

Atatürk Barajı Gölü'ndeki sazanların (*Cyprinus carpio* L.) iyon homeostazisi ve ozmoregülasyonunda rol oynayan enzimler üzerine kirliliğin etkisi

Effect of pollution on enzymes playing role in ion homeostasis and osmoregulation of carps (*Cyprinus carpio* L.) in Atatürk Dam Lake

Özge Fırat¹ • Özge Temiz² • Özgür Fırat^{3*}

¹Adıyaman Üniversitesi, Kahta Meslek Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü, Kahta, Adıyaman, Türkiye

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Osmaniye, Türkiye

³Adıyaman Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Adıyaman, Türkiye

*Corresponding author: ofirat@adiyaman.edu.tr

Received date: 30.12.2024

Accepted date: 03.03.2025

How to cite this paper:

Fırat, Ö., Temiz, Ö., & Fırat Ö. (2025). Effect of pollution on enzymes playing role in ion homeostasis and osmoregulation of carps (*Cyprinus carpio* L.) in Atatürk Dam Lake. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 42(2), 183-190. <https://doi.org/10.12714/egejfas.42.2.10>

Öz: Atatürk Barajı Gölü Türkiye'deki en büyük baraj olması (i); çevresindeki yerleşim bölgelerindeki yoğun faaliyetlerden kaynaklı kirlenmelerden etkilenmesi (ii); ekonomik, ticari ve besin değeri yüksek su ürünleri içermesi (iii); su kalitesinde ve/veya balıklarda istenmeyen değişimlerin insanları da etkileme potansiyeli (iv) nedeniyle son yıllarda toksikolojik araştırmaların odağı halindedir. Sunulan çalışmada baraj gölünün Adıyaman il sınırlarındaki göreceli olarak temiz olan Samsat ve kentsel aktivitelerden etkilenen Sıtlıca bölgeleri ile Şanlıurfa il sınırlarındaki tarımsal aktivitelerden etkilenen Bozova bölgesinde 2021 yılının Eylül ayında yakalanan sazanların (*Cyprinus carpio*) dokularındaki Na⁺/K⁺-ATPaz (EC 3.6.3.9), Ca²⁺-ATPaz (EC 3.6.3.8) ve Mg²⁺-ATPaz (EC 3.6.3.2) aktivitelerindeki değişimler araştırılmıştır. Samsat bölgesi ile karşılaştırıldığında Sıtlıca ve Bozova bölgesi balıklarının solungaç, karaciğer, bağırsak ve böbrek dokularında incelenen tüm ATPaz enzim aktivitelerinde anlamlı azalışlar gözlemlenirken, kas dokusu enzim aktivitelerinde bir değişim gözlemlenmemiştir. Çalışmamız Atatürk Barajı Gölü'ndeki kirlenmelerin balıklarda iyon dengesi, iyon homeostazisi ve ozmoregülasyon mekanizmaları üzerinde toksik etkilere sahip olduğunu ve ATPazların sucul ekosistemlerde kirliliğin belirlenmesinde yararlı biyobelirteçler olarak kullanılabileceğini açıkça ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: Atatürk Barajı Gölü, *Cyprinus carpio*, balık, ATPaz, su kirliliği

Abstract: The Atatürk Dam Lake has recently become the focus of toxicological research due to the fact that it is the largest dam in Türkiye (i); that it is affected by pollutants originating from the intensive activities in the residential areas around the dam (ii); that it contains aquatic products with high economic, commercial and nutritional value (iii); and that undesirable changes in water quality and/or fish have the potential to affect humans (iv). In the current work, changes in the Na⁺/K⁺-ATPase (EC 3.6.3.9), Ca²⁺-ATPase (EC 3.6.3.8) and Mg²⁺-ATPase (EC 3.6.3.2) activities in the tissues of carps (*Cyprinus carpio*) caught in Samsat (relatively clean area) and Sıtlıca (area affected by urban activities) in the Adıyaman province borders and Bozova (area affected by agricultural activities) in the Şanlıurfa province borders of the dam lake in september 2021 were determined. When the Samsat region was compared, significant decreases were observed in all ATPase enzyme activities examined in gill, liver, intestine and kidney tissues of fish from Sıtlıca and Bozova regions, while enzyme activities in muscle tissue did not show any significant change. Our study clearly demonstrated that the pollutants in the Atatürk Dam Lake have toxic effects on ion balance, ion homeostasis and osmoregulation mechanisms in fish and that ATPases can be used as useful biomarkers in determining pollution in aquatic ecosystems.

Keywords: Atatürk Dam Lake, *Cyprinus carpio*, fish, ATPaz, water pollution

GİRİŞ

Akuatik ortamların günümüzde artan antropojenik faaliyetler nedeniyle kirlenmesi sucul ekosistemin bileşenleri üzerinde toksikolojik etkileri nedeni ile başta balıklar olmak üzere sucul yaşam için büyük bir risk oluşturmaktadır (Apıamı vd., 2022). Kirlenmelerin biyokimyasal ve fizyolojik etkilerinin belirlenmesinde çoğunlukla biyokimyasal belirteçlerin tepkilerine dayalı araştırmalar yapılmaktadır (Temiz ve Kargın, 2024). Çünkü bu toksikantlar canlıların iç dinamiklerinde moleküler ve hücresel düzeylerde değişikliklere neden olmaktadır (Karadag vd., 2014).

Osmoregülasyon, çevredeki ortamın ozmolaritesine (tuzluluğuna) rağmen, ekstraselüler sıvılarda ozmotik konsantrasyonları aktif olarak koruma yeteneği olup (de la

Torre vd., 2007), adenozin trifosfatazlar (ATPazlar) bu regülasyonda önemli rol oynayan ve toksisitenin hassas belirteçleri olarak kabul edilen birkaç izoenzimden oluşan bir gruptur (Lopez-Lopez vd., 2011). Bu enzimler, Na, K ve Ca gibi iyonların biyolojik zarlar boyunca aktif taşınmasından sorumlu olan zara bağlı enzimlerdir (Sancho vd., 2003). Na⁺/K⁺-ATPaz, Ca²⁺-ATPaz ve Mg²⁺-ATPaz biyolojik sistemler için önemli ATPazlar olup iyon konsantrasyonu, enerji metabolizması stabilitesi, membran bütünlüğü ve ozmotik basıncı korumada kritik fonksiyonları vardır (Wang vd., 2020). Hayvan hücrelerindeki mitokondriler tarafından üretilen enerjinin yaklaşık üçte birinin sadece Na⁺/K⁺-ATPaz'ın işlevi için kullanılması ATPazların canlılar için ne kadar hayati

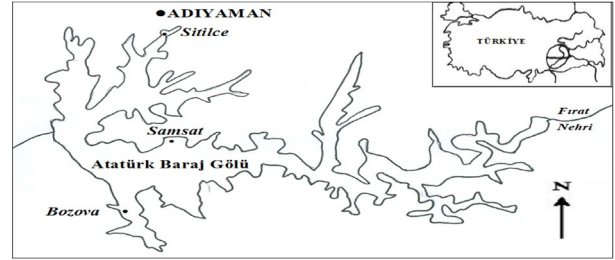
olduğunu göstermesi bakımından önemlidir (Lopez-Lopez vd., 2011). Na^+/K^+ -ATPaz, Ca^{2+} -ATPaz ve Mg^{2+} -ATPaz aktivitelerindeki değişimler, tatlı su ekosistemlerindeki kirleticilerin izlenmesi için popüler belirteçlerdir (Veedu vd., 2022). Bu iyon bağımlı ATPazların aktivitesindeki inhibisyonların balıkların iyon dengesi, hücre sinyalizasyonu / metabolizması, hücre zarı bütünlüğü/geçirgenliği ve zar akışkanlığında bir dizi değişikliğe yol açabileceği ve bunun da hücrenin yaşamsal döngüsünde önemli bir bozulmaya neden olabileceği ifade edilmektedir (Temiz vd., 2018).

Tatlı su kaynakları üzerine kirleticilerin etkilerinin değerlendirilmesi bu ortamların geleceği açısından elzemdir. Atatürk Baraj Gölü Fırat Nehri üzerinde 169 m yüksekliğinde ve 1820 m uzunluğunda bir setle kurulan, 817 km² yüzey alanı ve 48,7 milyar m³ su rezervi ile Türkiye için çok önemli bir elektrik enerjisi üretme ve geniş tarımsal alanları sulama potansiyeline sahip (Firat ve Alici, 2012), içerdiği 8 familyaya ait yaklaşık 25 balık türü (Bayhan, 2021) ile su ürünleri bakımından da zengin olan bir rezervuardır. Atatürk Barajı Gölü Türkiye'nin en büyük barajı olması, Adıyaman, Şanlıurfa ve Diyarbakır illerinin arasında yer alması nedeniyle antropojenik aktivitelerden kaynaklı kirleticilerden olumsuz etkilenmesi, sadece çok büyük bir su hacmini değil ekonomik ve yöre halkı tarafından tüketilen besin değeri yüksek balıkları da barındırması, su kalitesi ve canlı içeriğinde arzu edilmeyen değişimlerin insanları da etkileme potansiyeli nedeni ile son yıllarda toksikolojik araştırmaların sıklıkla yapıldığı bir alan haline gelmiştir. Önceki çalışmalarda barajın birçok bölgesinin insan aktivitelerinden kaynaklı kirleticilerden etkilendiği gösterilmiş ve Barajın özellikle Sıtlıce ve Bozova bölgeleri bu su kütlesinin etrafındaki yoğun nüfus, kentsel faaliyetler, endüstriyel ve tarımsal aktivitelerden etkilendiği, Samsat bölgesinin ise bu aktivitelerden uzak göreceli olarak temiz bölge olarak ifade edilmiştir (Karadag vd., 2014; Firat, 2016; Uçkun, 2017). Sıtlıce, 2016/2017 yıllarında faaliyete geçen Adıyaman evsel/endüstriyel atık su arıtma tesislerine kadar bu şehirden gelen arıtılmamış atık suların etkisinde uzun yıllar kalmış bir bölgedir (Firat ve Kılınç, 2022). Bozova bölgesi ise özellikle yoğun tarımsal aktivitenin bir sonucu olarak kullanılan pestisitlerin etkisi altında kalmıştır (Uçkun, 2017). Sunulan çalışmanın temel amacı baraj gölünün farklı bölgelerinden (Samsat, Sıtlıce ve Bozova) yakalanan sazanların (*Cyprinus carpio*) solungaç, karaciğer, bağırsak, böbrek ve kas dokularındaki Na^+/K^+ -ATPaz, Ca^{2+} -ATPaz ve Mg^{2+} -ATPaz aktivitelerindeki değişimlerin belirlenerek kirliliğin balıkların iyon dengesi ve ozmoregülasyon mekanizmaları üzerine etkilerini değerlendirmektir.

MATERYAL VE METOT

Sunulan alan çalışmasında araştırma materyali olarak Dünyada en fazla kültürü yapılan balık türlerinden biri olan, Atatürk Baraj Gölü'nde yaygın olarak bulun ve yöre halkının da önemli bir besin kaynağı olan *C. carpio* kullanılmıştır. Bu balık üzerinde yapılacak prosedürler Adıyaman Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu'ndan alınan etik onaya

uygun olarak yürütülmüştür (Protokol No: 2020/067). Ayrıca Tarım ve Orman Bakanlığı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü'nden de baraj gölünde yapılacak çalışma için gerekli araştırma izni alınmıştır (Tarih: 16.06.2021, Sayı No: E-21264211-288.04-1734404). Barajın Adıyaman il sınırlarındaki Samsat ve Sıtlıce bölgeleri ile Şanlıurfa il sınırlarındaki Bozova bölgesi çalışma alanları olarak seçilmiştir (Şekil 1). Sıtlıce ve Bozova bölgeleri sırasıyla kentsel ve tarımsal aktivitelerden etkilenen kirliliğe, Samsat bölgesi ise insan aktivitelerinden etkilenmeyen göreceli temiz bölge olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 1. Atatürk Baraj Gölü ve Samsat (37°34'03"N 38°29'47"E), Sıtlıce (37°43'20"N 38°20'10"E) ve Bozova (37°24'27"N 38°33'03"E) çalışma bölgeleri

Figure 1. Atatürk Dam Lake and study areas of Samsat (37°34'03"N 38°29'47"E), Sıtlıce (37°43'20"N 38°20'10"E) and Bozova (37°24'27"N 38°33'03"E)

Araştırmamızda yaklaşık olarak ortalama 40 cm total uzunlukta ve 1000 g ağırlıkta sazanlar kullanılmış, her bir bölgeden on adet balık alınmış ve çalışmamız totalde 30 balıkla yürütülmüştür. Samsat ve Sıtlıce bölgelerinden balık örnekleri aynı gün, Bozova bölgesinde ise takip eden gün alınmıştır. Üç bölgede ağ atmak suretiyle profesyonel balıkçılar tarafından yakalanan sazanlar MS222 (3 amino benzoik asit etil ester, 75 mg/L) ile bayıltılmış ve diseksiyon işlemleri yapılacağı laboratuvara soğuk zincirle götürülmüştür (Karadag vd., 2014). Balıkların yakalandığı bölgelerdeki baraj suyunun pH, sıcaklık ve çözünmüş oksijen düzeyleri alanda yapılacak ölçümler için uygun olan taşınabilir ölçüm cihazı (YSI 556 MPS) ile belirlenmiştir.

Steril aletler kullanılarak buz üzerinde disekte edilen sazanların solungaç, karaciğer, bağırsak, böbrek ve kas dokuları % 0,59 NaCl ile yıkanmış ve ağırlıkları alındıktan sonra analizlere kadar -80 °C'de muhafaza edilmiştir. Derin dondurucudan alınan dokular çözündükten sonra 1/10 ağırlık/hacim (w/v) olacak şekilde 0,25 M sükröz içeren 0,05 M soğutulmuş Na-P tamponu (pH: 7,4) ile buz içerisinde ultraturrax homojenizatörde 3 dakika süreyle 10.000 rpm'de homojenize edilmiştir. Homojenizatlar +4 °C'de 10.000 rpm'de 30 dakika süreyle santrifüj edildikten sonra eppendorf tüplere alınan doku süpernatantları enzim aktiviteleri ve protein düzeylerinin belirlenmesi için kullanılmıştır. ATPaz aktiviteleri Atkinson vd. (1973), protein düzeyleri ise Lowry vd. (1951)'nin önerdiği yöntemlere göre belirlenmiştir. Protein hesaplamalarında siğır serum albümin standart olarak kullanılmıştır. ATPaz aktivite tayininde, ATP'den açığa çıkan

inorganik fosfatın (Pi) polioksietilen 10 lauril eter ile fosfomolibdatın sarı renk oluşturması ve bunun 290 nm'de ölçülmesi ve 100-1000 μM KH_2PO_4 çözeltisi ile oluşturulan standart eğriden elde edilen Pi regresyon eşitliği ($y=0,0013x$, $R^2=0,992$) kullanılarak enzim aktiviteleri $\mu\text{mol/mgprotein/saat}$ olarak hesaplanmıştır. Na^+/K^+ -ATPaz; oubain içeren Mg^{+2} -ATPaz aktivitesinin oubain içermeyen toplam ATPaz aktivitesinden çıkarılarak hesaplanırken; Mg^{+2} -ATPaz ve Ca^{+2} -ATPaz aktiviteleri ise sırasıyla MgCl_2 ve CaCl_2 'nin varlığı ve yokluğunda ölçülen aktiviteler arasındaki farka bağlı olarak hesaplanmıştır. ATPaz ölçümleri sırasında [Atlı ve Canlı \(2008\)](#)'nin önerdiği yöntemde enzim aktivitesinin en yüksek olduğu inkübasyon ortamları kullanılmıştır.

Üç bölgeden elde edilen verilerin istatistik analizleri SPSS 21.0 bilgisayar paket programı kullanılarak One Way Anova ve takiben çoklu karşılaştırma testlerinden Duncan testi uygulanarak yapılmıştır. Her bir bölgedeki her bir parametre için veriler 10 tekrarlı olarak analiz edilmiş ($n=10$) ve sonuçlar aritmetik ortalama $\pm$ standart hata şeklinde verilmiştir. Sonuçlar % 95 güven aralığı ile anlamlı kabul edilmiştir.

BULGULAR

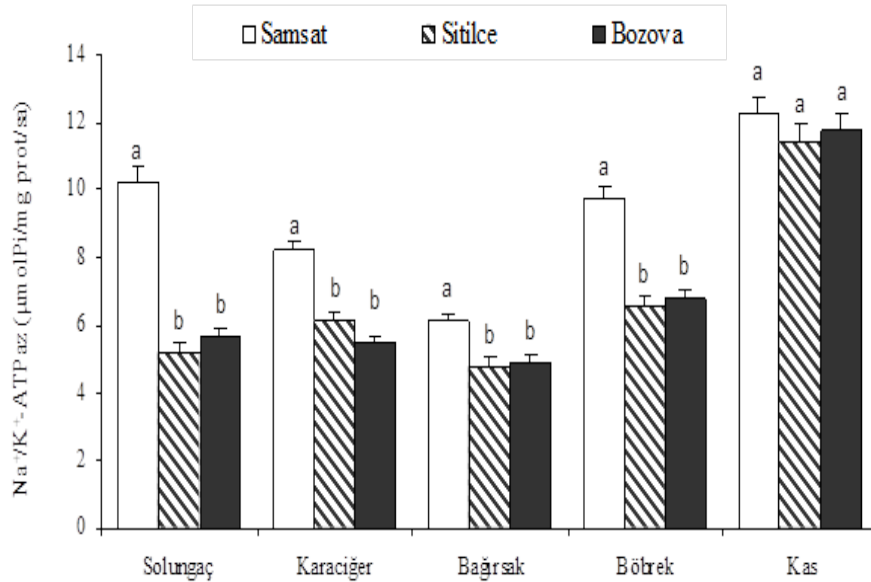
Atatürk Barajında balık örneklerinin alındığı Samsat, Sıtlıce ve Bozova bölgelerindeki suyun bazı fizikokimyasal parametreleri [Tablo 1](#)'de verilmiştir. Çalışma bölgelerindeki suların sıcaklık ve pH değerleri birbirine yakın iken Sıtlıce bölgesindeki suyun çözünmüş oksijen düzeyi diğer iki bölgeye göre daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Tablo 1. Çalışma bölgelerindeki suların bazı fiziko-kimyasal özellikleri

Table 1. Some physical-chemical properties of water in the study areas

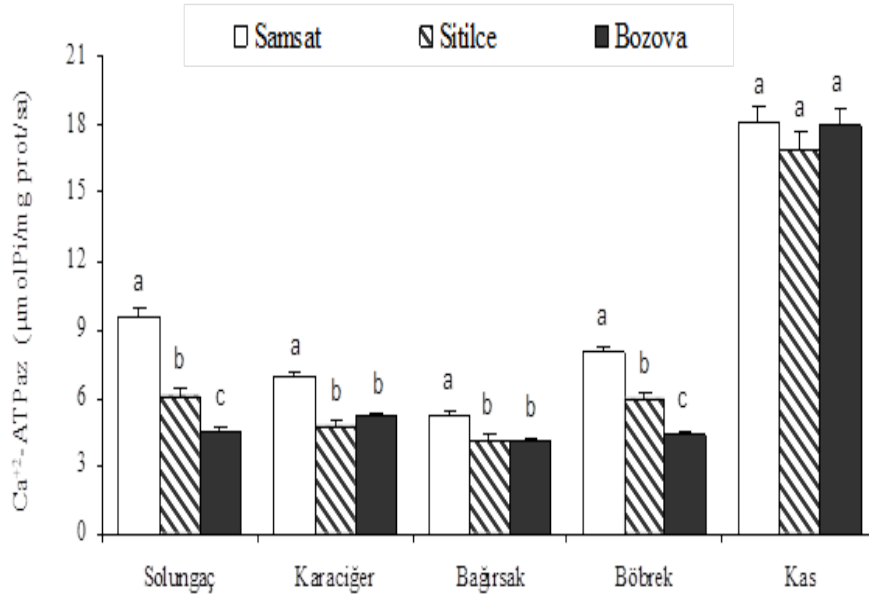
Parametre	Samsat	Sıtlıce	Bozova
pH	8,14	8,23	8,09
Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	27,4	27,6	28,1
Çözünmüş Oksijen(mg/L)	7,81	5,49	7,18

Atatürk Barajı Gölü'nün Samsat, Sıtlıce ve Bozova bölgesinde yakalanan *C. carpio*'nun solungaç, karaciğer, bağırsak, böbrek ve kas dokularındaki ATPaz aktivitelerindeki değişimler belirlenmiş ve Na^+/K^+ -ATPaz, Ca^{+2} -ATPaz ve Mg^{+2} -ATPaz için elde edilen bulgular sırasıyla [Şekil 2](#), [3](#) ve [4](#)'te verilmiştir. Çalışılan bölgelere ve incelenen dokulara bağlı olarak ATPaz aktivitelerinde anlamlı değişimler gözlemlenmiştir. Samsat bölgesi ile karşılaştırıldığında Sıtlıce ve Bozova bölgesi balıklarının solungaç, karaciğer, bağırsak ve böbrek dokularında incelenen tüm ATPaz enzim aktivitelerinde anlamlı azalışlar gözlemlenirken ($P<0,05$), kas dokusu enzim aktiviteleri anlamlı bir değişim göstermemiştir ($P>0,05$). Her üç ATPaz aktivitesinde de en fazla azalışlar solungaç dokusunda bulunmuş ve yüzdelik olarak bu azalışların Sıtlıce ve Bozova bölgesi balıklarında Na^+/K^+ -ATPaz için sırasıyla %49 ve %44, Ca^{+2} -ATPaz için sırasıyla %29 ve %48 ve Mg^{+2} -ATPaz için sırasıyla %33 ve %28 düzeylerinde olduğu hesaplanmıştır. Sıtlıce ve Bozova bölgelerinde enzim aktivitelerindeki azalış sıralaması dokularda genel olarak solungaç>böbrek>karaciğer >bağırsak>kas şeklindedir.



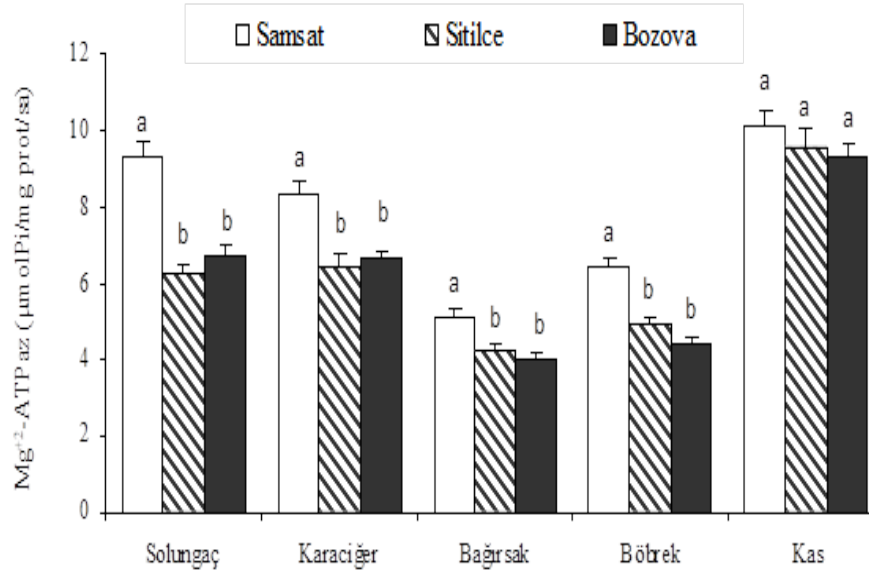
Şekil 2. Atatürk Baraj Gölü sazamlarının (*C. carpio*) doku Na^+/K^+ -ATPaz aktivitesi. "a ve b" harfleri çalışma bölgeleri arasındaki $P<0,05$ düzeyindeki istatistiksel farkı ifade etmektedir.

Figure 2. Tissue Na^+/K^+ -ATPase activity of carps (*C. carpio*) in Atatürk Dam Lake. Letters "a and b" indicate statistical differences at $P<0.05$ level between the study regions.



Şekil 3. Atatürk Baraj Gölü sazanlarının (*C. carpio*) doku Ca^{2+} -ATPaz aktivitesi. "a, b ve c" harfleri çalışma bölgeleri arasındaki $P<0,05$ düzeyindeki istatistiksel farkı ifade etmektedir.

Figure 3. Tissue Ca^{2+} -ATPase activity of carps (*C. carpio*) in Atatürk Dam Lake. Letters "a, b and c" indicate statistical differences at $P<0.05$ level between the study regions.



Şekil 4. Atatürk Baraj Gölü sazanlarının (*C. carpio*) doku Mg^{2+} -ATPaz aktivitesi. "a ve b" harfleri çalışma bölgeleri arasındaki $P<0,05$ düzeyindeki istatistiksel farkı ifade etmektedir.

Figure 4. Tissue Mg^{2+} -ATPase activity of carps (*C. carpio*) in Atatürk Dam Lake. Letters "a and b" indicate statistical differences at $P<0.05$ level between the study regions.

TARTIŞMA

Su kalite parametreleri kirlilikten etkilenebilmektedir. Çalışmamızda da Sitalce bölgesindeki baraj suyunun düşük çözünmüş oksijen düzeyinin bu bölgede baskın olan evsel kökenli kirlleticilerle ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Karadağ vd. (2014) barajın Sitalce ve Samsat bölgelerinde çeşitli su kalite parametrelerini ölçtükleri çalışmalarında

Samsat bölgesi ile karşılaştırıldığında Sitalce bölgesinde örneklenen surlarda çözünmüş oksijen düzeylerini daha düşük; amonyak, nitrit, nitrat, sülfat ve fosfat düzeylerini ise daha yüksek bulmuşlardır. Araştırmacılar Sitalce bölgesinde baraja giren Adıyaman şehir atık sularına bağlı olarak su kalite parametrelerinde değişimlerin meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Tatlısu (nehirler ve göller) ve tuzlu (denizler ve okyanuslar) sular tuz derişimi, su hacmi ve canlı içeriği yönünden birbirinden önemli farklılıklar göstermesine rağmen günümüzün en önemli çevre sorunlarından biri olan kirlilikten benzer şekilde etkilenmektedir (Fırat ve Kaya, 2019). Artan insan nüfusunun gereksinimleri için artan endüstriyel gelişme, tarımsal uygulamalar ve kentleşme, sulardaki kirlenici yükünü artırmakta ve bazen tolere edilebilir düzeylerin bile üzerine çıkmasına neden olmaktadır. Geçmişten günümüze ağır metaller ve pestisitler gibi daha iyi bilinen geleneksel kirlenitçiler ile birlikte her geçen gün çeşidi ve miktarı artan nanopartiküller ve mikropplastikler de su ekosistemlerini açıkça tehdit etmektedir. Öncelikli olarak içme suyu olmak üzere tarımsal alanların sulanması ve elektrik enerjisi üretimi için nehirler üzerine kurulan barajlar da yerleşim bölgelerine yakınlıkları nedeni ile insan aktivitelerinden kaynaklı kirlenitçilerin açık hedefi haline gelmektedir. Önceki çalışmalar (Fırat, 2016; Uçkun, 2017; Gündoğdu, 2023) Atatürk Baraj Gölü'nün de kirlilikten etkilendiğini, çeşitli kirlenitçilerin (ağır metaller, pestisitler ve mikropplastikler gibi) su, sediment ve balıklarda biriktiğini, su kalitesinde önemli değişikliklere neden olduğunu ve balıklarda fizyolojik ve biyokimyasal yanıtları oluşturduğunu göstermiştir. Sunulan çalışmada da göreceli olarak temiz bölge ile karşılaştırıldığında barajın insan aktivitelerinden etkilenen bölgelerindeki balıklarda Na, K, Ca ve Mg gibi iyonların taşınmasından ve regülasyonundan sorumlu enzimlerde toksik stres yanıtlarının oluştuğu belirlenmiştir.

Balıklar su ekosisteminin önemli öğelerinden biri olup su kirliliğinin değerlendirilmesinde biyoindikatör türler olarak sıklıkla kullanılmaktadır (Temiz ve Kargın, 2024). Cyprinidae familyasından olan *C. carpio* önceleri Avrupa ve Asya'ya özgü tatlı su balığı türü iken günümüzde dünyanın çok çeşitli bölgelerinde yaygın olarak yetiştirildiği, davranışları açısından oldukça uyumlu ve dirençli oldukları, çok çeşitli su koşullarına dayanabildikleri ve genellikle yavaş akan nehirlerde, göletlerde ve göllerde yaşadıkları belirtilmektedir (Khoshnood, 2024). Sazanlar stenohalin bir türdür (Metz vd., 2003). Düşük gereksinimler, yüksek adaptasyon ve yaygın dağılımları nedeniyle ticari ve ekonomik öneminin yanı sıra sazan balığı, çevresel kirlenitçilerin etkilerini değerlendirmede de deneysel bir tür olarak yaygın olarak kullanılan bir balıktır (Ji vd., 2012). Sunulan çalışmada da Atatürk Baraj Gölü'nde oldukça bol bulunan ve yöre halkının da besin kaynağı olan *C. carpio* kirliliğin toksik etkilerinin belirlenmesi için biyoindikatör bir tür olarak seçilmiştir.

Balıkların ortamlarında bulunan kirlenitçileri su ve besin yoluyla ile aldığı ve dokularında biriktirebildiği iyi bilinmektedir. Balıkların metabolik yönden aktif dokuları toksikantların etkisine daha açıktır. Balık solungaçları gaz değişimi, asit-baz düzenlemesi, iyonların taşınması ve azotlu artıkların atılımında görevlidir (Atlı ve Canlı, 2008; Khoshnood, 2024). Karaciğer dokusu toksikantların detoksifikasyonu ve depolanmasında rol oynar (Fridin, 2018). Kas dokularının biyoanalizi, insan tüketimi ve sağlığı amacıyla balık kalitesini

izlemek için önemlidir (Fırat ve Kılınç, 2022). Böbrekler, bir organizmanın iç ortamının korunması, hücre dışı sıvı hacmi ve bileşiminin yanı sıra asit-baz dengesinin düzenlenmesinde hayati rolleri olan ama aynı zamanda da işlevlerini bozabilen ve homeostazın geçici veya kalıcı olarak bozulmasına neden olabilen toksik kimyasalların hedefi olabilen bir dokudur (Temiz ve Kargın, 2024). Bağırsak dokusu sindirim ve emilim olaylarının merkezidir ve besin yoluyla alınan kirlenitçilerin kan dolaşımına da alındığı vücut bölümü olması nedeniyle toksik etkilere açık bir dokudur (Dane ve Sisman, 2020). Sunulan çalışmada da sudaki toksikantların alınıp, atılım ve depolanmasında önemli rolleri olan solungaç, karaciğer, bağırsak, böbrek ve kas dokuları kirlenitçilerin hedef dokuları olarak seçilmiştir.

Endüstriyel/teknolojik alanlardaki ve tarımsal uygulamalardaki hızlı gelişmelerin etkisindeki dünyada ekosistemin ve insan sağlığının korunması için sucul sistemin kirliliğinin biyokimyasal parametrelerle izlenmesine her zamankinden daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır (Temiz vd., 2021). Su ekosistemleri üzerine kirlenitçilerin ve çevresel stres faktörlerinin etkilerini değerlendirmek için balıklardaki biyokimyasal belirteçleri kullanmak bu stres yapıcılarının biyolojik organizasyonun farklı seviyelerini nasıl etkilediğine dair bilgilerimizi geliştirmeye yardımcı olmaktadır (Abdallah vd., 2024). Sunulan çalışmada Atatürk Baraj Gölü'ndeki sazanlar üzerine kirliliğin etkisi biyokimyasal indikatörler olarak atfedilen ATPaz enzim aktiviteleri ile değerlendirilmiştir. İyon düzenleyici enzimler olan ve hücre zarlarında bulunan ATPazlar hücre içi iyon derişimlerini ayarlayan, hücre zarı geçirgenliğini ve iyonların (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} ve Mg^{+2} gibi) taşınmasını fizyolojik süreçlerde düzenleyen enzimlerdir (Langeswaran vd., 2012). Tatlı su balıklarında major iyonların düzeyleri ve bu iyonların fizyolojik regülasyonlarında rol oynayan enzim aktiviteleri çevresel stres faktörlerine karşı çok hassastır ve kirlenitçilere yanıt olarak düzeyleri/aktiviteleri değişim göstermektedir. Araştırmamızda da baraj gölündeki çalışma bölgelerine ve incelenen dokulara bağlı olarak ATPaz enzim aktivitelerinde anlamlı değişimler belirlenmiştir.

Na^+/K^+ -ATPaz, hücresel iyon dengesini, hücre hacmini ve membran dinlenme potansiyelini korumada kritik bir rol oynayan, sodyum iyonlarını hücrelerden dışarı ve potasyum iyonlarını ise hücrelere aktif olarak pompalayarak hücre membranı boyunca bir elektrokimyasal gradienti oluşturan zara bağlı önemli bir enzimdir (Khoshnood, 2024). Hücresel ve organizma düzeyindeki iyon homeostazı için gerekli olan bu enzim ksenobiyotiklerin enerji üreten yolları etkileyerek ve/veya doğrudan enzimle etkileşime girerek aktivitelerinde azalışlara neden olabilmektedir (Gupta vd., 2023). Ca^{+2} -ATPaz önemli bir ATPazdır. Ca^{+2} 'nin yüksek hücre içi derişimleri ($>10^{-7}$ M) sitotoksik etkilere neden olduğundan zarlarda bulunan ve kalsiyum pompası olarak görev yapan bu enzim aktif taşıma ile bu iyonları hücreden uzaklaştırılarak hücresel Ca^{+2} düzeylerini korumada hayati bir rol oynamaktadır (Wong ve Wong, 2000). Mg^{+2} -ATPaz balıklarda Na^+/K^+ -ATPaz ile birlikte bulunur ve oksidatif fosforilasyon,

hücre zarının bütünlüğü ve iyonik taşımada önemli bir rol oynar ayrıca bu enzim Mg^{+2} 'nin transepitelyal taşınımıyla da ilişkilidir (Suvetha vd., 2010).

Araştırmamızda Sitalce ve Bozova bölgesi balıklarının solungaç, karaciğer, bağırsak ve böbrek dokularında Samsat bölgesine oranla azalan Na^{+}/K^{+} -ATPaz, Ca^{+2} -ATPaz ve Mg^{+2} -ATPaz enzim aktivitelerin kirlenmelerin toksik etkilerinin bir sonucu olarak düşünülmektedir. Bu ATPaz'ların aktivitelerindeki inhibisyonun iyon dengesi, taşınımı ve homeostazisini bozarak ve ozmoregülasyona zarar vererek balıklarda ozmotik ve iyon düzenlenmesinde başarısızlığa yol açacak toksikolojik sonuçları tetiklemiş olabilir. Bu enzimlerin yapısında yer alan sülfidril gruplarına karşı ağır metaller gibi çeşitli kirlenmelerin yüksek ilgisine bağlı olarak doğrudan ya da kirlenmelerin etkisinde oluşan oksidatif strese bağlı olarak membran bütünlüğünün bozulması sonucu aynı zamanda birer membran enzimi olan bu ATPaz'lar üzerine olan dolaylı bir etkinin sonucunda bu enzimlerin aktiviteleri düşüş göstermiş olabilir. Sunulan çalışmada Na^{+}/K^{+} -ATPaz aktivitesindeki azalışlara bağlı olarak sodyum ve potasyum iyonlarının hücre zarlarındaki aktif taşınmasının engellenebileceği ve bunun da hücreler için gerekli olan iyonik ve elektriksel gradiente zarar verebileceği tahmin edilmektedir. Ca^{+2} -ATPaz aktivitesindeki azalışların hücre içi kalsiyum düzeylerinin artışına neden olarak sitotoksik etkilere neden olabileceği düşünülmektedir. Mg^{+2} -ATPaz enzim inhibisyonunun ise magnezyum iyon dengesine olumsuz etkileri olduğu ve bu iyonun taşınmasını bloke edebileceği öngörülmektedir. Balıkların dinlenme durumunda bile Na^{+} , Cl^{-} ve ozmotik regülasyon mekanizmalarında rol oynayan enzimlerin fonksiyonlarını yaparken önemli miktarda enerji harcadığı bilindiğinden çalışmamızda ATPaz enzim aktivitelerindeki inhibisyonlara bağlı olarak iyon-regülatör kapasitedeki azalmaların, iyon ve su düzenleme ile ilişkili metabolik maliyetleri önemli ölçüde arttırmış olabileceği tahmin edilmektedir. Araştırmamızda analiz edilen tüm ATPaz aktivitelerinde en fazla azalışın solungaç dokusunda belirlenmesinin bu dokunun sudaki toksikantların ilk alım yolu olması nedeniyle kirlenmelerin doğrudan hedef dokusu olması ve özellikle de hidromineral homeostazis ve ozmoregülasyondaki merkezi rolü ile ilişkili olabileceği öngörülmektedir.

Atatürk Baraj Gölü'nde yapılan bir çalışmada barajın iki kirliliği bölge olan Kahta ve Bozova bölgelerinde yakalanan *C. carpio*'nun solungaç dokusu ATPaz aktivitelerini değerlendiren Uçkun ve Uçkun (2021a) Bozova ile karşılaştırdığında Kahta Na^{+}/K^{+} -ATPaz aktivitesinde anlamlı azalışlar belirlerken Ca^{+2} -ATPaz ve Mg^{+2} -ATPaz enzim aktivitelerinde anlamlı değişimler gözlemlenmemişlerdir. Araştırmacılar Na^{+}/K^{+} -ATPaz aktivitesindeki bu azalmaya bağlı olarak balıkların solungaç dokularındaki hücresel iyon düzenlenmesinin zarar görebileceğini ve aktif Na^{+} ve K^{+} iyonlarının taşınmasının bloke edilebileceğini ifade etmişlerdir. Sentetik piretrioid bir insektisit olan sipermetrin etkileşimini takiben *C. carpio*'nun solungaç, karaciğer ve böbrek

dokularında Na^{+}/K^{+} -ATPaz, Ca^{+2} -ATPaz ve Mg^{+2} -ATPaz enzim aktivitelerinde önemli azalışların olduğu ve bu enzim inhibisyonlarının dokulardaki iyon dengesi ve homeostazisini bozduğu rapor edilmiştir (Balaji vd., 2015). Tatlı su midyeleri (*Unio mancus*) üzerine yapılan bir laboratuvar çalışmasında toksikant etkisinde solungaç dokusundaki Na^{+}/K^{+} -ATPaz, Mg^{+2} -ATPaz ve Ca^{+2} -ATPaz aktivitelerindeki azalışların sırasıyla bu dokunun zar geçirgenliğini bozduğu, mitokondri zarlarına zarar verdiği ve hücrelerde Ca^{+2} düzeylerini artırarak sitotoksik etkiye neden olduğu öne sürülmüştür (Uçkun ve Uçkun, 2021b). *Danio rerio* embriyolarında çinko oksit nanopartikülleri ozmoregülasyonda rol oynayan Na^{+}/K^{+} -ATPaz aktivitesinde anlamlı azalışlara neden olmuştur (Deenathayalan vd., 2024). Sun vd. (2024) akut amonyak stresi etkisinde *Thunnus albacares* türü balıkların karaciğerinde ATPaz aktivitesindeki azalışların doku hasarına, hücre zarlarının geçirgenliğinin bozulmasına ve iyon taşıma kapasitelerinin azalmasına yol açtığını vurgulamışlardır. Dogan vd. (2014), *Oreochromis niloticus*'un dokularında ATPaz aktivitesinin metallerin etkisinde azaldığını ve ATPazların azalma eğiliminin, enzim sentezini engelleyen enzim moleküllerine metallerin bağlanması, hücre membranların hasar görmesi, ozmoregülasyon işlev bozuklukları ve iyon homeostazisinin bozulmasıyla ilişkili olabileceğini bildirmişlerdir. Firidin (2018) kurşun etkileşimini takiben *O. niloticus*'un karaciğer ve böbrek dokularında total ATPaz aktivitelerinde anlamlı azalışların olduğunu rapor etmiştir. Gupta vd. (2023) pestisit etkisinde balıklarda azalan Na^{+}/K^{+} -ATPaz aktivitesinin bu kimyasalın enzime bağlanarak aktivitesini engellenmesi ile ilişkili olduğunu bildirmiştir. Temiz ve Kargin (2024) *O. niloticus*'un böbrek dokusu ATPaz aktivitesini thiametokzam etkisinde değişimini inceledikleri araştırmalarında en yüksek ortam derişiminde Na^{+}/K^{+} -ATPaz enzim aktivitesinin %73 oranında Ca^{+2} -ATPaz enzim aktivitesinin %62 oranında azaldığını hesap etmişlerdir. Kurşun ve çinkonun etkisinde Afrika yılanbalığında (*Clarias gariepinus*) Na^{+}/K^{+} -ATPaz aktivitesinin azaldığı ve bu inhibisyonun enzimin oynadığı biyolojik rolleri üzerine engelleyici bir sonuç yaratacağını ve bu azalışların metallerin enzimin yapısında bulunan sülfidril gruplarına olan yüksek afinite ile ilişkili olabileceği belirtilmiştir (Apiamu vd., 2022). Hegazi vd. (2015) yaptıkları alan çalışmasında kirliliği bölgelerden toplanan *Siganus rivulatus* balığının solungaç dokusunda Na^{+}/K^{+} -ATPaz, Mg^{+2} -ATPaz ve Ca^{+2} -ATPaz aktivitelerin inhibe olduğunu ve bu azalışların, sitozolde aşırı Ca^{+2} birikmesi, metabolik işlev bozukluğu ve hücre sel anormalliklere neden olabileceğini belirtmişlerdir. Lopez-Lopez vd. (2011) Yuriria Gölü'nün (Meksika) evsel ve endüstriyel atık sularından etkilenen bölgelerinden alınan *Goodea atripinnis* türü balıkların karaciğer Na^{+}/K^{+} -ATPaz aktivitesinde anlamlı azalışlar belirlemiş ve enzim aktivitesinin membran yapısı bütünlüğüne bağlı olduğunu ve kirlenmelerin oksidatif stresin bir sonucu olarak oluşan lipid peroksidasyonu gibi membran hasarlarına bağlı olarak enzim aktivitesinin azalmış olabileceğini bildirmişlerdir.

Atatürk Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinde su, sediment ve omurgalı/omurgasız su canlılarının dokularında kirlenici düzeylerini araştıran çalışmalarda ağırlıklı olarak barajın Sitalce bölgesinde ağır metal kirliliği Bozova bölgesinde ise pestisit kirliliği belirlenmiştir (Firat, 2016; Uçkun, 2017; Uçkun vd., 2017). Bu çalışmalarda Firat (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 vd. (2017) Sitalce bölgesi su, sediment ve *U. mancus* türü tatlı su midyelerinde Samsat'a göre genel olarak daha yüksek ağır metal düzeyleri belirlenmiş ve bu üç çalışmadaki araştırmacılar tarafından Sitalce ve Bozova bölgeleri kentsel, endüstriyel ve tarımsal aktivitelerden etkilenen kirliliği olarak tanımlanmıştır. Bu araştırmaları dikkate aldığımızda çalışmamızda Sitalce ve Bozova bölgesi ATPaz aktivitelerindeki azalışların bu kirlenicilerle ilişkili olabileceği tahmin edilmektedir. Sitalce bölgesi 2016 yılında yapılan atık su arıtma tesisine kadar uzun yıllar Adıyaman şehrinde gelen arıtılmamış kanalizasyon sularının etkisi altında kalmıştır. Araştırmamızda atık su arıtma tesisine rağmen Sitalce bölgesi balıklarında toksikolojik sonuçlar elde edilmiş olması şaşırtıcıdır. Bu nedenle tesisin arıtma kapasitesi veya diğer özelliklerinin gözden geçirilmesinin önemli olabileceği düşünülmektedir. Sonuçlarımız barajın Sitalce ve Bozova bölgesindeki balıkların insan aktivitesinden kaynaklı kirlenicilerin açık hedefi halinde olduğunu göstermektedir.

SONUÇ

Tatlı sular sınırlı kaynaklardır ama insanların geleceği için hayatı bir öneme sahiptir. Günümüzde özellikle küresel ısınma gibi farklı çevre sorunlarının da bu sular üzerindeki ekolojik stres etkileri göz önüne alındığında bu kaynaklardaki kirliliğin izlenmesi ve önlenmesi için gerekli tedbirlerin alınması bu su kütlelerinin kalitesi, içerdiği canlıların sağlığı, gelecek nesillerin temiz su ihtiyacı ve sağlıklı tarımsal sulama için oldukça elzemdir. Araştırmamızdaki toksikolojik sonuçlar

KAYNAKÇA

- Abdallah, S.M., Muhammed, R.E., Mohamed, R.E., Daous, H.E., Saleh, D.M., Ghorab, M.A., Chen, S., & El-Sayyad, G.S. (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>
- Apıamu, A., Osawaru, S.U., Asagba, S.O., Evuen, U.F., & Achuba, F.I. (2022). Exposure of African catfish (*Clarias gariepinus*) to lead and zinc modulates membrane-bound transport protein: A plausible effect on Na⁺/K⁺-ATPase activity. *Biological Trace Element Research*, 200, 4160–4170. <https://doi.org/10.1007/s12011-021-03005-5>
- Atkinson, A., Gateby, A.O., & Lowe, A.G. (1973). The determination of inorganic orthophosphate in biological systems. *Biochimica et Biophysica Acta*, 320, 195-204. [https://doi.org/10.1016/0304-4165\(73\)90178-5](https://doi.org/10.1016/0304-4165(73)90178-5)
- Atlı, G., & Canlı, M. (2008). Characterization of branchial Na, K-ATPase from three freshwater fish species (*Oreochromis niloticus*, *Cyprinus carpio*, and *Oncorhynchus mykiss*). *Turkish Journal of Zoology*, 32, 299-304.

Türkiye'nin en önemli tatlı su kaynaklarından biri olan Fırat Nehri'nin üzerinde bulunan Atatürk Baraj Gölü'nün ne yazık ki kirlenicilerin etkisi altında olduğunu kanıtlamaktadır. Çalışmamız baraj gölündeki kirlenicilerin balıklarda iyon dengesi, iyon homeostazı ve osmoregülasyon mekanizmaları üzerinde toksik etkilere sahip olduğunu ve ATPazların sucul ekosistemlerde kirliliğin belirlenmesinde yararlı biyobelirteçler olarak kullanılabileceğini açıkça ortaya koymuştur.

TEŞEKKÜR VE MADDİ DESTEK

Bu çalışma Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: KMYOMAP/2021-0001.

YAZARLIK KATKISI

Özge Firat: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Yazılım, Veri küratörlüğü, Yazma-Orijinal taslak hazırlama, Gözetim ve denetim, Yazılım, doğrulama, Proje yönetimi, kaynaklar, finansman edinme, Yazma-gözden geçirme ve Düzenleme; Özge Temiz: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Yazılım, Görselleştirme, araştırma, Gözetim ve denetim, Yazma-gözden geçirme ve Düzenleme; Özgür Firat: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Yazılım, Veri küratörlüğü, Yazma-Orijinal taslak hazırlama, Görselleştirme, araştırma, Gözetim ve denetim, Yazılım, doğrulama, Yazma-gözden geçirme ve Düzenleme.

ÇIKAR/REKABET ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması ve/veya rekabet eden çıkarlar olmadığını beyan eder.

ETİK ONAY

Adıyaman Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu'ndan onay alındı (Tarih: 24/12/2020, Karar No:4, Protokol No: 2020/067).

VERİ KULLANILABİLİRLİĞİ

Veri setleri ile ilgili sorular için, sorumlu yazar ile iletişime geçilmelidir.

- Balaji, G., Nachiyappan, M., & Venugopal, R. (2015). Sub-lethal effect of cypermethrin on Ca²⁺, Mg²⁺ and Na⁺/K⁺ - ATPase activity in fresh water teleost, *Cyprinus carpio*. *World Journal of Zoology*, 10(3), 168-174. <https://doi.org/10.5829/idosi.wjz.2015.10.3.9581>
- 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>
- Dane, H., & Sisman, T. (2020). A morpho-histopathological study in the digestive tract of three fish species influenced with heavy metal pollution. *Chemosphere*, 242, 125212. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125212>
- Deenathayalan, U., Nandita, R., Kavithaa, K., Kavitha, V.S., Govindasamy, C., Al-Numair, K.S., Alsaif, M.A., Cheon, Y.P., Arul, N., & Brindha, D. (2024). Evaluation of developmental toxicity and oxidative stress caused by zinc oxide nanoparticles in zebra fish embryos/larvae. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 196, 4954-4973. <https://doi.org/10.1007/s12010-023-04791-5>

- de la Torre, F.R., Salibian, A., & Ferrari, L. (2007). Assessment of the pollution impact on biomarkers of effect of a freshwater fish. *Chemosphere*, 68, 1582-1590. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.02.033>
- Dogan, Z., Eroglu, A., Kanak, E.G., Atli, G., & Canli, M. (2014). Response of antioxidant system of tilapia (*Oreochromis niloticus*) following exposure to chromium and copper in differing hardness. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 92, 680-686. <https://doi.org/10.1007/s00128-014-1245-2>
- Firat, O., & Alici, 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. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0728-2>
- Firat, Ö., & Kaya, Ö. (2019). Evaluation of protective role of selenium on mercury toxicity by superoxide dismutase, catalase and malondialdehyde parameters in *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 36(3), 245-253. <https://doi.org/10.12714/legejfas.2019.36.3.05>
- Firat, Ö., & Kiliç, Ü. (2022). Assessment of lead, cadmium, chrome, iron, zinc and copper levels in tissues of *Cyprinus carpio* from Atatürk Dam Lake (Adiyaman). *Commagene Journal of Biology*, 6(1), 20-25. <https://doi.org/10.31594/commagene.1079557>
- Firat, O. (2016). Evaluation of metal concentrations in fish species from Ataturk Dam Lake (Adiyaman, Turkey) in relation to human health. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25, 3629-3634.
- Firidin, G. (2018). Oxidative stress parameters, induction of lipid peroxidation, and ATPase activity in the liver and kidney of *Oreochromis niloticus* exposed to lead and mixtures of lead and zinc. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 100, 477-484. <https://doi.org/10.1007/s00128-018-2281-0>
- Gupta, P., Mahapatra, A., Suman, A., & Singh, R.K. (2023). In silico and in vivo assessment of developmental toxicity, oxidative stress response and Na⁺/K⁺-ATPase activity in zebrafish embryos exposed to cypermethrin. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 251, 114547. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114547>
- Gündoğdu, S. (2023). Microplastic intake of *Unio mancus* Lamarck 1819 collected from Ataturk Dam Lake, Türkiye. *Turkish Journal of Zoology*, 47(5), 268-278. <https://doi.org/10.55730/1300-0179.3140>
- Hegazi, M.M., Mostafa, A.H., Assem, E.H., Mourad, H.M., & Hasanein, S.S. (2015). The effect of seasonal metals pollution in two Hotspots (El-Mex, Abu-Qir) Bays on ATPases in gills of *Siganus rivulatus*. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 3, 51-58. <https://doi.org/10.11648/j.ijema.s.2015030501.17>
- Ji, P., Liu, G., Xu, J., Wang, X., Li, J., Zhao, Z., Zhang, X., Zhang, Y., Xu, P., & Sun, X. (2012). Characterization of common carp transcriptome: Sequencing, De Novo assembly, annotation and comparative genomics. *PLoS One*, 7(4), 35152. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035152>
- 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 (Adiyaman, Turkey). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 92, 289-293. <https://doi.org/10.1007/s00128-013-1187-0>
- Khoshnood, Z. (2024). A review on toxic effects of pesticides in zebrafish, *Danio rerio* and common carp, *Cyprinus carpio*, emphasising atrazine herbicide. *Toxicology Reports*, 13, 101694. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101694>
- Langeswaran, K., Jagadeesan, A.J., & Balasubramanian, M.P. (2012). Modulation of membrane bound ATPases and metabolizing enzymes against n-nitrosodiethylamine (DEN) induced primary liver cancer in wistar albino rats. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 3(2), 156-165.
- Lopez-Lopez, E., Sedeno-Diaz, J.E., Soto, C., & Favari, L. (2011). Responses of antioxidant enzymes, lipid peroxidation, and Na⁺/K⁺-ATPase in liver of the fish *Goodea atripinnis* exposed to Lake Yuriria water. *Fish Physiology and Biochemistry*, 37, 511-522. <https://doi.org/10.1007/s10695-010-9453-0>
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L., & Randall, R.J. (1951). Protein measurements with the folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193, 265-275. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)52451-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)52451-6)
- Metz, J.R., van den Burg, E.H., Wendelaar Bonga, S.E., & Flik, G. (2003). Regulation of branchial Na⁺/K⁺-ATPase in common carp *Cyprinus carpio* L. acclimated to different temperatures. *The Journal of Experimental Biology*, 206, 2273-2280. <https://doi.org/10.1242/jeb.00421>
- Sancho, E., Fernandez-Vega, C., Ferrando, M.D., & Andreu-Moliner, E. (2003). Eel ATPase activity as biomarker of thiobencarb exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 56, 434-441. [https://doi.org/10.1016/S0147-6513\(03\)00077-0](https://doi.org/10.1016/S0147-6513(03)00077-0)
- Sun, Y., Fu, Z., & Ma, Z. (2024). The effects of acute ammonia stress on liver antioxidant, immune and metabolic responses of juvenile yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 297(A), 111707. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2024.111707>
- Suvetha, L., Ramesh, M., & Saravanan, M. (2010). Influence of cypermethrin toxicity on ionic regulation and gill Na⁺/K⁺-ATPase activity of a freshwater teleost fish *Cyprinus carpio*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 29, 44-49. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2009.09.005>
- Temiz, O., Cogun, H., & Kargin, F. (2018). Influence of chlorantraniliprole toxicity on ionic regulation of gill and muscle ATPase activity of Nile fish (*Oreochromis niloticus*). *Fresenius Environmental Bulletin*, 27, 5027-5032.
- Temiz, Ö., Kargin, D. (2024). Physiological responses of oxidative damage, genotoxicity and hematological parameters of the toxic effect of neonicotinoid-thiamethoxam in *Oreochromis niloticus*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 106, 104377. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2024.104377>
- Temiz, Ö., Kargin, D., & Çoğun, H.Y. (2021). In vivo effects on stress protein, genotoxicity, and oxidative toxicity parameters in *Oreochromis niloticus* tissues exposed to thiamethoxam. *Water Air Soil Pollution*, 232, 221. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05101-7>
- Uçkun, A.A. (2017). Ecotoxicological evaluation of pesticide pollution in Ataturk 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.
- Uçkun, A.A., & Uçkun, M. (2021a). Evaluation of some biomarkers in carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) depending on water and sediment pollution of Atatürk Dam Lake. *BEU Journal of Science*, 10(3), 744-753. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.898021>
- Uçkun, M., & Uçkun, A.A. (2021b). Effect of imidacloprid application to freshwater mussels (*Unio mancus*) on gill ATPase activities. *Erciyes University Journal of Institute of Science and Technology*, 37(1), 91-98.
- Veedu, S.K., Ayyasamy, G., Tamilselvan, H., & Ramesh, M. (2022). Single and joint toxicity assessment of acetamiprid and thiamethoxam neonicotinoids pesticides on biochemical indices and antioxidant enzyme activities of a freshwater fish *Catla catla*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 257(C), 109336. <https://doi.org/10.1016/J.CBPC.2022.109336>
- Wang, L., Wu, D., Robinson, C.V., Wu, H., & Fu, T.-M. (2020). Structures of a complete human V-ATPase reveal mechanisms of its assembly. *Molecular Cell*, 80, 501-511. <https://doi.org/10.1016/j.molcel.2020.09.029>
- Wong, C., & Wong, M. (2000). Morphological and biochemical changes in the gills of tilapia (*Oreochromis mossambicus*) to ambient cadmium exposure. *Aquatic Toxicology*, 48(4), 517-527. [https://doi.org/10.1016/S0166-445X\(99\)00060-0](https://doi.org/10.1016/S0166-445X(99)00060-0)