

Bakır-Çinko Etkileşiminin Sazan (*Cyprinus carpio* L.)'nın Karaciğer, Solungaç ve Kas Dokularındaki Metal Birikimi Üzerine Etkileri

Bedii CİCİK

Mersin Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yenişehir Kampüsü, C Blok, MERSİN

Özet

Bu çalışmada bakır, çinko ve bakır-çinko etkileşiminde Sazan (*Cyprinus carpio* L.)'nin karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki metal birikimi incelenmiştir. Dency süresi sonunda bakır-çinko karışımının etkisinde solungaç dokusundaki çinko birikimi dışında en yüksek bakır ve çinko birikimi, karaciğerde olurken, en düşük birikim kas dokusunda meydana gelmiştir. Karışımın etkisinde doku ve organlardaki bakır ve çinko birikimi, metallerin tek tek etkisinde belirlenen birikimden düşük düzeyde olmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Cyprinus carpio*, bakır, çinko, etkileşim, birikim.

The Effects of Copper-Zinc Interaction on the Accumulation of Metals in Liver, Gill and Muscle Tissues of Common Carp (*Cyprinus carpio* L.).

Abstract

In this study, the metal accumulation in liver, gill and muscle tissues of common carp (*Cyprinus carpio* L.) was investigated when exposed to copper, zinc and copper-zinc interaction. At the end of the experiment, except the zinc accumulation in gill tissues under the exposure of copper-zinc interaction, the highest copper and zinc accumulation were measured in the liver whereas the accumulation of copper and zinc in the muscle tissues were the lowest. When exposed to the mixture concentrations of copper and zinc, both the copper and zinc accumulation rates in tissue and different organs were found to be lower than those measured when exposed to individual metal concentrations.

Keywords: *Cyprinus carpio*, copper, zinc, interaction, accumulation.

GİRİŞ

Bakır ve çinko gibi ağır metaller, sucul ortamlarda genellikle eser miktarlarda bulunmakla birlikte gerek doğal gerekse endüstriyel, madencilik ve tarımsal aktiviteler gibi temelde antropojenik kaynaklı faktörlerin etkisi ile giderek artan derişimlerde bulunurlar. Bunun bir sonucu olarak, balıkların da içinde bulunduğu sucul organizmalar metallerin artan derişimlerinin etkisinde kalırlar.

Bakır ve çinko, biyotik derişimlerde yüksek organizasyonlu canlılarda enzim aktivasyonu, kemik oluşumu, bağ dokusu gelişimi, omuriliğin miyelinleşmesi gibi çeşitli yapısal ve metabolik olaylarda işlev görmektedirler. Ağır metallerin ortam derişimindeki artışın balıklar üzerindeki başlıca etkisi, çeşitli doku ve organlarda birikmesidir (Allen 1995). Ağır metallerin, balıkların doku ve organlarındaki birikimin yanı sıra çeşitli kan parametrelerini (Dick ve Dixon 1985), enzim aktivitelerini (Ay ve ark. 1999), büyüme ve gelişmeyi (Dave ve Xiu 1991) etkilediği belirlenmiştir.

Ağır metallerin, balıklar tarafından ortamdan alınımı başlıca solungaçlar, besin, tatlısu balıklarında besinle birlikte alınan su ve deri aracılığı ile olmaktadır. Vücuda alınan metaller, taşıyıcı proteinlere bağlı bir şekilde kan yolu ile doku ve organlara taşınmakta ve dokulardaki metal bağlayıcı proteinler tarafından bağlanması sonucu

yüksek derişimlere ulaşabilmektedir (Heath 1995).

Balıklarda ağır metal karışımlarının sucul organizmalardaki birikim üzerine yaptığı etkilerle ilgili olarak çok az sayıda araştırma bulunmakla birlikte (Gill ve ark. 1992), bakır ve çinkonun ayrı ayrı etkisi oldukça fazla bir şekilde incelenmiş ancak diğer metaller ve birlikte etkisi ile ilgili çalışmalar sınırlıdır. Ağır metaller, kirlilik gösteren ortamlarda birlikte bulduklarından, organizmadaki birikim ve toksik etkilerinin metale bağlı olarak değişim göstermesi, metal karışımlarının doğal ortamlardaki derişimlerinin balıklar üzerindeki etkisinin belirlenmesini gerektirir. Balıkların doku ve organlarındaki ağır metal birikimi bunların biyolojik işlevleri ile ilgili olup, son zamanlarda sudaki ağır metal derişiminden çok sucul organizmaların doku ve organlarındaki metal birikiminin, doğal sulardaki kirlenmenin biyolojik indikatörleri olabileceği belirtilmektedir (Handy 1992). Ayrıca metal karışımlarının etkisinde balıkların doku ve organlarındaki metal birikiminin incelenmesi, metallerin vücuttaki biyotransformasyonu, atılımı ve kontaminasyonun değerlendirilmesi bakımından da önem taşımaktadır (Wicklund ve ark. 1988).

Cyprinus carpio, ülkemizde protein gereksiniminin karşılanması, göl gölet gibi iç suların balıklan-

dırılması amacıyla yetiştiriciliği yapılan bir türdür. Kültür koşullarında bakıma ve beslenmeye uygun olmaları, üremelerinin kolay olması ve hastalıklara karşı dirençli olması kültür balıkçılığındaki önemini arttırmaktadır.

Bu araştırmada sucul ortamda belirli bir düzeyin üzerine çıktığı zaman kirletici olarak genellikle birlikte bulunan bakır ve çinkonun belirlenen derişimlerdeki karışımının etkisinde 15 gün süreyle tutulan *C. carpio*'nun yapı ve işlevleri farklı, metabolik bakımdan aktif karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki metal birikimi ile etki mekanizmalarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Araştırmada materyal olarak kullanılan *Cyprinus carpio* L. türü balıklar, DSİ. 6. Bölge Müdürlüğü Adana Su Ürünleri yetiştirme havuzlarından alınarak deneylerin yürütüleceği kontrollü ortam şartlarına sahip laboratuvara getirilmiş ve her biri 40x120x40 cm boyutlarındaki stok akvaryumlar içerisinde bir ay süreyle tutularak ortam şartlarına uyumları sağlanmıştır. Bu süre sonunda balıkların boy ve ağırlıkları sırasıyla 11,29±0,7 cm ve 10,50±0,65 g olarak saptanmıştır. Araştırma süresince ortamın fiziksel ve kimyasal özelliklerinden sıcaklık, pH ve çözülmüş oksijen enstrümental olarak, diğer özellikler ise titrimetrik yöntemlerle belirlenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Aydınlatma: 12 saat aydınlık; 12 saat karanlık (12 adet floresan, Daylight 65/80 W)

Sıcaklık: 25±1°C, Toplam sertlik: 230±0,75 ppm CaCO₃, pH: 8,19±0,6

Toplam alkalinite: 326±0,50 ppm CaCO₃, Çözülmüş oksijen: 7,02±0,27 mg/l

Deneylerde her biri 40x120x40 cm boyutlarında olan 6 tane cam akvaryum kullanılmış ve akvaryumlar ikiye ayrılmış olmak üzere 3 gruba ayrılmıştır. Her gruptaki akvaryumlardan birine 120 şer litre, içerisinde yapılan analizlerde ölçülebilir düzeyde bakır ve çinko bulunmayan dinlendirilmiş çeşme suyu ile hazırlanmış sırasıyla 96 saatlik LC50 değerlerinin %1 ve %5 oranına karşılık gelen 0,5 ve 5,0 ppm derişimlerindeki bakır, çinko ve belirtilen derişimlerin karışımındaki metal çözeltileri konmuş, diğer akvaryumlar ise belirtilen hacim ve özellikteki çeşme suyu ile doldurularak kontrol grubu olarak incelenmiştir. Akvaryumlarda havalandırma merkezi havalandırma sistemi ile sağlanmıştır. Her bir akvaryuma 6 tane balık konmuştur. Adsorbsiyon, presipitasyon ve evaporasyon gibi nedenlerle zaman içerisinde akvaryum ortamında değişim olabileceğinden deney çözeltileri her iki günde bir taze olarak hazırlanan stok çözeltilerden uygun seyreltmeler yapılarak

değiştirilip ortam yenilenmiştir. Balıklar 15 günlük deney süresince her gün günde bir defa olmak üzere yaş ağırlıklarının %2'si oranında, içerisinde yapılan analizlerde ölçülebilir düzeyde bakır ve çinko bulunmayan hazır balık yemi ile beslenmiştir. Deney süresi sonunda her bir akvaryumdaki 6 balık çıkartılarak MS 222 anestezi maddesi ile bayıltılmış ve metal analizinde kullanılacak karaciğer, solungaç ve kas dokuları ayrı ayrı çıkartılmıştır. Deneyden çıkartılan balıkların boy ve ağırlıkları ile deneye başlamadan önceki boy ve ağırlıkları arasında istatistiksel bir ayırım saptanmamıştır (p>0,05).

Metal analizinde kullanılacak karaciğer, solungaç ve kas dokuları, kuru ağırlıklarının belirlenmesi için 120°C'ye ayarlı etüvde 48 saat süreyle bekletilmiştir. Sabit tartıma getirilen doku örnekleri, 3 saat süreyle 120°C'de 2:1 oranındaki HNO₃: HClO₄'ün toplam 3 ml karışımı içerisinde sindirilmiştir (Muramoto 1983). Yakma işleminden sonra toplam hacimleri saf su ile 5 ml'ye tamamlanmış doku örneklerindeki, bakır ve çinko derişimleri, standart stok çözeltilerle kalibre edilmiş Perkin-Elmer marka (Model No: 2380) Atomik Adsorbsiyon Spektrofotometresi ile belirlenmiştir. Deney verilerinin istatistik analizlerinde Student Newman Keul's Testi (SNK) kullanılmıştır.

BULGULAR

Bakır ve çinkonun tek başına ve birlikte 15 günlük etki süresi sonunda *C. carpio*'nun karaciğer, solungaç ve kas dokularında biriken metal derişimlerinin aritmetik ortalamaları ile istatistik analizleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Bakır ve bakır-çinko karışımının etkisine bırakılan *C. carpio*'nun doku ve organlarındaki bakır birikimi (µg Cu/g k.a.).

GRUP	N	Karaciğer X±sx*	Solungaç X±sx*	Kas X±sx*
Kontrol	6	DA	DA	DA
Bakır	6	216,95 ± 2,44 as	72,67 ± 1,37 at	15,90 ± 0,29 ax
Karışım	6	146,86 ± 4,09 bs	62,53 ± 1,01 bt	13,39 ± 0,12 bx

* = SNK; a ve b harfleri bakır ve karışım arasındaki ayırımı, s,t ve x harfleri ise metal birikimi bakımından doku ve organlar arasındaki ayırımı belirtmek için kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında p<0.05 düzeyinde istatistik ayırım vardır.

X±sx: Aritmetik ortalama ± standart hata

DA: Duyarlılık Düzeyi Altında.

Bakır ve bakır-çinko karışımının incelendiği gruplardaki kontrol balıklarının karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki bakır derişimi Atomik Adsorbsiyon Spektrofotometresinin duyarlılık düzeyi altında olduğu için belirlenmemiştir. Salt bakır ve bakır-çinko karışımının etkisinde karaciğer, solungaç ve kas dokularında saptanan bakır birikimi

kontrole oranla önemli derecede yüksektir (Tablo 1, SNK; $p < 0,05$).

Belirlenen süre içerisinde salt bakır etkisinde incelenen doku ve organlardaki bakır birikimi, karışım etkisinde belirlenen birikimden daha yüksek düzeydedir. Yalnız bakırın etkisine oranla bakır-çinko karışımında dokulardaki bakır birikimi kas ve solungaç dokusunda sırasıyla %15 ve %13 oranında azalırken, karaciğerde %32 oranında azalma göstermiştir. Belirlenen süre ve ortam derişiminin etkisinde bakır birikimi en fazla karaciğerde olmuş bunu solungaç ve kas dokusu izlemiştir.

Tablo 2. Çinko ve bakır-çinko karışımının etkisine bırakılan *C. carpio*'nun doku ve organlarındaki çinko birikimi ($\mu\text{g Zn/g k.a.}$).

GRUP	N	Karaciğer $\bar{X} \pm \text{sx}^*$	Solungaç $\bar{X} \pm \text{sx}^*$	Kas $\bar{X} \pm \text{sx}^*$
Kontrol	6	74,88 \pm 1,80 as	101,02 \pm 1,54 at	41,45 \pm 1,93 ax
Çinko	6	350,32 \pm 2,30 bs	338,20 \pm 1,66 bt	133,34 \pm 1,23 bx
Karışım	6	268,08 \pm 0,85 cs	294,13 \pm 3,16 ct	117,23 \pm 1,72 cx

*= SNK; a, b ve c harfleri kontrol, çinko ve karışım arasındaki ayrımı belirtmek için kullanılmıştır.

C. carpio'nun dokularındaki çinko birikimi hem salt çinkonun etkisinde hem de bakır-çinko karışımının etkisinde kontrole göre artış göstermiştir (Tablo 2, SNK, $p < 0,05$). Bu artış sadece çinko etkisinde karaciğerde kontrolün yaklaşık 5 katı düzeyinde olurken, solungaç ve kas dokularında ise kontrolün yaklaşık 3 katı kadar olmuştur.

Bakır-çinko karışımının etkisinde solungaç ve kas dokusundaki çinko birikiminde ise salt çinkonun etkisindeki birikime göre yaklaşık %13 oranında bir düşme meydana gelirken, karaciğerde bu oran %23 olarak belirlenmiştir. Karışımın etkisinde incelenen doku ve organlardaki çinko birikimi, bakır birikiminden farklı olarak en fazla solungaçlarda olurken, bunu karaciğer ve kas izlemiştir.

TARTIŞMA

Bu araştırmada bakır, çinko ve bakır-çinko karışımının belirlenen derişimlerinin 15 gün süreyle etkisi sonunda balıklarda mortalite gözlenmemiştir. Bu da seçilen derişimlerin *C. carpio* türü için öldürücü olmadığını gösterir. Yine belirlenen süre ve ortam derişimlerinin etkisinde doku ve organlarda yüksek derişimlerde metal birikiminin meydana gelmesine karşın mortalitenin gözlenmemesi çeşitli uyum mekanizmaları ile açıklanabilir. Bunlardan bazıları bakır ve çinkonun, karaciğer ve diğer dokularda metallothionein gibi molekül ağırlığı düşük, sistein bakımından zengin

metal bağlayıcı proteinlerle, bir tripeptid olan glutatyona bağlanması, metabolizmanın yavaşlatılması sayılabilir (Tort ve ark. 1984, Thomas ve ark. 1985).

Balıklarda ağır metal birikimi, doku ve organlar arasında ayırım göstermekle birlikte genellikle metabolik bakımdan aktif doku ve organlarda yüksek derişimlerde meydana gelmektedir (Amiard ve ark. 1987). *Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792 (Melgar ve ark. 1997) ve *C. carpio*'da Cd (DeConto-Cinier ve ark. 1999), *Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758'da Pb (Allen, 1995), ve *Tilapia nilotica*'da Cu (Cicik ve Erdem 1992), *Scylliorhinus canicula* Linnaeus, 1758'da Cu ve Zn (Sanpera ve ark. 1983) en fazla karaciğerde birikirken, en az kas dokusunda biriktiği belirlenmiştir. *C. carpio* ile yapılan bu araştırmada da salt bakır ve çinkonun etkisinde en fazla metal birikimi solungaç ve kas dokusuna göre karaciğerde saptanmıştır. Metal birikimi bakımından doku ve organlar arasında saptanan bu ayırım, doku ve organların işlevlerindeki farklılıkla açıklanabilir.

Balıklarda solungaç, solunum ile ilgili bir organ olup, doğrudan ortam ile ilişkisi olduğundan toksikoloji çalışmalarında hedef organ olarak seçilmektedir (Pelgrom ve ark. 1995). *Oncorhynchus kisutch* Walbaum, 1792'da kurşun etkisinin, solungaçlarda mukus salgılamasını arttırdığı, buna bağlı olarak da solungaç dokusundaki kurşun derişiminin arttığı belirlenmiştir (Varanasi ve Markey 1979). Pb, *Procambarus clarkii*'nin solungaç filamentlerinde neden olduğu yapısal bozukluk sonucunda yüksek derişimde birikmiştir (Torreblanca ve ark. 1989). *O. kisutch*'da Cu (Buckley ve ark. 1982), *Tilapia zilli*'de Pb'un (Karataş ve Kalay 2002) farklı ortam derişimlerinin etkisinde en fazla metal birikimi diğer doku ve organlara göre solungaç dokusunda meydana gelmiştir. *C. carpio* ile yapılan bu araştırmada da bakır-çinko karışımının etkisinde en fazla çinko birikimi solungaç dokusunda olmuştur. Metal etkileşiminde solungaç dokusunda yüksek derişimde çinko birikimi de, kontaminasyon sonucunda solungaç dokusunda meydana gelen mukus salgılaması ve yapısal bozuklukla açıklanabilir.

Balıklardaki ağır metal birikimi doku ve organa bağlı olarak değiştiği gibi, ortamda bulunan metaller arasındaki etkileşime bağlı olarak da değişir (Pagenkopf 1983). *Clarias lazera* (Hilmy ve ark. 1987) ve *Tilapia nilotica*'da (Kargın ve Erdem 1992), bakır-çinko karışımının etkisinde, çinkonun incelenen doku ve organlardaki bakır birikimi üzerine azaltıcı etki yaparken, bakırın çinko birikimi üzerine herhangi bir etki yapmadığı saptanmıştır. *C.*

carpio ile yapılan bu çalışmada da bakır-çinko karışımının etkisinde incelenen doku ve organlardaki metal birikimi, bakır ve çinkonun tek başına etkisinde saptanan birikimden düşük düzeyde olmuştur. Elde edilen sonuçlardan da ortamda birden fazla metalin bulunması durumunda toksik etkilerdeki artma yada azalma, metallerin toksik etki mekanizmalarındaki farklılığa bağlanabilir.

Ağır metallerin organizmadaki birikim ve toksik etkileri, metaller arasındaki etkileşimin yanı sıra organizmaya bağlı olarak da değişim gösterir. *Anadonta cygnea*'da Çinko-kadmiyum karışımı (Hemelraad ve ark. 1987), *Mytilus edulis planulatus*'da bakır-kadmiyum karışımı (Eliot ve ark. 1986) doku ve organlardaki kadmiyum birikimini azaltıcı etki yaparken, *Oreochromis mossambicus*'da bakır-kadmiyum karışımı kadmiyum birikimini arttırıcı

etki yapmıştır (Pelgrom ve ark. 1995).

Sonuç olarak bu çalışmada bakır ve çinkonun tek tek ve karışımlarının etkisinde *C. carpio*'nun karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki metal birikimi kontrol grubuna göre artmıştır. Bakır-çinko karışımının etkisinde incelenen doku ve organlardaki metal birikimi, bakır ve çinkonun tek başına etkisinde saptanan birikimden düşük düzeyde olmuştur. Bu sonuçlardan da incelenen doku ve organlardaki metal birikiminde saptanan artış, doku ve organlardaki metallothionein gibi metal bağlayıcı proteinlerin sentezindeki artış ve karışımın etkisinde Bakır ve çinko arasında belirlenen antagonist etkide, bakır ve çinkonun metallothionein ve glutatyon gibi metal bağlayıcı proteinlerin yapısındaki bağlanma bölgeleri ile solungaç yüzeyindeki alınımların bölgeleri için aralarındaki rekabetle açıklanabilir.

KAYNAKLAR

- Allen P (1995) Chronic Accumulation of Cadmium in the Edible Tissues of *Oreochromis aureus* (Steindachner); Modification by Mercury and Lead. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 29, 8-14.
- Amiard JC, Amiard-Triquet C, Metayer C (1987) Comparative Study of the Patterns of Bioaccumulation, Toxicity and Regulation of some Metals in Various Estuarine and Coastal Organisms. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 106, 73-89.
- Ay Ö, Kalay M, Tamer L, Canli M (1999) Copper and Lead Accumulation in Tissues of a Freshwater Fish *Tilapia zilli* and its Effects on the Branchial Na, K-ATPase Activity. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 62, 160-168.
- Buckley JT, Roch M, McCarter JA, Rendell CA, Matheson AT (1982) Chronic Exposure of Coho Salmon to Sublethal Concentrations of Copper-I. Effect on Growth, on Accumulation and Distribution of Copper and on Copper Tolerance. *Comp. Biochem. Physiol.* 72, 15-19.
- Cicik B, Erdem, C (1992) *Tilapia nilotica*'da Bakırın Karaciğer ve Kas Dokularındaki Nicel Protein Derişimlerine Etkileri. *Biyokimya Dergisi* XVII, 51-64.
- Dave G, Xiu R (1991) Toxicity of Mercury, Copper, Nickel, Lead and Cobalt to Embryos and Larvae of Zebrafish *Brachydanio rerio*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 21, 126-134.
- DeConto-Cinier C, Petit-Ramel M, Faure R, Garin D, Bouvet Y (1999) Kinetics of Cadmium Accumulation and Elimination in Carp *Cyprinus carpio* Tissues. *Comp. Biochem. Physiol. Pharmacol. Toxicol. Endocrinol.* 122, 345-352.
- Dick PT, Dixon DG (1985) Changes in Circulating Blood Cell Levels of Rainbow Trout *Salmo gairdneri* Richardson, Following Acute and Chronic Exposure to Copper. *J. Fish. Biol.* 26, 475-481.
- Eliot NG, Swain R, Ritz DA (1986) Metal Interaction during Accumulation by the Mussel *Mytilus edulis planulatus*. *Marine Biology* 93, 395-399.
- Gill TS, Bianchi CP, Epple A (1992) Trace Metal (Cu and Zn) Adaptation of Organ Systems of the American Eel *Anguilla rostrata* to External Concentrations of Cadmium. *Comp. Biochem. Physiol.* 102, 361-371.
- Handy RD (1992) The Assessment of Episodic Metal Pollution I. Uses and Limitations of Tissue Contaminant Analysis in Rainbow Trout (*Onchorhynchus mykiss*) after Short Waterborne Exposure to Cadmium or Copper. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 22, 74-81.
- Heath A G (1995) *Water Pollution and Fish Physiology*. 2nd edition, CRC Press, New York.
- Hemelraad J, Kleinvelde HA, DeRoss AM, Holwerda DA, Zandee DI (1987) Cadmium Kinetics in Freshwater Clams. III Effects of Zinc on Uptake and Distribution of Cadmium in *Anadonta cygnea*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 16, 95-101.
- Hilmy AM, ElDomiaty NA, Daabees AY, Alsarha A (1987) The Toxicity to *Clarias lazera* of Copper and Zinc Applied Jointly. *Comp. Biochem. Physiol.* 87, 309-314.
- Karataş S, Kalay M (2002) *Tilapia zilli*'nin Solungaç, Karaciğer, Böbrek ve Beyin Dokularında Kurşun Birikimi. *Türk J. Vét. Anim. Sci.* 26, 471-477.
- Kargin F, Erdem C (1992) Bakır-Çinko Etkileşiminde *Tilapia nilotica* L.'nin Karaciğer, Solungaç ve Kas Dokularındaki Metal Birikimi. *Tr. J. of Zoology* 16, 343-348.
- Melgar MJ, Perez M, Garcia MA, Alonso J, Miquez B (1997) The Toxic and Accumulative Effects of Short Term Exposure to Cadmium in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Vét. Hum. Toxicol.* 39, 79-83.
- Muramoto S (1983) Elimination of Copper from Cu-Contaminated Fish by Long-Term Exposure to EDTA and Freshwater. *J. Environ. Sci. Health* 18, 455-461.
- Pagenkopf GK (1983) Gill Surface Interaction Model for Trace-Metal Toxicity to Fishes. Role of Complexation, pH and Water Hardness. *Environ. Sci. Technol.* 17, 342-347.
- Pelgrom SMGJ, Lamers LPM, Lock RAC, Balm PHM, WendelaarBonga SE (1995) Interactions between Copper and

Cadmium Modify Metal Organ Distribution in Mature Tilapia *Oreochromis mossambicus*. *Environmental Pollution* 90, 415-423.

Sanpera C, Vallribera M, Crespo S (1983) Zn, Cu and Mn Levels in the Liver of the Dogfish Exposed to Zn. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 31, 415-417.

Thomas DG, Brown MW, Shurben D, Solbe JFDG, Cryer A, Kay J (1985) A Comparison of the Sequestration of Cadmium and Zinc in the Tissues of Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*). Following Exposure to the Metals Singly or in Combination. *Comp. Biochem. Physiol.* 82, 55-62.

Torreblanca A, DelRamo J, Arnau JA, Diaz-Maynas J (1989) Cadmium, Mercury and Lead Effects on Gill Tissue of Freshwater Crayfish *Procambarus clarkii* (Girard). *Biol. Trace Elem. Res.* 21, 343-347.

Tort L, Flos R, Balasch J (1984) Dogfish Liver and Kidney Respiration after Zinc Treatment. *Comp. Biochem. Physiol.* 77, 381-384.

Varanasi L, Markey D (1978) Uptake and Release of Lead and Cadmium in Skin and Mucus of Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Comp. Biochem. Physiol.* 60, 187-191.

Wicklund A, Runn P, Norrgren L (1988) Cadmium and Zinc Interactions in Fish; Effects of Zinc on the Uptake, Organ Distribution and Elimination of ¹⁰⁹Cd in the Zebrafish, *Brachydanio rerio*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 17, 345-354.

VEFAT

Danışma Kurulu Üyemiz, Mersin Üniversitesi Öğretim Üyesi, değerli bilim insanı, Sayın

Prof. Dr. Oya Zeren'i

kaybetmenin derin üzüntüsünü yaşıyoruz. Merhume Hocamıza Allah'tan rahmet, saygıdeğer eşleri Prof. Dr. Yusuf Zeren'e, sevgili oğlu Dr. Emre Zeren'e, Mersin Üniversitesi'ndeki bütün mesai arkadaşlarına, akrabalarına, sevenlerine, dostlarına, bilim dünyasına ve bütün çevrecilere en içten başsağlığı dilekelerimizi sunarız. Oya Hocamızı unutmayacağız.

Prof. Dr. Zafer AYVAZ
Ekoloji Dergisi Editörü