



## *Oreochromis niloticus*'da Böbrek ve Kas Dokularında Çinko Oksit Nanopartikülleri ve Çinko Sülfatın Birikimi <sup>[\*]</sup>

Onur ÜNAL<sup>1\*</sup> Ferit KARGIN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Adana, Türkiye

<sup>2</sup>Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Adana, Türkiye

Geliş Tarihi: 01.07.2021

Kabul Tarihi: 31.10.2021

Basım Tarihi: 31.12.2021

Atıf yapmak için: Ünal, O. & Kargin, F. (2021). *Oreochromis niloticus*'da Böbrek ve Kas Dokularında Çinko Oksit Nanopartikülleri ve Çinko Sülfatın Birikimi. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, 6(4), 498-505.

How to cite: Ünal, O. & Kargin, F. (2021). Accumulation of Zinc Oxide Nanoparticles and Zinc Sulphate in Kidney and Muscle Tissues in *Oreochromis niloticus*. *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 6(4), 498-505.

\*ID: <https://orcid.org/0000-0002-8475-1295>  
ID: <https://orcid.org/0000-0003-4325-5689>

**\*Sorumlu yazarın:**

Ferit KARGIN  
Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat  
Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Adana, Türkiye  
✉: [fkargin@cu.edu.tr](mailto:fkargin@cu.edu.tr)

**Öz:** Bu çalışmada ZnO NP ve ZnSO<sub>4</sub>'ün etkisine bırakılan *Oreochromis niloticus*'un böbrek ve kas dokularında çinko birikimi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Balıklar 0,5, 2,5 ve 5,0 mg/L ZnO NP ve ZnSO<sub>4</sub>'ün ortam derişimlerine 3 ve 15 günlük sürelerle bırakılarak dokularındaki çinko birikimi Atomik Absorbsiyon Spektrofotometrik yöntemlerle saptanmıştır. Bu çalışmada ZnO NP ve ZnSO<sub>4</sub>'ün etkisine bırakılan balıkların dokularında çinkonun birikimi ortamdaki Zn derişimi ve sürenin artmasıyla arttığı tespit edilmiştir. Denenen tüm şartlarda ZnO NP'lerin etkisine bırakılan balıkların dokusundaki çinko birikimi, ZnSO<sub>4</sub>'ün etkisine bırakılan balıklara oranla daha düşük düzeyde olduğu bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Birikim, çinko, nanopartikül, *Oreochromis niloticus*.

## Accumulation of Zinc Oxide Nanoparticles and Zinc Sulphate in Kidney and Muscle Tissues in *Oreochromis niloticus*

**\*Corresponding author's:**

Ferit KARGIN  
Cukurova University, Faculty of Arts and  
Sciences, Department of Biology, Adana,  
Turkey  
✉: [fkargin@cu.edu.tr](mailto:fkargin@cu.edu.tr)

**Abstract:** In this study, zinc accumulation in kidney and muscle tissues of *Oreochromis niloticus* were investigated in both ZnO NP and ZnSO<sub>4</sub>. The fish were exposed to 0.5, 2.5 and 5.0 mg/L ZnO NP and ZnSO<sub>4</sub> for 3 and 15 days. Levels of zinc in various tissues was measured by Atomic Absorbtion Spectrophotometric Methods. In this study, zinc accumulations in the tissues after to ZnO NP and ZnSO<sub>4</sub> for 3 and 15 days increased with increasing concentrations of Zn and time in the medium. It was found that the zinc accumulation in the tissue of fish exposed to ZnO NPs in all tested conditions was lower than those of fish exposed to ZnSO<sub>4</sub>.

**Keywords:** Accumulation, nanoparticles, *Oreochromis niloticus*, zinc.

## GİRİŞ

Son zamanlarda, hızlı endüstriyel ve tarımsal ilerlemenin bir sonucu olarak çeşitli organik ve inorganik maddelerden kaynaklanan çevre kirliliği büyük dikkat çekmiştir (Akkan vd., 2018; Işık & Akkan, 2021, Polat & Akkan, 2016). Madencilik, sanayi ve tarımsal faaliyetler, suda metal konsantrasyonlarının artışına neden olmakta bu da sublethal konsantrasyonlarda bile su ortamında zararlı

etkiler oluşturmaktadır (Sorensen, 1991). Ağır metaller, toksik oluşları, yüksek kalıcılığı, biyolojik olarak parçalanabilmelerinin zor olması ve organizmalarda biyo-birikimleri nedeniyle su ortamının ciddi kirletici maddeleri olarak kabul edilirler. Ağır metaller, kemikli balıkların önemli osmoregülasyon sistemlerinde iyon taşınımını engellemekte, solungaç, beyin ve böbrek gibi çeşitli

<sup>[\*]</sup> Bu çalışma, yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

This study was produced from the master thesis.

organlara yapısal hasar verebilmektedirler (Thaker vd., 1996).

Çinko endüstrinin birçok alanında ve tarımda gübrenin yapısında kullanılan önemli bir metaldir. Çinkonun tatlı su habitatlarında yaklaşık 4,50-20 g/l'lik konsantrasyonlarda olduğu bildirilmiştir (Adhikari vd., 2009). Çinko doğada en çok bulunan geçiş metallerinden biridir ve tüm canlı dokularının temel bir bileşenidir.

Metal oksit nanopartikülleri (NP), çeşitli ticari ürünlerde uygulanan en çok kullanılan mühendislik NP'leri arasındadır ve bu da potansiyel olarak insan ve çevre sağlığında olumsuz etkiler oluşturması endişelerine yol açmaktadır (Aschberger vd., 2011). NP'lerin benzersiz özellikleri, küçük boyutlu olmaları ve parçacıkların geniş yüzey alanından kaynaklanır, böylece elektronik, sağlık, kozmetik, teknoloji ve mühendislik endüstrilerindeki çok çeşitli yeni uygulamalar onları çekici kılmaktadır (Lecoanet & Wiesner 2004; Sun vd., 2005). Metal oksit NP'lerinin kullanımının artması, bu parçacıkların su ortamına bırakılmasına neden olmaktadır.

Çinko oksit nanopartikülleri (ZnO NP) tipik metal oksit NP'lerdir ve yüksek stabilite, antikorozyon ve fotokatalitik özelliklerinden ötürü plastikler, seramik, cam, çimento, kauçuk, yağlayıcılar, boyalar, pigmentler, gıdalar (Zn besin kaynağı), ve piller de geniş bir şekilde kullanılmaktadır (Osmond & McCall, 2010). ZnO NP'ler zehirli ve biyokimyasal değişen özelliklerinden dolayı, su ortamında bulunan en zararlı nano ürünlerden biri olarak sınıflandırılırlar (Kahru & Dubourguier, 2010; Li vd., 2011; Zhu vd. 2008).

Balıklarda biyoakümülyasyon süreçlerini etkileyen faktörler; metal türleri, balık türleri ve doku tipleri olduğu belirlenmiştir (Lu vd., 2017). Temel olarak balıklar, metalleri iki alım yoluyla alır: sindirim sistemi ve solungaç yüzeyi (Turkmen vd., 2009). Daha sonra metaller kan yoluyla karaciğer ve böbrek gibi diğer hedef organlara aktarılır (Nabavi vd., 2012).

NP'ler oksidatif hasar ve histopatolojik değişiklikler oluşturan etkilerinden sonra balıkların vücutlarındaki farklı dokularında birikebilir ve dağılırlar. Balık dokularında metal oksit NP dağılımı üzerine süre ve derişime bağlı etkiler ilgili şimdye kadar çok az çalışma bulunmaktadır. Metal bazlı ve metal oksit esaslı NP'lerde toksisite, NP'lerin küçük boyut ve dolayısıyla yüksek yüzey aktivitesi ile ilgili spesifik özelliklerden kaynaklanırken, etkileri ve birikimler, metal iyonlarının serbest bırakılmasıyla daha da artabildiği belirtilmiştir (Auffan vd., 2009).

Bu çalışmada çinko oksit nanopartiküllerinin ve çinko sülfatın farklı derişim ve sürelerinin etkisinde *Oreochromis niloticus*'un, böbrek ve kas dokularında çinko birikiminin karşılaştırmalı olarak belirlenmesi amaçlanmıştır.

## MATERYAL VE METOT

Çukurova Üniversitesi Su ürünleri Fakültesinden alınan *O. niloticus* balıkları Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Ekofizyoloji laboratuvarına getirilmiş ve her biri 40x120x40 cm boyutlarındaki stok akvaryumlar içerisinde 2 ay süreyle laboratuvar ortam koşullarına adaptasyonları sağlanmıştır. Bu süre sonunda deneyde kullanılan balıklar 18,50±1,32 cm boy ve 90,25 ± 4,55 g ağırlığa ulaşmışlardır. Yerel Etik Kurulu ilkelerine uyulmuştur.

Deneyler 25±1°C sıcaklıkta yürütülmüş, akvaryumlar merkezi havalandırma sistemi ile havalandırılmış ve günde 12 saat aydınlanma, 12 saat karanlık periyodu uygulanmıştır. Balıklar, günde iki kez olmak üzere balık ağırlığının % 2'i kadar hazır balık yemi (Pınar Balık Yemi, Türkiye) ile beslenmişlerdir. Deney süresince adsorbsiyon ve evaporasyon gibi nedenlerle çinko çözeltileri her gün taze olarak hazırlanan stok çözeltilerinden uygun seyreltmeler yapılarak değiştirilmiştir.

Deneyler için ZnO NP her gün taze stok solüsyon şeklinde hazırlanmıştır. Stok solüsyonda ultra saf su (18 MΩ/cm) kullanılarak vorteks ile 6 saat karıştırılarak çözdürülmüştür. Örneklerin NP boyutu ve yüzey yükünün belirlenmesi için analizi yapılmış ve karakteristik özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile stok solüsyon ve yüksek doz ZnO.NP 5,0 mg/L etkisindeki akvaryum çözeltilerinden belirlenmiştir (Çizelge 1).

**Çizelge 1.** ZnO NP'nin taramalı elektron mikroskop (SEM) ölçüm sonuçları

**Table 1.** Scanning electron microscope (SEM) measurement results of ZnO NP

Partikül karakterleri	Metod	Mili-Q Saf Su	Çeşme Suyu
Büyükölç (nm)	TEM	<100nm*	
Partikül Büyükölç Ayrımı (nm)	SEM	85,5±7.3	11±8,7

\*sigma aldrich katalogundaki ZnO.NP değeri

Deneylerde 40X120X40 cm. boyutlarında olan 7 cam akvaryum kullanılmıştır. Her bir akvaryuma 12 balık konulmuş, toplamda 84 balık kullanılmıştır. Birinci seride bu akvaryumlardan üçüne 120'şer litre 0,5, 2,5 ve 5,0 mg/L ZnO NP çözeltileri, ikinci serideki akvaryumlardan üçüne ZnSO<sub>4</sub>'un 0,5, 2,5 ve 5,0 mg/L lik çözeltilerinden 120'şer litre konulmuştur. Yedinci akvaryuma ise metal içermeyen çeşme suyu konulup kontrol grubu olarak değerlendirilmiştir. Deneyler üç tekrarlı olarak yürütülmüştür ve her tekrarda iki balık kullanılmıştır. Deney çözeltilerinin hazırlanmasında çinko sülfat (Sigma Aldrich, ZnSO<sub>4</sub>:5H<sub>2</sub>O) ve çinko oksit nanopartikülü (Sigma-Aldrich; ZnO; partikül boyutu <100nm) kullanılmıştır

Belirlenen her sürenin sonunda balıklar çeşme suyu ile iyice yıkanmış ve kurutma kâğıdı ile yüzeylerinde

bulunan su damlacıkları alınmıştır. Balıklarda böbrek ve kas dokuları disekte edilmiştir.

Çinko analizleri için dokular petri kabına aktararak etüvde 150°C de 48 saat süreyle kurumaya bırakılmıştır. Bu sürenin sonunda kuru ağırlıkları belirlenen dokular deney tüplerine aktararak 2 mL nitrik asit (Merck, %65, d:1,40) ve 1 mL perklorik asit (Merck, %60, d:1,53) eklenerek 3 saat süreyle yakılmıştır. Yakım işlemi tamamlanan örnekler polietilen tüplere aktarılmış, saf su ile 5 mL ye tamamlanarak çinko analizi için hazır hale getirilmiştir. Dokulardaki çinko analizi Perkin Elmer marka Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi ile yapılmıştır.

Deneylerden elde edilen verilerin istatistik analizleri “Regresyon analizi” ve “Student-Newman Keul’s Test (SNK)” testleri SPSS 21 paket programı uygulanarak yapılmıştır.

## BULGULAR

Bu çalışmada; ZnO NP ve ZnSO<sub>4</sub> etkisine 3 ve 15 gün sürelerle bırakılan *O. niloticus*’un böbrek ve kas dokularında çinko birikiminin belirlenmesi araştırılmıştır.

Böbrek dokusunda ZnO NP etkisindeki Zn birikimi tüm derişim ve sürelerde kontrole oranla artış göstermiştir (Çizelge 2; P<0,05). Her iki etki süresinde derişimdeki artışa paralel olarak çinko birikiminin artış gösterdiği ve bu artışın istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır (P<0,05). En yüksek çinko birikimi her iki etki süresinde de 5,0 mg/L’lik derişimde olduğu belirlenmiştir (P<0,05).

ZnSO<sub>4</sub> etkisinde böbrek dokusundaki Zn birikimi, tüm derişim ve sürelerde kontrole oranla arttığı belirlenmiştir (P<0,05). 3 ve 15 günlük etki süresinde derişimler arasında çinko birikimi bakımından istatistiksel olarak önemli farklılıklar olduğu belirlenmiştir. 5,0 mg/L’lik derişimde 0,5 ve 2,5 mg/L’lik derişimlere oranla birikimin daha fazla olduğu saptanmıştır (P<0,05). Denenen tüm derişimlerde ZnSO<sub>4</sub> etkisinde böbrek dokusundaki Zn birikimi ZnO NP etkisinde kalanlara oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Belirli bir ortam derişiminde etkide kalınan sürenin uzamasıyla ZnO NP etkisinde kalan balıkların böbrek dokusunda Zn birikiminin arttığı belirlenmiştir. (Çizelge 2; SNK; P<0,05). 0,5 mg/L ZnSO<sub>4</sub> etkisinde 3. güne oranla 15. günde böbrek dokusunda çinko birikiminin arttığı belirlenmiştir.

ZnO NP ve ZnSO<sub>4</sub> böbrek çinko dokusundaki birikimleri kıyaslandığında, 0,5 mg/L’lik derişimde 3 ve 15. günlerde herhangi bir farklılık gözlenmezken (Şekil 1; P>0,05), 2,5 ve 5,0 mg/L’lik derişimde 3 günlük etki süresinde Zn SO<sub>4</sub>’ün etkisinde kalan balıkların böbrek dokusundaki birikim ZnO NP’ün etkisinde kalan

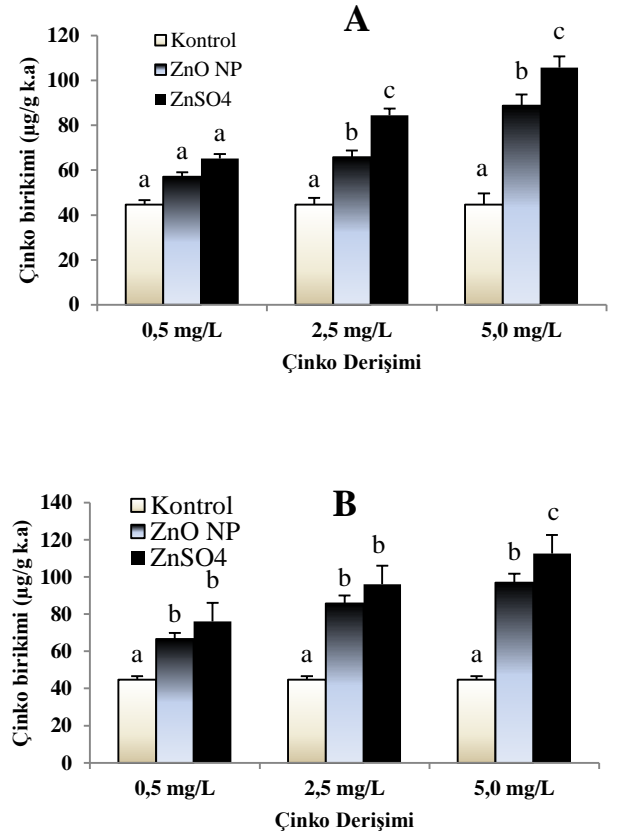
balıklardaki çinko birikimine oranla daha fazla olmuştur (P<0,05). 5,0 mg/L’lik derişimde 15 günlük etki süresinde Zn SO<sub>4</sub>’deki birikim ZnO NP’deki çinko birikimine oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir (P<0,05).

**Çizelge 2.** ZnO NP ve ZnSO<sub>4</sub>’ün etkisine bırakılan *O. niloticus*’da böbrek dokusunda çinko birikimi (µg/g k.a.).

**Table 2.** Zinc accumulation in kidney tissue in *O. niloticus* exposed to ZnO NP and ZnSO<sub>4</sub> (µg /g k.a.).

Derişim (mg/L)	Süre (Gün)	
	3	15
Kontrol	44,71±2,90 ax	44,71±2,90 ax
0,5 ZnO NP	57,10±1,63 bx	66,55±3,17 by
2,5 ZnO NP	65,77±0,27 cx	85,71±12,30 cy
5,0 ZnO NP	88,72±4,71 dx	96,91±6,32 cy
Kontrol	44,71±2,90 ax	44,71±2,90 ax
0,5 ZnSO <sub>4</sub>	65,17±7,34 bx	76,17±3,32 by
2,5 ZnSO <sub>4</sub>	84,46±11,92 cx	96,06±4,68 cx
5,0 ZnSO <sub>4</sub>	105,67±0,57 dx	112,6±0,88 dx

SNK; a, b, c ve d harfleri derişimler arası x ve y harfleri ise süreler arasındaki ayrımı belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında istatistiksel ayrım vardır (P < 0,05).  $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ : Aritmetik ortalama ± Standart hata



**Şekil 1.** ZnO NP ve ZnSO<sub>4</sub>’ün etkisine 3 (A) ve 15 (B) günlük sürelerle bırakılan *O. niloticus*’un böbrek dokusunda çinko birikiminin karşılaştırılması (µg Zn/g k.a.). Farklı harflerle gösterilen veriler arasında istatistiksel ayrım vardır (P < 0,05).

**Figure 1.** Comparison of zinc accumulation in kidney tissue of *O. niloticus* exposed to the effects of ZnO NP and ZnSO<sub>4</sub> for 3 (A) and 15 (B) days (µg Zn/g k.a.). There is statistical distinction (P < 0,05) between different letters.

Denenen tüm derişim ve sürelerde ZnNP etkisine bırakılan balıkların kas dokusunda Zn birikimi kontrole oranla artış göstermiştir (Çizelge 3; P<0,05). Her iki etki

süresinde de ZnO NP ortam derişimindeki artışa paralel olarak kas dokusu çinko birikiminin önemli artış gösterdiği ve bu artışın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ( $P < 0,05$ ). Derişimleri kıyasladığımızda her iki etki süresinde de en yüksek çinko birikiminin 5,0 mg/L ZnO NP ortam derişiminde olduğu belirlenmiştir ( $P < 0,05$ ).

Kas dokusu Zn birikimi, denenen her iki sürede ve tüm ZnSO<sub>4</sub> derişimlerinde kontrole oranla artış gösterdiği belirlenmiştir ( $P < 0,05$ ). 3 ve 15 günlük etki sürelerinde derişim artışına paralel olarak çinko birikiminin arttığı ve bu artışın istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır. Çalışılan her iki sürede de 5,0 mg/L'lik derişimin etkisinde kalan balıklardaki çinko birikiminin diğer derişimlerin etkisinde kalanlara oranla daha fazla olduğu saptanmıştır ( $P < 0,05$ ). Denenen tüm derişimlerde ZnSO<sub>4</sub> etkisinde kas dokusundaki Zn birikimi ZnO NP etkisindeki balıklara oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Belirli bir ortam derişiminde etkide kalınan sürenin uzamasıyla hem ZnO NP ve hemde ZnSO<sub>4</sub> etkisinde kalan balıkların kas dokusunda Zn birikiminin arttığı ancak bu artışın istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir. (Çizelge 4.4; SNK;  $P > 0,05$ ).

**Çizelge 3.** ZnO NP ve ZnSO<sub>4</sub>'ün etkisine bırakılan *O. niloticus*'da kas dokusunda çinko birikimi ( $\mu\text{g/g k.a.}$ ).

**Table 3.** Zinc accumulation in muscle tissue in *O. niloticus* exposed to ZnO NP and ZnSO<sub>4</sub> ( $\mu\text{g k.a.}$ ).

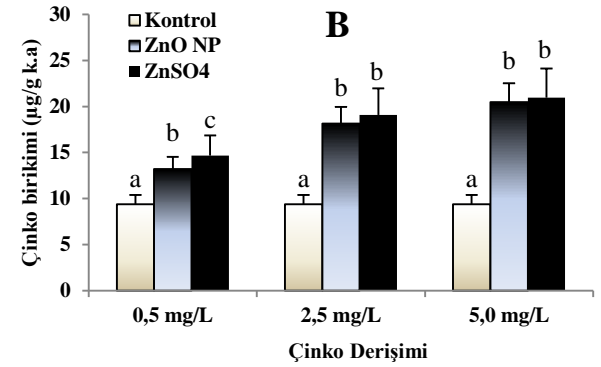
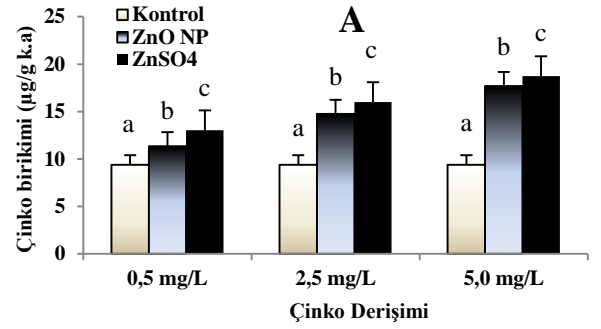
Derişim (mg/L)	Süre (Gün)			
	3		15	
Kontrol	9,39±0,17	ax	9,39±0,17	ax
0,5 ZnO NP	11,34±0,29	bx	13,04±0,43	by
2,5 ZnO NP	14,75±0,16	cx	15,99±0,18	cx
5,0 ZnO NP	17,69±0,34	dx	18,73±0,59	dx
Kontrol	9,39±0,17	ax	9,39±0,17	ax
0,5 ZnSO <sub>4</sub>	13,20±0,28	bx	14,67±0,18	bx
2,5 ZnSO <sub>4</sub>	18,13±0,83	cx	19,09±0,38	cx
5,0 ZnSO <sub>4</sub>	20,48±0,12	dx	20,97±0,46	dx

SNK; a, b, c ve d harfler derişimler arası x ve y harfleri ise süreler arasındaki ayrımı belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında istatistik ayrım vardır ( $P < 0,05$ ).  $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ : Aritmetik ortalama  $\pm$  Standart hata

ZnO NP ve ZnSO<sub>4</sub> kas dokusundaki çinko birikimleri kıyaslandığında, 3. günde denenen tüm derişimlerde ZnSO<sub>4</sub>'ün etkisinde kalan balıkların kas dokusundaki birikim ZnO NP'ün etkisinde kalan balıklardaki çinko birikimine oranla daha fazla olduğu ve istatistiksel olarak ayrım gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 2). 15 günlük etki süresinde denenen tüm derişimlerde Zn SO<sub>4</sub> ile ZnO NP çinko birikimi bakımından bir istatistik ayrım göstermemiştir ( $P > 0,05$ ).

3 ve 15 günlük süreler sonunda hem ZnO NP ve hem de ZnSO<sub>4</sub>'ün belirli bir ortam derişimi dikkate alındığında çinko birikimi bakımından dokular arasında da önemli farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Çinko birikimi en fazla böbrek dokusunda olmuş, bunu kas dokusu izlemiştir. 15 günlük süre sonunda hem ZnO NP ve hem de ZnSO<sub>4</sub>'ün 5,0 mg/L ortam derişiminin etkisindeki balıkların böbrek

dokusundaki çinko birikimi, kas dokusundaki birikimin yaklaşık olarak 3 katı kadar olduğu saptanmıştır.



**Şekil 2.** ZnO NP ve ZnSO<sub>4</sub>'ün etkisine 3 (A) ve 15 (B) günlük sürelerle bırakılan *O. niloticus*'un kas dokusunda çinko birikiminin karşılaştırılması ( $\mu\text{g Zn/g k.a.}$ ). Farklı harflerle gösterilen veriler arasında istatistik ayrım vardır ( $P < 0,05$ ).

**Figure 2.** Comparison of zinc accumulation in muscle tissue of *O. niloticus* exposed to the effects of ZnO NP and ZnSO<sub>4</sub> for 3 (A) and 15 (B) days ( $\mu\text{g Zn/g k.a.}$ ). There is statistical distinction ( $P < 0,05$ ) between different letters.

## SONUÇ VE TARTIŞMA

Ağır metaller su ortamında çok düşük düzeylerde bulunurlar. Eser düzeylerde hemen tüm su organizmalarının gereksinim gösterdiği çinko yüksek derişimlerde ise toksik etki yapmaktadır (Kargın & Erdem, 1992). Tüm nanopartiküller çok küçük bir boyuta ( $< 0,1 \mu\text{m}$  çapında) sahip olduğundan, kolayca çevreyi kirletirler ve insanlar ve su organizmaları için bir tehlike oluşturabilirler (Griffitt vd., 2007; Lanone vd., 2009). Bystrzejewska vd., (2009), Nanopartiküllerin membranlara bağlanabileceğini ve hücrel fonksiyonları bozabileceğini veya bu nanopartiküllerin depolanarak hücrel fonksiyonları bozabileceğini belirtmişlerdir. ZnO NP, solungaç epiteli boyunca hücrenin içine taşınabilir, dolaşım sistemine girdikten sonra, ZnO NP hayvanın vücudu boyunca dağılılabılır ve diğer organlarda veya dokularda toksisiteye neden olabilir (Dieni vd., 2014). ZnO NP'in üç farklı derişimlerinin etkisine bırakılan *Cyprinus carpio*'da ZnO

NP'in balıklarda ölümüne neden olmadığı, bu da, ZnO NP'nun sazanlar için ölümcül veya toksik olmadığını göstermektedir (Hao & Chen, 2012). Bu çalışmada deneylerin sona erdirildiği 15 günlük süre içerisinde denenen tüm ZnO NP ve ZnSO<sub>4</sub>'ün ortam derişimlerinde balıklarda ölüm gözlenmemiştir. Zebra balıklarında (*Danio rerio*) 50mg/L TiO<sub>2</sub> NP ölçülebilir bir etki ve mortalite gözlenmezken, derişim artışıyla 300 mg/L'de mortalite gözlenmiştir (Xiong vd., 2011). Çalışmamızda en yüksek ortam derişimi olan 5,0 mg/L ZnO NP ve ZnSO<sub>4</sub>'da ölüm gözlenmemiş olması ZnO NP ve ZnSO<sub>4</sub> metallerinin toksisitesinin düşük olması ve balıkların metali vücuttan atma kapasitesinin iyi olmasından kaynaklanmaktadır.

Balıklar, su ortamlarının kalitesini ve kirleticilerin etkilerini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılırlar. Balıklardaki fizyolojik değişiklikler, çevresel kirlenmenin biyolojik belirleyicileri olarak hizmet eder ve toksikolojik çalışmalarda sıkça kullanılmaktadır (Poopal vd., 2017). Metal oksit nanopartiküller ve diğer metaller, balıklarda solungaç epiteli, sindirim sistemi ve deri olmak üzere üç bölgeden alınarak kan dolaşımıyla iç dokulara ulaşabilmekte ve bu dokularda birikebilmektedir (Handy vd., 2008; Hao vd., 2013). ZnO NP'leri, daha küçük boyutlu olmaları nedeniyle bağırsak duvarı boyunca daha kolay nüfuz eder ve kan dolaşımı ve difüzyon yoluyla diğer dokulara taşınır (Hao vd., 2013). Balıklar, metalleri buldukları ortamdan absorbe edebilir ve daha sonra çeşitli dokularında ortamda bulunan düzeyin üzerinde önemli miktarlarda biriktirebilirler (Abdel-Khalek 2015).

Bu çalışmada ZnO NP ve ZnSO<sub>4</sub> etkisine bırakılan *Oreochromis niloticus*'un böbrek ve kas dokularındaki çinko düzeyleri ortam derişimine ve süreye bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Balık dokularındaki metal birikiminin, metallerin ve metal oksit nanopartiküllerinin derişimine, etkide kalınan süreye, suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerine ve balıkların metabolizmasına bağlı olarak değişiklik gösterebildiği belirtilmektedir (Heath, 1995; Mansouri vd., 2016). Zn, Cd ve Zn+Cd karışımlarının etkisine 28 gün süreyle bırakılan *O. niloticus*'un farklı dokularındaki metal birikimi denenen tüm ortam derişimlerinde süre ve derişim artışıyla önemli bir şekilde artış gösterdiği saptanmıştır (Fırat vd., 2009). 20 gün süreyle CuO NP'nin farklı derişimlerinin etkisine bırakılan *C. carpio*'da karaciğer, solungaç ve kas dokularında bakır birikimi derişim artışına bağlı olarak önemli bir düzeyde artış göstermiştir (Mansouri vd., 2016).

Bu çalışmada tüm ZnO NP ve ZnSO<sub>4</sub> ortam derişimlerinin etkisinde ve denenen sürelerde *O. niloticus*'da çinko birikiminin kas dokusuna oranla böbrek dokusunda daha fazla birikmiştir. Ağır metaller ve metal oksit nanopartiküllerin genelde böbrek, karaciğer ve solungaç gibi metaller için hedef olan dokularda daha fazla birikmektedirler. Bu dokular, metal ve metal oksit

nanopartiküllerin alınımı, depolanması ve detoksifikasyon süreçlerinde önemli rol oynamaktadır ve metallohioneinler genelde bu dokularda oluşmaktadır (Palaniappan & Karthikeyan 2009). Doku metabolizmasındaki farklılıklar metal birikiminde önemli rol oynar. Karaciğer ve böbrek gibi metabolik olarak aktif dokuların daha yüksek değerlerde metal biriktirme eğilimine sahiptirler (Uysal vd., 2008).

Balıkların böbrekleri en fazla oranda kan alan bir dokudur; bu nedenle böbrek lezyonları çevre kirliliğinin iyi bir göstergesi olarak kabul edilir (Abdel- Khalek vd., 2015). Böbrek, su ve elektrolit dengesinde ve istikrarlı bir iç ortamın sürdürülmesinde de önemli bir rol oynamaktadır (Palaniappan vd., 2009). Böbrek, metal aksiyonlarına karşı koruyucu görev yapan metallothionein (MT) üretebilen yüksek metabolik aktif bir organdır (Cicik vd., 2004). Böbrek, atılım ve osmoregülasyonun temel bir organı olarak kabul edilir ve yüksek kan sağlama nedeniyle toksik maddelere karşı oldukça hassastır ve işlevi homeostazisi sürdürmektir (Shobana vd., 2018). Kemikli balıkların böbreklerinde metallerin birikimi hem alımın hem de eliminasyon oranlarına bağlıdır. Cu böbrek tiyonin sentezi bağlı olarak böbrek dokusunda önemli bir birikim göstermiştir (Isani vd., 2013). Böbrekler, NP'ler biriktiren önemli bir organ olduğu bilinmektedir ve sıçan organlarında karaciğerden daha yüksek kontaminasyon konsantrasyonları gösterdikleri belirtilmiştir (Loeschner vd., 2011).

Pb'nin etkisine farklı sürelerle bırakılan *Prochilodus lineatus* Pb düzeyleri, 6 saatlik maruz kalmanın ardından (böbrek> solungaçlar> karaciğer> kan> kas) şeklinde olup, diğer tüm deney sürelerinde de aynı kalmıştır. Pb etkisinin ilk saatlerinde, Pb'yi en yüksek miktarda biriktiren organ, toksik maddelerin atılmasında önemli bir rol oynayan böbrek dokusu olduğu belirtilmiştir (Riberio vd., 2014). Kadmiyumun farklı derişimlerinin etkisine bırakılan *Ictalurus punctatus* balıklarında böbrek ve karaciğerinde kadmiyum birikmiş ve böbrek dokusunda kadmiyum birikiminin daha yüksek düzeyde olduğu saptanmıştır. Bu organlarda biriken kadmiyum miktarı etkide kalma süresinin artışıyla artmıştır. (Smith vd., 1976). CuO NP ve CuSO<sub>4</sub>'ün etkisine bırakılan *Oncorhynchus mykiss* böbrek dokusunda tiyonin sentezine bağlı olarak önemli düzeyde bakır birikimi olduğu saptanmıştır (Isani vd., 2013). Ag NP farklı derişimlerinin etkisine bırakılan *Labeo rohita*'da Ag birikimi en fazla böbrek dokusunda olmuş, bunu karaciğer ve solungaç dokusu izlemiştir. Araştırmacılar balıkların dokularında gümüşün biyobirikiminin büyük olasılıkla Ag NP'lerin alımından ve serbest bırakılan gümüş iyonlarından kaynaklandığını belirtmişlerdir (Joo vd., 2013). *O. niloticus* ile yapılan bu çalışmada denenen tüm ZnO NP ve ZnSO<sub>4</sub> ortam derişimlerinde böbrek dokusu Zn

birikimi kas dokusuna oranla daha yüksek olduğu saptanmıştır. Derişim artışına ve sürenin uzamasına bağlı olarak çinko birikimindeki artışı daha fazla olmuştur. Hem ZnO NP ve hem de ZnSO<sub>4</sub>'ün etkisinde 15 günlük sürede ortam derişimindeki 10 katlık bir artış böbrek dokusundaki çinko birikiminde yaklaşık 1,5 katlık bir artışa neden olmuştur. Böbrek dokusunda çinko birikiminin yüksek olması, bu dokuda metallothioneninlerin sentezlenmesi ve çinkonun atılımından sorumlu bir doku olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Balıklarda kas dokusu metal biriktirmede karaciğer, böbrek ve solungaç gibi aktif metabolik doku olmadığından fazla miktarda metal biriktirmemektedirler ve toksikolojik etkiye maruz kalmada hedef doku değildirler. Bu nedenle, balıklardaki kaslar, su kirliliğinin gösterge doku olarak kabul edilmemektedirler. Balık kasları yenilebilir başlıca kısımlardır; ancak kaslar, ağır metallerin diğer dokulara oranla biriktirildiği dokular değildirler (Kargın & Erdem, 1992; Uysal vd., 2008). Kim vd., (2011), kas dokusunda metallerin birikimi ancak karaciğerin depolama kapasitesine aşması durumunda olabileceğini belirtmişlerdir.

Riberio vd., (2014) Pb'nin etkisine farklı sürelerle bıraktıkları *P. lineatus* kurşun birikiminin diğer dokulara oranla (böbrek, karaciğer ve solungaç) kas dokusunda daha az olduğunu belirtmişlerdir. *Paralichthys olivaceus*'da Cu birikimi ile ilgili yapılan bir çalışmada diğer dokulara oranla kas dokusunda bakır birikiminin düşük olduğu saptanmıştır (Kim vd., 2011). 10 ve 20 gün lük sürelerle CuO NP etkisine bırakılan *C. carpio*'da kas dokusunda Cu birikimi karaciğer ve solungaç dokularına oranla daha düşük olduğu belirtilmiştir. (Mansouri vd., 2016). Bu dokudaki düşük NP konsantrasyonları, solungaç, böbrek ve karaciğer gibi diğer dokularla karşılaştırıldığında kas dokusunun daha düşük metabolik aktivitesi ile ilişkili olabileceği belirtilmiştir. (Squadrone vd., 2013). Bu çalışmada denenen tüm ZnO NP ve ZnSO<sub>4</sub> derişimlerinde ve sürelerde *O. niloticus*'da kas dokusu Zn birikiminin diğer dokulara oranla çok daha az olduğu saptanmıştır. Kas dokusunda Zn birikiminin düşük düzeyde olması, kas dokusunun metaller ve nanopartiküller için depolama ve hedef doku olmaması nedeniyle olabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada böbrek dokusunda denenen tüm ortam derişimlerinde ve çalışılan her iki sürede ZnSO<sub>4</sub> etkisindeki *O. niloticus*'da çinko birikimi ZnO NP etkisindeki balıklara oranla daha fazla olduğu saptanmıştır. Kas dokusunda 3 günlük sürede tüm ortam derişimlerinde çinko birikimi ZnSO<sub>4</sub> etkisindeki balıklarda ZnO NP etkisindeki balıklara oranla daha fazla olurken, 15 günlük sürede ise çinko birikimi bakımından her iki çinko forumu arasında herhangi bir farklılık gözlenmemiştir. Metal forumları arasındaki bu farklılık diğer bir ifadeyle ZnO

NP'lerin etkisindeki balıkların dokularında çinko birikiminin ZnSO<sub>4</sub>'a göre daha az olması, ZnO NP'lerin suda asılı kalması ve ZnSO<sub>4</sub> kadar iyi çözünmemesi nedeniyle olabileceği düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi (BAP) tarafından desteklenmiştir (Proje No: FYL-2019-12481).

## KAYNAKLAR

- Abdel-Khalek, A.A., Kadry, M.A.M., Badran, S.R. & Marie, M.S. (2015).** Comparative Toxicity of Copper Oxide Bulk and Nano Particles in Nile Tilapia; *Oreochromis niloticus*: Biochemical and Oxidative Stress. *Journal of Basic and Applied Biology*, **72**, 43-57. DOI: [10.1016/j.jobaz.2015.04.001](https://doi.org/10.1016/j.jobaz.2015.04.001)
- Adhikari, S., Ghosh, L., Rai, S.P. & Ayyappan, S. (2009).** Metal concentrations in water, sediment, and fish from sewage-fed aquaculture ponds of Kolkata, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, **159**, 217-230. DOI: [10.1007/s10661-008-0624-8](https://doi.org/10.1007/s10661-008-0624-8)
- Akkan, T., Yazicioglu, O., Yazici, R. & Yilmaz, M. (2018).** Assessment of irrigation water quality of Turkey using multivariate statistical techniques and water quality index: Siddıklı Dam Lake. *Desalination and Water Treatment*, **115**, 261-270.
- Aschberger, K.Micheletti, C. Sokull-Kluttgen, B. & Christensen, F.M. (2011).** Analysis of currently available data for characterising the risk of engineered nanoma-terials to the environment and human health-lessons learned fromfourcase studies. *Environment International*, **37**(6), 1143-1156. DOI: [10.1016/j.envint.2011.02.005](https://doi.org/10.1016/j.envint.2011.02.005)
- Auffan, M., Rose, J., Wiesner, M.R. & Bottero, J.Y. (2009).** Chemical stability of metallic nanoparticles: a parameter controlling their potential cellular toxicity in vitro. *Environmental Pollution*, **157**(4), 1127-1133. DOI: [10.1016/j.envpol.2008.10.002](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.10.002)
- Bystrzejska-Piotrowska, G., Golimowski, J. & Urban, P.L. (2009).** Nanoparticles: Their Potential Toxicity, Waste and Environmental Management. *Waste Management*, **29**, 2587-2595. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.04.001>
- Cicik, B, Ay, O. & Karayakar, F (2004).** Effects of lead and cadmium interactions on the metal accumulation in tissue and organs of the Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **72**, 141-148.
- Dieni, C.A., Callaghan, N.I., Gormley, P.T., Alison Butler, K., M. & MacCormack, T.J. (2014).** Physiological hepatic response to zinc oxide nanoparticle exposure in the white sucker,

- Catostomus commersonii. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C*, **162**, 51-61.
- Firat, O., Çoğun, 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.
- Griffitt, R.J., Weil, R., Hyndman, K.A., Denslow, N.D., Powers, K., Taylor, D. & Barber, D.S. (2007).** Exposure to Copper Nanoparticles Causes Gill Injury and Acute Lethality in Zebrafish (*Danio rerio*). *Environmental Science & Technology*, **41**, 8178-8186.
- Handy, R.D., Kammer, F.V.D., Lead, J.R., Hassellöv, M., Owen, R. & Crane, M. (2008).** The ecotoxicology and chemistry of manufactured nanoparticles. *Ecotoxicology*, **17**, 287-314.
- Hao, L. & Chen, L. (2012).** Oxidative stress responses in different organs of carp (*Cyprinus carpio*) with exposure to ZnO nanoparticles. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **80**, 103-110.
- Hao, L., Chen, L., Hao, J. & Zhong, N. (2013).** Bioaccumulation and Sub-Acute Toxicity of Zinc Oxide Nanoparticles in Juvenile Carp (*Cyprinus carpio*): A Comparative Study with Its Bulk Counterparts. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **91**, 52-60. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2013.01.007](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.01.007)
- Heath, A. G. (1995).** Water Pollution and Fish Physiology. Levis, CRC Press. Boca Raton, FL.
- Isani, G., Falcioni, M.L., Barucca, G., Sekar, D., Andreani, G., Carpena, E. & Falcioni, G. (2013)** Comparative toxicity of CuO nanoparticles and CuSO<sub>4</sub> in rainbow trout. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **97**, 40-46. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2013.07.001](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.07.001)
- Işık, H. & Akkan, T. (2021).** The Global Problem of the Antibiotic and Heavy Metal Resistance in Aquatic Resources, An examination of Gelevera Creek (Giresun), Turkey. *Journal of Anatolian Environmental & Animal Sciences*, **6**(3), 382-389. DOI: [10.35229/jaes.960110](https://doi.org/10.35229/jaes.960110)
- Joo, H.S., Kalbassi, M.R., Yu, I.J., Lee, J.H. & Johar, S.A. (2013).** Bioaccumulation of silver nanoparticles in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), influence of concentration and salinity. *Aquatic Toxicology*, **140**, 141:398-406. DOI: [10.1016/j.aquat.2013.07.003](https://doi.org/10.1016/j.aquat.2013.07.003)
- Kahru, A. & Dubourguier, H.C. (2010).** From Ecotoxicology to Nanoecotoxicology. *Toxicology*, **269**, 105-119
- Kargin, F. & Erdem, C. (1992).** Bakır-Çinko Etkileşiminde *Tilapia nilotica* (L.)'nın Karaciğer, solungaç ve Kas Dokularındaki Metal Birikimi. *Doğa-Tr. J. Zool.*, **16**, 343-348.
- Kim, S.G., Jang, S.W., Lee, Y.J. & Kim, S.S. (2011).** Cu accumulation and elimination in the tissues of the olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *Fish Aquat. Sci.*, **14**, 210-217.
- Lecoanet, H.F. & Wiesner, M.R. (2004).** Velocity effects on fullerene and oxide nanoparticle deposition in porous media. *Environ. Sci. Technol.*, **38**, 4377-4382.
- Li, L.Z., Zhou, D.M., Peijnenburg, W.J.G.M., Gested, C.A.M. & Jin, S.Y. (2011).** Toxicity of zinc oxide nanoparticles in the earth worm, Eisenia fetida and subcellular fractionation of Zn. *Environ. Int.*, **37**, 1098-1104.
- Loeschner, K., Hadrup, N., Qvortrup, K., Larsen, A., Gao, X., Vogel, U., Mortensen, A., Lam, H.R. & Larsen, E.H. (2011).** Distribution of silver in rats following 28 days of repeated oral exposure to silver nanoparticles or silver acetate. *Particle and Fibre Toxicology*, **8**, 1-14. DOI: [10.1186/1743-8977-8-18](https://doi.org/10.1186/1743-8977-8-18)
- Lu, L., Liu, G., Wang, J. & Yuan Liu, Y. (2017).** Accumulation and health risk assessment of trace elements in Carassius auratus gibelio from subsidence pools in the Huainan coalfield in China. *Environmental Monitoring and Assessment*, **189**, 479-495. DOI: [10.1007/s10661-017-6178-x](https://doi.org/10.1007/s10661-017-6178-x)
- Mansouri, B., Maleki, A., Davari, B., Johari, S.A., Shahmoradi, B., Mohammadi, E. & Shahsavari, S. (2016).** Histopathological Effects Following Short-Term Coexposure of *Cyprinus carpio* to Nanoparticles of TiO<sub>2</sub> and CuO. *Environmental Monitoring & Assessment*, **188**(575), 5-12. DOI: [10.1007/s10661-016-5579-6](https://doi.org/10.1007/s10661-016-5579-6)
- Nabavi, S.F., Nabavi, S.M., Latifi, A.M., Eslami, S. & Ebrahimzadeh, M.A. (2012).** Determination of trace elements level of pikeperch collected from the Caspian Sea. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **88**, 401-405.
- Osmond, M.J. & McCall, M.J. (2010).** Zinc oxide nanoparticles in modern sunscreens: an analysis of potential exposure and hazard. *Nanotoxicology*, **4**, 15-41.
- Palaniappan, P.L.R.M. & Karthikeyan, S. (2009).** Bioaccumulation and depuration of chromium in the selected organs and whole body tissues of freshwater fish *Cirrhinus mrigala* individually and in binary solutions with nickel. *J. Environ. Sci.*, **21**, 229-236
- Polat, N. & Akkan, T. (2016).** Assessment of heavy metal and detergent pollution in Giresun Coastal Zone, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, **25**(8), 2884-2890.
- Poopal, R.K., Ramesh, M., Maruthappan, V. & Babu Rajendran, R. (2017).** Potential effects of low molecular weight phthalate esters (C<sub>16</sub>H<sub>22</sub>O<sub>4</sub> and C<sub>12</sub>H<sub>14</sub>O<sub>4</sub>) on the freshwater fish *Cyprinus carpio*. *Toxicology Research*, **6**(4), 505-520. DOI: [10.1039/c7tx00084g](https://doi.org/10.1039/c7tx00084g)
- Ribeiro, A.M., Risso, W.E., Fernandes, M.N. & Martinez, C.B.R. (2014).** Lead accumulation and its effects on the branchial physiology of *Prochilodus lineatus*. *Fish Physiol. Biochem.*, **40**, 645-657.
- Shobana, C., Rangasamy, B., Poopal, R.K., Renuka, S. & Ramesh, M. (2018).** Green synthesis of silver

nanoparticles using Piper nigrum: tissue-specific bioaccumulation, histopathology, and oxidative stress responses in Indian major carp *Labeo rohita*. *Environmental Science and Pollution Research*, **25**, 11812-11832. DOI: [10.1007/s11356-018-1454-z](https://doi.org/10.1007/s11356-018-1454-z)

- Smith, B.P., Hejtmancik, E. & Camp, B.J. (1976).** Acute Effects of Cadmium on *Ictalurus punctatus* (Catfish). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **15**, 271-277.
- Sorensen, E.M. (1991).** Metal poisoning in fish. CRC Press, Boca Raton, FL
- Squadrone, S., Prearo, M., Brizio, P., Gavinelli, S., Pellegrino, M., Scanzia, T., Guarise, S., Bendetto, A. & Abete, M.C. (2013).** Heavy metals distribution in muscle, liver, kidney and gills of European catfish (*Silurus glanis*) from Italian Rivers. *Chemosphere*, **90**, 358-365.
- Sun, O., Wang, Q., Jena, P. & Kawazoe, Y. (2005).** Clustering of Ti on a C-60 surface and its effect on hydrogen storage. *J. Am. Chem. Soc.*, **127**, 14582-14583.
- Thaker, J., Chhaya, J., Nuzhat, S., Mittal, R., Mansuri, A.P. & Kundu, R. (1996).** Effects of chromium(VI) on some ion-dependent ATPases in gills, kidney and intestine of a coastal teleost *Periophthalmus Apes*. *Toxicology*, **112**, 237-244.
- Turkmen, M., Turkmen, A., Tepe, Y., Tore, Y. & Ates, A. (2009).** Determination of metals in fish species from Aegean and Mediterranean seas. *Food Chem.*, **113**, 233-237.
- Uysal, K., Emre, Y. & Köse, E. (2008).** The determination of heavy metal accumulation ratios in muscle, skin and gills of some migratory fish species by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES) in Beymelek Lagoon (Antalya/Turkey). *Microchemical Journal*, **90**(1), 67-70. DOI: [10.1016/j.microc.2008.03.005](https://doi.org/10.1016/j.microc.2008.03.005)
- Xiong, D., Fang, T., Yu, L., Sima, X. & Zhu, W. (2011).** Effects of Nano-Scale TiO<sub>2</sub>, ZnO and Their Bulk Counterparts on Zebrafish: Acute Toxicity, Oxidative Stress and Oxidative Damage. *Science of the Total Environment*, **409**(8), 1444-1452. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2011.01.015](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.01.015)
- Zhu, M.T., Feng, W.Y., Wang, B., Wang, T.C., Gu, Y.Q., Wang, M., Wang, Y., Ouyang, H., Zhao, Y.L. & Chai, Z.F. (2008).** Comparative study of pulmonary responses to nano and submicron-sized ferric oxide in rats. *Toxicology*, **247**, 102-111.