



Comparison of Some Heavy Metal Levels in the Muscle Tissue of *Capoeta trutta* Captured from Örencik Region of Keban Dam Lake (Elazığ)

Özgür Canpolat^{1,a,*}, Metin Çalta^{1,b}

¹Faculty of Fisheries, Firat University, 23119 Elazığ, Turkey

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 07/04/2021 Accepted : 30/04/2021</p> <p>Keywords: Heavy metals Muscle tissue Capoeta trutta Keban dam lake Accumulation</p>	<p>Keban Dam Lake is the second largest dam lake in Turkey. In addition, it has the feature of being one of the most important dam lakes in our country in terms of both aquaculture potential and electricity generation. In this study, fish samples belong to <i>Capoeta trutta</i> caught from Örencik region of Keban Dam Lake were used. The concentrations of some heavy metals (copper, iron, zinc, chromium, nickel, cadmium, arsenic and mercury) in muscle of <i>Capoeta trutta</i> and the potential health risk from consumption of this fish species were examined. In addition, the relationship between the heavy metal levels and some biological aspects of fish (weight, length and sex) were determined. As a result of the study, it was determined that the most and the least accumulated heavy metals in the muscle tissue of <i>Capoeta trutta</i> were zinc and cadmium respectively. The concentration of heavy metals showed differences according to weight, length and sex of fish. The results were found indicated that heavy metal levels in the muscle tissue of <i>Capoeta trutta</i> are below the tolerable values recommended by EPA, WHO and FAO. Therefore, there is not any risk for human consumption of this fish species.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9(7): 1250-1257, 2021

Keban Baraj Gölü Örencik Mevkiinden (Elazığ) Yakalanan *Capoeta trutta*'nın Kas Dokusundaki Bazı Ağır Metal Düzeylerinin Karşılaştırılması

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 07/04/2021 Kabul : 30/04/2021</p> <p>Anahtar Kelimeler: Ağır metal Kas doku Capoeta trutta Keban baraj gölü Birikim</p>	<p>Keban Baraj Gölü ülkemizin en büyük ikinci baraj gölüdür. Bunun yanı sıra gerek su ürünleri potansiyeli gerekse elektrik üretimi açısından ülkemizin en önemli baraj göllerinden biri olma özelliğine de sahiptir. Bu çalışmada, Keban Baraj Gölü Örencik mevkiinden yakalanan <i>Capoeta trutta</i> balık örnekleri kullanılmıştır. Bazı ağır metallerin (bakır, demir, çinko, krom, nikel, kadmiyum, arsenik ve civa) <i>Capoeta trutta</i>'nın kas dokusundaki konsantrasyonları ile bu balığın insanlar tarafından tüketilmesi durumunda sağlık riski oluşturup oluşturmadığı araştırılmıştır. Ayrıca, ağır metal birikimi ile balığın bazı biyolojik özellikleri (ağırlık, uzunluk, cinsiyet) arasındaki ilişki de belirlenmiştir. Çalışma sonucunda <i>Capoeta trutta</i>'nın kas dokusunda en fazla birikim gösteren ağır metalin çinko, en az birikim gösteren ağır metalin ise kadmiyum olduğu tespit edilmiştir. <i>Capoeta trutta</i>'nın kas dokusundaki ağır metal konsantrasyonlarının balığın ağırlığına, uzunluğuna ve cinsiyetine bağlı olarak değişiklik gösterdiği bulunmuştur. <i>Capoeta trutta</i>'nın kas dokusundaki ağır metal düzeylerinin EPA, WHO ve FAO tarafından önerilen değerlerin altında olduğu, dolayısıyla bu balığın insanlar tarafından tüketilmesi durumunda sağlık riski oluşturmayacağı tespit edilmiştir.</p>

ocanpolat@firat.edu.tr

<http://orcid.org/0000-0001-7498-600X> | mcalta@firat.edu.tr

<http://orcid.org/0000-0002-1652-8972>



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

Giriş

Son yıllarda endüstri alanında yaşanan hızlı gelişmeler ve hızlı nüfus artışına paralel olarak ortaya çıkan kentsel atıklar, sanayi atıkları, tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan atıklar, termik ve nükleer santrallerin atıkları sucul ekosistemlerde ciddi boyutlara varan kirliliğe neden olmaktadır. İnsan faaliyetleri sonucunda oluşan bu atıkların ortama bilerek veya bilmeyerek bırakılması ya da sızması ile organik ve inorganik bileşikler, ağır metaller, radyoaktif partiküller, deterjanlar, pestisitler, mikroorganizmalar, yağlar ve petrol ürünleri gibi maddeler sucul ekosistemlere karışarak suyun kalitesinin olumsuz yönde değişmesine neden olmaktadır. (Tchounwou ve ark., 2012; Kurnaz ve ark., 2016; Nassouhi ve ark., 2018; Kumaraswamy ve ark., 2019).

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde ağır metallerin üretiminin ve gereksiniminin sürekli artış göstermesine paralel olarak bu metallerin çevreye yayılma ve geri dönüşü zor değişimlerin meydana gelmesine neden olabilmektedir. Bunun sonucu olarak da ciddi sağlık ve çevre sorunlarının ortaya çıkma olasılığı da artmaktadır. Ağır metaller gerek maden cevheri halindeyken gerekse işlenirken çevreye karışabilmektedir (Anonim, 2008). Son yıllarda yüzey su kaynaklarının, en yaygın çevresel kirleticilerden biri olan ağır metaller ile kirlenmesi tüm dünyada giderek artmaya başlamış ve önemli bir çevre sorunu haline gelmiştir (Uncumusaoglu ve ark., 2016; Mutlu ve Kurnaz, 2017; Mutlu ve Kurnaz, 2018; Mutlu ve ark., 2018; Akkan ve ark., 2018; Mutlu ve Emin Güzel, 2019; Huang ve ark., 2020).

Sucul ekosistemlerde ağır metal kirliliği nedeniyle suyun yapısal özelliklerinde meydana gelen olumsuz değişimler sucul organizmaların yaşam döngüsü ile ekosistem dengesi ve enerji döngüsünde bozulmalara sebep olmaktadır (Mutlu ve ark., 2013; Alrumman ve ark., 2016; Mutlu ve ark., 2016; Nassouhi ve ark., 2018, Mutlu, 2019). Ayrıca, ağır metaller metabolik faaliyetler sonucu vücuttan atılamamaları, besin zinciri boyunca artan miktarda birikme özelliğine sahip olmaları nedeniyle su kirliliğinin en tehlikeli boyutlarını oluşturan maddelerden biri olma özelliğine sahiptir (Varol ve Şen, 2012; Varol, 2020; Varol ve Sünbül, 2020).

Balıklar, biyomonitör özellikleri ile sucul ekosistemlerde kirliliğin göstergesi olarak kabul edilmektedir (Evans ve ark., 1993; Farkas ve ark., 2000; Cheng, 2003; Papagiannis ve ark., 2004; Begum ve ark., 2005). Bu nedenle son yıllarda doğal su kaynaklarında çeşitli nedenlerden dolayı meydana gelen kirliliğe paralel olarak biyolojik çevrimin bir halkasını oluşturan ve insanlar için önemli bir protein kaynağı olarak tüketilen balıklarda giderek artan ağır metal kirliliğinin balık popülasyonları ve sağlığı üzerindeki etkilerinin de araştırılması gereği ortaya çıkmıştır. Bu nedenlerden dolayı sucul ekosistemlerde ağır metallerin balıklar ve diğer organizmalardaki birikimleri ve etkileri üzerine önemli çalışmalar yapılmaktadır.

Keban Baraj Gölü'nde de balıklar ve diğer sucul organizmalarda ağır metal birikimi ile ilgili önemli araştırmalar yapılmıştır (Çalta ve ark., 2000; Aksu ve ark., 2012; Aksu ve ark., 2014; Topal ve Topal, 2017; Çağlar ve ark., 2019; Canpolat, 2020).

Elazığ ve Keban Baraj Gölü'nün yer aldığı Fırat Havzası'nda ağır metal kirliliğine neden olan başlıca kaynaklar ilk yıllarda maden işlemeciliği yakın zamanda ise deri işlemeciliğidir. Fırat Havzası'nda maden işlemeciliğine başlanması yıllar öncesine dayanmaktadır. İlk işlenen metaller arasında, Keban'da kurşun ve gümüş, Maden'de ise bakır yer almaktadır. Ayrıca, krom, demirli mangan, silisyum ve kalsiyum filizleri de Fırat Havzasında önemli miktarlarda üretilen diğer hammaddeleri oluşturmaktadır (Yıldırım, 1988).

Bu çalışmada, Keban Baraj Gölü Örencik mevkiinden yakalanan ve ekonomik değere sahip olan *Capoeta trutta*'nın (1) kas dokusundaki Cu, Fe, Zn, Cr, Ni, Cd, As ve Hg elementlerinin konsantrasyonlarının tespit edilmesi, (2) ağır metal birikimi ile balığın bazı biyolojik özellikleri (ağırlık, uzunluk, cinsiyet) arasındaki ilişkinin ortaya konulması (3) bu balığın insanlar tarafından tüketilmesi durumunda sağlık riski oluşturup oluşturmayacağını belirlenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

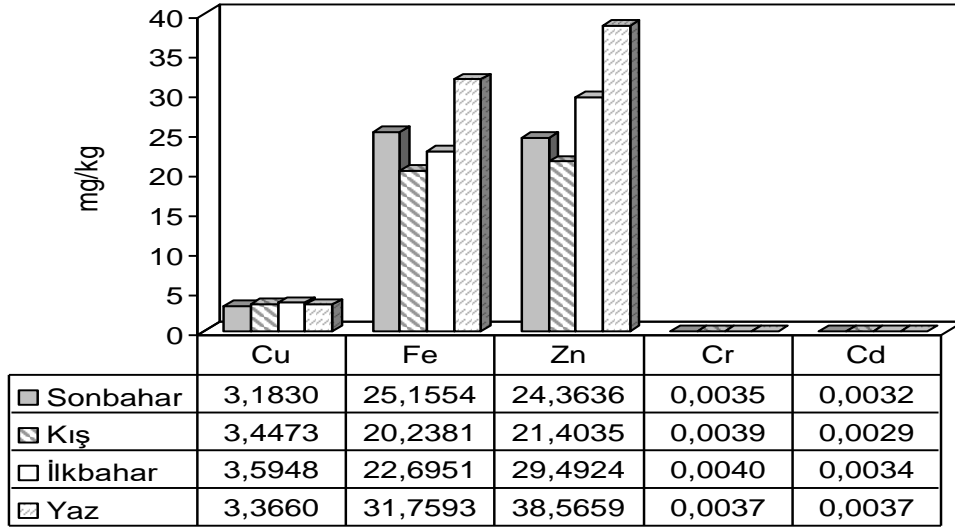
Elazığ ilinin 45 km kuzeybatısında ve Malatya ilinin 65 km kuzeydoğusunda yer alan Keban Barajı, Karasu ile Murat Nehirlerinin birleştiği yerden 10 km daha güneybatıda Keban ilçesi civarında 1975 yılında inşa edilmiştir. Yüzey alanı bakımından ülkemizin ikinci büyük baraj gölüdür. Dünyada yükseklik bakımından on sekizinci (dolgu barajların beşincisi), hacim bakımından yapay göller arasında yirmi ikinci, enerji üretim kapasitesi bakımından hidroelektrik tesisler arasında kırkinci ve dolgu hacmi bakımından otuzuncu sırada bulunmaktadır. Gölün en derin yeri baraj gövdesinin bulunduğu nokta olup, bu noktada maksimum derinlik 163 m'dir. Gölün ana akarsuyu olan Fırat Nehri, yılın çeşitli mevsimlerinde çok farklı bir akım düzeyine sahiptir (DSİ, 1994). Bu çalışma, Kasım 2005 tarihinde başlayıp, Ekim 2006 tarihinde tamamlanmıştır. Bu araştırma, 38° 38' 13 64" kuzey enlemleri ve 39° 44' 23 37" doğu boylamlarında Keban Baraj Gölü Örencik mevkiinde (Şekil 1) yürütülmüştür.

Yakalanan Balık Örneklerinde Yapılan Ağır Metal Analizleri

Araştırma süresince, Keban Baraj Gölü Örencik mevkiinden 190 adet *Capoeta trutta* örneği incelenmiştir. Balık örnekleri 28, 30, 32 ve 36 mm göze genişliğindeki galsama ağları ile yakalanmıştır. Aylık olarak alınan balık örnekleri soğuk muhafazalı olarak Fırat Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi'ne getirilerek, ağırlık ve uzunlukları belirlendikten sonra dissekte edilerek cinsiyet tespiti yapılmıştır. Dissekte edilen balıktan dorsal yüzgecin yaklaşık 2 cm alt kısmından 5 g kas örneği alınmıştır. Örnekler, ısıya dayanıklı küçük cam şişeler içerisine konularak 5 ml derişik HNO₃ ilave edilerek 24 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra örnekler, ısı tablası üzerinde çok düşük ısıda, örneklerin renkli buharları kayboluncaya kadar yavaş yavaş ısıtılarak örneklerin tamamen mineralize olması sağlanmıştır. Örneklerin renkli buharları tamamen kaybolduktan sonra 1 ml H₂SO₄ ilave edilmiştir. Çözünen örnekler 50 ml'lik balon jöjelere aktarılıp ve distile su ile 50 ml'ye tamamlanmıştır.

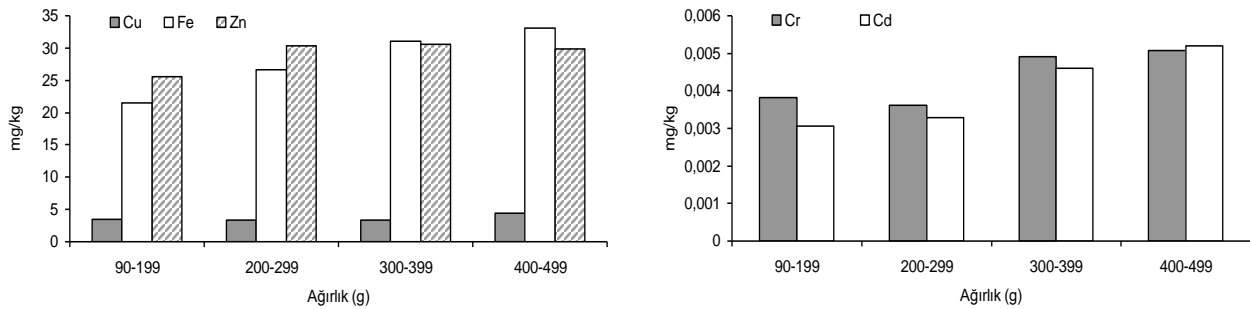


Şekil 1. Çalışmanın yürütüldüğü bölgenin coğrafik konumu
Figure 1. Geographical location of the study area



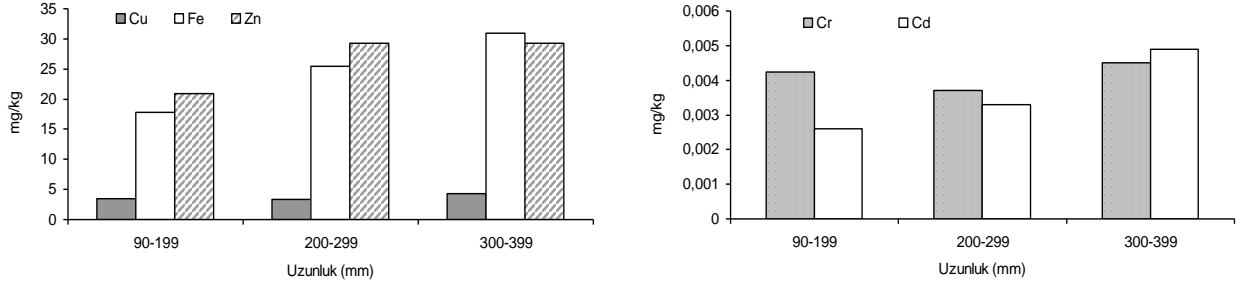
Şekil 2. Keban Baraj Gölü Örencik mevkiinden yakalanan *C. trutta*'nın kas dokusundaki ağır metal birikiminin mevsimsel değişimi (mg/kg)

Figure 2. Seasonal change of heavy metal accumulation in the muscle tissue of *C. trutta* captured from Örencik region of the Keban Dam Lake (mg/kg)



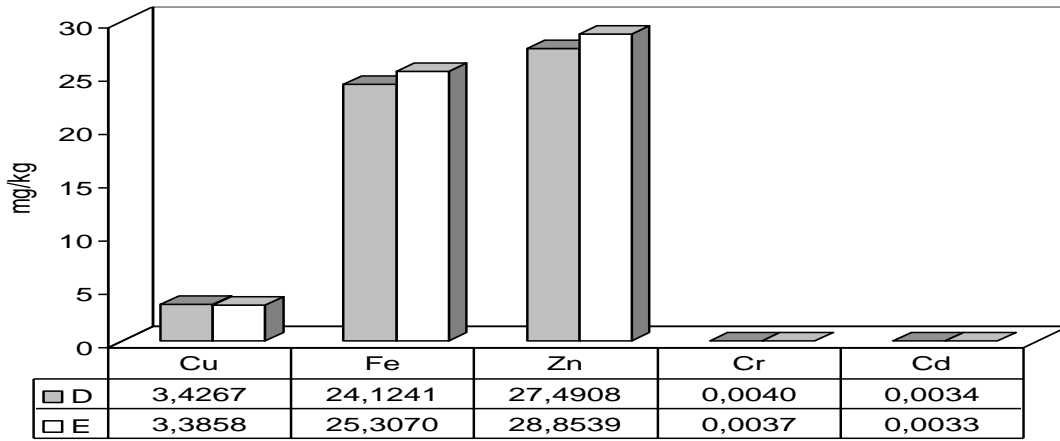
Şekil 3. Keban Baraj Gölü Örencik mevkiinden yakalanan *C.trutta*'nın kas dokusunda ağırlık gruplarına bağlı olarak ağır metal birikimi

Figure 3. Heavy metal accumulation depending on weight groups in the muscle tissue of *C.trutta* captured from Örencik region of the Keban Dam Lake



Şekil 4. Keban Baraj Gölü Örencik mevkiinden yakalanan *C.trutta*'nın kas dokusunda uzunluk gruplarına bağlı olarak ağırlık metal birikimi

Figure 4. Heavy metal accumulation depending on length groups in the muscle tissue of *C.trutta* captured from Örencik region of the Keban Dam Lake



Şekil 5. Keban Baraj Gölü Örencik mevkiinden yakalanan *C.trutta*'nın kas dokusunda cinsiyete bağlı olarak ağır metal birikimi (mg/kg)

Figure 5. Heavy metal accumulation depending on sex in the muscle tissue of *C.trutta* captured from Örencik region of the Keban Dam Lake (mg/kg)

Balon jojelerdeki örnekler, içerisine 1-2 damla HNO₃ ilave edilmiş cam tüplere bırakılarak analize hazır duruma getirilmiştir. Analize hazır duruma getirilen örneklerde; bakır (Cu), demir (Fe), çinko (Zn), krom (Cr), nikel (Ni), kadmiyum (Cd), arsenik (As) ve civa (Hg) analizleri, ICP (Perkin Elmer Optima 5300 DV) ile uygun standartları hazırlanarak gerçekleştirilmiştir (APHA, 1985).

Analizi gerçekleştirilen elementlerin *C. trutta*'nın kas dokusundaki birikim düzeylerinin ağırlık, uzunluk ve cinsiyet bağlı olarak değişiminin yanı sıra bu elementlerin aylık ve mevsimsel değişimleri de belirlenmiştir.

İstatistiksel Analiz

Elde edilen verilerin istatistiksel analizinde SPSS ver.22 (IBM Corporation) paket programı kullanılmıştır. Ağır metallerin eşeye bağlı birikimleri arasındaki farkı belirlemek için t-testi, ağırlık ve uzunluk grupları arasındaki farkı belirlemek için ise tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Araştırma süresince toplam 190 adet *C. trutta* balık örneğinde ağır metal analizi yapılmış olup, bu balıkların ağırlığı 101,5-499,7g arasında değişiklik göstermiştir. Balık örnekleri; 90-199 g (A1), 200-299 g (A2), 300-399 g (A3) ve 400-499 g (A4) olarak dört farklı ağırlık

grubuna, 90-199 mm (U1), 200-299 mm (U2), 300-399 mm (U3) olarak üç farklı uzunluk grubuna ayrılmıştır. Gruplar arası ağır metal birikim düzeyleri karşılaştırılmıştır.

C. Trutta'nın Kas Dokusunda Birikim Gösteren Ağır Metallerin Aylara Göre Değişimleri

Keban Baraj Gölü Örencik mevkiinden yakalanan *C. trutta*'nın kas dokusunda Cu konsantrasyonunun aylara göre değişimi dikkate alındığında, en düşük Cu konsantrasyonu Aralık ayında (2,34 mg/kg), en yüksek konsantrasyon ise Nisan ve Temmuz aylarında (3,62 mg/kg) belirlenmiştir (Çizelge 1). *C. trutta*'nın kas dokusunda birikim gösteren Cu elementinin aylara bağlı olarak birikiminin istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir (P>0,05).

Demir konsantrasyonunun aylara göre değişiminde, en düşük Fe konsantrasyonu Şubat ayında (16,51mg/kg), en yüksek konsantrasyon ise Temmuz ayında (33,05 mg/kg) belirlenmiştir. Fe konsantrasyonu Kasım ayından Ocak ayına kadar düzenli bir şekilde artmış ve Şubat ayında ani bir düşüş göstermiştir. Aynı şekilde Şubat ayından Temmuz ayına kadar Fe konsantrasyonunda düzenli bir artış olduğu belirlenmiştir. (Çizelge 1). *C. trutta*'nın kas dokusunda birikim gösteren Fe elementinin aylara bağlı olarak birikiminin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir (P<0,05).

Çinko konsantrasyonunun aylara göre değişimi dikkate alındığında Kasım ayında en düşük konsantrasyonda (13,40 mg/kg), Temmuz ve Ağustos aylarında ise en yüksek konsantrasyonda (39,14 mg/kg) olduğu tespit edilmiştir. Zn konsantrasyonunun, ilkbahar aylarından yaz aylarına doğru artış gösterdiği ve Ağustos ayında en yüksek değerine ulaştığı bulunmuştur. Zn konsantrasyonu Ağustos ayından sonra ise tekrar azalmaya başlamıştır (Çizelge 1). *C. trutta*'nın kas dokusunda birikim gösteren Zn elementinin aylara bağlı olarak birikiminin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($P<0,05$).

Krom konsantrasyonunun aylara göre değişimi göz önüne alındığında genel olarak birbirine yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir. Cr'un en düşük konsantrasyonu Ekim ayında (0,0033 mg/kg), en yüksek konsantrasyonu ise Nisan ayında (0,0041mg/kg) tespit edilmiştir (Çizelge 1). *C. trutta*'nın kas dokusunda birikim gösteren Cr elementinin aylara bağlı olarak birikiminin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir ($P>0,05$).

Kadmiyum değerlerinde aylar itibariyle düzensiz artış ve azalmalar kaydedilmiştir. Cd'un en düşük konsantrasyonu Kasım ayında (0,0027 mg/kg), en yüksek konsantrasyonu ise Temmuz ve Ağustos aylarında (0,0037 mg/kg) belirlenmiştir. En yüksek Cd konsantrasyonu yaz aylarında kaydedilmiştir (Çizelge 1). *C. trutta*'nın kas dokusunda birikim gösteren Cd elementinin aylara bağlı olarak birikiminin istatistiksel olarak önemsiz olduğu bulunmuştur ($P>0,05$).

Ağır metallerin yıllık ortalamaları dikkate alındığında, *C. trutta*'nın kas dokusunda en az birikim gösteren ağır metalin Cd, en fazla birikim gösteren ağır metalin ise Zn olduğu tespit edilmiştir. Ağır metallerin konsantrasyonlarına göre sıralanışının $Zn>Fe>Cu>Cr>Cd$ şeklinde olduğu belirlenmiştir.

***C. trutta*'nın Kas Dokusunda Birikim Gösteren Ağır Metallerin Mevsimsel Değişimi**

Bakır elementinin kas dokusundaki birikiminin mevsimsel değişimi dikkate alındığında, bütün mevsimlerde yaklaşık olarak aynı değerlerde olduğu bulunmuştur (Şekil 2). Fe'in en düşük konsantrasyonu kış mevsiminde (20,23 mg/kg), en yüksek değeri ise yaz mevsiminde (31,75 mg/kg), kaydedilmiştir. Zn'un mevsimsel değişimi dikkate alındığında, Zn'un en düşük konsantrasyonu, Fe elementinde olduğu gibi kış mevsiminde (21,40 mg/kg), en yüksek konsantrasyonu ise yaz mevsiminde (38,56 mg/kg) kaydedilmiştir. Cr elementinin ilkbahar mevsimine kadar arttığı ve yaz mevsiminde azaldığı belirlenmiş olup, Cr'un en düşük konsantrasyonu sonbahar mevsiminde (0,0035 mg/kg), en yüksek konsantrasyonu ise ilkbahar mevsiminde (0,0039 mg/kg) tespit edilmiştir. Cd değerleri ise kış mevsiminden yaz mevsimine kadar artmıştır. Cd'un en düşük ve en yüksek değerlerinin kaydedildiği mevsimler Fe ve Zn elementlerine benzerlik göstermiştir. En düşük Cd konsantrasyonu kış mevsiminde (0,0029 mg/kg), en yüksek konsantrasyon ise yaz mevsiminde (0,0036 mg/kg) belirlenmiştir (Şekil 2). Örencik mevkiinden yakalanan *C. trutta*'nın kas dokusunda birikim gösteren ağır metallerin mevsimlere bağlı olarak Cu, Cr ve Cd birikiminin önemsiz olduğu ($P>0,05$), Fe ve Zn birikiminin ise önemli olduğu bulunmuştur ($P<0,05$).

Çizelge 1. Keban Baraj Gölü Örencik mevkiinden yakalanan *C. trutta*'nın kas dokusunda ağır metal konsantrasyonlarının aylık değişimi (mg/kg)

Table 1. Monthly change of heavy metal concentrations in the muscle tissue of *C. trutta* captured from Örencik region of the Keban Dam Lake (mg/kg)

Yıl ve Aylar	Cu	Fe	Zn	Cr	Cd
2015 Kasım	2,47	17,41	13,40	0,0036	0,0027
Aralık	2,34	20,98	22,05	0,0039	0,003
2016 Ocak	3,47	23,21	21,52	0,0038	0,0028
Şubat	3,53	16,52	20,65	0,0040	0,0031
Mart	3,53	19,20	20,65	0,0040	0,0035
Nisan	3,63	21,39	31,01	0,0041	0,0034
Mayıs	3,63	27,50	36,82	0,0039	0,0034
Haziran	3,14	31,11	37,40	0,0040	0,0036
Temmuz	3,63	33,06	39,15	0,0036	0,0037
Ağustos	3,33	31,11	39,15	0,0036	0,0037
Eylül	3,04	29,17	31,40	0,0036	0,0035
Ekim	3,04	28,89	28,30	0,0033	0,0034

***Keban Baraj Gölü Örencik Mevkiinden Yakalanan C. trutta*'nın Kas Dokusunda Vücut Ağırlığına Bağlı Olarak Ağır Metallerin Birikim Düzeyleri**

C. trutta balık örneklerinde en düşük Cu konsantrasyonu A2 ağırlık grubunda (3,31 mg/kg), en yüksek konsantrasyon ise A4 ağırlık grubunda (4,47 mg/kg) tespit edilmiştir. Ağırlık grubu arttıkça Cu konsantrasyonu da artmıştır (Şekil 3). *C. trutta*'nın kas dokusundaki Cu elementinin ağırlık gruplarına bağlı olarak birikiminin istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($P>0,05$).

Fe elementinin ağırlık gruplarına bağlı olarak değişimi göz önüne alındığında en düşük konsantrasyon A1 ağırlık grubunda (21,46 mg/kg), en yüksek konsantrasyon ise A4 ağırlık grubunda (33,07 mg/kg) belirlenmiştir (Şekil 3). *C. trutta*'nın kas dokusundaki Fe elementinin ağırlık gruplarına bağlı olarak birikiminin istatistiksel olarak önemli olduğu bulunmuştur ($P<0,05$).

En düşük Zn konsantrasyonu, Fe elementinde olduğu gibi A1 ağırlık grubunda (25,52 mg/kg), en yüksek konsantrasyon ise A3 ağırlık grubunda (30,62 mg/kg) kaydedilmiştir. A1 ağırlık grubu hariç diğer üç ağırlık grubunda yer alan balıkların kas dokusundaki Zn konsantrasyonu birbirine yakın değerlerde olmuştur (Şekil 3). *C. trutta*'nın kas dokusundaki Zn elementinin ağırlık gruplarına bağlı olarak birikiminin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir ($P>0,05$).

Cr elementinin ağırlık gruplarına bağlı olarak değişimi dikkate alındığında, en düşük Cr konsantrasyonu A2 ağırlık grubunda (0,0036 mg/kg), en yüksek konsantrasyon ise A4 ağırlık grubunda (0,0051 mg/kg) bulunmuştur (Şekil 3). *C. trutta*'nın kas dokusundaki Cr elementinin ağırlık gruplarına bağlı olarak birikiminin istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($P>0,05$).

Cd elementinin *C. trutta*'nın kas dokusundaki birikiminin ağırlık gruplarına bağlı olarak arttığı belirlenmiş olup, en düşük Cd konsantrasyonu A1 ağırlık grubunda (0,0031 mg/kg), en yüksek konsantrasyon ise Cr elementinde olduğu gibi A4 ağırlık grubunda (0,0052 mg/kg) kaydedilmiştir (Şekil 3). *C. trutta*'nın kas dokusundaki Cd elementinin ağırlık gruplarına bağlı olarak birikiminin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ($P<0,05$).

Keban Baraj Gölü Örencik Mevkiinden Yakalanan *C. trutta*'nın Kas Dokusunda Vücut Uzunluğuna Bağlı Olarak Ağır Metallerin Birikim Düzeyleri

C. trutta'nın kas dokusunda birikim gösteren Cu elementinin en düşük konsantrasyonu U2 (3,35 mg/kg) uzunluk grubunda, en yüksek konsantrasyonu ise U3 uzunluk grubunda (4,25 mg/kg) belirlenmiştir. Cu konsantrasyonunun uzunluk gruplarına bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir (Şekil 4). Örencik bölgesinden yakalanan *C. trutta*'nın kas dokusundaki Cu elementinin uzunluk gruplarına bağlı olarak birikiminin istatistiksel olarak önemsiz olduğu bulunmuştur ($P>0,05$).

Fe elementinin en düşük konsantrasyonu U1 uzunluk grubunda (17,78 mg/kg), en yüksek konsantrasyonu ise U3 uzunluk grubunda (30,95 mg/kg) kaydedilmiştir. Uzunluk grubu arttıkça Fe konsantrasyonunun da arttığı belirlenmiştir (Şekil 4). *C. trutta*'nın kas dokusundaki Fe elementinin uzunluk gruplarına bağlı olarak birikiminin istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($P<0,05$).

Zn elementinin en düşük konsantrasyonu Fe elementinde olduğu gibi U1 uzunluk grubunda (20,93 mg/kg), en yüksek konsantrasyonu ise U2 ve U3 uzunluk grubunda (29,21 mg/kg) belirlenmiştir (Şekil 4). Örencik bölgesinden yakalanan *C. trutta*'nın kas dokusundaki Zn elementinin uzunluk gruplarına bağlı olarak birikiminin istatistiksel olarak önemsiz olduğu bulunmuştur ($P>0,05$).

Cr'un en düşük değeri, Cu elementinde olduğu gibi U2 uzunluk grubunda (0,0037 mg/kg), en yüksek değeri ise U3 uzunluk grubunda (0,0045 mg/kg) kaydedilmiştir (Şekil 4). *C. trutta*'nın kas dokusundaki Cr elementinin uzunluk gruplarına bağlı olarak birikiminin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir ($P>0,05$).

Cd'un en düşük konsantrasyonu Fe ve Zn elementlerinde olduğu gibi U1 uzunluk grubunda (0,0026 mg/kg), en yüksek değeri ise U3 uzunluk grubunda (0,0049 mg/kg) kaydedilmiştir. Cd konsantrasyonunun uzunluk gruplarına bağlı olarak artış gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4). *C. trutta*'nın kas dokusundaki Cd elementinin uzunluk gruplarına bağlı olarak birikiminin istatistiksel olarak önemli olduğu bulunmuştur ($P<0,05$).

Keban Baraj Gölü Örencik Mevkiinden Yakalanan *C. trutta*'nın Kas Dokusunda Cinsiyete Bağlı Olarak Ağır Metallerin Birikim Düzeyleri

Araştırma süresince incelenen 190 adet *C. trutta* bireyinin 88 adedini dişi, 102 adedini ise erkek bireylerin oluşturduğu belirlenmiş ve bu balıklarda cinsiyete bağlı olarak ağır metallerin birikim düzeyleri karşılaştırılmıştır.

Ağır metallerin kas dokusundaki birikimi cinsiyete göre karşılaştırıldığında Cu, Cr ve Cd'un dişi bireylerde, Fe ve Zn'un ise erkek bireylerde biraz fazla olduğu bulunmuştur (Şekil 5). *C. trutta*'nın kas dokusundaki Cu, Fe, Zn, Cr ve Cd elementlerinin cinsiyete bağlı olarak birikiminin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir ($P>0,05$).

Karadede ve Ünlü (2000) Atatürk Baraj Gölü'nde yaşayan *Acanthobrama marmid*, *Chalcalburnus mossulensis*, *Chondrostoma regium*, *Carasobarbus luteus*, *Capoetta trutta* ve *Cyprinus carpio*'da bazı ağır metallerin (Cd, Co, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb ve Zn) kas, karaciğer ve solungaç dokusundaki birikimlerini araştırmışlardır. Araştırmacılar bütün balık türlerinde Cd konsantrasyonu cihazın ölçüm duyarlılığının altında olduğu için belirlenemediğini rapor etmişlerdir. Karadede ve Ünlü

(2000) yaptıkları araştırma sonucunda *Acanthobrama marmid*'in kas dokusunda Cu=0,09-3,49; Fe=2,17-16,72; Zn= 3,06-16,35 ppm; *Chalcalburnus mossulensis*'de Cu=1,12-4,13; Fe=14,29-29,49; Zn=11,49-27,77 ppm; *Chondrostoma regium*'da Cu=1,24-3,86; Fe=5,33-18,16; Zn=2,90-10,08 ppm; *Carasobarbus luteus* Cu=0,05-2,66; Fe=1,29-21,04; Zn=2,92-18,57 ppm; *Capoetta trutta*'da Cu=0,45-4,29; Fe=0,23-7,03; Zn= 2,06-9,75 ppm ve *Cyprinus carpio*'da Cu=1,26-3,90; Fe=10,48-12,21; Zn=7,39-11,50 ppm olarak tespit etmişlerdir. Keban Baraj Gölü Örencik mevkiinden yakalanan *C. trutta*'nın kas dokusunda belirlenen ağır metal konsantrasyonları (Cu=2,34-3,63; Fe=16,52-33,06; Zn=13,40-39,15 mg/kg) ile Atatürk Baraj Gölü'nde yaşayan *C. trutta*'nın kas dokusunda belirlenen ağır metal konsantrasyonları karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır.

Mol ve ark. (2010) Atatürk Baraj Gölü'nde yaşayan *Capoetta trutta*, *Silurus triostegus*, *Acanthobrama marmid*, *Aspius vorax*, *Carasobarbus luteus*, *Chalcalburnus mossulensis* ve *Cyprinus carpio*'da Zn, Cu, As, Cd, Hg ve Pb seviyelerini tespit etmiştir. Mol ve ark. (2010) *Capoetta trutta*'da Zn=10,27±0,10; Cu=0,241±0,003 mg/kg, *Silurus triostegus*'un kas dokusunda Zn=12,38±0,21; Cu=0,101±0,003 mg/kg), *Acanthobrama marmid*'de Zn=16,94±0,30; Cu=2,785±0,030 mg/kg, *Aspius vorax*'da Zn=10,46±0,18; Cu=0,215±0,002 mg/kg, *Carasobarbus luteus*'da Zn=19,74±0,37; Cu=0,258±0,001 mg/kg, *Chalcalburnus mossulensis*'de Zn=13,72±0,30; Cu=0,465±0,020 mg/kg ve *Cyprinus carpio*'da Zn=17,45±0,39; Cu=0,385±0,006 mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Araştırmacılar farklı türlerin içerdiği ağır metal konsantrasyonlarının benzer ortamlarda yaşamlarına karşın farklılık gösterdiğini rapor etmişlerdir. Keban Baraj Gölü Örencik mevkiinden yakalanan *C. trutta*'nın kas dokusunda tespit edilen Zn ve Cu elementlerine ait ortalama değerlerin (Zn=28,46; Cu=3,23 mg/kg) Atatürk Baraj Gölü'nde yaşayan *C. trutta*'da belirlenen değerlerden yüksek olduğu ortaya çıkmıştır.

Kalyoncu ve ark. (2012) Işıklı Baraj Gölü ve Karacaören Baraj Gölü'nde yaşayan *Cyprinus carpio* (Işıklı Baraj Gölü), *Scardinius erythrophthalmus* (Işıklı Baraj Gölü), *Tinca tinca* (Işıklı Baraj Gölü), *Cyprinus carpio* (Karacaören Baraj Gölü), *Carassius carassius* (Karacaören Baraj Gölü) balık türlerinde bazı elementlerin birikim düzeylerini (Zn, Pb, Bi, Cd, Ni, Co, Fe, Mn, Mg, Cu, Cr, Ca, Sr, Na, Li, K) araştırmışlardır. Araştırma sonucunda Işıklı Baraj Gölü'nden yakalanan *C. carpio*'nun kas dokusundaki ağır metallerin konsantrasyonlarını; Zn=4,36±1,30; Fe=0,37±0,01; Cu=0,37±0,04; Cr=12,30±0,87; Cd=2,00±0,47; *Tinca tinca* Zn=13,33±2,78; Fe=3,01±1,97; Cu=1,06±1,20; Cr=12,52±0,87; Cd=2,06±0,51 µg/g; *Scardinius erythrophthalmus* Zn=2,64±0,34; Fe=2,62±1,03; Cu=0,91±0,07; Cr=32,08±3,03; Cd=2,10±0,54 µg/g olarak tespit etmişlerdir. Karacaören Baraj Gölü'nden yakalanan *C. carpio*'nun kas dokusundaki ağır metallerin konsantrasyonlarını; Zn=13,13±2,83; Fe=3,17±2,02; Cu=1,85±1,24; Cr=12,12±0,87; Cd=1,95±0,42 µg/g; *Carassius carassius* Zn=24,47±6,46; Fe=12,33±5,81; Cu=1,06±1,20; Cr=13,48±1,02; Cd=2,27±0,67 µg/g olarak belirlemişlerdir. Yapılan bu araştırma sonucunda Keban Baraj Gölü Örencik mevkiinden yakalanan *C. trutta* balık örneklerinin kas dokusunda birikim gösteren ağır

metallerin ortalama konsantrasyonları Zn=28,46; Fe=24,96; Cu=3,23; Cr=0,004 ve Cd=0,003 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Kalyoncu ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmanın bulguları bu çalışmada elde edilen sonuçları desteklemektedir.

Mansour ve Sidky (2002), Fayoum Governorate'den yakaladıkları bazı balık türlerinde (Tilapia sp., Mugil sp. ve Solea sp.) Zn, Cu, Cd, Pb ve Sn birikimini araştırmışlardır. Bu ağır metallerin birikim oranlarının mevsimlere bağlı olarak değişiklik gösterdiğini bulmuşlardır. İncelenen ağır metallerin mevsimlere bağlı olarak birikim sıralamasının yaz>sonbahar>kış>ilkbahar şeklinde olduğunu belirlemişlerdir. Farkas ve ark. (2003) dokulardaki ağır metal birikiminde, mevsimlerin, istasyonun kirlilik düzeyinin ve canlıların biyolojik aktivitesinin etkili olduğunu bildirmişlerdir. Canpolat ve Çalta (2003), ağır metallerin mevsimlere bağlı olarak doku ve organlardaki birikim düzeylerinin farklı olduğunu bulmuşlardır. Bunun yanı sıra aynı ağır metalin aynı doku ve organdaki birikim düzeyinin de mevsimlere bağlı olarak değiştiğini tespit etmişlerdir. Eroğlu ve ark. (2016) Karakaya Baraj Gölü'nde yaşayan *C. trutta*'nın kas dokusunda ve suda bazı elementlerin (Cu, Fe, Zn, Cd ve Cr) birikim düzeylerini araştırdıkları çalışmada ağır metal birikiminin balığın biyolojik özelliklerine (ağırlık, uzunluk ve cinsiyet) ve mevsimlere bağlı olarak değişim gösterdiğini rapor etmişlerdir. Bu çalışma sonucunda da Keban Baraj Gölü Örencik mevkiinden yakalanan *C. trutta*'nın kas dokusundaki ağır metal birikiminin balığın ağırlık, uzunluk ve cinsiyetine bağlı olarak değiştiği ve yukarıda verilen çalışmalar ile uyum gösterdiği tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmalarda balıkların doku ve organlarındaki ağır metal birikimi üzerinde balığın ağırlığı, uzunluğu, mevsimlerin, suyun fiziksel ve kimyasal özellikleri gibi faktörlerin önemli bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir (Jeziarska ve Witeska, 2001).

Bu çalışmada, Keban Baraj Gölü Örencik mevkiinden yakalanan *C. trutta*'nın kas dokusunda belirlenen ağır metal konsantrasyonları EPA (1989), FAO (1983) ve WHO (1989)'nun balıkların insanlar tarafından tüketilmesinde ağır metaller için önerdiği kabul edilebilir sınır değerlerin altında olduğu bulunmuştur. Dolayısıyla bu balığın insanlar tarafından tüketilmesi durumunda herhangi bir sağlık riski oluşturmayacağı belirlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. EPA (1989), FAO (1983) ve WHO (1989)'nun balıkların insanlar tarafından tüketilmesinde ağır metaller için önerdiği kabul edilebilir sınır değerler ve bu çalışmada *C. trutta*'nın kas dokusunda belirlenen ağır metal konsantrasyonları

Table 2. Acceptable limit values proposed by EPA (1989), FAO (1983) and WHO (1989) for heavy metals in fish consumption by humans and heavy metal concentrations determined in muscle tissue of *C. trutta* in this study

Ağır Metal Kriterleri	Cu	Fe	Zn	Cr	Cd
EPA, 1989 (mg kg ⁻¹)	54	410	410	4,1	1,4
FAO, 1983 (mg kg ⁻¹)	10,0	-	150	-	0,2
WHO, 1989 (mg kg ⁻¹)	3	146	10-75	0,15	0,18
Present study <i>C. trutta</i> (mg kg ⁻¹)	3,23	24,96	28,46	0,0038	0,003

Sonuç olarak aynı ortamda yaşayan balıkların kas dokusunda birikim gösteren ağır metal konsantrasyonları balığın biyolojik özelliklerine (ağırlık, uzunluk, cinsiyet) ve mevsimlere göre farklılık göstermektedir. Bunun yanı sıra ağır metal birikim düzeyinin aynı ortamda yaşayan türlere göre değişiklik gösterdiği gibi farklı ortamlarda yaşayan aynı türlere göre de farklılıklar olduğu açıkça görülmektedir. Bu araştırma sonucunda da *C. trutta* balık örneklerinin kas dokusundaki ağır metal birikiminin balığın biyolojik özelliklerine ve mevsimlere bağlı olarak değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışmayı maddi yönden destekleyen (FÜBAP 996 Nolu Proje) Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederiz. Bu çalışma Özgür Canpolat'ın doktora tezi çalışmasından türetilmiştir.

Kaynaklar

- Akkan T, Yazicioglu O, Yazici R, Yilmaz M. 2018. An examination of ecological and statistical risk assessment of toxic metals in sediments at Sıddıklı Dam Lake: A Case Study in Kırsehir, Turkey. Fresenius Environmental Bulletin, 27(12):8104-8111.
- Aksu Ö, Yabanlı M, Can E, Kutluyer F, Kehayias G, Can ŞS, Kocabaş M, Demir V. 2012. Comparison of heavy metals bioaccumulation by *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) and *Unio elongatulus eucirrus* (Bourguignat, 1860) from Keban Dam Lake, Turkey. Fresenius Environmental Bulletin, 21(7a): 1942-1947.
- Aksu Ö, Gulec AK, Demir V, Danabaş D, Yıldırım N, Mzçelik M, Can E, Kocabaş M. 2013. Bioaccumulation of Copper and Zinc in Freshwater Crayfish (*Astacus leptodactylus*) Fed with Zebra Mussels (*Dreissena polymorpha*) Collected from Keban Dam Lake, Turkey. Asian Journal of Chemistry, 25(10): 5476-5478.
- Aksu Ö, Adiguzel R, Demir V, Yıldırım N, Danabas D, Seker S, Can ŞS, Ates M. 2014. Temporal Changes in Concentrations of Some Trace Elements in Muscle Tissue of Crayfish, *Astacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823), from Keban Dam Lake. Bioinorganic Chemistry and Applications, 2014: 1-4.
- Alrumman S, El-kott A, Sherif K. 2016. Water pollution: source and treatment. American Journal of Environmental Engineering, 6:88-89.
- Anonim 2008. Toksikoloji. Trakya Üniversitesi Fen Fakültesi. Biyoloji Bölümü. Ders Notları.
- APHA 1985, Standart Methods for Examination of Water and Wastewater. 16th ed. American Public Health Association, Washington, 1268.
- Begum A, Amin MN, Kaneco S, Ohta K. 2005. Selected elemental composition of the muscle tissue of three species of fish, *Tilapia nilotica*, *Cirrhina mrigala* and *Clarius batrachus*, from the freshwater Dhanmondi Lake in Bangladesh. Food Chemistry, 93: 439-443.
- Can E, Yabanlı M, Kehayias G, Aksu Ö, Kocabaş M, Demir V, Kayım M, Kutluyer F. 2012. Determination of Bioaccumulation of Heavy Metals and Selenium in Tissues of Brown Trout *Salmo trutta trutta* (Duméril, 1858) from Munzur Stream, Tunceli, Turkey. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 89: 1186-1189.
- Canpolat Ö, Çalta M. 2003. Heavy metals in some tissue and organs of *Capoeta capoeta umbla* (Heckel, 1843) fish species in relation to body size, age, sex and seasons. Fresenius Environmental Bulletin, 12(9):961-966.
- Canpolat Ö. 2020. Assessment of potential human health risks from some heavy metals and arsenic via fish consumption. Fresenius Environmental Bulletin, 29(3),1686-1694.

- Cheng S. 2003. Heavy metal pollution in china: origin, Pattern and Control. Environmental Science and Pollution Research, 10(3):192-198.
- DSİ. 1994. Keban Baraj Gölü Limnoloji Raporu. T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü IX. Bölge Müdürlüğü Su Ürünleri Başmühendisliği, Keban- Elâzığ, 137s.
- EPA (Environmental Protection Agency). 1989. Assessing human health risks from chemically contaminated fish and shellfish: A guidance manual, EPA-503/8-89002, US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington DC.
- Eroğlu M, Düşükcan M, Canpolat Ö. 2016. Some heavy metals in the muscle of *Capoeta trutta*: risk assessment for the consumers. Cellular and Molecular Biology, 62 (6): 22-26.
- Evans DW, Dodoo DK, Hanson DI. 1993. Trace elements concentrations in fish livers implications of variations with fish size in pollution monitoring. Marine Pollution Bulletin, 26(6):329-534.
- 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, Rome, Italy.
- Farkas A, Salanki J, Specziar A. 2003. Age and size specific patterns of heavy metals in the organs of freshwater fish *Abramis brama* L., populating a low contaminated site. Water Research, 37:959-964.
- Huang Z, Liu C, Zhao X, Dong J, Zheng B. 2020. Risk assessment of heavy metals in the surface sediment at the drinking water source of the Xiangjiang River in South China. 32(23):1-9.
- Jeziarska B, Witeska M. 2001. Metal Toxicity to Fish. University of Podlasie. Monografie No: 42, University of Podlasie.
- Kalyoncu L, Kalyoncu H, Arslan G. 2012. Determination of heavy metals and metals levels in five fish species from Işıklı Dam Lake and Karacaören Dam Lake (Turkey). Environmental Monitoring and Assessment, 184:2231-2235.
- Karadede H, Ünlü E. 2000. Concentrations of some heavy metals in water, sediment an. fish species from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey, Chemosphere, 41:1371-1376.
- Kaya G, Turkoglu S. 2018. Toxic and essential metals in *Cyprinus carpio*, *Carassius gibelio*, and *Luciobarbus esocinus* tissues from Keban Dam Lake, Pertek, Turkey. Food Additives and Contaminants: Part B, 11(1):1-8.
- Kumaraswamy TR, Javeed S, Javid M, Naika K. 2019. Impact of Pollution on Quality of Freshwater Ecosystems. In: Fresh Water Pollution Dynamics and Remediation, 69-81.
- Kurnaz A, Mutlu E, Uncumusaoglu AA. 2016. Determination of Water Quality Parameters and Heavy Metal Content in Surface Water of Çiğdem Pond (Kastamonu/Turkey). Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology 4(10): 907-913
- Mansour SA, Sidky MM. 2002. Ecotoxicological studies, 3. Heavy metals contaminating water and fish from Fayoum Governorate, Egypt. Food Chemistry,78:15-22.
- Mol S, Ozden O, Oymak SA. 2010. Trace metal contents in fish species from Atatürk Dam Lake (Euphrates, Turkey). Turkish Journal of Fisheries Aquatic Sciences,10:209-213.
- Mutlu E, Demir T, Kutlu B, Yanık T. 2013. Sivas - Kurugöl Su Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi, Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi 1 (1): 37 – 43
- 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 E, Kurnaz A. 2017. Determination of seasonal variations of heavy metals and physicochemical parameters in Sakız Pond (Kastamonu-Turkey). Fresenius Environmental Bulletin, 26(4):2807-2816.
- Mutlu E, Kurnaz A. 2018. Assessment of physicochemical parameters and heavy metal pollution in Çeltik Pond water. Indian Journal of Geo-Marine Sciences, (IJMS), 47(06):1185-1192.
- Mutlu C, Eraslan Akkan B, Verep B. 2018. Water quality assessment of Harşit Stream (Giresun, Turkey) using multivariate statistical techniques, Fresenius Environmental Bulletin, 27(12B): 9851-9858.
- Mutlu E. 2019. Evaluation of spatio-temporal variations in water quality of Zerveli stream (northern Turkey) based on water quality index and multivariate statistical analyses. Environmental Monitoring and Assessment, June 2019, 191:335.
- Mutlu E, Emin Güzel A. 2019. Evaluation of Some Physicochemical Water Quality Parameters of Gümüşsuyu Pond (Sinop-Erfelek). Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 7(sp3): 72-77, 2019.
- Nassouhi D, Ergönül MB, Fikirdeşici Ş, Karacakaya P, Atasağın S. 2018. Ağır metal kirliliğinin biyoremediasyonunda bazı su içi ve yüzücü sucul makrofitlerin kullanımı. Süleyman Demirel Üniversitesi, Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 14(2):148-165.
- Papagiannis I, Kagalou I, Leonardos J, Petridis D, Kalfakakou V. 2004. Copper and zinc in four freshwater fish species from Lake Parnuotis (Greece). Environment International, 30:357-362.
- Tchounwou P, Newsome C, Williams J, Glass K. 2008. Copper-induced cytotoxicity and transcriptional activation of stress genes in human liver carcinoma cells. Metal Ions Biology and Medicine, 10:285-290.
- Topal M, Arslan Topal EI. 2017. Su Çerçeve Direktifi kapsamında Keban Baraj Gölü'nde (Elazığ) kurşun ve nikel konsantrasyonlarının belirlenmesi. Int. J. Pure Appl. Sci. 3(1): 41-53.
- Ture M, Kilic MB, Altinok I. 2021. Relationship between heavy metal accumulation in fish muscle and heavy metal resistance genes in bacteria isolated from fish. Biological Trace Element Research,199:1595-1603.
- Uncumusaoglu A, Şengül Ü, Akkan T. 2016. Environmental contamination of heavy metals in the Yaglidere Stream (Giresun), Southeastern Black Sea, Fresenius Environmental Bulletin, 25(12):5492-5498.
- 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.
- Varol M, Gökot B, Bekleyen A. 2013. Dissolved heavy metals in the Tigris River (Turkey): spatial and temporal variations. Environ Sci Pollut Res, 20:6096–6108.
- Varol M, Kurt Kaya G, Alp A. 2017. Heavy metal and arsenic concentrations in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farmed in a dam reservoir on the Fırat (Euphrates) River: Risk-based consumption advisories. Sciences of the Total Environment, 599-600:1288-1296.
- Varol M. 2020. Environmental, ecological and health risks of trace metals in sediments of a large reservoir on the Euphrates River (Turkey). Environmental Research, 187
- Varol M, Sünbül, MR. 2020. Macroelements and toxic trace elements in muscle and liver of fish species from the largest three reservoirs in Turkey and human risk assessment based on the worst-case scenarios. Environmental Research, 184
- Varol M, Kaçar E, Karadede Akın H. 2020. Accumulation of trace elements in muscle, gill and liver of fish species (*Capoeta umbla* and *Luciobarbus mystaceus*) in the Tigris River(Turkey), and health risk assessment. Environmental Research, 186:1-7.
- WHO (World Health Organization). 1989. Evaluation of certain food additives and the contaminants mercury, lead and cadmium. WHO Tech. Report Series No: 505.
- Yıldırım M. 1988. Fırat Havzası maden işletme tesislerinin doğurduğu çevre kirliliği. Fırat Üniversitesi, Fırat Havzası Birinci Çevre Sempozyumu, 13-15 Ekim 1988, Elâzığ, 517-521.