

Assessment of Lead, Cadmium, Chrome, Iron, Zinc and Copper Levels in Tissues of *Cyprinus carpio* from Atatürk Dam Lake (Adıyaman)

Özgür FIRAT*, Ümmü KILINÇ

Adıyaman University, Science and Letters Faculty, Biology Department, Adıyaman, TÜRKİYE

ORCID ID: Özgür FIRAT: <https://orcid.org/0000-0002-9683-8945>; Ümmü KILINÇ: <https://orcid.org/0000-0001-9858-5358>

Received: 26.02.2022

Accepted: 30.03.2022

Published online: 20.06.2022

Issue published: 30.06.2022

Abstract: Atatürk Dam Lake, which was established on the Euphrates River for agricultural irrigation and electricity production, is the largest dam lake in Türkiye. Many fish species, which are the primary food source for humans, live in the dam lake. Therefore, possible pollution in this dam will adversely affect not only fish but also human health. For this purpose, in this study, lead, cadmium, chromium, iron, zinc, and copper levels were measured in the liver, gill, and muscle tissues of *Cyprinus carpio*, which was the food source of the local people, caught from two different regions (Sitilce and Samsat) of the dam lake in August and September in 2021. In our study, lead was not detected in any of the tissues and cadmium was not detected in gill and muscle tissues in fish from both regions. It was found that the levels of all metals found in the fish of the Sitilce region were not statistically different from the fish of the Samsat region (except the liver iron level). Our research results showed that the heavy metal levels in the muscle tissue of *C. carpio* were below the legally permissible limits in terms of nutritional safety and human consumption. In addition, when compared with previous studies, it was determined that there was a decrease in heavy metal levels in the tissues of fish after the wastewater treatment plants were established.

Keywords: Aquatic ecosystems, fish, heavy metal, pollution.

Atatürk Baraj Gölü'nde (Adıyaman) Yakalanan *Cyprinus carpio*'nun Dokularındaki Kurşun, Kadmiyum, Krom, Demir, Çinko ve Bakır Düzeylerinin Değerlendirilmesi

Öz: Tarımsal sulama ve elektrik enerjisi üretimi için Fırat Nehri üzerine kurulan Atatürk Barajı Türkiye'deki en büyük barajdır. Baraj gölünde insanların birinci derecede besin kaynağı olan birçok balık türü yaşamaktadır. Bu nedenle bu barajdaki olası bir kirlilik sadece balıkları değil insan sağlığını da olumsuz etkileyecektir. Bu amaçla sunulan çalışmada baraj gölünün iki farklı bölgesinden (Sitilce ve Samsat) 2021 Ağustos ve Eylül aylarında yakalanan ve yöre halkının da besin kaynağını oluşturan *Cyprinus carpio*'nun solungaç, karaciğer ve kas dokusu; kurşun, kadmiyum, krom, demir, çinko ve bakır düzeyleri ölçülmüştür. Araştırmamızda her iki bölge balıklarında kurşun düzeyi tüm dokularda, kadmiyum ise solungaç ve kas dokusunda tespit edilememiştir. Sitilce bölgesi balıklarında tespit edilen tüm metallerin düzeylerinin Samsat bölgesi balıklarından istatistiksel olarak farklı olmadığı bulunmuştur (sadece karaciğer demir düzeyi hariç). Araştırma sonuçlarımız besin güvenliği ve insanların tüketimi açısından *C. carpio*'nun kas dokusundaki ağır metal düzeylerinin yasal olarak izin verilen limitlerin altında olduğunu göstermektedir. Ayrıca önceki çalışmalarla karşılaştırıldığında faaliyete geçen atık su arıtma tesislerinden sonra balıkların dokularındaki ağır metal düzeylerinde azalmalar olduğu da belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Sucul ekosistemler, balık, ağır metal, kirlilik.

1. Giriş

Günümüzde artan bir şekilde endüstriyel, kentsel ve tarımsal atıklar ile diğer kirlleticilerin sucul ortamlara girmesi, ciddi çevre kirliliğine ve önemli ekolojik problemlere neden olmaktadır. Nehir ve göl gibi tatlı su ekosistemlerindeki kirliliğin hem su kalitesini hem de içinde yaşayan sucul organizmaları olumsuz etkilediği bilinmektedir. Tatlı sular denizlere göre çok küçük hacimlere sahip oldukları için denizlerden daha fazla kirleticilere maruz kalabilmektedirler ki bu da tatlı suların deniz veya okyanuslardan daha hassas ekolojik ortamlar olmasına neden olmaktadır (Canlı, 2021). Su ekosistemine çeşitli doğal ve antropojenik kaynaklardan sürekli olarak farklı organik ve inorganik toksik maddeler salınmaktadır. Bunlar arasında ağır metaller, yalnızca toksik yapıları nedeniyle değil, aynı zamanda besin zincirinde biyobirikim potansiyeline sahip olmaları nedeniyle çevre kirliliğinde önemli bir rol oynamaktadır (Briffa et al., 2020). Sucul sistemler ağır metal kirliliğine karşı oldukça hassas olup su ortamlarında bu tür metallerin

seviyelerindeki kademeli artış günümüzde birincil endişe kaynağı haline gelmiştir (Ashraf et al., 2012).

Akuatik ekosistemlerin önemli bir ögesi olan balıklar, yüksek besin kalitesi nedeniyle insan diyetinin önemli bir bileşenini oluşturmaktadır. Bu canlılar; temel amino asitler, yağlar, makro ve eser elementler ve yağda çözünen vitaminler açısından zengin, kolayca sindirilebilir proteinin ana kaynaklarındandır. Balıklar, yine uzun zincirli çoklu doymamış omega-3 yağ asitleri açısından zengin bir besindir. Bu sucul organizmalar, tatlı su sistemlerinde eser metal kirliliği potansiyelinin tahmini için en belirleyici canlılardan biri olarak kabul edilir (Luczynska et al., 2022). Ayrıca insan tüketimine yönelik potansiyel riski tahmin etmek için de kullanılmaktadırlar. Balıkların toksik maddelere maruz kalmalarının kalite ve çeşitlilikleri ile protein gereksinimleri için onlara bağımlı olan insanların sağlığı üzerinde de bazı zararlı etkileri olmaktadır (Nyantakyi et al., 2019). Ağır metallerin izin verilen maksimum seviyelerin üzerinde birikmesi Parkinson ve Alzheimer hastalıklarına, kan bileşiminde

*Corresponding author: ofirat@adiyaman.edu.tr

değişikliklere, gelişme ve üremede bozukluklara, akciğer, karaciğer ve böbrek doku hasarları gibi önemli sağlık sorunlarına neden olduğu rapor edilmiştir (Korkmaz et al., 2017). Bu nedenle balıklarda biriken ve insan sağlığını da olumsuz etkileyen ağır metallerin izlenmesi ve kontrolü günümüzde oldukça önemli ve elzem görünmektedir (Tore et al., 2021).

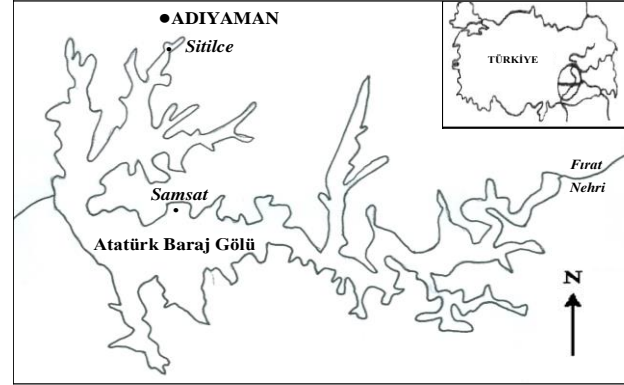
Sunulan bu çalışmada Türkiye'nin en önemli tatlı su kaynaklarından biri olan Fırat Nehri üzerinde kurulan Atatürk Baraj Gölü'ndeki geleneksel ve iyi bilinen kirleticiler olan ağır metallerin araştırma materyali olarak seçilen *Cyprinus carpio*'daki düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Atatürk Barajı Türkiye'nin en büyük barajı olup temel amacı elektrik üretimi ve tarımsal sulamadır. Ne yazık ki bu baraj gölü geniş tarımsal alanları olan ve yoğun bir nüfusa sahip Adıyaman şehrinden gelen evsel, endüstriyel ve tarımsal atıklarla kontamine olmaktadır (Fırat & Alıcı, 2012). Barajın geniş ve çok çeşitli akuatik organizmalara sahip olması ve yöre halkının birinci dereceden besin kaynaklarını oluşturan balıkları içermesi bu barajdaki kirliliğin izlenmesinin önemini artırmaktadır. Fırat Nehri üzerindeki barajlarda ağır metal ve pestisit kirliliği ve bu kirliliklerin sucul organizmaların et kalitesi, biyokimyasal ve moleküler parametrelerine toksik etkileri üzerine birçok çalışma yürütülmüştür (Fırat & Alıcı, 2012; Karadağ et al., 2014; Alkan Uçkun, 2017; Çağlar et al., 2019).

Atatürk Baraj Gölü uzun yıllar Adıyaman ve sanayi atık sularının etkisinde kalmıştır. 2016 yılına kadar Adıyaman şehir atık suları arıtılmaksızın Sıtılce bölgesinden doğrudan baraj gölüne salınmaktaydı. Yine Adıyaman Organize Sanayi Bölgesi atıkları da 2017 yılına kadar herhangi bir arıtmaya tabi tutulmadan Eğriçay aracılığıyla Sıtılce'ye oldukça yakın olan Hosirge Köyü mevkiinde baraja boşalmaktaydı. Bu nedenle bu araştırma, bahsedilen tarihlerde faaliyete geçen atık su arıtma tesislerinden sonra barajın metal kirlilik yükü ile ilgili yapılan ilk çalışma olma özelliğindedir. Bu çalışma yine söz konusu atık su arıtma tesislerinden önce bu bölgede yapılan çalışmalarla (Fırat, 2016; Fırat et al., 2018) karşılaştırma yapma olanağı sunması bakımından da önemlidir. Bu çalışmada Atatürk Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinden yakalanan *Cyprinus carpio*'nun dokularındaki kurşun, kadmiyum, krom demir, çinko ve bakır gibi metallerin düzeylerinin ölçülmesi ve balık kaslarındaki metal düzeylerinin insan tüketimi için izin verilen ulusal ve uluslararası yasal sınırlarla karşılaştırılarak insan sağlığı ve besin güvenilirliği açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada araştırma materyali olarak Türkiye'de barajları da içeren tatlı sularda oldukça yaygın olarak bulunan ve insanların önemli besin kaynaklarından biri olan *Cyprinus carpio* kullanılmıştır. Bu araştırma için gerekli Etik Kurul onayı Adıyaman Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu'ndan alınmıştır (Karar No:2, Tarih: 30/04/2020, Protokol No: 2020/014). Yine Atatürk Baraj Gölü'nde yapılacak alan çalışması için gerekli araştırma izni Tarım ve Orman Bakanlığı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır (Sayı No: E-21264211-288.04-1756431, Tarih: 20.06.2021). Balıklar baraj gölünün farklı bölgelerinden seçilmiştir. Bu amaçla barajda iki farklı bölge tercih edilmiştir. Bu bölgelerin

belirlenmesinde daha önceki çalışmalar dikkate alınmıştır (Fırat & Alıcı, 2012; Fırat, 2016; Fırat et al., 2018). Barajda örnekleme alanları olarak Sıtılce ve Samsat bölgeleri çalışmaya dâhil edilmiştir. Sıtılce bölgesi 2016 ve 2017 yıllarında yapılan atık su arıtma tesisine kadar Adıyaman şehir ve sanayi atık sularının etkisi altında uzun yıllar kalmış bir bölgedir. Samsat bölgesi ise belirgin bir insan kaynaklı kirleticilerden etkilenmeyen ve göreceli olarak temiz bir bölgedir. *C. carpio* örnekleri barajın bu çalışma bölgelerinden Ağustos-Eylül 2021'de alınmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Atatürk Baraj Gölü'nde balıkların örneklendiği Sıtılce ve Samsat çalışma bölgeleri (Fırat et al., 2018)

Figure 1. Sıtılce and Samsat study areas where fish were sampled from Atatürk Dam Lake (Fırat et al., 2018)

Barajın çalışma bölgelerinin her biri için 10 adet *Cyprinus carpio* alınmış ve araştırma toplamda 20 adet balıkla yürütülmüştür. Profesyonel balıkçı tarafından ağ atmak suretiyle yakalanan balıklar işlemler başlayana kadar kendi doğal ortamında canlı olarak bekletilmiştir. Bu balıklar gölden alındıktan hemen sonra 75 mg/L derişimindeki MS222 (3 amino benzoik asit etil ester) anestezi maddesi ile bayıltılmış ve servikal dislokasyon yapılmıştır. Bu işlem her balık için ayrı ayrı yapılmış ve bir balıkla ilgili işlemler bitmeden ikinci bir balık prosedüre alınmamıştır. Balıklar, içerisinde buz bulunan termoslara konmuş ve diseksiyon ve doku örneklerinin alınması için zaman kaybetmeksizin Adıyaman Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Zooloji Laboratuvarına getirilmiştir. Laboratuvarında balıkların boy (cm) ve ağırlıkları (g) alındıktan (Tablo 1) sonra steril aletlerle disekte edilerek solungaç, karaciğer ve kas dokuları alınmıştır.

Tablo 1. Atatürk Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinden örneklenen *Cyprinus carpio*'nun boy ve ağırlıkları

Table 1. Size and weight of *Cyprinus carpio* sampled from different regions of Atatürk Dam Lake

Bölge	Total Boy (cm)*	Ağırlık (g)*
Sıtılce	42.70±2.63	1165±173
Samsat	42.30±2.75	1184±197

*: Aritmetik ortalama±standart sapma.

Doku ve organlardaki metal analizleri Adıyaman Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında mikrodalga yakma yöntemini takiben İndüktif olarak Birleştirilmiş Plazma Optik Kütle Spektrometre (ICP MS) cihazında yapılmıştır. Bu amaçla disekte edilen dokulardan yaklaşık 250 mg alınmış üzerine 5 ml nitrik asit (HNO₃, %65) eklenmiştir. Daplar çalkalanıp kapakları

kapatılmadan önce 15-20 dakika bekletilmiştir. Sonra mikrodalga yakma cihazında (Berghof marka) yakma prosedürü (Alkan Uçkun et al., 2017) uygulanmıştır (Tablo 2). Örnekler yakma işleminden sonra son hacimleri 10 ml'ye ayarlanmıştır. Bu örneklerden de 0.5 ml alınıp ultra saf su ile 10 ml ye seyreltilip ICP MS cihazında okutulmuştur (NexION 350X, Perkin Elmer). ICP MS cihazında yapılan analizler Alkan Uçkun et al. (2017)'a göre gerçekleştirilmiştir. Standart çözeltilerin kullanılması ile cihazın kalibrasyonu sağlanmıştır. Örneklerdeki her bir metal için üç kez ölçüm yapılmış ve ortalamaları alınmıştır. Standart referans materyal olarak NBS DORM-2 (*Squalus acanthias* kas dokusu, National Research Council of Canada) kullanılmış (Fırat et al., 2018) ve böylelikle analitik prosedürlerin doğruluğu test edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 2. Doku örnekleri için mikrodalga çözünürleştirme koşulları

Table 2. Microwave solubilization conditions for tissue samples

Basamak	Sıcaklık (°C)	Basınç (bar)	Güç (%)	Zaman (dakika)
1	160	40	80	5
2	190	40	80	15
3	50	0	0	0

Tablo 3. Standart referans materyaldeki metal düzeyleri (µg/g)

Table 3. Metal levels (µg/g) in standard reference material

Metal	Referans Değerler*	Ölçülen Değerler*	Geri Kazanım (%)
Pb	0.065±0.007	0.068±0.007	105
Cd	0.043±0.008	0.044±0.008	102
Cr	34.7±5.5	35.6±5.7	103
Cu	2.34±0.16	2.29±0.19	98
Zn	26.6±2.3	27.4±2.15	103
Fe	142±10	136±12	96

*: Aritmetik ortalama±standart hata

Deneylerden elde edilen verilerin istatistik analizleri SPSS 22.0 bilgisayar paket programı kullanılarak dokular arasındaki metal düzeylerinin karşılaştırılmasında Tek Yönlü Varyans Analizini takiben "Duncan testi" ve çalışma bölgeleri arasındaki karşılaştırmalar için ise "Independent-Sample t Testi" kullanılmıştır. Sonuçlar $P < 0.05$ düzeyinde ise önemli kabul edilmiştir.

3. Bulgular

Atatürk Baraj Gölü'nün iki farklı bölgesinde yakalanan *Cyprinus carpio*'nun karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki metal düzeyleri Tablo 4'te verilmiştir. Hem Sitalce hem de Samsat bölgesi balıklarının incelenen tüm dokularında Pb düzeyleri tespit edilememiştir. Baraj gölünün her iki bölgesindeki balıkların karaciğer dokusunda Cd birikimi belirlenmişken solungaç ve kas dokularında metalin düzeyleri tespit edilememiştir. Karaciğerde Cd Sitalce bölgesindeki balıklarda 0.085 µg/g, Samsat bölgesindekilerde ise 0.078 µg/g olarak bulunmuş olup metal düzeyi yönünden bölgeler arasında anlamlı bir istatistiksel ayırım saptanmamıştır ($P > 0.05$). Hem Sitalce hem de Samsat bölgelerinde Cr en fazla solungaç, sonra karaciğer ve kas dokularında birikim göstermiştir. Solungaç dokusundaki metal düzeyinin diğer iki dokuya göre istatistiksel olarak önemli ($P < 0.05$) ve yaklaşık olarak

da iki kat daha fazla olduğu saptanmıştır. Çalışılan bölgeler karşılaştırıldığında da incelenen her üç dokudaki Cr birikiminin Sitalce ve Samsat bölgeleri arasında anlamlı bir istatistiksel ayırım göstermediği belirlenmiştir ($P > 0.05$). Hem Sitalce hem de Samsat bölgelerinde Cu en fazla karaciğerde, sonra solungaç ve kas dokularında birikim göstermiştir. Karaciğer dokusundaki metal düzeyinin diğer iki dokuya oranla yaklaşık olarak 6-8 kat daha fazla olduğu saptanmıştır. Solungaç ve kas dokularındaki Cu birikimi istatistiksel olarak anlamlı bir ayırım göstermemiştir ($P > 0.05$). Çalışılan bölgeler karşılaştırıldığında da incelenen tüm dokulardaki Cu birikiminin Sitalce ve Samsat bölgeleri arasında önemli bir istatistiksel ayırım göstermediği belirlenmiştir ($P > 0.05$). Hem Sitalce hem de Samsat bölgelerindeki balıklarda Zn'nin dokulardaki birikimi solungaç > karaciğer > kas şeklinde olmuştur. Dokulardaki metal düzeyinin kas dokusuyla karşılaştırıldığında Sitalce ve Samsat bölgelerinde yaklaşık olarak solungaç dokusunda sırasıyla 14 ve 24 ve karaciğer dokusunda ise sırasıyla 10 ve 15 kat daha fazla olduğu saptanmıştır. Zn birikimi hem Sitalce hem de Samsat bölgelerindeki balıklarda dokular arasında istatistiksel olarak önemli bir ayırım göstermiştir ($P < 0.05$). Çalışılan bölgeler karşılaştırıldığında ise incelenen tüm dokulardaki Zn birikiminin her iki bölge arasında anlamlı bir istatistiksel ayırım göstermediği belirlenmiştir ($P > 0.05$). Fe, baraj gölünün her iki bölgesinde de solungaç ve karaciğerde, kas dokusuna göre daha fazla birikim göstermiştir ($P < 0.05$). Kas dokusuyla karşılaştırıldığında solungaç ve karaciğer dokularındaki metal düzeyinin yaklaşık olarak 5-7 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Çalışılan bölgeler karşılaştırıldığında da incelenen dokulardaki Fe birikiminin sadece karaciğerde Sitalce ve Samsat bölgeleri arasında önemli bir istatistiksel ayırım gösterdiği ve Sitalce bölgesi balıklarında daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($P < 0.05$). Sitalce bölgesi balıklarının karaciğer dokusu demir düzeylerinin Samsat bölgesindekilere oranla yaklaşık 1.4 kat daha yüksek olduğu hesaplanmıştır.

4. Tartışma ve Sonuç

Kentleşme ve sanayileşme gibi insan faaliyetlerinin bir sonucu olarak, son yıllarda su ekosistemlerinde ağır metallerin birikmesinde bir artış meydana gelmekte ve bu durum da ciddi ekolojik hasarlara neden olabilmektedir (Dinç & Dörtbudak, 2020). Ağır metaller, sucul organizmalarda ve onlarla beslenen canlılardaki toksisiteleri, uzun süre kalcılıkları, biyolojik birikimleri nedeniyle ciddi bir tehdit oluşturmaktadırlar. Balıklar, sucul ortamların metal seviyelerini belirlemek için uzun süredir biyoindikatör türler olarak kullanılmaktadır (Köse et al., 2020). Barajlar ve rezervuarlar esas olarak tarımsal sulama, enerji üretimi, taşkın kontrolü ve su temini için inşa edilmektedir. Ne yazık ki bu alanlar da günümüzde hem ağır metal hem de pestisit kirliliğinden etkilenmektedir. Atatürk Baraj Gölü çok büyük bir su potansiyeline sahiptir. Son yıllarda yapılan bir çalışmada bu barajda 8 familyaya ait 25 tür tespit edilmiştir (Bayhan, 2021). Bu balıkların birçoğu yöre halkının besin kaynağını oluşturduğu gibi bazı türleri ise sadece Fırat Nehri'ne özgü olan endemik türlerdir. Bu nedenle barajın kirlilik durumunun belirlenmesi ve belirli aralıklarla takip edilmesi hem balıkların hem de insanların sağlığı açısından önemlidir.

Tablo 4. Atatürk Baraj Gölü'nde yakalanan *Cyprinus carpio*'nun dokularındaki metal düzeyleri ($\mu\text{g/g}$ yaş ağırlık)Table 4. Metal levels ($\mu\text{g/g}$ wet weight) in tissues of *Cyprinus carpio* caught in Atatürk Dam Lake

Dokular	Sitilce	Samsat
Pb		
Solungaç	TE	TE
Karaciğer	TE	TE
Kas	TE	TE
Cd		
Solungaç	TE	TE
Karaciğer	0.085±0.033 ^x	0.078±0.030 ^x
Kas	TE	TE
Cr		
Solungaç	0.176±0.059 ^{ax}	0.159±0.049 ^{ax}
Karaciğer	0.097±0.023 ^{bx}	0.080±0.009 ^{bx}
Kas	0.078±0.006 ^{bx}	0.068±0.007 ^{bx}
Cu		
Solungaç	0.691±0.091 ^{ax}	0.784±0.073 ^{ax}
Karaciğer	4.469±0.707 ^{bx}	4.977±0.838 ^{bx}
Kas	0.532±0.008 ^{ax}	0.664±0.007 ^{ax}
Zn		
Solungaç	228±7.43 ^{ax}	235±6.17 ^{ax}
Karaciğer	150±9.57 ^{bx}	152±5.49 ^{bx}
Kas	13.2±2.7 ^{cx}	9.42±0.89 ^{cx}
Fe		
Solungaç	96.59±10.1 ^{ax}	81.54±8.23 ^{ax}
Karaciğer	110.90±11.02 ^{ax}	77.47±6.82 ^{ay}
Kas	16.70±2.40 ^{bx}	13.04±1.91 ^{bx}

Veriler aritmetik ortalama \pm standart hata şeklinde verilmiştir. "a, b ve c" harfleri dokular, "x ve y" harfleri ise istasyonlar arasındaki ayrımı göstermek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harfler $P < 0.05$ düzeyindeki istatistiksel ayrımı ifade etmektedir. TE: Tespit Edilememiştir.

Sunulan çalışmada Atatürk Baraj Gölü'nün Sitilce ve Samsat bölgelerinden örneklenen *Cyprinus Carpio*'nun solungaç, karaciğer ve kas dokularında Cu, Zn, Fe ve Cr'nin biriktiği tespit edilmiştir. Çalışmamızla benzer şekilde Mert et al. (2014) Damsa Baraj Gölü'nde (Nevşehir) *C. carpio*'nun dokularında Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Se, Ga ve Te düzeylerini araştırdıkları çalışmalarında Fe, Cu ve Zn düzeylerini diğer metallerle göre daha yüksek bulmuşlardır. Araştırmamızda balık dokularında tespit edilen metallerin düzeyleri, kas dokusuyla karşılaştırıldığında solungaç ve karaciğer dokularında genel olarak daha yüksek bulunmuştur. Her iki bölge balıklarında da Pb incelenen dokularda tespit edilememiş, Cd ise sadece karaciğerde tespit edilmiştir. Fırat (2016), Atatürk Baraj Gölü'nün Sitilce ve Samsat bölgelerinde örneklenen *C. carpio*, *Capoeta trutta*, and *Liza abu* türü balıkların solungaç, karaciğer ve kas dokularında Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Pb, Cr, Co ve Ni düzeylerini araştırdığı çalışmasında metallerin çalışmamızla paralel olarak kasa oranla solungaç ve karaciğer dokularında daha çok biriktiğini rapor etmiştir. Araştırmacı ayrıca *C. carpio* örneklerinde Cd'nin her iki çalışma bölgesi, Pb'nin ise

Samsat bölgesi balıkların solungaç ve karaciğer dokularında tespit edilemediğini belirtmiştir. Balıkların metabolik olarak daha aktif olan dokularında metallerin daha fazla birikim yaptığı bilinmektedir. Balıkların solungaç, karaciğer ve böbrek gibi dokuları metabolik yönden oldukça aktif dokulardır (Fırat et al., 2018). Bu nedenle sunulan çalışmada da metallerin daha yüksek düzeylerde bu dokularda birikmiş olması şaşırtıcı değildir. Yine Alhas et al., (2009) Atatürk Baraj Gölü'nde; Gümüş & Akkız (2021) ise Eber Gölü'nde yaptıkları çalışmalarda metallerin balıkların kas dokusuna oranla solungaç ve karaciğer dokularında daha fazla biriktiğini belirtmişlerdir.

Çalışmamızda barajın Sitilce bölgesi balıklarında tespit edilen tüm metallerin düzeylerinin Samsat bölgesi balıklarından istatistiksel olarak farklı olmadığı bulunmuştur (sadece karaciğer demir düzeyi hariç). Daha önce bu bölgelerde yapılan araştırmalarda ise bunun tam tersi sonuçlar bulunmuştur. Bu araştırmalarda Atatürk Baraj Gölü'ndeki çalışma bölgelerinin kirlilikten etkilendiği gözlenmiştir. Örneğin 2009 yılının Ağustos ayında barajın Sitilce ve Samsat bölgelerinde yakalanan *Cyprinus carpio*'yu da içeren üç balık türünün dokularında tespit edilen ağır metallerin düzeylerinin göreceli olarak temiz bölge olan Samsat bölgesi ile karşılaştırıldığında Sitilce bölgesi balıklarında istatistiksel olarak daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Fırat, 2016). Yine 2013 yılının Ağustos ayında barajın aynı çalışma bölgelerinden alınan 4 farklı balık türüne ait dokularda tespit edilen Cu, Zn, Fe, Pb, Cd ve Cr düzeylerinin Sitilce bölgesi örneklerinde Samsat bölgesi örneklerine göre anlamlı olarak daha yüksek olduğu rapor edilmiştir (Fırat et al., 2018). Bu iki çalışmada da araştırmacılar Sitilce bölgesinin Adıyaman'dan gelen ve herhangi bir arıtmaya tabi olmayan şehir ve sanayi atık sularından etkilendiğini ve bunun bir sonucu olarak bu bölgeden örneklenen balıklarda daha yüksek metal içeriklerinin tespit edildiğini vurgulamışlardır. Bizim çalışmamızda ise Sitilce ve Samsat bölgesi balıklarının ağır metal düzeyi yönünden farklı bulunmaması 2016 ve 2017 yıllarında faaliyete geçen Adıyaman şehir ve sanayi atık su arıtma tesislerine bağlı olarak barajın Sitilce bölgesindeki azalan kirletici yükünün bir sonucu olabilir.

Araştırmamızda balıkların dokularındaki en yüksek metal düzeyleri Cd için 0.085; Cr için 0.176; Cu için 4.977; Zn için 235 ve Fe için 110.9 $\mu\text{g/g}$ olarak bulunmuştur. Bu değerler aynı bölgede yapılan Fırat (2016) ve Fırat et al. (2018) çalışmalarında sırasıyla Cd için 0.34 ve 0.46; Cr için 0.42 ve 0.41; Cu için 39.48 ve 14.12; Zn için 144.3 ve 241.8; Fe için 550.4 ve 498.4 $\mu\text{g/g}$ olarak bulunmuştur. Bu çalışmalarla karşılaştırıldığında araştırma sonuçlarımız balıklardaki metal düzeylerinde genel olarak önemli düşüşlerin olduğunu ve atık su arıtma tesislerinden sonra barajdaki balıkların dokularındaki metal düzeylerinin azalış eğiliminde olduğunu göstermektedir.

Türkiye'de kişi başına düşen ortalama balık tüketimi yıllık 6.31 kg (TÜİK, 2013) iken Adıyaman'da bu miktarın 3.01 kg olduğu ve bu tüketilen balıkların önemli bir kısmının da Atatürk Baraj'ından sağlandığı rapor edilmiştir (Olgunoğlu et al., 2014). İnsan sağlığı ve besin güvenliği açısından balıkların kas dokusundaki metallerin düzeylerini ölçmek ve belirli aralıklarla takip etmek önem arz etmektedir. Uluslararası kuruluşlarca

balık kas dokusunda metaller için izin verilen en yüksek düzeyler; Cr için 0.5 µg/g (USEPA, 2000), Cu ve Zn için 30 µg/g (FAO, 1983) ve Fe için 100 µg/g (WHO, 1999) olarak belirtilmiştir (Tablo 5). Sunulan çalışmada balıkların kas dokusundaki en yüksek metal düzeyleri Cr için 0.078; Cu için 0.664; Zn için 13.20 ve Fe için 16.70 µg/g olarak saptanmıştır (Tablo 5). Bu sonuçlar balıkların kas dokusundaki tespit edilen metal düzeylerinin yukarıda bahsedilen kuruluşlarca ve Türk Gıda Koteksine göre izin verilen maksimum metal düzeylerinin altında olduğunu göstermektedir. Eroğlu et al. (2017), çalışma sonuçlarımıza benzer olarak Karakaya Baraj Gölü'ndeki ağır metal kirlilik durumunu *Mastecembelus mastecembelus* kas dokuları ile su örneklerindeki ağır metal düzeylerini ölçerek değerlendirdikleri çalışmalarında balıkların kas dokularında Cu, Cr, Cd, Fe ve Zn birikimi gözlenmiş olmasına rağmen biriken değerlerin Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA), Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve Türk Gıda Koteksi (TFC) tarafından izin verilen maksimum değerlerinin altında olduğunu rapor etmişlerdir. Araştırmacılar balık örneklerindeki metal değerlerinin insan sağlığı açısından risk oluşturmadığını ancak sürekli olarak izlenmesi ve analiz edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca Alas et al. (2014) da Beyşehir Gölü'nde (Konya) yakalanan dört tatlı su balıklarındaki iz element düzeylerinin besin tüketimi açısından güvenilir olduğunu belirtmişlerdir. Kaya & Turkoğlu (2018) ise 2016 yılının Ocak- Şubat aylarında Keban Baraj Gölü'nün Pertek Bölgesinde yakalanan *Cyprinus carpio*, *C. gibelio* ve *Luciobarbus esocinus* balıklarının dokularındaki Hg, Ni, Pb, Cd, As, Mn, Cr ve Co düzeylerini ulusal ve uluslararası maksimum limitler ile karşılaştırarak insanların besin olarak tüketimi açısından risk oluşturup oluşturmadığını araştırmışlardır. Araştırmacılar balıkların kas dokusu Cr düzeylerinin FAO ve WHO ile Pb düzeylerinin ise TFC'ye göre yüksek olduğunu ve balık tüketiminin yöre halkı için risk oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Tablo 5. *Cyprinus carpio*'nun kas dokusundaki ve ulusal ve uluslararası kuruluşlarca balıklar için izin verilen maksimum metal düzeyleri (µg/g)

Table 5. Maximum metal levels (µg/g) in muscle tissue of *Cyprinus carpio* and allowed for fish by national and international organizations

	Cr	Cu	Zn	Fe
<i>C. carpio</i>	0.078	0.664	13.20	16.70
FAO (1983)		30	30	
WHO (1999)		30	100	100
TFC (2011)		20	50	50
USEPA (2000)	0.50			

Sonuç olarak, çalışmamız şehir ve sanayi atık su arıtma tesislerinin faaliyete geçmesinden sonra, yoğun bir nüfus ve çeşitli endüstriyel kuruluşlarına sahip olan Adıyaman şehrinin Atatürk Baraj Gölü'nde meydana getirdiği ağır metal kirliliğinde önemli azalışların olduğunu ve daha önceki çalışmalarda da ispatlandığı üzere bu kirlilikten en fazla etkilenen baraj bölgesi olan Sitalce'deki balıkların dokularındaki ağır metal düzeylerinin göreceli olarak temiz bölge olan Samsat'a genel olarak yaklaşma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Araştırma sonuçlarımız ayrıca besin

güvenirliği ve insanların tüketimi açısından *Cyprinus carpio*'nun kas dokusundaki ağır metal düzeylerinin yasal olarak izin verilen limitlerin altında olduğunu da göstermektedir. Buna ilaveten diğer balık türleri ve barajın farklı bölgelerinden yapılacak çalışmalar ile Türkiye'nin önemli bir su ve besin kaynağı olan bu barajın kirlilik yükünün belirli aralıklarla izlenmesinin hem bu su kütlesinin geleceği hem de sucul canlılar ve yöre halkının sağlığı açısından önemli olacağı öngörülmektedir.

Teşekkür: Sunulan çalışma Adıyaman Üniversitesi (ADYÜ) Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalında yürütülen Yüksek Lisans Tez çalışmasından üretilmiştir. Bu araştırma FEFYL/2020-0005 nolu ADYÜ Bilimsel Araştırma Projesi ile yürütülmüş olup ADYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Biriminin değerli yöneticilerine ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

Etik kurul onayı: Bu çalışma, hayvan deneylerinin etik standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Çalışma için yasal araştırma etik kurul onay izinleri Adıyaman Üniversitesi Deney Hayvanları Etik Kurulu'ndan alınmıştır (Karar No:2, Tarih: 30/04/2020, Protokol No: 2020/014).

Çıkar çatışması: Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

Yazar katkısı: Fikir/Kavram - ÖF; Tasarım - Ü.K.; Denetleme/Danışmanlık - Ö.F.; Kaynaklar/Fon Sağlama - Ö.F.; Materyaller - Ü.K.; - Veri Toplama veya İşleme - Ü.K.; Analiz Yorumlama - Ö.F., Ü.K.; Kaynak Taraması - Ü.K.; Makalenin Yazımı - Ö.F., Ü.K.; Eleştirel İnceleme - Ö.F., Ü.K.

Kaynaklar

- Alaş, A., Özcan, M.M. & Harmankaya, M. (2014). Mineral contents of the head, caudal, central fleshy part, and spinal columns of some fishes. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186, 889-894. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3429-3>
- Alhas, E., Oymak, S.A., & Karadede-Akin, 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. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-0134-0>
- Alkan Uçkun, A. (2017). Ecotoxicological evaluation of pesticide pollution in Atatürk Dam Lake (Euphrates River), Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 17, 313-321. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v17_2_10
- Alkan Uçkun, A., Yoloğlu, E., & Uçkun, M. (2017). Seasonal Monitoring of Metals in Water, Sediment and Mussel (*Unio mancus*) from Atatürk Dam Lake (Euphrates River). *Van Veterinary Journal*, 28(2), 75-83.
- Ashraf, M.A., Maah, M.J., & Yusoff, I. (2012). Bioaccumulation of heavy metals in fish species collected from former tin mining catchment. *International Journal of Environmental Research*, 6(1), 209-218. <https://doi.org/10.22059/IJER.2011.487>
- Bayhan, Y.K. (2021). The fish fauna of the Atatürk Dam Lake (Adıyaman/Turkey). *Natural and Engineering Sciences*, 6, 237-255 <https://doi.org/10.28978/nesciences.1036854>
- Briffa, J., Sinagra, E., & Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, 6(9), e04691. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>
- Cağlar, M., Canpolat, O., & Selamoğlu, Z. (2019). Determination of some heavy metal levels in three freshwater fish in Keban Dam Lake (Turkey) for public consumption. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 18, 188-198. <https://doi.org/10.22092/ijfs.2018.117890>
- Canlı, E.G. (2021). Alterations on the activities of ion ATPases in the gill and muscle of freshwater mussel (*Unio tigris*) exposed to copper. *Commagene Journal of Biology*, 5(2), 150-155. <https://doi.org/10.31594/commagene.1020323>
- Diñç, H., & Dörtbudak, M.Y. (2020). Investigation of toxic effects of heavy metal level in Atatürk Dam. *Experimental and Applied Medical Science*, 1, 23-28. <https://doi.org/10.46871/eams.2020.3>
- Eroğlu, M., Düşükcan, M., Canpolat, Ö., Çalta, M., & Şen, D. (2017). Determination of some heavy metals in *Mastecembelus mastecembelus*

- (Banks & Solander, 1794) in terms of public health. *Cellular and Molecular Biology*, 63, 1-6. <https://doi.org/10.14715/cmb/2017.63.5.1>
- FAO (1983). Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. *FAO Fisheries Circular*, 464, 5-100.
- Firat, Ö. (2016). Evaluation of metal concentrations in fish species from Atatürk Dam Lake (Adıyaman, Turkey) in relation to human health. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25, 3629-3634.
- Firat O., & Alici, M.F. (2012). Assessment of pollution in Ataturk Dam Lake (Adıyaman, Turkey) using several biochemical parameters in common carp, *Cyprinus carpio*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 89, 474-478. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0728-2>
- Firat, Ö., Firat, Ö., Coğun, H.Y., Aytekin, T., Firidin, G., Temiz, Ö., Sağ, H., & Kargın, F. (2018). Atatürk Baraj Gölü'nün kirli ve temiz bölgelerinden yakalanan balıkların (*Silurus triostegus* Heckel, 1843, *Chalcalburnus tarichi* Pallas, 1811, *Chondrostoma regium* Heckel, 1843, *Carassius carassius* Linnaeus, 1758) dokularındaki ağır metal düzeylerinin karşılaştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 14(3), 173-183.
- Gümüş, N.E., & Akköz, C. (2021). Bioaccumulation of heavy metals in the water, sediment and the tissues of *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) from Eber Lake. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(4), 507-514. <https://doi.org/10.12714/egejfas.38.4.12>
- Karadag, H., Firat, Ö., & Firat, Ö. (2014). Use of oxidative stress biomarkers in *Cyprinus carpio* L. for the evaluation of water pollution in Ataturk Dam Lake (Adıyaman, Turkey). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 92, 289-293. <https://doi.org/10.1007/s00128-013-1187-0>
- 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 & Contaminants*, 11, 1-8. <https://doi.org/10.1080/19393210.2017.1350208>
- Korkmaz, C., Ay, O., Çolakfakioglu, C., Cıcık, B., & Erdem, C. (2017). Heavy metal levels in muscle tissues of *Solea solea*, *Mullus barbatus* and *Sardina pilchardus* marketed for consumption in Mersin, Turkey. *Water, Air, and Soil Pollution*, 228, 315. <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3503-5>
- Köse, E., Emiroglu, O., Çiçek, A., Aksu, S., Baskurt, S., Tokatli, C., Sahin, M. & Ugurluoğlu, A. (2020). Assessment of ecologic quality in terms of heavy metal concentrations in sediment and fish on Sakarya River and dam lakes, Turkey. *Soil And Sediment Contamination*, 29, 292-303. <https://doi.org/10.1080/15320383.2019.1705755>
- Luczynska, J., Pietrzak-Fiecko, R., Purkiewicz, A., & Luczynski, M.J. (2022). Assessment of fish quality based on the content of heavy metals. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 2307. <https://doi.org/10.3390/ijerph19042307>
- Mert, R., Alas, A., Bulut, S., & Özcan, M.M. (2014). Determination of heavy metal contents in some freshwater fishes. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186, 8017-8022. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3984>
- Nyantakyi, A.J., Akoto, O., & Fei-Baffoe, B. (2019). Seasonal variations in heavy metals in water and sediment samples from River Tano in the Bono, Bono east, and Ahafo regions, Ghana. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 570. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7744-1>
- Olgunoğlu, İ.A., Bayhan, Y.K., Olgunoğlu, M.P., Artar, E., & Ukav, İ., (2014). Adıyaman ilinde balık eti tüketim alışkanlıklarının belirlenmesi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 9, 21-25.
- Tore, Y., Ustaoglu, F., Tepe Y., & Kalipci E. (2021). Levels of toxic metals in edible fish species of the Tigris River (Turkey); Threat to public health. *Ecological Indicators*, 123, 107361. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107361>
- TUİK (2013). Su ürünleri istatistikleri. Ankara, Türkiye, 75 pp.
- Turkish Food Codex (2011). Official Gazette No. 5996, 29.12.2011-28157.
- USEPA (2000). Guidance for assessing chemical contaminant, data for use in fish advisories, vol.1. Fish sampling and Analysis. 3rd ed. EPA 823-R-95-007. Office of Water: Washington, DC.
- WHO (1999). Food safety issues associated with product from aquaculture. *WHO Technical Report Series*, 883.