

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*

Özgür FIRAT^{1}, Özge FIRAT², Hikmet Yeter ÇOĞUN³, Tüzin AYTEKİN⁴, Gülbin FİRİDİN⁵, Özge TEMİZ⁶, Hazal SAĞ⁶, Ferit KARGIN⁶**

¹Adıyaman Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Adıyaman

²Adıyaman Üniversitesi, Kâhta Meslek Yüksekokulu, Adıyaman

³Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Veteriner Fakültesi, Adana

⁴Çukurova Üniversitesi, İmamoglu Meslek Yüksekokulu, Adana

⁵Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre ABD, Ankara

⁶Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Adana

Geliş : 06.01.2018

Kabul : 01.03.2018

Araştırma Makalesi / Research Paper

** Sorumlu Yazar: ofirat@adiyaman.edu.tr

E.Dergi ISSN: 1308 -7517

Özet

Atatürk Baraj Gölü'nün evsel ve endüstriyel atık sularıyla kirlenen Sıtılce ve göreceli olarak temiz bölge olan Samsat bölgelerinden dört farklı balık türü, 2013 yılının Ağustos ayında yakalanmıştır. *Silurus triostegus*, *Chalcalburnus tarichi*, *Chondrostoma regium* ve *Carassius carassius* türlerinin balıkların solungaç, karaciğer ve kas dokularındaki Cu, Zn, Fe, Cd, Pb ve Cr düzeyleri İndüktif olarak Birleştirilmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) cihazıyla belirlenmiştir. Metal düzeylerinin çalışma bölgelerinden etkilendiği ve tüm örneklerin dokularındaki en yüksek metal düzeylerinin kirli bölgede daha yüksek olduğu saptanmıştır. Sıtılce ve Samsat örneklerinin kas dokularındaki en yüksek metal düzeyleri µg/g kuru ağırlık olarak sırasıyla; 0,75 ve 0,18 (Cu); 22,58 ve 7,42 (Zn); 27,11 ve 7,22 (Fe); 0,09 ve Saptanamadı (SP) (Cd), 0,29 ve SP (Pb), 0,13 ve SP (Cr) olarak bulunmuştur. Atatürk Baraj Gölü'nün Sıtılce bölgesindeki balıkların kas dokularında önemli düzeylerde ağır metallerin biriktiği ancak bu değerlerin yasal olarak izin verilen limitlerin altında olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Atatürk Baraj Gölü, ağır metal, kirlilik, balık, doku

Comparison of Heavy Metal Concentrations in Tissues of Fish (*Silurus triostegus* Heckel, 1843, *Chalcalburnus tarichi* Pallas, 1811, *Chondrostoma regium* Heckel, 1843, *Carassius carassius* Linnaeus, 1758) from Polluted and Non-polluted Areas in the Atatürk Dam Lake

Abstract

In the present investigation, four different fish species were caught from Sıtılce, polluted area by both industrial and domestic sources, and Samsat, relatively clean area, in the Atatürk Dam Lake in August 2013. The concentrations of Cu, Zn, Fe, Cd, Pb, and Cr in gill, liver and muscle tissues of *Silurus triostegus*, *Chalcalburnus tarichi*, *Chondrostoma regium*, and *Carassius carassius* were determined using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). It was found that the concentrations of metals were significantly affected by the sampling sites and were higher in all samples collected from polluted areas. The maximum metal concentrations in muscle tissues of fish species from Sıtılce and Samsat were as follows: 0.75 and 0.18 (Cu); 22.58 and 7.42 (Zn); 27.11 and 7.22 (Fe); 0.09 and Not detected (ND) (Cd), 0.29 and ND (Pb), 0.13 and ND (Cr) µg/g dry wt., respectively. In the present study, it was also observed that heavy metal levels were significantly higher in fish muscle tissue from the Sıtılce site compared to Samsat site in the Atatürk Dam Lake; however, these levels were below permissible limits.

Keywords: Atatürk Dam Lake, heavy metal, pollution, fish, tissue

*Bu çalışma münferit araştırma projesi olup Adıyaman Üniversitesi B.A.P. (Proje No: FEFBAP2011-0005) tarafından desteklenmiştir.

GİRİŞ

Kentsel, endüstriyel ve tarımsal atıklara bağlı olarak sucul ekosistemlerin (nehirler, göller, denizler) ağır metallerle bulaşması ciddi bir problem haline gelmiştir. Besin zincirindeki biyoakümülatif özelliği ve toksisitelerinden dolayı ağır metaller sucul ortamlardaki kirleticilerin önemli bir grubunu oluşturmaktadır. (Uysal vd., 2008). Su, sediman ve organizmalardaki yüksek metal konsantrasyonları ciddi ekolojik sonuçlara neden olabilmektedir. Sucul organizmaların dokularında yüksek düzeyde metal birikimi hem balıklar hem de balıklarla beslenen insanlar için toksik etkiler gösterebilmektedir (Dural vd., 2007). Bu nedenle ağır metallerin canlı dokularındaki miktarları, su ortamındaki kirlilik durumunun belirteci olarak kullanılmaktadır (Selvi vd., 2015). Balıklar sucul ekosistemlerinin önemli canlı grupları olup insanların besinlerini oluşturduklarından birçok çalışmanın çeşitli balık türlerindeki metal birikimlerinin belirlenmesi ile ilgili olarak yürütülmüş olması şaşırtıcı değildir (Maceda-Veiga vd., 2013; Monroy vd., 2014; Qu vd., 2014; Fırat, 2016).

Fe, Cu, Zn gibi metaller gerekli olup biyolojik sistemlerde önemli roller oynamaktadırlar. Buna karşın Cd, Pb, Ag ve Cr gibi metaller toksik metallerdir ve çok düşük düzeylerde bile olumsuz etkilere neden olabilmektedirler (Alonso vd., 2004). Endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerin artması sonucunda hem zorunlu hem de zorunlu olmayan toksik ağır metallerin tatlı su ve deniz ortamlarındaki konsantrasyonları artmıştır. Ortama verilen atık sularda birçok metal iyonları birlikte yani karışım halinde bulunmaktadır. Bu nedenle sucul organizmalar bu metal karışımlarının yüksek ortam derişiklerinin etkisinde kalmaktadırlar (Van Dyk vd., 2007). Balıklar tatlı su ekosistemindeki ağır metal kirliliğinin belirlenmesinde önemli gösterge organizmalar olarak kullanılmaktadır (Rashed, 2001). Balıklarda karaciğer, solungaç ve böbrek gibi dokular yüksek düzeyde metal biriktiren organlar olup bu organlarda biriken metaller sucul ortamlardaki metal kirliliği hakkında yararlı bilgiler sağlamaktadır. Balıklar solungaçları aracılığıyla sudan doğrudan metal iyonlarını alabilmektedir. Gaz değişimini kolaylaştırmak için bronşiyal epitelyumun geniş bir yüzey alanı oluşturmasından kirleticilerin alınımını da kolaylaştırmakta ve bunun sonucunda metaller solungaçlarda yüksek düzeyde birikebilmektedir (Fırat ve Kargın, 2010). Karaciğer metal iyonlarının birikimi için önemli bir organ olup Cu, Zn, Fe, Pb ve Zn gibi metaller bu dokuda yüksek düzeyde birikebilmektedir (Çoğun vd., 2006). Balıklarda kas dokusu metal birikimi açısından çok önemli bir doku olmamakla birlikte bu dokudaki metal düzeyleri özellikle de insanlar tarafından tüketilen balıklar açısından risk oluşturmaktadır (Ozparlak vd., 2012; Ozparlak vd., 2016).

Fırat nehri üzerine yapılmış olan Atatürk Baraj Gölü, 81700 ha yüzey alanı ve 48.700.000.000 m³ hacme sahip olup sulama ve elektrik enerjisi üretimi amacıyla kullanılmaktadır (Alhas vd. 2009). Baraj gölünde *Cyprinus carpio*, *Capoetta trutta*, *Silurus triostegus*, *Chalcalburnus tarichi*, *Chondrostoma regium* gibi çeşitli ekonomik olarak önemli olan balık türleri balıkçılık ve yöre insanının besin ihtiyacını karşılamakta oldukça önemli bir yer tutmaktadır (Olgunoğlu vd., 2014; Fırat, 2016). Atatürk Baraj Gölünün etrafında üç il merkezi (Adıyaman, Şanlıurfa, Diyarbakır), 10 ilçe, 156 Köy bulunmaktadır. Nüfus artışı ile birlikte tarımsal ve endüstriyel gelişmeler baraj gölünde kirliliği artırıcı etki yaratmaktadır (Karadede vd., 2004).

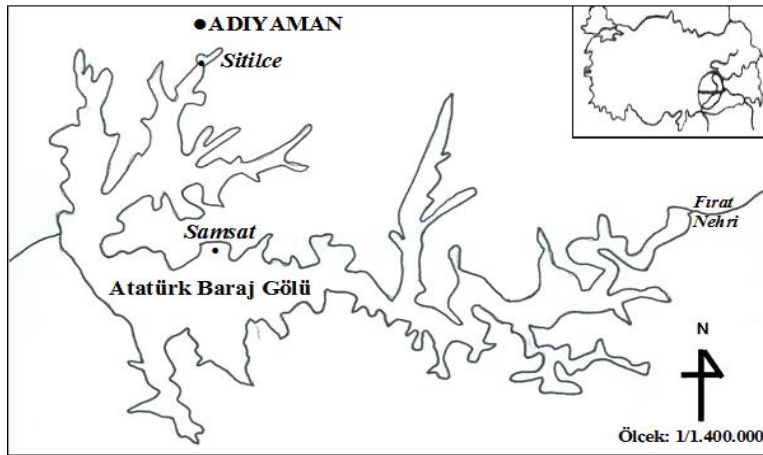
Atatürk Baraj Gölünün kuzeyine yerleşmiş olan ve yaklaşık 400.000 nüfusa sahip olan Adıyaman şehri geniş tarımsal arazileri ve bazı endüstriyel kuruluşlara (tekstil, çimento,

kimya ve makine gibi) sahiptir. Şehir herhangi bir atık su arıtma sistemine sahip olmadığından kentsel, tarımsal ve endüstriyel atık sular doğrudan baraj gölüne boşalmaktadır. Bu nedenle bu baraj gölündeki metal kontaminasyonu hem sucul canlılar hem de yöre halkının sağlığı için önemli bir sorun haline gelmektedir. Baraj gölündeki metal düzeyini belirlemek için birkaç çalışma yapılmıştır (Karadede ve Ünlü, 2000; Karadede vd., 2004; Alhas vd., 2009). Ancak bu çalışmalarda doğrudan Adıyaman şehir ve sanayi atık sularının Atatürk Baraj Gölü'nde yoğun bir şekilde kirliliğe neden olduğu bölgelerden örneklemeler yapılmamıştır.

Sunulan bu çalışmada, Atatürk Baraj Gölü'nün kirli ve temiz bölgelerinden alınan ve ekonomik öneme sahip *Silurus triostegus*, *Chalcalburnus tarichi*, *Chondrostoma regium* ve *Carassius carassius* türlerinin balıkların solungaç, karaciğer ve kas dokularındaki gerekli elementler (Cu, Zn, Fe) ile ve toksik metallere (Cd, Pb, Cr) düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu araştırma daha önce bu gölde yapılmış çalışmalarla karşılaştırma olanağını sunarak geçen süre içerisinde meydana gelen değişikliklerin yorumlanmasında kullanılabilmesi gibi 2016 yılında tam kapasiteyle işleme başlayan Sitalce Atık Su Arıtma tesisinin faaliyete geçmesinden sonraki süreç açısından da karşılaştırma imkânı sunmaktadır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Atatürk Baraj Gölündeki ekonomik öneme sahip balıklardaki metal düzeylerini belirlemek için iki önemli bölge seçilmiştir (Şekil 1). Bu bölgelerden birincisi Sitalce olup tarımsal ve endüstriyel aktivitelerin ve nüfusun yoğun olduğu Adıyaman şehrinin kanalizasyon atıklarının baraja arıtılmaksızın doğrudan boşaltıldığı bölgedir. İkinci bölge ise birinci bölgeyle karşılaştırmaya olanak sağlamak amacıyla sanayi, tarımsal ve kentsel aktivitelerden uzak bir bölge olan Samsat bölgesidir (Fırat, 2016). Balık dokularında ağır metal tayini için 2013'ün Ağustos ayında, belirlenen bölgelerden *Silurus triostegus*, *Chalcalburnus tarichi*, *Chondrostoma regium* ve *Carassius carassius* türlerine ait 10'ar adet örnek profesyonel balıkçılar tarafından uygun balık ağları kullanılarak yakalanmış ve balık örnekleri soğuk zincir altında aynı gün laboratuvara getirilmiştir.



Şekil 1. Atatürk Baraj Gölü ve gölden balık örneklerinin alındığı Sitalce (37°40'51"N, 38°20'38"E) ve Samsat (37°35'21"N, 38°25'16"E) Bölgeleri

Balıklar metal analizine hazırlamak amacıyla çeşme suyunda iyice yıkanıp kurutma kağıdı ile kurulandıktan sonra boy (cm) ve ağırlıkları (g) ölçülmüş ve veriler Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Atatürk Baraj Gölü’nde yakalanan balıkların ortalama ağırlık ve boyları

Balık Türü	n	Ağırlık (g)	Boy (cm)
<i>S. triostegus</i>	20	877±41	51,2±3,4
<i>C. tarichi</i> ,	20	44,9±5,2	18,5±1,2
<i>C. regium</i>	20	143±10,4	25,7±2,2
<i>C. carassius</i>	20	131±4,8	23,7±1,9

Tablodaki veriler Aritmetik ortalama ± Standart sapma şeklinde verilmiştir.
n: total balık sayısı.

Ölçüm işlemlerinden sonra balıklar disekte edilerek solungaç, karaciğer ve kas dokuları çıkarılmıştır. Doku ve organlar etüvde 150 °C’de 48 saat süreyle kurutulmaya bırakılmıştır (Liang vd., 1999). Etüvden çıkarılan doku ve organlar, hassas terazide kuru ağırlıkları alındıktan sonra deney tüpü içine alınarak üzerlerine 2 mL nitrik asit (Merck, %65, Ö.A. 1,40) ve 1 mL perklorik asit (Merck, %60, Ö.A. 1,53) eklenerek çeker ocakta 120 °C’de 3 saat süreyle yakılmıştır (Liang vd., 1999). Yakım işlemi tamamlanan örnekler polietilen tüplere aktarılarak üzerleri bidistile su ile 5 mL’ye tamamlanarak metal analizine hazır hale getirilmiştir. Doku ve organlardaki metallerin (Cd, Pb, Cr, Zn, Cu ve Fe) düzeyleri Perkin Elmer Optima 5300 DV İndüktif olarak Birleştirilmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) cihazında belirlenmiştir (Tablo 2). Cihaz standart çözeltiler ile kalibre edilmiştir. Tüm örneklerde her metal için üç kez ölçüm yapılarak ortalamaları alınmıştır. Dokuların metal düzeyleri µg/g kuru ağırlık (k.a.) olarak verilmiştir. Uygulanan analitik prosedürlerin doğruluğu standart referans materyal (NBS DORM-2, *Squalus acanthias*’ın kası, National Research Council of Canada) kullanılarak test edilmiştir.

Tablo 2. ICP-OES cihazında her bir element için emisyon ölçümlerinde kullanılan dalga boyu ve deteksiyon limiti

Element	Dalga boyu (nm)	Deteksiyon limiti (µg/L)
Cd	214,4	0,005
Pb	220,4	0,010
Cr	267,7	0,007
Zn	206,2	0,060
Cu	324,8	0,020
Fe	274,0	0,070

Deneylerden elde edilen verilerin istatistik analizleri için SPSS 21.0 bilgisayar paket programı kullanılmıştır. Her bir istasyondaki aynı balık türlerinin dokuları arasındaki metal düzeylerini karşılaştırmak için SNK (Student Newman Keul’s) testi ve aynı türün

aynı dokusunun her iki istasyondaki metal düzeylerini karşılaştırmak içinse Student's *t* testi yapılmıştır (Zar, 1999).

BULGULAR

Atatürk Baraj Gölü'nde kirli olan Sitalce ve nispeten olarak temiz olan Samsat bölgelerinde yakalanan *S. triostegus* türünün dokularındaki metal düzeyleri Tablo 3'te gösterilmiştir. *S. triostegus* türünün solungaç, karaciğer ve kas dokularındaki incelenen tüm metallerin düzeylerinin Sitalce'deki balık örneklerinde daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($P<0,05$). Her iki bölgede de Cr hariç tüm metallerin en yüksek düzeyde karaciğerde; en düşük düzeyde ise kasta biriktiği gözlenmiştir. İncelenen metallerin Sitalce'deki balıkların dokularındaki düzeyi, solungaçta Fe>Zn>Pb>Cr>Cu>Cd; karaciğerde Fe>Zn>Cu>Pb>Cd>Cr ve kasta ise Fe>Zn>Cu>Pb>Cr>Cd şeklinde olduğu saptanmıştır. Samsat'taki balıklardaki metal düzeyleri; solungaç, karaciğer ve kas dokularında sırasıyla Fe>Zn>Cu>Cr>Pb; Fe>Zn>Cu>Pb>Cd ve Fe>Zn>Cu olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte Samsat örneklerinin solungaç dokularında Cd, karaciğerde Cr ve kas dokusunda ise Cd, Pb ve Cr metalleri saptanamamıştır.

Tablo 3. Atatürk Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinde yakalanan *S. triostegus* türünün dokularındaki metal düzeyleri ($\mu\text{g/g}$ kuru ağırlık)

Metal	Bölge	Solungaç	Karaciğer	Kas
Cd	Samsat	SP	0,16±0,03	SP
	Sitalce	0,21±0,05 ^x	0,46±0,08 ^{y*}	0,06±0,01 ^z
Pb	Samsat	0,15±0,02 ^x	0,62±0,03 ^y	SP
	Sitalce	1,22±0,04 ^{x*}	3,34±0,16 ^{y*}	0,20±0,02 ^z
Cr	Samsat	0,18±0,02	SP	SP
	Sitalce	0,65±0,02 ^{x*}	0,31±0,03 ^y	0,09±0,01 ^z
Cu	Samsat	0,15±0,02 ^x	0,83±0,02 ^y	0,06±0,01 ^z
	Sitalce	0,54±0,03 ^{x*}	4,64±0,88 ^{y*}	0,23±0,02 ^{x*}
Zn	Samsat	16,56±1,39 ^x	28,58±0,86 ^y	5,12±0,58 ^z
	Sitalce	53,82±3,35 ^{x*}	92,52±7,68 ^{y*}	15,18±1,66 ^{z*}
Fe	Samsat	60±2,81 ^x	152±8,82 ^y	7,22±0,20 ^z
	Sitalce	148±4,94 ^{x*}	468±24,4 ^{y*}	27,11±1,53 ^{z*}

Tablodaki veriler Aritmetik ortalama \pm Standart hata şeklinde verilmiştir. Tablodaki x, y ve z harfleri aynı istasyondaki dokular arasındaki metal düzeylerinin ayrımını belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında istatistiksel ayrım vardır ($P<0,05$). "*" işareti ise aynı dokudaki metal düzeylerinin iki istasyon arasındaki istatistiksel ayrımını göstermek için kullanılmıştır ($P<0,05$). SP: Saptanamamıştır.

Tablo 4'te Atatürk Baraj Gölü'nde seçilen istasyonlarda yakalanan *C. tarichi* türünün dokularındaki metal düzeyleri verilmiştir. Sitalce'deki balıkların her üç dokusundaki incelenen tüm metallerin düzeylerinin Samsat'taki örneklerden istatistiksel olarak daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($P<0,05$). İncelenen metallere Cr hariç diğer tüm metallerin en yüksek düzeyleri her iki istasyonda da karaciğerde; en düşük düzeyleri ise kas dokuda gözlenmiştir. İncelenen metallerin Sitalce'deki balıkların dokularındaki düzeyi, solungaçta Fe>Zn>Cr>Cu>Pb>Cd; karaciğerde Fe>Zn>Cu>Pb>Cd>Cr; ve kasta ise Zn>Fe>Cu>Pb>Cr>Cd şeklinde saptanmıştır. Samsat istasyonunda yakalanan balıklardaki metal düzeylerinin ise solungaç; karaciğer ve kas dokuları için sırasıyla

Fe>Zn>Cr>Cu>Pb; Fe>Zn>Cu>Pb>Cd>Cr ve Zn>Fe>Cu şeklinde olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte Samsat örneklerinde solungaç dokuda Cd ve kas dokuda ise Cd, Pb ve Cr metalleri saptanamamıştır.

Tablo 4. Atatürk Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinde yakalanan *C. tarichi* türünün dokularındaki metal düzeyleri ($\mu\text{g/g}$ kuru ağırlık)

Metal	Bölge	Solungaç	Karaciğer	Kas
Cd	Samsat	SP	0.09±0.02	SP
	Sitilce	0,13±0,02 ^x	0,44±0,02 ^{y*}	0,08±0,02 ^x
Pb	Samsat	0,11±0,03 ^x	0,40±0,05 ^y	SP
	Sitilce	0,75±0,05 ^{x*}	1,23±0,04 ^{y*}	0,29±0,06 ^z
Cr	Samsat	0,36±0,04 ^x	0,08±0,01 ^y	SP
	Sitilce	0,93±0,02 ^{x*}	0,31±0,03 ^{y*}	0,09±0,01 ^z
Cu	Samsat	0,22±0,03 ^x	1,97±0,06 ^y	0,12±0,02 ^x
	Sitilce	0,89±0,12 ^{x*}	5,74±0,36 ^{y*}	0,65±0,08 ^{x*}
Zn	Samsat	43,56±8,80 ^x	77,94±3,76 ^y	7,42±0,64 ^z
	Sitilce	109,5±21,3 ^{x*}	241,8±8,56 ^{y*}	22,58±2,33 ^{z*}
Fe	Samsat	66,58±2,79 ^x	143±5,82 ^y	4,92±0,19 ^z
	Sitilce	195,4±9,15 ^{x*}	316±3,86 ^{y*}	13,45±1,04 ^{z*}

Tablodaki veriler Aritmetik ortalama \pm Standart hata şeklinde verilmiştir. Tablodaki x, y ve z harfleri aynı istasyondaki dokular arasındaki metal düzeylerinin ayrımını belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında istatistiksel ayırım vardır ($P<0,05$). “*” işareti ise aynı dokudaki metal düzeylerinin iki istasyon arasındaki istatistiksel ayrımını göstermek için kullanılmıştır ($P<0,05$). SP: Saptanamamıştır.

Atatürk Baraj Gölü'nde seçilen istasyonlardan yakalanan *C. regium* türünün dokularındaki metal düzeyleri Tablo 5'te gösterilmiştir. Sitilce bölgesindeki *C. regium* türünün solungaç, karaciğer ve kas dokularındaki incelenen tüm metal düzeylerinin Samsat bölgesindeki balık örneklerinkine göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir ($P<0,05$). Cr her iki bölgede de en yüksek düzeyde solungaç dokusunda birikirken; diğer tüm metaller en yüksek karaciğer dokusunda birikmiştir. Bununla birlikte tüm metaller en düşük düzeyde kasta birikmiştir. İncelenen metallerin Sitilce'deki balık dokularında metal düzeyi, solungaçta Fe>Zn>Cu>Cr>Pb>Cd; karaciğerde Fe>Zn>Cu>Pb>Cr>Cd ve kasta ise Zn>Fe>Cu>Pb>Cr>Cd şeklinde saptanmıştır. Samsat balık örneklerindeki metal düzeyleri; solungaç, karaciğer ve kas dokularında sırasıyla Fe>Zn>Cr>Cu; Fe>Zn>Cu>Pb ve Zn>Fe>Cu şeklinde belirlenmiştir. Bununla birlikte bazı metallerin bazı dokularda birikmediği gözlenmiştir. Samsat örneklerinin solungaç dokularında Cd ve Pb, karaciğerde Cd ve Cr ve kas dokusunda ise Cd, Pb ve Cr metalleri saptanamamıştır.

Tablo 5. Atatürk Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinde yakalanan *C. regium* türünün dokularındaki metal düzeyleri ($\mu\text{g/g}$ kuru ağırlık)

Metal	Bölge	Solungaç	Karaciğer	Kas
Cd	Samsat	SP	SP	SP
	Sitilce	0,11±0,02 ^x	0,35±0,04 ^y	0,09±0,02 ^x
Pb	Samsat	SP	0,28±0,04	SP
	Sitilce	0,57±0,04 ^x	1,13±0,06 ^{y*}	0,24±0,02 ^z
Cr	Samsat	0,32±0,02	SP	SP
	Sitilce	1,14±0,04 ^{x*}	0,41±0,02 ^y	0,13±0,02 ^z
Cu	Samsat	0,31±0,03 ^x	4,09±0,05 ^y	0,14±0,02 ^x
	Sitilce	1,36±0,05 ^{x*}	14,12±0,89 ^{y*}	0,75±0,04 ^{x*}
Zn	Samsat	25,12±2,04 ^x	49,52±3,11 ^y	6,22±0,32 ^z
	Sitilce	82,56±3,14 ^{x*}	174,8±15,4 ^{y*}	21,18±4,03 ^{z*}
Fe	Samsat	81,12±4,28 ^x	179,4±9,18 ^y	5,93±0,85 ^z
	Sitilce	227,9±5,14 ^{x*}	498,4±10,5 ^{y*}	22,23±3,18 ^{z*}

Tablodaki veriler Aritmetik ortalama \pm Standart hata şeklinde verilmiştir. Tablodaki x, y ve z harfleri aynı istasyondaki dokular arasındaki metal düzeylerinin ayırımı belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında istatistiksel ayırım vardır ($P<0,05$). “*” işareti ise aynı dokudaki metal düzeylerinin iki istasyon arasındaki istatistiksel ayırımı göstermek için kullanılmıştır ($P<0,05$). SP: Saptanamamıştır.

Tablo 6, Atatürk Baraj Gölü'nün örnekleme bölgelerinde yakalanan *C. carassius* türünün dokularındaki metal düzeylerini göstermektedir. Sitilce'deki balıkların her üç dokusundaki incelenen tüm metallerin düzeylerinin Samsat'taki örneklerden istatistiksel olarak daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($P<0,05$). İncelenen tüm metallerin en düşük düzeyde kasta biriktiği, en yüksek düzeyde ise Cr'nin solungaçlarda, diğer tüm metallerin ise karaciğer dokusunda biriktiği gözlenmiştir. İncelenen metallerin her iki istasyondaki balıkların tüm dokularındaki düzeyleri karşılaştırıldığında diğer üç balık türünde de gözlemlendiği gibi genel olarak Fe, Zn ve Cu gibi gerekli metallerin Cd, Pb ve Cr gibi zorunlu olmayan metallere oranla daha fazla biriktiği belirlenmiştir. Bununla birlikte Samsat örneklerinde solungaç dokuda Cd ve Pb, karaciğerde Cd ve kas dokusunda ise Cd, Pb ve Cr metalleri saptanamamıştır.

Tablo 6. Atatürk Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinde yakalanan *C. carassius* türünün dokularındaki metal düzeyleri ($\mu\text{g/g}$ kuru ağırlık)

Metal	Bölge	Solungaç	Karaciğer	Kas
Cd	Samsat	SP	SP	SP
	Sitilce	0,12±0,02 ^x	0,27±0,02 ^y	0,04±0,01 ^z
Pb	Samsat	SP	0,35±0,03	SP
	Sitilce	0,49±0,04 ^x	1,65±0,07 ^{y*}	0,17±0,03 ^z
Cr	Samsat	0,34±0,03 ^x	0,09±0,02 ^y	SP
	Sitilce	1,03±0,05 ^{x*}	0,34±0,03 ^{y*}	0,08±0,02 ^z
Cu	Samsat	0,26±0,03 ^x	1,81±0,07 ^y	0,18±0,02 ^z
	Sitilce	1,08±0,09 ^{x*}	6,95±0,13 ^{y*}	0,71±0,03 ^{z*}
Zn	Samsat	19,85±1,86 ^x	65,55±4,21 ^y	6,01±0,37 ^z
	Sitilce	62,19±3,42 ^{x*}	192,4±9,82 ^{y*}	20,79±2,19 ^{z*}
Fe	Samsat	63,57±3,77 ^x	160,2±7,16 ^y	5,47±0,29 ^z

Sitilce	166,8±5,19 ^{x*}	407,4±15,4 ^{y*}	26,85±2,88 ^{z*}
---------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Tablodaki veriler Aritmetik ortalama ± Standart hata şeklinde verilmiştir. Tablodaki x, y ve z harfleri aynı istasyondaki dokular arasındaki metal düzeylerinin ayrımını belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında istatistiksel ayırım vardır ($P<0,05$). “*” işareti ise aynı dokudaki metal düzeylerinin iki istasyon arasındaki istatistiksel ayrımını göstermek için kullanılmıştır ($P<0,05$). SP: Saptanamamıştır.

TARTIŞMA ve SONUÇ

Ağır metaller, şehirleşme ve endüstriyelleşme gibi insan faaliyetlerinin bir sonucu olarak son yıllarda nehir, göl ve denizler gibi su ortamlarına bırakılmaları neticesinde derişimleri giderek artmakta ve sucul organizmaları olumsuz bir şekilde etkilemektedir (Monroy vd., 2014). Ağır metaller suda çok iyi çözünebilmekte ve sucul organizmalar tarafından kolayca alınarak bu organizmaların dokularında birikebilmeleri ve yüksek toksik etkileri nedeni ile ciddi ekotoksikolojik problemlere neden olmaktadır (Alhas vd., 2009).

Türkiye'nin en büyük baraj gölü olan Atatürk Barajı, geniş tarımsal alanlara ve yoğun bir nüfusa sahip olan Adıyaman şehrinin güneyinde Fırat Nehri üzerinde tarımsal sulama ve elektrik enerjisi üretimi için kurulmuş olup yöre halkının da önemli bir su ürünleri kaynağını oluşturmaktadır. Ne yazık ki bu baraj gölü Adıyaman şehrinde gelen kentsel, endüstriyel ve tarımsal atık su deşarjlarıyla kirletilmektedir. Çalışmamızda Adıyaman şehir ve sanayi atık sularının arıtılmaksızın baraja döküldüğü yer olan Sitilce bölgesindeki dört balık türünün dokularındaki Cd, Pb, Cr, Fe, Zn ve Cu düzeylerinin göreceli olarak temiz olan Samsat bölgesindeki balıkların dokularındaki değerlerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca önceki çalışmalara (Karadede ve Ünlü, 2000; Karadede vd., 2004; Alhas vd., 2009; Fırat, 2016) kıyasla metal konsantrasyonlarının genel olarak artış gösterdiği belirlenmiştir.

Balıkların solungaç, karaciğer ve böbrek gibi metabolik yönden aktif organları kasa oranla daha fazla metal biriktirebilmektedir (Çoğun vd., 2006; Uysal vd., 2008; Alhas vd., 2009). Sunulan çalışmada da tüm balık türlerinin solungaç ve karaciğer dokularındaki metal düzeylerinin, kas dokusuna oranla daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bu sonuçlar Atatürk Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinden alınan balıkların kas dokusuna oranla solungaç ve karaciğerinde daha yüksek metal düzeylerini bulan Alhas vd. (2009)'nin bulgularıyla uyum göstermektedir.

Çalışmamızda balıkların kas dokusundaki demir konsantrasyonu 4.92 (*C. tarichi*, Samsat Bölgesi) ile 26,85 (*C. carassius* Sitilce Bölgesi) $\mu\text{g/g}$ arasında değişirken en yüksek konsantrasyonu Sitilce Bölgesinde *C. regium* türünün karaciğer dokusunda 498,4 $\mu\text{g/g}$ olarak bulunmuştur. Bu yüksek değerin, Seyhan Nehri'nde yakalanan *Capoeta barroisi* türünün karaciğerlerinde ölçülen Fe düzeyinden (425 – 504 $\mu\text{g/g}$) (Kargın, 1998) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Çalışılan balıklardaki Pb düzeyleri 0,11 ile 3,34 $\mu\text{g/g}$ değerleri arasında olup karaciğer ve kas dokularındaki düzeylerinin Cd ve Cr gibi diğer toksik metallerde karşılaştırıldığında oldukça yüksek değerlerde olduğu gözlenmiştir. Atatürk Baraj Gölü'nde daha önce yapılan çalışmalarda balık örneklerinde kurşun düzeyleri saptanamamıştır (Karadede ve Ünlü, 2000; Karadede vd., 2004). Benzer şekilde Alhas vd. (2009), 2006 yılında bu Baraj Gölü'nde yakalanan çeşitli balıklardaki kurşun düzeylerinin 0,66–2,30 $\mu\text{g/g}$ aralığında olduğunu bulmuşlardır. Kurşun düzeyindeki bu artış olasılıkla 13 Nisan 2005 tarihinde Batman – Yumurtalık Boru Hattındaki (BOTAŞ) bir sızıntıdan Atatürk Baraj Gölü'ne petrolün bulaşmasıyla oluşmuş olabilir (Anonim, 2005).

Adıyaman şehrinden gelen arıtılmamış atık su deşarjının bir sonucu olarak Sitalce bölgesindeki balıkların dokularındaki metal konsantrasyonları Samsat bölgesindeki balıklara oranla oldukça yüksekti. Bu sonuçlar Sitalce bölgesinin kentsel ve sanayi atık sularla kirletilen bir bölge olarak göz önüne alınması gerektiğini göstermektedir. Benzer şekilde Kargın (1998), Seyhan Nehri'nin aşağı bölgelerinde yakalanan *C. barroisi* dokularındaki Cu, Zn ve Pb konsantrasyonlarını nehrin üst bölgesindeki balıklara oranla daha yüksek olduğunu bulmuştur. Araştırmacı bunun nedenini nehrin üst bölgesinin göreceli olarak temiz olmasına karşın alt bölgelerinin Adana şehrinden gelen evsel, endüstriyel ve tarımsal atık sularla kirlenmesine bağlamıştır. Ayrıca, Canlı vd. (1998) da Seyhan nehrinde 5 farklı istasyonda yakalanan *C. carpio*, *Barbus capito* ve *C. regium* türlerinin solungaç, karaciğer ve kas dokularındaki Cd, Pb, Cr ve Ni konsantrasyonlarını araştırmışlardır. Araştırmacılar metal konsantrasyonlarının istasyonlar arasında önemli derecede farklılık gösterdiğini ve kentsel atık sularla kirlenmiş olan bir istasyonda yüksek metal konsantrasyonlarının tespit edildiğini bildirmişlerdir.

Atatürk Baraj Gölü'ndeki balıkların dokularındaki metal düzeyleri önceki çalışmalarda bulunan sonuçlarda karşılaştırılabilir. Genellikle sunulan çalışmada bulunan metal konsantrasyonları bu baraj gölünde yapılan önceki çalışmalarda bulunan sonuçlardan daha yüksektir (Karadede ve Ünlü, 2000; Karadede vd., 2004; Alhas vd., 2009; Fırat, 2016).

Ülkemizde kişi başına düşen ortalama balık tüketiminin 6,307 kg/yıl olduğu belirtilmektedir (TUİK, 2013). Bununla birlikte Adıyaman'da kişi başı balık tüketimi 3,01 kg/yıl olarak tespit edilmiş ve bu tüketimin de büyük bir kısmının Atatürk Baraj Gölü'ndeki balıklardan sağlandığı rapor edilmiştir (Olgunoğlu vd., 2014). Bu nedenle besin güvenirliliği açısından balıkların özellikle de tüketilebilir kas dokularındaki metal düzeylerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Sunulan çalışmada Sitalce Bölgesinde yakalanan balıkların kas dokusundaki Zn, Cu, Pb ve Cr düzeylerinin maksimum değerleri sırasıyla 22,58; 0,75; 0,29; 0,13 µg/g kuru ağırlık olarak bulunmuştur. FAO (1983) tarafından izin verilen maksimum limitler Zn ve Cu için 30 µg/g, Pb için ise 0,5 µg/g olup USEPA (2000)'nın Cr için maksimum limiti 0,5 µg/g'dır. Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği'ne göre ise balıklarda izin verilen bu limitler Pb için 0,30 µg/g iken Cd için 0,05 µg/g'dır (Anonim, 2011). Balıkların kas dokusundaki bu sözü geçen metallerin düzeylerinin izin verilen limitlerle karşılaştırıldığında yasal limitlerin altında olmasına rağmen diğer metallerle karşılaştırıldığında çinko birikiminin oldukça yüksek olduğu ve önlem alınmazsa yakın gelecekte barajın Sitalce bölgesinden avlanan balıklarla beslenen insanlar için olumsuz bir etki oluşturabileceği söylenebilir.

Sonuç olarak Sitalce bölgesinde tespit edilen ağır metal kirliliğinin esasen Adıyaman şehrinden gelen arıtılmamış atık su deşarjından kaynaklandığı düşünülmektedir. Besin güvenirliliği açısından balık kas dokusunda incelenen metallerin seviyelerinin maksimum limitlerin altında olduğu ancak özellikle çinkonun gelecekte insan tüketimi açısından risk oluşturabileceği düşünülmektedir. Sitalce Bölgesindeki balıklarda metal biyobirikimini azaltmak ve dolayısıyla insan sağlığı açısından gelecekte risk oluşturmasını önlemek baraja giren endüstriyel ve kentsel atıklar gibi kirleticilerin konsantrasyonlarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte Atatürk Baraj Gölü'ndeki balık türlerindeki metal konsantrasyonları periyodik olarak araştırılmaya devam edilmelidir. Bu çalışma ayrıca 2016 yılında Sitalce bölgesinde faaliyete başlayan atık su arıtma tesisinden sonra bu bölgede balıkların dokularında ağır metal düzeylerini araştırarak çalışmalar için de karşılaştırılabilir bir niteliğe sahip olabileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- 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. doi: 10.1007/s10661-007-0134-0
- Alonso, M.L., Montana, F.P., Miranda, M., Castillo, C., Hernandez, J. & Benedito, J.L. (2004). Interactions between toxic (As, Cd, Hg and Pb) and nutritional essential (Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Zn) elements in the tissues of cattle from NW Spain. *Biometals*, 17, 389–397. doi: 10.1023/B:BIOM.0000029434.89679.a2
- Anonim (2005). Atatürk Baraj Gölü Yeniden Maviye Döndü. *Su Dünyası Dergisi*, 22, 34–35.
- Anonim (2011). Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği. Yönetmelik No: 2011-28157.
- Canlı, M., Ay, Ö. & Kalay, M. (1998). Levels of heavy metals (Cd, Pb, Cu, Cr and Ni) in tissue of *Cyprinus carpio*, *Barbus capito* and *Chondrostoma regium* from the Seyhan River, Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 22, 149–157.
- Çoğun, H.Y., Yüzereroğlu, T.A., Firat, Ö., Gök, G. & Kargin, F. (2006). Metal concentrations in fish species from the northeast Mediterranean Sea. *Environmental Monitoring and Assessment*, 121, 431–438. doi: 10.1007/s10661-005-9142-0
- Dural, M., Göksu, M.Z.L. & Özak, A.A. (2007). Investigation of heavy metal levels in economically important fish species captured from the Tuzla lagoon. *Food Chemistry*, 102, 415–421. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.03.001
- FAO (1983). Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. *FAO Fish Circ*, 464, 5-100.
- Firat, Ö. & Kargin, F. (2010). Response of *Cyprinus carpio* to copper exposure: alterations in reduced glutathione, catalase and proteins electrophoretic patterns. *Fish Physiology and Biochemistry*, 36, 1021-1028. doi: 10.1007/s10695-010-9380-0
- Firat, Ö. (2016) Evaluation of metal concentrations in fish species from Atatürk Dam Lake (Adiyaman, Turkey) in relation to human health. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25(9), 3629-3634.
- Grobler, E., Du Perez, H.H. & Van Vuren, J.H.J. (1989). Toxic effects of zinc and iron on the routine oxygen consumption of *Tilapia spanmani* Cichilidae. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 9(1), 207-214.
- Karadede, H. & Ünlü, E. (2000). Concentrations of some heavy metals in water, sediment and fish species from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey. *Chemosphere*, 41, 1371–1376. doi:10.1016/S0045-6535(99)00563-9
- Karadede, H., Oymak, S.A. & Ünlü, E. (2004). Heavy metals in mullet, *Liza abu*, and catfish, *Silurus triostegus*, from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey. *Environment International*, 30, 183–188. doi:10.1016/S0160-4120(03)00169-7
- Kargin, F. (1998). Metal concentrations in tissues of the freshwater fish *Capoeta barroisi* from the Seyhan River (Turkey). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 60, 822–828.
- Maceda-Veiga, A., Monroy, M., Navarro, E., Viscor, G. & Sosto, A. (2013). Metal concentrations and pathological responses of wild native fish exposed to sewage discharge in a Mediterranean river. *Science of the Total Environment*, 449, 9–19. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.01.012
- Liang, Y., Cheung, R.Y.H. & Wong, M.H. (1999). Reclamation of wastewater for polyculture of freshwater fish: Bioaccumulation of trace metals in fish. *Water Research*, 33, 2690–2700.
- Monroy, M., Maceda-Veiga, A. & Sosto, A. (2014). Metal concentration in water, sediment and four fish species from Lake Titicaca reveals a large-scale environmental concern. *Science of the Total Environment*, 487, 233–244. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.03.134

- Olgunoğlu, İ.A., Bayhan, Y.K., Olgunoğlu, M.P., Artar, E. & Ukav, İ., (2014). Adıyaman İlinde Balık Eti Tüketim Alışkanlıklarının Belirlenmesi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 9, 21-25.
- Ozparlak, H., Arslan G. & Arslan, E. (2012). Determination of some metal levels in muscle tissue of nine fish species from the Beyşehir Lake, Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 12, 761-770.
- Ozparlak, H., Sanda, M.A. & Arslan, G. (2016). Some heavy metal levels in muscle tissue of seven fish species from the Sugla and Beyşehir Lakes, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25(6), 2090-2098.
- Qu, R., Feng, M., Wang, X., Qin, L., Wang, C., Wang, Z. & Wang, L. (2014). Metal accumulation and oxidative stress biomarkers in liver of freshwater fish *Carassius auratus* following *in vivo* exposure to waterborne zinc under different pH values. *Aquatic Toxicology*, 150, 9–16. doi:10.1016/j.aquatox.2014.02.008
- Rashed, M.N. (2001). Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser lake. *Environment International*, 27, 27–33. doi:10.1016/S0160-4120(01)00050-2
- Selvi, K., Kaya, H., Akbulut, M. & Tulgar, A. (2015). Comparison of heavy metal concentrations on European chub (*Leuciscus cephalus* L., 1758) from Sariçay creek and Atikhisar reservoir (Çanakkale-Turkey). *Fresenius Environmental Bulletin*, 24, 45-50.
- TUİK (2013). Su ürünleri istatistikleri. Ankara, Türkiye, 75 syf.
- 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.
- Uysal, K., Emre, Y. & Köse, E. (2008). The determination of heavy metal accumulation ratios in muscle, skin and gills of some migratory fish species by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES) in Beymelek Lagoon (Antalya/Turkey). *Microchemical Journal*, 90, 67-70. doi:10.1016/j.microc.2008.03.005
- Van Dyk, J.C., Pieterse, G.M. & Van Vuren, J.H.J. (2007). Histological changes in the liver of *Oreochromis mossambicus* (Cichlidae) after exposure to cadmium and zinc. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66, 432–440. doi: 10.1016/j.ecoenv.2005.10.012
- Zar, J.H. (1999). Biostatistical analysis. Prentice Hall, New Jersey, 663 pp.