

A Toxicological Research in Atatürk Dam Lake: Toxicity and Stress Responses in Fish Blood

Özge FIRAT^{1*}, Özgür FIRAT²

¹Adıyaman University, Kahta Vocational School, Veterinary Department, Adıyaman, TÜRKİYE

²Adıyaman University, Science and Letters Faculty, Biology Department, Adıyaman, TÜRKİYE

ORCID ID: Özge FIRAT: <https://orcid.org/0000-0001-9010-955X>; Özgür FIRAT: <https://orcid.org/0000-0002-9683-8945>

Received: 04.03.2025

Accepted: 06.05.2025

Published online: 07.06.2025

Issue published: 30.06.2025

Abstract: Atatürk Dam Lake, where the study was conducted, the largest dam in Turkey, is located on the Euphrates River and it is an important freshwater resource with its diverse and nutritionally valuable aquatic products and some endemic organisms. *Cyprinus carpio* found in this dam is one of the most cultivated fish species in the world that has economic value and is consumed as a primary food source by the local people. This dam lake is unfortunately under the influence of many environmental pollutants. In the present study, parameters of hematological (leukocytes, erythrocytes, hemoglobin, hematocrit) and plasma biochemical [glucose, cholesterol, cortisol, total protein, alanine aminotransferase (ALT), aspartate aminotransferase (AST), lactate dehydrogenase (LDH), alkaline phosphatase (ALP), potassium, sodium, and chloride] of *C. carpio* that was caught from different regions (Samsat, Sıtlıce, and Bozova) in terms of pollution load of Atatürk Dam Lake in September in 2021 were investigated. Significant decreases were observed in erythrocyte, hemoglobin, hematocrit, total protein, and cholesterol levels in Bozova region compared to Samsat and Sıtlıce regions ($P<0.05$). However, significant increases were determined in plasma glucose, cortisol, ALT, AST, ALP, LDH, and potassium levels of fish in Sıtlıce and Bozova regions compared to Samsat region ($P<0.05$). Our study shows Atatürk Dam Lake is still under the influence of pollutants originating from agricultural and urban activities and the fishes in the dam lake are negatively affected by this pollution.

Keywords: Freshwater, *Cyprinus carpio*, pollution, hematological indices, plasma parameters.

Atatürk Baraj Gölü'nde Toksikolojik Bir Araştırma: Balık Kanındaki Toksikite ve Stres Yanıtları

Öz: Çalışmanın yürütüldüğü Atatürk Baraj Gölü Türkiye'deki en büyük baraj olup Fırat Nehri üzerinde yer almakta ve içerdiği çok çeşitli ve besin bakımından değerli su ürünleri ve bazı endemik canlıları ile önemli bir tatlı su kaynağıdır. Bu barajda bulunan *Cyprinus carpio* ekonomik değeri olan ve yöre halkı tarafından birinci dereceden besin kaynağı olarak tüketilen dünyada en fazla yetiştiriciliği yapılan balık türlerinden biridir. Atatürk Baraj Gölü ne yazık ki birçok çevresel kirlleticilerin etkisi altındadır. Sunulan bu çalışmada, baraj gölünün kirlilik yükü bakımından farklı bölgelerinden (Samsat, Sıtlıce ve Bozova) 2021 yılının Eylül ayında yakalanan *C. carpio*'nun hematolojik (lökosit, eritrosit, hemoglobin, hematokrit) ve plazmanın biyokimyasal parametreleri [glukoz, kolesterol, kortizol, total protein, alanin aminotransferaz (ALT), aspartat aminotransferaz (AST), laktat dehidrojenaz (LDH), alkalen fosfataz (ALP), potasyum, sodyum ve klor] araştırılmıştır. Eritrosit, hemoglobin, hematokrit, total protein ve kolesterol düzeylerinde Samsat ve Sıtlıce bölgeleri ile karşılaştırıldığında Bozova bölgesinde anlamlı azalışların olduğu belirlenmiştir ($P<0,05$). Bununla birlikte Samsat bölgesine göre Sıtlıce ve Bozova bölgesi balıklarının plazma glukoz, kortizol, ALT, AST, ALP, LDH ve potasyum düzeylerinde ise anlamlı artışlar belirlenmiştir ($P<0,05$). Çalışmamız Atatürk Baraj Gölü'nün hala tarımsal ve kentsel aktivitelerden kaynaklı kirleticilerin etkisi altında olduğunu ve baraj balıklarının bu kirlilikten olumsuz etkilendiğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Tatlısu, *Cyprinus carpio*, kirlilik, hematolojik indeksler, plazma parametreleri.

1. Giriş

Günümüzde hem tatlı su hem de tuzlu su ekosistemleri çevresel kirleticilerin etkisi altındadır (Abdallah et al., 2024) çünkü bu ortamlar hemen tüm kirleticilerin son uğrak alanlarıdır. İçme suyu, tarımsal alanların sulanması ve elektrik enerjisi temini için nehirler üzerine kurulan barajlar da ağır metaller, pestisitler gibi çok çeşitli kirleticilerden etkilenebilmektedir (Firat & Kılınc, 2022). Fırat Nehri üzerine kurulan ve temel amacı sulama ve elektrik üretimi olan Türkiye'nin en büyük baraj gölü olarak bilinen Atatürk Baraj Gölü Adıyaman, Urfa ve Diyarbakır illeri arasında yer almakta olup her geçen gün baraj çevresinde artan kentsel, tarımsal ve endüstriyel aktivitelerden kaynaklı kirleticilerin doğrudan ya da dolaylı yollardan hedefi halindedir. Bu baraj gölü keza

endemik ve ekonomik önemi yüksek olan birçok balık türünü de barındırmaktadır. Baraj gölünde olası bir kirlilik durumunda bu barajda tespit edilen 8 familyaya ait 25 balık türünün (Bayhan, 2021) ve bu türlerden birçoğunu besin olarak tüketen yöre halkının sağlığını olumsuz olarak etkileyebileceği düşünülmektedir. Bu nedenle bu su kütlesinin ekosistemi, geleceği ve sağlığı için bu barajda yapılacak toksikolojik araştırmalar önem kazanmaktadır.

Su ortamlarında yaygın olarak bulunan balıklar kimyasal kirleticiler de dahil olmak üzere çevresel değişikliklere duyarlılıkları nedeniyle biyoindikatör türler olarak ifade edilmekte ve balıkların birçok kan parametreleri, su ortamlarındaki kirleticilerin olası risklerinin hassas belirteçleri olarak kullanılmaktadır (Dewali et al., 2024). Balıklardaki fizyolojik ve

biyokimyasal belirteçleri ölçmek sucul organizmaların kirleticilere verdiği tepkiyi değerlendirmek ve kirleticilerin organizmanın sağlığı üzerindeki olası olumsuz etkileri hakkında bilgi edinmek için önemlidir (Pramanik & Biswas, 2024). Balıklar ortamlarında bulunan kirleticilerin neden olduğu strese tepkiler verebilmekte ve iç dengesini tekrar sağlamak için çeşitli savunma yanıtları oluşturabilmektedir (Karadag et al., 2014; Fırat et al., 2022a). Araştırmacılar, balıklardaki birçok biyolojik yanıtları örneğin hematolojik (eritrosit, lökosit, hemoglobin, hematokrit) ya da biyokimyasal (plazma metabolitleri, enzimleri ve elektrolitleri gibi) parametreleri inceleyerek kirleticilerin sonuçlarını değerlendirebilir ve kirleticilerin sucul ekosistemler üzerine olumsuz etkileri ile ilgili öngöründe bulunabilirler. Su organizmalarındaki bu sözü edilen indeksler, bu canlıların sağlıklarını değerlendirmek için oldukça yararlıdır (El-Gaar et al., 2022).

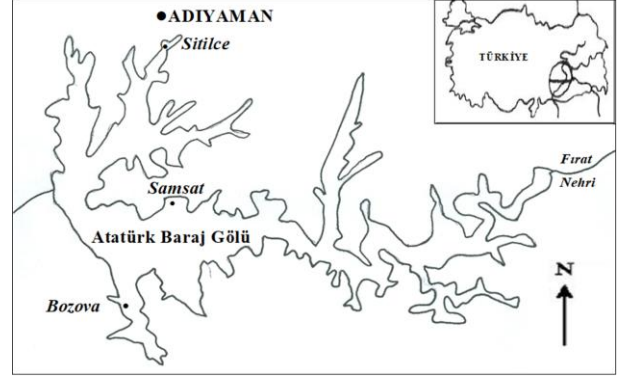
Atatürk Baraj Gölü'ndeki kirlilik durumu ve bu kirliliğe neden olan kirletici türleri ile ilgili son zamanlarda yapılan çalışmalarda barajın birçok bölgesinin antropojenik aktivitelerden olumsuz etkilendiği rapor edilmiştir. Bu araştırmalarda baraj gölünün farklı bölgelerinde su, sediment ve omurgalı/omurgasız su canlılarının dokularındaki kirletici düzeyleri araştırılmış ve ağırlıklı olarak barajın Sitalce bölgesinde ağır metal kirliliği, Bozova bölgesinde ise pestisit kirliliği belirlenmiştir (Fırat, 2016; Uçkun, 2017; Uçkun et al., 2017). Bu çalışmalarda Fırat (2016) Samsat bölgesi ile karşılaştırıldığında Sitalce bölgesindeki *C. carpio*'nun solungaç, karaciğer ve kas dokularında anlamlı kadmiyum, kurşun, krom, bakır, çinko ve demir birikimi; Uçkun (2017) Bozova bölgesinde yine Samsat'a oranla sediment ve sazan karaciğerinde anlamlı organoklorlu pestisit (Dieldrin, p,p'- DDE; p,p'-DDD; o,p'- DDD; o,p'- DDT ve p,p'-DDT) kalıntıları; Uçkun et al. (2017) Sitalce bölgesi su, sediment ve *Unio mancus* türü tatlı su midyelerinde Samsat'a göre genel olarak daha yüksek ağır metal düzeyleri belirlemiş ve bu üç çalışmadaki araştırmacılar tarafından Sitalce ve Bozova bölgeleri kentsel, endüstriyel ve tarımsal aktivitelerden etkilenen kirli bölgeler, Samsat bölgesi ise göreceli temiz bölge olarak tanımlanmıştır. Sunulan bu çalışmada Atatürk Baraj Gölü'nün kirlilik yükü bakımından farklı bölgelerinden (Samsat, Sitalce ve Bozova) yakalanan *C. carpio*'da hematolojik (eritrosit, lökosit, hemoglobin, hematokrit) ve plazma biyokimyasal (glukoz, kolesterol, kortizol, total protein, ALT, AST, ALP, LDH, sodyum, potasyum ve klor) parametrelerdeki değişimler dikkate alınarak (i) Atatürk Baraj Gölü kirlilik durumu; (ii) bu kirlilik yükünün balık sağlığı açısından risk oluşturup oluşturmadığı ve (iii) 2016/2017 yıllarında faaliyete başlayan Adıyaman şehir/endüstriyel atıksu arıtma tesislerinin baraj gölünün kirlilik yükünü azaltıp azaltmadığının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışma bahsedilen atık su arıtma tesislerinden sonra bu baraj gölünde yapılan ilk toksikolojik araştırma olma özelliğindedir.

2. Materyal and Metot

Araştırmamızda *C. carpio* üzerinde yapılacak tüm prosedürler Adıyaman Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu kararına uygun olarak yapılmıştır (Protokol No: 2020/067). Aynı zamanda Atatürk

Barajı'nda yürütülen bu çalışmayla ilgili olarak Tarım ve Orman Bakanlığı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü'nden de araştırma izni temin edilmiştir (Sayı No: E-21264211-288.04-1734404, Tarih: 16.06.2021).

Atatürk Barajı'nda kirlilik durumları dikkate alınarak üç farklı bölge seçilmiştir (Şekil 1). Bu çalışma alanları önceki çalışmalar dikkate alınarak belirlenmiştir (Fırat & Alıcı, 2012; Karadag et al., 2014; Uçkun, 2017). Çalışmamızda göreceli olarak temiz bölge olarak dikkate alınan Samsat (Adıyaman) ile kentsel ve endüstriyel kirleticilerin etkisindeki Sitalce (Adıyaman) ve tarımsal kirleticilerin etkisindeki Bozova (Urfa) bölgelerinden balık örnekleri 2021 yılının Eylül ayında alınmıştır.



Şekil 1. Atatürk Baraj Gölü'nde balıkların yakalandığı Samsat, Sitalce ve Bozova bölgeleri

Figure 1. Samsat, Sitalce and Bozova regions where fish were caught from Atatürk Dam Lake

Çalışılan bölgelerdeki baraj suyunun sıcaklık, pH ve çözünmüş oksijen düzeyleri taşınabilir ölçüm cihazı ile ölçülmüş ve Tablo 1'de verilmiştir. Balık örneklerinin alınmasında Samsat ve Sitalce bölgesi aynı gün, Bozova bölgesi ise takip eden gün çalışılmıştır. Bir bölgedeki işlemler bitmeden diğer bölgeye gidilmemiştir. Balıkçılar tarafından bu üç bölgenin her birinden ağ atılarak 10'ar adet *C. carpio* yakalanmış ve çalışmamız toplamda 30 adet balıkla yürütülmüştür. Araştırmamızda kullanılan toplam balık sayısı (N=30) G*Power programı (Versiyon 3.1.9.7; Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Düsseldorf, Germany) kullanılarak güç analizi ile belirlenmiştir (Faul et al., 2007; Faul et al., 2009). Samsat, Sitalce ve Bozova bölgelerinde yakalanan balıklara ait bazı biyolojik özellikler (yaş, total boy ve vücut ağırlığı) Tablo 2'de verilmiştir. Samsat bölgesinde yakalanan sazanlar barajdan alındıktan hemen sonra anesteziye sokularak (3 amino benzoik asit etil ester, MS222, 75 mg/L) uygulanarak bayıltılmıştır ve kuyruk bölgesinden (kaudal pedinkül) kesilerek dorsal aortadan kanları alınmıştır (Karadag et al., 2014). Kan örnekleri tam kanda incelenecek parametrelerin analizi için içinde çökelmeyi önleyici antikoagülan madde (EDTA) bulunan tüplere alınmıştır. EDTA'lı tüplere alınan kan örnekleri zaman kaybetmeksizin soğuk zincirle analiz işlemlerinin yapılacağı araştırma laboratuvarına götürülmüştür. Samsat bölgesi için yapılan bu işlemlerin aynısı Sitalce ve Bozova bölgeleri için de yapılmıştır.

Kan örneklerinden bir kısmı hematolojik bir kısmı da plazma parametrelerinin analizi için kullanılmıştır. Kandaki eritrosit, lökosit, hemoglobin ve hematokrit düzeyleri Abbott (CD-RUBY) marka hemogram cihazında

(Abbott Laboratories, Diagnostic Division, Abbott Park, Illinois, ABD) belirlenmiştir. Biyokimyasal parametrelerin analizi için ise kanlar 10 dakika 3.000 rpm'de santrifüj edilerek plazma örnekleri elde edilmiştir. Plazma glukoz, kolesterol, total protein, ALT, AST, ALP, LDH, sodyum, potasyum ve klor analizleri Abbott (C16000); kortizol düzeyleri ise Beckman coulter DXI800 marka cihazlarda yapılmıştır. Analiz edilen tüm plazma biyokimyasal parametreleri için kullanılan yöntemler önceki çalışmalarımızda verilmiş olup detaylar için bu çalışmalara bakılabilir (Fırat & Alıcı, 2012; Fırat et al., 2022a). Analiz sonucunda elde edilen veriler için istatistiksel analizler One Way Anova ve Duncan testleri uygulanarak yapılmıştır ve sonuçlar $P<0,05$ düzeyinde ise anlamlı kabul edilmiştir.

Tablo 1. Atatürk Baraj Gölü örnekleme alanı sularının bazı fiziko-kimyasal parametreleri

Table 1. Some physico-chemical parameters of the waters of the Atatürk Dam Lake sampling area.

Örnekleme Alanı	Sıcaklık (°C)	Çözülmüş Oksijen (mg/L)	pH
Samsat Bölgesi	27,4	7,81	8,14
Sitilce Bölgesi	27,6	5,49	8,23
Bozova Bölgesi	28,1	7,18	8,09

Tablo 2. Atatürk Baraj Gölü'nde yakalanan *C. carpio*'nun bazı biyolojik özellikleri

Table 2. Some biological characteristics of *C. carpio* caught from Atatürk Dam Lake

Örnekleme Alanı	Balık Sayısı (n)	Yaş* (Yıl)	Total Boy** (cm)	Ağırlık** (g)
Samsat Bölgesi	10	4-6	39,53±2,41	1012±152
Sitilce Bölgesi	10	5-7	38,12±2,86	1035±117
Bozova Bölgesi	10	4-7	40,22±2,11	1029±109

*: Yaş tayini puldan yapılmıştır.

** : Aritmetik ortalama±standart sapma

3. Bulgular

Atatürk Barajı'nın Samsat, Sitilce ve Bozova bölgesinde yakalanan *C. carpio*'nun hematolojik parametreleri Tablo 3'te verilmiştir. Barajın üç bölgesindeki eritrosit sayısı $0,95-1,33 \times 10^6/\text{mm}^3$, lökosit sayısı $15,8-17,4 \times 10^3/\text{mm}^3$, hemoglobin düzeyi $6,05-7,86 \text{ mg/dL}$, hematokrit düzeyi $\%23,05-31,29$ arasında değişim göstermiştir. Çalışılan bölgeler dikkate alındığında lökosit sayılarında anlamlı değişim olmadığı ($P>0,05$) ancak eritrosit, hemoglobin ve hematokrit düzeylerinde Samsat ve Sitilce bölgeleri ile karşılaştırıldığında Bozova bölgesinde anlamlı düşüşlerin olduğu belirlenmiştir ($P<0,05$).

Atatürk Barajı'nın farklı bölgelerinde yakalanan sazanların plazma enzim aktiviteleri Tablo 4'te verilmiştir. Barajın Samsat, Sitilce ve Bozova bölgesindeki ALT enzim aktivitesi $33,48-77,12 \text{ U/L}$; AST aktivitesi $152-249 \text{ U/L}$; ALP aktivitesi $12,7-50,8 \text{ U/L}$ ve LDH aktivitesi $692-1326 \text{ U/L}$ arasında değişim göstermiştir. Çalışılan bölgeler dikkate alındığında analiz edilen tüm enzim aktivitelerinde anlamlı değişimlerin olduğu tespit edilmiştir ($P<0,05$). Samsat bölgesiyle karşılaştırıldığında ALT, AST, ALP ve LDH enzim aktivitelerinde Sitilce ve Bozova bölgelerinde önemli artışların olduğu belirlenmiştir ($P<0,05$). Bu artışların Sitilce ve Bozova

bölgelerinde sırasıyla yaklaşık olarak ALT için $\%41$ ve $\%130$; AST için $\%30$ ve $\%64$; ALP için $\%84$ ve $\%300$; LDH için $\%43$ ve $\%92$ düzeylerinde olduğu hesaplanmıştır.

Tablo 3. Atatürk Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinde yakalanan *C. carpio*'nun hematolojik parametreleri

Table 3. Hematological parameters of *C. carpio* caught from different regions of Atatürk Dam Lake

Parametre	Samsat	Sitilce	Bozova
Eritrosit Sayısı ($\times 10^6/\text{mm}^3$)	1,33±0,03a	1,29±0,02a	0,95±0,04b
Lökosit Sayısı ($\times 10^3/\text{mm}^3$)	17,4±0,66a	16,9±0,81a	15,8±0,78a
Hemoglobin (g/dL)	7,86±0,21a	7,69±0,28a	6,05±0,21b
Hematokrit (%)	31,29±0,19a	31,15±0,20a	23,05±0,19b

Veriler aritmetik ortalama $\pm$ standart hata şeklinde verilmiştir. "a ve b" harfleri çalışma bölgeleri arasındaki ayrımı göstermek için kullanılmış olup farklı harfler $P<0,05$ düzeyinde istatistik ayrım olduğunu ifade etmektedir.

Tablo 4. Atatürk Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinde yakalanan *C. carpio*'nun plazmasındaki enzim aktiviteleri (U/L)

Table 4. Enzyme activities (U/L) in the plasma of *C. carpio* caught from different regions of Atatürk Dam Lake

Enzim	Samsat	Sitilce	Bozova
ALT	33,48±2,61a	47,21±3,59b	77,12±5,19c
AST	152±9,8a	197±12b	249±16c
ALP	12,7±0,89a	23,4±0,71b	50,8±1,20c
LDH	692±32a	987±23b	1326±34c

Veriler aritmetik ortalama $\pm$ standart hata şeklinde verilmiştir. "a, b ve c" harfleri çalışma bölgeleri arasındaki ayrımı göstermek için kullanılmış olup farklı harfler $P<0,05$ düzeyinde istatistik ayrım olduğunu ifade etmektedir.

Atatürk Barajı'nda belirlenen çalışma bölgelerinde yakalanan sazanların plazma metabolit ve iyon düzeyleri Tablo 5'te verilmiştir. Barajın üç bölgesindeki glukoz düzeyi $72,69-163 \text{ mg/dL}$, kortizol düzeyi $8,83-18,24 \text{ ng/dL}$, kolesterol düzeyi $162-220 \text{ mg/dL}$ ve total protein düzeyi $2,41-3,12 \text{ g/dL}$ arasında değişim göstermiştir. İyon düzeylerinde ise bu değişimler sodyum için $120-131,9 \text{ mmol/L}$, klor için $90-101 \text{ mmol/L}$ ve potasyum için ise $3,22-5,62 \text{ mmol/L}$ arasında olmuştur. Plazma sodyum ve klor düzeylerinin üç bölge arasında önemli bir değişim göstermediği ($P>0,05$) bununla birlikte Samsat bölgesine göre Sitilce ve Bozova bölgesi balıklarının plazma glukoz, kortizol ve potasyum düzeylerinde anlamlı artışların olduğu belirlenmiştir ($P<0,05$). Bozova balıklarının plazma kolesterol ve total protein düzeyleri Samsat ve Sitilce bölgelerine göre anlamlı bir azalış göstermiştir ($P<0,05$).

4. Tartışma ve Sonuç

Hematolojik parametrelerin incelenmesi, balıkların sağlık durumlarının izlenmesi için önemli olup bu amaçla yapılan analizler büyük çoğunlukla eritrosit ve lökosit sayımlarının incelenmesini, hematokrit değerlerini ve hemoglobin seviyelerini içermektedir (Maftuch et al., 2020). Hematolojik parametreler kolaylıkla ölçülebilmekte ve kirleticilerin suda yaşayan canlılar üzerine toksik etkilerinin değerlendirilmesinde oldukça yararlıdır (Fırat & Tutuş, 2020). Lökosit, eritrosit, hemoglobin ve hematokrit; bağışıklık sisteminin ve kanın oksijen taşıma kapasitesinin fonksiyonel durumunun

değerlendirilmesinde ve sucul ortamlardaki toksik kirliliğin etkilerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır (Fırat et al., 2022b). Çalışmada Bozova bölgesindeki balıklarda eritrosit, hemoglobin ve hematokrit düzeylerindeki azalmaların *C. carpio*'da anemik durumlara neden olduğu düşünülmektedir. Çevresel kirleticilerin balıklarda en belirgin toksik etkilerinden biri olan anemik durum, bu toksik maddelerin kan dokusu üzerindeki olumsuz etkilerinin bir belirtisi olup, kanın oksijen taşıma kapasitesinin azalmasına, hücrelerde oksijen yetersizliğine ve canlı organizmaların zarar görmesine neden olmaktadır (Harabawy & Ibrahim, 2014). Araştırma sonuçlarımızla benzer olarak Fırat et al. (2022b) ve Fırat ve Tutuş (2020) ağır metallerin, metal nanopartiküllerin ve pestisitlerin Nil tilapisi *Oreochromis niloticus*'ta eritrosit sayısı, hemoglobin ile hematokrit düzeylerinde önemli azalışlara neden olduğunu ve bu azalışların kirleticilerin eritrosit sentezi, hemosentez, ozmoregülasyon ve kan hücrelerini oluşturan dokularda meydana getirdiği hasarlarla ilişkili olabileceğini belirtmişlerdir.

Tablo 5. Atatürk Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinde yakalanan *C. carpio*'nun plazmasındaki metabolit ve iyon düzeyleri

Table 5. Metabolite and ion levels in the plasma of *C. carpio* caught from different regions of Atatürk Dam Lake

Parametre	Samsat	Sitilce	Bozova
Glukoz (mg/dL)	72,69±3,12a	121±4,32b	163±6,38c
Kortizol (ng/dL)	8,83±0,42a	12,09±0,83b	18,24±1,09c
Kolesterol (mg/dL)	220±12a	213±7a	162±9b
Total protein (g/dL)	3,12±0,09a	2,98±0,07a	2,41±0,04b
Sodyum (mmol/L)	131,9±2,5a	128±4,2a	120±5,1a
Klor (mmol/L)	101±3,09a	99±4,16a	90±3,8a
Potasyum (mmol/L)	3,22±0,18a	4,23±0,32b	5,62±0,28c

Veriler aritmetik ortalama ± standart hata şeklinde verilmiştir. "a, b ve c" harfleri çalışma bölgeleri arasındaki ayrımı göstermek için kullanılmış olup farklı harfler P<0,05 düzeyinde istatistik ayrım olduğunu ifade etmektedir.

Plazma enzim (ALT, AST, ALP ve LDH) aktiviteleri sıklıkla çevresel toksikantların balıkların karaciğer dokusu üzerindeki zararlı etkilerinin hassas belirteçleri olarak ölçülmektedir (Canli et al., 2018; Fırat et al., 2022a). Bu enzimler karaciğer kökenli olup hücre içi enzimlerdir. Karaciğer dokusu hasar görmediği sürece bu enzimlerin kan plazmasındaki düzeyleri düşüktür. Çalışmamızda Sitilce ve Bozova bölgesi balıklarının artan plazma enzim aktivitelerinin karaciğer hasarına bağlı olarak oluştuğu düşünülmektedir. Fırat et al. (2022a) çeşitli toksikantların etkisinde balıkların plazmasında ALT, AST, ALP ve LDH enzim aktivitelerinin hepatosit hücre zarlarının toksik maddeler varlığında hasar görmesi nedeniyle bu enzimlerin hücreler arası sıvıya ve ardından da kana geçerek arttığını vurgulamışlardır. Başka çalışmalarda da bu çalışmayla benzer olarak balıkların plazmasındaki enzim aktivitelerinde toksikantların etkisinde önemli artışların olduğu rapor edilmiştir (Fırat & Alıcı, 2012; Abdel-Latif et al., 2021). Bavia et al. (2024) insektisitler, herbisitler, fungusitler, ağır metaller ve mikroplastikler gibi çevresel kirleticilere maruz kalmanın balıkların ALT ve AST gibi serum enzim aktivitelerinde artışlara neden olduğunu bu parametrelerin kirlitici toksisitesinin biyobelirteçleri olarak önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Plazma glukoz ve kortizol düzeyleri balıklarda çevresel stresin hassas belirteçleri olarak ifade edilmekte ve kortizolün strese yanıt olarak homeostazın korunması için glukoz gibi enerji kaynaklarının düzeyinin ayarlanmasında rol oynadığı belirtilmektedir (Fırat et al., 2022a; Seo et al., 2023). Bu stres hormonu hem glukoneogenez hem de glikojenoliz yoluyla balıklarda glukoz üretimini artırarak stres altındaki organizmanın gereksinim duyduğu enerjiyi sağlaması bakımından oldukça önemlidir (Lemos et al., 2023). Sitilce ve Bozova bölgelerindeki balıklarda plazma kortizol ve glukoz düzeyleri, büyük bir olasılıkla kirlitici stresi altındaki balıkların artan enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla artmış olabilir. Plazma proteinleri karaciğer kökenlidir. Kolesterol steroid hormonlarının öncüsü olmakla birlikte hücre zarlarının yapısında yer alan önemli bir metabolittir. Toksikantlar protein ve kolesterol sentezlerini etkileyebilmektedir. Çalışmamızda Bozova bölgesindeki balıklarda plazma total protein ve kolesterol düzeylerindeki azalmaların bu moleküllerin sentez mekanizmalarının hasar görmesinin bir sonucu olabilir. Bu sonuçlar insan aktivitesinden kaynaklı kirleticilerin etkisindeki Hebbal ve Chowkalli göllerinden (Hindistan) yakalanan *Labeo rohita* türü balıkların serumunda, referans bölgedeki balıklarla karşılaştırıldığında total protein ve kolesterol seviyelerinde düşüş olduğunu bildiren Zutshi et al. (2010)'un bulgularıyla uyumludur. Plazma iyonları çevresel stres faktörlerine karşı çok hassastır ve kirleticilere tepki olarak düzeylerinde genellikle değişim meydana geldiğinden araştırmamızda Sitilce ve Bozova örneklerindeki artan potasyum düzeylerinin benzer bir yanıt sonucu oluştuğu öngörülmektedir.

Araştırma sonuçlarımızla uyumlu olarak Atatürk Baraj Gölü'ndeki kirliliği değerlendirmek için *C. carpio*'daki çeşitli serum biyokimyasal belirteçlerin araştırıldığı ve barajın Samsat ve Sitilce bölgelerinde 2011 yılında yakalanan balıklarda da benzer sonuçlar bulunmuştur (Fırat & Alıcı, 2012). Araştırmacılar Samsat bölgesi ile karşılaştırıldığında Sitilce bölgesinden örneklenen balıklarda benzer şekilde ALT, AST, ALP ve LDH aktiviteleri ile kortizol, glukoz ve potasyum düzeylerinin daha yüksek; total protein ve kolesterol düzeylerinin ise daha düşük olduğunu belirlemişler ve Sitilce bölgesinin Adıyaman şehrinden gelen ve herhangi bir arıtmaya uğramayan evsel ve endüstriyel kirleticilerden etkilendiğini vurgulamışlardır. Atatürk Baraj Gölü ne yazık ki uzun yıllar boyunca herhangi bir atık su arıtma tesisine sahip olmayan Adıyaman şehrinden gelen atık suların ciddi boyutlarda etkilendiği. 2016 yılına kadar şehrin kanalizasyon suları arıtılmaksızın Sitilce bölgesinden doğrudan baraj gölüne ve ayrıca sanayi atıkları da 2017 yılına kadar gene arıtılmaksızın Eğriçay aracılığıyla Sitilce'ye çok yakın bir mevkinden baraja boşalmaktaydı (Fırat & Kılınç, 2022). Bu nedenle bu çalışma bahsedilen yıllarda yapılan evsel ve endüstriyel atık su arıtma tesislerinden sonra bu bölgede yapılan ilk toksikolojik araştırma olma özelliğindedir. Çalışmamız, daha önceki çalışma (Fırat & Alıcı, 2012) sonuçları ile karşılaştırıldığında analiz edilen tüm parametrelerdeki değişimlerin atık su arıtma tesislerinden sonra azalma eğiliminde ama Samsat bölgesi ile karşılaştırıldığında hala yüksek olduğunu göstermektedir. Sitilce bölgesindeki balıklarda hala istenmeyen hematoksik ve biyokimyasal hasarların gözlenmesi bu atık su arıtma tesislerinin

etkinliği ve kapasitelerinin dikkatle değerlendirilmesini ve gerekli tedbirlerin (kapasite artırımı, daha etkin arıtma yöntemleri gibi) zaman kaybetmeksizin alınması gerektiğini göstermektedir. Barajın Bozova bölgesi ise gene uzun yıllar esas olarak tarımsal aktivitelerden kaynaklı kirleticilerden etkilendirilmiştir. Atatürk Baraj Gölü'nde yapılan bir araştırmada Bozova bölgesinde yakalanan *C. carpio*'da organoklorlu pestisit (Dieldrin, p,p'- DDE; p,p'-DDD; o,p'- DDD; o,p'-DDT ve p,p'-DDT) kalıntıları tespit edilmiştir (Uçkun, 2017) ve bu bölgede örneklenen sazların karaciğerinde biyokimyasal toksisite ve oksidatif hasar belirlenmiştir. Çalışmamızda da Samsat'a oranla Bozova bölgesinde yakalanan *C. carpio*'nın fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerindeki azalış ve artışların daha yüksek olması bu bölgedeki tarımsal aktivite kaynaklı kirleticilerin olumsuz etkilerinin bir sonucu olabilir.

Tatlı su kaynakları okyanuslar ve denizlere oranla dünyada oldukça az bulunan kaynaklar olup bu kaynakların korunması hem su ortamında yaşayan bitkisel ve hayvansal organizmalar hem de insanların geleceği açısından oldukça elzemdir. Bununla birlikte mevcut tatlı suların ne yazık ki insan aktivitelerinden kaynaklı kirleticiler tarafından devamlı olarak kirletildiği de bir gerçektir. Sunulan araştırmada Atatürk Barajı'ndaki kirliliği değerlendirmek için *C. carpio*'daki birçok fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerdeki değişimler incelenmiş ve sonuçlar ne yazık ki bu su kütlesinin evsel/endüstriyel (özellikle Sitalce bölgesi için) ve tarımsal (özellikle Bozova bölgesi için) aktivitelerden olumsuz etkilendiğini göstermektedir. Sitalce bölgesinin Adıyaman evsel/endüstriyel atık su arıtma tesisine rağmen hala etkileniyor olması kaygı vericidir. Bu nedenle baraj gölündeki kirletici yükünün azaltılması için Sitalce ve Bozova bölgelerinde daha etkili önlemlerin alınması bu barajın canlı içeriği, bu canlıların ve özellikle de baraj balıklarını besin olarak tüketen yöre halkının sağlığı için önemli olacağı değerlendirilmektedir.

Teşekkür: Sunulan çalışma KMYOMAP/2021-0001 nolu Adıyaman Üniversitesi (ADYÜ) Bilimsel Araştırma Projesi ile yürütülmüş olup ADYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Biriminin yöneticilerine ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

Etik kurul onayı: Bu çalışma, hayvan deneylerinin etik standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Çalışma için yasal araştırma etik kurul onay izinleri Adıyaman Üniversitesi Deney Hayvanları Etik Kurulu'ndan alınmıştır (Tarih: 24/12/2020, Karar No:4, Protokol No: 2020/067).

Çıkar çatışması: Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

Yazar Katkıları: Conception – Ö.E.F.; Design – Ö.R.F.; Supervision – Ö.E.F.; Fund – Ö.E.F.; Materials – Ö.R.F.; Data Collection and Processing – Ö.E.F.; Analysis Interpretation – Ö.E.F., Ö.R.F.; Literature Review – Ö.E.F.; Writing – Ö.E.F., Ö.R.F.; Critical Review – Ö.E.F., Ö.R.F.

Kaynaklar

Abdel-Latif, H.M.R., Dawood, M.A.O., Mahmoud, S.F., Shukry, M., Noreldin, A.E., Ghetas, H.A., & Khallaf, M.A. (2021). Copper oxide nanoparticles alter serum biochemical indices, induce histopathological alterations, and modulate transcription of cytokines, HSP70, and oxidative stress genes in *Oreochromis niloticus*. *Animals*, 11(3), 652. <https://doi.org/10.3390/ani11030652>

- Abdallah, S.M., Muhammed, R.E., Mohamed, R.E., Daous, H.E., Saleh, D.M., Ghorab, M.A., Chen, S., & Sayyad, G.S.E. (2024). Assessment of biochemical biomarkers and environmental stress indicators in some freshwater fish. *Environmental Geochemistry and Health*, 46, 464. <https://doi.org/10.1007/s10653-024-02226-6>
- Bavia, L., Silva, A.P., Carneiro, M.C., Kmeckic, M., Pozzan, R., Esquivel-Muelbert, J., Isaac, L., & Prodromo, M.M. (2024). Health status biomarkers and hemato-biochemical indices in Nile tilapia. *Comparative Immunology Reports*, 7, 200168. <https://doi.org/10.1016/j.cirep.2024.200168>
- Bayhan, Y.K. (2021). The fish fauna of the Atatürk Dam Lake (Adıyaman/Turkey). *Natural and Engineering Sciences*, 6, 237-255. <https://doi.org/10.28978/nesciences.1036854>
- Canli, E.G., Dogan, A., & Canli, M. (2018). Serum biomarker levels alter following nanoparticle (Al₂O₃, CuO, TiO₂) exposures in freshwater fish (*Oreochromis niloticus*). *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 62, 181-187. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2018.07.009>
- Dewali, S., Sharma, N.P., Rawat, G., Melkani, D.C., Miglani, R., Pathak, V.M., Kathayat, N., Panda, A.K., & Bisht, S.S. (2024). Chapter 5-Fish blood serum as a biomarker of water pollution. In: Mishra, R., Madhav, S., Dhaka, R.K., & Garg, P (Eds) Biomarkers in environmental and human health biomonitoring. Academic Press, San Diego, 81-107. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13860-7.00014-8>
- El-Gaar, D.M., Abdelaziz, G.S., Abbas, M.M.M., Anees, F.R., Genina, M.E., Ghanam, H.E., & Talab, A.S. (2022). Biochemical alterations of Nile tilapia fish in El-Manzala Lake as an indicator of pollution impacts. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 26(3), 711-723. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2022.246093>
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39, 175-191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., & Lang, A.-G. (2009). Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, 41, 1149-1160. <https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1149>
- Firat, O., & Alici, M.F. (2012). Assessment of pollution in Ataturk Dam Lake (Adıyaman, Turkey) using several biochemical parameters in common carp, *Cyprinus carpio*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 89, 474-478. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0728-2>
- Firat, Ö., Erol, R., & Firat, Ö. (2022a). Effects of individual and co-exposure of copper oxide nanoparticles and copper sulphate on Nile tilapia *Oreochromis niloticus*: Nanoparticles enhance pesticide biochemical toxicity. *Acta Chimica Slovenica*, 69, 81-90. <https://doi.org/10.17344/acsi.2021.6995>
- Firat, Ö., Erol, R., & Firat, Ö. (2022b). An investigation on freshwater fish *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758): Assessing hemotoxic effects of different copper compounds used as nanomaterial or pesticide. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 108, 549-554. <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03320-6>
- Firat, Ö., & Kılınc, Ü. (2022). Assessment of lead, cadmium, chrome, iron, zinc and copper levels in tissues of *Cyprinus carpio* from Atatürk Dam Lake (Adıyaman). *Commagene Journal of Biology*, 6(1), 20-25. <https://doi.org/10.31594/commagene.1079557>
- Firat, Ö., & Tutus, R. (2020). Comparative acute toxicity assessment of organophosphate and avermectin insecticides on a freshwater fish *Oreochromis niloticus*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 105, 582-587. <https://doi.org/10.1007/s00128-020-02990-y>
- Firat, O. (2016). Evaluation of metal concentrations in fish species from Ataturk Dam Lake (Adıyaman, Turkey) in relation to human health. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25, 3629-3634.
- Harabawy, A.S.A., & Ibrahim, A.T.A. (2014). Sublethal toxicity of carbofuran pesticide on the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822): Hematological, biochemical and cytogenetic response. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 103, 61-67. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.09.022>
- Karadag, H., Firat, Ö., & Firat, Ö. (2014). Use of oxidative stress biomarkers in *Cyprinus carpio* L. for the evaluation of water pollution in Ataturk Dam Lake (Adıyaman, Turkey). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 92, 289-293. <https://doi.org/10.1007/s00128-013-1187-0>
- Lemos, L.S., Angarica, L.M., Hauser-Davis, R.A., & Quinete, N. (2023). Cortisol as a stress indicator in fish: Sampling methods, analytical techniques, and organic pollutant exposure assessments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20, 6237. <https://doi.org/10.3390/ijerph20136237>
- Maftuch, E.S., Asmara, S.D., Haromain, A.F., Nurcholis, A., & Wijanarko, E. (2020). Hematological analysis of common carp (*Cyprinus carpio*)

- using hematology analyzer tools and manual at fish seed center, Pasuruan, East Java. *Earth and Environmental Science*, 493, 12011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/493/1/012011>
- Pramanik, S., & Biswas, J.K. (2024). Histopathological fingerprints and biochemical changes as multi-stress biomarkers in fish confronting concurrent pollution and parasitization. *iScience*, 27, 111432. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.111432>
- Seo, Y.S., Lee, H.B., Jeong, J.H., Mun, S.J., & Lim, H.K. (2023). Change in plasma cortisol and glucose levels of *Oncorhynchus keta* according to water temperature. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 26(2), 117-132. <https://doi.org/10.47853/FAS.2023.e10>
- Uçkun, A.A. (2017). Ecotoxicological evaluation of pesticide pollution in Atatürk Dam Lake (Euphrates River), Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 17(2), 313-321. <https://doi.org/10.4194/1303-2712-v17-2-10>
- Uçkun, A.A., Yologlu, E., & Uçkun, M. (2017). Seasonal monitoring of metals in water, sediment and mussel (*Unio mancus*) from Atatürk Dam Lake (Euphrates River). *Van Veterinary Journal*, 28(2), 75-83.
- Zutshi, B., Raghu Prasad, S.G., & Nagaraja, R. (2010). Alteration in hematology of *Labeo rohita* under stress of pollution from Lakes of Bangalore, Karnataka, India. *Environmental Monitoring Assessment*, 168, 11-19. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1087-2>
-