dokularında belirlenen esansiyel olmayan ağır metallerin istasyonlara göre yıllık birikimleri arasındaki fark tek tek değerlendirilmiş tüm ağır metallerin ortalama konsantrasyonları arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamsız bulunmuştur ( $P > 0.05$ ) (Çizelge 4.4.2.6.1).

Örneklerin karaciğerlerinde tespit edilen Al elementinin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları en yüksek 5. istasyonda iken ( $235.40 \pm 97.200$  mg/kg), en düşük 2. istasyonda ( $128.30 \pm 65.800$  mg/kg) tespit edilmiştir. 3. ve 4. istasyonlarda örnek sayısı yetersiz olduğu için değerlendirme yapılamamıştır. As elementi konsantrasyonu en yüksek 5. istasyonda iken, en düşük 2. istasyonda bulunmuştur. Cr elementinin balıkların karaciğer dokularındaki konsantrasyonları 2. 5. ve 6. istasyonlarda;  $0.13 \pm 0.082$  mg/kg,  $0.21 \pm 0.095$  mg/kg ve  $0.19 \pm 0.025$  mg/kg bulunmuştur. Cd elementine balıkların karaciğer dokularında 2. 5. ve 6 istasyonlarda rastlanmamıştır. Pb elementi konsantrasyonu 2. istasyonda  $0.19 \pm 0.192$  mg/kg, iken 6. istasyonda  $0.11 \pm 0.098$  mg/kg ile daha düşük bulunmuştur (Çizelge 4.4.2.6.2). Bireylerin karaciğer dokularında belirlenen esansiyel olmayan ağır

metallerin istasyonlara göre yıllık birikimleri arasındaki fark tek tek değerlendirilmiş ve tüm ağır metallerin ortalama konsantrasyonları arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamsız bulunmuştur ( $P>0.05$ ) (Çizelge 4.4.2.6.2).

Solungaçlarda tespit edilen Al miktarları 2., 3., 4., 5. ve 6. istasyonlarda sırasıyla;  $96.70\pm 43.600$  mg/kg,  $122.90\pm 42.300$  mg/kg,  $169.80\pm 49.300$  mg/kg,  $116.60\pm 20.600$  mg/kg,  $130.10\pm 33.300$  mg/kg şeklinde bulunmuştur. As elementi konsantrasyonuna bireylerin solungaç dokusunda, 1. istasyonda rastlanmazken diğer tüm istasyonlarda tespit edilmiştir. Cr elementi konsantrasyonu; en düşük  $0.13\pm 0.018$  mg/kg ile 3. istasyonda, en yüksek  $0.20\pm 0.040$  mg/kg ile 4. istasyonda tespit edilmiştir. Pb elementi konsantrasyonu, 3. ve 4. istasyonlarda çok düşük miktarlarda iken, 2. 5. ve 6. İstasyonlarda;  $0.24\pm 0.241$  mg/kg,  $0.06\pm 0.046$  mg/kg ve  $0.26\pm 0.217$  mg/kg bulunmuştur (Çizelge 4.4.2.6.3). Bireylerin solungaç dokularında belirlenen esansiyel olmayan ağır metallerin istasyonlara göre yıllık birikimleri arasındaki fark tek tek değerlendirilmiş tüm ağır metallerin ortalama konsantrasyonları arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamsız bulunmuştur ( $P>0.05$ ).

**Çizelge 4.4.2.6.1** Kas dokusunda tespit edilen bazı esansiyel olmayan ağır metallerin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları  
(\*: Çizelge 4.4.2.1'de belirtilen limit değerlerin üzerinde; E.M.: Eser Miktarda)

| Element<br>(µg/g) | 2. İstasyon<br>(Ort±SH<br>Min-Maks) | 3. İstasyon<br>(Ort±SH<br>Min-Maks) | 4. İstasyon<br>(Ort±SH<br>Min-Maks) | 5. İstasyon<br>(Ort±SH<br>Min-Maks) | 6. İstasyon<br>(Ort±SH<br>Min-Maks) | Önem Düzeyi<br>(P) |
|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| Al                | 80.6* ± 23.700<br>56.90 - 104.30    | 124.40* ± 31.800<br>44.30 - 212.30  | 150.6* ± 51.8<br>3.90 - 316.70      | 102.20* ± 25.600<br>28.10 - 208.70  | 105.00* ± 21.500<br>29.70 - 180.80  | P>0.05             |
| As                | 0.02 ± 0.182<br>E.M. - 0.04         | 0.02 ± 0.017<br>E.M. - 0.09         | 0.07 ± 0.062<br>E.M. - 0.44         | 0.02 ± 0.011<br>E.M. - 0.06         | 0.01 ± 0.005<br>E.M. - 0.03         | P>0.05             |
| Cr                | 0.16 ± 0.018<br>0.14 - 0.17         | 0.13 ± 0.021<br>0.06 - 0.18         | 0.10 ± 0.033<br>E.M. - 0.20         | 0.12 ± 0.040<br>E.M. - 0.30         | 0.16 ± 0.034<br>0.08 - 0.27         | P>0.05             |
| Cd                | E.M.                                | E.M.                                | E.M.                                | E.M.                                | E.M.                                | -                  |
| Pb                | 0.10 ± 0.099<br>E.M. - 0.20         | E.M.<br>E.M.                        | E.M.<br>E.M.                        | E.M.<br>E.M.                        | 0.05 ± 0.027<br>E.M. - 0.17         | P>0.05             |

**Çizelge 4.4.2.6.2** Karaciğerlerde tespit edilen bazı esansiyel olmayan ağır metallerin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları  
(E.M.: Eser Miktarda)

| Element<br>(µg/g) | 2. İstasyon<br>(Ort±SH<br>Min-Maks) | 3. İstasyon<br>(Ort±SH<br>Min-Maks) | 4. İstasyon<br>(Ort±SH<br>Min-Maks) | 5. İstasyon<br>(Ort±SH<br>Min-Maks) | 6. İstasyon<br>(Ort±SH<br>Min-Maks) | Önem Düzeyi<br>(P) |
|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| Al                | 128.30 ± 65.800<br>62.60 - 194.10   | -                                   | -                                   | 235.40 ± 97.200<br>41.00 - 338.30   | 215.30 ± 98.600<br>38.20 - 497.50   | P>0.05             |
| As                | 0.04 ± 0.040<br>E.M. - 0.08         | -                                   | -                                   | 0.08 ± 0.073<br>E.M. - 0.22         | 0.05 ± 0.030<br>E.M. - 0.13         | P>0.05             |
| Cr                | 0.13 ± 0.082<br>0.05 - 0.21         | -                                   | -                                   | 0.21 ± 0.095<br>0.02 - 0.32         | 0.19 ± 0.025<br>0.14 - 0.25         | P>0.05             |
| Cd                | E.M.                                | -                                   | -                                   | E.M.                                | E.M.                                | -                  |
| Pb                | 0.19 ± 0.192<br>E.M. - 0.38         | -                                   | -                                   | 0.02 ± 0.017<br>E.M. - 0.05         | 0.11 ± 0.098<br>E.M. - 0.41         | P>0.05             |

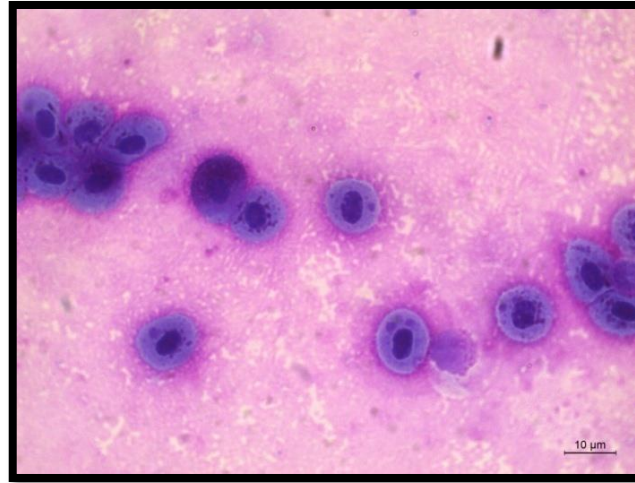
**Çizelge 4.4.2.6.3** Solungaçlarda tespit edilen bazı esansiyel olmayan ağır metallerin istasyonlara göre yıllık ortalama element konsantrasyonları (E.M.: Eser Miktarda)

| Element<br>(µg/g) | 2. İstasyon<br>(Ort±SH<br>Min-Maks) | 3. İstasyon<br>(Ort±SH<br>Min-Maks) | 4. İstasyon<br>(Ort±SH<br>Min-Maks) | 5. İstasyon<br>(Ort±SH<br>Min-Maks) | 6. İstasyon<br>(Ort±SH<br>Min-Maks) | Önem Düzeyi<br>(P) |
|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| Al                | 96.70 ± 43.600<br>53.10 - 140.40    | 122.90 ± 42.300<br>10.10 - 269.70   | 169.80 ± 49.300<br>35.80 - 406.80   | 116.60 ± 20.600<br>46.20 - 197.70   | 130.10 ± 33.300<br>31.60 - 271.30   | P>0.05             |
| As                | E.M.<br>E.M.                        | 0.03 ± 0.025<br>E.M. - 0.13         | 0.05 ± 0.019<br>E.M. - 0.11         | 0.03 ± 0.015<br>E.M. - 0.10         | 0.09 ± 0.017<br>0.05 - 0.13         | P>0.05             |
| Cr                | 0.15 ± 0.007<br>0.14 - 0.16         | 0.13 ± 0.018<br>0.07 - 0.18         | 0.20 ± 0.040<br>0.12 - 0.43         | 0.16 ± 0.014<br>0.10 - 0.20         | 0.16 ± 0.024<br>0.09 - 0.22         | P>0.05             |
| Cd                | E.M.                                | E.M.                                | E.M.                                | E.M.                                | E.M.                                | -                  |
| Pb                | 0.24 ± 0.241<br>E.M. - 0.48         | 0.01 ± 0.005<br>E.M. - 0.25         | 0.01 ± 0.007<br>E.M. - 0.04         | 0.06 ± 0.046<br>E.M.- 0.28          | 0.26 ± 0.217<br>E.M. - 1.34         | P>0.05             |

#### 4.5 İstasyonlardan Alınan Balık Numunelerinde Genotoksik Etkilerin İncelenmesi

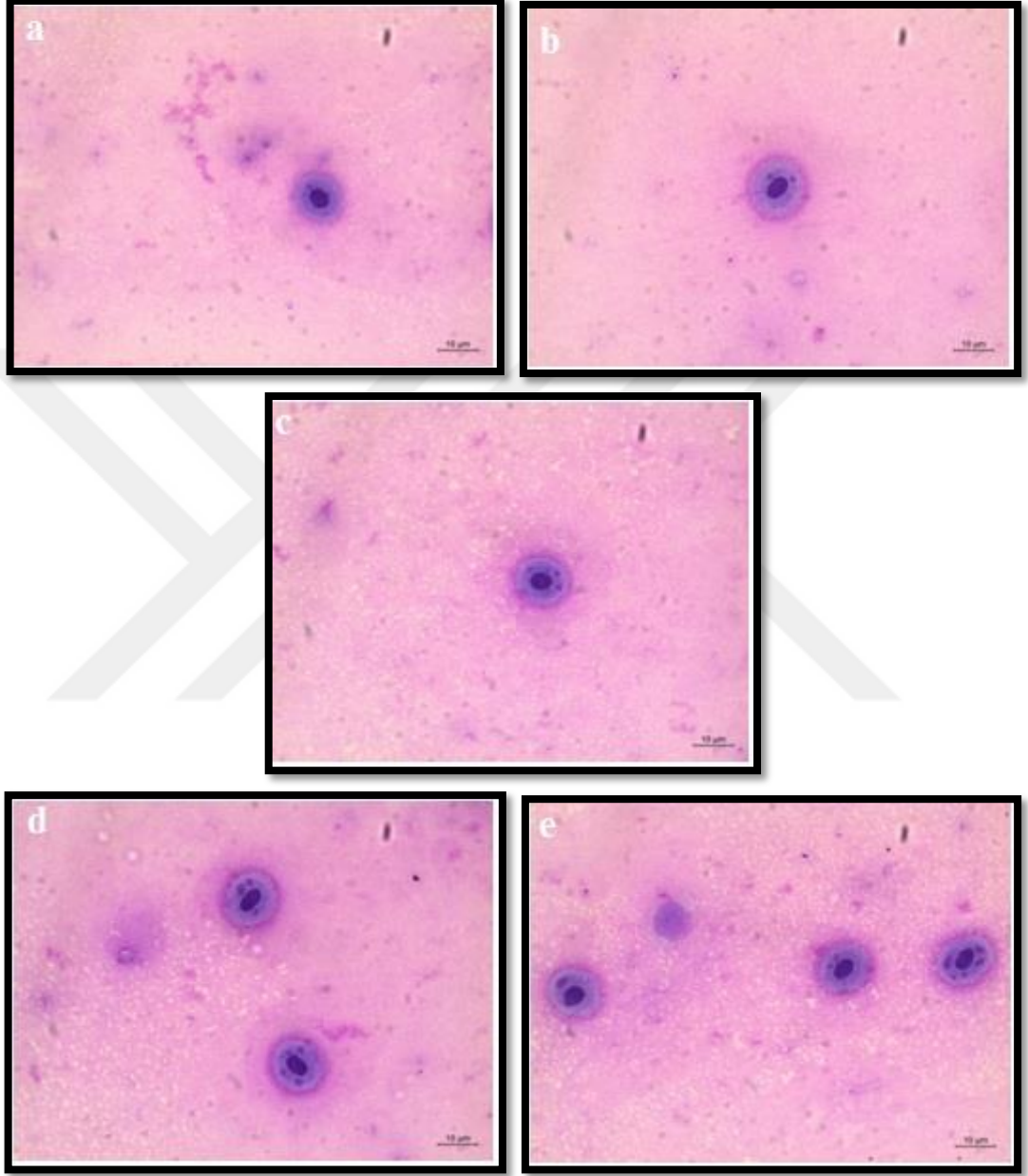
Mikronükleus deneyleri, interfaz hücrelerinin sitoplazmasındaki mikronükleiler gibi DNA partiküllerinin değişmesine neden olan kimyasalları ve kirleticileri tanımlamak için kullanılan mutajenlik test sistemleridir. Genotoksik kirleticilerin DNA üzerindeki zararı, suda yaşayan organizmalarda meydana gelen ilk etkidir ve mikronükleus testi kimyasal ve antropojenik kirlenmenin izlenmesinde makul sonuçlar vermektedir (Çakal Arslan ve Parlak, 2017). Sucul organizmalarda DNA onarımı, toksik maddelere maruz kalan balıklarda indüklenen DNA kırılmalarını ölçmede avantaj sağlayan memeli hücrelerine göre daha yavaştır (Walton ve ark., 1984; Maccubbin, 1994). MN testi hassas bir biyobelirteç olarak, nehir suyunda genotoksisitenin varlığına yönelik artan endişe nedeniyle önem kazanmıştır (Hayashi ve ark., 1998). Bununla birlikte, su hayvanlarında ağır metallerin genotoksik potansiyeli hakkındaki bilimsel veriler çok azdır (Monserrat ve ark., 2007; Fatima ve ark., 2015).

Belirlenen istasyonlardan yakalanan *A. chalcoides* türü örnekleri, buldukları ortamın ağır metal konsantrasyonuna bağlı, eritrositlerinde oluşan mikronükleuslar, MN testi kullanılarak incelenmiştir. Yapılan çalışmada tüm mevsimlerde, kaynağa en yakın istasyon olan 1. istasyondan örnek elde edilememiş olması nedeniyle diğer beş istasyondan örneklenen toplam 75 bireyde sayılan 150000 hücre değerlendirilmiştir. İncelemeler sırasında preparatlarda gözlemlenen eritrosit hücrelerine ait genel MN preparatı görüntüsü Şekil 4.5.1’de sunulmuştur.

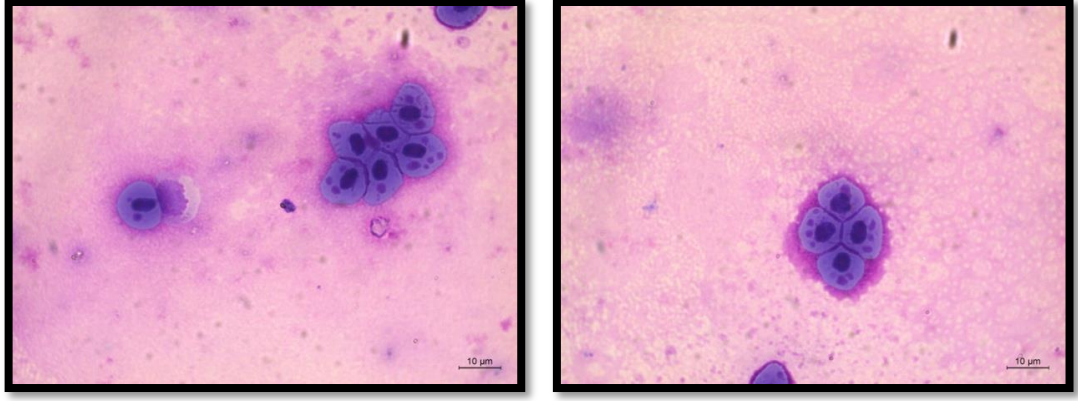


Şekil 4.5.1 Balıkların eritrosit hücrelerine ait genel MN preparatı görüntüsü (X100)

İncelemeler sırasında preparatlarda ikili, üçlü, dördlü ve beşli mikronükleus oluşumları göze çarpmaktadır (Şekil 4.5.2). Balıkların eritrosit hücrelerinde oluşumları gözlemlenen ve sayımları yapılan mikronükleusların genel görünüşleri Şekil 4.5.3'te verilmiştir.



**Şekil 4.5.2** Balık örneklerine ait bazı preparatlarda gözlemlenen çekirdek morfolojisi değişiklikleri; Mikronükleus oluşumu (a), İkili mikronükleus oluşumu (b), Üçlü mikronükleus oluşumu (c), Dördlü mikronükleus oluşumu (d), Beşli mikronükleus oluşumu (e) (X100)



**Şekil 4.5.3** Balık örneklerine ait preparatlarda gözlemlenen mikronükleus (MN) oluşumları (X100)

Curi Deresi üzerinde belirlenen 6 istasyonun 5'inde dört mevsim boyunca örneklenen bireylerin periferik kan hücrelerinde yapılan analizlerde tespit edilen ortalama MN frekansları Çizelge 4.5.1'de sunulmuştur.

İkinci istasyondan ilkbahar mevsiminde *A. chalcoides* örneği elde edilememiştir. Üçüncü istasyonda *A. chalcoides* örneklerinin eritrositlerindeki mikronükleus frekansı ‰8.25, dördüncü istasyonda ‰7.70, beşinci istasyonda ‰14.30 olarak belirlenirken, altıncı istasyonda ise ‰2.20 bulunmuştur. (Çizelge 4.5.1).

İkinci istasyon yaz mevsiminde örneklenen *A. chalcoides* bireylerinin eritrositlerinde MN frekansı ‰2.50, üçüncü istasyon örneklerinde ‰1.80 olarak tespit edilmiştir. Dördüncü, beşinci ve altıncı istasyonlarda kan örneği bulunmadığından değerlendirme yapılamamıştır (Çizelge 4.5.1).

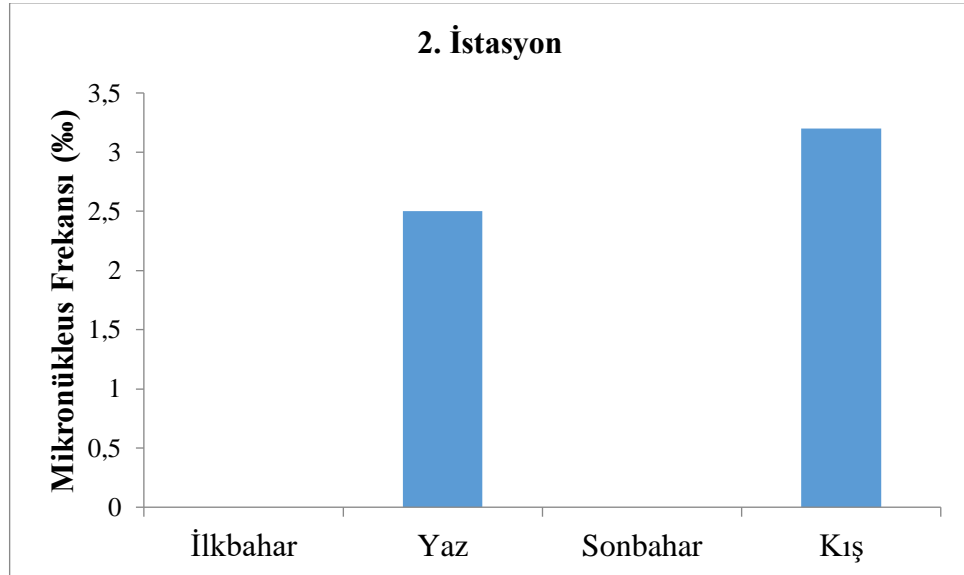
İkinci istasyondan sonbahar mevsiminde *A. chalcoides* örneği elde edilememiştir. *A. chalcoides* örneklerinin eritrositlerindeki MN frekansı üçüncü istasyonda ‰0.70, dördüncü istasyonda ‰8.85, beşinci istasyonda ‰0.85 ve altıncı istasyonda ‰6.95 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.5.1).

İkinci, üçüncü, dördüncü, beşinci ve altıncı istasyonlardan kış mevsiminde örneklenen *A. chalcoides* bireylerindeki MN frekansları sırasıyla ‰3.20, ‰17.75, ‰19.20 ve ‰7.65 ve ‰2.90 bulunmuştur (Çizelge 4.5.1).

**Çizelge 4.5.1** *A. chalcoides* türünün eritrositlerinde tespit edilen MN frekanslarının (%) mevsimlere göre değişimi

| İstasyonlar           | Mevsimler | Mikronükleus Frekansları (%) |
|-----------------------|-----------|------------------------------|
| 2. İstasyon<br>(n=10) | İlkbahar  | -                            |
|                       | Yaz       | 2.50 ± 1.020                 |
|                       | Sonbahar  | -                            |
|                       | Kış       | 3.20 ± 0.502                 |
| 3. İstasyon<br>(n=20) | İlkbahar  | 8.25 ± 6.900                 |
|                       | Yaz       | 1.80 ± 1.800                 |
|                       | Sonbahar  | 0.70 ± 0.700                 |
|                       | Kış       | 17.75 ± 6.390                |
| 4. İstasyon<br>(n=15) | İlkbahar  | 7.70 ± 2.680                 |
|                       | Yaz       | -                            |
|                       | Sonbahar  | 8.85 ± 1.820                 |
|                       | Kış       | 19.20 ± 5.170                |
| 5. İstasyon<br>(n=15) | İlkbahar  | 14.30 ± 2.320                |
|                       | Yaz       | -                            |
|                       | Sonbahar  | 0.85 ± 0.850                 |
|                       | Kış       | 7.65 ± 1.800                 |
| 6. İstasyon<br>(n=15) | İlkbahar  | 2.20 ± 2.200                 |
|                       | Yaz       | -                            |
|                       | Sonbahar  | 6.95 ± 3.670                 |
|                       | Kış       | 2.90 ± 2.900                 |

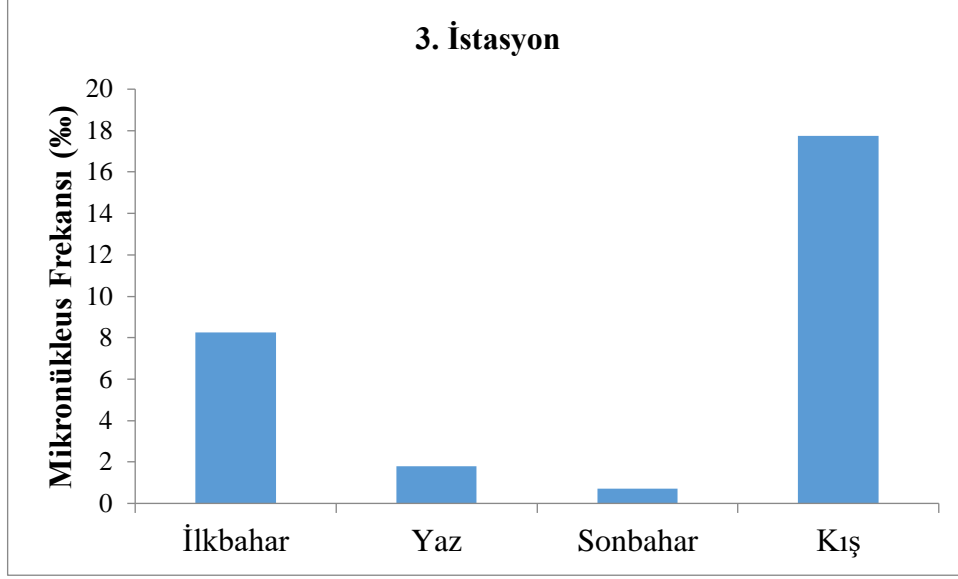
*A. chalcoides* örneklerinin eritrositlerinde belirlenen MN frekanslarının mevsimsel dağılımları Şekil 4.5.4-4.5.8’de sunulmuştur. Buna göre, 2. İstasyon örneklerinde tespit edilen MN frekanslarının mevsimsel değişimi kış>yaz>ilkbahar=sonbahar şeklinde sıralanmaktadır (Şekil 4.5.4).



**Şekil 4.5.4** *A. chalcoides* örneklerinin eritrositlerinde belirlenen mikronükleus frekanslarının 2. istasyonda mevsimsel dağılımı

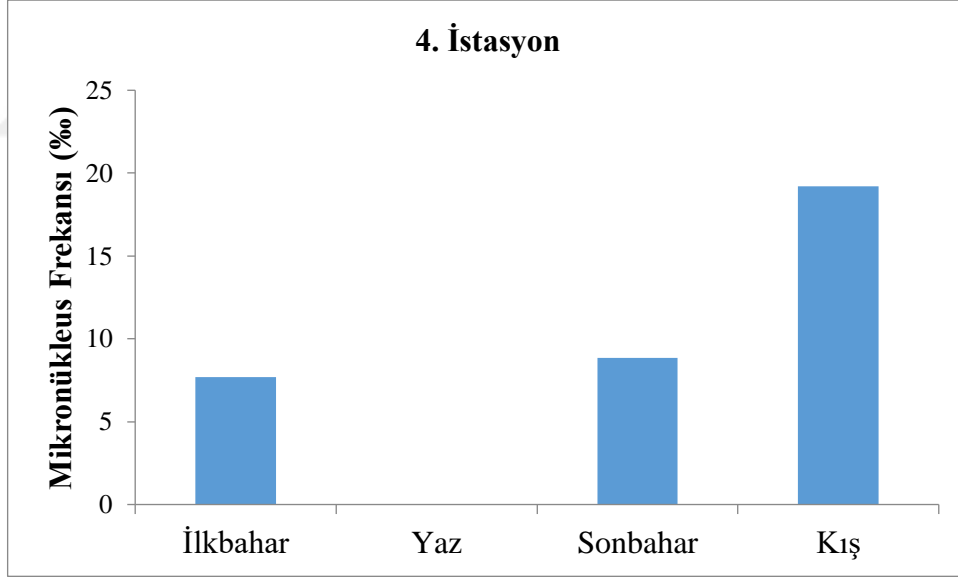
3. istasyondan örneklenen bireylerin MN frekanslarının mevsimsel değişimi kış>ilkbahar>yaz>sonbahar şeklinde sıralanmaktadır (Şekil 4.5.5).





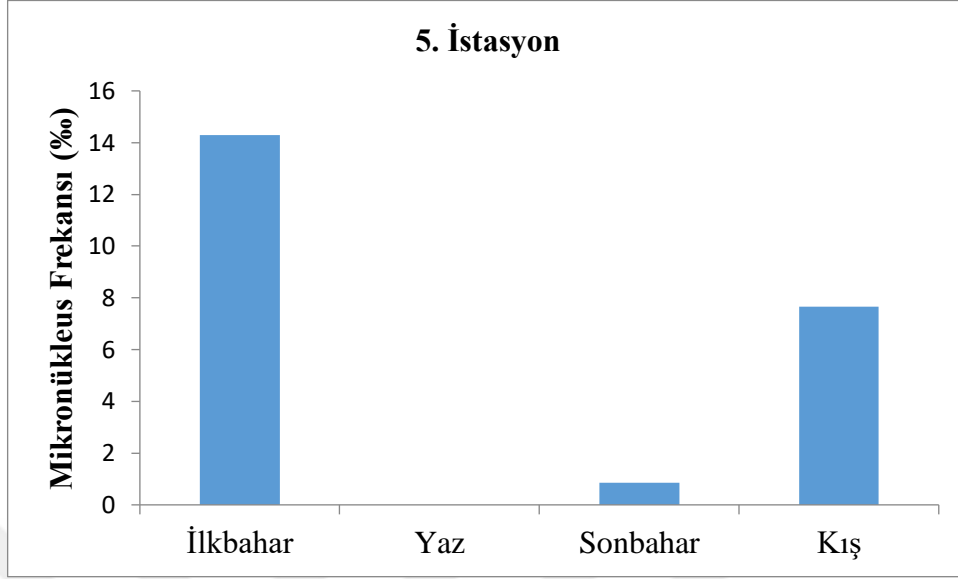
**Şekil 4.5.5** *A. chalcoides* örneklerinin eritrositlerinde belirlenen mikronükleus frekanslarının 3. istasyonda mevsimsel dağılımı

4. istasyondan örneklenen bireylerde belirlenen MN frekanslarının mevsimsel değişimi kış>sonbahar>ilkbahar>yaz şeklinde sıralanmaktadır (Şekil 4.5.6).



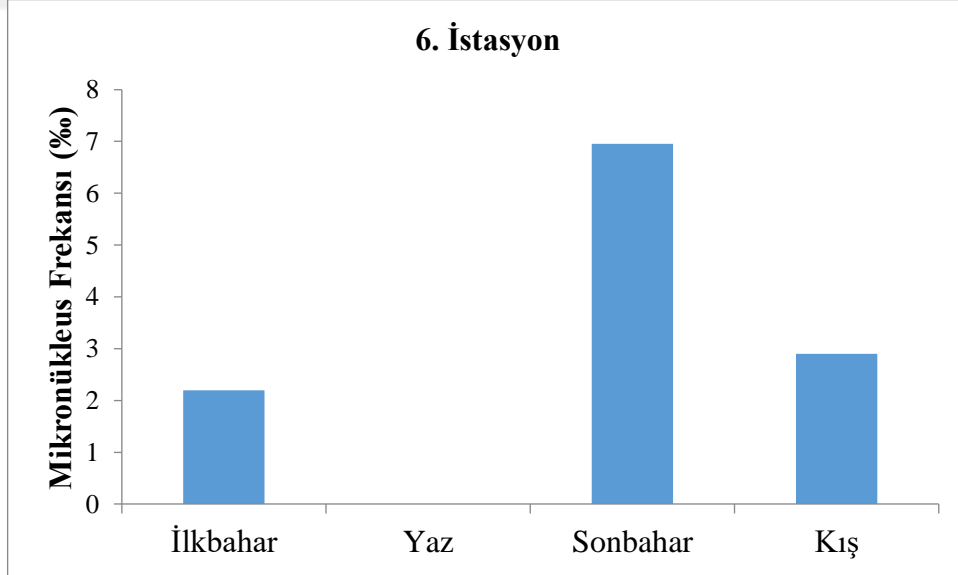
**Şekil 4.5.6** *A. chalcoides* örneklerinin eritrositlerinde belirlenen mikronükleus frekanslarının 4. istasyonda mevsimsel dağılımı

5. istasyondan örneklenen bireylerin MN frekanslarının mevsimsel değişimi ilkbahar>kış>sonbahar>yaz şeklinde sıralanmaktadır (Şekil 4.5.7).



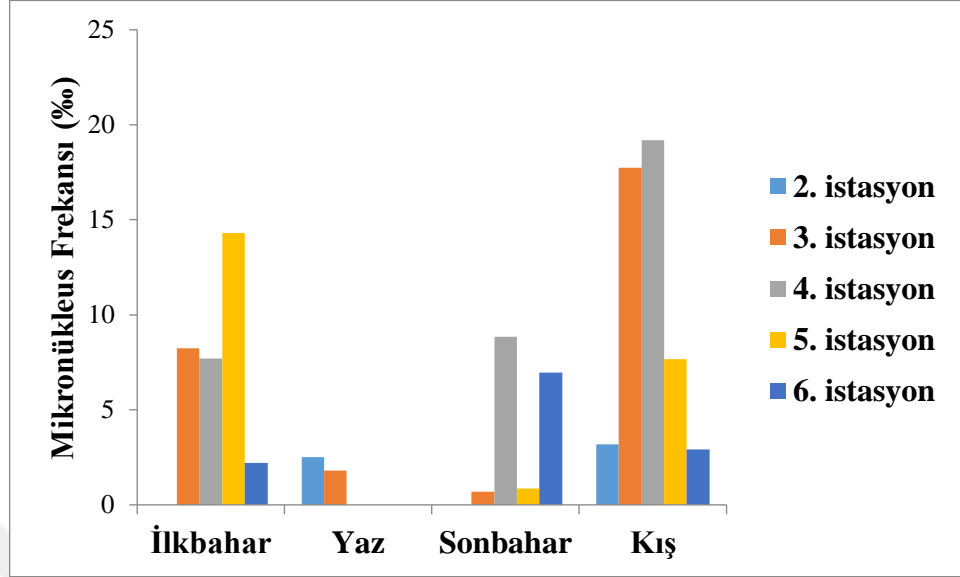
Şekil 4.5.7 *A. chalcoides* örneklerinin eritrositlerinde belirlenen mikronükleus frekanslarının 5. istasyonda mevsimsel dağılımı

6. istasyon örneklerinde tespit edilen MN frekanslarının mevsimsel değişimi sonbahar>kış>ilkbahar>yaz şeklinde sıralanmaktadır (Şekil 4.5.8).



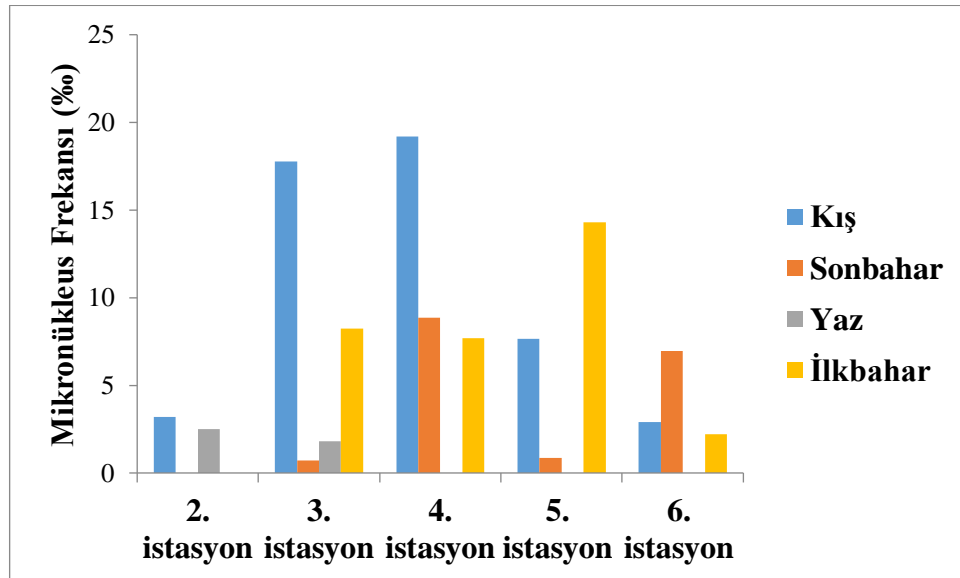
Şekil 4.5.8 *A. chalcoides* örneklerinin eritrositlerinde belirlenen mikronükleus frekanslarının 6. istasyonda mevsimsel dağılımı

Curi Deresi 2., 3., 4., 5. ve 6. istasyonlarından örneklenen balıkların MN frekanslarının mevsimlere göre değişimi Şekil 4.5.9’da verilmiştir.



Şekil 4.5.9 Mevsimlere göre mikronükleus (MN) frekanslarının dağılımı

İstasyonlara göre (Şekil 4.5.10) MN frekanslarının dağılımları değerlendirilecek olursa; ilkbahar mevsiminde 5>3>4>6>2 şeklinde, yaz mevsiminde 2>3>4=5=6 şeklinde, sonbahar mevsiminde 4>6>5>3>2 şeklinde, kış mevsiminde 4>3>5>2>6 şeklindedir.



Şekil 4.5.10 İstasyonlara göre mikronükleus (MN) frekanslarının dağılımı

İstasyonlardan örneklenen bireylerin eritrositlerinde belirlenen ortalama MN frekanslarının mevsimlere göre değişimi Çizelge 4.5.2’de verilmiştir.

İkinci istasyona ait örneklerin eritrositlerinde tespit edilen MN frekansları mevsimlere göre kıyaslandığında, yaz ve kış mevsimleri arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamsız bulunmuştur ( $P>0.05$ ) (Çizelge 4.5.2). Üçüncü istasyona ait örneklerin eritrositlerinde tespit edilen MN frekansları mevsimlere göre kıyaslandığında, mevsimler arasındaki farkın istatistiksel açıdan anlamsız olduğu görülmüştür ( $P>0.05$ ) (Çizelge 4.5.2). Dördüncü istasyona ait örneklerin eritrositlerinde tespit edilen MN frekansları mevsimlere göre kıyaslandığında, ilkbahar, sonbahar ve kış mevsimleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan anlamsız olduğu görülmüştür ( $P>0.05$ ) (Çizelge 4.5.2). Beşinci istasyona ait örneklerin eritrositlerinde tespit edilen MN frekansları mevsimlere göre kıyaslandığında, ilkbahar, sonbahar ve kış mevsimleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark tespit edilmiştir ( $P<0.05$ ) (Çizelge 4.5.2). Altıncı istasyona ait örneklerin eritrositlerinde tespit edilen MN frekansları mevsimlere göre kıyaslandığında, ilkbahar, sonbahar ve kış mevsimleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan anlamsız olduğu görülmüştür ( $P>0.05$ ) (Çizelge 4.5.2).

**Çizelge 4.5.2** İstasyonlardan örneklenen bireylerin eritrositlerinde tespit edilen ortalama MN frekanslarının mevsimlere göre değişimi

|                    | İlkbahar    | Yaz          | Sonbahar    | Kış          | Önem Düzeyi (P)    |
|--------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------------|
| <b>2. İstasyon</b> | -           | 2.50 ± 1.02  | -           | 3.20 ± 0.502 | (P>0.05)           |
| <b>3. İstasyon</b> | 8.25 ± 6.90 | 1.80 ± 1.80  | 0.70 ± 0.70 | 17.75 ± 6.39 | (P>0.05)           |
| <b>4. İstasyon</b> | 7.70 ± 2.68 | -            | 8.85 ± 1.82 | 19.20 ± 5.17 | (P>0.05)           |
| <b>5. İstasyon</b> | 14.30±2.32  | -            | 0.85 ± 0.85 | 7.65 ± 1.80  | <b>(P&lt;0.05)</b> |
| <b>6. İstasyon</b> | 2.20 ± 2.20 | -            | 6.95 ± 3.67 | 2.90 ± 2.90  | (P>0.05)           |
| <b>Mev. Ort.</b>   | 8.11 ± 2.10 | 2.15 ± 0.983 | 4.34 ± 1.28 | 10.14 ± 2.17 | <b>(P&lt;0.05)</b> |

Mevsimsel ortalama değerler gözönüne alındığında tüm mevsimler arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur ( $P<0.05$ ) (Çizelge 4.5.2). Ancak yıllık ortalama değerler göz önüne alınarak istasyonlar karşılaştırıldığında örneklenen bireylerin eritrositlerinde belirlenen ortalama MN frekansları arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $P>0.05$ ) (Çizelge 4.5.3).

**Çizelge 4.5.3** Mevsimsel örneklenen bireylerin eritrositlerinde tespit edilen ortalama MN frekanslarının istasyonlara göre değişimi

|                  | 2. İstasyon | 3. İstasyon | 4. İstasyon | 5. İstasyon | 6. İstasyon | Önem Düzeyi (P)    |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|
| <b>İlkbahar</b>  | -           | 8.25 ± 6.90 | 7.70 ± 2.68 | 14.30±2.32  | 2.20 ± 2.20 | (P>0.05)           |
| <b>Yaz</b>       | 2.50 ± 1.02 | 1.80 ± 1.80 | -           | -           | -           | (P>0.05)           |
| <b>Sonbahar</b>  | -           | 0.70 ± 0.70 | 8.85 ± 1.82 | 0.85 ± 0.85 | 6.95 ± 3.67 | <b>(P&lt;0.05)</b> |
| <b>Kış</b>       | 3.20±0.502  | 17.75±6.39  | 19.20±5.17  | 7.65 ± 1.80 | 2.90 ± 2.90 | <b>(P&lt;0.05)</b> |
| <b>Yıl. Ort.</b> | 2.85±0.551  | 7.13 ± 2.70 | 11.92±2.34  | 7.60 ± 1.75 | 4.02 ± 1.69 | (P>0.05)           |

Curi Deresi'nde belirlenen altı istasyona ait su numunelerinde, konsantrasyonu yüksek tespit edilen bazı elementlerin mevsimsel ortalama ağır metal konsantrasyonları ve MN frekansları Çizelge 4.5.4-4.5.8'de sunulmuştur.

İkinci istasyon suyunda konsantrasyonu YSKY (2012)'deki sınır değerlere göre yüksek tespit edilen bazı elementlerin mevsimsel ortalama ağır metal konsantrasyonları ve MN frekansları Çizelge 4.5.4'te verilmiş olup, yıl boyunca yapılan örneklemeler sonucunda *A. chalcoides* bireylerinin kan hücrelerinde tespit edilen MN frekansı yaz mevsiminde %2.50, kış mevsiminde ise %3.20 olarak bulunmuştur. Esansiyel olmayan ağır metaller arasında yer alan Pb elementi canlılar için toksik özelliğe sahiptir. Bu durum Pb elementinin toksik özelliğinin bir göstergesi olabileceğini akla getirmektedir (Çizelge 4.5.4). Bunun yanında kış mevsiminde (%3.20) belirlenen MN frekansı yaz mevsimine göre yüksek bulunmuştur. Bunun nedeni de suda konsantrasyonu yüksek belirlenen metallerin yanında çevresel diğer faktörlerin de birlikte etkisinin bir sonucu olabileceğidir.

**Çizelge 4.5.4** İkinci istasyon suyunda konsantrasyonu yüksek tespit edilen bazı elementlerin mevsimsel ortalama ağır metal konsantrasyonları ve MN frekansları

| Element | Mevsim   | Element Konsantrasyonu (µg/L) | Mikronükleus Frekansı (%) (Ort.±SS) |
|---------|----------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Al      | İlkbahar | 43.55                         | -                                   |
| Pb      |          | 16.26                         |                                     |
| Fe      |          | 199.388                       |                                     |
| Pb      | Yaz      | 14.57                         | 2.50 ± 1.020                        |
| Fe      |          | 210.929                       |                                     |
| Cu      |          | 6.14                          |                                     |
| Al      | Sonbahar | 51.93                         | -                                   |
| Pb      |          | 15.78                         |                                     |
| Fe      |          | 216.081                       |                                     |
| Cu      |          | 3.29                          |                                     |
| Ni      |          | 49.37                         |                                     |
| Al      | Kış      | 48.20                         | 3.20 ± 0.502                        |
| Fe      |          | 223.523                       |                                     |

Üçüncü istasyona ait su numunelerinde, YSKY (2012)'deki sınır değerlere göre konsantrasyonu yüksek tespit edilen bazı elementlerin mevsimsel ortalama ağır metal konsantrasyonları ve MN frekansları Çizelge 4.5.5'te verilmiş olup, bireylerin kan hücrelerinde tespit edilen MN frekansları ilkbahar mevsiminde %8.25, yaz mevsiminde %1.80, sonbahar mevsiminde %0.70, kış mevsiminde ise %17.75 olarak bulunmuştur. MN frekansları mevsimsel anlamda karşılaştırıldığında

kış>ilkbahar>yaz>sonbahar şeklinde bir sıralama elde edilmektedir. Pb'un suda yüksek olduğu mevsimler ise sırasıyla; yaz, sonbahar, ilkbahar ve kış mevsimleridir. Bu farklılığın sebebi sudaki limit değerinin üzerindeki esansiyel ve esansiyel olmayan metallere kaynaklı olabileceği gibi havzanın doğal jeokimyasal özellikleri, evsel atıklar ve pestisitler gibi çeşitli çevresel faktörlerin etkilerinin de bir sonucu olabilir.

**Çizelge 4.5.5** Üçüncü istasyon suyunda konsantrasyonu yüksek tespit edilen bazı elementlerin mevsimsel ortalama ağır metal konsantrasyonları ve MN frekansları

| Element | Mevsim   | Element Konsantrasyonu ( $\mu\text{g/L}$ ) | Mikronükleus Frekansı (%) (Ort. $\pm$ SS) |
|---------|----------|--|---|
| Al      | İlkbahar | 27.28                                      | 8.25 $\pm$ 6.900                          |
| Fe      |          | 221.640                                    |   |
| Al      | Yaz      | 29.60                                      | 1.80 $\pm$ 1.800                          |
| Pb      |          | 15.51                                      |   |
| Fe      | Sonbahar | 207.735                                    | 0.70 $\pm$ 0.700                          |
| Pb      |          | 16.37                                      |   |
| Fe      |          | 231.057                                    |   |
| Cu      | Kış      | 3.45                                       | 17.75 $\pm$ 6.390                         |
| Al      |          | 52.63                                      |   |
| Fe      |          | 226.57                                     |   |

Dördüncü istasyona ait su numunelerinde, YSKY (2012)'deki sınır değerlere göre konsantrasyonu yüksek tespit edilen bazı elementlerin mevsimsel ortalama ağır metal konsantrasyonları ve MN frekansları Çizelge 4.5.6'da verilmiş olup, bireylerin kan hücrelerinde tespit edilen MN frekansları ilkbahar mevsiminde %7.70, sonbahar mevsiminde %8.85, kış mevsiminde ise %19.20 olarak tespit edilmiştir. Yaz mevsimindeki balık numunelerinden kan örneği alınamadığı için değerlendirme yapılamamıştır. MN frekansları mevsimsel anlamda karşılaştırıldığında kış>sonbahar>ilkbahar şeklinde bir sıralama elde edilmektedir. Dördüncü istasyonda MN frekansları 2. ve 3. istasyonlarda da olduğu gibi en yüksek kış mevsiminde hesaplanmıştır (Çizelge 4.5.2). Ancak, Kontaş (2018) Melet Irmağı'ndan örneklenen balık türleri için belirlenen MN frekansı değerlerinin en yüksek yaz mevsiminde, en düşük kış mevsiminde olduğunu bildirmiştir. Melet Irmağı'nın Kocaali İstasyonu'ndan örneklenen *A. chalcoides* türünün yaz mevsiminde belirlenen MN frekansı %5.40, kış mevsiminde belirlenen MN frekansı ise %0.80 olarak, Nehir Ağzı İstasyonundan örneklenen *A. chalcoides* türünün yaz mevsiminde belirlenen MN frekansı %9.60, kış mevsiminde belirlenen MN frekansı ise %1.90 olarak hesaplanmıştır (Kontaş, 2018). Bu açıdan çalışma sonuçları farklılık göstermektedir.

MN frekanslarında meydana gelen artışlar, element seviyelerinde meydana gelen değişimlerle doğru orantılıdır. Ancak bu çalışmada balıkların hücrelerinin maruz kaldığı farklı ağır metal konsantrasyonlara bağlı olarak meydana gelen mikronükleusların frekanslarında gerçekleşen artışın, hücrelerin maruz kaldığı genotoksik kimyasallar ve bu kimyasalların birlikte oluşturdukları kompleks bileşiklerin farklı etkiler gösterebileceğini gözler önüne sermektedir. Yine burada da MN frekanslarındaki bu durumun yalnızca toksik etki gösteren metallere bağlanmaması gerektiğini göstermektedir. Çünkü MN frekansındaki değişimler, su ve sedimentteki konsantrasyon değişimlerinin yanında farklı birçok faktörün etkisinin canlıların genetik materyalini etkilendiğini göstermektedir. Kış mevsiminde en yüksek MN frekansı hesaplanırken suda konsantrasyonları en yüksek metaller (Al, Pb ve Fe) *A. chalcoides* bireylerinin eritrosit hücrelerinde meydana gelen artışı açıklamaktadır.

**Çizelge 4.5.6** Dördüncü istasyon suyunda konsantrasyonu yüksek tespit edilen bazı elementlerin mevsimsel ortalama ağır metal konsantrasyonları ve MN frekansları

| Element | Mevsim   | Element Konsantrasyonu ( $\mu\text{g/L}$ ) | Mikronükleus Frekansı (%) (Ort. $\pm$ SS) |
|---------|----------|--|---|
| Al      | İlkbahar | 30.97                                      | 7.70 $\pm$ 2.680                          |
| Fe      |          | 211.797                                    |   |
| Cu      |          | 5.78                                       |   |
| Pb      | Yaz      | 16.15                                      | -   |
| Fe      |          | 222.36                                     |   |
| Cu      |          | 8.40                                       |   |
| Al      | Sonbahar | 35.47                                      | 8.85 $\pm$ 1.820                          |
| Pb      |          | 16.70                                      |   |
| Fe      |          | 231.98                                     |   |
| Al      | Kış      | 59.25                                      | 19.20 $\pm$ 5.170                         |
| Fe      |          | 226.053                                    |   |

Beşinci istasyona ait su numunelerinde, konsantrasyonu YSKY (2012)'deki sınır değerlere göre yüksek tespit edilen bazı elementlerin mevsimsel ortalama ağır metal konsantrasyonları ve MN frekansları Çizelge 4.5.7'de verilmiştir. Bireylerin kan hücrelerinde tespit edilen MN frekansları ilkbahar mevsiminde %14.30, sonbahar mevsiminde %0.85, kış mevsiminde ise %7.65'tir. Yaz mevsimindeki balık numunelerinden kan örneği alınmadığı için değerlendirme yapılamamıştır. MN frekansları mevsimsel anlamda karşılaştırıldığında ilkbahar>kış>sonbahar şeklinde bir sıralama elde edilmektedir. Beşinci istasyonda en yüksek frekanstan en düşüğe doğru MN frekansları incelendiğinde ilkbahar, kış ve sonbahar şeklinde bir sıralama göze çarpmaktadır. Arslan ve ark., (2011b)'nin yaptıkları çalışmada, *Poecillia*

*reticulata* bireyleri 15 µL/L konsantrasyonundaki çamaşır suyu ve bulaşık deterjanına maruz bırakılmıştır. Çamaşır suyu ve bulaşık deterjanı karışımına maruz kalan bireylerde kontrol grubuna oranla tespit edilen mikronükleus değerleri yüksek bulunmuştur. Sudaki kirletici konsantrasyonunun (15 µL/L) az olması bile mikronükleus ve morfolojik nükleus düzensizliklerinin artmasına sebep olmuştur. Sucul ekosistemlerin evsel atık içeren kirleticilerle kirletilmemesi gerektiği, zararlı maddeler içeren evsel atıkların arıtılması sonucunda daha zararsız bir hale dönüştürülmesi sağlanarak ortama verilmesi gerektiği bildirilmiştir.

**Çizelge 4.5.7** Beşinci istasyon suyunda konsantrasyonu yüksek tespit edilen bazı elementlerin mevsimsel ortalama ağır metal konsantrasyonları ve MN frekansları

| Element | Mevsim   | Element Konsantrasyonu (µg/L) | Mikronükleus Frekansı (%) (Ort.±SS) |
|---------|----------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Fe      | İlkbahar | 192.685                       | 14.30 ± 2.320                       |
| Al      | Yaz      | 30.04                         | -                                   |
| Fe      |          | 220.993                       |                                     |
| Al      | Sonbahar | 32.55                         | 0.85 ± 0.850                        |
| Pb      |          | 16.46                         |                                     |
| Fe      |          | 230.115                       |                                     |
| Al      | Kış      | 56.65                         | 7.65 ± 1.800                        |
| Fe      |          | 206.054                       |                                     |
| Cu      |          | 5.34                          |                                     |

Altıncı istasyona ait su numunelerinde, konsantrasyonu YSKY (2012)'deki sınır değerlerin üzerinde tespit edilen bazı elementlerin mevsimsel ortalama ağır metal konsantrasyonları ve MN frekansları Çizelge 4.5.8'de verilmiş olup, bireylerin kan hücrelerinde tespit edilen MN frekansları ilkbahar mevsiminde %2.20, sonbahar mevsiminde %6.95'tir. Altıncı istasyon olan akarsu ağız istasyonunda MN frekansının en yüksek olduğu mevsim sonbahar, en düşük olduğu mevsim ise ilkbahardır. İlkbahar ve kış mevsimlerinde belirlenen MN frekansı arasında çok küçük bir fark bulunmuştur. Ancak 6. istasyonda 5. istasyondan farklı olarak kış mevsimindeki MN frekansı ilkbahar mevsimindekinden büyüktür. MN frekansının kış mevsimine göre sonbahar mevsiminde yüksek tespit edilmesinin sebebi esansiyel olmayan Al ve Pb elementlerinin suda yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmesidir. Esansiyel elementler olan Cu ve Fe'e kış mevsiminde yüksek konsantrasyonlarda rastlanması canlı üzerinde toksik etki oluşturabileceği fikrini akla getirmektedir.



**Çizelge 4.5.8** Altıncı istasyon suyunda konsantrasyonu yüksek tespit edilen bazı elementlerin mevsimsel ortalama ağır metal konsantrasyonları ve MN frekansları

| Element | Mevsim   | Element Konsantrasyonu (µg/L) | Mikronükleus Frekansı (%) (Ort.±SS) |
|---------|----------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Al      | İlkbahar | 41.07                         | 2.20 ± 2.200                        |
| Fe      |          | 205.426                       |                                     |
| Al      | Yaz      | 51.28                         | -                                   |
| Pb      |          | 15.96                         |                                     |
| Fe      |          | 221.75                        |                                     |
| Cu      |          | 7.08                          |                                     |
| Al      | Sonbahar | 52.27                         | 6.95 ± 3.670                        |
| Pb      |          | 15.57                         |                                     |
| Fe      |          | 233.107                       |                                     |
| Cu      |          | 3.70                          |                                     |
| Al      | Kış      | 59.19                         | 2.90 ± 2.900                        |
| Fe      |          | 193.922                       |                                     |
| Cu      |          | 7.62                          |                                     |

Koca ve ark., (2005)'nin Çine Çayı'nda yaptıkları araştırmada suda bulunan yüksek metal iyon konsantrasyonunun burada yaşayan *Lepomis gibbosus* türü üzerine toksik etkilerini araştırmışlardır. Su kirliliğinin balığın kas, karaciğer ve solungaç dokusunda patolojik anomalilere ve eritrosit hücrelerinde de MN oluşumuna neden olduğunu bildirmişlerdir. Koca ve ark., (2008), Büyük Menderes Nehri'nde yaşayan iki balık türü (*B. capito pectoralis* ve *C. nasus*) üzerine su kirliliğinin genotoksik ve histopatolojik etkilerini araştırmışlar ve Zn konsantrasyonu yüksek olan yüzey suyunun genotoksiteyi önemli ölçüde etkilemediği, ancak solungaç epiteli ve karaciğerde patolojik bozukluklara neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Ergene ve ark., (2007b) Mersin'deki Berdan Nehri'nden kanalizasyon atıkları ve endüstriyel atıklarla kirlenen farklı alanlardan su örnekleri toplamış ve laboratuvar ortamına getirmişlerdir. Alınan su numuneleri içerisinde 6 gün süreyle bırakılan *O. niloticus* balıklarının eritrosit, solungaç ve kuyruk epitel hücrelerinde; MN, çift çekirdek, çentikli çekirdek, loplu çekirdek, gibi çekirdek anormallerinin ağır metal içeriğine bağlı olarak arttığını tespit etmişlerdir.

Omar ve ark., (2012), *O. niloticus* ve *M. cephalus* türleri üzerinde aşırı derecede kirlenmiş habitatlardaki ağır metallerin genotoksik etkilerini MN testi ile araştırmışlar, MN ve çekirdek anormallerinin frekanslarında önemli bir artış olduğunu tespit etmişlerdir.

Yazıcı ve Şişman, (2015) yaptıkları çalışmada Karasu Nehri'nde yaşayan *B. plebejus* türünde su kirliliğinin genotoksik etkilerini MN testi ile belirlemiştir. Serçeme istasyonuna göre (Cd: <0.05 µg/L, Al: 69.20 µg/L, As: 2.20 µg/L, Pb: 3.05 µg/L ve Mn: 23.40 µg/L), daha kirli olduğu düşünülen Aşkale istasyonunda biriken ağır metal miktarı daha yüksektir. (Cd: 7.10 µg/L, Al: 287.80 µg/L, As: 12.50 µg/L, Pb: 11.30 µg/L ve Mn: 85.35 µg/L) daha temiz olduğu düşünülen Serçeme istasyonuna göre ağır metal miktarlarının yüksek olduğu tespit edilmiştir. MN testi sonuçları değerlendirildiğinde; Aşkale ve Serçeme istasyonlarına ait MN frekans değerleri sırasıyla %2.00 ve %1.00 bulunmuştur.

Fatima ve ark., (2015) Hindistan'ın kuzeyindeki Kali Nehri'nde yaşayan *C. striatus* ve *Heteropneustes fossilis* türünde krom (Cr), nikel (Ni), kurşun (Pb) ve kadmiyum (Cd) ağır metalleri belirlenmiş, MN ve comet analizleri ile ağır metallerin genotoksitesisi doğrulanmıştır. Veriler, her iki balıkta mikronükleus oluşumunda ve nükleer anormalliklerde önemli artış olduğunu göstermektedir. *C. striatus*'ta MN oluşumu 1.52 indüksiyon faktörü ile anlamlı derecede yüksek olduğu, diğer anormallikler göz önüne alındığında indüksiyon faktörünün 1.16 olduğu bildirilmiştir. *H. fossilis* türünde MN oluşumu 1.5 indüksiyon faktörü gösterirken, diğer anormallikler için 1.09 olarak hesaplanmıştır. Karşılaştırıldığında *C. striatus* türünde MN oluşumu *H. fossilis*'ten daha yüksek olduğu için daha fazla etkilendiği bulunmuştur.

Eritrosit mikronükleus yöntemi kullanılarak birçok kimyasal ya da fiziksel etmenin genotoksik etkileri araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Bahari ve ark., (1994); *C. gariepinus* bireylerini belirli dozlarda radyasyona maruz bırakmış ve 96 saat sonunda eritrositlerde en yüksek MN frekansını %0.4 bulmuşlardır. Ayrıca mitomisin C'ye maruz bırakılan *C. gariepinus*'larda ise MN frekansını %0.6 olarak bulunmuş ve doz artışına bağlı olarak mikronükleuslu eritrosit frekansında yükseliş olduğunu tespit etmişlerdir.

Sergene ve ark., (1999), yapmış oldukları araştırmada *C. lazera* (kara balık) üzerinde tarım ilacı olarak kullanılan methamidophosun genotoksik etkilerini MN testi ile belirlemiştir. Mikronükleuslu eritrosit frekansları değerlendirildiğinde; kontrol grubundaki balıklarda %0.18, 100 ppm'lik doza maruz kalan balıklarda % 1.92 ve 200 ppm'lik doza maruz kalan balıklarda %3.26 değerleri bulunmuştur. Buna göre

konsantrasyon artışıyla doğru orantılı mikronükleuslu eritrosit frekansında da artış olduğunu tespit etmişlerdir. Yine Al-Sabti (1994), yaptığı çalışmada *C. auratus* üzerinde cıva, metil cıva ve selenyumun genotoksik etkilerini araştırmış ve eritrositlerde mikronükleus oluşumunu indüklediğini belirlemişlerdir. *C. auratus*'ların eritrositlerindeki MN frekansları değerlendirildiğinde; 50 ng/5mL konsantrasyona sahip cıvaya maruz kalan balıklarda %69.3, 50 ng/5mL konsantrasyona sahip metil cıvaya maruz kalan balıklarda %113.1 ve 1000 ng/5 mL'lik konsantrasyona sahip selenyuma maruz kalan balıklarda ise %69.2 değerleri bulunmuştur. Ayrıca su kirliliğinin belirlenmesi amacı ile doğrudan doğal ortamlarından örneklenen balıklar üzerinde yapılan *in situ* çalışmalarda da MN testlerinden faydalanılmaktadır. Yapılan çalışmaların sonuçları değerlendirildiğinde, çalışılan bölge ve canlı türü, maruz kalınan kirletici, canlının genetik yapısı, eşeye ya da yaş ve sıcaklık gibi faktörlere bağlı olarak MN frekanslarında değişiklik gözlenebilmektedir. Yapılan MN testleri; kirleticilere maruz kalan balıkların kalıtsal yapılarında farklı oranlarda değişiklik olduğunu göstermektedir (Sergene ve ark., 1999; Yırtıcı, 2007).

Ali ve ark., (2014) yaptıkları çalışmada, tüm dimetoat konsantrasyonları için sürelerin MN indüksiyonu üzerine anlamlı bir ( $P<0.01$ ) etkisi olduğunu bildirmişlerdir. Numune kaynaklı MN sıklığındaki en düşük dimetoat muamelesi konsantrasyonu, 24 saat içinde eritrositlerde %0.060 iken 96 saat maruz kalmanın ardından %0.24'e yükselmiştir. Konsantrasyon 2 için de aynı durum söz konusudur, bunun içinde MN frekansı 24 saat içinde %0.102 iken 96 saat sonra %0.420'ye yükselmiştir. Bununla birlikte, en yüksek konsantrasyonda MN indüksiyonundaki artış daha da yüksek bulunmuştur. Sonuç olarak farklı balık türleri farklı mikronükleus frekansları gösterebilir, ancak yüksek mikronükleus frekansları daha kirli bölgelerden (Al-Sabti ve Metcalfe, 1995; Minissi ve ark., 1996; Bombail ve ark., 2001; Çavaş ve Ergene-Gözükara, 2005b; Ergene ve ark., 2007a,b; Rybakovas ve ark., 2009; Ferreira ve ark., 2010) ve farklı tipte kirleticilere maruziyetten sonra (Çavaş ve Ergene-Gözükara, 2003a,b; Buschini ve ark., 2004; De Andrade ve ark., 2004; Çavaş ve Ergene-Gözükara, 2005a,c; Bolognesi ve ark., 2006; Neuparth ve ark., 2006; Çavaş ve Könen, 2007; Çavaş ve Könen, 2008, Çavaş, 2008; Siu ve ark., 2008; Ramsdorf ve ark., 2009; Nwani ve ark., 2010) elde edilmiştir.

Asllani ve ark., (2019) *R. rutilus* türlerinde genotoksik riski değerlendirmek için iki yıllık (2016-2017) bir çalışma yapmışlardır. Örnekler, Drenica Nehri boyunca

üç yerde ve Sitnica Nehri boyunca iki yerde toplanmış ve eritrositlerdeki genotoksisite, comet (DNA hasarı) analizinin yanı sıra mikronükleus testi ile değerlendirilmiştir. Mikro çekirdekli hücrelerin sıklıkları, dört mevsim toplanan örnekler için belirlenirken, comet analizi iki yıl boyunca beş mevsim toplanan örnekler üzerinde değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler ile daha temiz olan Badovc Gölü'nde yaz 2016, sonbahar 2016, ilkbahar 2017, yaz 2017 mevsimlerinde *R. rutilus* türünün eritrositlerinde belirlenen MN frekansı değerleri sırasıyla %0.025, %0.02, %0.02 ve %0.005 şeklinde belirlenmiştir. Dobroshevc istasyonunda yaz 2016, sonbahar 2016, ilkbahar 2017, yaz 2017 mevsimlerinde MN frekansı değerleri sırasıyla %0.07, %0.04, %0.03 ve %0.01 şeklinde; Grabovc istasyonunda yaz 2016, sonbahar 2016, ilkbahar 2017, yaz 2017 mevsimlerinde eritrositlerde belirlenen MN frekansı değerleri sırasıyla %0.04, %0.02, %0.05 ve %0.02 şeklinde belirlenmiştir. Vragolia istasyonunda yaz 2016, sonbahar 2016, ilkbahar 2017, yaz 2017 mevsimlerinde eritrositlerde belirlenen MN frekansı değerleri sırasıyla %0.06, %0.03, %0.05 ve %0.01 şeklindedir. Lumadh istasyonunda yaz 2016, sonbahar 2016, ilkbahar 2017, yaz 2017 mevsimlerinde eritrositlerde belirlenen MN frekansı değerleri sırasıyla %0.04, %0.03, %0.03 ve %0.01 şeklindedir. Mitrovica istasyonunda Lumadh istasyonundan farklı olarak ilkbahar 2017'de %0.06 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak *R. rutilus* türü için mevsimler karşılaştırıldığında, genotoksisitenin en yüksek olduğu mevsimin 2016 yazı olduğu belirlenmiş bunu 2017 ilkbahar ve 2016 sonbahar mevsimlerinin takip ettiği bildirilmiştir. Ayrıca, mikronükleus oranlarının yanı sıra DNA hasar seviyelerinin de 2016'da toplanan örneklerde 2017'deki mevsimlere göre anlamlı derecede yüksek olduğu belirlenmiştir.

İncelenen genotoksik stresörlere maruz kaldıktan sonra comet ve MN kullanılarak saptanabilen DNA hasarının indüklenmesi, farklı balık türleri için gösterilmiştir (Ferraro ve ark., 2004, Çavaş, 2008, Monteiro ve ark., 2011). Çavaş ve ark., (2005) bakır, kadmiyum ve kromun *C. carpio*, *C. gibelio* ve *Corydoras paleatus*'un farklı dokularında MN oluşumunda artışa neden olabileceğini belirtmiştir. Ek olarak, Obiakor ve ark. (2010) *Synodontis clarias* ve *T. nilotica* türleri üzerinde yapılan çalışmalarda bakır, çinko ve karışımlarının genotoksik etkilerini göstermiştir.

D'Costa ve ark., (2017) Goa kıyıları boyunca Hindistan'ın farklı mevsimlerinde yenilebilir *Arius arius* balığının kas karaciğer ve solungaç dokularında doğal popülasyonlarında bulunan iz metallerin ve toplam petrol hidrokarbonlarının

genetik hasarı ve konsantrasyonlarını bildirmişlerdir. Muson öncesi, muson ve muson mevsimlerinde şüpheli kirli bir sahadan ve referans alandan balıklar toplanmıştır. Fiziko-kimyasal parametrelerin yanı sıra, toplam petrol hidrokarbonlarının (TPH) konsantrasyonları ve su ve tortudaki metal izlerinin yanı sıra bu bölgelerden toplanan balıkların dokuları kaydedilmiştir. Balıkların genotoksisite durumu, mikronükleus ve comet analizi kullanılarak değerlendirilmiştir. Toplanan tüm balıklarda kuyruk DNA'sı ve mikronükleuslar arasında pozitif bir korelasyon gözlenmiştir ( $P < 0.001$ ). Çoklu regresyon analizi, doku ve çevresel kirletici konsantrasyonlarının ve genotoksisitenin, kirlenmiş bölgeden toplanan balık dokularında pozitif ilişkili olduğunu ve daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Metal kaynaklı genotoksisite, ağırlıklı olarak DNA onarım sürecinin inhibisyonundan kaynaklanmaktadır (Hartwig ve Schwerdtle, 2002). Mikronükleus testi (Çavaş ve Ergene-Gözükara, 2005b; Bolognesi ve Hayashi, 2011) ve comet assay (tek hücreli jel elektroforezi) (Fernández-Tajes ve ark., 2011; Frenzilli ve Lyons, 2013; Praveen Kumar ve ark., 2014), suda yaşayan organizmalarda *in vivo* genotoksisite değerlendirmesi için kolay ve yaygın olarak kullanılan testlerdir. Balık ve bivalflerde *in vivo* ve *in vitro* genotoksisite çalışmaları için sıklıkla kullanılırlar. Birçok çalışmada comet analizi ile mikronükleus testi arasında pozitif bir ilişki olduğu bulunmuştur (Bresler ve ark., 1999; De Andrade ve ark., 2004; Russo ve ark., 2004; D'Costa ve ark., 2017).

#### 4.6 Comet Analizi Sonuçları

Bazı araştırmacılar balıkların biyo-izleme ve su kirliliği risk değerlendirmesi için uygunluğuna ve önemine değinmişlerdir (Tchounwou ve ark., 1996; Tollefsen ve ark., 2006; Boettcher ve ark., 2010; Bückler ve ark., 2012; Deutschmann ve ark., 2016). *In vivo* biyo-izleme yaklaşımını seçmişler, balıkların su ile doğrudan temas halinde olduklarından ve integral maruziyetini yansıtacağından, genotoksisite testlerinin faydalı göstergeler (Al-Sabti ve Metcalfe, 1995; Rocha ve ark., 2011) olduğunu kanıtlamışlardır. Ayrıca, tatlı suda mutajenler ve pro-mutajenler tarafından indüklenen DNA hasarının saptanması için faydalı oldukları gösterilmiştir (Mitchelmore ve Chipman, 1998; Lemos ve ark., 2005; Boettcher ve ark., 2010; Rocha ve ark., 2011; Deutschmann ve ark., 2016). Antioksidan enzimlerin aktivitesini (Morina ve ark., 2013) ve Sitnica Nehri üzerindeki kirli bölgelerin bazı lokasyonlarından örneklenen sazan (*C. carpio*) üzerindeki potansiyel sitotoksik ve genotoksik etkilerini (Aliko ve ark., 2015) çalışmış olan araştırmacılar tarafından da genotoksisite testlerinin

uygunlukları kanıtlanmıştır. Eritrositler, mikronükleus testi ve comet analizlerinin uygulanmasıyla değerlendirilen, genotoksik bileşiklere maruz kalma için gösterge hücreler olarak görev yapmaktadır. Bu analizler güvenilir göstergeler olarak kabul edilir (Collins, 2015) ve sıklıkla balık eritrositleri kullanan çalışmalarda kombinasyon halinde kullanılır (Buschini ve ark., 2004; Rocha ve ark., 2009; Rocha ve ark., 2011; Bücken ve ark., 2012; Jovanović ve ark., 2018). Bu nedenle; Curi Deresi çalışmasında bu iki test birbirini desteklemesi açısından seçilmiş ve kullanılmıştır.

Akarsuda belirlenen her bir istasyondan dört mevsim süresince yakalanan *A. chalcoides* (n=75) bireylerinin eritrosit hücrelerinde gerçekleştirilen comet analizi sonucunda elde edilen veriler Çizelge 4.6.1-4.6.5'te verilmiştir. Ayrıca belirlenen comet parametrelerinin mevsimler arasındaki ilişkisini tespit etmek amacıyla yapılan istatistiksel çalışmanın sonuçları yine Çizelge 4.6.1-4.6.5'te yer almaktadır. Sonuçlar değerlendirilirken, kuyruk boyu ( $\mu\text{m}$ ), kuyruk yoğunluğu (%), kuyruktaki % DNA miktarı, baş yoğunluğu (%), baştaki % DNA miktarı ve kuyruk momenti değerleri dikkate alınmış ve hesaplamalar yapılmıştır. İncelemeler sonucunda DNA hasarı olan hücrelerde, kuyruk oluşumları meydana gelmiştir.

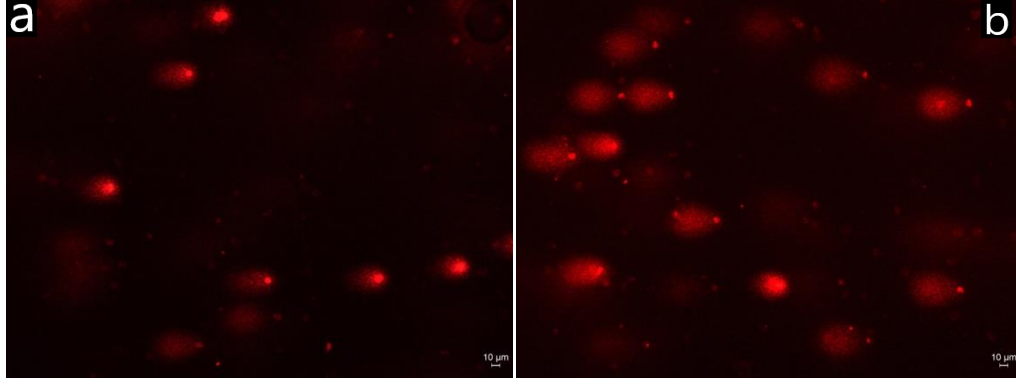
İkinci istasyon için; %DNA<sub>T</sub> değeri yaz mevsiminde  $21.67 \pm 2.00$  olarak belirlenirken, kış mevsimi için  $24.50 \pm 2.23$  olarak hesaplanmıştır. %DNA<sub>H</sub> değeri ise yaz mevsimi için  $78.27 \pm 2.00$ , kış mevsiminde ise  $75.44 \pm 2.22$  olarak hesaplanmış ve karşılaştırıldığında aralarındaki farkın önemli olmadığı belirlenmiştir ( $P > 0.05$ ) (Çizelge 4.6.1). Curi Deresi 2. istasyonundan örneklenen *A. chalcoides* eritrosit hücrelerinde; yaz ve kış mevsimlerine ait kuyruk momenti, kuyruktaki % DNA miktarı, baş yoğunluğu (%), baştaki % DNA miktarı ve kuyruk yoğunluğu (%) değerleri kıyaslandığında, mevsimler arasındaki farkın istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı belirlenmiştir ( $P > 0.05$ ) (Çizelge 4.6.1). DNA hasarına bağlı olarak meydana gelen kuyruk boyu parametresi mevsimler arasında kıyaslandığında, kış mevsiminde yaz mevsimine göre daha yüksek olduğu ( $99.80 \pm 13.60 \mu\text{m}$ ) tespit edilmiştir. Mevsimler arasındaki farkın istatistiksel açıdan anlamlı olduğu bulunmuştur ( $P < 0.05$ ) (Çizelge 4.6.1).

**Çizelge 4.6.1** İkinci istasyondan örneklenen *A. chalcoides* bireylerinde belirlenen comet parametrelerinin değerleri

| 2. İstasyon                                   | İlkbahar | Yaz               | Sonbahar | Kış               | Önem Düzeyi (P)  |
|---|----------|-------------------|----------|-------------------|------------------|
| <b>Kuyruk Boyu (<math>\mu\text{m}</math>)</b> | -        | 57.90 $\pm$ 10.2  | -        | 99.80 $\pm$ 13.60 | <b>P&lt;0.05</b> |
| <b>Kuyruk Yoğunluğu (%)</b>                   | -        | 48.50 $\pm$ 10.70 | -        | 53.60 $\pm$ 10.20 | P>0.05           |
| <b>Kuyruktaki % DNA Miktarı</b>               | -        | 21.67 $\pm$ 2.00  | -        | 24.50 $\pm$ 2.23  | P>0.05           |
| <b>Baş Yoğunluğu (%)</b>                      | -        | 51.50 $\pm$ 6.96  | -        | 46.40 $\pm$ 7.29  | P>0.05           |
| <b>Baştaki % DNA Miktarı</b>                  | -        | 78.27 $\pm$ 2.00  | -        | 75.44 $\pm$ 2.22  | P>0.05           |
| <b>Kuyruk Momenti</b>                         | -        | 8.87 $\pm$ 2.84   | -        | 16.42 $\pm$ 4.19  | P>0.05           |

Curi Deresi 2. istasyonunda su numunelerinde yüksek konsantrasyonda tespit edilen elementler; kış mevsiminde Al ve Fe, yaz mevsiminde Cu, Fe ve Pb elementleridir. Akarsu üzerinde belirlenen 2. istasyon etrafında seyrekte olsa yerleşim alanlarının ve sık olarak fındık bahçelerinin bulunduğu ve hayvancılığın yapıldığı bölgedir. İstasyona ait su numunelerinde yaz mevsimlerinde yüksek değerlerde tespit edilen Cu ve Pb elementlerine, tarımsal faaliyetlerde kullanılan pestisitlerin içeriğinde bulunan elementlerin topraktan yağmur sularıyla süzülerek suya karışmasının neden olduğu anlaşılmaktadır. Curi Deresi'nden alınan sediment örneklerinin element analizleri incelendiğinde ise 2. istasyonda her iki mevsim için de Mn ve Cu elementlerinin konsantrasyonları sınır değerlerin üzerinde olduğu bulunmuştur. Aynı istasyondan alınan su numunelerinde Pb elementi limit değerinin üzerindeyken, sediment numunelerindeki Pb değerleri yüksek değildir.

Bu duruma neden olarak, bölgede meydana gelen iklimsel ve mevsimsel değişimler sebep gösterilebilir. MN testi sonuçları incelendiğinde, en yüksek MN frekansı (%3.20) kış mevsiminde, en düşük MN frekansı (%2.50) ise yaz mevsiminde tespit edilmiştir. Ayrıca kış mevsimindeki MN frekansındaki artışın; su ve sediment numunelerinde farklı ağır metal konsantrasyonları belirlense bile canlının genetik materyalinin sudaki metal konsantrasyonunun yanında birçok değişken faktörden etkilendiğini göstermektedir. Fe, canlılar için esansiyel bir element olmasının yanında yüksek konsantrasyonlarda toksik etkiler gösterebilmektedir.



**Şekil 4.6.1** İkinci istasyon örneklerinin yaz (a) ve kış (b) mevsimlerine ait comet görüntüleri

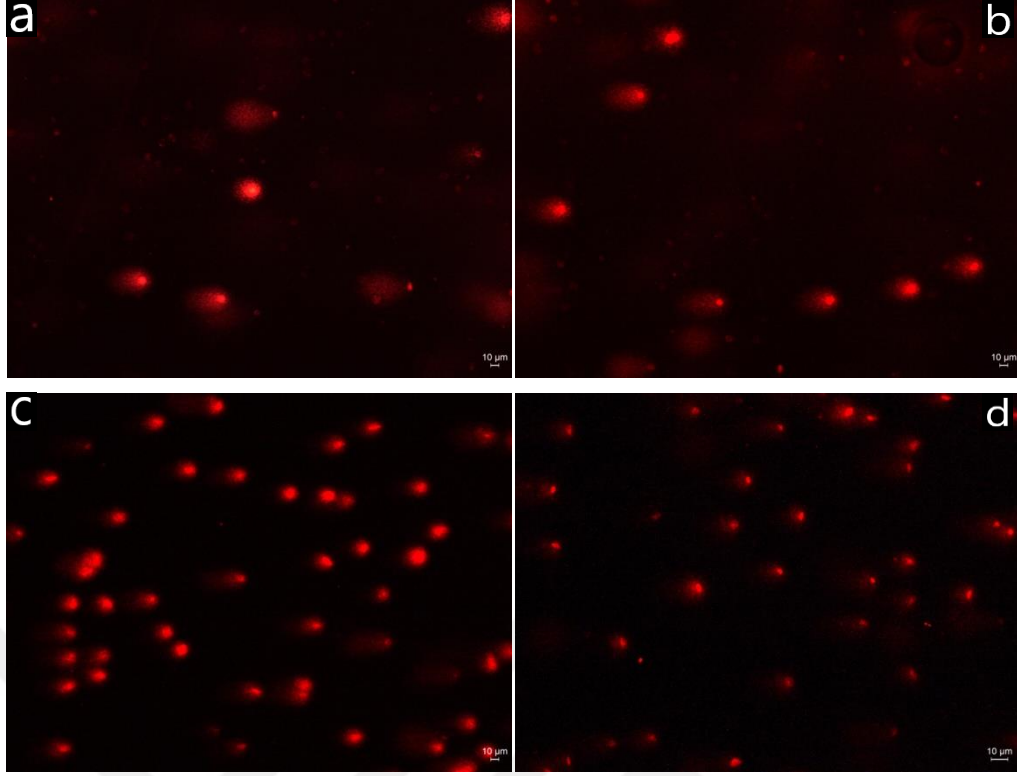
Üçüncü istasyonda kuyruk boyu parametresi mevsimler arasında kıyaslandığında sonbahar mevsiminde en düşük değerde olduğu ( $66.70 \pm 14.50 \mu\text{m}$ ), bu durumu sırasıyla yaz mevsiminin ( $74.20 \pm 14.90 \mu\text{m}$ ), ilkbahar mevsiminin ( $76.40 \pm 12.40 \mu\text{m}$ ) ve kış mevsiminin ( $80.20 \pm 13.90 \mu\text{m}$ ) izlediği belirlenmiştir. DNA hasarında meydana gelen artışın sebebi, mevsimsel olarak artan kuyruk boyu değeridir. Ancak, 3. istasyonda kuyruk boyunda tespit edilen değerler karşılaştırıldığında mevsimler arasındaki bu farkın istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı belirlenmiştir ( $P > 0.05$ ) (Çizelge 4.6.2). %DNA<sub>T</sub> değeri tüm mevsimlerde sırasıyla;  $25.54 \pm 2.51$ ,  $22.15 \pm 2.44$ ,  $20.98 \pm 2.35$  ve  $32.33 \pm 2.05$  olarak hesaplanmıştır. %DNA<sub>H</sub> değeri tüm mevsimlerde sırasıyla;  $74.47 \pm 2.51$ ,  $77.87 \pm 2.45$ ,  $79.02 \pm 2.57$ ,  $67.72 \pm 2.05$  olarak hesaplanmıştır. Üçüncü istasyondan örneklenen bireylere ait; kuyruktaki % DNA miktarı, baş yoğunluğu (%), baştaki % DNA miktarı parametreleri değerlendirildiğinde mevsimler arasındaki farkın istatistiksel açıdan anlamlı olduğu bulunmuştur ( $P < 0.05$ ) (Çizelge 4.6.2).

**Çizelge 4.6.2** Üçüncü istasyondan örneklenen *A. chalcoides* bireylerinde belirlenen comet parametrelerinin değerleri

| 3. İstasyon                     | İlkbahar          | Yaz               | Sonbahar          | Kış               | Önem Düzeyi (P) |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| <b>Kuyruk Boyu (µm)</b>         | $76.40 \pm 12.40$ | $74.20 \pm 14.90$ | $66.70 \pm 14.50$ | $80.20 \pm 13.90$ | $P > 0.05$      |
| <b>Kuyruk Yoğunluğu (%)</b>     | $33.79 \pm 4.49$  | $33.34 \pm 4.88$  | $27.00 \pm 16.00$ | $34.41 \pm 9.24$  | $P > 0.05$      |
| <b>Kuyruktaki % DNA Miktarı</b> | $25.54 \pm 2.51$  | $22.15 \pm 2.44$  | $20.98 \pm 2.35$  | $32.33 \pm 2.05$  | $P < 0.05$      |
| <b>Baş Yoğunluğu (%)</b>        | $66.21 \pm 4.85$  | $66.66 \pm 3.83$  | $72.06 \pm 2.57$  | $65.59 \pm 6.59$  | $P < 0.05$      |
| <b>Baştaki % DNA Miktarı</b>    | $74.47 \pm 2.51$  | $77.87 \pm 2.45$  | $79.02 \pm 2.57$  | $67.72 \pm 2.05$  | $P < 0.05$      |
| <b>Kuyruk Momenti</b>           | $8.39 \pm 1.61$   | $7.44 \pm 2.07$   | $7.20 \pm 1.85$   | $13.75 \pm 4.34$  | $P > 0.05$      |



Curi Deresi örnekleme bölgelerinden alabalık tesislerinin bulunduğu bölge olan 3. istasyonun suyunda yüksek konsantrasyonda tespit edilen elementler tüm mevsimlerde sırasıyla; Al ve Fe; Al, Pb ve Fe; Pb, Fe ve Cu; Al ve Fe elementleridir. Curi Deresi suyunun Pb içeren atıklarla kontamine olması yaz mevsimindeki MN frekansındaki artışı kanıtlar niteliktedir. Pb elementi ile kirlenmiş sulardaki canlıların dokularında bu metalin birikerek, besin zinciri yoluyla üst basamaklara taşındığı birçok toksikolojik çalışma ile bildirilmiştir (Weber ve ark., 1991; Landis ve Yu 1999; Arslan ve ark., 2011a). 3. istasyonun sediment numunelerinde Mn ve Cu elementlerinin konsantrasyonlarının limit değerlerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak 3. istasyonun sonbahar mevsiminde sedimentte Mn ve Cu elementlerinin yanı sıra Zn elementinin de konsantrasyonu da limit değerlerin üzerinde bulunmuştur. Cu, Fe ve Mn elementlerinin en çok tespit edildiği kış mevsiminde MN frekansının da yüksek olması, bu elementlerin bireylerde genotoksik hasara yol açtığını göstermektedir. Örneklenen bireylerin eritrositlerinde belirlenen MN frekansı mevsimlere göre incelendiğinde; %17.75 kış, %8.25 ilkbahar, %1.80 yaz, %0.70 sonbahar olarak bulunmuştur. 3. istasyonun comet verileri değerlendirildiğinde kuyruk uzunluğunda meydana gelen mevsime bağlı artış beraberinde DNA hasar miktarında da artışa sebep olmuştur. Fakat comet parametrelerinden; kuyruk boyu, kuyruk yoğunluğu ve kuyruk momenti değerlerinin mevsimler arasındaki farkı istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır ( $P>0.05$ ). Baştaki DNA yüzdesi, baş yoğunluğu ve kuyruktaki DNA yüzdesi değerlerinin mevsimler arasındaki farkı istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur ( $P<0.05$ ) (Çizelge 4.6.2). Elde edilen sonuçlar, *A. chalcoides* bireylerinin dört mevsimde de ağır metal konsantrasyonuna bağlı olarak genotoksik açıdan etkilendiklerini göstermektedir. Kontaş (2018)'ın Melet Irmağı Kocaali istasyonundan örneklemediği *A. chalcoides* bireylerinin kuyruk boyu değerleri ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde sırasıyla; 26.95  $\mu\text{m}$ , 27.75  $\mu\text{m}$ , 24.81  $\mu\text{m}$ , 24.41  $\mu\text{m}$  şeklinde tespit edilmiş ve bu değerler arasında istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır. Benzer şekilde nehir ağzından örneklenen *A. chalcoides* bireylerinin de kuyruk boyu değerleri ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde sırasıyla; 28.97  $\mu\text{m}$ , 29.11  $\mu\text{m}$ , 28.68  $\mu\text{m}$ , 28.35  $\mu\text{m}$  olarak tespit edilmiş, bu değerler arasındaki farkın da istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı bildirilmiştir ( $P>0.05$ ).



**Şekil 4.6.2** Üçüncü istasyon örneklerinin kış (a), ilkbahar (b), yaz (c) ve sonbahar (d) mevsimlerine ait comet görüntüleri

Dördüncü istasyona ait bireylerin kuyruk boyu değerleri incelendiğinde; ilkbahar, sonbahar ve kış mevsimleri için sırasıyla  $91.20 \pm 13.40 \mu\text{m}$ ,  $92.80 \pm 13.60 \mu\text{m}$  ve  $93.50 \pm 12.20 \mu\text{m}$  olarak hesaplanmıştır. Ancak, 4. istasyonda kuyruk boyunda tespit edilen değerler mevsimsel olarak karşılaştırıldığında bu farkın istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı belirlenmiştir ( $P > 0.05$ ) (Çizelge 4.6.3). Kuyruktaki DNA yüzdesi; ilkbahar mevsiminde  $\%25.61 \pm 2.76$ , sonbahar mevsiminde  $\%27.30 \pm 1.08$  ve kış mevsiminde  $\%34.03 \pm 1.03$  hesaplanmıştır. DNA da oluşan hasar miktarını göstermesi açısından önemli bir parametre olan, kuyruktaki DNA yüzdesi değerleri en yüksek kış mevsiminde, en düşük ilkbahar mevsiminde tespit edilmiştir. Kuyruk momenti değerleri; ilkbahar mevsiminde  $11.09 \pm 4.34$ , sonbahar mevsiminde  $14.24 \pm 1.44$  ve kış mevsiminde  $14.34 \pm 0.49$  olarak tespit edilmiştir. Curi Deresi 4. istasyonundan örneklenen bireylerin eritrositlerinden elde edilen kuyruk boyu dışındaki tüm comet parametreleri değerlendirildiğinde mevsimler arasındaki farkın istatistiksel açıdan anlamlı olduğu bulunmuştur ( $P < 0.05$ ) (Çizelge 4.6.3).

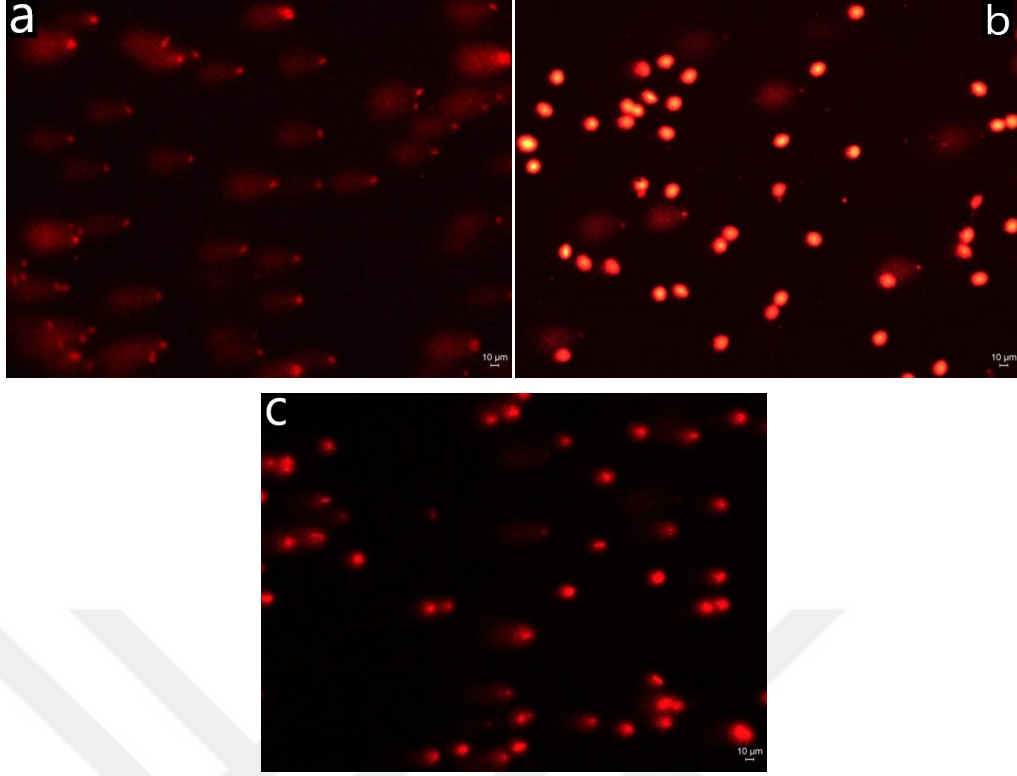
**Çizelge 4.6.3** Dördüncü istasyondan örneklenen *A. chalcoides* bireylerinde belirlenen comet parametrelerinin değerleri

| 4. İstasyon                     | İlkbahar     | Yaz | Sonbahar     | Kış          | Önem Düzeyi (P)  |
|---------------------------------|--------------|-----|--------------|--------------|------------------|
| <b>Kuyruk Boyu (µm)</b>         | 91.20± 13.40 | -   | 92.80± 13.60 | 93.50± 12.20 | P>0.05           |
| <b>Kuyruk Yoğunluğu (%)</b>     | 71.10± 15.60 | -   | 73.26 ± 1.72 | 74.14 ± 8.88 | P>0.05           |
| <b>Kuyruktaki % DNA Miktarı</b> | 25.61 ± 2.76 | -   | 27.30 ± 1.08 | 34.03 ± 1.03 | <b>P&lt;0.05</b> |
| <b>Baş Yoğunluğu (%)</b>        | 28.85 ± 5.49 | -   | 26.79 ± 4.37 | 21.24 ± 3.89 | <b>P&lt;0.05</b> |
| <b>Baştaki % DNA Miktarı</b>    | 74.35 ± 2.76 | -   | 72.75 ± 1.08 | 65.90 ± 1.04 | <b>P&lt;0.05</b> |
| <b>Kuyruk Momenti</b>           | 11.09 ± 4.34 | -   | 14.24 ± 1.44 | 14.34 ± 0.49 | <b>P&lt;0.05</b> |

Curi Deresi 4. istasyonunun suyunda, ilkbahar, sonbahar ve kış mevsimlerinde sırasıyla; Al, Fe ve Cu - Al, Pb ve Fe - Al ve Fe elementleri yüksek konsantrasyonda belirlenmiştir. İkinci ve üçüncü istasyonlarda olduğu gibi tüm mevsimlerde dördüncü istasyonun sedimentinde Mn ve Cu elementlerinin konsantrasyonlarının limit değerlerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Balıkların eritrosit hücrelerinde meydana gelen MN frekansı incelendiğinde, elde edilen değerler en yüksek frekanstan en düşük frekansa doğru sırasıyla; kış, sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde görülmektedir. Kış mevsiminde belirlenen yüksek MN frekansı; esansiyel metaller olan Cu ve Ni elementlerinin, balık dokusunda yüksek konsantrasyonlarda bulunmaları sonucunda toksik etki oluşturmuş olabileceğini akla getirmektedir. Aynı şekilde sonbahar mevsiminde Mn ve Ni elementleri; ilkbahar mevsiminde de sadece Ni elementi türün kas dokusunda birikim göstermiştir. Comet parametrelerinin sonuçları *A. chalcoides* bireylerinin tüm mevsimlerde ağır metal konsantrasyonuna maruz kaldıklarını göstermektedir. Dördüncü istasyon için hesaplanan comet parametreleri değerlendirildiğinde; kuyruk boyu haricindeki tüm parametreler arasındaki farkın istatistiksel açıdan anlamlı olduğu belirlenmiştir (P<0.05) (Çizelge 4.6.3). Balıkların DNA'sında meydana gelen hasar miktarını göstermesi bakımından düşünüldüğünde; kuyruktaki DNA yüzdesi ve kuyruk boyu parametreleri; en yüksek kış mevsiminde belirlenirken, en düşük ilkbahar mevsiminde tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar yapılan genotoksik testlerin birbiri ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

Fatıma ve ark., (2015) Hindistan'ın kuzeyindeki Kali Irmağı'nda yaşayan *C. striatus* ve *Heteropneustes fossilis* türünde Cr, Ni, Pb ve Cd metallerinin konsantrasyonlarını ve mikronükleus testi ve comet analizi ile ağır metallerin

genotoksisitesini belirlemişlerdir. Kuyruk uzunluğu ve kuyruktaki DNA yüzdesi, DNA hasarında önemli bir artış göstermiştir. *C. striatus* (1.45 piksel), *H. fossilis*'ten (1.28 piksel) daha yüksek ortalama kuyruk uzunluğu ile daha fazla genotoksik hasar seviyesi göstermiştir. Mitkovska ve ark., (2017) kuyruk momenti ve kuyruktaki % DNA değerlerini; kurşun ve nikel elementlerinin çeşitli konsantrasyonlarına maruz bıraktıkları *C. carpio* örneklerinde değerlendirmişlerdir. Her iki parametre için de bulunan değerler; metal konsantrasyonlarına maruz bırakılan bireylerde kontrol grubuna göre önemli derecede genotoksik hasar meydana geldiğini göstermiştir. Pb için kuyruk momenti 3.35, %DNA<sub>T</sub> değeri 26.37; Ni için kuyruk momenti 2.43, %DNA<sub>T</sub> değeri 26.72 olarak hesaplanmıştır. Badr ve ark., (2014) *O. niloticus* türünün yenilebilir (kas) ve yenilebilir olmayan dokularındaki (dalak, solungaç, böbrek ve karaciğer) ağır metal konsantrasyonunun balık üzerindeki genotoksik etkisini comet analizi ile değerlendirmişlerdir. Kirli alanda (Alan 2) belirlenen DNA hasarı referans alandan (Alan 1) daha yüksek bulunmuştur. Comet, kirli alandan toplanan *O. niloticus*'un kan hücrelerinde (5.71±0.35), referans alana (3.21±0.17) kıyasla DNA kuyruk uzunluklarında önemli bir artış (P<0.01) göstermiştir. DNA yüzdesindeki değişiklik de aynı şekilde kirli alandaki (5.71±0.32) referans alana (2.95±0.14) kıyasla önemli ölçüde (P<0.01) yükselmiştir. Nil Nehri'nin kirli bölgesinden örneklenen *O. niloticus*'un DNA kuyruk momenti değerleri (0.332±0.039) referans alandan örneklenen bireylerin kan hücrelerine göre (0.098±0.011) anlamlı olarak daha yüksek bulunmuştur (P<0.0001). Farklı lokalite ve farklı türlerde yapılan bu çalışmalar çalışmamızla benzerlik göstermekte ve bulgularımızı desteklemektedir.



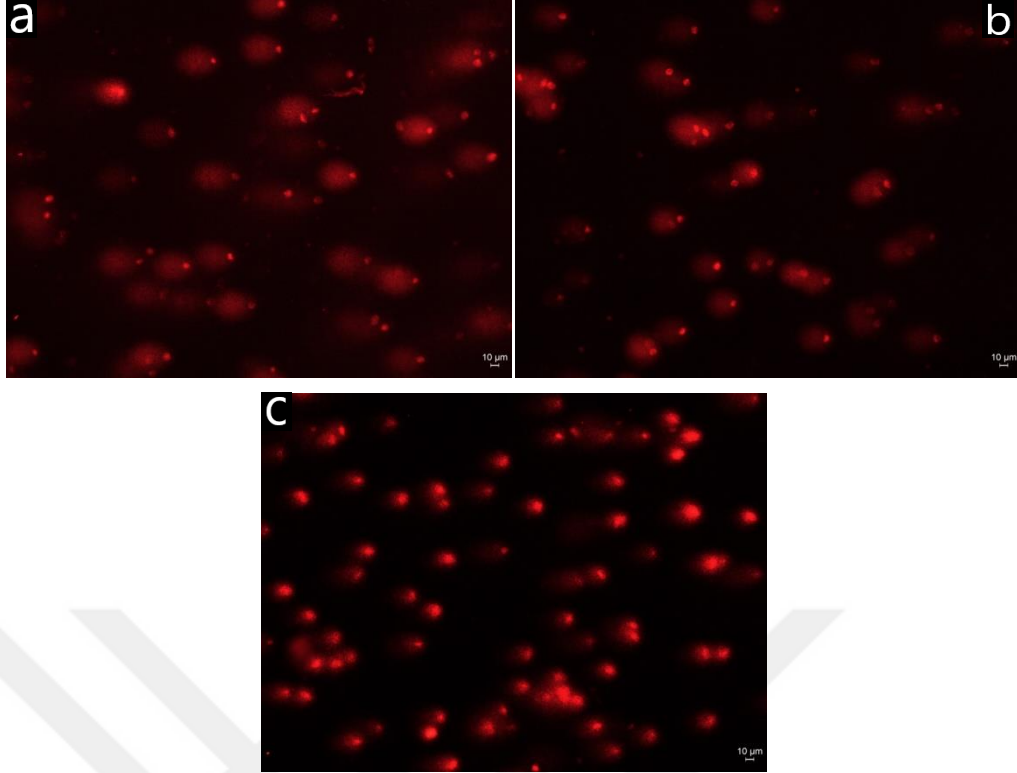
**Şekil 4.6.3** Dördüncü istasyon örneklerinin kış (a), sonbahar (b) ve ilkbahar (c) mevsimlerine ait comet görüntüleri

Beşinci istasyona ait bireylerin comet parametreleri incelendiğinde; kuyruktaki DNA yüzdesi ilkbahar mevsiminde  $50.08 \pm 2.66$ , sonbahar mevsiminde  $22.00 \pm 1.56$ , kış mevsiminde ise  $31.13 \pm 2.59$  olarak hesaplanmıştır. Kuyruk boyu değerleri ilkbahar mevsiminde  $87.40 \pm 12.30$   $\mu\text{m}$ , sonbahar mevsiminde  $73.50 \pm 13.40$   $\mu\text{m}$  ve kış mevsiminde  $78.60 \pm 11.70$   $\mu\text{m}$  olarak bulunmuştur. İlkbahar mevsiminde en yüksek değerlerde olan kuyruk boyu ve kuyruktaki DNA yüzdesi değerleri, sonbahar mevsiminde ise en düşük değerlerdedir. Kuyruk momenti değerleri ise, ilkbahar mevsiminde  $13.97 \pm 3.05$ , sonbahar mevsiminde  $3.40 \pm 0.92$  ve kış mevsiminde  $13.58 \pm 2.58$  olarak tespit edilmiştir. Curi Deresi 5. istasyonundan örneklenen bireylerin eritrositlerinden elde edilen kuyruk boyu dışındaki tüm comet parametreleri değerlendirildiğinde mevsimler arasındaki bu farkın istatistiksel açıdan anlamlı olduğu bulunmuştur ( $P < 0.05$ ) (Çizelge 4.6.4).

**Çizelge 4.6.4** Beşinci istasyondan örneklenen *A. chalcoides* bireylerinde belirlenen comet parametrelerinin değerleri

| 5. İstasyon                     | İlkbahar      | Yaz | Sonbahar      | Kış           | Önem Düzeyi (P)  |
|---------------------------------|---------------|-----|---------------|---------------|------------------|
| <b>Kuyruk Boyu (µm)</b>         | 87.40 ± 12.30 | -   | 73.50 ± 13.40 | 78.60 ± 11.70 | P>0.05           |
| <b>Kuyruk Yoğunluğu (%)</b>     | 89.90 ± 4.73  | -   | 46.50 ± 13.80 | 59.30 ± 11.00 | <b>P&lt;0.05</b> |
| <b>Kuyruktaki % DNA Miktarı</b> | 50.08 ± 2.66  | -   | 22.00 ± 1.56  | 31.13 ± 2.59  | <b>P&lt;0.05</b> |
| <b>Baş Yoğunluğu (%)</b>        | 10.01 ± 5.91  | -   | 47.87 ± 2.87  | 43.60 ± 3.02  | <b>P&lt;0.05</b> |
| <b>Baştaki % DNA Miktarı</b>    | 49.89 ± 2.66  | -   | 77.02 ± 1.56  | 68.70 ± 2.59  | <b>P&lt;0.05</b> |
| <b>Kuyruk Momenti</b>           | 13.97 ± 3.05  | -   | 3.40 ± 0.92   | 13.58 ± 2.58  | <b>P&lt;0.05</b> |

Curi Deresi 5. istasyonunun suyunda ilkbahar, sonbahar ve kış mevsimlerinde sırasıyla; Fe - Al, Pb ve Fe - Al, Fe ve Cu elementleri yüksek konsantrasyonda belirlenmiştir. MN frekansları değerlendirildiğinde, en yüksek MN frekansı ilkbahar mevsiminde (%7.70), en düşük MN frekansı ise sonbahar mevsiminde (%0.85) bulunmuştur. Suda toksik etki gösterebilecek bir metalin bu istasyonda MN frekansında meydana gelen değişikliği açıklamadığı düşünülse de ağır metal konsantrasyonlarının sadece suda belirlenen elemente bağlı olmadığı pek çok parametreye göre değişkenlik gösterebileceği bilinmeli ve tüm faktörler göz önünde bulundurularak değerlendirme yapılmalıdır. Örneğin suyun fiziko-kimyasal özellikleri de değişiklikler meydana getirebilir. 5. istasyonda diğer mevsimlere göre daha sıcak olan ilkbahar mevsiminde en yüksek MN frekansının görülmesi suyun fiziko-kimyasal parametrelerinden biri olan sıcaklıkla ilişkili olabilir.



**Şekil 4.6.4** Beşinci istasyon örneklerinin ilkbahar (a), kış (b) ve sonbahar (c) mevsimlerine ait comet görüntüleri

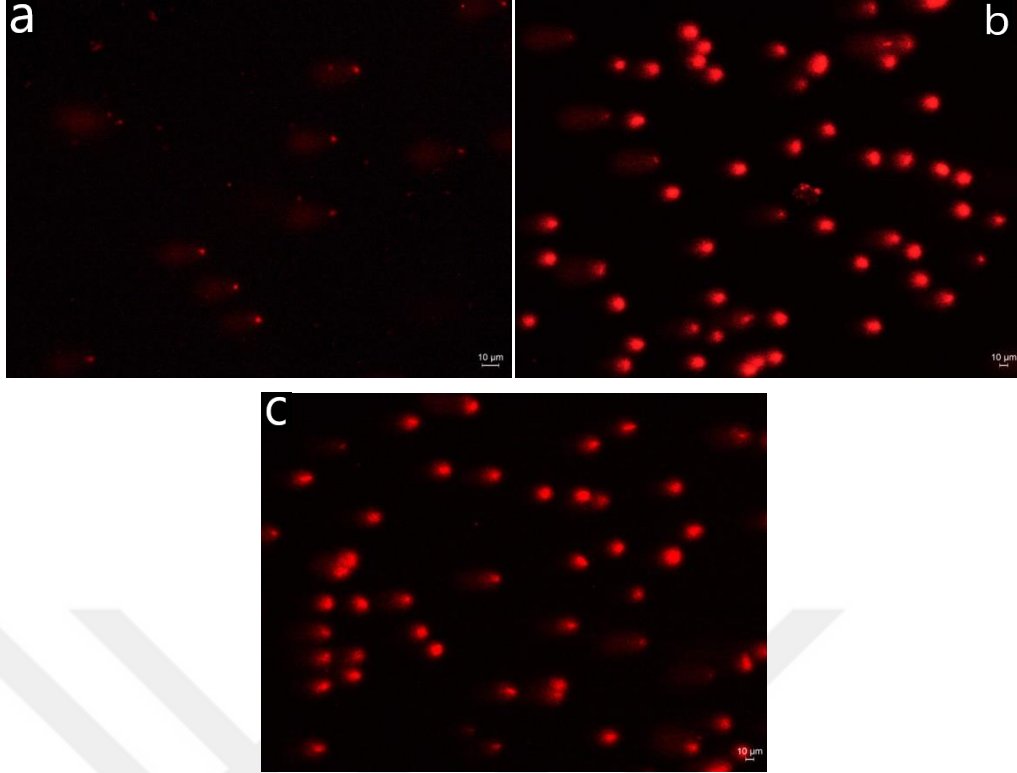
Altıncı istasyona ait bireylerin comet parametreleri değerlendirildiğinde; %DNA<sub>T</sub> ilkbahar mevsiminde  $16.59 \pm 1.45$ , sonbahar mevsiminde  $29.16 \pm 1.13$ , kış mevsiminde  $26.99 \pm 2.62$  olarak hesaplanmıştır. %DNA<sub>H</sub> ilkbahar mevsiminde  $83.38 \pm 1.45$ , sonbahar mevsiminde  $70.82 \pm 1.13$ , kış mevsiminde  $72.99 \pm 2.62$  belirlenmiştir. Curi Deresi 6. istasyonundan örneklenen bireylerin eritrositlerinden elde edilen kuyruk boyu dışındaki tüm comet parametreleri değerlendirildiğinde mevsimler arasındaki bu farkın istatistiksel açıdan anlamlı olduğu bulunmuştur ( $P < 0.05$ ) (Çizelge 4.6.5).

**Çizelge 4.6.5** Altıncı istasyondan örneklenen *A. chalcoides* bireylerinde belirlenen comet parametrelerinin değerleri

| 6. İstasyon                     | İlkbahar      | Yaz | Sonbahar      | Kış           | Önem Düzeyi (P)  |
|---------------------------------|---------------|-----|---------------|---------------|------------------|
| <b>Kuyruk Boyu (µm)</b>         | 74.10 ± 13.70 | -   | 80.20 ± 13.80 | 78.80 ± 13.90 | P>0.05           |
| <b>Kuyruk Yoğunluğu (%)</b>     | 32.19 ± 9.66  | -   | 55.84 ± 3.17  | 43.88 ± 9.49  | <b>P&lt;0.05</b> |
| <b>Kuyruktaki % DNA Miktarı</b> | 16.59 ± 1.45  | -   | 29.16 ± 1.13  | 26.99 ± 2.62  | <b>P&lt;0.05</b> |
| <b>Baş Yoğunluğu (%)</b>        | 67.81 ± 6.19  | -   | 44.07 ± 1.41  | 56.12 ± 4.03  | <b>P&lt;0.05</b> |
| <b>Baştaki % DNA Miktarı</b>    | 83.38 ± 1.45  | -   | 70.82 ± 1.13  | 72.99 ± 2.62  | <b>P&lt;0.05</b> |
| <b>Kuyruk Momenti</b>           | 2.18 ± 1.22   | -   | 13.24 ± 1.63  | 9.44 ± 2.75   | <b>P&lt;0.05</b> |

Curi Deresi 6. istasyonunun suyunda ilkbahar, sonbahar ve kış mevsimlerinde sırasıyla; Al ve Fe; Al, Pb, Fe ve Cu; Al, Fe ve Cu elementleri yüksek konsantrasyonda belirlenmiştir. Akarsuyun metal yükünün büyük bir kısmının birikim gösterdiği sonbahar mevsiminde MN frekansının en yüksek oluşu bu durumu açıklar niteliktedir. Curi Deresi 6. istasyonundan örneklenen *A. chalcoides* bireylerinde hesaplanan comet parametreleri değerlendirildiğinde; kuyruktaki DNA yüzdesi (%DNA<sub>T</sub>) ilkbahar mevsiminde %16.59, sonbahar mevsiminde %29.16 ve kış mevsiminde ise %26.99 olarak hesaplanmıştır. Baştaki DNA yüzdesi (%DNA<sub>H</sub>) ise mevsimlere göre sırasıyla ilkbahar mevsiminde %83.38, sonbahar mevsiminde %70.82 ve kış mevsiminde %72.99 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.6.5). Curi Deresi 6. istasyonundan örneklenen bireylerin eritrositlerinden elde edilen kuyruk boyu dışındaki tüm comet parametreleri değerlendirildiğinde mevsimler arasındaki farkın istatistiksel açıdan anlamlı olduğu belirlenmiştir (P<0.05) (Çizelge 4.6.5).





**Şekil 4.6.5** Altıncı istasyon örneklerinin sonbahar (a), kış (b) ve ilkbahar (c) mevsimlerine ait comet görüntüleri

Yapılan birçok araştırmada balıklardaki mikronükleus frekanslarının, genotoksik maddelere etkisiyle anlamlı düzeyde arttığı bildirilmiştir. Farklı toksik maddelerin balıklar üzerine olan genotoksik etkilerinin mikronükleus ve comet analizleri ile araştırılmasına ilişkin çok sayıda çalışma mevcuttur (Bolognesi ve Degan, 2001; Bombail ve ark., 2001; Çavaş ve Ergene-Gözükara, 2003a,b; Çavaş ve Ergene-Gözükara, 2005a,b; Ergene ve ark., 2007a,b; Çavaş, 2008; Çavaş ve Könen, 2008; Okuşluk, 2008; Siu ve ark., 2008). Curi Deresi istasyonlarında da *A. chalcoides* türünün eritrosit hücrelerinde MN frekansı ile değerlendirilen mikronükleus oluşumları ve DNA hasarı bakımından değerlendirilen comet parametreleri sonuçları bulgularımızı desteklemektedir.

Tüm sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde; bazı mevsimlerde balıklarda yüksek tespit edilen MN frekansına rağmen ağır metal konsantrasyonlarının suda düşük bulunması ya da comet parametreleri değerlerinin düşük olduğu durumlarda suda ve sedimette belirlenen ağır metal konsantrasyonlarının yüksek belirlenmesinin nedeninin sadece element konsantrasyonlarına bağlı bir durum olmadığını göstermektedir. Suyun fiziko-kimyasal özelliklerinden biri olan su sıcaklığı veya akarsuyu etkisi altına alan çeşitli kirlenmeler de bu duruma neden olan faktörlerin

başında gelmektedir. Tarımsal amaçlı pestisit kullanımı, evsel atıklar gibi tüm kirletici faktörler akarsuyun ağır metal yükünün yanı sıra balıklarda genotoksit etkiyi artıracak potansiyele sahiptir. Comet parametrelerinin tüm yıl boyunca hesaplanan ortalama değerleri incelendiğinde; istasyonlar arasındaki farkın kuyruk boyu dışındaki tüm parametreler için istatistiksel açıdan anlamlı olduğu bulunmuştur ( $P<0.05$ ) (Çizelge 4.6.6).

**Çizelge 4.6.6** Hesaplanan comet parametrelerinin yıllık ortalama değerleri

| Comet Parametreleri                           | 2. İstasyon      | 3. İstasyon      | 4. İstasyon      | 5. İstasyon      | 6. İstasyon      | Önem Düzeyi (P) |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| <b>Kuyruk Boyu (<math>\mu\text{m}</math>)</b> | 78.85 $\pm$ 8.59 | 74.37 $\pm$ 8.04 | 92.51 $\pm$ 7.54 | 79.83 $\pm$ 7.20 | 77.70 $\pm$ 7.59 | $P>0.05$        |
| <b>Kuyruk Yoğunluğu (%)</b>                   | 50.09 $\pm$ 7.37 | 32.14 $\pm$ 5.83 | 72.83 $\pm$ 6.14 | 65.23 $\pm$ 6.19 | 43.97 $\pm$ 5.50 | $P<0.05$        |
| <b>Kuyruktaki % DNA Miktarı</b>               | 23.09 $\pm$ 1.50 | 25.25 $\pm$ 1.43 | 28.98 $\pm$ 1.08 | 34.41 $\pm$ 1.50 | 24.25 $\pm$ 1.10 | $P<0.05$        |
| <b>Baş Yoğunluğu (%)</b>                      | 48.95 $\pm$ 5.03 | 67.63 $\pm$ 2.44 | 25.62 $\pm$ 2.69 | 33.83 $\pm$ 2.78 | 56.01 $\pm$ 2.99 | $P<0.05$        |
| <b>Baştaki % DNA Miktarı</b>                  | 76.86 $\pm$ 1.49 | 74.77 $\pm$ 1.42 | 71.00 $\pm$ 1.08 | 65.20 $\pm$ 1.50 | 75.73 $\pm$ 1.10 | $P<0.05$        |
| <b>Kuyruk Momenti</b>                         | 12.65 $\pm$ 2.54 | 9.20 $\pm$ 1.07  | 13.22 $\pm$ 1.55 | 10.32 $\pm$ 1.39 | 8.29 $\pm$ 1.14  | $P<0.05$        |

Curi Deresi'nde belirlenen istasyonlarda mevsimsel olarak değerlendirilen su, sediment ve balık bireylerine ait doku örneklerinin element konsantrasyonları ile incelenen MN ve comet preparatlarından elde edilen mikronükleus frekansları ve comet parametreleri değerleri Çizelge 4.6.7-4.6.11'de özet tablolar şeklinde verilmiştir. Genel olarak Curi Deresi'nde Al, Fe, Pb, Cu ve Mn elementlerinin su ve sedimentteki birikimine bağlı olarak balıkların kas, karaciğer ve solungaçlarında da belli konsantrasyonlarda birikim gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 4.6.7-4.6.11). MN frekansı değerlerine benzer şekilde, elementlerin etkisi altında, DNA kırıklarının oluşumuna bağlı olarak eritrosit hücrelerinde kuyruk oluşumları izlenmiştir. DNA hasarının miktarına bağlı olarak kuyruktaki DNA miktarı ve yoğunluğu değişmektedir. Bu da, hücrede oluşan kuyruğun uzunluğu, yoğunluğu, kuyruktaki % DNA miktarı ve kuyruk momenti değerleriyle ortaya konulmuştur. Mevsimsel olarak değerlendirildiğinde, MN frekansı sonuçlarına benzer şekilde comet parametreleri de ağır metal varlığına veya yokluğuna bağlı olmaksızın ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde farklı değerlere sahiptir.

Buna göre ilkbahar mevsiminde Curi Deresi 2. istasyonunda suda sınır değerlerin üzerinde Al, Pb ve Fe elementleri tespit edilirken; sedimentte ise Cu ve Mn elementleri yüksek düzeyde tespit edilmiştir. Aynı şekilde sonbahar mevsiminde de Al, Pb, Fe ve Ni elementlerinin konsantrasyonları suda yüksekken bu elementlere ek olarak Cu elementi hem suda hem de sedimentte sınır değerlerin üzerinde tespit edilmiştir. Aynı zamanda yaz mevsiminde demir, kurşun ve bakır; kış mevsiminde demir ve alüminyum suda belirtilen limit değerlerin üzerindedir. MN frekansı kış mevsiminde yaz mevsimine göre daha yüksektir. Curi Deresi 2. istasyonundan yaz mevsiminde örneklenen balıkların kas dokusunda Pb elementi, kış mevsiminde de Al elementi belirtilen limit değerlerin üzerinde tespit edilmiştir (Çizelge 4.6.7).

Curi Deresi 3. istasyonunda ilkbaharda Al ve Fe; yaz mevsiminde Al, Pb ve Fe; sonbahar mevsiminde Pb, Fe ve Cu; kış mevsiminde ise Al ve Fe elementleri suda limit değerlerin üzerindedir. 3. istasyonda sonbaharda Cu suda ve sedimentte limit değerleri aşmıştır. 3. istasyonda en yüksek MN frekansı değerine kış mevsiminde, en düşük MN frekansına ise sonbahar mevsiminde rastlanmıştır. 3. istasyondan örneklenen balıkların kas dokusunda ilkbahar, yaz ve kış mevsimlerinde Al; sonbaharda ise Cu ve Mn elementleri belirtilen limit değerlerin üzerindedir (Çizelge 4.6.8).

Curi Deresi 4. istasyonunda ise ilkbahar ve yaz mevsimlerinde Cu elementi konsantrasyonu hem suda hem de sedimentte yüksektir. İstasyonda tüm mevsimlerde Fe elementi suda, Mn ve Cu elementleri ise sedimentte varlığını göstermektedir. İlkbahar ve yaz mevsimlerinde ise Cu elementi de hem suda hem sedimentte limit değerlerin üzerindedir. Dördüncü istasyonun balıklarının kas dokusunda ilkbaharda Al, yaz mevsiminde Mn, sonbahar ve kış mevsimlerinde de Al, Cu ve Mn elementleri belirtilen limit değerlerin üzerindedir. Dört farklı elementin etkisi altında comet parametrelerinin kış mevsimi değerleri incelendiğinde, kuyruk boyu, kuyruk yoğunluğu, kuyruktaki % DNA miktarı ve kuyruk momenti değerlerinin mevsimler arasında en yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 4.6.9).

Curi Deresi 5. istasyonunda kış mevsiminde Cu hem suda hem de sedimentte yüksek değerdedir. Eritrosit hücreesindeki kuyruk boyu, kuyruktaki % DNA miktarı ve kuyruk momenti değerleri tüm mevsimlerde farklı değerlerde hesaplanmıştır. 5. istasyondan örneklenen balıkların kas dokusunda yaz ve sonbahar mevsimlerinde Al

elementi limit değerlerin üzerindeyken; kış mevsiminde Al ve Cu elementleri limit değerlerin üzerinde tespit edilmiştir (Çizelge 4.6.10).

Curi Deresi 6. istasyonunda yine Cu elementi hem yaz hem de kış mevsimlerinde hem suda hem de sedimentte limit değerlerin üzerindedir. İlkbaharda Al ve Fe; yaz ve sonbaharda Al, Pb, Fe ve Cu; kış mevsiminde ise hem Al, Fe ve Cu elementleri suda sınır değerleri aşmıştır. Kuyruktaki % DNA miktarları incelendiğinde, elementlerin etkisi altındaki sonbahar mevsimi değerleri diğer mevsimlerden yüksektir. Balıkların kas dokusundaki en fazla element birikimi yaz mevsiminde gözlenmiştir, ancak 6. istasyonun yaz mevsiminde kan örneği olmadığı için değerlendirmeye katılamamıştır. Curi Deresi 6. istasyonunda ilkbahar, yaz ve kış mevsimlerinde sedimentte Cu ve Mn elementlerinin konsantrasyonları limit değerlerin üzerindeyken, sonbahar mevsiminde birikim göstermiş ancak sınır değerleri aşmamıştır. Buna rağmen, MN frekansı en yüksek sonbahar mevsiminde hesaplanmıştır. Hesaplanan kuyruk boyu, kuyruk yoğunluğu, kuyruktaki % DNA miktarı ve kuyruk momenti değerleri de diğer mevsimlerden yüksektir (Çizelge 4.6.11).

**Çizelge 4.6.7** İkinci istasyonun parametrelerine ait sonuçlar (\*sınır değerlerin üzerinde)

| Element                          | Mevsim   | Su Sonuçları (µg/L) | Sediment Sonuçları (µg/g) | Kas Doku Sonuçları (µg/g) | Karaciğer Doku Sonuçları (µg/g) | Solungaç Doku Sonuçları (µg/g) | Eritrositlerdeki Mn Frekansı (%) | Comet Parametreleri      | Comet Sonuçları |
|----------------------------------|----------|---------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------|
| Al<br>Pb<br>Fe<br>Cu<br>Mn       | İlkbahar | 43.55*              | 11690.4                   | -                         | -                               | -                              | -                                | Kuyruk Boyu (µm)         | -               |
|                                  |          | 16.26*              | 2.830                     | -                         | -                               | -                              |                                  | Kuyruk Yoğunluğu (%)     | -               |
|                                  |          | 199.388*            | 26126.7                   | -                         | -                               | -                              |                                  | Kuyruktaki % DNA Miktarı | -               |
|                                  |          | 1.75                | 91.19*                    | -                         | -                               | -                              |                                  | Baş Yoğunluğu (%)        | -               |
|                                  |          | E.M.                | 1870.77*                  | -                         | -                               | -                              |                                  | Baştaki % DNA Miktarı    | -               |
|                                  |          |                     |                           |                           |                                 |                                | Kuyruk Momenti                   | -                        |                 |
| Pb<br>Fe<br>Cu<br>Mn             | Yaz      | 14.57*              | 3.266                     | 0.20*                     | 0.38                            | 0.48                           | 2.50 ± 1.020                     | Kuyruk Boyu (µm)         | 57.90 ± 10.2    |
|                                  |          | 210.929*            | 28348.5                   | 69.08                     | 201.07                          | 97.30                          |                                  | Kuyruk Yoğunluğu (%)     | 48.50 ± 10.70   |
|                                  |          | 6.14*               | 100.79*                   | 2.3                       | 43.52                           | 2.05                           |                                  | Kuyruktaki % DNA Miktarı | 21.67 ± 2.00    |
|                                  |          | 6.12                | 1793.60*                  | 0.9                       | 5.19                            | 6.97                           |                                  | Baş Yoğunluğu (%)        | 51.50 ± 6.96    |
|                                  |          |                     |                           |                           |                                 |                                |                                  | Baştaki % DNA Miktarı    | 78.27 ± 2.00    |
|                                  |          |                     |                           |                           |                                 | Kuyruk Momenti                 | 8.87 ± 2.84                      |                          |                 |
| Al<br>Pb<br>Fe<br>Cu<br>Ni<br>Mn | Sonbahar | 51.93*              | 11751.4                   | -                         | -                               | -                              | -                                | Kuyruk Boyu (µm)         | -               |
|                                  |          | 15.78*              | 2.961                     | -                         | -                               | -                              |                                  | Kuyruk Yoğunluğu (%)     | -               |
|                                  |          | 216.081*            | 18764.2                   | -                         | -                               | -                              |                                  | Kuyruktaki % DNA Miktarı | -               |
|                                  |          | 3.29*               | 70.22*                    | -                         | -                               | -                              |                                  | Baş Yoğunluğu (%)        | -               |
|                                  |          | 49.37*              | 7.80                      | -                         | -                               | -                              |                                  | Baştaki % DNA Miktarı    | -               |
| 5.92                             | 1019.55* | -                   | -                         | -                         | Kuyruk Momenti                  | -                              |                                  |                          |                 |
| Al<br>Fe<br>Cu<br>Mn             | Kış      | 48.20*              | 11961.7                   | 104.28*                   | 194.12                          | 140.37                         | 3.20 ± 0.502                     | Kuyruk Boyu (µm)         | 99.80 ± 13.60   |
|                                  |          | 223.523*            | 25055.5                   | 26.89                     | 61.33                           | 49.38                          |                                  | Kuyruk Yoğunluğu (%)     | 53.60 ± 10.20   |
|                                  |          | E.M.                | 70.23*                    | 1.69                      | 4.53                            | 2.56                           |                                  | Kuyruktaki % DNA Miktarı | 24.50 ± 2.23    |
|                                  |          | 4.28                | 1153.44*                  | 2.82                      | 21.09                           | 17.36                          |                                  | Baş Yoğunluğu (%)        | 46.40 ± 7.29    |
|                                  |          |                     |                           |                           |                                 |                                |                                  | Baştaki % DNA Miktarı    | 75.44 ± 2.22    |
|                                  |          |                     |                           |                           |                                 | Kuyruk Momenti                 | 16.42 ± 4.19                     |                          |                 |

**Çizelge 4.6.8** Üçüncü istasyonun parametrelerine ait sonuçlar (\*sınır değerlerin üzerinde)

| Element                    | Mevsim   | Su Sonuçları (µg/L) | Sediment Sonuçları (µg/g) | Kas Doku Sonuçları (µg/g) | Karaciğer Doku Sonuçları (µg/g) | Solungaç Doku Sonuçları (µg/g) | Eritrositlerdeki Mn Frekans (%) | Comet Parametreleri      | Comet Sonuçları |
|----------------------------|----------|---------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------|-----------------|
| Al<br>Fe<br>Cu<br>Mn<br>Zn | İlkbahar | 27.28*              | 10761.8                   | 44.25*                    | -                               | 10.07                          | 8.25 ± 6.900                    | Kuyruk Boyu (µm)         | 76.40 ± 12.40   |
|                            |          | 221.64*             | 45214.8                   | 27.18                     | -                               | 50.21                          |                                 | Kuyruk Yoğunluğu (%)     | 33.79 ± 4.49    |
|                            |          | 1.27                | 61.70*                    | 0.82                      | -                               | 0.54                           |                                 | Kuyruktaki % DNA Miktarı | 25.54 ± 2.51    |
|                            |          | E.M.                | 2724.93*                  | 2.03                      | -                               | 9.74                           |                                 | Baş Yoğunluğu (%)        | 66.21 ± 4.85    |
|                            |          | 11.11               | 128.07*                   | 22.8                      | -                               | 51.27                          |                                 | Baştaki % DNA Miktarı    | 74.47 ± 2.51    |
|                            |          |                     |                           |                           |                                 |                                |                                 | Kuyruk Momenti           | 8.39 ± 1.61     |
| Al<br>Pb<br>Fe<br>Cu<br>Mn | Yaz      | 29.60*              | 11378.7                   | 59.74*                    | -                               | 84,55                          | 1.80 ± 1.800                    | Kuyruk Boyu (µm)         | 74.20 ± 14.90   |
|                            |          | 15.51*              | 0.181                     | E.M.                      | -                               | E.M.                           |                                 | Kuyruk Yoğunluğu (%)     | 33.34 ± 4.88    |
|                            |          | 207.735*            | 16346.0                   | 59.22                     | -                               | 79.08                          |                                 | Kuyruktaki % DNA Miktarı | 22.15 ± 2.44    |
|                            |          | E.M.                | 51.07*                    | 0.73                      | -                               | 3.8                            |                                 | Baş Yoğunluğu (%)        | 66.66 ± 3.83    |
|                            |          | 0.06                | 1158.68*                  | 2.58                      | -                               | 12.14                          |                                 | Baştaki % DNA Miktarı    | 77.87 ± 2.45    |
|                            |          |                     |                           |                           |                                 |                                |                                 | Kuyruk Momenti           | 7.44 ± 2.07     |
| Pb<br>Fe<br>Cu<br>Mn       | Sonbahar | 16.37*              | E.M.                      | E.M.                      | -                               | 0.01                           | 0.70 ± 0.700                    | Kuyruk Boyu (µm)         | 66.70 ± 14.50   |
|                            |          | 231.057*            | 18162.7                   | 63.77                     | -                               | 97.90                          |                                 | Kuyruk Yoğunluğu (%)     | 27.00 ± 16.00   |
|                            |          | 3.45*               | 59.02*                    | 4.47*                     | -                               | 4.63                           |                                 | Kuyruktaki % DNA Miktarı | 20.98 ± 2.35    |
|                            |          | 3.92                | 1212.67*                  | 4.52*                     | -                               | 23.97                          |                                 | Baş Yoğunluğu (%)        | 72.06 ± 2.57    |
|                            |          |                     |                           |                           |                                 |                                |                                 | Baştaki % DNA Miktarı    | 79.02 ± 2.57    |
|                            |          |                     |                           |                           |                                 |                                |                                 | Kuyruk Momenti           | 7.20 ± 1.85     |
| Al<br>Fe<br>Cu<br>Mn       | Kış      | 52.63*              | 11728.7                   | 152.93*                   | 166.28                          | 125.01                         | 17.75 ± 6.390                   | Kuyruk Boyu (µm)         | 80.20 ± 13.90   |
|                            |          | 226.57*             | 34530.9                   | 31.21                     | 50.30                           | 44.46                          |                                 | Kuyruk Yoğunluğu (%)     | 34.41 ± 9.24    |
|                            |          | 1.85                | 46.90*                    | 2.23                      | 4.51                            | 1.88                           |                                 | Kuyruktaki % DNA Miktarı | 32.33 ± 2.05    |
|                            |          | 3.54                | 1357.97*                  | 2.73                      | 18.71                           | 17.01                          |                                 | Baş Yoğunluğu (%)        | 65.59 ± 6.59    |
|                            |          |                     |                           |                           |                                 |                                |                                 | Baştaki % DNA Miktarı    | 67.72 ± 2.05    |
|                            |          |                     |                           |                           |                                 |                                |                                 | Kuyruk Momenti           | 13.75 ± 4.34    |

**Çizelge 4.6.9** Dördüncü istasyonun parametrelerine ait sonuçlar (\*sınır değerlerin üzerinde)

| Element                    | Mevsim   | Su Sonuçları<br>(µg/L) | Sediment<br>Sonuçları<br>(µg/g) | Kas Doku<br>Sonuçları<br>(µg/g) | Karaciğer<br>Doku Sonuçları<br>(µg/g) | Solungaç Doku<br>Sonuçları (µg/g) | Eritrositlerdeki<br>Mn<br>Frekans (%) | Comet<br>Parametreleri      | Comet<br>Sonuçları |
|----------------------------|----------|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| Al<br>Fe<br>Cu<br>Mn       | İlkbahar | 30.97*                 | 11463.0                         | 16.68*                          | -                                     | 38.18                             | 7.70 ± 2.680                          | Kuyruk Boyu (µm)            | 91.20 ± 13.40      |
|                            |          | 211.797*               | 21399.8                         | 35.70                           | -                                     | 68.12                             |                                       | Kuyruk Yoğunluğu (%)        | 71.10 ± 15.60      |
|                            |          | 5.78*                  | 79.82*                          | 1.04                            | -                                     | 3.31                              |                                       | Kuyruktaki % DNA<br>Miktarı | 25.61 ± 2.76       |
|                            |          | E.M.                   | 1621.17*                        | 0.71                            | -                                     | 8.01                              |                                       | Baş Yoğunluğu (%)           | 28.85 ± 5.49       |
|                            |          |                        |                                 |                                 |                                       |                                   |                                       | Baştaki % DNA Miktarı       | 74.35 ± 2.76       |
|                            |          |                        |                                 |                                 |                                       | Kuyruk Momenti                    | 11.09 ± 4.34                          |                             |                    |
| Pb<br>Fe<br>Cu<br>Mn       | Yaz      | 16.15*                 | E.M.                            | E.M.                            | -                                     | E.M.                              | -                                     | Kuyruk Boyu (µm)            | -                  |
|                            |          | 222.36*                | 15774.7                         | 67.61                           | -                                     | 71.34                             |                                       | Kuyruk Yoğunluğu (%)        | -                  |
|                            |          | 8.40*                  | 51.07*                          | 2.93                            | -                                     | E.M.                              |                                       | Kuyruktaki % DNA<br>Miktarı | -                  |
|                            |          | E.M.                   | 1158.68*                        | 4.18*                           | -                                     | 28.17                             |                                       | Baş Yoğunluğu (%)           | -                  |
|                            |          |                        |                                 |                                 |                                       |                                   |                                       | Baştaki % DNA Miktarı       | -                  |
|                            |          |                        |                                 |                                 |                                       | Kuyruk Momenti                    | -                                     |                             |                    |
| Al<br>Pb<br>Fe<br>Cu<br>Mn | Sonbahar | 35.47*                 | 11611.5                         | 292.64*                         | 414.14                                | 299.84                            | 8.85 ± 1.820                          | Kuyruk Boyu (µm)            | 92.80 ± 13.60      |
|                            |          | 16.70*                 | E.M.                            | 0.02                            | 0.03                                  | 0.02                              |                                       | Kuyruk Yoğunluğu (%)        | 73.26 ± 1.72       |
|                            |          | 231.98*                | 28576.9                         | 55.51                           | 165.22                                | 97.08                             |                                       | Kuyruktaki % DNA<br>Miktarı | 27.30 ± 1.08       |
|                            |          | 2.92                   | 62.96*                          | 4.96*                           | 30.53                                 | 6.40                              |                                       | Baş Yoğunluğu (%)           | 26.79 ± 4.37       |
|                            |          | 5.37                   | 1843.16*                        | 5.07*                           | 23.65                                 | 35.73                             |                                       | Baştaki % DNA Miktarı       | 72.75 ± 1.08       |
|                            |          |                        |                                 |                                 |                                       | Kuyruk Momenti                    | 14.24 ± 1.44                          |                             |                    |
| Al<br>Fe<br>Cu<br>Mn       | Kış      | 59.25*                 | 12043.4                         | 178.09*                         | -                                     | 213.02                            | 19.20 ± 5.170                         | Kuyruk Boyu (µm)            | 93.50 ± 12.20      |
|                            |          | 226.053*               | 23104.2                         | 42.23                           | -                                     | 63.08                             |                                       | Kuyruk Yoğunluğu (%)        | 74.14 ± 8.88       |
|                            |          | 2.19                   | 61.90*                          | 27.01*                          | -                                     | 4.49                              |                                       | Kuyruktaki % DNA<br>Miktarı | 34.03 ± 1.03       |
|                            |          | E.M.                   | 1238.74*                        | 7.22*                           | -                                     | 28.01                             |                                       | Baş Yoğunluğu (%)           | 91.24 ± 3.89       |
|                            |          |                        |                                 |                                 |                                       |                                   |                                       | Baştaki % DNA Miktarı       | 65.90 ± 1.04       |
|                            |          |                        |                                 |                                 |                                       | Kuyruk Momenti                    | 14.34 ± 0.49                          |                             |                    |

**Çizelge 4.6.10** Beşinci istasyonun parametrelerine ait sonuçlar (\*sınır değerlerin üzerinde)

| Element                    | Mevsim   | Su Sonuçları (µg/L)   | Sediment Sonuçları (µg/g)                                       | Kas Doku Sonuçları (µg/g)                       | Karaciğer Doku Sonuçları (µg/g)           | Solungaç Doku Sonuçları (µg/g)           | Eritrositlerdeki Mn Frekansı (%) | Comet Parametreleri      | Comet Sonuçları |
|----------------------------|----------|---|---|---|---|--|----------------------------------|--------------------------|-----------------|
| Fe<br>Cu<br>Mn             | İlkbahar | <b>192.685*</b><br>1.47<br>5.99                                   | 20918.3<br><b>59.42*</b><br><b>1822.04*</b>                     | 53.90<br>1.02<br>1.03                           | 98.71<br>4.91<br>6.24                     | 93.60<br>1.82<br>8.24                    | 7.70 ± 2.680                     | Kuyruk Boyu (µm)         | 87.40 ± 12.30   |
|                            |          |   |   |   |   |  |                                  | Kuyruk Yoğunluğu (%)     | 89.90 ± 4.73    |
|                            |          |   |   |   |   |  |                                  | Kuyruktaki % DNA Miktarı | 50.08 ± 2.66    |
|                            |          |   |   |   |   |  |                                  | Baş Yoğunluğu (%)        | 10.01 ± 5.91    |
|                            |          |   |   |   |   |  | Baştaki % DNA Miktarı            | 49.89 ± 2.66             |                 |
|                            |          |   |   |   |   |  | Kuyruk Momenti                   | 13.97 ± 3.05             |                 |
| Al<br>Fe<br>Cu<br>Mn       | Yaz      | <b>30.04*</b><br><b>220.993*</b><br>2.11<br>5.19                  | 11322.0<br>21078.4<br><b>71.03*</b><br><b>1407.95*</b>          | <b>88.72*</b><br>49.74<br>0.12<br>2.83          | -   | 120.03<br>69.20<br>4.14<br>24.55         | -                                | Kuyruk Boyu (µm)         | -               |
|                            |          |   |   |   |   |  |                                  | Kuyruk Yoğunluğu (%)     | -               |
|                            |          |   |   |   |   |  |                                  | Kuyruktaki % DNA Miktarı | -               |
|                            |          |   |   |   |   |  |                                  | Baş Yoğunluğu (%)        | -               |
|                            |          |   |   |   |   |  | Baştaki % DNA Miktarı            | -                        |                 |
|                            |          |   |   |   |   |  | Kuyruk Momenti                   | -                        |                 |
| Al<br>Pb<br>Fe<br>Cu<br>Mn | Sonbahar | <b>32.55*</b><br><b>16.46*</b><br><b>230.115*</b><br>2.81<br>5.22 | 11236.7<br>0.413<br>16806.7<br><b>54.20*</b><br><b>1184.94*</b> | <b>101.03*</b><br>E.M.<br>30.39<br>1.49<br>2.26 | 338.31<br>E.M.<br>112.63<br>9.96<br>35.14 | 131.06<br>E.M.<br>47.68<br>1.36<br>17.13 | 0.85 ± 0.850                     | Kuyruk Boyu (µm)         | 73.50 ± 13.40   |
|                            |          |   |   |   |   |  |                                  | Kuyruk Yoğunluğu (%)     | 46.50 ± 13.80   |
|                            |          |   |   |   |   |  |                                  | Kuyruktaki % DNA Miktarı | 22.00 ± 1.56    |
|                            |          |   |   |   |   |  |                                  | Baş Yoğunluğu (%)        | 47.87 ± 2.87    |
|                            |          |   |   |   |   |  | Baştaki % DNA Miktarı            | 77.02 ± 1.56             |                 |
|                            |          |   |   |   |   |  | Kuyruk Momenti                   | 3.40 ± 0.92              |                 |
| Al<br>Fe<br>Cu<br>Mn       | Kış      | <b>56.65*</b><br><b>206.054*</b><br><b>5.34*</b><br>5.37          | 11676.6<br>17288.1<br><b>49.81*</b><br><b>1212.62*</b>          | <b>93.30*</b><br>47.70<br><b>4.44*</b><br>3.01  | 326.75<br>95.73<br>4.49<br>39.44          | 158.89<br>61.09<br>5.09<br>24.30         | 7.65 ± 1.800                     | Kuyruk Boyu (µm)         | 78.60 ± 11.70   |
|                            |          |   |   |   |   |  |                                  | Kuyruk Yoğunluğu (%)     | 59.30 ± 11.00   |
|                            |          |   |   |   |   |  |                                  | Kuyruktaki % DNA Miktarı | 31.13 ± 2.59    |
|                            |          |   |   |   |   |  |                                  | Baş Yoğunluğu (%)        | 43.60 ± 3.02    |
|                            |          |   |   |   |   |  | Baştaki % DNA Miktarı            | 40.70 ± 2.59             |                 |
|                            |          |   |   |   |   |  | Kuyruk Momenti                   | 13.58 ± 2.58             |                 |



**Çizelge 4.6.11** Altıncı istasyonun parametrelerine ait sonuçlar (\*sınır değerlerin üzerinde)

| Element                    | Mevsim   | Su Sonuçları (µg/L) | Sediment Sonuçları (µg/g) | Kas Doku Sonuçları (µg/g) | Karaciğer Doku Sonuçları (µg/g) | Solungaç Doku Sonuçları (µg/g) | Eritrositlerdeki Mn Frekans (%) | Comet Parametreleri      | Comet Sonuçları |
|----------------------------|----------|---------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------|-----------------|
| Al<br>Fe<br>Cu<br>Mn       | İlkbahar | 41.07*              | 11133.3                   | 48.92*                    | 38.17                           | 55.07                          | 2.20 ± 2.200                    | Kuyruk Boyu (µm)         | 74.10 ± 13.70   |
|                            |          | 205.426*            | 23860.3                   | 77.93                     | 101.95                          | 87.92                          |                                 | Kuyruk Yoğunluğu (%)     | 32.19 ± 9.66    |
|                            |          | E.M.                | 55.74*                    | 1.61                      | 2.44                            | 2.55                           |                                 | Kuyruktaki % DNA Miktarı | 16.59 ± 1.45    |
|                            |          | 4.91                | 1367.07*                  | 1.08                      | 5.46                            | 10.33                          |                                 | Baş Yoğunluğu (%)        | 67.81 ± 6.19    |
|                            |          |                     |                           |                           |                                 |                                | Baştaki % DNA Miktarı           | 83.38 ± 1.45             |                 |
|                            |          |                     |                           |                           |                                 |                                | Kuyruk Momenti                  | 2.18 ± 1.22              |                 |
| Al<br>Pb<br>Fe<br>Cu<br>Mn | Yaz      | 51.28*              | 11021.8                   | 180.75*                   | 497.48                          | 271.25                         | -                               | Kuyruk Boyu (µm)         | -               |
|                            |          | 15.96*              | 0.421                     | 0.17*                     | 0.41                            | 0.13                           |                                 | Kuyruk Yoğunluğu (%)     | -               |
|                            |          | 221.75*             | 33839.2                   | 70.41                     | 164.56                          | 88.65                          |                                 | Kuyruktaki % DNA Miktarı | -               |
|                            |          | 7.08*               | 47.49*                    | 3.87*                     | 11.08                           | 5.51                           |                                 | Baş Yoğunluğu (%)        | -               |
|                            |          | 5.25                | 1421.93*                  | 3.64*                     | 37.92                           | 31.98                          |                                 | Baştaki % DNA Miktarı    | -               |
|                            |          |                     |                           |                           |                                 | Kuyruk Momenti                 | -                               |                          |                 |
| Al<br>Pb<br>Fe<br>Cu       | Sonbahar | 52.27*              | 11384.4                   | 119.76*                   | 169.68                          | 130.81                         | 6.95 ± 3.670                    | Kuyruk Boyu (µm)         | 80.20 ± 13.80   |
|                            |          | 15.57*              | 0.861                     | E.M.                      | 0.01                            | E.M.                           |                                 | Kuyruk Yoğunluğu (%)     | 55.84 ± 3.17    |
|                            |          | 233.107*            | 6216.2                    | 32.41                     | 69.89                           | 54.75                          |                                 | Kuyruktaki % DNA Miktarı | 29.16 ± 1.13    |
|                            |          | 3.70*               | 19.84                     | 1.04                      | 13.58                           | 2.99                           |                                 | Baş Yoğunluğu (%)        | 44.07 ± 1.41    |
|                            |          |                     |                           |                           |                                 |                                | Baştaki % DNA Miktarı           | 70.82 ± 1.13             |                 |
|                            |          |                     |                           |                           |                                 |                                | Kuyruk Momenti                  | 13.24 ± 1.63             |                 |
| Al<br>Fe<br>Cu<br>Mn       | Kış      | 59.19*              | 11523.4                   | 111.66*                   | 155.88                          | 137.78                         | 2.90 ± 2.900                    | Kuyruk Boyu (µm)         | 78.80 ± 13.90   |
|                            |          | 193.922*            | 21877.0                   | 64.30                     | 81.96                           | 59.59                          |                                 | Kuyruk Yoğunluğu (%)     | 43.88 ± 9.49    |
|                            |          | 7.62*               | 64.69*                    | 15.39*                    | 2.47                            | 9.84                           |                                 | Kuyruktaki % DNA Miktarı | 26.99 ± 2.62    |
|                            |          | 4.70                | 1092.05*                  | 2.16                      | 33.16                           | 28.37                          |                                 | Baş Yoğunluğu (%)        | 56.12 ± 4.03    |
|                            |          |                     |                           |                           |                                 |                                | Baştaki % DNA Miktarı           | 72.99 ± 2.62             |                 |
|                            |          |                     |                           |                           |                                 |                                | Kuyruk Momenti                  | 9.44 ± 2.75              |                 |

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Endüstri ve sanayinin gelişimi ile birlikte artan kimyasal ilaç kullanımından dolayı kirlenmeler meydana gelmektedir. Sucul canlılar ve özellikle de balıklar aleyhine tehlike arz eden pestisitler, ağır metaller, sanayi ve deterjan atıkları sucul ekosistemde önemli değişikliklere yol açmakta ve bu ekosistemde yaşayan balıkların ölümlerine sebep olmaktadır (Sönmez ve ark., 2008; Sönmez ve ark., 2012). Kimyasal su kirliliğine neden olan en tehlikeli unsur hiç şüphesiz ağır metal birikimidir. Canlı organizmalar için ağır metal birikimi önemli bir tehlike oluşturmaktadır (Rainbow, 1995).

Curi Deresi'nden alınan su, sediment ve akarsuda yaşayan *A. chalcoides* türünün dokularındaki esansiyel ve esansiyel olmayan metallerin birikimi ve bu birikimin balıklar üzerindeki genotoksik etkileri araştırılmıştır. Altı farklı istasyondan yakalanan balık örneklerinin eritrosit hücrelerinde mikronükleus ve comet oluşumları belirlenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde akarsuyun kaynak kısmına yakın olarak seçilen 1. istasyondan 6. istasyona kadar yakalanan balık örneklerindeki mikronükleus ve comet oluşumlarının hem istasyonlar hem de mevsimler arasında farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir. En yüksek MN frekansı ve DNA hasarını gösteren comet oluşumları 2., 3. ve 4. istasyonlarda kış mevsiminde belirlenmiştir.

Hem MN hem de comet analizi ile değerlendirilen kirliliğin balıklar için genotoksik bir risk olduğu doğrulanmıştır. Bununla birlikte, bu değişikliklerin niteliğini ele alan derinlemesine çalışmaların, genotoksisite seviyelerinin mevsimsel ve yıllık farklılıkları olduğu için yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Hem mikronükleus hem de comet analizlerinin sonuçları dikkate alındığında, bu etkilere neden olan akarsuyun çok karmaşık bir kirliliği olduğu açık bir şekilde sunulmuştur. Bununla birlikte, bu iki biyobelirteç tarafından elde edilen “yanıt”, farklı temel mekanizmaları ve farklı maruz kalma konsantrasyonlarını gösteren belirli yerlerde ve mevsimlerde her zaman aynı değildir. Benzer bulgular diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Boettcher ve ark., 2010). Bu nedenle, bu iki tahlilin kombinasyonu, su ortamında bulunan farklı kirleticilerin etkisini değerlendirmeyi amaçlamak için önerilmiştir (Bücker ve ark., 2012). Bu bakımdan Deutschmann ve ark. (2016), balıklarda (*A. alburnus*) eritrositlerdeki mikronükleus ve comet analizi ile elde edilen

sonuçlar arasında anlamlı bir ilişki olduğunu bildirmiştir. Bu çalışmada gözlenen farklılıklar hasarın tipindeki farklılıkları yansıtabilir. Doğal kaynakları etkileyen kirletici maddeler toksik olabilir, böylece biyolojik çeşitliliği ve potansiyel olarak farklı gıda zincirlerine girerek insan sağlığını da etkiler (Travis ve Hester, 1991; Gilbert, 1994; Chary ve ark., 2008; Li ve ark., 2014; Kim ve ark., 2017).

Sonuç olarak ülkemizde bulunan pek çok sucul sistem gibi Curi Deresi de doğal ortamı içerisinde tarımsal, evsel ve çevresel etkilerden kaynaklanan kirlilik baskısı altındadır. Tüm bu etkilerin su kalitesini buna bağlı olarak da bütün sucul ekosistemi olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir. Yapılan bu araştırmada, çevresel kirleticilerin varlığının etkisi ortaya konmaya çalıŐılmıŐtır. Bu amaçla suda, sedimentte ve balık dokularında genotoksik açıdan değerlendirilen bazı elementlerin konsantrasyonları kabul edilebilir sınır değerlerle karşılaştırılarak tüm istasyonlar ve mevsimlerde bazı ağır metal konsantrasyonlarının sınır değerlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Çevresel kirleticilerin sucul ekosistemlerde yarattığı kontaminasyonun sonuçlarını belirlemede, mikronükleus testi ve comet analizi kullanıŐlı ve etkilidir. Bu yöntemler kullanılarak yapılan çalışma sonucunda tespit edilen ağır metallerin, çevresel diğer kirleticilerin veya bunların karŐılıklı etkileŐimlerinin, Curi Deresi'nden örneklenen *A. chalcoides* türünde meydana getirdiği genotoksik etkiler belirlenmiştir.

Besin zincirinin alt basamaklarında bulunan organizma baz alınarak yapılan toksisite çalışmaları zincirin en st basamağında bulunan insanda görülebilecek birikimi ve bu birikimin etkilerini anlamamızı ve yorumlamamızı sağlayabilecektir. AĞır metallerin etkilerinin nasıl ve ne derecede olduğunun belirlenmesi için kullanılan test sonuçları daha kapsamlı veriler elde etmemizi saĐlamıŐtır. Sucul ekosistemin durumunun en önemli göstergelerinden biri olan balıklar; bünyelerinde biriktirdikleri ağır metallerin toksik etkilerini ve bu etkilere verdikleri cevapları anlamamıza büyük olanak sağlar. Bu nedenle, ağır metallerin miktarlarının yalnızca su ve sedimentte birikiminin ne derecede olduğunun yanında sucul ekosistemlerde yaşayan canlılarda da ne derece biriktiğinin ve canlıyı nasıl etkilediğinin belirlenmesi büyük önem kazanmıştır. Yapılan bu çalışma ile bu durumun önemi vurgulanmış ve kanıtlanmıştır.

Araştırma bulguları sonucunda aŐaĐıda belirtilen öneriler göz önünde bulundurulmalıdır:

- Su kaynaklarında kirlilik boyutunun araştırıldığı çalışmalar çevresel açıdan rutin olarak yapılması gereken çalışmalardır. Bu nedenle su kalitesi parametreleri belirli periyotlarla ölçülüp sonuçlar değerlendirilmelidir.
- Evsel ve endüstriyel atık suları, belirli bir arıtma sistemiyle arıtılması sonucunda daha zararsız bir hale dönüştürülmesi sağlanarak ortama verilmeli ve sucul kaynağın içerisinde bulundurduğu canlı çeşitliliği, suların çevre ile olan etkileşimi izlenerek su kaynaklarının ileriye dönük kirlilik analizlerinin yapılması gerekmektedir.
- Curi Deresi'nde belirlenen altı istasyonda yürütülen arazi çalışmalarında elde edilen veriler ışığında yapılan değerlendirmede derenin kirlilik unsurları ile karşı karşıya olduğu ve bunun devam etmesi durumunda ekolojik dengenin olumsuz yönde etkileneceği sonucu ortaya çıkmaktadır. Elde edilecek sonuçlara göre alınacak önlemler hemen planlanmalı yurdumuzda bulunan diğer sucul ekosistemler de bu sonuçlar doğrultusunda ayrı ayrı değerlendirilmelidir.
- Akarsu üzerinde belirlenen istasyonlardan örneklenen *A. chalcoides* türü, bölgede yaşayan halk tarafından tüketilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, balıkların kas dokularında birikim gösteren elementlerin konsantrasyonlarının bazı standartlarla karşılaştırıldığında limit değerlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir. İnsanlar tarafından sevilerek tüketilen bu türün, toksik özellik gösteren metal içerikleri bakımından insan sağlığını tehdit edebileceği dikkate alınmalıdır.
- Bu çalışmada Curi Deresi için yalnızca *A. chalcoides* türü değerlendirilmiştir. Derede yaşayan ve yerel halk tarafından avlanan diğer balık türleri de ağır metal kontaminasyonun tehdidi ile karşı karşıyadır. Dolayısıyla, diğer balık türlerinin dokularındaki element birikimi düzeyleri de araştırılmalıdır.
- Ağır metal konsantrasyonlarının balıklarda neden olduğu etkinin mikronükleus testi ve comet analizi ile oldukça yüksek düzeylerde olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun devamının ileriki dönemlerde

taşıma kapasitesinin üzerine çıkmasına neden olarak hem dere içerisindeki canlı yaşama zarar verebileceği hem de halk sağlığını tehdit edebileceği unutulmamalıdır.

- Çevresel kirleticilerin genotoksik etkilerinin araştırıldığı noktada; bu çalışmada kullanılan yöntemlerin yanı sıra başka yöntemler de kullanılmalı, değerlendirilmeli ve birbirleriyle karşılaştırılarak sonuçlar desteklenmelidir.
- Akarsu bölgesinde yürütülen endüstri ve sanayi faaliyetlerinin arıtımlarının yetersiz, tarımsal amaçlı kullanılan pestisit, gübre ve ilaçların yüzey suları ile akarsuya deşarj olduğu, yerleşim yerlerinin kanalizasyonlarının akarsuya karıştığı, gözlemlerinden hareketle önemli tedbirlerin alınması ve bu tip çalışmaların sıklıkla ve geliştirilerek yapılması gerekmektedir.

Sonuç olarak, bölge hem organik hem de inorganik olarak bir kirlilik baskısı altındadır ve bölgede yayılış gösteren *A. chalcoides* türünde bazı elementlerin biyoakümüülasyonunun besin zinciri yoluyla insan sağlığını tehdit edebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Su kaynaklarında oluşan kirliliğin ciddi boyutlara ulaşmaması için bir an önce bu sayılan önlemlerin alınması gerekmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- Akbaba, GB. (2010). Kars Çayı'nın Suyunda, Sedimentinde ve Buradan Avlanan Karabalıklarda (*Capoeta capoeta capoeta* Guldenstaedt, 1772) Bazı Ağır Metallerin Derişim Düzeylerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Kars.
- Akbulut, A. & Akbulut, NE. (2010). The study of heavy metal pollution and accumulation in water, sediment, and fish tissue in Kizilirmak River Basin in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 167, 521-526.
- Akgün, M., Gül, A., & Yılmaz, M. (2007). Sakarya Nehri Çeltikçe Çayı'nda Yaşayan *Leuciscus cephalus* L., 1758 Dokularında Ağır Metal Birikimi. *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 27(2), 179-189.
- Akinsorotan, AM., Jimoh, JO., Omobepade, BP. & Adene, IC. (2019). Status of trace metals in smoked *Clarias gariepinus* cultured in earthen pond in Lagos state, Nigeria. 3rd International Conference on Science and Sustainable Development (ICSSD 2019). *Journal of Physics: Conference Series*, 1299.
- Aközcan, S. (2009). Didim ve İzmir Körfezi Sediment, Deniz Suyu ve Farklı Deniz Organizmalarında Bazı Radyonüklid ve Ağır Metal Düzeylerinin İzlenmesi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, İzmir.
- Alam, MGM., Tanaka, A., Stagnitti, F., Allinson, G., & Maekawa, T. (2001). Observations on the effects of caged carp culture on water and sediment metal concentrations in lake Kasumigaura, Japan. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 48(1), 107-115.
- Alaş, A. & Çil, OHŞ. (2002). Aksaray İline İçme Suyu Sağlayan Bazı Kaynaklarda Su Kalite Parametrelerinin İncelenmesi, *Ekoloji*, 11(42), 40-44.
- Alhas, E. (2007). Atatürk Baraj Gölü'nde Yaşayan *Barbus* Türlerindeki Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Şanlıurfa.
- Alhas, E., Oymak, SA. & Karadede-Akın, H. (2009). Heavy metal concentrations in two barb, *Barbus xanthopterus* and *Barbus rajanorum mystaceus* from Atatürk Dam Lake, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 148, 11-18.
- Al-Jobory, AAS. & Yücel, UM. (2019). Analysis Of Some Heavy Metals Accumulation In Water, Sediment And Tissues Of Different Fish Species From The Razzaza Lake, Iraq. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(7), 5041-5051.
- Ali, D. & Kumar, S. (2008). Long-term genotoxic effect of monocrotophos in different tissues of freshwater fish *Channa punctatus* (Bloch) using alkaline single cell gel electrophoresis. *Science of the Total Environment*, 405(1-3), 345-350.
- Ali, D., Kumar, PG., Kumar, S. & Ahmed, M. (2014). Evaluation of genotoxic and oxidative stress response to dimethoate in freshwater fish *Channa punctatus* (Bloch). *Chemical Speciation and Bioavailability*, 26(2), 111-118.

- Ali, FK., El-Shehawi, AM. & Seehy, MA. (2008). Micronucleus Test in Fish Genome: A Sensitive Monitor for Aquatic Pollution. *African Journal of Biotechnology*, 7(5), 606-612.
- Aliko, V., Morina, V. & Sula, E. (2015). Cellular and nuclear alterations of carp fish (*Cyprinus carpio*) erythrocytes as sensitive biomarkers of cytotoxicity and genotoxicity of Sitnicariver waters (Kosovo). *Aktet*, 7(2), 163-167.
- Alinnor, IJ. & Obiji, IA. (2010). Assessment of Trace Metal Composition in Fish Samples from Nworie River. *Pakistan Journal of Nutrition*, 9(1), 81-85.
- Alkan, A., Alkan, N. & Akbaş, U. (2016). The Factors Affecting Heavy Metal Levels in the Muscle Tissues of Whiting (*Merlangius merlangus*) and Red Mullet (*Mullus barbatus*). *Journal of Agricultural Sciences*, 22, 349-359.
- Alkan, N., Alkan, A., & Erçuz, C. (2018). Determination of metals in water and sediment samples of the Sürmene River, Turkey. *Green Energy and Technology*, 2, 175-181.
- Al-Sabti, K. (1994). Micronuclei induced by selenium, mercury, methylmercury and their mixtures in binucleated blocked fish erythrocyte cells. *Mutation Research*, 320(1-2), 157-163.
- Al-Sabti, K. & Metcalfe, CD. (1995). Fish micronuclei for assessing genotoxicity in water. *Mutation Research*, 343(2-3), 121-135.
- Aniagor, EN., Okonkwo, TM., Nweze, CB. & Mbaeyi-Nwaoha, IE. (2019). Incidence of Heavy Metals (Pb, Cu, Zn) in Fish Species in Afikpo North Local Government Area of Ebonyi State. *American Journal of Food Science and Technology*, 7(4), 133-136.
- Ansari, TM., Marr, IL. & Tariq, N. (2004). Heavy Metals in Marine Pollution Perspective-A Mini Review. *Journal of Applied Sciences*, 4(1), 1-20.
- Aonghusa, NC. & Gray, NF. (2002). Laundry detergents as source of heavy metals in Irish domestic wastewater. *Journal of Environmental Science and Health*, 37(1), 1-6.
- APHA, (1992). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. In A.E. Greenberg, L.S.Clesceri, A.D. Eato (eds.), American Public Health Association, 18th ed., Washington, U.S.A.
- Arabacı, SS. (2011). Meriç ve Tunca Nehirlerindeki Ağır Metal Birikiminin Su ve Balık Türleri Açısından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Analitik Kimya Anabilim Dalı, Edirne.
- Arslan, M., Karaytuğ, S. & Cicik, B. (2006). Bakırın *Clarias lazera* (Valenciennes, 1840)'da Doku Glikojen ve Serum Glukoz Düzeyi Üzerine Etkileri. *Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 23(1/1), 23-27.
- Arslan, H., Gül, A. & Yılmaz, M. (2007). Sakarya Nehri Çeltikçe Çayı'nda Yaşayan *Leuciscus cephalus* (L., 1758)'un Böbrek ve Gonadlarında Ağır Metal Birikimi. *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 27(3), 197-210.

- Arslan, N., Koç, B., Çiçek, A., Emiroğlu, Ö. & Malkoç, S. (2009). Uluabat Gölü bazı biyotik ve abiyotik öğelerinde gümüş birikimi. Türkiye Sulak Alanlar Kongresi, Eskikaraağaç, Bursa, 183-191.
- Arslan, N., Tokatlı, C., Çiçek, A. & Köse, E. (2011a). Yedigöller (kütahya) bölgesinde su ve sediment örneklerinde bazı metal seviyelerinin belirlenmesi. *Review of Hydrobiology*, 4(1), 17-28.
- Arslan, P., Dalgıç, MA., Sarıçakmak, S., Sarıgil, N., Ülker, Ş. & Koçak Memmi, B. (2011b). Çamaşır suyu ve bulaşık deterjanının *Lepistes (Poecillia reticulata)* Peters, 1859) balıkları üzerindeki genotoksik etkilerinin mikronükleus testi kullanılarak araştırılması. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4, 29-37.
- Arslan, N., Köse, E., Tokatlı, C., Emiroğlu, Ö. & Çiçek, A. (2012). Katı Atık Depolama Sahalarının Sucul Sistemlere Etkileri. *Karaelmas Science and Engineering Journal*, 2(1), 20-26.
- Asad, F., Mubarik, MS., Ali, T., Zahoor, MK., Ashrad, R. & Qamer. S. (2019). Effect of organic and in-organic chromium supplementation on growth performance and genotoxicity of *Labeo rohita*, *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26, 1140-1145.
- Asllani, FH., Schürz, M., Bresgen, N., Eckl, PM. & Alija, AJ. (2019). Genotoxicity risk assessment in fish (*Rutilus rutilus*) from two contaminated rivers in the Kosovo. *Science of the Total Environment*, 676, 429-435.
- Assche, FV. & Clijsters, H. (1990). Effects of metals on enzyme activity in plants. *Plant and Cell Environment*, 13, 195-206.
- ASTM (1985), Preparation of Biological Samples for Inorganic Chemical Analysis 1. Annual Book of ASTM Standards, D-19, pp. 740- 747.
- Atamanalp, M., Kocaman, E. & Canyurt, M. (2002). Kentsel atıkların *C. capota'* nın hematokrit ve sediment seviyeleri üzerine etkileri, *Su Ürünleri Dergisi*, 34, 439-445.
- Atamanalp, M., Uçar, A. & Alak, G. (2013). Balıkların Bağışıklık Sistemi Üzerine Çevresel Toksikantların Etkileri. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 6(1), 124-127.
- Atea, EAH., Kadak, AE. & Sönmez, AD. (2017). Germeçtepe Baraj Gölünün (Kastamonu-Daday) Bazı Fiziko-Kimyasal Su Kalite Parametrelerinin İncelenmesi, *Alinteri Journal of Agricultural Sciences*, 32(1), 55-68.
- ATSDR, (2003). Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Erişim Tarihi: 03.03.2014. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaq.html>.
- ATSDR, (2008). Toxicological Profile for Aluminum. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry, September, 357 s.
- Ay, Ö., Kalay, M., Tamer, L. & Canlı, M., (1999). Copper and Lead Accumulation in Tissues of Freshwater Fish *Tilapia zilli* and its Effects on the Branchial Na, K-ATPase Activity. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 62, 160-168.



- Ayanda, IO., Ekhaton, UI. & Bello, OA. (2019). Determination of selected heavy metal and analysis of proximate composition in some fish species from Ogun River, Southwestern Nigeria. *Heliyon*, 5(10), 1-6.
- Ayllon, F. & Garcia-Vazquez, E. (2000). Induction of micronuclei and other nuclear abnormalities in european minnow *Phoxinus phoxinus* and *Mollie poecilia latipinna*: an assessment of the fish micronucleus test. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 467(2), 177-186.
- Aytekin, T., Kargin, D., Coğun, HY., Temiz, Ö., Sağ Varkal, H. & Kargin, F. (2019). Accumulation and health risk assessment of heavy metals in tissues of the shrimp and fish species from the Yumurtalik coast of Iskenderun Gulf, Turkey. *Heliyon*, 5, 1-6.
- Badr, AM., Mahana, NA. & Eissa, A. (2014). Assessment of Heavy Metal Levels in Water and Their Toxicity in Some Tissues of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in River Nile Basin at Greater Cairo, Egypt, *Global Veterinaria*, 13(4), 432-443.
- Bahari, IB., Noor, FM. & Daud, MN. (1994). Micronucleated erythrocytes as an assay to assess actions by physical genotoxic agents in *Clarias gariepinus*, *Mutation Research*, 313, 1-5.
- Bakan, G. & Özkoç, HB. (2007). An ecological risk assessment of the impact of heavy metals in surface sediments on biota from the mid-Black Sea coast of Turkey. *International Journal of Environmental Studies*, 64, 45-57.
- Bakar, C. & Baba, A. (2009). Metaller ve İnsan Sağlığı: Yirminci Yüzyıldan Bugüne ve Geleceğe Miras Kalan Çevre Sağlığı Sorunu. 1. Tıbbi Jeoloji Çalıştayı, 30 Ekim-1 Kasım, Ürgüp, Nevşehir.
- Baki, MA., Shojib, FH., Sehrin, S., Chakraborty, S., Choudhury, TR., Bristy, MS., Ahmed, K., Yusoff, SB. & Khan, F. (2019). Health risk assessment of heavy metal accumulation in the Buriganga and Turag River systems for *Puntius ticto*, *Heteropneustes fossilis*, and *Channa punctatus*. *Environmental Geochemistry and Health*, 1-13.
- Banerjee, S., Kumar, A., Maiti, SK. & Chowdhury, A. (2016). Seasonal variation in heavy metal contaminations in water and sediments of Jamshedpur stretch of Subarnarekha river, India. *Environmental Earth Sciences*, 75(3), 1-12.
- Barlas, M., Yılmaz, F., İmamoğlu, Ö. & Akboyun, Ö. (2000). Physical, chemical and biological research on the Yuvarlakçay (Köycegiz-Muğla). Fisheries Symposium, Sinop, 249-265.
- Baršienė, J., Dedonytė, V., Rybakovas, A., Andreikėnaitė, L. & Andersen OK. (2006). Investigation of Micronuclei and Other Nuclear Abnormalities in Peripheral Blood and Kidney of Marine Fish Treated with Crude Oil. *Aquatic Toxicology*, 78, 99-104.
- Baron, J., Legret, M. & Astruc, M. (1990). Study of interactions between heavy metals and sewage sludge: determination of stability constants and complexes formed with Cu and Cd. *Environmental. Technology*, 11, 151-162.

- Basha, PS. & Rani, AU. (2003). Cadmium-Induced Antioxidant Defense Mechanism in Freshwater Teleost *Oreochromis mossambicus* (Tilapia). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 56, 218-221.
- Başaran, G. (2010). Kapulukaya Baraj Gölü (Kırıkkale) ve Aşağı Havzası Su, Sediment ve Sucul Bitki Örneklerinde Ağır Metal Konsantrasyonlarının Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Kırıkkale.
- Başıyigit, B. (2011). Burdur İli Karataş Gölü'nde yaşayan sudak balığı (*Sander lucioperca* L., 1758)'nda, göl suyunda ve sedimentinde ağır metal birikiminin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Isparta.
- Bat, L., Gündoğdu, A., Yardım, Ö., Zoral, T. & Çulha, S. (2006). Sinop ili İç Liman Bölgesindeki zooplankton ve bazı ekonomik balıklarda ağır metal düzeyleri, *Su Ürünleri Mühendisleri Derneği Dergisi*, 25-26, 22-27.
- Begum, G., Venkateswara Rao, J. & Srikanth, K. (2006). Oxidative Stress and Changes in Locomotor Behavior and Gill Morphology of *Gambusia affinis* Exposed to Chromium. *Toxicological Environmental Chemistry*, 88(2), 355-365.
- Belgemen, T. & Akar, N. (2004). Çinkonun yaşamsal fonksiyonları ve çinko metabolizması ile ilişkili genler. *Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Mecmuası*, 57(3), 161-166.
- Belpaeme, K., Delbeke, K., Zhu, L. & Kirsch-Volders, M. (1996). Cytogenetic studies of PCB77 on Brown trout (*Salmo trutta fario*) using the micronucleus test and the alkaline comet assay, *Mutagenesis*, 11(5): 485-492
- Bhuyan, MS., Bakar, MA., Nabi, MR., Senapathi, V., Chung, SY. & Islam, MS. (2019). Monitoring and assessment of heavy metal contamination in surface water and sediment of the Old Brahmaputra River, Bangladesh, *Applied Water Science*, 9(125), 1-13.
- Bıçkıcı, E. (2010). İskenderun Körfezinde Bulunan Barbunya Familyasına (Mullidae) Ait Türlerin Ağır Metal Birikiminin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalı, Hatay.
- Biney, C., Amuzu, AT., Calamari, D., Kaba, N., Mborne, IL., Naeve, H., Ochumba, PBO., Osibanjo, O., Radegonde, V. & Saad, MAH. (1994). Review of heavy metals in the African aquatic environment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 28(2), 134-159.
- Braunbeck, T., Boettcher, M., Hollert, H., Kosmehl, T., Lammer, E., Leist, E., Rudolf, M. & Seitz, N. (2005). Towards an alternative for the acute fish LC(50) test in chemical assessment: the fish embryo toxicity test goes multi-species- an update. *ALTEX*, 22(2), 87-102.

- Bresler, VM., Bissinger, V., Abelson, A., Dizer, H., Sturm, A. & Kratke, R. (1999). Marine molluscs and fish as biomarkers of pollution stress in littoral regions of the Red Sea, Mediterranean Sea and North Sea. *Helgoland Marine Research*, 53, 219-243.
- Brusick, D. (1987). Principles of genetic toxicology. Plenum Press, New York, USA, 284pp.
- Boettcher, M., Grund, S., Keiter, S., Kosmehl, T., Reifferscheid, G., Seitz, N., Soares Rocha, P., Hollert, H. & Braunbeck, T. (2010). Comparison of *in vitro* and *in situ* genotoxicity in the Danube River by means of the comet assay and the micronucleus test. *Mutation Research*, 700(1-2), 11-17.
- Bolognesi, C. & Degan, P. (2001). Chapter 3. "Genotoxicity biomarkers in aquatic organisms as indicators of carcinogenic marine pollutants. Biomarkers in marine organisms: A practical approach", Ph. Garrigues, H. Barth, C.H. Walker and J.F. Narbonne, eds. Elsevier. 45-64.
- Bolognesi, C., Perrone, E., Roggieri, P., Pampanin, DM. & Sciutto, A. (2006). Assessment of micronuclei induction in peripheral erythrocytes of fish exposed to xenobiotics under controlled conditions. *Aquatic Toxicology*, 78, 93-98.
- Bolognesi, C. & Hayashi, M. (2011). Review: micronucleus assay in aquatic animals. *Mutagenesis*, 26, 205-213.
- Bombail, V., Aw, D., Gordon, E. & Batty, J. (2001). Application of the Comet and Micronucleus Assays to Butterfish (*Pholis gunnellus*) Erythrocytes from the Firth of Forth, Scotland. *Chemosphere*, 44, 383-392.
- Bony, S., Gaillard, I. & Devaux, A. (2010). Genotoxicity assessment of two vineyard pesticides in zebrafish. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 90, 421-428.
- Bopp, KS., Abicht, HK. & Knauer, K. (2008). Copper-induced oxidative stress in rainbow trout gill cells. *Aquatic Toxicology*, 86(2), 197-204.
- Bostancı, D., Polat, N., Kurucu, G., Yedier, S., Konaş, S. & Darçın, M. (2015). Using otolith shape and morphometry to identify four *Alburnus* species *A. chalcoides*, *A. escherichii*, *A. mossulensis* and *A. tarichi* in Turkish inland waters. *Journal of Applied Ichthyology*, 31(6), 1013-1022.
- Bostancı, D., İskender, R., Helli, S. & Polat, N. (2016). Curi Deresi (Ordu) Balıkları ve İstilacı Bir Balık Türü *Carassius gibelio* (Bloch, 1782). *Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research*, 2(1), 11-19.
- Buschini, A., Martino, A., Gustavino, B., Monfrinotti, M., Poli, P., Rossi, C., Santoro, M., Dörr, AJ. & Rizzoni, M. (2004). Comet assay and micronucleus test in circulating erythrocytes of *Cyprinus carpio* specimens exposed *in situ* to lake waters treated with disinfectants for potabilization. *Mutation Research-Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 557(2), 119-129.

- Bücker, A., Carvalho, MS., Conceicao, MB. & Alves-Gomes, JA. (2012). Micronucleus test and comet assay in erythrocytes of the Amazonian electric fish *Apteronotus bonapartii* exposed to benzene. *Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology*, 7(1), 65-73.
- Canpolat, Ö. (2013). The Determination of Some Heavy Metals and Minerals in the Tissues and Organs of the *Capoeta umbla* Fish Species in Relation to Body Size, Sex, and Age. *Ekoloji*, 22(87), 64-72.
- Cervantes, C., Campos-Garcia, J., Devars, S., Gutiérrez-Corona, F., Loza-Tavera, H., Torres-Guzmán, JC. & Moreno-Sánchez, R., (2001). Interactions of Chromium with Microorganisms and Plants. *FEMS Microbiology Reviews*, 25, 335-347.
- Cicik, B. (2003). Bakır-Çinko Etkileşiminin Sazan (*Cyprinus carpio* L.)'nin Karaciğer, Solungaç ve Kas Dokularındaki Metal Birikimi Üzerine Etkileri. *Ekoloji*, 12(48), 32-36.
- Cicik, B., Ay, Ö. & Karayakar, F. (2004). *Cyprinus carpio* (L.)'da bakırın kas ve karaciğer dokularındaki total protein derişimi üzerine etkileri. Süleyman Demirel Üniversitesi, *Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 2(12), 26-31.
- Cicik, B. & Engin, K. (2005). The effects of cadmium on levels of glucose in serum and glycogen reserves in the liver and muscle tissues of *Cyprinus carpio* (L., 1758), *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 29, 113-117.
- Chary, NS., Kamala, CT. & Raj, DS. (2008). Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 69(3), 513-524.
- Clearwater, SJ., Farag, AM. & Meyer, JS. (2002). Bioavailability and toxicity of dietborne copper and zinc to fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C; Toxicology and Pharmacology*, 132(3), 269-313.
- Collins, AR. (2015). The comet assay: a heavenly method. *Mutagenesis*. 30(1), 1-4.
- Cotelle, S. & Ferard, JF. (1999). Comet assay in genetic ecotoxicology: a review. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 34, 246-255.
- Çağlak, E. & Karşlı, B. (2014). Beyşehir Gölü'ndeki Sudak (*Stizostedion lucioperca*, Linnaeus 1758) Balığı Kasında Bazı Ağır Metallerin Birikiminin Araştırılması. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 20, 203-214.
- Çağlar, C. (2010). Suğla Gölü'nde Yaşayan *Phoxinellus anatolicus* Hanko, 1924 ve *Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758'nun Karaciğer, Kas ve Solungaç Dokularında Ağır Metal Düzeyleri. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Konya.
- Çakal Arslan, Ö., Parlak, H., Katalay, S., Boyacıoğlu, M., Karaaslan, MA. & Güner H. (2010). Detecting micronuclei frequency in some aquatic organisms for monitoring pollution of Izmir Bay (Western Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment*. 165, 55-66.

- Çakal Arslan, Ö., Boyacıoğlu, M., Parlak, H., Katalay, S. & Karaaslan, MA. (2015). Assessment of micronuclei induction in peripheral blood and gill cells of some fish species from Aliğa Bay Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 94, 48-54.
- Çakal Arslan, Ö. & Parlak, H. (2017). Micronucleus Test Good Biomarker for Determination of Genetic Changes in Aquatic Organism. *Journal of Aquatic Pollution and Toxicology*, 1,3(18), 1-5.
- Çalışkan, E. (2005). Asi Nehri'nde su, sediment ve Karabalık (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822)'ta ağır metal birikiminin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, T.C. Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalı, Hatay.
- Çalta, M. (1996) Early development and gill function in freshwater fish. Ph.D. Thesis, University of Nottingham. UK.
- Çalta, M. & Canpolat, Ö. (2002). Hazar Gölü'nden yakalanan *Capoeta capoeta umbla* (Heckel, 1843)'da bazı ağır metal miktarlarının tespiti. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(1), 225-230.
- Çavaş, T. & Ergene-Gözükara, S. (2003a). Micronuclei, nuclear lesions and interphase silver-stained nucleolar organizer regions (AgNORs) as cyto-genotoxicity indicators in *Oreochromis niloticus* exposed to textile mill effluent. *Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 538(1-2), 81-91.
- Çavaş, T. & Ergene-Gözükara, S. (2003b). Evaluation of the genotoxic potential of lambda-cyhalothrin using nuclear and nucleolar biomarkers on fish cells. *Mutation Research*, 534, 93-99.
- Çavaş, T. (2004). Endüstriyel atıkların genotoksik etkilerinin mikronükleus testi ve AgNOR analiz teknikleri kullanılarak in-situ ve laboratuvar koşulları altında araştırılması. Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Mersin.
- Çavaş, T., Garanko, N.N. & Arkhipchuk, VV. (2005). Induction of micronuclei and binuclei in blood, gill and liver cells of fishes subchronically exposed to cadmium chloride and copper sulphate. *Food and Chemical Toxicology*, 43(4), 569-574.
- Çavaş, T. & Ergene-Gözükara, S. (2005a). Genotoxicity evaluation of metronidazole using the piscine micronucleus test by acridine orange fluorescent staining, *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 19, 107-111.
- Çavaş, T. & Ergene-Gözükara, S. (2005b). Micronucleus test in fish cells: A bioassay for In situ monitoring of genotoxic pollution in the marine environment, *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 46, 64-70.
- Çavaş, T. & Ergene-Gözükara, S. (2005c). Induction of micronuclei and nuclear abnormalities in *Oreochromis niloticus* following exposure to petroleum refinery and chromium processing plant effluents, *Aquatic Toxicology*, 74, 264-271.

- Çavaş, T. & Könen, S. (2007). Detection of cytogenetic and DNA damage in peripheral erythrocytes of goldfish (*Carassius auratus*) exposed to a glyphosate formulation using the micronucleus test and the comet assay. *Mutagenesis*, 22(4), 263-268.
- Çavaş, 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. (2008). In vivo genotoxicity of mercury chloride and lead acetate: Micronucleus test on acridine orange stained fish cells, *Food and Chemical Toxicology*, 46(1), 352-358.
- Çavaş, T. (2011). In vivo genotoxicity evaluation of atrazine and atrazine-based herbicide on fish *Carassius auratus* using the micronucleus test and the comet assay. *Food and Chemical Toxicology*, 49(6), 1431-1435.
- ÇDR, (2011). Ordu Çevre Durum Raporu. T.C. Ordu Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü. 224s.
- Çelik Çakıroğulları, G. (2011). Chlorpyrifos-Ethyl'in Subletal Dozunun Sazan Balıkları (*Cyprinus carpio* L., 1758) Histolojisi Ve Genotoksisitesi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Ankara.
- Çetin, E., Güher, H. & Gürsoy Gaygusuz, Ç. (2016). Altınyazı Baraj Gölü'nde (Edirne-Türkiye) Yaşayan Bazı Balık Türlerinde Ağır Metal Birikimlerinin İncelenmesi. *Turkish Journal Of Aquatic Sciences*, 31(1), 1-14.
- Çetinbaş, A. (2003), İzmit Körfezi'nde avlanan İstavrit (*Trachurus trachurus* L., 1758) balıklarının dokularında Cu ve Zn birikiminin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Ankara.
- Çiçek, A. & Koparal, AS. (2001). Porsuk Baraj Gölü'nde Yaşayan *Cyprinus carpio* ve *Barbus plebejus*'da Kurşun, Krom ve Kadmiyum Seviyeleri. *Ekoloji*, 10(39), 3-6.
- Çiçek, NL. & Ertan, ÖO. (2012). Köprüçay Nehri (Antalya)'nın Fiziko-Kimyasal Özelliklerine Göre Su Kalitesinin Belirlenmesi. *Ekoloji*, 21(84), 54-65.
- Çoban, B., Balkıs, N., Aksu, A., Güray, D. & Tekinay, A. (2009). Heavy metals in livers, gills and muscle of *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758) fish species grown in the Dardanelles. *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment*, 15, 61-67.
- Çok, İ., Ulutaş, OK., Okuşluk, Ö., Durmaz, E. & Demir, N. (2011). Evaluation of DNA damage in common carp (*Cyprinus carpio* L.) by comet assay for determination of possible pollution in Lake Mogan (Ankara). *The Scientific World Journal*, 11, 1455-1461.
- Da Rocha, CAM., De Lima, PDL., Dos Santos, RA. & Burbano, RMR. (2009). Evaluation of Genotoxic Effects of Xenobiotics in Fishes Using Comet Assay-A Review. *Reviews in Fisheries Science*, 17, 170-173.

- Dabak, JD., Dabal, LJ., Jakwa, AG. & Ajiji, EA. (2019). Assessment of Levels of Some Metals in Water and Fish from Jos, Plateau State, Nigeria. *Asian Journal of Environment & Ecology*, 10(3), 1-11.
- Darweesh, MM., El-Dein, HMG., Abou-Shleel, SM. & El-Shirbeny, MA. (2019). Seasonal variation of heavy metals in water and organs of *Oreochromis niloticus* at Rosetta Branch, River Nile, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, 23(3), 513-526.
- D'Costa, A., Shyama, SK. & Praveen Kumar, MK. (2017). Bioaccumulation of trace metals and total petroleum and genotoxicity responses in an edible fish population as indicators of marine pollution. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 142, 22-28.
- De Andrade, VM., da Silva, J., da Silva, FR., Heuser, VD., Dias, JF. & Yoneama, ML. (2004). Fish as bioindicators to assess the effects of pollution in two southern Brazilian rivers using the comet assay and micronucleus test. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 44, 459-468.
- Deguchi, Y., Toyozumi, T., Masuda, S., Yasuhara, A., Mohri, S., Yamada, M., Inoue, Y. & Kinai, N., 2006. Evaluation of Mutagenic Activities of Leachates in Landfill Sites by Micronucleus Test and Comet Assay Using Goldfish. *Genet. Toxicol. and Environ. Mutagen.*, 627, 178-185.
- Denny, P., Hart, BT., Lasheen, MR., Subramanian, V. & Wong, MH. (1987). Group Report: Lead, Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic In The Environment. In: S.C.O.P.E. of the I.C.S.U. (Hutchinson, T, C., Meema, K, M., -eds.). Canada.
- Deutschmann, B., Kolarevic, S., Brack, W., Kaisarevic, S., Kostic, J., Kracun-Kolarevic, M., Liska, I., Paunovic, M., Seiler, TB., Shao, Y., Sipos, S., Slobodnik, J., Teodorovic, I., Vukovic-Gacic, B. & Hollert, H. (2016). Longitudinal profile of the genotoxic potential of the River Danube on erythrocytes of wild common bleak (*Alburnus alburnus*) assessed using the comet and micronucleus assay. *Science of the Total Environment*, 573(15), 1441-1449.
- Dra, A., El Gaidoumi, A., Tanji, K., Benabdallah, AC., Taleb, A. & Kherbeche, A. (2019). Characterization and Quantification of Heavy Metals in Oued Sebou Sediments, *The Scientific World Journal*, 1-9.
- Doi, R., Chowdhury, P., Nishikawa, M. & Rayford, PL. (1993). Tissue Distribution of Cadmium-109 After Tracheal and Gastric Administration in Rats. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 51, 619-624.
- Dökmeci, İ. (2005). Toksikoloji Zehirlenmelerde Tanı ve Tedavi. Nobel Tıp Kitap Evi, 4. Baskı, İstanbul, 639s.
- Dukić, M., Kragulj, T., Purić, M., Vuković, G., Bursić, V., Puvača, N. & Petrović, A. (2019). Lead Contamination of Seawater and Fish from Bar Region (Montenegro). The Proceedings, ISEM8 October, 2-5, 71-76.
- Dumlu, G. (1975). Kirli Su El Kitabı. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 95s.
- Dündar, Y. & Aslan, R. (2005). Yaşamı Kuşatan Ağır Metal Kurşunun Etkileri. *Kocatepe Tıp Dergisi*, 6, 1-5.

- Dünder, MS., Altundag, H., Eyupoglu, V., Keskin, SC. & Tutunoglu, C. (2012). Determination of heavy metals in lower Sakarya river sediments using a BCR-sequential extraction procedure. *Environmental Monitoring and Assessment*, 84, 33-41.
- Düzel, S. (2013). Sentetik Piretroit Deltametrin'in *Pseudorasbora parva* (Temminck & Schlegel, 1846) Üzerindeki Akut Ve Genotoksik Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Ankara.
- EC (2008). Commission Regulation (EC) No 629/2008 of 2 July 2008 amending regulation (EC) No 1881/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Official Journal of the European Union, L173, 0006–0009.
- Egemen, Ö. & Sunlu, V. (1996). Su Kalitesi, Ege Üniv. Su Ürünleri Fakültesi. Yayınları, Yayın No:14, İzmir.
- Elgendy, MY., Abumourad, IK., Ali, SEM., Soliman, WSE., Ibrahim, TBE. & Abbas, WT. (2017). Health Status and Genotoxic Effects of Metal Pollution in *Tilapia zillii* and *Solea vulgaris* from Polluted Aquatic Habitats. *International Journal of Zoological Research*, 13, 2, 54-63.
- EPA (1997). Volunteer Stream Monitoring: A Methods Manual. [http://water.epa.gov/type/rsl/monitoring/upload/2002\\_08\\_13\\_volunteer\\_stream\\_stream.pdf](http://water.epa.gov/type/rsl/monitoring/upload/2002_08_13_volunteer_stream_stream.pdf). (United States Environmental Protection Agency)
- Erdoğrul, Ö. & Erbilir, F. (2007) Heavy metal and trace elements in various fish samples from Sır Dam Lake, Kahramanmaraş, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 130, 373-379.
- Ergene, S., Çavaş, T., Çelik, A., Köleli, N., Kaya, F. & Karahan, A. (2007a). Monitoring of Nuclear Abnormalities in Peripheral Erythrocytes of Three Fish Species from the Göksu Delta (Turkey): Genotoxic Damage in Relation to Water Pollution. *Ecotoxicology*, 16(4), 385-391.
- Ergene, S., Çavaş, T., Çelik, A. & Köleli Aymak, C. (2007b). Evaluation of River Water Genotoxicity Using the Piscine Micronucleus Test. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 48, 421-429.
- Ergönül, M.B. & Altındağ, A. (2011). Çinko ve bakırın kadife balığı (*Tinca tinca* L., 1758) için akut toksisitesinin belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, 14(3), 19-24.
- Ericson, G. & Larsson, A. (2000). DNA adducts in Perch (*Perca fluviatilis*) living in the coastal water polluted with bleached pulp mill effluents, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 46, 167-173.
- Eroğlu, M., Düşükcan, M., Canpolat, Ö., Çalta, M. & Şen, D. (2017). Dikenli Yılan Balığı (*Mastacembelus mastacembelus* Banks & Solander, 1794)'nın Kas Dokusunda Bazı Ağır Metal Miktarlarının Belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Veteriner Dergisi*, 31(3), 173-179.



- Ersoy, B. (2006). Kuzeydoğu Akdeniz (Adana/Karataş) Bölgesi'nde avlanma mevsiminde tüketilen balıkların besin kompozisyonu ve ağır metal içerikleri. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalı, Adana.
- Ezekiel, B., Annune, PA. & Solomon, SG. (2019). Concentrations of heavy metals in selected fish species from Dadin Kowa Dam, Gombe state, Nigeria, *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 7(3), 279-284,
- FAO (Food and Agriculture Organization) (1983). Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. FAO Fishery Circulars No:764, Fish and Agriculture Organization, Roma, Italy.
- FAO (Food and Agriculture Organization) (1989). National research council recommended dietary 626 allowances 10th ed. National Academy Press., Washington, DC. USA.
- Fatima, M., Usmani, N., Firdaus, F., Zafeer, MF., Ahmad, S., Akhtar, K., Dawar Husain, SM., Ahmad, MH., Anis, E. & Mobarak Hossain, M. (2015). In vivo induction of antioxidant response and oxidative stress associated with genotoxicity and histopathological alteration in two commercial fish species due to heavy metals exposure in northern India (Kali) river. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C*, 176-177, 17-30.
- Fenech, M., Holland, N., Chang, WP., Zeiger, E. & Bonassi, S. (1999). The human micronucleus project-an international collaborative study on the use of micronucleus technique for measuring DNA damage in humans. *Mutation Research*, 428, 271-283.
- Fenech, M. (2000). The *in vitro* micronucleus technique. *Mutation Research*, 455, 81-95.
- Fenech, M. & Crott, JW. (2002). Micronuclei, nucleoplasmic bridges and nuclear buds induced in folic acid deficient human lymphocytes-evidence for breakage-fusion-bridge cycles in the cytokinesis-block micronucleus assay. *Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis, Mutation Research*, 504, 131-136.
- Ferguson, HW. (1989). Systematic Pathology of fish. Ames. IA: Iowa State University Press.
- Ferraro, MVM., Fenocchio, AS., Mantovani, MS., Ribeiro, CDO. & Cestari, MM. (2004). Mutagenic effects of tributyltin and inorganic lead (Pb II) on the fish *H. malabaricus* as evaluated using the comet assay and the piscine micronucleus and chromosome aberration tests. *Genetics and Molecular Biology*, 27(1), 103-107.
- Ferreira, M., Caetano, M., Antunes, P., Costa, J., Gil, O., Bandarra, N., Ferreira Pousao, P., Vale, C. & Reis-Henriques, MA. (2010). Assessment of contaminants and biomarkers of exposure in wild and farmed seabass. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73(4), 579-588 .

- Fernández-Tajes, J., Flórez, F., Pereira, S., Rábade, T., Laffon, B. & Méndez, J. (2011). Use of three bivalve species for biomonitoring a polluted estuarine environment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 177, 289-300.
- Frenzilli, G. & Lyons, BP. (2013). The comet assay in marine animals. In: Dhawan, A., Bajpayee, M. (Eds.), *Genotoxicity Assessment: Methods and Protocols*, Part III. Humana Press, pp. 363-372.
- Förstner, G. & Wittmann, T. (1981). *Metal pollution in the aquatic environment*, Berlin Heidelberg. *Newyork Springer Verlag*, 3(21), 271-318.
- Garg, RK., Rao, RJ., Uchchariya, D., Shukla, G. & Saksena, DN. (2010). Seasonal variations in water quality and major threats to Ramsagar reservoir, India, *African Journal of Environmental Science and Technology*, 4, 61-76.
- Gerhard, I., Monga, B., Waldbrenner, A. & Runnenbaum, B. (1998). Heavy Metals and Fertility. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 54, 593-611.
- Gilbert, J. (1994). The fate of environmental contaminants in the food chain. *Science of The Total Environment*. 143(1), 103-111.
- Giritlioğlu, T. (1975), İçme Suyu Kimyasal Analiz Metodları, İller Bankası Yayını, No:18, Ankara.
- Gómez-Mendikute A., Elizondo M., Venier P. & Cajaraville MP. (2005). Characterization of Mussel Gill Cells In Vivo and In Vitro. *Cell and Tissue Research*, 321, 131-140.
- Göksu, MZL., Çevik, F., Fındık, Ö. & Sarıhan, E. (2003). Seyhan Baraj Gölü'ndeki Aynalı Sazan (*Cyprinus carpio* L., 1758) ve Sudak (*Stizostedion lucioperca* L., 1758)'larda Fe, Zn, Cd Düzeylerinin Belirlenmesi. *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, 20(1-2), 69-74.
- Gure, A., Kedır, K. & Abduro, F. (2019). Heavy Metal Concentrations in Fish Tissues from Gilgel Gibe (I) Hydroelectric Dam Reservoir, Ethiopia. *Journal of Applied Science and Environmental Management*, 23(8), 1411-1416.
- Gül, G. (2014). Endokrin Bozucu Kirleticilerin Bazı Ekonomik Balık Türlerinde Gonad Histopatolojisine ve Vitellogeninlerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Ankara.
- Gülcü Gür, B., (2014). Işıklı Gölü'nün Suyunda, Sedimentinde ve Gölde Yaşayan Turna Balığı (*Esox lucius* L., 1758)'nın Bazı Doku ve Organlarındaki Ağır Metal Birikiminin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Isparta.
- Güldiren, O. & Tekin-Özan, S. (2017). Seyhan Baraj Gölü (Adana)'nın Suyunda ve Sedimentindeki Bazı Ağır Metallerin Mevsimsel Değişimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Yalvaç Akademi Dergisi*, 2(1), 99-111.
- Güldiren, O. & Tekin-Özan, S. (2018). Seyhan Baraj Gölü (Adana)'nda Yaşayan Sazan (*Cyprinus carpio* L., 1758)'ın Kas, Karaciğer ve Solungaçlarındaki Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2), 157-167.

- Güler, Ç. & Çobanoğlu Z. (1997). Kimyasallar ve Çevre. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, No: 50. Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı, Sağlık Projesi Genel Koordinatörlüğü, TC. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara. 27-49.
- Güner, U. (2008). Toksikoloji. Trakya Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü. [http://trakya.academia.edu/utkuguner/Teaching/32641/Toksikoloji\\_ders\\_notlari](http://trakya.academia.edu/utkuguner/Teaching/32641/Toksikoloji_ders_notlari) Erişim Tarihi: 15.05.2012.
- Güner, U. & Gökalp Muranlı, FD. (2013). Balıklarda tek hücre jel elektroforezi (comet assay). *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 3(9), 103-114.
- Gyori, BM., Venkatachalam, G., Thiagarajan, PS., Hsu, D. & Clement, MV. (2014). Open comet: an automated tool for comet assay image analysis. *Redox Biology*, 9(2), 457-465.
- Hacıoğlu, N. & Dülger, B. (2009). Monthly variation of some physico-chemical and microbiological parameters in Biga Stream (Biga, Canakkale, Turkey). *African Journal of Biotechnology*, 8(9), 1929-1937.
- Harikumar, PS. & Jiji, PV. (2019). Ecotoxicological Impact Assessment of Heavy Metals In Core Sediments of Kattampally - A Wetland In The Southwest Coast of India, *Life Science Informatics Publications*, 5,2, 489-499.
- Hartwig, A. & Schwerdtle, T. (2002). Interactions by carcinogenic metal compounds with DNA repair processes: toxicological implications. *Toxicology Letters*, 127, 47-54.
- Hatipoğlu, İK. (2017). Melet Irmağı Orta ve Aşağı Çığırının Uygulamalı Jeomorfolojisi, Ordu. Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Samsun.
- Hayashi, M., Ueda, T., Uyeno, K., Wada, K., Kinae, N., Saotome, K., Tanaka, N., Takai, A., Sasaki, YF. & Asano, N. (1998). Development of genotoxicity assay systems that use aquatic organisms. *Mutation Research-Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. 399, 125-133.
- Heddle, JA., Hite, M., Kirkhart, B., Mavournn, K., Macgregor, JT., Newell, GW. & Salamone, MF. (1983). The induction of micronuclei as a measure of genotoxicity. A report of the U.S. Environmental Protection Agency GeneTox Program, *Mutation Research*, 123, 61-118.
- Heddle, JA., Cimino, MC., Hayashi, M., Romagna, F., Shelby, MD., Tucker, JD., Vanparys, P. & MacGregor, JT. (1991). Micronuclei as an index of cytogenetic damage: past, present, and future. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 18(4), 277-291.
- Houk, VS. (1992). The Genotoxicity of Industrial Wastes and Effluents: A Review. *Mutation Research/Reviews in Genetic Toxicology*, 277, 91-138.
- Hu, H. (2000). Exposure to metals. *Occupational and Environmental Medicine*, 27, 983-996.
- IAEA (2003). World-wide intercomparison exercise for the determination of trace elements and methylmercury in fish homogenate international atomic energy agency - 407 Report No: IAEA/AL/144 IAEA/MEL/72.

- Ighariemu, V., Belonwu, DC. & Wegwu, MO. (2019). Heavy metals level in water, sediments and health risks assessment of Ikoli Creek, Bayelsa State, Nigeria, *Journal of Environmental Chemistry and Toxicology*, 3, 1, 1-6.
- Islam, MS., Ahmed, MK., Raknuzzaman, M., Habibullah-Al-Mamun, M. & Islam, MK. (2015). Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecological Indicators*, 48, 282-291.
- İskender, R. (2013). Turnasuyu ve Curi Derelerinin (Ordu) Balık Faunasının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Ordu.
- Jin, HH., Lee, JH. & Hyun, CE. (2004). Detection of DNA damage in carp using single-cell gel electrophoresis assay for genotoxicity monitoring. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 14, 268-275.
- Jovanović, J., Kolarević, S., Milošković, A., Simić, V., Dojčinović, B., Kračun-Kolarević, M., Paunović, M., Kostić, J., Sunjog, K., Timilijić, J., Djordjević, J., Gačić, Z., Žegura, B. & Vuković-Gačić, B. (2018). Evaluation of genotoxic potential in the Velika Morava River Basin *in vitro* and *in situ*. *Science of The Total Environment*, 621, 1289-1299.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. & Timur, S. (2003). Metallerin Çevresel Etkileri-I. *Metalurji Dergisi*, 136, 47-53.
- Kalay, M. & Erdem, C. (1995). Bakırın *Tilapia nilotica* (L.)’da karaciğer, böbrek, solungaç, kas, beyin ve kan dokularındaki birikimi ile bazı kan parametreleri üzerine etkileri, *Turkish Journal of Zoology*, 19, 27-33.
- Kalay, M. & Karataş, S. (1999), Kadmiyumun *Tilapia nilotica* (L.)’da kas, beyin ve kemik (omurga kemiği) dokularındaki birikimi, *Türk Zooloji Dergisi*, 23(3), 985-991.
- Kalyoncu, H. & Zeybek, M. (2011). An Application of Different Biotic and Diversity Indices For Assessing Water Quality: A Case Study in The Rivers Çukurca and Isparta (Turkey). *African Journal Agricultural Research*, 6(1), 19-27.
- Kalyoncu, H., Özcan, C. & Tekin-Özcan, S. (2016). Isparta Deresi'nin Su ve Sedimentlerindeki Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(Ek Sayı 1), 268-280.
- Kaptan, H. & Tekin-Özcan, S. (2014). Eğirdir Gölü'nün (Isparta) Suyunda, Sedimentinde ve Gölde Yaşayan Sazan'ın (*Cyprinus carpio* L., 1758) Bazı Doku ve Organlarındaki Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi. *SDU Journal of Science (E-Journal)*, 9(2), 44-60.
- Kaptanoğlu, S. & Bakır, A. (2017). Van Gölü'ne Dökülen Engil Çayı'nın Mansabındaki Su ve Toprak Örneklerinde, Ağır Metal Miktarlarının Mevsimsel Değişimlerinin İncelenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 102-109.

- Kara, C. & Çömlekçioğlu, U. (2004) Investigation of Karacay's (Kahramanmaraş) Pollution with Biological and Psycho-Chemical Parameters (in Turkish with English abstract). *Kahramanmaraş Sütçüimam University Journal of Science and Engineering*, 7(1), 1-7.
- Karadede, H. (1997), Atatürk Baraj Gölü'nde su, sediment ve balık türlerinde ağır metal birikiminin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Diyarbakır.
- Karadede, H. & Ünlü, E. (2000). Concentrations of some heavy metals in water, sediment and fish species from the Atatürk Dam Lake (Euphrates) in Turkey. *Chemosphere*, 41, 1371-1376.
- Karadede, H, Oymak, SA. & Unlu, E. (2004). Heavy metals in mullet, *Liza abu*, and catfish, *Silurus triostegus*, from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey. *Environment. International*, 30, 183-188.
- Karayakar, F. Bavbek, O. & Cıçık, B. (2017). Mersin Körfezi'nde Avlanan Balık Türlerindeki Ağır Metal Düzeyleri. *Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research*, 3(3), 141-150.
- Kargın, F. & Erdem, C. (1992). Bakır-Çinko etkileşiminde *Tilapia nilotica*'nın karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki metal birikimi, *Doğa-Turkish Journal of Zoology*, 16, 343-348.
- Kartal, G., Kahvecioğlu, Ö., Güven, A. & Timur, S. (2004). Metallerin Çevresel Etkileri-II. *Metallurji Dergisi*, 137, 46-51.
- Katip, A., Karaer, F., İleri, S. & Sarmaşık, S. (2013). Investigation of Trace Metals Partitioning Between Suspended Solids and Water in Lake Uluabat, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(4), 865-874.
- Kayhan, FE., Muşlu, MN. & Koç, ND. (2009). Bazı ağır metallerin sucul organizmalar üzerinde yarattığı stres ve biyolojik yanıtlar. *Journal of Fisheries Science*, 3(2), 153-162.
- Kaymak Abay, Ç. (2017). Dicle Nehri'nin belirli lokalitelerinde sedimentte ölçülen bazı ağır metallerin mevsimsel değişimi. *BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 77-86.
- Keiter, S., Rastall, A., Kosmehl, T., Wurm, K., Erdinger, L., Braunbeck, T. & Hollert, H. (2006). Ecotoxicological assessment of sediment, suspended matter and water samples in the upper Danube River - A pilot study in search for the causes for the decline of fish catches. *Environmental Science and Pollution Research*, 13, 308-319.
- Kır, İ., Tekin-Özan, S. & Tuncay, Y. (2007). Kovada Gölü'nün su ve sedimentindeki bazı ağır metallerin mevsimsel değişimi. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 24(1-2), 155-158.
- Kır, İ. & Tumantozlu, H. (2012). Karacaören-II Baraj Gölü'ndeki Su, Sediment ve Sazan (*Cyprinus carpio*) Örneklerinde Bazı Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi. *Ekoloji*, 21, 82, 65-70.

- Kim, K., Kabir, E. & Jahan, SA. (2017). Exposure to pesticides and the associated humanhealth effects. *Science of The Total Environment*, 575, 525-535.
- Klobučar, GIV., Stambuk, A., Pavlica, M., Peric, MS., Kutuzovic, B. & Hylland, HK. (2010). Genotoxicity monitoring of freshwater environments using caged carp (*Cyprinus carpio*). *Ecotoxicology*, 19(1), 77-84.
- Koca, YB., Koca, S., Yıldız, S., Gürcü, B., Osañç, E., Tunçbaşı, O. & Aksoy, G. (2005). Investigation of histopathological and cytogenetic effects on *Lepomis gibbosus* (Pisces: Perciformes) in the Çine stream (Aydın/Turkey) with determinationof water pollution. *Environmental Toxicology*, 20(6), 560-571.
- Koca, S., Koca, YB., Yıldız, Ş. & Gürcü, B. (2008). Genotoxic and Histopathological effects of waterpollution on two fish species, *Barbus capito pectoralis* and *Chondrostoma nasus* in the Büyük Menderes River, Turkey. *Biological TraceElement Research*, 122(3), 276-291.
- Kocataş, A. (1991). “Ekoloji ve Çevre Biyolojisi”, Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi Yayınları, Bornova-İzmir, 442-443.
- Kocataş, A., (2008). Ekoloji ve Çevre Biyolojisi. Ege Üniversitesi. Fen Fakültesi Ders Kitapları Serisi, 142, İzmir, p. 597.
- Koç, B. (2009). Uluabat (Apolyont) Gölü’nde Bazı Abiyotik (Su, Sediment) ve Biyotik (Oligochaeta, Chironomidae, *Esox lucius*, *Carassius gibelio* ve *Scardinius erythrophthalmus*) Ögelerde Ağır Metal Birikimlerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Kontaş, S. (2018). Melet Irmağı Su, Sediment Ve Bazı Balık Türlerinde Ağır Metal Birikimi Ve Genotoksik Etkilerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Moleküler Biyoloji Ve Genetik Anabilim Dalı, Ordu.
- Könen, S. (2007). Triflularin ve Askorbik Asit Kombinasyonlarının *Oreochromis niloticus* üzerindeki Genotoksik ve Antigenotoksik Etkilerinin Mikronükleus Testi Kullanılarak Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Mersin.
- Köse, E. (2007). Enne Barajı’nda Yaşayan Balıklarda Ağır Metal Birikiminin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Kütahya.
- Köse, E. (2012). Porsuk Çayı Su, Sediment ve Bazı Balık Türlerinde Ağır Metal Miktarlarının Araştırılması. Doktora Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Kütahya.
- Köse, E., Çiçek, A., Uysal, K., Tokatlı, C., Emiroğlu, Ö. & Arslan, N. (2015). Heavy Metal Accumulations in Water, Sediment, and Some Cyprinid Species in Porsuk Stream (Turkey). *Water Environment Research*, 87(3), 195-204.
- Kumar, R., Nagpure, NS., Kushwaha, B., Srivastava, KS. & Lakra, WS. (2010). Investigation of the genotoxicity of malathion to freshwater teleost fish *Channa punctatus* (Bloch) using the micronucleus test and comet assay, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 58, 123-130.

- Kumbur, H., Özsoy, HD. & Özer, Z. (2008). Determination of The Effects of Chemicals Used in Agricultural Area on Water Quality in Mersin Province. *Ecology*, 17(68), 54-58.
- Kuşatan, Z. & Cicik, B. (2004), *Clarias lazera* (Valenciennes, 1840)'da kadmiyumun solungaç, karaciğer, böbrek, dalak ve kas dokularındaki birikimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 2,12, 59-66.
- Küçük, S. (2007). Investigation of Water Quality Parameters of the Büyük Menderes River for Fisheries A.D.U. *Journal of the Faculty of Agriculture*, 4(1-2), 7-13.
- Landis, WG. & Yu, Ming-Ho. (1999). Introduction to Environmental Toxicology: Impacts of chemicals upon ecological systems. Chapter 8: Heavy metals. Second Edition. Lewis Publishers. Boca Raton, Florida 33431, USA.
- Larsson, A. & Haux, C. (1985). Fish physiology and metal pollution: result and experiences from laboratory and field studies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 9, 250-281.
- Lemos, NG., Dias, AL., Silva-Souza, AT. & Mantovani, MS. (2005). Evaluation of environmentalwaters using the comet assay in *Tilapia rendalli*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 19(2), 197-201.
- Li, Z., Ma, Z., van der Kuijp, TJ., Yuan, Z. & Huang, L. (2014). A review of soil heavymetal pollutionfrom mines in China: pollution and health risk assessment. *Science of the Total Environment*, 468-469, 843-853.
- Li, L., Jiang, M., Liu, Y. & Shen, X. (2019). Heavy metals inter-annual variability and distribution in theYangtze River estuary sediment, China. *Marine Pollution Bulletin*, 141, 514-520.
- Lloyd, R. (1992). Pollution and Freshwater Fish. Fishing News Boks. A Division of Blackwell Scientific Publications Limited, Great Britain, 176 s.
- Ma, TH. (1981). *Tredescantia micronucleus* bioassay and polen tube chromatidaberration test for *in situ* monitoring and mutagen screening, *Environmental Health Perspective*, 37, 85-90.
- Maccubbin, AE. (1994). DNA adducts analysis in fish: laboratory and field studies. In:Malins, D.C., Ostrander, G.K. (Eds.), Aquatic Toxicol, Molecular, Biochemical, and Cellular Perspectives. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, pp. 267-294.
- Mar, KM. (2019). Assessment of some heavy metals in fishes, water and effluent samples From Ayeyawady River Segment near the Fertilizer Industry. *International Journal of Biological Sciences and Technology*, 10, 1, 1-9.
- Martinez, CBR., Nagae, MY., Zaia, CTBV. & Zaia, DAM. (2004). Acute Morphological and Physiological Effects of Lead in the Neotropical Fish *Prochilodus lineatu*. *Brazilian Journal of Biology*, 64(4), 797-807.

- Matsumoto, ST., Mantovani, MS., Malagutti, MIA., Dias, AL., Fonseca, IC. & Marin-Morales, MA. (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.
- McCoy, CP., O'Hara, TM., Bennett, LW., Boyle, CR. & Lynn, B. (1995). Liver and kidney concentrations of zinc, copper, and cadmium in channel catfish (*Ictalurus punctatus*); variations due to size, season and health status. *Toxicology*, 37(1), 11-14.
- Mc Neely, RN., Neimanis, VP. & Dwyer, L. (1979). Water quality Sourcebook-A guide to water quality parameters : Inland Waters Directorate, *Water Quality Branch*, Ottawa Canada, 88.
- Mendil, D., Uluozlu, OD., Hasdemir, E., Tuzen, M., Sari, H. & Suicmez, M. (2005). Determination of trace metal levels in seven fish species in lakes in Tokat, Turkey. *Food Chemistry*, 90(1-2), 175-179.
- Mendil, D. & Uluözlu, ÖD. (2007). Determination of trace metal levels in sediment and five fish species from lakes in Tokat, Turkey. *Food Chemistry*, 101, 739-745.
- Merlini, M. (1971). Heavy metal contamination, in impingement of man on the Oceans, *London and New York*, 461-468.
- Minareci, O. & Çakır, M. (2018). Adıgüzel Baraj Gölü'nde (Denizli/Türkiye) Deterjan, Fosfat, Bor ve Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 61-67.
- Minissi, S., Ciccotti, E. & Rizzoni, M. (1996). Micronucleus test in erythrocytes of *Barbus plebejus* (Teleostei, Pisces) from two natural environments: a bioassay for the *in situ* detection of mutagens in freshwater. *Mutation Research*, 367, 245-251.
- Mirzajani, AR., Hamidian, AH. & Karami, M. (2016). Metal bioaccumulation in representative organisms from different trophic levels of the Caspian Sea. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 15(3), 1027- 1043.
- Mitchellmore, CL. & Chipman, JK. (1998). DNA strand breakage in aquatic organisms and the potential value of the comet assay in environmental monitoring. *Mutation Research*, 399(2), 135-147.
- Mitkovska, VI., Dimitrov, HA. & Chassovnikarova, TG. (2017). In vitro genotoxicity and cytotoxicity assessment of allowable concentrations of nickel and lead: comet assay and nuclear abnormalities in acridine orange stained erythrocytes of common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Acta Zoologica Bulgarica*, 8, 47-56.
- Mol, S., Özden, Ö. & Oymak, SA. (2010). Trace metal contents in fish species from Atatürk Dam Lake (Euphrates, Turkey). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10, 209-213.



- Montserrat, JM., Martinez, PE., Geracitano, LA., Lund Amado, L., Martinez Gaspar Martins, C., Lopes Leaes Pinho, G., Soares Chaves, I., Ferreira-Cravo, M., Ventura-Lima, J. & Bianchini, A. (2007). Pollution biomarkers in estuarine animals: critical review and new perspectives. *Comp. Biochem. Physiol., Part C: Toxicology and Pharmacology*, 146, 221-234.
- Monteiro, SM., Mancera, JM., Fontáinhas-Fernandes, A. & Sousa, M. (2005). Copper Induced Alterations of Biochemical Parameters in the Gill and Plasma of *Oreochromis niloticus*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 141, 375-383.
- Monteiro, V., Cavalcante, DGSM., Viléla, MBFA., Sofia, SH. & Martinez, CBR. (2011). In vivo and *in vitro* exposures for the evaluation of the genotoxic effects of lead on the Neotropical freshwater fish *Prochilodus lineatus*. *Aquatic Toxicology*, 104(3), 291-298.
- Morina, V., Aliko, V., Gavazaj, F., Maxhuni, Q., Kastrati, D. & Cakaj, F. (2013). Evaluating environmental pollution by applying oxidative stress biomarkers as bioindicators of water pollution in fish. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(5), 1519-1523.
- Murwani, S., Prasetiawati, E., Widiastuti, EL., Supriyanto, & Rivai, IF. (2019). Analysis of Heavy Metals in Coral Fish Species in Sea Natural Reserves of Krakatau Islands. *International Journal of Ecophysiology*, 1, 2, 107-116.
- Mutlu, E., Kutlu, B. & Demir, T. (2016). Assessment of Çınarlı Stream (Hafik-Sivas)'S water quality via physico-chemical methods. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 4(4), 267-278.
- Mutlu, T., Verep, B., Onay, D. & Kırılıoğlu, K. (2017). Güneydoğu Karadeniz Rize Kıyılarına Dökülen Bazı Akarsuların Fiziko-Kimyasal Su Kalitesi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 2, 3, 67-71.
- Neuparth, T., Bickham, JW., Theodorakis, CW., Costa, FO. & Costa, MH. (2006). Endosulfan induced genotoxicity detected in the gilthead sea bream, *Sparus aurata* L., by means of flow cytometry and micronuclei assays. *Environmental Contamination and Toxicology*, 76, 242-248.
- Nwani, CD., Lakra, WS., Nagpure, NS., Kumar, R., Kushwaha, B. & Srivastava, SK. (2010). Mutagenic and genotoxic effects of carbosulfan in freshwater fish *Channa punctatus* (Bloch) using micronucleus assay and alkaline single-cell gel electrophoresis. *Food and Chemical Toxicology*, 48, 202-208.
- Nzeve, JK. & Kitur, E. (2019). Bioaccumulation of Heavy Metals in Common carp (*Cyprinus carpio*) of Masinga Dam, Kenya. *Journal of Environmental Science Toxicology and Food Technology*, 13, 8, 23-28.
- Obiakor, MO., Okonkwo, JC., Ezeonyejiaku, CD. & Ezenwelu, CO. (2010). Genotoxicology: single and joint action of copper and zinc to *Synodontis clarias* and *Tilapia nilotica*. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 14(3), 59-64.

- Okuşluk, Ö. (2008). Mogan Gölü'ndeki olası kirlenmenin sazan balıklarında (*Cyprinus carpio* L.) comet testi kullanılarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Farmasötik Toksikoloji Anabilim Dalı, Ankara.
- Olsson, PE., Kling, P. & Hogstrand, C. (1998). Mechanisms of Heavy Metal Accumulation and Toxicity in Fish. In: Langston W. J., Bebianno B. J., Eds. Metal Metabolism in Aquatic Environments. London, UK. 321-337.
- Omar, WA., Zaghoul, KH., Abdel-Khaleka, AA. & 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.
- O'Neill, J.G. (1981). Effects of Intraperitoneal Lead and Cadmium on the Humoral Immune Response of *Salmo trutta*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 27, 42-48.
- Osman, AGM., Wuertz, S., Mekkawy, IA., Exner, HJ. & Kirschbaum, F. (2007). Lead induced malformations in embryos of the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Environmental Toxicology*, 22(4), 375-389.
- Öktüren Asri, F., Sönmez, S. & Çıtak, S. (2007). Kadmiyumun çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri. *Derim*, 24(1), 32-39.
- Öner, Ö. & Çelik, A. (2011). Investigation of Some Pollution Parameters in Water and Sediment Samples Collected From the Lower Gediz River Basin. *Ekoloji*, 20(78), 48-52.
- Özan, TS., Kır, İ. & Barlas, M. (2004). Balıklarda ağır metal birikimi ve etkileri. *Türkiye Tabiatını Koruma Derneği, Tabiat ve İnsan Dergisi*, 1-2, 23-33.
- Özbay, Ö., Göksu, M., Alp, MT. & Sungur, MA. (2013). Berdan Çayı (Tarsus-Mersin) Sedimentinde Ağır Metal Düzeylerinin Araştırılması. *Ekoloji*, 22(86), 68-74.
- Özdemir, N., Yılmaz, F. & Yorulmaz, B. (2007). Dalaman Çayı Üzerindeki Bereket Hidro-Elektrik Santrali Baraj Gölü Suyunun Bazı Fiziko-Kimyasal Parametrelerinin ve Balık Faunasının Araştırılması. *Ekoloji*, 16(62), 30-36.
- Özden, Y. (2008). Enne ve Porsuk Barajı Sedimentine Bağlı Ağır Metallerin *Cyprinus carpio*'nun Değişik Dokularına Biyoakümüülasyonunun Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Kütahya.
- Özdilek, HG. (2002). Distribution and Transport of Copper and Lead in the Blackstone River, Massachusetts, Worcester Polytechnic Institute. PhD Thesis, s.242, USA.
- Özkan, F., Gocer, M., Karayakar, F., Koyuncu, E., Dönmez, E. & Sağlamtimur, B. (1997). The accumulation of Cu, Zn and Cd in red bream (*Chrysophrys aurata* L., 1758), red mullet (*Mullus barbatus* L., 1758) and grey mullet (*Mugil cephalus* L., 1758) species from Mediterranean coasts, Mersin, Turkey (in Turkish). Proceedings of the 9th National Fisheries Symposium, 17-19 September, Isparta, 419-425.

- Özkurnaz, G. (2012). Çanakkale Boğazı Umurbey Kıyılarında Yetişen Bazı Çift Kabuklu Yumuşakçaların (Bivalvia) Solungaçlarındaki Ağır Metal Birikimleri Ve Genotoksisite Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Çanakkale.
- Pandey, AK., Nagpure, NS., Trivedi, SP., Kumar, R. & Kushwaha, B. (2011). Profenofos induced DNA damage in freshwater fish, *Channa punctatus* (Bloch) using alkaline single cell gel electrophoresis. *Mutation Research-Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 726, 209-214.
- Pandey, LK., Park, J., Son, DH., Kim, W., Islam, S., Choi, S., Lee, H. & Han, T. (2019). Assessment of metal contamination in water and sediments from major rivers in South Korea from 2008 to 2015, *Science of The Total Environment*, 651, 1, 323-333.
- Patimar, R., Ezzati, M. & Sarli, J. (2010). Life-history Aspects of Caspian Shemaya *Alburnus chalcoides* in Two South Caspian Rivers (Siahroud and Gorganroud). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10, 277-285.
- Pavlica, M., Podrug, M., Štambuk, A., Cvjetko, P. & Klobučar, GIV. (2008). Seasonal Variability in Micronuclei Induction in Haemocytes of Mussels Along the Eastern Adriatic Coast. *Polish Journal of Environmental Studies*, 17, 765-771.
- Popek, W., Rosciszewska, M., Biorowiec, F. & Drag-Kozak, E. (2003). Influence of zinc and copper on development and maturation of gold fish ovaries (in Polish). *Annals of Animal Science*, 17, 683-687.
- Praveen Kumar, MK., Shyama, SK., Sonaye, BS., Roshini Naik, U., Kadam, SB., Bipin, PD., D'Costa, A. & Chaubey, RC. (2014). Evaluation of  $\gamma$ -radiation-induced DNA damage in two species of bivalves and their relative sensitivity using comet assay. *Aquatic Toxicology*, 150, 1-8.
- Radjaei, A. (2006). Kuzey Marmara Denizi'ndeki Karagöz İstavrit Balığında (*Trachurus trachurus* L., 1758) Bazı Ağır Metal Birikimleri. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalı, İstanbul.
- Rainbow, P.S. (1985). The Biology of Heavy Metals in the Sea. *International Journal of Environmental Science*, 25, 195-211.
- Rainbow, PS. (1995). Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 31(4), 183-192.
- Rajaguru, P., Suba, S., Palanivel, M., & Kalaiselvi, K. (2003). Genotoxicity of a polluted river system measured using the alkaline comet assay on fish and earthworm tissues. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 41(2), 85-91.
- Ramsdorf, WA., Ferraro, MVM., Oliveira-Ribeiro, CA., Costa, JRM. & Cestari, MM., (2009). Genotoxic evaluation of different doses of inorganic lead (PbII) in *Hoplias malabaricus*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 158, 77-85.

- Rauf, A., Javed, M., Ubaidullah, M. & Abdullah, S. (2009). Assessment of heavy metals in sediments of the river Ravi, Pakistan. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11(2), 197-200.
- Rocha, PS., Luvizotto, GL., Kosmehl, T., Böttcher, M., Storch, V., Braunbeck, T. & Hollert, H. (2009). Sediment genotoxicity in the Tietê River (São Paulo, Brazil): *in vitro* comet assay versus *in situ* micronucleus assay studies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(7),1842-1848.
- Rocha, C., Cavalcanti, B., Pessoa, C., Cunha, L., Pinheiro, RH., Bahia, M., Ribeiro, H., Cestari, M. & Burbano, R. (2011). Comet assay and micronucleus test in circulating erythrocytes of *Aequidens tetramerus* exposed to methylmercury. *In vivo*, 25(6), 929-934.
- Russo, C., Rocco, L., Morescalchi, MA. & Stingo, V. (2004). Assessment of environmental stress by the micronucleus test and the Comet assay on the genome of teleost populations from two natural environments. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 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.
- Sağlamtimur, B., Cicik, B. & Erdem, C. (2003). Farklı Ortam Derişimleri Etkisinde Bakır, Bakır + Kadmiyum Karışımının *Oreochromis niloticus* (L.)'un Solungaç, Karaciğer, Böbrek ve Kas Dokularındaki Bakır Birikimi Üzerine Etkileri, *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 27, 813-820.
- Salam, MA., Paul, SC. Noor, SNBM., Siddiqua, SA., Aka, TD., Wahab, R. & Aweng, ER. (2019a). Contamination profile of heavy metals in marine fish and shellfish. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 5(2), 225-236.
- Salam, MA., Paul, SC., Shaari, FI., Rak, AE., Ahmad, RB. & Kadir, WR. (2019b). Geostatistical Distribution and Contamination Status of Heavy Metals in the Sediment of Perak River, Malaysia. *Hydrology*, 6, 30, 1-19.
- Sattari, M., Namin, JI., Bibak, M., Vajargah, MF., Faggio, C. & Haddad, MS. (2019). Trace and Macro Elements Bioaccumulation in the Muscle and Liver Tissues of *Alburnus chalcoides* from the South Caspian Sea and Potential Human Health Risk Assessment. *Journal of Energy, Environmental & Chemical Engineering*, 4(1), 13-20.
- Saxena, MP., Gopal, K., Jones, W. & Ray, PK. (1992). Immune Response to *Aeromonas hydrophila* in Catfish (*Heteropneustis fossilis*) Exposed to Cadmium and Hexchlorocyclohexane. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 48, 194-201.
- Scarpato, R., Migliore, L. & Barale, R. (1990). The micronucleus assay in *Anadontacygnea* for the detection of drinking water mutagenity. *Mutation Research*, 245, 231-237.

- Schiffmann, D. & De Boni, U. (1991). Dislocation of chromatin elements in prophase induced by diethylstilbestrol: a novel mechanism by which micronuclei can arise. *Mutation Research*, 246(1), 113-122.
- Selvi, M., Çavas, T., Benli, ACK., Memmi, BK., Cinkilic, N., Dincel, AS., Vatan, O., Yilmaz, D., Sarikaya, R., Zorlu, T. & Erkoc, F. (2010). In vivo Genotoxicity Assessment of Esbiothrin in Fish (*Cyprinus carpio* L., 1758) Using the Micronucleus Test and Comet Assay. *Drug Metabolism Reviews*, 42, 126-127.
- Seng, CE., Lim, PE., Chong, PK. & Wong, LM. (1995). Heavy metal pollution and waters of the Penang River, Malaysia. *Water Quality Research Journal of Canada*, 30(1), 39-43.
- Sepici-Dincel, A., Sahin, D., Benli, ACK., Sarikaya, R., Selvi, M., Erkoc, F. & Altan, N. (2011). Genotoxicity assessment of carp (*Cyprinus carpio* L., 1758) fingerlings by tissue DNA damage and micronucleus test, after environmental exposure to fenitrothion. *Toxicology Mechanisms and Methods*, 21(5), 388-392.
- Sergene, S., Çavaş, T., Karahan, A. & Portakal, E. (1999). Methamidophos'un *Clarias lazera* (Valeciennes, 1840) üzerindeki genotoksik etkilerinin eritrosit mikronukleus testi ile belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 19(1), 27-34.
- Shaqiri, L., Mavromati, J. & Zajkova, V. (2019). Results On Lead (Pb) Concentration In Wild Fish *Squalus cephalus* & *Barbus barbus* Tissues In Vardar River, North Macedonia. *International Journal of Food Technology and Nutrition*, 2(3-4), 42-46.
- Shrivastava, P., Saxena, A. & Swarup, A. (2003). Heavy metal pollution in a sewage-fed lake of Bhopal. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 8, 1-4.
- Simić, V. (1996). A Study on the Trgoviski Timok Assesment of River Conditions by Ecological Benthic Fauna Analysis. *The Archives of Biological Sciences*, 48(3-4), 101-109.
- Singh, N.P., Mccoy, MT., Tice, RR. & Schneider, EL. (1988). A Simple Technique for Quantitation of Low-Levels of DNA Damage in Individual Cells. *Experimental Cell Research*, 175, 184-191.
- Sinokrot, BA. & Gulliver, JS. (2000). In-Stream Flow Impact on River Water Temperatures. *Journal of Hydraulic Research*, 38, 5, 339-350.
- Siu, SYM., Lam, PKS., Martin, M., Caldwell, CW. & Richardson, BJ. (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.
- Solgi, E., Alipour, H. & Majnooni, F. (2019). Investigation of the Concentration of Metals in Two Economically Important Fish Species from the Caspian Sea and Assessment of Potential Risk to Human Health. *Ocean Science Journal*, 54(3), 503-514.

- Soylak, M., Divrikli, U., Saracoglu, S. & Elci, L. (2002). Monitoring trace metal levels in Yozgat-Turkey: Copper, iron, nickel, cobalt, lead, cadmium, manganese and chromium levels in stream sediments. *Polish Journal of Environmental Studies*, 11(1), 47-52.
- Soyubelli, H. (2018). Sultansazlığı Havzası Balık Faunası, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Nevşehir.
- Sökmen, TÖ., Güneş, M. & Kırıcı, M. (2018). Karasu Nehri'nden (Erzincan) Alınan Su, Sediment ve *Capoeta umbla* Dokularındaki Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 5(4), 578-588.
- Sönmez, AY., Hisar, O., Karataş, M., Arslan, G. & Aras, MS. (2008). Sular Bilgisi. Nobel Yayın Dağıtım A.Ş. Ankara.
- Sönmez, AY., Hisar, O. & Yanık, T. (2012). Karasu Irmağında Ağır Metal Kirliliğinin Tespiti ve Su Kalitesine Göre Sınıflandırılması. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 43(1), 69-77.
- Sönmez, AY., Kadak, AE., Özdemir, RC. & Bilen, S. (2016). Kastamonu Kıyılarından Yakalanan Bazı Ekonomik Balık Türlerinde Ağır Metal Birikiminin Tespiti. *Alınteri*, 31(B), 84-90.
- Sönmez, F. & Battal, ZS. (2017). Karakaya Baraj Gölü'ne Dökülen Han Çayı (Malatya, Türkiye)'nin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri. *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, 3(3), 143-151.
- Spitsbergen, JM. & Kent, ML. (2003). The state of the art of the zebrafish model for toxicology and toxicologic pathology research-advantages and current limitations. *Toxicologic Pathology*, 31, 62-87.
- Stagg, RM. & Shuttleworth, TJ. (1982). The accumulation of copper in *Platichthys flesus* L. and its effects on plasma electrolyte concentrations. *Journal of Fish Biology*, 20, 491-500.
- Stopper, H. & Müller, SO. (1997). Micronuclei as a biological endpoint for genotoxicity: a minireview. *Toxicology in Vitro*, 11, 661-667.
- Summak, Ş. (2009). Bursa Nilüfer Çayı suyunun genotoksik etkilerinin balık mikronukleus testi ile değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Bursa.
- Synder, CA. & Valle, CD. (1991). Immune Function Assays as Indicators of Chromate Exposure. *Environmental Health Perspectives*, 92, 83-86.
- Şanlı, Y. & Kaya, S. (1995). Veteriner Klinik Toksikolojisi, 2. Baskı Medisan Yayınevi, 95s, Ankara.
- Şekeroğlu, V. & Şekeroğlu, ZA. (2011). Genotoksik hasarın belirlenmesinde mikronukleus testi. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 68(4), 241-252.
- Şen, B. & Gölbaşı, S. (2008). Hazar Gölü'ne dökülen Kürk Çayı'nın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 25(4), 353-358.
- Tanyolaç, J. (2009). Limnoloji. Hatipoğlu yayınları, Ankara, s. 294.

- Taş, B., Candan, AY., Can, Ö. & Topkara, S. (2010). Ulugöl (Ordu)'ün bazı fiziko-kimyasal özellikleri. *Journal of Fisheries Sciences*, 4(3), 254-263.
- Taş, B. (2011). Gaga Gölü (Ordu, Türkiye) Su Kalitesinin İncelenmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi / The Black Sea Journal of Sciences*, 1, 3, 43-61.
- Taşdemir, M. & Göksu, MZL. (2001). Some Water Quality Criteria of Asi River (Hatay) (in Turkish with English abstract). *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18(1-2), 55-64.
- Tao, S., Liu, C., Dawson, R., Cao, J. & Li, B. (1999). Uptake of Particulate Lead via the Gills of Fish (*Carassius auratus*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 37, 352-357.
- Taylan, ZS. & Böke Özkoç, H. (2007). Potansiyel ağır metal kirliliğinin belirlenmesinde akuatik organizmaların biokullanılabilirliği. *Balikesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9, 2, 17-33.
- Tchounwou, PB., Abalghani, AA., Pramar, YV., Heyer, LR. & Steward, CM. (1996). Assessment of potential health risks associated with ingesting heavy metals in fish collected from a hazardous-waste contaminated wetland in Louisiana, USA. *Reviews on Environmental Health*, 11(4), 191-203.
- Teber, Ç. (2013). Sıdıklı Küçükboğaz Baraj Gölü ( Kırşehir )'nde Yaşayan Kadife Balığı (*Tinca tinca* L., 1758)' nda Ağır Metal Birikimi. Yüksek Lisans Tezi, Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Kırşehir.
- Tekin Özan, S., Kır, İ. & Barlas, M. (2004) Kovada Gölü (Isparta) Suyunda ve Sudak Balığı (*Stizostedion lucioperca* L., 1758)'nda Bazı Ağır Metal Birikiminin Araştırılması. In: Aykulu G (ed), I. Ulusal Limnoloji Çalıştayı, 16-19 Mayıs, Sapanca, 52-58.
- Tekin Özan, S. & Kır, İ. (2008) Seasonal variations of heavy metals in some organs of Carp (*Cyprinus carpio* L., 1758) from Beyşehir Lake (Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment*, 138, 201-206.
- Tezcan, R. & Tezcan, H. (2007). Metaller Kimyası. Nobel Yayınları, 1. Baskı, 288s, Ankara.
- TGK, (2002). Gıda maddelerinde belirli bulaşanların maksimum seviyelerinin belirlenmesi hakkında tebliğ, türk gıda kodeksi yönetmeliği. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Resmi Gazete (23 Eylül 2002), Sayı: 24885.
- TGK, (2011). Türk gıda kodeksi bulaşanlar yönetmeliği. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Resmi Gazete (29 Aralık 2011), Sayı: 28157.
- Tice, RR., Agurell, E., & Anderson, D. (2000). Single cell gel/comet assay: guidelines for *in vitro* and *in vivo* genetic toxicology testing. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 35(3), 206-221.
- Tokatlı, C., Emiroğlu, Ö., Arslan, N., Köse, E., Çiçek, A., Dayıoğlu, H. & Başkurt, S. (2016a). Maden Havzası Balıklarında Vücut Ağırlığı İle Ağır Metal Biyoakümülyasyon İlişkileri: Emet Çayı Havzası. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi C- Yaşam Bilimleri ve Biyoteknoloji*, 4(2), 57-72.

- Tokatlı, C., Emiroğlu, Ö., Çiçek, A., Köse, E., Başkurt, S., Aksu, S., Uğurluoğlu, A., Şahin, M. & Başatlı, Y. (2016b). Meriç Nehri Deltası (Edirne) Balıklarında Toksik Metallerin Biyolojik Birikimlerinin Araştırılması. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi C-Yaşam Bilimleri ve Biyoteknoloji*, 5(1), 1-11.
- Tokatlı, C. (2019). Water And Sediment Quality Assessment Of The Lifeblood Of Thrace Region (Turkey): Meric River Basin. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28, 5, 4131-4140.
- Tollefsen, K., Bratsberg, E., Bøyum, O., Finne, EF., Gregersen, IK., Hegseth, M., Sandberg, C. & Hylland, K. (2006). Use of fish *in vitro* hepatocyte assays to detect multi-endpoint toxicityin Slovenian river sediments. *Marine Environmental Research*, 62, 356-359.
- Toscalı, E. & Eren, MH. (2004). Mikrodalga, Uv ve Hot Plate İle Bozundurulmuş Sirke Örneklerinde Kadmiyum, Kurşun ve Bakır İçeriğinin Potansiyometrik Sıyırma Analizi İle İncelenmesi. *Ege Üniversitesi*, 1-21.
- Travis, CC. & Hester, ST. (1991). Global chemical pollution. *Environmental Science and Technology*, 25(5), 814-819.
- Tunç Dede, Ö. & Sezer, M. (2017). Aksu çayı su kalitesinin belirlenmesinde Kanada su kalitesi indeks (CWQI) modelinin uygulanması. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32, 3, 909-917.
- Turekian, KK. & Wedepohl, KH. (1961). Distribution of the elements in some major units of the Earth's Crust. *Geological Society of America Bulletin*, 72(2), 175-191.
- Türkmen, A. (2003). İskenderun Körfezi'nde Deniz Suyu, Askıdaki Katı Madde, Sediment ve Dikenli Taş İstiridyesi'nde (*Spondylus Spinosus Schreibers*, 1793) Oluşan Ağır Metal Birikimi Üzerine Araştırma. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalı, Erzurum.
- Türkmen, A. & Akbulut, S. (2015). Heavy Metal Pollution in Water and Sediment From Disembogue Points of Some Creeks along Giresun Coast. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 3(9), 707-714.
- Türkmen, M., Akyurt, İ., Zebeli, S. & Türkmen, A. (2016). Giresun Sahillerinde Denize Dökülen Aksu Deresi Balıklarında Metallerin Biyolojik Birikimi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 6(14), 45-53.
- Türkoğlu, M. (2008). Van Gölünden alınan su, sediment ve İnci Kefali (*Chalcalburnus tarichi*, Pallas, 1811) örneklerinde bazı ağır metal düzeylerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalı, Van.
- Usero, J., Izquierdo, C., Morillo, J. & Gracia, I. (2003). Heavy metals in fish (*Solea vulgaris*, *Anguilla anguilla* and *Liza aurata*) from salt marshes on the Southern Atlantic Coast of Spain, *Environmental International*, 1069, 1-8.
- Ustaoglu, F., Tepe, Y., Aydın, H. & Akbaş, A. (2017) Investigation of water quality and pollution level of lower Melet River, Ordu, Turkey. *Alınleri Zirai Bilimler Dergisi*, 32(1), 69-79.



- Ustaoğlu, F. & Tepe, Y. (2019) Water quality and sediment contamination assessment of Pazarsuyu Stream, Turkey using multivariate statistical methods and pollution indicators. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(1), 47-56.
- Ustaoğlu, F. & İslam, S. (2020). Potential toxic elements in sediment of some rivers at Giresun, Northeast Turkey: A preliminary assessment for ecotoxicological status and health risk. *Ecological Indicators*, 113, 1-15.
- Ustaoğlu, F., Tepe, Y. & Aydın, H. (2020a) Heavy metals in sediments of two nearby streams from Southeastern Black Sea coast: Contamination and ecological risk assessment. *Environmental Forensics*, 21, 2, 145-156.
- Ustaoğlu, F., Tepe, Y., Aydın, H. & Akbaş, A. (2020b). Evaluation Of Surface Water Quality By Multivariate Statistical Analyses And Wqı: Case Of Comlekçı Stream, (Giresun-Turkey). *Fresenius Environmental Bulletin*. 29, 167-177.
- Ustaoğlu, F., Tepe, Y. & Taş, B. (2020c). Assessment of stream quality and health risk in a subtropical Turkey river system: A combined approach using statistical analysis and water quality index. *Ecological Indicators*, 105815.
- Uyanık, S., Yılmaz, G., Yeşilnacar, Mİ., Aslan, M. & Demir, O. (2005). Rapid assessment of river water quality in Turkey using benthic macroinvertebrates. *Fresenius Environmental Bulletin*, 14, 268-272.
- Üçüncü Tunca, E. (2016). Beyşehir Gölü'nde su ve sedimentte ağır metal birikimi ve sedimentte antropojenik kontaminasyon değerlendirilmesi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(2), 205-219.
- Ünlü, A., Çoban, F. & Tuğ, M.S. (2008). Hazar Gölü su kalitesinin fiziksel ve inorganik kimyasal parametreler açısından incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1), 119-127.
- Van der Oost, R., Beyer, J. & Vermeulen, NPE. (2003). Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 13, 57-149.
- Varol, M. & Şen, B. (2012). Assessment of nutrient and heavy metal contamination in surface water and sediments of the upper Tigris River, Turkey. *Catena*, 92, 1-10.
- Vercauteren, K. & Blust, R. (1999). Uptake of Cadmium and Zinc by the Mussel *Mytilus edulis* and Inhibition by Calcium Channel and Metabolic Blockers. *Marine Biology*, 135, 615-626.
- Verep, B., Serdar, O., Turan, D. & Şahin, C. (2005) Determination of Water Quality in terms of Physico-Chemical Structure of the River Iyidere (Trabzon). *Ecology*, 14(57), 26-35.
- Vernay, P., Gauthier-Moussard, C. & Hitmi, A. (2007). Interaction of Bioaccumulation of Heavy Metal Chromium with Water Relation, Mineral Nutrition and Photosynthesis in Developed Leaves of *Lolium perenne* L. *Chemosphere*, 68(8), 1563-1575.
- Vural, N. (1984). *Toksikoloji*. Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları, Ankara. No: 56. 310-350.

- Walton, DG., Acton, AB. & Stich, HF. (1984). DNA repair synthesis following exposure to chemical mutagens in primary liver, stomach, and intestinal cells isolated from rainbow trout. *Cancer Research*, 44, 1120-1121.
- Weber, DN., Russo, AS., Dianne, B. & Spieler, RE. (1991). Waterborne lead affects feeding abilities and neurotransmitter levels of juvenile fathead minnows (*Pimephales promelas*). *Aquatic Toxicology*, 21, 71-80.
- WHO (World Health Organization) (1989). National research council recommended dietary 626 Allowances 10th ed. National Academy Press., Washington, DC. USA.
- Won, EJ., Raisuddin, S. & Shin, KH. (2008). Evaluation of Induction of Metallothionein-like Proteins (MTLPs) in the Polychaetes for Biomonitoring of Heavy Metal Pollution in Marine Sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 57, 544-551.
- Yabanlı, M., Çoşkun, Y., Öz, B., Yozukmaz, A., Sel, F. & Öndeş, S. (2013). Bafa Gölü'nden Elde Edilen Levreklerde (*Dicentrarchus labrax*) Ve Göl Suyunda Ağır Metal İçeriğinin Belirlenmesi Ve Balık/Halk Sağlığı Açısından Durum Değerlendirmesi. *Bornova Veteriner Bilimleri Dergisi*, 35(49), 15-23.
- Yardım, Ö. & Bat, L. (2019). Heavy Metal Concentrations in *Cyprinus carpio* From Sırakaraağaçlar Stream in Sinop. International Congress on Engineering and Life Science, 11-14 April, 639-643, Kastamonu.
- Yarsan, E., Bilgili, A. & Türel, İ. (2000). Van Gölü'nden toplanan midye (*Unio stevenianus Krynicki*) örneklerindeki ağır metal düzeyleri. *Türk Veterinerlik ve Hayvancılık Dergisi*, 24, 93-96.
- Yazıcı, Z. & Şişman, T. (2015). Karasu Nehri'ndeki su kirliliğinin *Barbus plebejus*'daki genotoksik etkileri. *Yunus Araştırma Bülteni*, 2, 9-16.
- Yılayaz, Ö. (2008a). Chlorpyrifos-ethyl (insektisit)'in *Capoeta trutta* (Heckel, 1843) üzerindeki genotoksik etkisinin eritrosit mikronükleus testi ile belirlenmesi. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 70-74.
- Yılayaz, Ö. (2008b). Chlorpyrifos-ethyl (pestisit; insektisit)'in *Barbus rajanorum mystaseus* (Heckel, 1843) üzerindeki genotoksik etkilerinin eritrosit mikronükleus testi ile belirlenmesi. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 113-117.
- Yıldırım, A. & Yıldırım, MS. (2011). Matbaa sanayiinde çalışan işçilerin bukkal mukoza hücrelerinde mikronükleus ve binükleotid sıklığının belirlenmesi. *Tıp Araştırmaları Dergisi*, 9(1), 25-28.
- Yıldız, N. & Yener, G. (2010) Dating of the Sediment Accumulation Rate, Radioactive and Heavy Metal Pollution in the Van Lake. *Ekoloji*, 19(77), 80-87.
- Yılmaz, F. (2004). Mumcular Barajı (Muğla-Bodrum)'nın Fiziko-Kimyasal Özellikleri. *Ekoloji*, 13, 13-17.
- Yılmaz, AB. & Doğan, M. (2007). Heavy metals in water and in tissues of Himri (*Carasobarbus luteus*) from Orontes (Asi) River. *Environmental Monitoring and Assessment*, 144, 437-444.

- Yırtıcı, Ü. (2007). Tartrazinin *Cyprinus carpio*'daki Genotoksik Etkisinin Mikronükleus Yöntemi ile Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Kayseri.
- YSKY (2012). Yerüstü su kalitesi yönetmeliği. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Resmi Gazete Tarihi: 10.08.2016, Resmi Gazete Sayısı: 29797, Ankara.
- Zeybek, M. & Kalyoncu, H. (2016). Kargı Çayı (Antalya, Türkiye) su kalitesinin fizikokimyasal parametrelere göre belirlenmesi. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 33, 3, 223-231.
- Zhuang, P., Zou, B., Li, NY. & Li, ZA. (2009). Heavy Metal Contamination in Soils and Food Crops Around Dabaoshan Mine in Guangdong, China: Implication for Human Health. *Environmental Geochem Health*, 31, 707-715.



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı Gülşah KURUCU  
Doğum Yeri Ordu  
Doğum Tarihi 21.03.1986  
Uyruğu  T.C.  Diğer:  
Telefon 05343322034  
E-Posta Adresi gulsahkeskinn@gmail.com



### Eğitim Bilgileri

#### Lisans

Üniversite Atatürk Üniversitesi  
Fakülte Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi  
Bölümü Biyoloji Öğretmenliği  
Mezuniyet Yılı 05.06.2010

#### Yüksek Lisans

Üniversite Ordu Üniversitesi  
Enstitü Adı Fen Bilimleri Enstitüsü  
Anabilim Dalı Biyoloji  
Programı Program Adı  
Mezuniyet Tarihi 12.07.2013

#### Doktora

Üniversite Ordu Üniversitesi  
Enstitü Adı Fen Bilimleri Enstitüsü  
Anabilim Dalı Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı  
Programı Program Adı  
Mezuniyet Tarihi Tarih girmek için tıklayın veya dokununuz.

#### Yayınlar

- Kurucu, G., Bostancı, D. & Polat, N. (2019). Aşağı Melet Irmağı (Ordu, Türkiye)'nda yaşayan Siraz balığı (*Capoeta banarescui*)'nın otolit kütle asimetrisinin belirlenmesi. *Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi*, 4(2), 151-155.
- Yedier, S., Bostancı, D., Konaş, S., Kurucu, G., Apaydin Yagci, M. & Polat, N. (2019). Comparison of Otolith Morphology of Invasive Big-Scale Sand Smelt (*Atherina boyeri*) from Natural and Artificial Lakes in Turkey. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 18(4), 635-645.
- Bostancı, D., Türker, D., Yedier, S., Konaş, S. & Kurucu G. (2018). Kuzey Ege Denizi Edremit Körfezi'nde Yaşayan Sarı Kuyruk İstavrit, *Trachurus mediterraneus* (Steindachner 1868)'un Otolit karakterlerinde Dalgalı Asimetrisinin İncelenmesi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(1), 69-78.
- Konaş, S., Bostancı, D., Yedier, S., Kurucu, G. & Polat, N. (2018). Investigation of Fluctuating Asymmetry in the Four Otolith Characters of *Merlangius merlangus* Collected from Middle Black Sea. *Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences*, 4(2), 128-138.

- Kurucu, G. & Bostancı, D. (2018). Using Scanning Electron Microscopy and Length-Otolith Size Relationship for Otolith Morphological Description of *Capoeta banarescui* Turan et al., 2006 and *Squalius cephalus* (L., 1758) (Actinopterygii: Cyprinidae) from Turkey. *Acta Zoologica Bulgarica*, 70(1), 83-88.
- Yedier, S., Bostancı, D., Kondaş, S., Kurucu, G. & Polat, N. (2018). Fluctuating Asymmetry in otolith dimensions of *Trachurus mediterraneus* collected from the Middle Black Sea. *Acta Biologica Turcica*, 31(4), 152-159.
- Yedier, S., Bostancı, D., Kondaş, S., Kurucu, G. & Polat, N. (2018). Comparison of Otolith Mass Asymmetry in Two Different *Solea solea* Populations in Mediterranean Sea. *Ordu University Journal of Science and Technology*, 8(1), 125-133.
- Bostancı, D., Yedier, S., Kondaş, S., Kurucu, G. & Polat, N. (2017). Length-Weight, Length-Length Relationships and Condition Factors of Some Fish Species in Yalıköy Stream (Ordu-Turkey). *Yunus Research Bulletin*, 4, 375-383.
- Bostancı, D., Yedier, S., Kondaş, S., Kurucu, G. & Polat, N. (2017). Regional variation of relationship between total length and otolith sizes in the three *Atherina boyeri* Risso, 1810 populations, Turkey. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 34(1), 11-16.
- Bostancı, D., Yılmaz, M., Yedier, S., Kurucu, G., Kondaş, S., Darçın, M. & Polat, N. (2016). Sagittal otolith morphology of sharpnose seabream *Diplodus puntazzo* (Walbaum, 1792) in the Aegean sea. *International Journal of Morphology*, 34(2), 484-488.
- Bostancı, D., Kurucu, G. & Polat, N. (2015). Evaluating bony structures for ageing and growth parameters of *Capoeta banarescui* inhabiting lower Melet River (Ordu-Turkey). *Journal of Applied Ichthyology*, 31, 704-708.
- Bostancı, D., Polat, N., Kurucu, G., Yedier, S., Kondaş, S. & Darçın, M. (2015). Using otolith shape and morphometry to identify four *Alburnus* species (*A. chalcoides*, *A. escherichii*, *A. mossulensis* and *A. tarichi*) in Turkish inland waters. *Journal of Applied Ichthyology*, 31(6), 1013-1022.
- Bostancı, D., Yağcı, MA., Kondaş, S., Kurucu, G. & Polat, N. (2014). İstilacı Bir Tür *Atherina boyeri* Risso, 1810'nin Eğirdir Gölü Popülasyonunda Morfometrik ve Bazı Kemiksi Yapıların Biyometrik Özellikleri. *Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 10(1), 1-11.
- Kurucu, G., Bostancı, D. & Polat, N. (2014). Aşağı Melet Irmağı (Ordu-Türkiye)'nda Yaşayan *Capoeta banarescui*'nin Meristik ve Morfometrik Özelliklerinin Belirlenmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 4(10), 1-14.