



Selenyum ve Zeolitin Tatlı Su Balığı *Oreochromis niloticus*'ta Doku Cıva Birikimi Üzerine Etkileri^[*]

Özge FIRAT^{1*} Ferit KARGIN²

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

² Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Adana, Türkiye

Geliş/Received: 23. 10.2020

Kabul/Accepted: 24.03.2021

Yayın/Published: 30.06.2021

Atıf yapmak için: Fırat, Ö. & Kargin, F. (2021). Selenyum ve Zeolitin Tatlı Su Balığı *Oreochromis niloticus*'ta Doku Cıva Birikimi Üzerine Etkileri. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, 6(2), 145-150.

How to cite: Fırat, Ö. & Kargin, F. (2021). Effects of Selenium and Zeolite on Tissue Mercury Accumulation in Freshwater Fish *Oreochromis niloticus*. *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 6(2), 145-150.

<https://orcid.org/0000-0001-9010-955X>
 <https://orcid.org/0000-0003-4315-5689>

***Sorumlu yazarın:**

Özge FIRAT
Adıyaman Üniversitesi
Kahta Meslek Yüksekokulu, Adıyaman
✉: ozfirat@adiyaman.edu.tr

Öz: Cıvanın balıklar da içeren sucul organizmalar için tehlikeli bir çevresel kirletici olduğu iyi bilinmektedir. Cıvanın balıklardaki birikimi ve toksik etkileri hem bu organizmaları hem de besin zinciri aracılığıyla diğer canlıların sağlığını olumsuz etkileyeceğinden bu metalin toksik etkilerini azaltacak/önleyecek mekanizmalar ekosistemin sağlıklı işleyişi ve geleceği açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle sunulan çalışmada *Oreochromis niloticus*'un dokularındaki cıva birikimi üzerine selenyum ve zeolitin olası koruyucu etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla balıklar 0,01 ve 0,1 mg/L cıva; 0,01 mg/L cıva+0,1 mg/L selenyum, 0,1 mg/L cıva+1,0 mg/L selenyum ve 0,01 mg/L cıva+0,1 g/L zeolit, 0,1 mg/L cıva+1,0 g/L zeolit derişimlerinin etkisine 7 ve 21 gün süreler ile bırakılmış ve solungaç, karaciğer ve kas dokularındaki cıva birikimi belirlenmiştir. İncelenen tüm dokulardaki cıva birikiminin denenen tüm kimyasal gruplarında ortam derişimlerine ve etki sürelerine bağlı olarak arttığı saptanmıştır (P<0,05). Dokulardaki cıva birikiminin cıva+selenyum ve cıva+zeolit karışımlarında cıvanın tek başına etkisine oranla önemli bir şekilde azaldığı belirlenmiştir (P<0,05). Araştırmamız selenyum ve zeolitin *O. niloticus*'un dokularında cıva birikimini önemli düzeylerde azalttığını göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Birikim, cıva, *Oreochromis niloticus*, selenyum, zeolit.

Effects of Selenium and Zeolite on Tissue Mercury Accumulation in Freshwater Fish *Oreochromis niloticus*

Abstract: It is well known that mercury is a dangerous environmental pollutant for aquatic organisms including fish. Since accumulation and toxic effects of mercury in fish will negatively affect both these organisms and the health of other organisms through the food chain, the mechanisms to reduce or prevent the toxic effects of this metal are very important for the healthy functioning and future of the ecosystem. Therefore in the present study, it was investigated possible protective effects of selenium and zeolite on mercury accumulation in tissues of *Oreochromis niloticus*. For this purpose fish were exposed to 0.01 and 0.1 mg/L mercury; 0.01 mg/L mercury+0.1 mg/L selenium, 0.1 mg/L mercury+1.0 mg/L selenium and 0.01 mg/L mercury+ 0.1 g/L zeolite, 0.1 mg/L mercury+1.0 g/L zeolite for 7 and 21 days and mercury accumulation in gill, liver and muscle tissues were measured. It was determined mercury accumulation in all examined tissues elevated depending on exposure periods and medium concentrations in all chemical groups tested (P<0.05). Mercury accumulation in tissues significantly reduced in mercury+selenium and mercury+zeolite mixtures than in exposure of mercury alone (P<0.05). Our research showed that selenium and zeolite significantly reduce mercury accumulation in the tissues of *O. niloticus*.

***Corresponding author's:**

Özge FIRAT
Adıyaman University
Kahta Vocational School, Adıyaman, Turkey
✉: ozfirat@adiyaman.edu.tr

Keywords: Accumulation, mercury, *Oreochromis niloticus*, selenium, zeolite.

[*] Bu çalışma, doktora tezinden üretilmiştir.

This study was produced from the doctora thesis.

GİRİŞ

Akuatik organizmalar sucul habitatlardaki ekolojik çeşitlilikleri ve ekonomik önemleri nedeniyle çevresel kirliliğin değerlendirilmesinde geniş çapta kullanılmaktadırlar (Fırat, 2016; Fırat & Tutus, 2020). Sucul organizmalar arasında balıkların ağır metal kirliliğinden en çok etkilenen canlı grubu olduğu birçok çalışmada (Aytekin & Kargın 2019; Çoğun & Kargın, 2020; Fırat & Kargın, 2010; Sipahi vd., 2013; Yılmaz vd., 2016) gösterilmiştir. Balıklar akuatik ortamın kalitesinin değerlendirilmesinde ve çevresel kirliliğin belirlenmesinde biyoidikatör türler olarak geniş çapta kullanılmaktadırlar (Fırat & Cesur, 2019). Ağır metaller sucul ortamdaki en önemli kirleticilerden olup balıklar tarafından solungaç, bağırsak ve deri yoluyla alınmakta, metabolik olarak aktif doku veya organlarda birikmekte, moleküler ve hücresel düzeyde önemli hasarlara hatta ölümlere neden olabilmektedirler.

Cıva (Hg) yeryüzünde doğal olarak bulunan toksik bir metaldir. Erozyon ve volkanik patlamalar gibi doğal ve/veya endüstriyel ve tarımsal kullanımına bağlı olarak antropojenik kaynaklarla akuatik ekosistemlere girmektedir (Tchounwou vd., 2003). Hg'nin balıkları da içeren sucul organizmalar için tehlikeli bir çevresel kirleticisi olduğu iyi bilinmektedir. Hg birçok balık türünde birikim göstererek böbrek ve karaciğer lezyonlarına, endokrin bozukluklarına ve merkezi sinir sistemindeki hücrelerin membranlarında değişikliklere neden olmaktadır (Lliopoulou-Georgudaki & Kotsanis, 2001).

Hg'nin aksine selenyum (Se) canlılar için gerekli bir iz elementtir. Se'nin önemli fonksiyonları, hücre büyümesi ve tiroid hormon metabolizmasındaki rollerine ve antioksidan özelliklerine atfedilmektedir (Kryukov vd., 2003; Rayman, 2002). Se canlı vücudunda birkaç element ile etkileşime girebilmektedir. Bu etkileşimler antogonistik ve sinerjik etkiler şeklinde oluşmaktadır. Se, Hg'i de içeren çeşitli ağır metallerin toksik etkilerine karşı detoksifiye edici bir etkiye sahiptir (Cogun vd., 2012; Fırat & Kaya, 2019).

Su ortamlarından ağır metal katyonlarının uzaklaştırılmasında, kimyasal presipitasyon, adsorpsiyon, solvent ekstraksiyonu, ters ozmoz, ultrafiltrasyon ya da iyon değiştirme gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır (Fergusson, 1990). Zeolitler iyon değiştirme yöntemlerinde en sık kullanılan minerallerdir. Zeolitler moleküler elek olarak bilinen mikro gözenekli katı madde ailesinin alümina silikat üyesi olarak ifade edilmektedir. Ağ şeklindeki kristal kafes yapısıyla geniş bir alana sahip olan zeolitler, çeşitli gazları, ağır metalleri, petrokimyasalları, düşük düzeyli radyoaktif elementleri absorblayıcı ya da adsorplayıcı özelliği olan bir maddedir (Mishra & Jain, 2011). Zeolitler, maliyeti düşük olmasından ve katyon değiştirme yeteneklerinden dolayı

özellikle sulardaki ağır metallerin giderilmesinde kullanılmaktadır (Orihuela vd., 2005). Ağır metaller ve zeolitler arasındaki etkileşimler genel olarak iyon değiştirme ve metal iyonlarını adsorplama şeklinde olmaktadır. Bu etkileşimler nedeniyle zeolitler serbest metal bulunabilirliğini azaltarak metallerin balıklara yapacağı olumsuz etkiyi engellemektedir.

Her geçen gün artan endüstriyel ve tarımsal aktivitelere bağlı olarak sucul ekosistemlerdeki Hg'yi de içeren ağır metal düzeyleri artış göstermektedir. Aquatik organizmalar arasında sucul ekosistemlerin önemli canlı grubu olan ve insanların birinci dereceden besinini oluşturan balıklar Hg kontaminasyonunun önemli hedef organizmalarındandır. Hg'nin balıklardaki birikimi ve toksik etkileri hem bu organizmaları hem de besin zinciri aracılığıyla diğer canlıların sağlığını olumsuz etkileyeceğinden bu metalin toksik etkilerini azaltacak/önleyecek mekanizmalar ekosistemin sağlıklı işleyişi ve geleceği açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle sunulan bu çalışmada, *Oreochromis niloticus*'ta cıva birikimi üzerine selenyum ve zeolit etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Sunulan çalışmada araştırma materyali olarak *Oreochromis niloticus* kullanılmıştır. Balıklar, Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi balık yetiştirme havuzlarından alınarak laboratuvara getirilmiş ve içerisinde 120 L bekletilmiş çeşme suyu bulunan 40x140x40 cm ebatlarındaki stok cam akvaryumlarda üç ay süre ile bekletilerek ortam koşullarına adaptasyonları sağlanmıştır. Bu süre içerisinde deneyde kullanılacak balıklar 12,07±0,21 cm boy ve 32,81±0,72 g ağırlığa ulaşmıştır. Deneyler 25±1 °C sıcaklıkta yürütülmüştür. Günde sekiz saat aydınlanma periyodu uygulanmış ve merkezi havalandırma sistemi ile akvaryumlar havalandırılmıştır. Balıklar, hazır balık yemiyle (Pınar Balık Yemi, Türkiye) beslenmiştir. Denemeler başlamadan iki gün önce yem kesilmiş, denemeler süresince balıklar vücut ağırlıklarının %2'si kadar yem ile günde iki defa beslenmiştir. Deney ortam suyunun kimyasal özellikleri; toplam sertlik 335,7±2,3 ppm CaCO₃, çözünmüş oksijen 7,49±0,15 mg/L, pH 8,21±0,07, akvaryum suyu sıcaklığı 21,11±0,20 °C olarak ölçülmüştür.

Deneylerde kullanılan cıva çözeltileri 1M cıva klorür [(HgCl₂)] (Sigma) stok çözeltisinden, selenyum çözeltileri 1M sodyum selenit [(Na₂SeO₃)] (Sigma) stok çözeltisinden ve zeolit çözeltileri (<75 mikron çapında, İstanbul Rota Madencilik AŞ) stok çözeltisinden seri seyreltmeler yöntemi ile hazırlanmıştır. Deneyler cıva, cıva + selenyum ve cıva + zeolit karışımları dikkate alınarak üç seri olacak şekilde yürütülmüştür. Deneyler her

bir seride içerisinde 12 adet balık bulunan üç cam akvaryumda yapılmıştır. Balıklar birinci seride cıvanın 0,01 mg/L ve 0,1 mg/L; ikinci cıva + selenyumun 0,01 mg/L Hg + 0,1 mg/L Se ve 0,1 mg/L Hg + 1,0 mg/L Se ve üçüncü seride ise cıva + zeolitin 0,01 mg/L Hg+0,1 g/L zeolit ve 0,1 mg/L Hg+1,0 g/L zeolit derişimlerinin etkisine 7 ve 21 gün sürelerle bırakılmıştır. Deneylerde birinci seride bulunan 3 akvaryumun ikisine 120 L farklı Hg çözeltileri; ikinci serideki 3 akvaryumun ikisine Hg+Se karışımları; üçüncü serideki 3 akvaryumun ikisine ise Hg+zeolit karışımları konulmuş, her serideki üçüncü akvaryuma ise 120 litre dinlenmiş çeşme suyu konarak kontrol grubu olarak kullanılmıştır. Deneyler altı tekrarlı olarak ve her tekrarda bir balık kullanılarak yürütülmüştür. Dene akvaryumlarında kullanılan kimyasal çözeltilerinin derişimlerinde buharlaşma, adsorbsiyon ve akümülyasyon gibi nedenlerle değişim olabileceği dikkate alınarak çözeltiler birer gün arayla taze hazırlanan stok çözeltilerden uygun seyreltmeler yapılarak değiştirilmiştir.

Denenen süreler sonunda deney akvaryumlarından rastgele seçilen balıklar, çeşme suyuyla yıkanarak temizlenmiş, yüzeylerinde bulunan su damlacıkları kurutma kağıdıyla alınmış ve boy ve ağırlıkları saptanarak diseksiyona hazır hale getirilmiştir. Balıklar diseksiyondan önce spinal yapılarak öldürülmüştür. Steril aletlerle solungaç, karaciğer ve kas dokuları buz üzerinde disekte edilmiştir. Dokuların bir kısmı cıva analizleri için petri kabına konularak etüvde 72 saat süreyle 150 °C sıcaklıkta kurumaya bırakılmıştır. Sürenin sonunda dokuların kuru ağırlıkları alınarak cam tüplere aktarılmış ve üzerlerine sırayla 2 mL nitrik asit (Merck, %65, d:1,40) ve 1 mL perklorik asit (Merck, %60, d:1,53) eklenerek üç saat süre ile çeker ocakta yakılmıştır. Yakım işleminden sonra örnekler polipropilen tüplere aktararak distile su ile 10 mL'ye tamamlanmıştır (Liang vd., 1999). Hazırlanan örneklerdeki cıva düzeyi İndüktif olarak Birleştirilmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES, Perkin Elmer Optima 5300 DV) cihazında ölçülmüştür. Standart çözeltiler kullanılarak cihazın kalibrasyonu sağlanmıştır. Tüm örneklerdeki cıva için üç kez ölçüm yapılarak ortalamaları alınmıştır. Doku cıva düzeyleri µg/g kuru ağırlık (k.a.) olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen verilerin istatistiksel analizi IBM SPSS Statistics 21 paket programında Independent Sample t Testi kullanılarak yapılmıştır.

BULGULAR

Cıva, cıva+selenyum ve cıva+zeolit karışımının denenen tüm etki süresi ve ortam derişimlerinde *O. niloticus*'un solungaç, karaciğer ve kas dokularında belirlenen cıva birikimleri Tablo 1 ve 2'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Cıva (mg/L) ve cıva (mg/L) + selenyum (mg/L) karışımının etkisine bırakılan *O. niloticus*'un dokularındaki cıva düzeyi (µg/g k.a.).
Table 1. Mercury level (µg/g dw) in the tissues of *O. niloticus* exposed to of mercury (mg/L) and mercury (mg/L) + selenium (mg/L) mixture.

Dokular	7 gün	21 gün
Solungaç		
Kontrol	DA	DA
0,01 Hg	8,92±0,15 ^{ax}	24,19±0,21 ^{ay}
0,01 Hg + 0,1 Se	6,11±0,09 ^{bx}	17,25±0,12 ^{by}
Kontrol	DA	DA
0,1 Hg	20,12±0,44 ^{ax}	43,52±0,31 ^{ay}
0,1 Hg + 1,0 Se	13,95±0,21 ^{bx}	29,64±0,19 ^{by}
Karaciğer		
Kontrol	DA	DA
0,01 Hg	2,07±0,07 ^{ax}	6,04±0,14 ^{ay}
0,01 Hg + 0,1 Se	1,41±0,08 ^{bx}	4,43±0,08 ^{by}
Kontrol	DA	DA
0,1 Hg	5,96±0,18 ^{ax}	9,27±0,17 ^{ay}
0,1 Hg + 1,0 Se	4,21±0,06 ^{bx}	5,88±0,20 ^{by}
Kas		
Kontrol	DA	DA
0,01 Hg	0,19±0,02 ^{ax}	0,32±0,03 ^{ay}
0,01 Hg + 0,1 Se	0,11±0,02 ^{bx}	0,20±0,02 ^{by}
Kontrol	DA	DA
0,1 Hg	0,86±0,03 ^{ax}	1,27±0,05 ^{ay}
0,1 Hg + 1,0 Se	0,63±0,04 ^{bx}	0,85±0,02 ^{by}

Veriler Aritmetik ortalama±Standart hata şeklinde sunulmuştur (n=6). "a ve b" harfleri aynı dokudaki derişimler arasındaki metal düzeylerinin ayrımı belirlemek amacıyla kullanılmıştır. "x ve y" harfleri ise aynı derişimdeki etkileşim süreleri arasındaki metal düzeylerinin ayrımını göstermek için kullanılmıştır. Farklı harfler, veriler arasındaki istatistiksel ayırım olduğunu göstermektedir (P<0,05). DA: Duyarlılık düzeyinin altında.

7 ve 21 günlük süreler sonunda her iki ortam derişiminde de cıva+selenyum karışımlarının etkisindeki balıkların solungaç, karaciğer ve kas dokularındaki cıva birikiminin doğrudan cıvanın etkisine bırakılanlara oranla daha düşük olduğu belirlenmiştir (Tablo 1). Dokulardaki bu azalmanın istatistik olarak önemli olduğu saptanmıştır (P<0,05). Selenyumun varlığında incelenen tüm dokulardaki cıva birikimi önemli düzeylerde azalmıştır. 21. gün sonunda 0,1 mg/L Hg + 1,0 mg/L Se karışımındaki balıkların dokularındaki cıva birikimi 0,1 mg/L Hg etkisine oranla solungaçta %32, karaciğerde %37 ve kasta %33 düzeyinde azalmıştır. Aynı ortam derişiminde etki süresine bağlı olarak dokulardaki cıva birikiminin arttığı gözlenmiştir (Tablo 1, P<0,05). Solungaç, karaciğer ve kas dokularında süreye bağlı olarak gözlenen cıva düzeyindeki artışın, cıva+selenyum karışımına oranla cıvanın tek başına etkisinde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. 0,1 mg/L Hg ve 0,1 mg/L Hg + 1,0 mg/L Se etkisinde 7 günlük süreye oranla 21 günlük süre sonunda dokulardaki cıva düzeyi, sırasıyla, solungaçta %116 ve %112, karaciğerde %56 ve %39 ve kas dokusunda %48 ve %35 düzeyinde arttığı saptanmıştır.

Her iki etki süresi sonunda her iki ortam derişiminde cıva+zeolit karışımının etkisindeki balıkların tüm dokularındaki cıva birikiminin cıvanın tek başına etkisindeki balıklara oranla istatistiksel olarak daha düşük olduğu saptanmıştır (Tablo 2, P<0,05). 21 günlük süre sonunda yüksek cıva+zeolit karışımlarının etkisindeki balıkların dokularındaki cıva birikiminde yüksek cıva ortam derişiminin tek başına etkisine oranla solungaçta %20, karaciğerde %26 ve kasta %22 düzeyinde azalış

olduğu belirlenmiştir. Belirli bir ortam derişiminde etkileşim süresine bağlı olarak incelenen tüm dokularda cıva birikiminin arttığı saptanmıştır (Tablo 2, P<0,05). İncelenen tüm dokulardaki süreye bağlı olarak gözlenen cıva düzeyindeki artışın, cıva+zeolit karışımına oranla cıvanın tek başına etkisinde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. 0,1 mg/L Hg ve 0,1 mg/L Hg + 1,0 g/L Zeolit etkisinde 7 günlük süreye oranla 21 günlük süre sonunda dokulardaki cıva düzeyi, sırasıyla, solungaçta %116 ve %104, karaciğerde %56 ve %37 ve kas dokusunda %48 ve %45 düzeyinde artığı saptanmıştır.

Tablo 2 Cıva (mg/L) ve cıva (mg/L) + zeolit (g/L) karışımının etkisine bırakılan *O. niloticus*'un dokularındaki cıva düzeyi (µg/g k.a.).

Table 2. Mercury level (µg/g dw) in the tissues of *O. niloticus* exposed to of mercury (mg/L) and mercury (mg/L) + zeolite (g/L) mixture.

Doku	7 gün	21 gün
Solungaç		
Kontrol	DA	DA
0,01 Hg	8,92±0,15 ^{ax}	24,19±0,21 ^{ay}
0,01 Hg +0,1 Zeolit	7,25±0,07 ^{bx}	20,33±0,28 ^{by}
Kontrol	DA	DA
0,1 Hg	20,12±0,44 ^{ax}	43,52±0,31 ^{ay}
0,1 Hg + 1,0 Zeolit	17,09±0,13 ^{bx}	34,98±0,19 ^{by}
Karaciğer		
Kontrol	DA	DA
0,01 Hg	2,07±0,07 ^{ax}	6,04±0,14 ^{ay}
0,01 Hg +0,1 Zeolit	1,71±0,05 ^{bx}	5,12±0,08 ^{by}
Kontrol	DA	DA
0,1 Hg	5,96±0,18 ^{ax}	9,27±0,17 ^{ay}
0,1 Hg + 1,0 Zeolit	5,02±0,09 ^{bx}	5,12±0,08 ^{by}
Kas		
Kontrol	DA	DA
0,01 Hg	0,19±0,02 ^{ax}	0,32±0,03 ^{ay}
0,01 Hg +0,1 Zeolit	0,13±0,02 ^{bx}	0,26±0,02 ^{by}
Kontrol	DA	DA
0,1 Hg	0,86±0,03 ^{ax}	1,27±0,05 ^{ay}
0,1 Hg + 1,0 Zeolit	0,68±0,02 ^{bx}	0,99±0,03 ^{by}

Veriler Aritmetik ortalama±Standart hata şeklinde sunulmuştur (n=6). "a ve b" harfleri aynı dokudaki derişimler arasındaki metal düzeylerinin ayrımını belirlemek amacıyla kullanılmıştır. "x ve y" harfleri ise aynı derişimdeki etkileşim süreleri arasındaki metal düzeylerinin ayrımını göstermek için kullanılmıştır. Farklı harfler, veriler arasındaki istatistiksel ayrım olduğunu göstermektedir DA: Duyarlılık düzeyinin altında.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Akuatik organizmalar arasında balıklar, çeşitli ağır metallerin zararlı etkilerine maruz kalmaları nedeniyle sucul ekosistemlerdeki metal kirliliğinin izlenmesinde en önemli organizmalar olarak kullanılmaktadırlar (Van der Oost vd., 2003). Balıklar ağır metallerle kontaminasyon süreçlerinde, metallerin ya doğrudan solungaç epiteli ve deri yoluyla veya dolaylı olarak bağırsaklar aracılığıyla biyolojik bariyerleri geçerek vücuda alındığı ve solungaç, karaciğer ve böbrek gibi metabolik olarak aktif dokularda biriktiği belirlenmiştir (Mzimela vd., 2003). Bu nedenle toksik metallerin alımı ve birikiminin kontrolü, canlı organizmalar için oldukça önemlidir. Sudaki besin zincirinin önemli bir ögesi olan balıklar üzerinde olumsuz bir etkinin oluşması, ekosistemin geleceği için risk oluşturacağından balıklarda cıva birikiminin ve toksik etkilerinin çalışılması önemlidir. Balıklar, sudaki besin zincirinin son halkasını oluşturmaları ve insanlar

tarafından besin kaynağı olarak tüketilmesi nedeniyle, birçok ekotoksikolojik çalışma balıklardaki ağır metal birikiminin belirlenmesine yönelik olarak yapılmıştır (Çogun vd., 2006; Fırat, 2016; Fırat vd., 2009).

Tilapia (*Oreochromis* sp.) dünyada yaygın şekilde kültürü yapılan tatlı su balıklarından birisidir. Ekotoksikolojik çalışmaların çoğunda bu tür, akuatik ekosistemlerdeki kirleticilerin etkilerini değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Tilapia yüksek büyüme hızı, farklı diyetlere adaptasyondaki yeteneği, hastalıklara ve taşıma esnasındaki streslere direnç göstermeleri, kolay üremeleri ve ağır metal stresini de içeren çeşitli toksik maddelere karşı geniş tolerans yeteneği gibi farklı özellikleri nedeniyle toksikolojik çalışmalarda kullanılan iyi bir biyolojik modeldir (Fontainhas-Fernandes, 1998).

Balık solungaçları, yalnızca bir solunum organı değil aynı zamanda ozmoregülasyon ve boşaltım gibi çeşitli fizyolojik fonksiyonların da yürütüldüğü bir dokudur. Solungaçlar suda çözülmüş metal iyonların alınmasında ve birikiminde önemli bir dokudur. Solungaç dokusunun sudaki metalin alınımında ilk yol olduğu iyi bilinmektedir. Solungaçlar su için geniş yüzey alanına sahip olması, su ile kan arasındaki difüzyon mesafesinin kısa olmasına bağlı olarak dış ve iç ortam arasında çok yakın bir temasın oluşmasını sağlayan bir doku olarak önem taşımaktadır (Fırat vd., 2009). Tüm organizmalarda karaciğer, temel metabolik olaylarda işlevi olan ve genelde toksik maddelerin parçalanması, atılımı, biyotransformasyonu ve birikimde esas organ olarak işlev görmektedir. Solungaç, karaciğer ve böbrek gibi metabolik olarak aktif dokular kas gibi diğer dokulara oranla daha fazla metal biriktirebilmektedirler (Fırat, 2016). Önceki çalışmalarla benzer şekilde araştırmamızda da kas dokusuna oranla solungaç ve karaciğerin daha yüksek miktarlarda cıva biriktirdiği belirlenmiştir.

Araştırmamızda *O. niloticus*'un tüm dokularında cıva birikiminin cıvanın tek başına etkisine oranla Hg+Se karışımlarında anlamlı bir şekilde azaldığı saptanmıştır. Selenyumun balıklarda cıva alımı ya da atılım oranlarını etkileyerek dokulardaki metal birikimini azalttığı düşünülmektedir. *Oncorhynchus mykiss*'te intraperitoneal olarak verilen Hg'nın dokularda birikimi üzerine besin yoluyla verilen Se'nin etkisinin incelendiği bir çalışmada dokulardaki Hg birikiminin Se varlığında azaldığı saptanmıştır (Bjerregaard vd., 1999). Araştırmacılar bu azalmanın selenyumun cıvanın vücuttan atılımını sağlayarak gerçekleştirdiğini ve bu nedenle selenyumun cıvanın alımını engellemesinden çok atılımını sağlayarak Hg birikimini azalttığını belirtmişlerdir. *Danio rerio*'da vücuttaki cıva birikiminin yaklaşık %15'nin selenyum uygulamasından sonra 48 saat içinde vücuttan atıldığı rapor edilmiştir (Bjerregaard vd., 2011). *Perna viridis* türü midyelerde Hg'nın birikimi üzerine Se etkisinin

araştırıldığı çalışmada selenyumun varlığında dokulardaki Hg birikiminin önemli oranlarda azaldığı belirlenmiştir (Wang vd., 2004). Araştırmacılar selenyumun Hg toksitesi üzerine koruyucu bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Çalışmamızda *O. niloticus*'un solungaç, karaciğer ve kas dokularındaki cıva birikiminin cıvanın tek başına etkisine oranla cıva+zeolit karışımlarında anlamlı bir şekilde azaldığı belirlenmiştir. Zeolitın iyon değiştirme yeteneği ve moleküler elek özelliğine sahip olması nedeniyle ortamdaki serbest cıva bulunurluğunu azaltarak dokulardaki cıva birikimini düşürdüğü düşünülmektedir. Zeolitlerin ağır metallere karşı ilgisi çok yüksektir. Bazı araştırmalarda katyon değiştirebilme yeteneklerinden dolayı zeolitlerin sucul ortamlardan ağır metallerin uzaklaştırılmasında kullanıldığı birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Cogun & Sahin, 2012; Mishra & Jain, 2011). Zeolitlerin etkisiyle akuatik ekosistemlerdeki ağır metal derişiminin azalması sonucu balık dokularındaki metal düzeylerinin de azaldığı belirtilmiştir (Shrivastava vd., 2001).

Yapılan birçok çalışmada zeolit varlığında dokularda metallerin birikim düzeylerinin azaldığı rapor edilmiştir. Kurşun ve kurşun+zeolit karışımlarının etkisine bırakılan *Cyprinus carpio*'nun dokularında kurşun düzeylerinin kurşunun tek başına etkisine oranla zeolit ile birlikte etkisinde azaldığı rapor edilmiştir (Tepe vd., 2004). *O. niloticus*'ta bakır birikimi üzerine zeolitın etkisinin araştırıldığı çalışmada dokulardaki Cu birikiminin Cu'nun tek başına etkisine oranla Cu+Zeolit karışımlarının etkisinde azaldığı saptanmıştır (Dinler, 2005). Araştırmacılar, zeolitın iyon değiştirme yeteneği nedeniyle su ortamındaki bakırın serbest bulunurluğunu azaltarak Cu birikimini azalttığını belirtmişlerdir. Pb ve Pb+zeolit farklı ortam derişimlerin etkisinde *O. niloticus*'un karaciğer, solungaç, böbrek ve kas dokularındaki kurşun birikimini araştırıldığı bir çalışmada Pb düzeyinin ortam derişimi ve sürenin artışına bağlı olarak tüm dokularda arttığını ancak bu artışın metabolik olarak daha aktif olan solungaç, böbrek ve karaciğer dokularında kasa oranla daha yüksek olduğunu gözlemlemişler (Cogun & Sahin, 2012). Araştırmacılar, tüm dokulardaki Pb birikiminin Pb+zeolit karışımları etkisinde Pb'nin tek başına etkisine oranla daha düşük olduğunu rapor etmişlerdir. Cu ve Cd'nin tek başlarına ve Ca ve zeolit ile birlikte etkisinde *O. niloticus*'un solungaç, karaciğer ve böbrek dokularındaki metal birikimleri ile ilgili yapılan bir çalışmada metal birikiminin metallerin tek tek etkilerine oranla metal+Ca ve metal+zeolit derişimlerinde azaldığı ve Ca ile zeolitın metallerin biyobirikimi üzerine koruyucu bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir (Çimrin Reyhan, 2014).

Sonuç olarak sunulan çalışmada incelenen tüm dokulardaki cıva birikiminin denenen tüm kimyasal gruplarında ortam derişiminin artışı ve sürenin uzamasına

bağlı olarak arttığı ve dokulardaki en yüksek metal birikiminin solungaçlarda en az birikimin ise kasta olduğu saptanmıştır. Dokulardaki cıva birikiminin cıva+selenyum ve cıva+zeolit karışımlarında cıvanın tek başına etkisine oranla önemli bir şekilde azaldığı belirlenmiştir. Araştırmamız selenyum ve zeolitın *O. niloticus*'un dokularında cıva birikimini önemli düzeylerde azalttığını göstermiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma YÖK Ulusal Tez Merkezi Referans Nosu "414359" olan Doktora tez çalışmasından üretilmiştir. Bu araştırma FEF2012D1 nolu Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi ile yürütülmüştür.

KAYNAKLAR

- Aytekin, T. & Kargın, F. (2019).** Effect of copper on G6PD activity in the liver, gill, kidney and muscle tissues of *Oreochromis niloticus*. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, **4**(2), 60-63. DOI: [10.35229/jaes.537019](https://doi.org/10.35229/jaes.537019)
- Bjerregaard, P., Andersen, B.W. & Rankin, J.C. (1999).** Retention of methyl mercury and inorganic mercury in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (W): effect of dietary selenium. *Aquatic Toxicology*, **45**, 171-180. DOI: [10.1016/S0166-445X\(98\)00099-X](https://doi.org/10.1016/S0166-445X(98)00099-X)
- Bjerregaard, P., Fjordside, S., Hansen, M.G. & Petrova, M.B. (2011).** Dietary selenium reduces retention of methyl mercury in freshwater fish. *Environmental Science and Technology*, **45**, 9793-9798. DOI: [10.1021/es202565g](https://doi.org/10.1021/es202565g)
- Cogun, H. Y., Firat, Ö., Firat, Ö., Yuzereroglu, T. A., Gok, G., Kargın, F. & Kotemen, Y. (2012).** Protective effect of selenium against mercury induced toxicity on hematological and biochemical parameters of *Oreochromis niloticus*. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, **26**(3), 117-122.
- Cogun, H.Y. & Sahin, M. (2012).** The effects of zeolite on reduction of lead toxicity in Nil tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758). *Kafkas Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, **18**, 135-140.
- Cogun, H.Y., Yuzereroglu, T.A., Firat, Ö., Gök, G. & Kargın, F. (2006).** Metal concentrations in fish species from the northeast Mediterranean Sea. *Environmental Monitoring and Assessment*, **121**, 431-438. DOI: [10.1007/s10661-005-9142-0](https://doi.org/10.1007/s10661-005-9142-0)
- Çimrin Reyhan, İ. (2014).** *Oreochromis niloticus*'da bakır ve kadmiyum birikiminde kalsiyum ve zeolitın etkileri. Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kilis, Türkiye, 44 s.
- Çoğun, H.Y. & Kargın, F. (2020).** Copper accumulation and Na/K ion levels in gill tissue of *Cyprinus carpio*. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, **5**(3), 313-317. DOI: [10.35229/jaes.749347](https://doi.org/10.35229/jaes.749347)
- Dinler, Z.M. (2005).** Zeolit (clinoptilolite) Tilapia'da (*Oreochromis niloticus*) bakır toksitesi üzerine koruyucu etkisi. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, Türkiye, 63 s.

- Fergusson, J.E. (1990).** *The heavy elements: chemistry environmental impact and health effects*, Pergamon Oxford.
- Firat, Ö. & Bozat, R.C. (2019).** Assessment of biochemical and toxic responses induced by titanium dioxide nanoparticles in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Human and Ecological Risk Assessment*, **25**(6), 1438-1447. DOI: 10.1080/10807039.2018.1465338
- Firat, Ö. & Kargin, F. (2010).** Protein intensity changes in the hemoglobin and plasma electrophoretic patterns of *Oreochromis niloticus* in response to single and combined Zn and Cd exposure. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, **24**, 395-401. DOI: 10.1002/jbt.20352
- 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. DOI: 10.12714/egejfas.2019.36.3.05
- 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. DOI: 10.1007/s00128-020-02990-y
- Firat, Ö. (2016).** Evaluation of metal concentrations in fish species from Atatürk Dam Lake (Adiyaman, Turkey) in relation to human health. *Fresenius Environmental Bulletin*, **25**(9), 3629-3634.
- Firat, Ö., Cogun, H.Y., Aslanyavrusu, S. & Kargin, F. (2009).** Antioxidant responses and metal accumulation in tissues of *Oreochromis niloticus* under Zn, Cd and Zn+Cd exposures. *Journal of Applied Toxicology*, **29**, 295-301. DOI: 10.1002/jat.1406
- Fontainhas-Fernandes, A.A. (1998).** Tilapia production, in: M.A. Reis- Henriques (Ed.), *Aquaculture Handbook*, pp. 135-150.
- Kryukov, G.V., Castellano, S., Novoselov, S.V., Lobanov, A.V., Zehtab, O. & Guigo, R. (2003).** Characterization of mammalian selenoproteomes. *Science*, **300**, 1439-1443. DOI: 10.1126/science.1083516
- Liang, Y., Cheung, R.Y.H. & Wong, M.H. (1999).** Reclamation of wastewater for polyculture of freshwater fish: Bioaccumulation of trace metals in fish. *Water Research*, **33**, 2690-2700. DOI: 10.1016/S0043-1354(98)00473-4
- Lliopoulou-Georgudaki, I.J. & Kotsanis, N. (2001).** Toxic effects of cadmium and mercury in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): a short-term bioassay. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **66**, 77-85. DOI: 10.1007/s0012800208
- Mishra, M. & Jain, S.K. (2011).** Properties and applications of zeolites: A Review. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **81**, 250-259.
- Mzimela, H.M., Wepener, V. & Cyrus, D.P. (2003).** Seasonal variation of selected metals in sediments, water and tissues of the groovy mullet, *Liza dumerelii* (Mugilidae) from the Mhlathuze Estuary, South Africa. *Marine Pollution Bulletin*, **46**, 659-676. DOI: 10.1016/S0025-326X(03)00088-2
- Orihuela, D., Meichtry, V., Pregi, N. & Pizarro, M. (2005).** Short-term oral exposure to aluminium decreases glutathione intestinal levels and changes enzyme activities involved in its metabolism. *Journal of Inorganic Biochemistry*, **99**, 1871-1878. DOI: 10.1016/j.jinorgbio.2005.06.029
- Rayman, M.P. (2002).** The argument for increasing selenium intake. *Proceedings of the Nutrition Society*, **61**, 203-221. DOI: 10.1079/PNS2002153
- Shrivastava, S., Mishra, M. & Jain, S.K. (2001).** Remediation of lead toxicity in fish tissues through zeolite with reference to glycogen content. *Journal of Natcon*, **13**(2), 231-235.
- Sipahi, N., Mutlu, C. & Akkan, T. (2013).** Giresun İlinde tüketime sunulan bazı balıklardan izole edilen *Enterobacteriaceae* üyelerinin antibiyotik ve ağır metal dirençlilik düzeyleri. *Gıda*, **38**(6), 343-349.
- Tchounwou, P.B., Ayensu, W.K., Nnashvili, N. & Sutton, D. (2003).** Environmental exposure to mercury and its toxicopathologic implications for public health. *Environmental Toxicology*, **18**, 149-175. DOI: 10.1002/tox.10116
- Tepe, Y., Akyurt, I., Ciminli, C., Mutlu, E. & Caliskan, M. (2004).** Protective effect of clinoptilolite on lead toxicity in common carp *Cyprinus carpio*. *Fresenius Environmental Bulletin*, **13**, 639-642.
- Van Der Oost, R., Beyer, J. & Vermeulen, N.P.E. (2003).** Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, **13**, 57-149. DOI: 10.1016/S1382-6689(02)00126-6
- Yilmaz, M., Teber, C., Akkan, T., Er, C. & Kariptas, E. (2016).** Determination of heavy metal levels in different tissues of tench (*Tinca tinca* L., 1758) from Siddikli Kucukbogaz dam lake (Kirsehir), Turkey. *Fresen. Environ. Bull.*, **25**, 1972-1977.
- Wang, W., Wong, R.S.K., Wang, J. & Yen, Y. (2004).** Influences of different selenium species on the uptake and assimilation of Hg (II) and methylmercury by diatoms and green mussels. *Aquatic Toxicology*, **68**, 39-50. DOI: 10.1016/j.aquatox.2004.02.003