

**T.C.
ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ATATÜRK BARAJ GÖLÜ'NDE (ADYAMAN) YAKALANAN
Cyprinus carpio'NUN DOKULARINDAKİ KURŞUN, KADMİYUM,
KROM, DEMİR, ÇİNKO VE BAKIR DÜZEYLERİNİN İNSAN
SAĞLIĞI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

ÜMMÜ KILINÇ

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

ADYAMAN, 2022

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATATÜRK BARAJ GÖLÜ'NDE (ADİYAMAN) YAKALANAN *Cyprinus carpio*'NUN DOKULARINDAKİ KURŞUN, KADMİYUM, KROM, DEMİR, ÇİNKO VE BAKIR DÜZEYLERİNİN İNSAN SAĞLIĞI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ümmü KILINÇ

Adıyaman Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Özgür FIRAT
Yıl : 2022, Sayfa sayısı: 50
Jüri : Prof. Dr. Özgür FIRAT
Prof. Dr. Hikmet Yeter ÇOĞUN
Doç. Dr. Tamer KAYIŞ

Tarımsal sulama ve elektrik enerjisi üretimi için Fırat Nehri üzerine kurulan Atatürk Barajı Türkiye'deki en büyük barajdır. Baraj gölünde insanların birinci dereceden 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 (Sitelce 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. 2016 ve 2017 yıllarında faaliyete geçen Adıyaman şehir ve sanayi atık su arıtma tesisine kadar kirlilikten oldukça etkilenen Sitelce bölgesi balıklarındaki tespit edilen tüm metallerin düzeylerinin göreceli olarak temiz bölge olan Samsat bölgesi balıklarından istatistiksel olarak farklı olmadığı bulunmuştur (sadece karaciğer demir düzeyi hariç). Araştırma sonuçlarımız besin güvenirliliği 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: Atatürk Baraj Gölü, *Cyprinus carpio*, Balık, Ağır Metal, Kirlilik

ABSTRACT

MSc Thesis

ASSESSMENT OF LEAD, CADMIUM, CHROME, IRON, ZINC AND COPPER LEVELS IN TISSUES OF *Cyprinus carpio* FROM ATATÜRK DAM LAKE (ADIYAMAN) IN RELATION TO HUMAN HEALTH

Ümmü KILINÇ

Adiyaman University
Graduate Education Institute
Department of Biology

Supervisor : Prof. Dr. Özgür FIRAT
Year : 2022 , Number of pages: 50
Jury : Prof. Dr. Özgür FIRAT
Prof. Dr. Hikmet Yeter ÇOĞUN
Assoc. Prof. Dr. Tamer KAYIŞ

Atatürk Dam Lake, which was established on the Euphrates River for agricultural irrigation and electricity generation, is the largest dam lake in Turkey. Many fish species, which are the primary food source for humans, live in the dam lake. Therefore, a 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 (Sitelce and Samsat) of the dam lake in August and September in 2021. In our study, it was not detected lead in all tissues and cadmium in gill and muscle tissues of fish from both regions. It was found that the levels of all metals found in the fish of the Sitilce region, which was highly affected by pollution until the Adiyaman city and industrial wastewater treatment plant started operating in 2016 and 2017, were not statistically different from the fish of the Samsat region, which is a relatively clean region (except liver iron level only). Our research results showed that the heavy metal levels in 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 wastewater treatment plants.

Key Words: Atatürk Dam Lake, *Cyprinus carpio*, Fish, Heavy Metal, Pollution

DESTEKLER

Bu tez çalışması Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FEFYL/2020-0005 numaralı proje ile desteklenmiştir.



BEYAN

“Atatürk Baraj Gölü’nde (Adıyaman) Yakalanan *Cyprinus carpio*’nun Dokularındaki Kurşun, Kadmiyum, Krom, Demir, Çinko ve Bakır Düzeylerinin İnsan Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi” başlıklı tezimde çalışmaların tamamen akademik kurallara ve etik değerlere sadık kalınarak yürütüldüğünü ve yazımda yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ayrıca alıntılardan bilimsel etiğe uygun atıf yaparak yararlanmış olduğumu beyan ederim.

Ümmü KILINÇ
imza

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmamın her aşamasında tüm dünyaca yaşamış olduğumuz Covid-19 salgından kaynaklanan bütün zahmetlere rağmen güler yüzünü, bilgi, birikim ve yardımlarını bir an olsun esirgemeyen, her zaman yol gösterici ve anlayışlı tavrı ile gayretimi arttıran, sayısız hatalarıma karşı sonsuz sabır gösteren, bilimsel ve akademik yaklaşımlarıyla destek olan, saygıdeğer danışman hocam Sayın Prof. Dr. Özgür FIRAT'a en içten duygularıyla sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte tüm zahmetlere rağmen maddi ve manevi yardım ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli aileme ve bana moral motivasyon veren arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca büyük destekçim, yol arkadaşım sevgili eşim Mehmet KILINÇ ve biricik oğlum Ertuğrul Osman KILINÇ'a en içten duygularıyla teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
DESTEKLER.....	III
BEYAN.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	8
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	15
4. BULGULAR.....	20
4.1. Cu Düzeyi.....	20
4.2. Fe Düzeyi.....	22
4.3. Zn Düzeyi.....	24
4.3. Pb Düzeyi.....	26
4.3. Cd Düzeyi.....	26
4.3. Cr Düzeyi.....	28
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	30
KAYNAKLAR.....	37
KİŞİSEL BİLGİLER.....	46
EKLER.....	47
Ek 1. Etik Kurul Kararı.....	48
Ek 2. Bakanlık Araştırma İzni.....	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1	Atatürk Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinden örneklenen <i>C. carpio</i> 'nun boy ve ağırlıkları.....	17
Çizelge 3.2	Doku örnekleri için mikrodalga çözünürleştirme koşulları	17
Çizelge 3.3	ICP-MS cihazının çalışma koşulları	18
Çizelge 3.4	Standart referans materyaldeki metal düzeyleri ($\mu\text{g/g}$).....	18
Çizelge 4.1	Atatürk Baraj Gölü'nde yakalanan <i>C. carpio</i> 'nun dokularındaki Cu düzeyleri ($\mu\text{g/g}$ yaş ağırlık).....	20
Çizelge 4.2	Atatürk Baraj Gölü'nde yakalanan <i>C. carpio</i> 'nun dokularındaki Fe düzeyleri ($\mu\text{g/g}$ yaş ağırlık).....	22
Çizelge 4.3	Atatürk Baraj Gölü'nde yakalanan <i>C. carpio</i> 'nun dokularındaki Zn düzeyleri ($\mu\text{g/g}$ yaş ağırlık).....	24
Çizelge 4.4	Atatürk Baraj Gölü'nde yakalanan <i>C. carpio</i> 'nun dokularındaki Pb düzeyleri ($\mu\text{g/g}$ yaş ağırlık).....	26
Çizelge 4.5	Atatürk Baraj Gölü'nde yakalanan <i>C. carpio</i> 'nun dokularındaki Cd düzeyleri ($\mu\text{g/g}$ yaş ağırlık).....	27
Çizelge 4.6	Atatürk Baraj Gölü'nde yakalanan <i>C. carpio</i> 'nun dokularındaki Cr düzeyleri ($\mu\text{g/g}$ yaş ağırlık).....	28
Çizelge 5.1	<i>C. carpio</i> 'nun kas dokusundaki ve ulusal ve uluslararası kuruluşlarca balıklar için izin verilen maksimum metal düzeyleri ($\mu\text{g/g}$).....	34

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Atatürk Baraj Gölü	6
Şekil 3.1	<i>C. carpio</i>	15
Şekil 3.2	Atatürk Baraj Gölü'nde balıkların örneklendiği Sitalce ve Samsat çalışma bölgeleri.....	16
Şekil 4.1	Atatürk Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinde yakalanan <i>C. carpio</i> 'nun solungaç (A), karaciğer (B) ve kas (C) dokularındaki Cu düzeyi.....	21
Şekil 4.2	Atatürk Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinde yakalanan <i>C. carpio</i> 'nun solungaç (A), karaciğer (B) ve kas (C) dokularındaki Fe düzeyi.....	23
Şekil 4.3	Atatürk Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinde yakalanan <i>C. carpio</i> 'nun solungaç (A), karaciğer (B) ve kas (C) dokularındaki Zn düzeyi.....	25
Şekil 4.4	Atatürk Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinde yakalanan <i>C. carpio</i> 'nun karaciğer dokusundaki Cd düzeyi.....	27
Şekil 4.5	Atatürk Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinde yakalanan <i>C. carpio</i> 'nun solungaç (A), karaciğer (B) ve kas (C) dokularındaki Cr düzeyi.....	29

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

g	: Gram
L	: Litre
mg	: Miligram
ppm	: mg/L
µg	: Mikrogram

Kısaltmalar

Cd	: Kadmiyum
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
FAO	: Gıda ve Tarım Örgütü
Fe	: Demir
Pb	: Kurşun
Zn	: Çinko
TFC	: Türk Gıda Koteksi
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü

1. GİRİŞ

Günümüzde artan bir şekilde endüstriyel, kentsel ve tarımsal atıklar ile diğer kirleticilerin 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 [1]. 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 [2]. Ağır metaller çoğunlukla evsel ve tarımsal atık ürünlerden, endüstriyel atık maddelerden, fosil yakıtların yanmasından, madencilikten, atık su arıtma tesislerinden doğal ekosisteme salınmaktadır [3]. Sucul sistemler ağır metal kirliliğine karşı oldukça hassas olup su ortamlarında bu tür metallerin seviyelerindeki kademeli artış günümüzde birincil endişe kaynağı haline gelmiştir [4]. Toksik ağır metallerin farklı dokularda biyobirikimi sucul canlıların sağlığına ve normal fizyolojik süreçlerine zarar verebilir [5]. Ağır metal toksisitesi, organizmaların hayatta kalma oranını ve üreme kapasitesini büyük ölçüde etkiler. Bunlardan bazılarının türe, doza ve maruz kalma süresine bağlı olarak yüksek oranda kanserojen, mutajenik ve teratojenik olduğu bildirilmiştir [6].

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 kaynaklarından. 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 [7]. Ayrıca insan tüketimine yönelik potansiyel riski tahmin etmek için de kullanılmaktadırlar. Balıklar dokularında ağır

metalleri konsantre eder ve bu nedenle sucul ekosistemlerdeki kirlilik seviyesinin tahmininde kullanılabilir [8]. Balıklardaki mikro kirleticilerin konsantrasyonları vücut büyüklüğüne, yaşına, sudaki konumuna, suyun fizikokimyasal özelliklerine ve beslenme alışkanlıklarına bağlıdır [9].

Ağır metallerle kontamine olmuş sularda balıklar, beslenme alışkanlıkları ve su ortamlarındaki konumları nedeniyle toksikolojik sorunlara karşı hassas ve savunmasızdır [10]. Balıkların toksik maddelere maruz kalmalarının kalite ve çeşitlilikleri ile protein gereksinimleri için onlara bağımlı olan insanların sağlığı üzerinde de bazı zararlı etkileri olmaktadır [11]. Ağır metal içeren balıkların önerilen sınırların üzerinde tüketilmesi böbrek, karaciğer, beyin, sinir ve deri komplikasyonları gibi sağlık sorunlarına ve hatta ölüme bile yol açabilmektedir [12]. Ağır metallerin izin verilen maksimum seviyelerin üzerinde birikmesi, Parkinson ve Alzheimer hastalıklarına, kan bileşiminde değişikliklere, gelişme ve üremede bozukluklara, akciğer, karaciğer ve böbrek gibi organların fonksiyonlarını olumsuz etkileyerek önemli sağlık sorunlarına neden olduğu rapor edilmiştir [13]. Bu nedenle balıklarda biriken ve insan sağlığını da olumsuz etkileyen ağır metallerin izlenmesi ve kontrolü günümüzde oldukça önemli ve elzem görünmektedir [14].

Ağır metaller balık vücuduna doğrudan sudan ve/veya sedimentten solungaçlar/deri yoluyla ve besinden/avından sindirim sistemi yoluyla girebilmekte ve solungaç, karaciğer, böbrek ve kas gibi dokularda birikim göstermektedirler. Ağır metallerin bazıları (örneğin bakır, çinko ve demir gibi) eser düzeylerde canlılar için oldukça gerekli iken bazıları ise (örneğin kadmiyum, kurşun ve civa gibi) her konsantrasyonda zararlı olabilmektedir.

İz elementler olarak da adlandırılan çinko, demir ve bakır biyolojik süreçlerde önemli roller oynadıklarından gerekli olan mikro elementler olarak ifade edilmektedir. Bu elementler insan vücudunda %0,01'den daha az miktarlarda bulunur ve günlük gereksinim genellikle 100 mg/gün'den azdır [7]. Fizyolojik konsantrasyonlarda bulunan bu elementler, canlı organizmaların sağlıklı çalışması için gereklidir. Bu metaller birçok enzimin bileşenleridir ve birçok yaşam sürecinde yer alırlar. Ayrıca hormonların ve diğer maddelerin sentezinde görev almakta, üreme ve bağışıklık sistemlerinin gelişmesini ve işleyişini düzenlemeye yardımcı olmaktadır [15]. Eser

elementler, organizmalarda metabolik fonksiyonlar için gerekli olan konsantrasyonların üzerinde biriktiğinde zararlı etkilere neden olabilmektedirler.

Bakır (Cu), canlı organizmaların büyümesi ve metabolizması için önemli olan temel bir eser element ve mikro besindir. Balıklarda ve diğer omurgalılarda Cu, birçok metabolik enzimin ve glikoproteinin temel bileşenidir. Hemoglobın sentezi ve sinir sistemi fonksiyonu için de gereklidir [16]. Tatlı su ekosistemindeki Cu kirliliği, tarım alanında mantar öldürücü, yosun öldürücü ve böcek öldürücü ilaçların yaygın olarak kullanılması ve ardından atık maddelerin su kütlesine deşarj edilmesi nedeniyle oluşmaktadır. Bunun dışında, galvanik kaplama endüstrisinden, metal arıtma endüstrisinden, plastik endüstrisinden, madencilikten de Cu kirliliği meydana gelmektedir [17]. Bununla birlikte yüksek konsantrasyonlarda Cu canlı organizmalar üzerinde toksik etki göstermektedir. Cu, 10-20 ppb arasında değişen bir konsantrasyonda tatlı su balıklarında toksisiteye neden olmaktadır [18]. Cu'nun sudaki yaşam üzerine toksisitesi, su sertliği, pH, anyonlar ve çözünmüş organik karbon bileşikleri gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Balıklarda bu metalin kronik toksisitesi, zayıf büyümeye, yaşam süresinin kısılmasına, bağışıklık tepkisinin azalmasına, üreme sorunlarına ve oksidatif strese neden olmaktadır [19].

Çinko (Zn), her yerde bulunan bir eser elementtir ve canlı organizmalar için gerekli mikro besinlerden biridir. Bu metal nükleik asitler ve protein sentezi, bağışıklık, enerji metabolizması, hücre bölünmesi ve vücut büyümesi gibi çeşitli metabolik yollarda görev alır. Metabolizma, sindirim, sinir fonksiyonu ve diğer süreçlere yardımcı olan birçok enzim için de bir kofaktör işlevi görür [20]. Zn eksikliği, düşük gebelik oranı, kardiyovasküler hastalıklar ve kanser gibi çeşitli fizyolojik rahatsızlıklara neden olmakla birlikte aşırı miktarları da toksik olabilmektedir [21]. Endüstriyel faaliyetler, madencilik, kömür ve atık maddelerin yakılması, çelik işleme ve tarımsal alanlarda artan gübreleme vb. gibi farklı antropojenik kaynaklar nedeniyle çevrede Zn kirliliği artmaktadır [22]. Bu metalin suda yaşayan hayvanlar üzerindeki toksik etkisi, özellikle sıcaklık, su sertliği ve çözünmüş oksijen konsantrasyonu gibi çeşitli çevresel faktörlere bağlıdır. Kronik toksik düzeyde Zn balıkların ölümüyle sonuçlanan strese neden olabilmektedir.

Demir (Fe), yerkabuğunda en çok bulunan dördüncü elementir ve hemen tüm canlı organizmalar için kesinlikle gereklidir [23]. Bu metal fotosentetik proseslerin birçok bileşeninde, solunum reaksiyonlarında, DNA sentezinde, oksijenin taşınması ve depolanmasında merkezi bir rol oynayan tüm organizmalar için temel bir elementtir [24]. Balıklar Fe'yi birçok biyokimyasal amaç için kullanır, ancak en önemli kullanımı oksijenin depolanması ve taşınmasıdır [25]. Bununla birlikte yüksek konsantrasyonları canlılar için toksik etki göstermektedir. Suda çözünen fazla Fe, balıkların solungaçlarında bu metalin pulcuklarının oluşmasına neden olarak tıkanmasına yol açmakta ve solunum bozukluklarına neden olabilmektedir [26].

Kadmiyum (Cd), yerkabuğunda ortalama 0,1-0,5 ppm konsantrasyonda bulunan bir elementtir ve genellikle Zn, Cu ve Pb cevherleri ile birlikte bulunur. Okyanus suyunda ortalama konsantrasyonu 5-110 mg/L arasında iken yüzey ve yeraltı sularında genellikle $<1 \mu\text{g/L}$ 'dir [27]. Cd'nin element formu doğada mevcut değildir. Bunun yerine, bileşik formları örneğin kadmiyum klorür, kadmiyum oksit, kadmiyum sülfür, kadmiyum karbonat, kadmiyum nitrat ve kadmiyum siyanür yaygın olarak bulunur [28]. Cd, su ekosistemlerine birçok farklı doğal ve antropojenik kaynaklardan salınır. Doğal Cd kaynakları, volkanik patlama, kayaların aşınmasıyla yer kabuğundan ve mantodan elde edilir. Antropojenik kaynaklar arasında fosil yakıtların yanması, gübreler, tarımsal atıklar ve su kütlesini kirleten endüstriyel kullanım (plastik stabilizatörler, pigment, piller, elektroporasyon endüstrileri) yer alır [29]. Cd gerekli olmayan bir element olarak kabul edilmekte ve balıklar için ciddi toksisiteye neden olabilmektedir. Bu metal mitokondrideki elektron transfer zincirini inhibe eder ve reaktif oksijen türleri üretimini uyarır [30]. *Cyprinus carpio*'da düşük düzeyde Cd maruziyeti DNA hasarına neden olmaktadır [31]. Bu metal, yüksek biyobirikim oranı nedeniyle suda yaşayan organizmalar için en toksik ağır metallere biri olarak kabul edilir.

Kurşun (Pb); PbS, PbSO₄ ve PbCO₃ gibi diğer elementlerle birlikte çevrede doğal olarak bulunan en tehlikeli ağır metallere biridir. Çevredeki Pb konsantrasyonu, metal madenciliği, kömür, petrol ve benzinin yanması, pil üretimi, kurşun-arsenatlı pestisitler, kurşun bazlı boyalar, pigmentler, gıda kutuları vb. gibi farklı antropojenik kaynaklar tarafından fazla düzeyde artmaktadır [32]. Çeşitli

endüstrilerden, tarım alanlarından Pb deşarjı, Pb tozu ve belediye atık suları aracılığıyla doğrudan su ortamına girmekte ve sucul yaşam için toksisiteye neden olabilmektedir [33]. Balıklar için öldürücü Pb konsantrasyonu 10-100 mg/L'dir [34]. Subletal konsantrasyonlarda Pb'ye maruz kalmanın balıklarda davranış değişikliğine, kısırılığa ve büyüme geriliğine neden olduğu belirtilmektedir [35]. Balıklarda bu metalin biyobirikimi esas olarak karaciğer, dalak, böbrek ve solungaçlarda meydana gelmektedir [36].

Krom (Cr), yerkabuğunda ve denizde bulunan en yaygın eser elementlerden biridir [37]. Bu element ortamda saf metal olarak bulunmaz, iki değerlikli (Cr^{+2}), üç değerlikli (Cr^{+3}) veya altı değerlikli (Cr^{+6}) oksidasyon durumlarında bulunur. Bu farklı formlar arasında Cr^{+3} ve Cr^{+6} en kararlı formlardır [38]. Cr^{+3} oksidasyon durumu, düşük membran geçirgenliği, aşındırıcı olmayan doğası ve besin zincirindeki minimum biyomagnifikasyon gücü nedeniyle daha az toksiktir. Cr^{+6} durumu, güçlü oksidatif potansiyeli ve hücre zarını geçme yeteneği nedeniyle daha toksiktir [39]. Bir su ekosisteminde, Cr kontaminasyonu dericilik, metal işleme, petrol arıtma, tekstil üretimi, alaşım hazırlama, ahşap koruma vb. gibi farklı antropojenik kaynaklardan oluşur [40].

Atatürk Barajı, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Fırat Nehri üzerinde yapılmış, temel amacı tarımsal sulama ve elektrik enerjisi üretimi olan Türkiye'nin en büyük barajı dünyanın ise sayılı barajlarından biridir (Şekil 1.1). 817 km²'lik yüzey alanı, 48,5 milyar m³ su hacmi ve 180 km uzunluğu ile hem bölge hem de Türkiye için çok önemli bir su kütlesidir.



Şekil 1.1. Atatürk Baraj Gölü
(<https://cdnis.tarimorman.gov.tr/api/File/GetGaleriFile/425/ResimGaleri/608/0/ataturk-baraji.jpeg>, E.T.: 15.04.2022)

Baraj gölü aynı zaman da çok çeşitli su canlılarını barındırmaktadır. Bunlar arasında özellikle de balıklar önemli bir yer tutmaktadır. Barajda besin kalitesi yüksek, ekonomik ve ticari değeri olan çok çeşitli balık türleri yaşamaktadır. Yine bazı türler de sadece Fırat Nehri'ne endemik olan türlerdir. *Cyprinus carpio* (Sazan), *Capoeta trutta* (Fırat Karabalığı), *Tor grypus* (Şabut), *Silurus triostegus* (Mezopotamya Yayını) ve *Mastacembelus mastesembelus* (Fırat Dikenli Yılan Balığı) baraj gölünün önemli balık türleri olup yöre halkının birinci dereceden besin kaynağını da oluşturmaktadır [41]. Baraj gölü aynı zaman da nesli tehlike altında olan Fırat Tatlısu Kaplumbağası (*Rafetus euphraticus*) için de önemli bir yaşam alanıdır.

Atatürk Baraj Gölü'nün etrafında 3 il (Adıyaman, Şanlıurfa ve Diyarbakır), 10 ilçe ve yaklaşık 156 köy bulunmaktadır. Bu kadar yoğun bir yerleşim yerinin merkezinde olan baraj gölünün kirlilikten etkilenmesi kaçınılmaz olmaktadır.

Özellikle de barajın kuzey kesimlerinde yer alan ve eğimi yüksek veya dik sınıfa giren araziye sahip olan Adıyaman'dan baraja birçok kirletici giriş yapmaktadır.

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 şehrinde gelen evsel, endüstriyel ve tarımsal atıklarla kontamine olmaktadır [42]. 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 ilgili birçok çalışma yürütülmüştür [42-45].

Atatürk Baraj Gölü uzun yıllar Adıyaman şehir ve sanayi atık sularının etkisinde kalmıştır. 2016 yılına kadar Adıyaman şehir atık suları arıtılmaksızın Sitalce bölgesinden doğrudan baraj gölüne salınmaktaydı. Yine Adıyaman Organize Sanayi Bölgesi (OSB) atıkları da 2017 yılına kadar herhangi bir arıtmaya tabi tutulmadan Eğriçay aracılığıyla Sitalce'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 ilgili yapılan ilk çalışma olma özelliğindedir. Bu çalışma yine söz konusu atık su arıtma tesislerinden önce bu bölgede yapılan çalışmalarla [46,47] karşılaştırma yapma olanağı sunması bakımından da önemlidir.

Bu çalışmada Atatürk Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinden yakalanan sazan balıklarının dokularındaki kurşun, kadmiyum, krom demir, çinko ve bakır gibi metallerin düzeyleri ölçülmesi ve balık kaslarındaki metal düzeylerinin insan tüketimi için izin verilen ulusal ve uluslararası yasal sınırlarla karşılaştırarak insan sağlığı ve besin güvenirliliği açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Karadede ve ark. [48]; Atatürk Baraj Gölü'ndeki ağır metal kirlilik durumunu değerlendirmek için *Liza abu* ve *Silurus triostegus* balıklarının dokularındaki ağır metal düzeyini incelemişlerdir. Barajın Akpınar ve Bozyazı bölgelerinden alınan balıkların solungaç, karaciğer ve kas dokularında Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni ve Zn düzeylerini ölçmüşlerdir. Balıkların kas dokularındaki incelenen metallerin düzeyleri FAO tarafından izin verilen limitler dahilinde bulunmuştur.

Ozmen ve ark. [49]; Karakaya Baraj Gölü'ndeki su kirlilik durumu *Cyprinus carpio*'daki biyokimyasal belirteçleri kullanarak değerlendirmişlerdir. Karakaya Baraj Gölü'nün kentsel, endüstriyel ve tarımsal aktivitelerden kaynaklı kirleticilerden etkilenmektedir. Araştırmacılar 2001-2002 yılları arasında barajın farklı bölgelerinden sazan örnekleri almışlardır. Araştırma bölgeleri olarak Hasırcılar, Boran, Adagören, Eğribük ve Tecimli istasyonları seçilmiştir. Hasırcılar, Tohma çayı aracılığıyla endüstriyel atıkların baraja döküldüğü bölge; Boran, Malatya şehir atıksuları tarafından kirletilen bölge; Eğribük barajın başlangıç, Adagören ise barajın bitişine yakın bölge ve son olarak da Tecimli istasyonu kontrol bölgesi olarak seçilmiştir. Bu bölgelerden toplanan *C. carpio*'nun karaciğer dokusundaki glutatyon-s-transferaz, kaboksilasteraz, laktat dehidrojenaz, asit fosfataz ve aspartat aminotransferaz aktivitesi ölçülmüştür. Yapılan analizlerde Karakaya Barajının ağır metal kirliliğinin etkisi altında olduğu su ve sediment örneklerinde görülmüştür. Bu örneklerde Cu, Pb, Cd ve Mn birikimleri gözlenmiştir. Kontrol bölgesiyle karşılaştırıldığında diğer bölgelerde AChE enzim aktivitesindeki azalışlar barajın özellikle tarımsal aktiviteden kaynaklı kirletici etkisinde olduğunu göstermektedir.

Yılmaz ve ark. [50]; yaptıkları bir alan çalışmasında 1999 yılında Karakaya Baraj Gölü'nün Boran, Hasırcılar ve İmikuşağı bölgelerinde yakalanan *C. carpio*'nun karaciğer dokusunda çeşitli antioksidan enzim (katalaz, süperoksit dismutaz, glutatyon peroksidaz gibi) aktiviteleri üzerine kirliliğin etkilerini incelemişlerdir. İmikuşağı ve Boran bölgelerinde yakalanan balıklar ile karşılaştırıldığında Hasırcılar bölgesinde yakalanan balıklarının karaciğer dokusu süperoksit dismutaz aktivitesinde bir artış; katalaz ve glutatyon peroksidaz enzim aktivitelerinde ise bir azalış belirlenmiştir.

Çalışma sonuçları Karakaya Baraj Gölü'nün insan aktivitesinden kaynaklı kirleticilerden etkilendiğini göstermiştir.

Kulahci ve Dogru [51]; Keban Baraj Gölünün farklı lokasyonlarında 2003-2004 yıllarında 20 sediment ve 39 su örneği olarak Na, Ca, Mg ve K gibi major elementler, Zn, Cu, Fe ve Cr gibi ağır metaller ile Cs ve Sr gibi radyoaktif elementlerin düzeylerini ölçmüşlerdir. Çalışmada baraj gölünün su ve sedimentinde radyoaktif elementlerin varlığı ve ağır metal kirlilikleri belirlenmiştir.

Calta ve Canpolat [52]; Keban Baraj Gölü'nde ağır metal kirlilik düzeylerini değerlendirmek için 2004 yılında barajda yakalanan *Acanthobrama marmid*, *Cyprinus carpio* ve *Chondrostoma regium* balıklarının solungaç, karaciğer ve kas örneklerinde Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, Cr, Co ve Mn düzeylerini ölçmüşlerdir. İncelenen tüm balıklarda ve dokularında Co, Cr, Cd, Pb ve Mn düzeylerine rastlanmamıştır, sadece Cu, Fe ve Zn gibi metaller incelenen dokularda saptanmıştır. Balıkların dokularındaki ağır metal düzeylerinin FAO'nun izin verdiği limitlerin altında olduğu ve insan tüketimi açısından risk oluşturmadığı belirtilmiştir.

Barim ve Karatepe [53]; Keban Baraj Gölü'ndeki antropojenik aktiviteden kaynaklı kirliliği değerlendirmek için barajın kirli (Agin Bölgesi) ile temiz (Aydıncık Bölgesi) bölgelerinden 2007 yılında toplanan kerevitlerin (*Astacus leptodactylus*) hepatopankreas ve kas dokularındaki antioksidan vitaminler (A, E, C) ve oksidatif stres belirteci olan MDA düzeylerini ölçmüşlerdir. Temiz bölge ile karşılaştırıldığında barajın kirli bölgesindeki kerevitlerin dokularında düşük E ve C vitamini ve yüksek MDA düzeyi belirlenmiştir. Araştırmacılar kirliliğe bağlı olarak barajda yakalanan kerevitlerde oksidatif stresin olduğu ve barajın kirlilik yükünün belirli periyotlarla izlenmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Mol ve ark. [54]; insan sağlığı açısından Atatürk Baraj Gölü'ndeki çeşitli balık türlerinin (*C. carpio*, *Chalcalburnus mossulens*, *Capoeta trutta*, *Aspius vorax*, *Acanthobrama marmid*, *Carasobarbus luteus* ve *Silurus triostegus*) dokularındaki bazı metallerin (As, Hg, Cd, Pb, Cu ve Zn) düzeylerini araştırmışlardır. Balıklardaki metal düzeyleri As için 0,164-0,279 mg/kg; Pb için tespit edilememiş-0,236 mg/kg; Hg için tespit edilememiş-0,649 mg/kg; Cu için 0,101-2,785 mg/kg ve Zn için 10,27-19,74 mg/kg arasında bulunmuştur. İnsan sağlığı açısından Zn, Cu, As ve Cd düzeyleri

güvenilir bulunmuşken bazı balıklardaki Hg ve Pb düzeyinin risk teşkil ettiği belirtilmiştir. Araştırmacılar barajdaki balık örneklerindeki ağır metal düzeylerinin belirli aralıklarla izlenmesinin insan sağlığı açısından önemli olduğunu da vurgulamışlardır.

Güngördü ve Özmen [55]; yaptıkları çalışmalarında Karakaya Baraj Gölü'nün, farklı bölgelerinden alınan su örneklerinde Pb ve Cu düzeylerini saptamışlardır. Yine araştırmacılar barajın ekonomik olarak önemli bir balık türü olan *C. carpio*'da karaciğer EROD, GST, GR ile plazma ALT, AST ve LDH ve beyin AChE aktivitelerinde anlamlı değişimler belirlemişlerdir. Araştırmacılar, antropojenik aktiviteye bağlı olarak bu biyokimyasal belirteçlerde değişimlerin meydana geldiğini vurgulamışlardır.

Ural ve ark. [56]; Karakaya Baraj Gölü'nün su, sediment ve balık örneklerinde (*Squalus cephalus*, *Barbus esocinus*, *Barbus xanthopterus*) metal düzeylerini, barajın kirlilik yükünü belirlemek ve insan sağlığı açısından risk oluşturup oluşturmadığını saptamak için araştırmışlardır. Çalışmada su örneklerinde Cu, Zn, Fe saptanırken; Mn, Ni, Se, Cd ve Hg saptanmamıştır. Balıkların kas, karaciğer, solungaç ve gonadlarında Cu, Zn, Fe, Mn, Ni, Se, Cd ve Hg birikimleri belirlenmiştir. Araştırmacılar barajın kirlilik yükünün insan sağlığı açısından risk oluşturmadığını ancak belirli periyodlarla barajdaki kirlilik düzeylerinin izlenmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Fırat ve Alıcı [42]; Atatürk Baraj Gölü'nün Sitalce (arıtılmayan Adıyaman şehir ve sanayi atık suları tarafından kirletilen bölge) ve Samsat (görece olarak temiz bölge) bölgelerinde 2011 Ağustos ayında yakalanan *C. carpio*'nun kan dokusu biyokimyasal parametrelerindeki değişimleri belirlemişlerdir. Samsat bölgesi ile karşılaştırıldığında Sitalce bölgesi balıklarının serumundaki çeşitli enzim aktiviteleri (alkalen fosfataz, laktat dehidrojenaz, alanin aminotransferaz ve aspartat aminotransferaz) ile glukoz, kortizol ve potasyum düzeylerinin daha yüksek, bununla birlikte kolesterol, total protein, klor, sodyum ve kalsiyum düzeylerinin ise daha düşük olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar Atatürk Baraj Gölü'nün Adıyaman şehir ve sanayi atık sularından olumsuz etkilendiğini belirtmişlerdir.

Danabas ve Ural [57]; Keban Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinden alınan *Capoetta trutta*'nın dokularında Cu, Zn, Se, Cr ve Cd düzeylerini araştırmışlardır. Bu amaçla baraj gölünde farklı özelliklere sahip 4 bölge belirlemişlerdir; Pertek, Koçkale,

Gülüskür ve Agin istasyonları. Bunlardan Pertek ve Koçkale, Elazığ ve Tunceli illerinin evsel ve tarımsal atık sular tarafından kirletilen bölge. Gülüskür, atıksu arıtma tesisine sahip olmayan krom fabrikası tarafından kirletilen bölge ve Agin ise göreceli olarak temiz bölge olarak dikkate alınmıştır. Çalışmada Agin bölgesiyle karşılaştırıldığında Pertek, Koçkale ve Gülüskür bölgelerinden yakalanan *C. trutta*'nın dokularında daha yüksek ağır metal düzeyleri gözlenmiştir. Türk Gıda Koteksine göre izin verilen limitlerle karşılaştırıldığında Gülüskür bölgesi balıkların kas dokusundaki Zn düzeylerinin bu limit değerlerin üzerinde olduğu ve insan sağlığı için önemli riskler oluşturduğu belirlenmiştir. Yine Pertek, Koçkale ve Gülüskür balık kas Cd düzeyleri de yasal limitlerin üzerinde bulunmuştur.

Karadag ve ark. [43]; Atatürk Baraj Gölü'nün kuzey bölgesinde bulunan Adıyaman şehrinin evsel, endüstriyel ve tarımsal atıksuları tarafından kirletilen Atatürk Baraj Gölündeki kirliliği değerlendirmek için *C. carpio*'nun kan dokusundaki antioksidan enzim aktivitelerini araştırmışlardır. Balık örnekleri 2012'nin Ağustos ayında baraj gölünün göreceli olarak temiz olan bölgesi Samsat ile atıksular tarafından kirletilen Sitalce bölgesinden alınmıştır. Samsat bölgesi ile karşılaştırıldığında Sitalce bölgesi balıklarında süperoksit dismutaz enzim aktivitesinin ve glutatyon düzeylerinin azaldığı, katalaz enzim aktivitesinin ve MDA düzeyinin ise arttığı belirlenmiştir. Araştırmada kirleticilerin etkisinde Sitalce bölgesindeki balıklarda oksidatif stresin oluştuğunu ve oksidatif stres biyobelirteçlerinin, baraj gölünde yaşayan organizmalar üzerine, Adıyaman şehir atıksuların etkilerini değerlendirmede önemli birer belirteç olabileceği rapor edilmiştir.

Aksu ve ark. [58]; Keban Barajı Gölü'ndeki ağır metal kirlilik durumunun belirlenmesi için çevresel kirliliğin iyi bir biyoindikatör türü olan kerevit (*Astacus leptodactylus*)'taki metal düzeylerini araştırmışlardır. 2006-2012 yılları arasında baraj gölünde toplanan kerevitlerin kas dokusundaki As, Cd, Cu, Hg, Pb ve Zn düzeyleri belirlenmiştir. Kerevit dokularında metal düzeyleri saptanmasına rağmen bu düzeylerin Türk Gıda Koteksine göre izin verilen maksimum limitlerin altında olduğu saptanmıştır.

Eroğlu ve ark. [59]; 2008-2009 yılları arasında Karakaya Baraj Gölü'nden alınan su ve *C. trutta*'da Cu, Fe, Zn, Cd ve Cr düzeylerini araştırmışlardır. Suda Cu

(0,01 ppm), Fe (0,04 ppm) ve Zn (0,007 ppm) belirlenmiştir. Bu değerler USEPA'nın izin verdiği maksimum limitler olan Cu için 0,013 ppm; Fe için 1 ppm ve Zn için 0,12 ppm değerlerinin altındadır. Çalışmada *C. trutta*'nın kas dokusundaki Cu, Fe ve Zn düzeyler sırasıyla; 0,34- 0,92; 10,67- 38,36 ve 7- 27,88 mg/kg aralıklarında olup EPA'nın izin verilen maksimum limitler olan Cu için 54 mg/kg; Fe için 410 mg/kg ve Zn için 410 mg/kg değerlerinin altında olup insanlar için risk oluşturmayan değerlerde olduğu belirtilmiştir.

Fırat [46]; Atatürk Baraj Gölü'ndeki üç farklı balık türlerindeki ağır metal düzeylerini insan sağlığı ile ilişkisini incelediği çalışmasında, Adıyaman şehir ve sanayi atık suları tarafından kirletilen Sitalce ve görece olarak temiz bölge olan Samsat bölgelerinden alınan *C. carpio*, *C. trutta* ve *Liza abu* türü balıkların solungaç, karaciğer ve kas dokularındaki Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Pb, Cr, Co ve Ni düzeyleri ölçülmüştür. Metal düzeylerinin örnekleme bölgelerinden etkilendiği ve Sitalce balık örneklerindeki ağır metal düzeylerinin Samsat örneklerindeki oranla anlamlı olacak şekilde yüksek olduğu belirlenmiştir. Araştırmacı Adıyaman şehir ve sanayi atık sularının arıtılmaksızın baraja döküldüğü Sitalce bölgesinin ağır metal kirliliğinden oldukça etkilendiğini ve bu nedenle atık su arıtma tesislerinin yapılarak barajın ağır metal ve diğer kirlilik yüklerinin azaltılmasının ekosistemin geleceği ve insan sağlığı açısından elzem olduğunu vurgulamıştır.

Şahin ve ark. [60]; Karaya Baraj Gölü'nde kirlilikten etkilenen Battalgazi ve göreceli olarak temiz bölge olarak seçilen Arguvan bölgelerinde yakalanan *Unio elongatulus eucirrus* tatlısu midyelerinde Fe, Co, Cd, Zn, Ni, Cu, As, Pb, Mn ve Cr gibi ağır metal birikimini araştırmışlardır. Çalışmada kirli bölge olan Battalgazi bölgesi midyelerinin kaslarındaki kurşun düzeyinin Arguvan bölgesindekilerle karşılaştırıldığında istatistiksel olarak yüksek olduğu belirlenmiştir. Battalgazi bölgesi midyelerinin kas dokusu ağır metal düzeyleri $As > Cd > Fe > Mn > Pb > Cr > Co > Ni > Cu > Zn$ şeklinde bulunmuştur. Her iki bölgeden örneklenen midyelerin kas dokularındaki metal düzeylerinin yasal olarak izin verilen limitler içinde olduğu belirlenmiştir.

Alkan Uçkun [44]; Atatürk Baraj Gölündeki pestisit kirliliği ve ekotoksikolojik etkilerini değerlendirdiği çalışmasında, 2013-2014 yılları arasında

barajın 6 farklı bölgesinden su, sediment ve *C. carpio* örnekleri almıştır. Çalışmada barajın Kahta, Oluklu, Samsat, Sitalce, Akyazı ve Bozova bölgelerinden örnekler alınmıştır. Su örneklerinde pestisit kalıntısına rastlanmamakla birlikte sediment ve balık örneklerinde organoklorlu pestisitlere rastlanılmıştır. Bu pestisitlerin düzeyleri barajın Akyazı ve Bozova bölgelerinde daha yüksek bulunmuştur. Çalışmada baraj gölünde Dieldrin, p,p'- DDE; p,p'-DDD; o,p'- DDD; o,p'-DDT ve p,p'-DDT gibi organoklorlu pestisitler belirlenmiştir. Baraj gölünün kirliliğinin değerlendirilmesi için *C. carpio*'nun karaciğer dokusu EROD, GST, GR, CAT, SOD ve CaE gibi biyobelirteç enzim aktiviteleri ölçülmüştür. Barajın özellikle Adıyaman şehir atıksularından etkilenen Sitalce bölgesi ile Şanlıurfa iline ait Akyazı ve Bozova bölgelerinde bu enzim aktivitelerinin antropojenik aktiviteye bağlı olarak daha yüksek bulunmuştur. Araştırmacı özellikle de tarımsal aktivitelere bağlı olarak baraja karışan pestisit kirliliğinin balıklarda biyokimyasal toksisiteye ve biyobirikime neden olduğunu ve pestisit kirliliğini belirli aralıklarla izlenmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Varol ve Sünbül [61]; Keban Baraj Gölü'nün kentsel, tarımsal ve sanayi atıklarıyla kirlenen 11 farklı bölgesinden 2014-2015 yılları arasında yakalanan midye (*Unio elongatulus eucirrus*) ve kerevit (*Astacus leptodactylus*)'ta metal düzeylerini araştırmışlardır. Antropojenik aktivitenin yoğun olduğu bölgelerden toplanan kerevit ve özellikle de midye örneklerinde temiz bölge ile karşılaştırıldığında Cd, Ni, Cr, Fe, Zn ve Cu gibi metallerin düzeyleri anlamlı olacak şekilde yüksek bulunmuştur. Araştırmacılar ekosistemin geleceği ve insan sağlığı açısından barajdaki kirliliğin devamlı izlenmesi gerektiğini çünkü midye ve kerevitin daha yüksek trofik düzeydeki canlılara ağır metallerin potansiyel taşıyıcısı olabileceğini belirtmişlerdir.

Kaya ve Turkoglu [62]; 2016 yılının Ocak-Şubat aylarında Keban Baraj Gölü'nün Pertek bölgesinde yakalanan *C. carpio*, *Carassius gibelio* ve *Luciobarbus esocinus* balıklarının dokularındaki Hg, Ni, Pb, Cd, As, Mn, Cr ve Co düzeyleri ulusal ve uluslararası maksimum limitler ile karşılaştırarak insanların besin olarak tüketimi açısından balıkların risk oluşturup oluşturmadığını araştırmışlardır. Balıkların kas dokusu Cr düzeylerinin FAO ve WHO ile Pb düzeylerinin ise Türk Gıda Kodeksine göre yüksek olduğu ve balık tüketiminin yöre halkı için risk oluşturduğu belirlenmiştir.

Fırat ve ark. [47]; Atatürk Baraj Gölü'nün Adıyaman şehrinin arıtılmayan atık suları tarafından kirliliğe maruz kalan Sitalce bölgesi ile göreceli olarak temiz olan Samsat bölgesinde örneklenen 4 farklı balık türündeki ağır metal düzeyleri insan sağlığı açısından değerlendirmişlerdir. Bu amaçla balıkların karaciğer, solungaç ve kas dokusundaki Pb, Cd, Cr, Fe, Zn ve Cu miktarları belirlenmiştir. İncelenen tüm balıklarda dokulardaki metal düzeylerinin Samsat bölgesine oranla Sitalce bölgesinde örneklendirilenlerde daha yüksek olduğu bulunmuştur. Samsat ve Sitalce bölgesindeki balıkların kas dokularındaki en yüksek metal miktarları sırasıyla; Cu için 0,18 ve 0,75 µg/g; Zn için 7,42 ve 22,58 µg/g; Fe için 7,22 ve 27,11 µg/g; Cd için saptanamadı ve 0,09 µg/g; Pb için saptanamadı ve 0,29 µg/g, Cr için saptanamadı ve 0,13 µg/g olarak saptanmıştır. Çalışmada baraj gölünün Adıyaman şehrinden gelen arıtılmayan atık sulardan ciddi bir şekilde etkilendiği bununla birlikte örneklenen balıkların kas dokularındaki ağır metal düzeylerinin yasal limitlerin altında olduğu vurgulanmıştır.

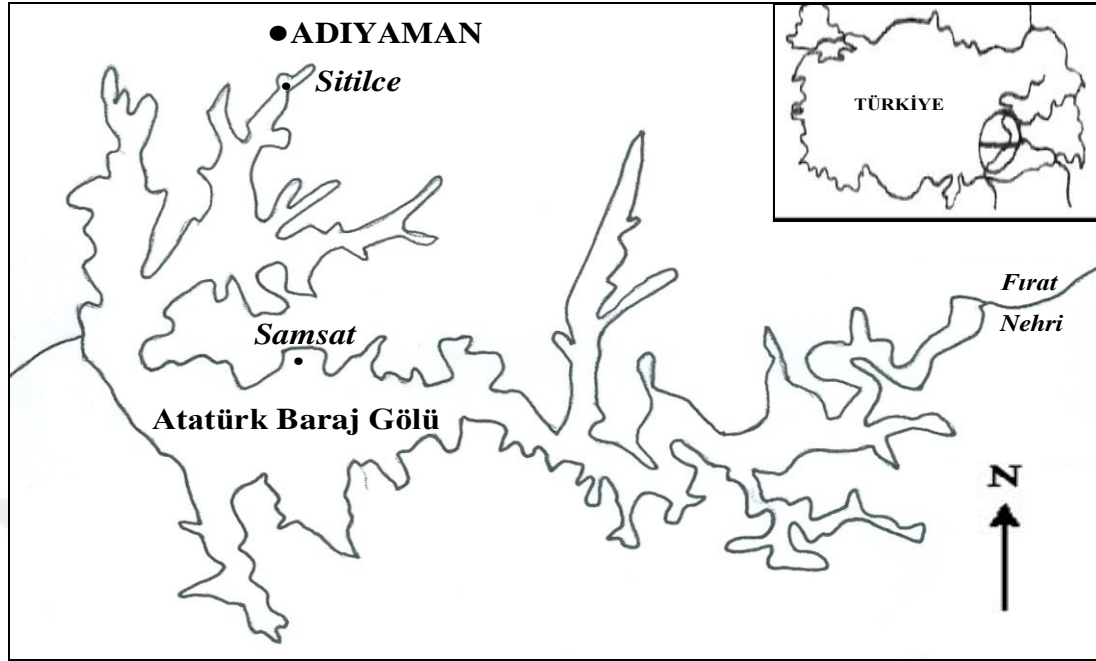
3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada araştırma materyali olarak Türkiye’de barajları da içeren tatlı sularda oldukça yaygın olarak bulunan ve insanların önemli besin kaynaklarından biri olan *C. carpio* kullanılmıştır (Şekil 3.1). 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, Ek-1). 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, Ek-2).



Şekil 3.1. *C. carpio*

Balıklar baraj gölünün farklı bölgelerinden alınmıştır. Bu amaçla barajda iki farklı bölge seçilmiştir. Bu bölgelerin belirlenmesinde daha önceki çalışmalar dikkate alınmıştır [42,46,47]. Barajda örnekleme alanları olarak Sitalce ve Samsat bölgeleri seçilmiştir. Sitalce 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 3.2).



Şekil 3.2. Atatürk Baraj Gölü'nde balıkların örneklendiği Sıtlıce ve Samsat çalışma bölgeleri [47].

Barajın çalışma bölgelerinin her biri için 10 adet *C. carpio* alınmış ve araştırma toplamda 20 adet balıkla yürütülmüştür. Her iki bölgeden balıkların örneklendirilmesinde aynı profesyonel balıkçı kullanılmıştır. Balıkların temininde 80-130 mm göze genişliğindeki ve 200 m uzunluktaki ağlar kullanılmış olup bu ağlar çalışma bölgelerine akşam saat 20:00'de atılmış ve sabah 06:00'da toplanmıştır. 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) anestezik 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. Laboratuvarda balıkların boy (cm) ve ağırlıkları (g) alındıktan (Çizelge 3.1) sonra steril aletlerle disekte edilerek solungaç, karaciğer ve kas dokuları alınmıştır.

Çizelge 3.1. Atatürk Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinden örneklenen *C. carpio*'nun boy ve ağırlıkları

Bölge	Total Boy (cm)*	Ağırlık (g)*
Sitilce	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 uygulanmıştır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Doku örnekleri için mikrodalga çözünürleştirme koşulları

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

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 cihazının çalışma koşulları ile ilgili olarak detaylı bilgiler Çizelge 3.3'te verilmiştir. Standart çözeltilerin kullanılması ile cihazın kalibrasyonu sağlanmıştır. Örneklerdeki her bir metal için üç kez ölçüm yapılmış ve ortalamaları alınmıştır.

Çizelge 3.3. ICP-MS cihazının çalışma koşulları

Bileşen / Parametre	Tip / Değer / Mod
Nebulizatör	Meinhard (Konsentrik)
Püskürtme Bölmesi	Cam Siklonik
Üçlü Koni Arayüz Malzemesi	Nikel
Plazma Gaz Akışı	18,0 L/dakika
Yardımcı Gaz Akışı	1,2 L/dakika
Nebulizatör Gaz Akışı	0,73 L/dakika
Numune Alma Oranı	1 mL/dakika
RF Gücü	1500 W
Numune Başına Tekrar Sayısı	3
Çalışma Modu	STD/KED Mod

Standart referans materyal olarak NBS DORM-2 (*Squalus acanthias* kas dokusu, National Research Council of Canada) kullanılmış [47] ve böylelikle analitik prosedürlerin doğruluğu test edilmiştir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Standart referans materyaldeki metal düzeyleri ($\mu\text{g/g}$)

Metal	Referans Değerler*	Ölçülen Değerler*	Geri Kazanım (%)
Pb	0,065 \pm 0,007	0,068 \pm 0,007	105
Cd	0,043 \pm 0,008	0,044 \pm 0,008	102
Cr	34,7 \pm 5,5	35,6 \pm 5,7	103
Cu	2,34 \pm 0,16	2,29 \pm 0,19	98
Zn	26,6 \pm 2,3	27,4 \pm 2,15	103
Fe	142 \pm 10	136 \pm 12	96

*: Aritmetik ortalama \pm 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.



4. BULGULAR

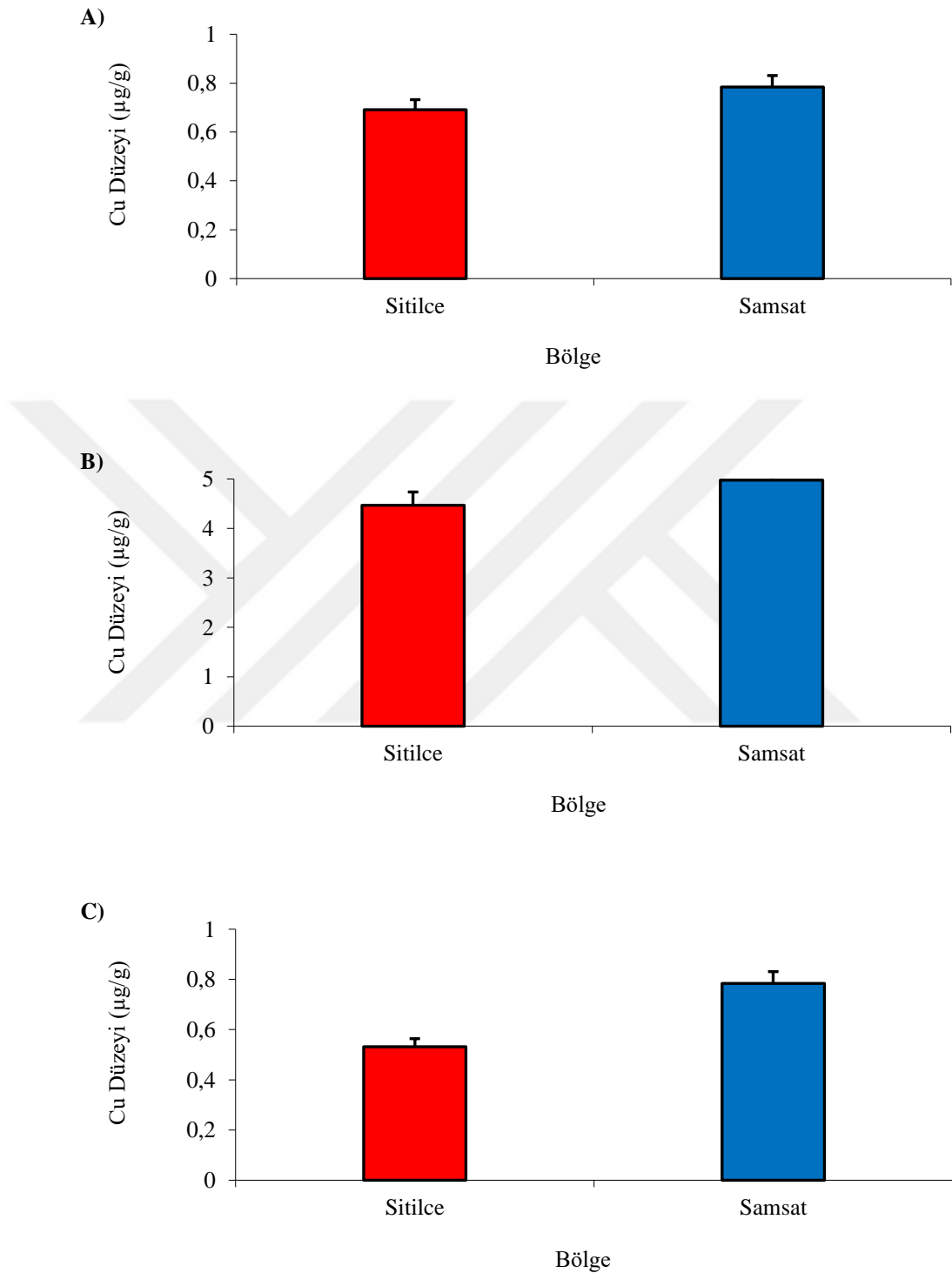
4.1. Cu Düzeyi

Atatürk Baraj Gölü'nün iki farklı bölgesinde yakalanan *C. carpio*'nun karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki Cu düzeyleri Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1'de verilmiştir. 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 ($P>0,05$).

Çizelge 4.1. Atatürk Baraj Gölü'nde yakalanan *C. carpio*'nun dokularındaki Cu düzeyleri ($\mu\text{g/g}$ yaş ağırlık)

Dokular	Sitalce	Samsat
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

Veriler aritmetik ortalama \pm standart hata şeklinde verilmiştir. "a ve b" harfleri dokular, "x ve y" harfleri ise istasyonlar arasındaki ayırımı göstermek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harfler $P<0,05$ düzeyindeki istatistiksel ayırımı ifade etmektedir.



Şekil 4. 1. Atatürk Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinde yakalanan *C. carpio*'nun solungaç (A), karaciğer (B) ve kas (C) dokularındaki Cu düzeyi

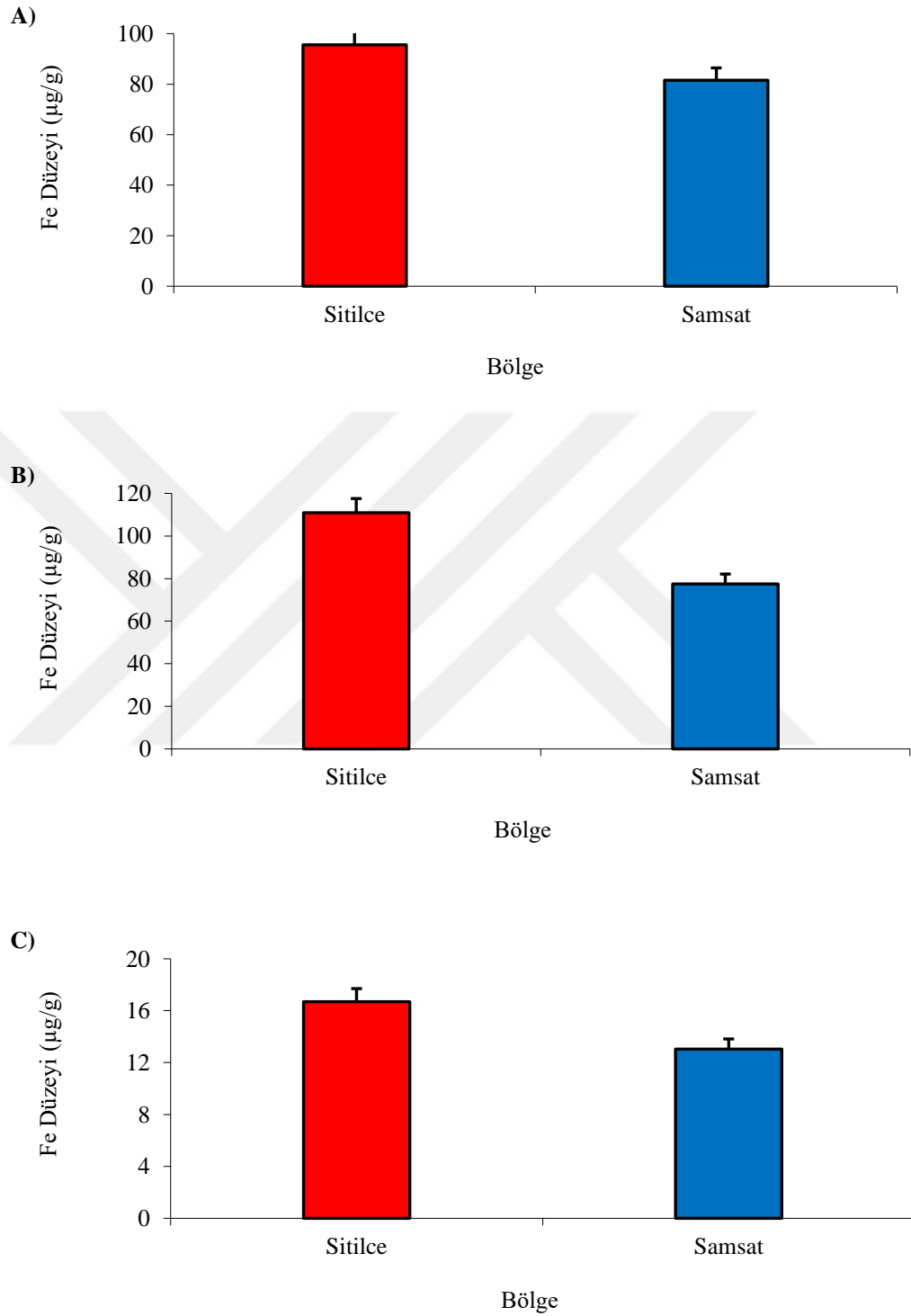
4.2. Fe Düzeyi

Atatürk Baraj Gölü'nün Sitalce ve Samsat bölgesinde yakalanan *C. carpio*'nun karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki Fe düzeyleri Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2'de verilmiştir. Fe, baraj gölünün her iki bölgesinde de en fazla solungaç ve karaciğerde, en az ise kas dokusunda birikim göstermiştir ($P<0,05$). Kas dokusuyla karşılaştırıldığından solungaç ve karaciğer dokularındaki metal düzeyinin yaklaşık olarak 5-7 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Her iki bölgede yakalanan balıklardaki Fe birikiminin solungaç ve karaciğer dokuları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ayrım göstermediği saptanmıştır ($P>0,05$). Çalışılan bölgeler karşılaştırıldığında da incelenen dokulardaki Fe birikiminin sadece karaciğerde Sitalce ve Samsat bölgeleri arasında önemli bir istatistiksel ayrım gösterdiği ve Sitalce bölgesi balıklarında daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($P<0,05$). Sitalce bölgesi balıklarının karaciğer dokusu Fe düzeylerinin Samsat bölgesindekilere oranla yaklaşık %43 daha yüksek olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2. Atatürk Baraj Gölü'nde yakalanan *C. carpio*'nun dokularındaki Fe düzeyleri ($\mu\text{g/g}$ yaş ağırlık)

Dokular	Sitalce	Samsat
Solungaç	96,59±10,10 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 ve b" harfleri dokular, "x ve y" harfleri ise istasyonlar arasındaki ayrımı göstermek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harfler $P<0,05$ düzeyindeki istatistiksel ayrımı ifade etmektedir.



Şekil 4. 2. Atatürk Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinde yakalanan *C. carpio*'nun solungaç (A), karaciğer (B) ve kas (C) dokularındaki Fe düzeyi

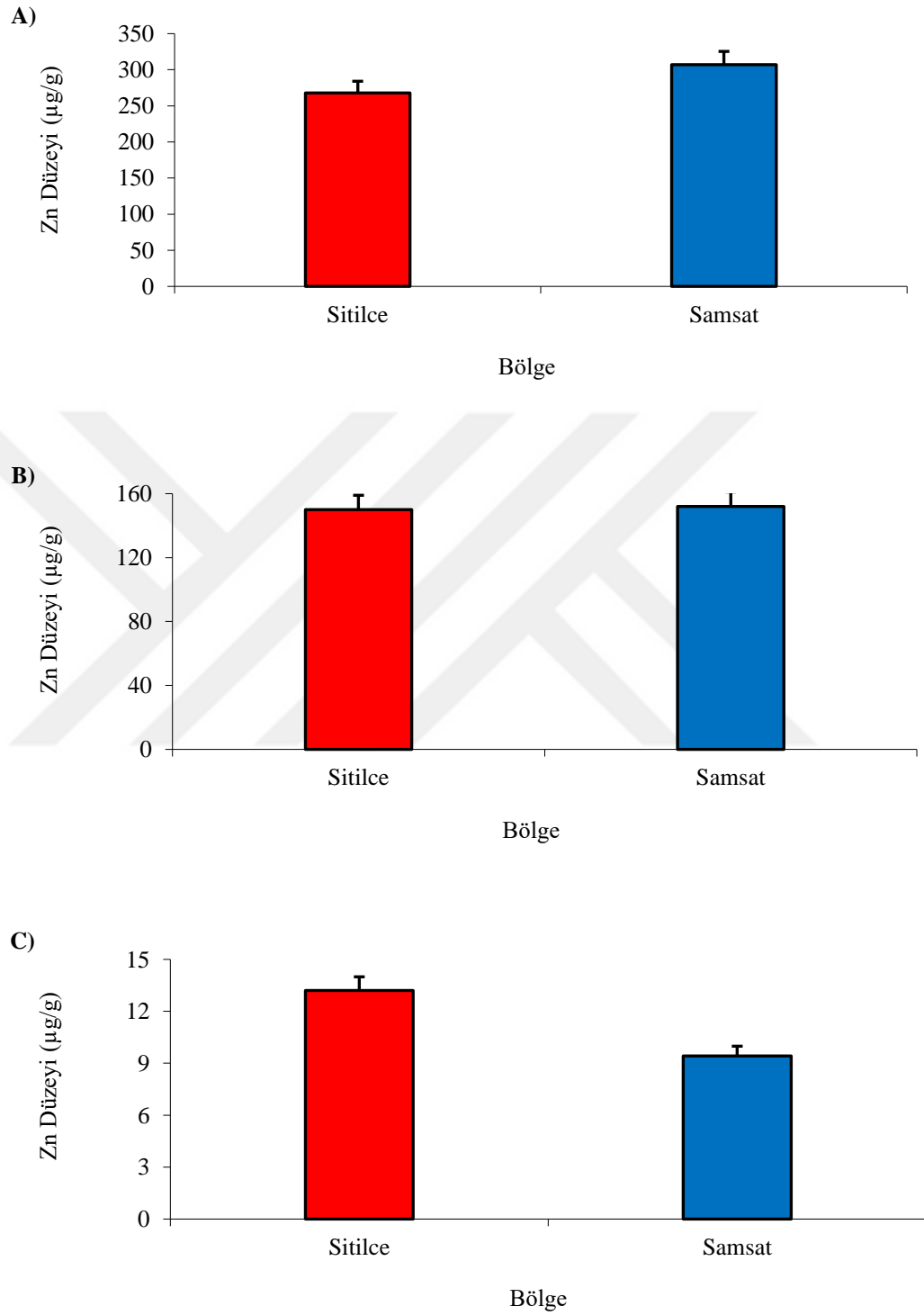
4.3. Zn Düzeyi

Atatürk Baraj Gölü'nün iki farklı bölgesinde yakalanan *C. carpio*'nun karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki Zn düzeyleri Çizelge 4.3 ve Şekil 4.3'te verilmiştir. 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 ayrım göstermiştir ($P < 0,05$). Çalışılan bölgeler karşılaştırıldığında ise incelenen tüm dokulardaki Zn birikiminin her iki bölge arasında anlamlı bir istatistiksel ayrım göstermediği belirlenmiştir ($P > 0,05$).

Çizelge 4.3. Atatürk Baraj Gölü'nde yakalanan *C. carpio*'nun dokularındaki Zn düzeyleri ($\mu\text{g/g}$ yaş ağırlık)

Dokular	Sitalce	Samsat
Solungaç	228±7,43 ax	235±6,17 ax
Karaciğer	150±9,57 bx	152±5,49 bx
Kas	13,20±2,70 cx	9,42±0,89 cx

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.



Şekil 4. 3. Atatürk Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinde yakalanan *C. carpio*'nun solungaç (A), karaciğer (B) ve kas (C) dokularındaki Zn düzeyi

4.4. Pb Düzeyi

Atatürk Baraj Gölü'nün her iki çalışma bölgesinde yakalanan *C. carpio*'nun karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki Pb düzeyleri Çizelge 4.4'te verilmiştir. Hem Sitalce hem de Samsat bölgesi balıklarının incelenen tüm dokularında Pb düzeyleri tespit edilememiştir.

Çizelge 4.4. Atatürk Baraj Gölü'nde yakalanan *C. carpio*'nun dokularındaki Pb düzeyleri ($\mu\text{g/g}$ yaş ağırlık)

Dokular	Sitalce	Samsat
Solungaç	TE	TE
Karaciğer	TE	TE
Kas	TE	TE

TE: Tespit Edilememiştir.

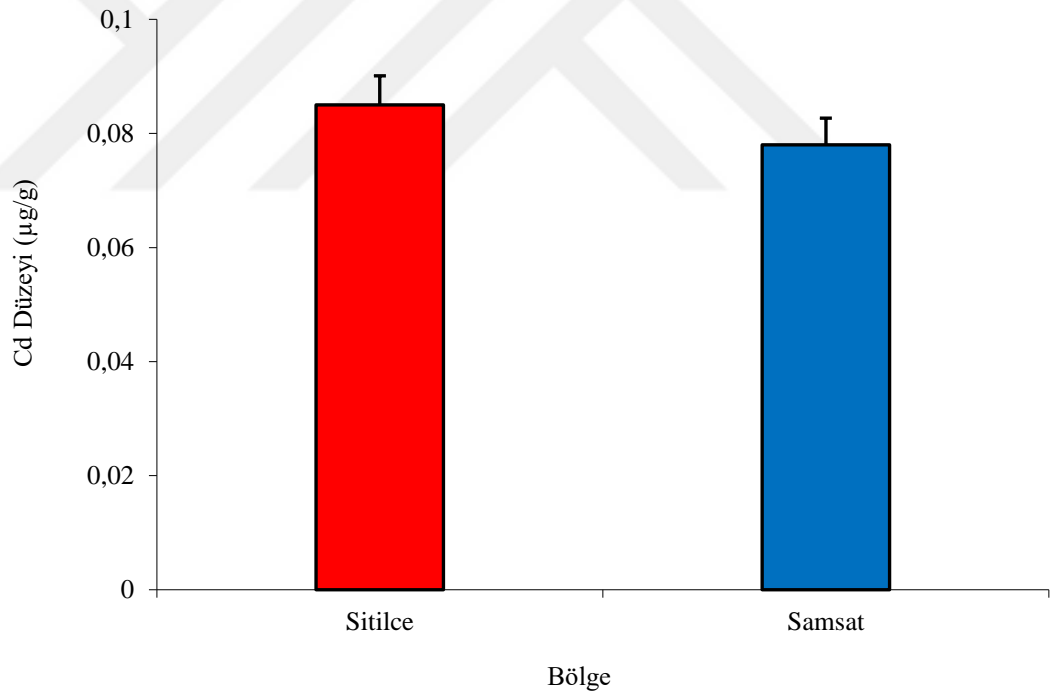
4.5. Cd Düzeyi

Atatürk Baraj Gölü'nün Sitalce ve Samsat bölgesinde yakalanan *C. carpio*'nun karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki Cd düzeyleri Çizelge 4.5'te ve Şekil 4.4'te verilmiştir. Baraj gölünün her iki bölgesindeki balıkların karaciğer dokusunda Cd birikimi belirlenmişken solungaç ve kas dokularında metalin düzeyleri tespit edilememiştir. Karaciğerde Cd Sitalce bölgesindeki balıklarda $0,085 \mu\text{g/g}$, Samsat bölgesindekilerde ise $0,078 \mu\text{g/g}$ olarak bulunmuş olup metal düzeyi yönünden bölgeler arasında anlamlı bir istatistiksel ayırım saptanmamıştır ($P>0,05$).

Çizelge 4.5. Atatürk Baraj Gölü'nde yakalanan *C. carpio*'nun dokularındaki Cd düzeyleri ($\mu\text{g/g}$ yaş ağırlık)

Dokular	Sitilce	Samsat
Solungaç	TE	TE
Karaciğer	0,085 \pm 0,033 x	0,078 \pm 0,030 x
Kas	TE	TE

Veriler aritmetik ortalama \pm standart hata şeklinde verilmiştir “**x**” harfleri ise istasyonlar arasındaki ayrımı göstermek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harfler $P < 0,05$ düzeyindeki istatistiksel ayrımı ifade etmektedir. TE: Tespit Edilememiştir



Şekil 4. 4. Atatürk Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinde yakalanan *C. carpio*'nun karaciğer dokusundaki Cd düzeyi

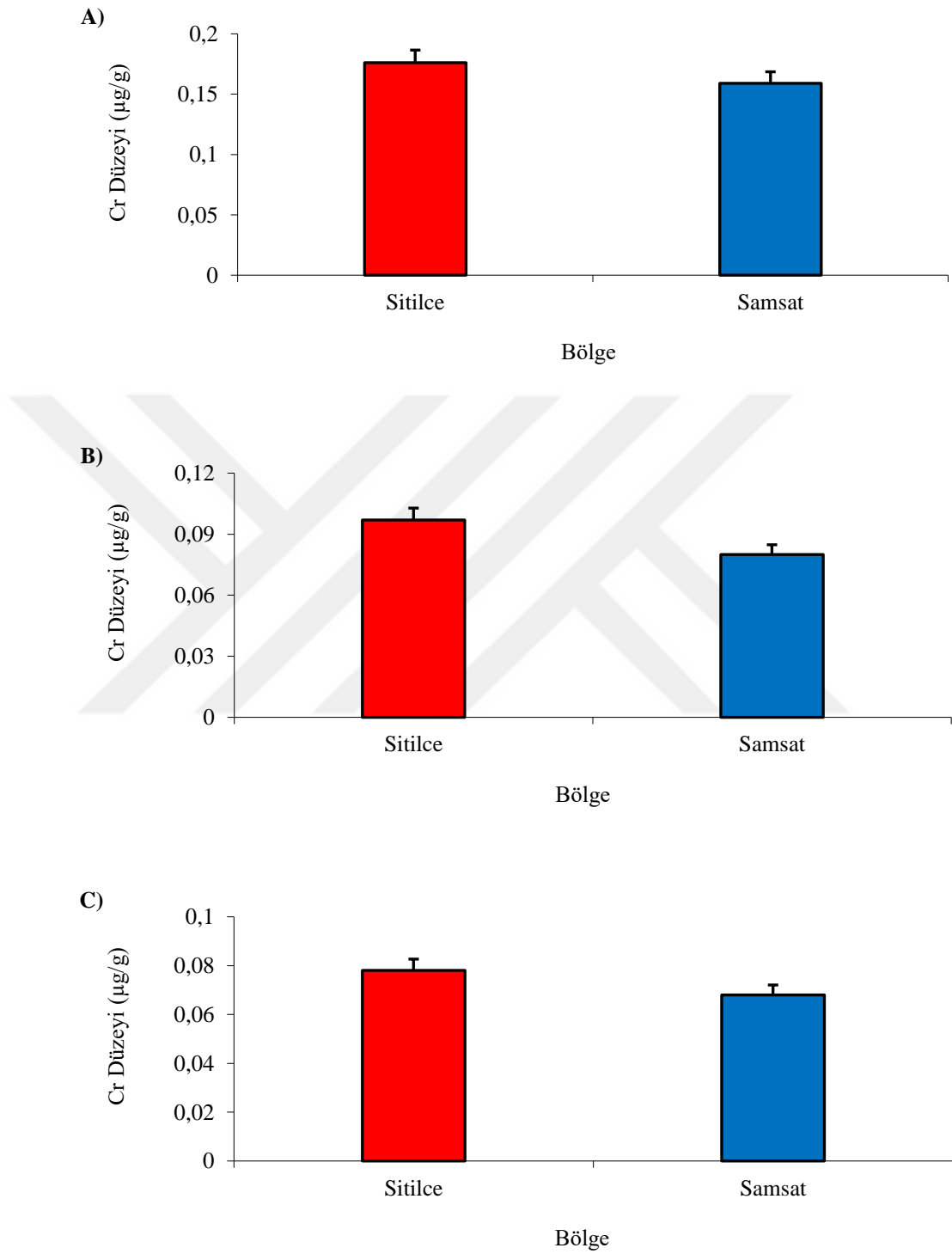
4.6. Cr Düzeyi

Atatürk Baraj Gölü'nün iki farklı bölgesinde yakalanan *C. carpio*'nun karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki Cr düzeyleri Çizelge 4.6 ve Şekil 4.5'te verilmiştir. Hem Sitalce hem de Samsat bölgelerinde Cr en fazla solungaç sonra karaciğerde ve kas dokularında birikim göstermiştir. Solungaç dokusundaki metal düzeyinin diğer iki dokuya göre istatistiksel olarak önemli ($P<0,05$) ve yaklaşık olarak da 2 kat daha fazla olduğu saptanmıştır. Karaciğer ve kas dokularındaki Cr birikimi istatistiksel olarak önemli bir ayrım göstermemiştir ($P>0,05$). Çalışılan bölgeler karşılaştırıldığında da incelenen her üç dokudaki Cr birikiminin Sitalce ve Samsat bölgeleri arasında anlamlı bir istatistiksel ayrım göstermediği belirlenmiştir ($P>0,05$).

Çizelge 4.6. Atatürk Baraj Gölü'nde yakalanan *C. carpio*'nun dokularındaki Cr düzeyleri ($\mu\text{g/g}$ yaş ağırlık)

Dokular	Sitalce	Samsat
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

Veriler aritmetik ortalama \pm standart hata şeklinde verilmiştir. "a ve b" harfleri dokular, "x" harfleri ise istasyonlar arasındaki ayrımı göstermek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harfler $P<0,05$ düzeyindeki istatistiksel ayrımı ifade etmektedir.



Şekil 4. 5. Atatürk Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinde yakalanan *C. carpio*'nun solungaç (A), karaciğer (B) ve kas (C) dokularındaki Cr düzeyi

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Doğal ve antropojenik aktiviteden kaynaklı kirleticiler sürekli olarak su ekosistemlerine girmekte ve düzeyleri her geçen gün artmaktadır. Günümüzde tatlı suların çok çeşitli kirleticilerle kirlenmesi, yalnızca insanların içme amaçlı temiz su kaynaklarına yönelik tehdit değil, aynı zamanda su yaşamına verilen zarar için de büyük bir endişe konusu haline gelmiştir. Bu nedenle sudaki metaller ile ilgili çalışmalar dünya çapında artan ilgi görmekte ve literatürde bununla ilgili birçok yayın bulunmaktadır.

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 [63]. Ağır metaller sucul organizmalarda ve onlarla beslenen canlılarda toksisiteleri, uzun süre kalıcılıkları, biyolojik birikimleri nedeniyle ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Balıklar, sucul ortamların metal seviyelerini belirlemek için uzun süredir biyoindikatör türler olarak kullanılmaktadır [64]. 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 [41]. Bu balıkların birçoğu yöre halkının besin kaynağını oluşturduğu gibi bazı türleri ise sadece Fırat Nehri'ne endemik olan türlerdir. Bu nedenle barajın kirlilik durumunun belirlenmesi ve belirli aralıklarla takip edilmesi hem balıkların hem de insanların sağlığı açısından önemlidir.

C. carpio, Türkiye'nin balıkçılık faaliyetlerinde önemli bir yere sahiptir ve göl, gölet ve baraj gölü gibi tatlı su ekosistemlerimizde yaygın bir yayılış göstermekte olup iç pazarımızda önemli bir ticari potansiyeli bulunmaktadır [65]. Yine Dünyada da alabalıklarla birlikte en fazla ticari öneme sahip balık türlerinden biridir. *C. carpio*, en önemli cyprinid türlerinden biri olup dünya çapında tatlı su yetiştiriciliği üretiminin %10'unu oluşturmaktadır [66]. Sunulan çalışmada da Atatürk Baraj Gölü'nde oldukça bol bulunan ve yöre halkının da birinci dereceden besinini oluşturması nedeniyle *C. carpio* araştırma materyali olarak seçilmiştir.

Balıklar sudaki besin zincirinin en üstünde bulunan canlılar olup yaşadıkları ortamın kirliliğinden hem doğrudan hem de beslenmeye bağlı olarak dolaylı olarak etkilenebilmektedir. Çeşitli kaynaklardan su ortamlarına giren ağır metaller balıkları da içeren akuatik organizmalar tarafından alınmakta ve kan yoluyla organ ve dokulara dağılmakta ve bu yapılarda birikim göstermektedir. Balık solungaçları suda çözülmüş metallerin alınmasında en önemli organdır. Solungaçlar bir solunum organı olarak oksijenin alınıp karbondioksitin verilmesinde ve iyon dengesinde hayati bir rol oynamaktadır. Suda havaya göre az bulunan çözülmüş oksijenden fazla miktarlarda yararlanmak için solungaç yüzeyinin geniş bir alan oluşturması gibi adaptasyonları metallerin alınımını da kolaylaştırmaktadır [67]. Bu da solungaçları, sudaki kirleticilerin doğrudan hedefi haline getirmektedir. Toksik maddelerin dönüştürülmesinden, depolanmasından ve detoksifikasyonundan sorumlu ana organ karaciğerdir. Karaciğer, eser element metabolizmasında önemli bir rol oynar ve metallerin biriktiği esas organdır. Bu nedenle, karaciğer dokusunun analizi, su ekosistemindeki toksik element maruziyeti ve biyobirikiminin değerlendirilmesine ilişkin olarak çok yararlı bilgiler sağlayabilmektedir [68]. Kas, biyobirikim için bir hedef organ değildir, ancak insanlar tarafından tüketilen ana kısım olduğundan, kirleticilerin konsantrasyonlarını belirlemek ve sağlık risklerini değerlendirmek için yaygın olarak analiz edilir [69]. Çalışma bulgularımız Atatürk Baraj Gölü su ekosisteminde toksik ve eser elementlerin biyolojik olarak izlenmesi için solungaç, karaciğer ve kas gibi balık dokularının kullanılmasının potansiyel uygulanabilirliğini göstermiştir.

Sunulan çalışmada Atatürk Baraj Gölü'nün Sitalce ve Samsat bölgelerinden örneklenen *C. carpio*'nun solungaç, karaciğer ve kas dokularında Cu, Zn, Fe ve Cr'nin biriktiği tespit edilmiştir. Çalışmamızla benzer şekilde Mert ve ark. [70] 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 metallere göre daha yüksek bulmuşlardır. Araştırmamızda balık dokularında tespit edilen metallerin düzeylerinin 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 [46], Atatürk Baraj Gölü'nün Sitalce ve Samsat bölgelerinde örneklenen *C. carpio*, *C. 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 uyumlu 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 [47]. Bu nedenle sunulan çalışmada da metallerin daha yüksek düzeylerde bu dokularda birikmiş olması şaşırtıcı değildir. Yine Alhas ve ark. [71] Atatürk Baraj Gölü'nde; Gümüş ve Akköz [72] ise Eber Gölü'nde yaptıkları çalışmalarda metallerin balıkların kas dokusuna oranla solungaç ve karaciğer dokularında daha fazla biriktiğini belirtmişlerdir.

Baraj gölünün Sitalce ve Samsat bölgelerinde yakalanan *C. carpio*'nun dokularındaki metal düzeyleri solungaçta $Zn > Fe > Cu > Cr$; karaciğerde $Zn > Fe > Cu > Cr > Cd$ iken kas dokusunda $Fe > Zn > Cu > Cr$ şeklinde olduğu belirlenmiştir. Genel olarak her üç dokuda da Zn ve Fe en yüksek düzeylerde Cr ise en az düzeyde birikim göstermiştir. Çalışmamızla benzer olarak Töre ve ark. [14] Dicle Nehri'nde yakalanan farklı balık türlerinin solungaç ve kas dokusundaki toksik metal seviyelerini ölçtükleri çalışmalarında dokularda en fazla birikim gösteren metallerin Fe ve Zn olduğunu ve metallerin genel olarak birikim düzeylerinin $Fe > Zn > Cu > Cr > Pb > Cd$ şeklinde olduğunu rapor etmişlerdir. Araştırmacılar kas dokusunda en yüksek metal düzeylerini Fe, Zn, Cu ve Cr için sırasıyla 175,88; 22,34; 2,81 ve 1,68 µg/g olarak bulmuşlardır. Bu sonuçlar, çalışmamızda kas dokusunda söz konusu metaller (Fe: 16,70 µg/g, Zn: 13,20 µg/g, Cu: 0,664 µg/g ve Cr: 0,078 µg/g) için bulduğumuz düzeylerden oldukça yüksektir. Başka çalışmalarda da dokularda biriken metallerin düzeyleri ile ilgili olarak araştırmamıza benzer sonuçlar bulunmuştur. Örneğin Işıklı (Denizli) ve Karacaören Baraj (Burdur) Baraj Göllerinde *C. carpio*'yu da içeren beş balık [73] ve Yeniçağa Gölü'nde (Bolu) [74] yakalanan *Leuciscus cephalus* ve *Tinca*

tinca balıkların dokularındaki metal düzeylerinin genel olarak $Zn > Fe > Cu$ şeklinde olduğu rapor edilmiştir.

Çalışmamızda barajın Sitalce bölgesi balıklarındaki 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 Sitalce ve Samsat bölgelerinde yakalanan *C. carpio*'yu da içeren üç balık türünün dokularında tespit edilen ağır metallerin düzeylerinin göreceli olarak temiz bölge olan Samsat bölgesi ile karşılaştırıldığında Sitalce bölgesi balıklarında istatistiksel olarak daha yüksek olduğu belirlenmiştir [46]. Yine 2013 yılının Ağustos ayında barajın aynı çalışma bölgelerinden alınan 4 farklı balık türünün dokularında tespit edilen Cu, Zn, Fe, Pb, Cd ve Cr düzeylerinin Sitalce bölgesi örneklerinde Samsat bölgesi örneklerine göre anlamlı olarak daha yüksek olduğu rapor edilmiştir [47]. Bu iki çalışmada da araştırmacılar Sitalce 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 Sitalce 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 Sitalce 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 [46] ve Fırat ve ark. [47] 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.

Balıkların, canlı organizmaların sağlıklı ve düzgün çalışması için gerekli makro besinler de dahil olmak üzere birçok besin açısından zengin bir kaynak olduğu bilinmektedir. Balıklar, yüksek besin kalitesi nedeniyle sağlıklı insan diyetinin önemli bir gıda bileşeni olup insanların haftada en az iki kez balık (toplamda yaklaşık 300 g kadar) tüketmesi tavsiye edilmektedir [7]. Türkiye’de kişi başına düşen ortalama balık tüketimi yıllık 6,31 kg [75] iken Adıyaman’da bu miktarın 3,01 kg olduğu ve bu tüketilen balıkların önemli bir kısmının da Atatürk Barajı’ndan sağlandığı rapor edilmiştir [76]. İnsan sağlığı ve besin güvenirliliği 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 [77], Cu ve Zn için 30 µg/g [78] ve Fe için 100 µg/g [79] olarak belirtilmiştir (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1. *C. carpio*’nun kas dokusundaki ve ulusal ve uluslararası kuruluşlarca balıklar için izin verilen maksimum metal düzeyleri (µg/g)

	Cr	Cu	Zn	Fe
<i>C. carpio</i>	0,078	0,664	13,20	16,70
FAO [78]		30	30	
WHO [79]		30	100	100
TFC [80]		20	50	50
USEPA [77]	0,50			

FAO: Gıda ve Tarım Örgütü; USEPA: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı; WHO: Dünya Sağlık Örgütü; TFC: Türk Gıda Koteksi

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 (Çizelge 5.1). 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 ve ark. [81], çalışma sonuçlarımıza benzer olarak Karakaya Baraj Gölü’ndeki ağır metal kirlilik durumunu

Mastecembelus mastecembelus kas dokusu 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 oluşturmamakla birlikte sürekli olarak izlenmesi ve analiz edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Keza Alaş ve ark. [82] da Beyşehir Gölü'nde (Konya) yakalanan dört tatlı su balıklarındaki iz element düzeylerinin besin tüketimi açısından güvenilir olduğunu belirtmişlerdir. Yine başka bir alan çalışmasında da 2009-2010 yılları arasında Keban Baraj Gölü'nde yakalanan *C. carpio*, *Squalis cephalus* ve *C. umbla*'nın kas dokusundaki ağır metal düzeyleri insan sağlığı açısından incelenmiş ve araştırmada analiz edilen tüm balıkların kas dokularında Cu, Fe, Zn ve Cd düzeyleri saptandığı ancak ağır metal düzeylerinin EPA tarafından önerilen tehlikeli düzeylerin altında bulunduğu ve insan sağlığı için risk oluşturmadığı belirtilmiştir [45]. Kaya ve Turkoglu [62] ise 2016 yılının Ocak- Şubat aylarında Keban Baraj Gölü'nün Pertek Bölgesinde yakalanan *C. 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.

Sonuç olarak, 2016 ve 2017 yıllarında faaliyete geçen Adıyaman şehir ve sanayi atık su arıtma tesisine kadar kirlilikten oldukça etkilenen Sitalce bölgesi balıklarındaki tespit edilen tüm metallerin düzeylerinin göreceli olarak temiz bölge olan Samsat bölgesi balıklarından istatistiksel olarak farklı olmadığı bulunmuştur (sadece karaciğer demir düzeyi hariç). 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 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 güvenirliliği ve insanların tüketimi açısından *C. carpio*'nun kas dokusundaki ağır metal düzeylerinin yasal olarak izin verilen limitlerin altında olduğunu da göstermektedir. Son olarak 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 kütesinin geleceği hem de sucul canlılar ve yöre halkının sağlığı açısından önemli olacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Canli, E. G. (2021). “Alterations on the activities of ion ATPases in the gill and muscle of freshwater mussel (*Unio tigridis*) exposed to copper”. *Commangene Journal of Biology*, 5(2), 150-155.
- [2] Briffa, J., Sinagra, E. and Blundell, R. (2020). “Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans”. *Heliyon*, 6(9), e04691.
- [3] Gheorghe, S., Stoica, C., Vasile, G. G., Nita-Lazar, M., Stanescu, E. and Lucaciu, I. E. (2017). “Metals toxic effects in aquatic ecosystems: Modulators of water quality”. In H. Tutu (Ed.), *Water quality* (pp.59-89). London, United Kingdom: Intechopen Press.
- [4] Ashraf, M. A., Maah, M. J. and 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.
- [5] Malik, D. S. and Maurya, P. K. (2014). “Heavy metal concentration in water, sediment,band tissues of fish species (*Heteropneustis fossilis* and *Puntius ticto*) from Kali River, India”. *Toxicological Environmental Chemistry*, 96(8):1195-1206.
- [6] Ngo, H. T. T., Gerstmann, S. and Frank, H. (2011). “Subchronic effects of environment cadmium levels on the bivalve *Anodonta anatina* (Linnaeus 1758): III. effects on carbonic anhydrase activity in relation to calcium metabolism”. *Toxicological Environmental Chemistry*, 93(9): 1815–25.
- [7] Luczynska, J., Pietrzak-Fiecko, R., Purkiewicz, A. and 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.
- [8] Özan, S. T. and Nurşah, A. (2012). “Relationship of heavy metals in water, sediment and tissues with total length, weight and seasons of *Cyprinus carpio* L., 1758 from İsikli Lake (Turkey)”. *Pakistan Journal of Zoology*, 44: 1405–1416.
- [9] Zhang, S. H. and Yi, Y. J. (2012). “The relationships between fish heavy metal concentrations and fish size in the upper and middle reaches of Yangtze River”. *Procedia Environmental Sciences*, 13: 1699–1707.

- [10] Authma, M. M. N., Zaki, M. S., Khalla, E. A. and Abbas, H. H. (2015). “Use of fish as bioindicator of the effects of heavy metal pollution”. *Journal of Aquaculture Research and Development*, 6: 32–13.
- [11] Nyantakyi, A. J., Wiafe, S.O., Akoto, C. and Fei-Baffoe, B. (2021). “Heavy metal concentrations in fish from River Tano in Ghana and the health risks posed to consumers”. *Journal of Environmental and Public Health*, 2021: 1-11.
- [12] Cobbina, S., Duwiejuah, A., Quansah, R., Obiri, S. and Bakobie, N. (2015). “Comparative assessment of heavy metals in drinking water sources in two small-scale mining communities in northern Ghana”. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(9): 10620–10634.
- [13] Korkmaz, C., Ay, O., Çolakfakioglu, C., Cicik, B. and 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.
- [14] Töre, Y., Ustaoglu, F., Tepe Y. and Kalipci E. (2021). “Levels of toxic metals in edible fish species of the Tigris River (Turkey); Threat to public health”. *Ecological Indicators*, 123: 107361.
- [15] Nieder, R., Benbi, D. K. and Reichl, F. X. (2018). “Microelements and their role in human health”. In *soil components and human health*. Dordrecht, Germany: Springer Press.
- [16] Nordberg, G. F., Fowler, B. A., Nordberg, M. and Friberg, L. T. (2007). “Handbook on the toxicology of metals”. Elsevier Inc.; pp:1-9.
- [17] Mendil, D., Demirci, Z., Tuzen, M. and Soylak, M. (2010). “Seasonal investigation of trace element contents in commercially valuable fish species from the Black sea, Turkey”. *Food Chemical Toxicology*, 48(3): 865–70.
- [18] Carol Ann Woody, B. and Louise, S. O. (2012) “Effects of copper on fish and aquatic resources prepared for effects of copper on fish and aquatic resources”. *Fisheries Research and Consulting Anchorage*, 23: 1-27.
- [19] Yacoub, A. M. and Gad, N. S. (2012). “Accumulation of some heavy metals and biochemical alterations in muscles of *Oreochromis niloticus* from the River Nile

- in Upper Egypt”. International Journal Environmental Science Engineering, 3: 1-10.
- [20] Chatterjee, A., Bhattacharya, R. and Saha, N. C. (2019).” Zinc oxide (ZnO) induced toxicity and behavioural changes to oligochaete worm *Tubifex tubifex* (Muller)”. International Journal of Scientific Research in Biological Sciences, 6(2): 35–42.
- [21] Azaman, F., Juahir, H., Yunus, K., Azid, A., Kamarudin, M. K. A. and Toriman, M. E. (2015). “Heavy metal in fish: Analysis and human health-a review”. Journal of Technology, 77(1): 61–69.
- [22] Wuana, R. A. and Okieimen, F. E. (2011). “Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation”. ISRN Ecology, 12: 1–20.
- [23] Jahan, I., Nur Alam Siddiki, A. K. M., Niamul Naser, M. and Abdus Salam, M. (2015). “Bioaccumulation and toxicity of iron salt on shingi fish *Heteropneustes fossilis* (Bloch) and its possible impacts on human health”. Bangladesh Pharmaceutical Journal, 18(2): 179-182.
- [24] Galbraith, E.D., Le Mezo, P., Solanes Hernandez, G., Bianchi, D. and Kroodsma, D. (2019). “Growth Limitation of marine fish by low Iron availability in the open ocean”. Frontiers in Marine Science, 6: 509.
- [25] Bury, N. and Grosell, M. (2003). “Iron acquisition by teleost fish”. Comparative Biochemistry and Physiology C. 135: 97–105.
- [26] Gemaque, T. C., Costa, D. P., Pereira, L. V. and Filho, K. C. M. (2019). “Evaluation of iron toxicity in the tropical fish *leporinus friderici*”. Biomedical Journal of Scientific & Technical Research, 18(2): 26-32.
- [27] Faroon, O., Ashizawa, A., and Wright, S. (2012). “Toxicological profile for cadmium”. In Agency for Toxic Substances and Disease Registry (pp:11-15). Atlanta, US.
- [28] Borgmann, U., Couillard, Y., Doyle, P. and Dixon, D. G. (2005). “Toxicity of sixtythree metals and metalloids to *Hyalella azteca* at two levels of water hardness”. Environmental Toxicology Chemistry, 24(3): 641-52.

- [29] Jarup, L. (2003). "Hazards of heavy metal contamination". *British Medical Bulletin*, 68:167-82.
- [30] Wang, Y., Fang, J., Leonard, S. S. and Rao, K. M. (2004). "Cadmium inhibits the electron transfer chain and induces reactive oxygen species". *Free Radical Biology Medicine*, 36(11): 1434–43.
- [31] Jia, X., Zhang, H. and Liu, X. (2011). "Low levels of cadmium exposure induce DNA damage and oxidative stress in the liver of oujiang colored common carp *Cyprinus carpio*". *Fish Physiology and Biochemistry*, 37(1): 97–103.
- [32] Abadin, H., Ashizawa, A., Stevens, Y. W., Lladós, F., Diamond, Sage, G. Citra, M., Quinones, A., Bosch, S. J. And Swarts, S. G. (2007). "Toxicological profile for lead", The United States Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (pp. 301-380). Atlanta, GA, USA.
- [33] Sepe, A., Ciaralli, L., Ciprotti, M., Giordano, R., Funari, E. and Costantini, S. (2003). "Determination of cadmium, chromium, lead and vanadium in six fish species from the Adriatic Sea". *Food Additives & Contaminants*, 20(6): 543-552.
- [34] Tae, S. K. A., Karam, H. and Ismail, H. K. (2020). "Review on some heavy metals toxicity on freshwater fishes". *Journal of Applied Veterinary Sciences*, 5(3): 78–86.
- [35] Afshan S., Ali, S., Ameen, U., Farid, M., Bharwana, S. and Hannan, F. (2014). "Effect of different heavy metal pollution on fish". *Research Journal of Chemical and Environmental Sciences*, 2: 74-79.
- [36] Creti, P., Trinchella, F. and Scudiero, R. (2010). "Heavy metal bioaccumulation and metallothionein content in tissues of the sea bream *Sparus aurata* from three different fish farming systems". *Environmental Monitoring and Assessment*, 165: 321–329.
- [37] Bakshi, A. and Panigrahi, A. K. (2018). "A comprehensive review on chromium induced alterations in fresh water fishes". *Toxicology Reports*, 5: 440-447.
- [38] Velma, V., Vutukuru, S. S. and Tchounwou, P. B. (2009). "Ecotoxicology of hexavalent chromium in freshwater fish: A critical review". *Reviews on Environmental Health*, 24(2): 129-145.

- [39] Ram, B. K., Han, Y., Yang, G., Ling, Q. and Dong, F. (2019). “Effect of hexavalent chromium [Cr(VI)] on phytoremediation potential and biochemical response of hybrid napier grass with and without EDTA application”. *Plants*, 8(11):515.
- [40] Huang, K. L., Holsen, T. M., Chou, T. C. and Yang, M. C. (2004). “The use of air fuel cell cathodes to remove contaminants from spent chromium plating solutions”. *Environmental Technology*, 25(1): 39–49.
- [41] Bayhan, Y. K. (2021). “The fish fauna of the Atatürk Dam Lake (Adiyaman/Turkey)”. *Natural and Engineering Sciences*, 6: 237-255.
- [42] Fırat, O., and Alıcı, M. F. (2012). “Assessment of pollution in Ataturk Dam Lake (adiyaman, Turkey) using several biochemical parameters in common carp, *Cyprinus carpio*”. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 89: 474-478.
- [43] Karadag, H., Fırat, Ö. and Fırat, Ö. (2014). “Use of oxidative stress biomarkers in *Cyprinus carpio* L. for the evaluation of water pollution in Ataturk Dam Lake (Adiyaman, Turkey)”. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 92: 289-293.
- [44] Alkan Uçkun, A. (2017). “Ecotoxicological evaluation of pesticide pollution in Ataturk Dam Lake (Euphrates River), Turkey”. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 17: 313-321.
- [45] Caglar, M., Canpolat, O., and Selamoglu, 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.
- [46] Fırat, Ö. (2016). “Evaluation of metal concentrations in fish species from Atatürk Dam Lake (Adiyaman, Turkey) in relation to human health”. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25: 3629-3634.
- [47] Fırat, Ö., Fırat, Ö., Çoğun, H.Y., AYTEKİN, T., FIRIDİN, G., TEMİZ, Ö., SAĞ, H. and KARGIN, 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.
- [48] Karadede, H., Oymak, S. A. and 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.
- [49] Ozmen, M., Gungordu, A., Kucukbay, F. Z. and. Guler, R. E. (2006). “Monitoring the effects of water pollution on *Cyprinus carpio* in Karakaya Dam Lake, Turkey”. Ecotoxicology, 15: 157–169.
- [50] Yılmaz, H. R., Turkoz, Y., Yuksel, E. and Orun, I. (2006). “An investigation of antioxidant enzymes activities in liver of *Cyprinus carpio* taken from different stations in the Karakaya Dam Lake”. International Journal of Science & Technology, 1: 1-6.
- [51] Kulahci, F. and Doğru, M. (2006). “Physical and chemical investigation of water and sediment of the Keban Dam Lake, Turkey”. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 268: 529–537.
- [52] Calta, M. and Canpolat, Ö. (2006). “The comparison of three cyprinid species in terms of heavy metals accumulation in some tissues”. Water Environment Research, 78: 548-551.
- [53] Barim, O. and Karatepe, M. (2010). “The effects of pollution on the vitamins A, E, C, b-carotene contents and oxidative stress of the freshwater crayfish, *Astacus leptodactylus*”. Ecotoxicology and Environmental Safety, 73: 138–142, 2010.
- [54] Mol, S., Özden, Ö. and Oymak, S. A. (2010). “Trace metal contents in fish species from Ataturk Dam Lake (Euphrates, Turkey)”. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 10: 209-213.
- [55] Güngördü, A. and Ozmen, M. (2011). “Assessment of seasonal and sex-related variability of biomarkers in carp (*Cyprinus carpio* L.) from Karakaya Dam Lake, Turkey”. Environmental Toxicology and Pharmacology, 31: 347–356.
- [56] Ural, M., Arca, S., Örnekçi, G. N., Demirel, F., Yüce, S., Uysal, K., Çiçek, A., Köse, E. and Koçer, M. A. (2012). “Metal accumulation in sediment, water, and freshwater fish in a Dam Lake”. Toxicological & Environmental Chemistry, 94: 49-55.

- [57] Danabas, D. and Ural, M. (2012). “Determination of metal (Cu, Zn, Se, Cr and Cd) levels in tissues of the cyprinid fish, *Capoeta trutta* (Heckel, 1843) from different regions of Keban Dam Lake (Euphrates-Turkey)”. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 89: 455–460.
- [58] Aksu, O., Adiguzel, R., Demir, V., Yildirim, N., Danabas, D., Seker, S., Can, S. and 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*, 5: 1-4.
- [59] Eroğlu, M., Düşükcan, M. and Canpolat, Ö. (2016). “Some heavy metals in the muscle of *Capoeta trutta*: risk assessment for the consumers”. *Cellular and Molecular Biology*, 62: 22-26.
- [60] Şahin, A. G., Sünbül, M. R. ve Küçükyılmaz, M. (2016). “Karakaya Baraj Gölü'ndeki tatlı su midyesi (*Unio elongatulus eucirrus* Bourguignat 1860)'nin ağır metal düzeylerinin belirlenmesi”. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 28: 13-19.
- [61] Varol, M. and Sünbül, M.R. (2018). “Biomonitoring of Trace metals in the Keban Dam Reservoir (Turkey) using mussels (*Unio elongatulus eucirrus*) and crayfish (*Astacus leptodactylus*)”. *Biological Trace Element Research*, 185: 216–224.
- [62] Kaya, G. and 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.
- [63] Dinç, H. and Dörtbudak, M. Y. (2020). “Investigation of toxic effects of heavy metal level in Atatürk Dam”. *Experimental and Applied Medical Science*, 1: 23-28.
- [64] Köse, E., Emiroglu, O., Çiçek, A., Aksu, S., Baskurt, S., Tokatli, C., Sahin, M. and Ugurluoglu, 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.
- [65] Demirkalp, F. Y. (2007). “Growth characteristics of carp (*Cyprinus carpio* L., 1758) in Liman Lake (Samsun, Turkey)”. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, 35(1): 1-8.

- [66] Xu, P., Zhang, X., Wang, X., Li, J., Liu, G. and Kuang, Y. (2014). “Genome sequence and genetic diversity of the common carp, *Cyprinus carpio*”. *Nature Genetics*, 46(11): 1212-1221.
- [67] Firat, Ö. and 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.
- [68] Albuquerque, F. E. A., Herrero-Latorre, C., Miranda, M., Junior, R. A. B., Oliveira, F. L. C., Sucupira, M. C. A., Ortolani, E. L., Minervino, A. H. H. and Lopez-Alonso, M. (2021). “Fish tissues for biomonitoring toxic and essential trace elements in the Lower Amazon”. *Environmental Pollution*, 283:117024.
- [69] Dalzochio, T., Ressel Simoes, L. A, Santos de Souza, M., Prado Rodrigues, G. Z. and Petry, Y. (2017). “Water quality parameters, biomarkers and metal bioaccumulation in native fish captured in the Ilha River, Southern Brazil”. *Chemosphere*, 189: 609–618.
- [70] Mert, R., Alas, A., Bulut, S. and Özcan, M. M. (2014). “Determination of heavy metal contents in some freshwater fishes”. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186: 8017-8022.
- [71] Alhas, E., Oymak, S.A. and 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.
- [72] Gümüş, N. E. and 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.
- [73] Kalyoncu, L., Kalyoncu, H. and Arslan, G. (2012). “Determination of heavy metals and metals levels in five fish species from Isikli Dam Lake and Karacaören Dam Lake (Turkey)”. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(4) :2231-2235.
- [74] Saygi, Y. and Yigit, S. A. (2012). A”ssessment of metal concentrations in two cyprinid fish species (*Leuciscus cephalus* and *Tinca tinca*) captured from

- Yenicaga Lake, Turkey”. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 89(1): 86–90.
- [75] TUİK. (2013). Su ürünleri istatistikleri. Ankara, Türkiye.
- [76] Olgunoğlu, İ. A., Bayhan, Y. K., Olgunoğlu, M. P., Artar, E. ve Ukav, İ. (2014). “Adıyaman ilinde balık eti tüketim alışkanlıklarının belirlenmesi”. Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 9: 21-25.
- [77] 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.
- [78] WHO. (1999). “Food safety issues associated with product from aquaculture”. WHO Technical Report Series, 883.
- [79] FAO. (1983). “Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products”. FAO Fisheries Circular, 464: 5-100.
- [80] Turkish Food Codex. (2011). Official Gazette No. 5996, 29.12.2011-28157.
- [81] Eroğlu, M., Düşükcan, M., Canpolat, Ö., Çalta, M. and Şen, D. (2017). “Determination of some heavy metals in *Mastacembelus mastacembelus* (Banks & Solander, 1794) in terms of public health”. Cellular and Molecular Biology, 63: 1-6.
- [82] Alaş, A., Özcan, M. M. and 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.