

Oreochromis niloticus'un Solungaç Dokusu İyon Düzeyleri Üzerine Kurşunun Etkisi^{1*}

Hikmet Yeter ÇOĞUN^{1*} Ferit KARGIN²

¹Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Veteriner Fakültesi, Adana, Türkiye. [ID: https://orcid.org/0000-0001-6559-4397](https://orcid.org/0000-0001-6559-4397)

²Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Adana, Türkiye. [ID: https://orcid.org/0000-0003-4315-5689](https://orcid.org/0000-0003-4315-5689)

Received date: 14.02.2019

Accepted date: 11.03.2019

Atıf yapmak için: Çoğun, H.Y. & Kargin F. (2019). *Oreochromis niloticus*'un solungaç dokusu iyon düzeyleri üzerine kurşunun etkisi. *Anadolu Çev. ve Hayv. Dergisi*, 4(1), 22-26. Doi: <https://doi.org/10.35229/jaes.527071>

How to cite: Çoğun, H.Y. & Kargin, F. (2019). The effect of lead on ion levels of *Oreochromis niloticus* gill tissue. *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 4(1), 22-26. Doi: <https://doi.org/10.35229/jaes.527071>

Öz: Kurşun (Pb) derişimlerinin etkisinde *Oreochromis niloticus* solungaç dokusunda Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺ ve Mg⁺⁺ iyon düzeyleri 10, 20 ve 30 gün sürelerde incelenmiştir. *O. niloticus*'lar 0.1, 0.5 ve 1.0 mg /L⁻ Pb derişimlerinin etkisinde 10, 20 ve 30 günlük sürelerle solungaç dokularındaki iyon derişimleri (Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺ ve Mg⁺⁺) Atomik Absorbsiyon Spektrofotometrik yöntemle saptanmıştır. Solungaç dokusu iyon (Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺ ve Mg⁺⁺) düzeyleri kurşundan etkilenmiştir. Kurşun ortam derişimleri solungaç dokusu Na⁺, Ca⁺⁺ ve Mg⁺⁺ iyon düzeylerinde bir artışa neden olurken, K⁺ iyon düzeylerinde bir azalmaya neden olmuştur. Bu çalışmada iyon düzeylerinin kurşundan etkilenmesi nedeniyle *O. niloticus*'un metal kirliliğine karşı hassas bir organizma olduğu saptanmıştır.

Anahtar sözcükler: Kurşun, *Oreochromis niloticus*, iyon, toksisite

The Effect of Lead on Ion Levels of *Oreochromis niloticus* Gill Tissue

Abstract: Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺ and Mg⁺⁺ ion levels in *Oreochromis niloticus* gill tissues under influence of lead (Pb) concentrations were investigated for 10, 20 and 30 days. Ion concentrations of *O. niloticus* gill tissues were determined by Atomic Absorption Spectrophotometric method for 10, 20 and 30 days in concentrations of 0.1, 0.5 and 1.0 mg L⁻¹Pb. Gill ion (Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺ and Mg⁺⁺) levels were affected by Pb. Lead concentrations caused an increase in Na⁺, Ca⁺⁺ and Mg⁺⁺ ion levels, but caused a decreased in K⁺ ion levels. In this study, *O. niloticus* was found to be an organism sensitive to metal contamination due to Pb influences of ion levels.

Keywords: Lead, *Oreochromis niloticus*, ion, toxicity.

GİRİŞ

Endüstriyel ve evsel atıklar, kentsel gelişme ve tarımsal aktiviteler ve yağmur suları sucul ortamdaki ağır metal kirliliğinin önemli kaynaklarıdır. Son yıllarda su ortamlarında ağır metal düzeylerindeki artış nedeniyle organizmalar olumsuz yönde etkilenmektedirler.

Kurşun (Pb) canlılarda herhangi bir biyolojik işlevi bulunmayan su ortamının önemli kirleticilerinden biri olarak kabul edilmektedir (Murphy & Spiegel, 1983; Viarengo, 1985). Kurşun su ortamına, madencilik, kömür ve petrol yakıtlarından, çeşitli yapıştırıcı maddelerin imalinden, kauçuk sanayinden, benzin katkı maddesi olarak, akü, boya ve pil yapımı gibi insan aktiviteleri sonucu girmektedir (Berman, 1980; Rogers vd., 2003). Organizmalarda iz miktarlarda bile gerekli olmayan kurşunun düşük düzeyleri üreme, büyüme ve davranış değişikliklerine neden olmaktadır (Burden vd., 1998). Kurşunun balıklarda büyümeyi engellediği, anemiye ve lipid peroksidasyonuna ve erisotlerde hem sentezinde görev alan δ aminolevulinik asit dehidrataz enziminde inhibisyona neden olduğu belirtilmektedir (Ruparelia vd., 1989; Burden vd., 1998; Campana vd., 2003).

Balıklar, akut ve kronik toksisite çalışmalarında geniş bir şekilde kullanılmakta olan hayvanlar olup kirleticilere karşı duyarlılıklarında farklılıklar gösterdiği saptanmıştır (Croke & McDonald, 2002). Balıklar suda bulunabilen metallere ilk ilişki kurduğu yer solungaçlar olması nedeniyle iyon düzenleyici membranları kirleticilere karşı çok hassas olduğu saptanmıştır (Playle, 1998). Organizmalarda ağır metaller ile Na^+ , K^+ , Ca^{++} ve Mg^{++} gibi iyonların derişimleri arasında sıkı bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Astorga-Espana vd., 1999).

İyonlar, organizmada sadece osmotik dengenin korunmasında değil, aynı zamanda besinlerin barsak hücrelerine taşınmasında ve beyinde nörotransmitterlerin alınmasında da önemli görevler yaparlar (Sures vd., 1995). Tatlı su ortamlarında yaşayan balıklarda osmotik dengenin sürdürülebilmesi için Na^+ ve Cl^- iyonlarının alınması gereklidir.

Çalışmamızın amacı 10, 20 ve 30 günlük sürelerle kurşunun farklı derişimlerine bırakılan *Oreochromis niloticus* solungaç dokularında kurşunun iyon düzeyleri üzerine etkilerini belirlemektir.

MATERYAL ve METOD

Bu araştırmada kullanılan *O. niloticus* balıkları Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi yetiştirme havuzlarından alınarak laboratuvara taşınmış ve 40X120X40 cm boyutlarındaki dört stok akvaryum içerisinde üç ay boyunca laboratuvar koşullarına adaptasyonları sağlanmıştır. Balıklardan *O. niloticus*'lar bu sürenin sonunda 14.72 ± 0.44 cm boy ve 37.87 ± 1.19 g ağırlığa ulaşmışlardır. Yerel Etik Kurulu ilkelerine uyulmuştur.

Deneyler $25 \pm 1^\circ\text{C}$ sıcaklıkta yürütülmüş, akvaryumlar merkezi havalandırma sistemi ile havalandırılmış ve günde sekiz saat aydınlanma (8 saat gündüz/16 saat gece) periyodu uygulanmıştır. Balıklar, günde iki kez olmak üzere balık ağırlığının % 1'i kadar hazır balık yemi (Pınar Balık Yemi, Türkiye) ile beslenmişlerdir.

Deneylerde 40X120X40 cm. boyutlarında olan ve her birinin içerisinde 18 balık bulunan 4 cam akvaryum kullanılmıştır. Bu akvaryumlardan üçüne 120'şer litre 0.1, 0.5 ve 1.0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ kurşun çözeltileri, dördüncü akvaryum kontrol olarak kullanılmıştır. Deneyler üç tekrarlı olarak yürütülmüştür ve her tekrarda iki balık kullanılmıştır.

Deney ortamında kurşun derişimlerinde süreye bağlı olarak derişimler olabileceği dikkate alınarak deney süresince akvaryum çözeltileri iki günde bir değiştirilmiştir. Deneylerde kullanılan kurşun (PbCl_2 Merck) çözeltilerinin akvaryumda homojen dağılması ve çökelmeyi önlemek için trisodyum sitrat ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ Merck) çözeltisi kullanılmıştır.

Belirlenen her sürenin sonunda balıklar MS-222 (Etil ester 3-amino benzoik asit) çözeltisi hazırlanarak balıklara genel anestezi uygulanarak bayıltılmıştır (Hawkins, 1981). Daha sonra çeşme suyu ile iyice yıkanmış ve kurutma kağıdı ile yüzeylerinde bulunan su damlacıkları alınmıştır. Bayılan balıkların solungaç dokularının diseksiyonu yapılmıştır. Daha sonra dokular etüvde 150°C 'de 48 saat süreyle kurumaya bırakılmışlardır. Kuru ağırlıkları belirlenen solungaç dokular deney tüplerine aktararak üzerlerine 2 mL. nitrik asit (Merck, % 65, Ö.A.: 1.40) ve 1 mL. perklorik asit (Merck, % 60, Ö.A.: 1.53) eklenmiş (Muramoto, 1983) ve çeker ocakta 120°C 'de 3 saat süreyle yakılmıştır. Yakımı tamamlanan örnekler polietilen tüplere aktarılmış ve üzerleri deiyonize su ile 5 mL'ye tamamlanarak Na^+ , K^+ , Mg^{++} ve Ca^{++} iyon düzeylerinin analizi için hazır hale getirilmiştir.

Solungaç dokusu Ca^{++} ve Mg^{++} derişimleri Perkin Elmer AS 3100 Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi ile belirlenirken, Na^+ ve K^+ derişimleri ise Philips PU 9100X marka Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi ile (sodyum 589.0 nm ve potasyum 766.5 nm dalga boylu emilsiyonla) belirlenmiştir.

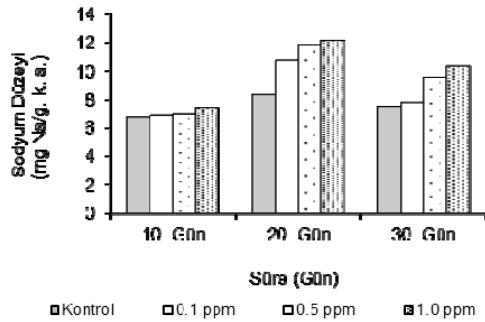
İstatistiksel Analiz: Deneylerden elde edilen verilerin istatistik analizleri " Regresyon analizi" ve " Student-Newman Keul's Test (SNK)" testleri uygulanarak yapılmıştır (Rohlf & Sokal, 1969; Sokal& Rohlf, 1969).

BULGULAR

Çalışılan sürelerde ve denenen tüm derişimlerde ölüm gözlenmemiştir. *O. niloticus* 'da belirlenen derişimler ve sürelerde solungaç dokusu Na^+ , K^+ , Ca^{++} ve Mg^{++} iyon düzeyleri şekil 1-4'de verilmiştir.

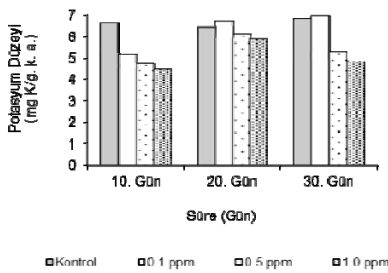
Solungaç dokusu sodyum düzeyinde 20. günde denenen tüm ortam derişimlerinde artış gözlenirken, 30.

günde sadece 1.0 mg/L Pb derişiminde sodyum düzeyinde kontrole göre bir artışın olduğu saptanmıştır (% 37) (Şekil 1).



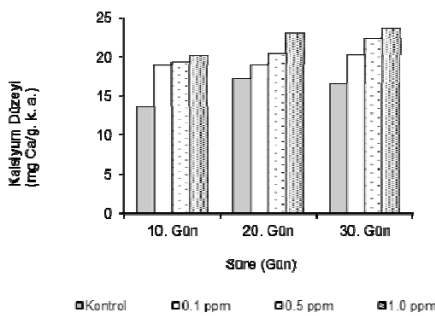
Şekil 1. *O. niloticus*'da solungaç dokusu sodyum düzeyi üzerine kurşun ortam derişimleri ve sürenin etkisi.

Solungaç potasyum düzeyleri 10. günde tüm derişimlerde kontrole göre azalmıştır. 20 ve 30. günlerde 0.1 mg/L Pb ortam derişiminde solungaç potasyum düzeyinde bir değişiklik olmazken, diğer derişimlerde ise kontrole göre bir azalmanın olduğu belirlenmiştir (Şekil 2).



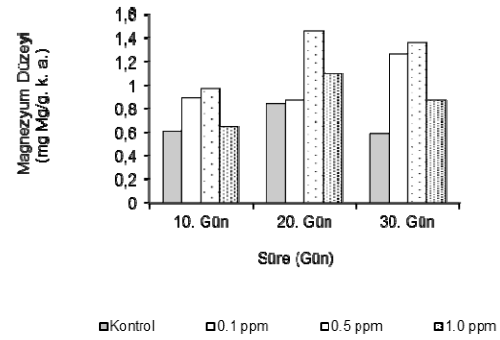
Şekil 2. *O. niloticus*'da solungaç dokusu potasyum düzeyi üzerine kurşun ortam derişimleri ve sürenin etkisi.

Solungaç dokusu kalsiyum düzeyi denenen tüm süre ve derişimlerde kontrole göre arttığı saptanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. *O. niloticus*'da solungaç dokusu kalsiyum düzeyi üzerine kurşun ortam derişimleri ve sürenin etkisi.

Solungaç dokusu magnezyum düzeyleri 10. günde 1.0 mg/L ve 20. günde 0.1 mg/L derişimleri hariç, denenen diğer süre ve ortam derişimlerinde kontrole göre arttığı belirlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. *O. niloticus*'da solungaç dokusu magnezyum düzeyi üzerine kurşun ortam derişimleri ve sürenin etkisi.

TARTIŞMA ve SONUÇ

Ağır metallerin subletal derişimlerinin etkisine bırakılan balıklarda solungaç ve iç organlarda hasarların olduğu birçok araştırmacı tarafından belirtilmiştir (Heath, 1987; Nemcsok & Hughes, 1988; Hutchinson & Sprague, 1989; Verp vd., 2018). Araştırmamızda Pb'nin düşük derişimlerinin etkisinde balıkların solungaçlarında aşırı derecede mukus birikimine, operkulum hareketlerinin sıklığında bir artışa ve yüzgeçlerde dejenerasyona neden olduğu gözlenmiştir. Genelde ağır metaller organizmalar tarafından solunum, besin ve deri yoluyla alınmaktadır. Araştırmamızda balıkların kurşunu büyük bir olasılıkla deri ve solungaçlar yoluyla aldıkları düşünülmektedir.

Balıklarda fizyolojik olayların tam olarak yapılabilmesi ve canlılığın sürdürülebilmesi için hücre içi ve hücre dışı arasında iyon derişimlerindeki dengenin sürekli olarak korunması gerekmektedir. Na⁺, K⁺, Ca²⁺ ve Cl⁻ gibi iyonlar osmolarite ve plazmanın osmotik basıncının korunmasından sorumlu minerallerdirler ve fizyolojik işlevlerin çoğu için gereklidirler.

Balıklarda solungaçlar, gaz değişimi, asit-baz dengesi, iyon ve osmotik regülasyon gibi önemli işlevlerin gerçekleştiği bir dokudur (Spry & Wood, 1984). Tatlı su balıklarının solungaçlarında iyonlar özellikle Na⁺ ve Cl⁻ genelde üç mekanizmayla alınmaktadır. Bunlar 1. aktif, bağımsız ve elektronütral taşınma, 2. pasif difüzyon, 3. değişebilen difüzyon şekillerinde olmaktadır (Wood, 1988).

Tatlı su balıkları ile yapılan araştırmalarda, metallerin etkisine bırakılan balıklarda ilk olarak solungaç ve serum iyon dengesinin bozulduğu belirlenmiştir (Pelgrom vd., 1995; Morgan vd., 1997; Sloman vd., 2003).

Tatlı su balıklarında Na⁺, sodyum kanallarıyla solungaç epitelinin apikal membranlarına geçmektedir (Wood, 1988), hücre içerisine giren Na⁺, Na⁺/K⁺-ATP az tarafından bazolateral membranlara taşınmaktadır (Sloman vd., 2003). Na⁺ iyonu buradan aktif taşıma sistemi ile dolaşım sistemine geçmektedir (Wood, 1992; Evans, 1993). Bu araştırmada, *O. niloticus*'da kurşun ortam derişimleri solungaç dokusu Na⁺ düzeyini bir miktar artırmıştır. Hongstrand vd., (1999) gümüşün *Platichthys stellatus*'da

serum Na^+ düzeyini arttırdığını saptamışlardır.. Kurşunun etkisine bırakılan balıkların solungaç Na^+ düzeyinin artması balığın su kaybetmesi (Hilmy vd., 1987) ve Na^+ iyonunun yerinin kurşun tarafından zaptedilmesi ile açıklanabilir.

Çalışmamızda solungaç dokusu K^+ düzeyi kurşun ortam derişimlerinin etkisinde azalmıştır. Bu azalmanın sebebi solungaçlarda hasarların oluşmasından (Nussey vd., 1995) kaynaklanabilir. Yapılan bir araştırmada *Salmo gairdneri* 'de ortamdaki bakırın artışı ile vücut K^+ düzeylerinde azalmaların daha fazla olduğu belirtilmiştir (Lauren & McDonald, 1986). Civanın etkisine bırakılan *Carcinus means*'da K^+ düzeylerinde değişiklikler oluşmuş ve bu değişikliklerin, solungaçlarda Na^+/K^+ -ATP az aktivitesinin inhibüsyonu ve solungaçların iyon permeabilitesindeki artıştan kaynaklandığı belirtilmiştir (Bjerregaard & Vislie, 1985).

Balıklarda kurşun (Rogers vd., 2003) Ca^{++} -ATPaz'ın taşıma görevini engellemesi nedeniyle doku ve serumda Ca^{++} düzeyinde değişikliklerin oluşmasına neden olmaktadır. Çalışmamızda *O. niloticus*'da denenen kurşun ortam derişimleri solungaç Ca^{++} düzeyini arttırmıştır. *C. means*'da civa solungaçlarda Ca^{++} taşınmasını stimüle ederek yoğunlaşmasına neden olmuştur (Bjerregaard & Vislie, 1985). Kadmiyumun *S. gairdneri*'de fizyolojik parametreler üzerine etkileri ile ilgili yapılan bir araştırmada, kadmiyumun Ca^{++} -ATP az aktivitesini inhibe etmesi sonucu, sudan difüzyonla solungaç dokusuna alınan Ca^{++} un bazolateral membran boyunca dolaşım sistemine taşınmayarak solungaç dokusunda yoğunlaştığı belirtilmiştir (Verboost vd., 1987; 1989).

Magnezyum canlılar için gerekli bir mineral olup, kemik dokusundaki işlevine ek olarak, karbonhidrat metabolizması ve protein sentezi gibi fizyolojik işlevlerde önemli görevleri bulunan bir iyondur. Kurşun ortam derişimleri *O. niloticus*'un solungaç dokusu Mg^{++} düzeyini derişime ve etkide kalma süresine bağlı olarak arttırmıştır. Mg^{++} iyon derişimi hücresel düzeyde membranda bulunan Mg^{++} -ATP az tarafından kontrol edilmekte ve ağır metallerin Mg^{++} -ATP az'ı inhibe etmesi sonucu Mg^{++} düzeyi değişebilmektedir. *Periophthalmus dispes* ile yapılan bir çalışmada kromun solungaç ve böbrek dokularında Mg^{++} -ATP azı inhibe ettiği bildirilmiştir (Thaker vd., 1996).

Sonuç olarak solungaç dokusu iyon (Na^+ , K^+ , Ca^{++} ve Mg^{++}) düzeyleri kurşundan etkilenmiştir. Kurşunun farklı ortam derişimleri solungaç dokusu Na^+ , Ca^{++} ve Mg^{++} iyon düzeylerinde bir artışa neden olurken, K^+ iyon düzeylerinde bir azalmaya neden olmuştur. Tatlı su ortamlarında yaşayan balıklarda osmotik dengenin sürdürülebilmesi için iyon düzeylerinin dengede kalması çok önemlidir. Bu araştırma, solungaç dokusunun su organizmalarında iyon regülasyonu ile osmoregülasyonun sürdürülmesinde hassas bir doku olduğunu göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi (BAP) tarafından desteklenmiştir (Proje No: FEF2003D13).

KAYNAKLAR

- Astorga-Espana, M.S., Pena-Mendez, E.M. & Montelongo, F.J. (1999).** Application of principal component analysis to the study of major cations and trace metals in fish from Tenefire (*Canary Islands*). *Chem and Intell Lab*, **49**, 173-178.
- Berman, E. (1980).** *Copper in "Toxic Metals and Their Analysis"*. Chapter 12, 88-100., Heyden&Son LTD, London.
- Bjerregaard, P. & Vislie, T. (1985).** Effect of Mercury on ion and osmoregulation in the shore crab *Carcinus maenas* (L.). *Comp Biochem Physiol*, **82C**,(1), 227-230.
- Burden, V.M., Sandheinrich, M.B. & Caldwell, C.A. (1998).** Effects of Lead on the Growth and δ -aminolevulinic Acid Dehydratase Activity of Juvenile Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Environmental Pollution*, **101**, 285-289.
- Campana, O., Sarasquete, C. & Blasco, J. (2003).** Effect of lead on ALA-D activity, metallothionein levels, and lipid peroxidation in blood, kidney, and liver of the toadfish *Halobatrachus didactylus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **55**, 116-125.
- Croke, S.J. & McDonald, D.G. (2002).** the further development of ionoregulatory measures as biomarkers of sensitivity and effect in fish species. *Environ Toxicol Chemist*, **21**, 8, 1683-1691.
- Evans, D.H. (1993).** *Osmotic and ionic regulation*. In Evans, D. H. (Ed.), *The Physiology of Fishes*. CRC Press, Boca Raton, FL, 315-341.
- Felts, P.A. & Heath, A.G. (1984).** Interaction of temperature and sublethal environmental copper exposure on the energy metabolism of bluegill, *Lepomis macrochirus* Rafinesque. *J Fish Biol*, **25**, 445-453.
- Hawkins, A.D. (1981).** *Aquarium systems*, Academic Press. London. 452 pp.
- Heath, A.G. (1987).** *Water pollution and fish physiology*. CRC Press. 24 pp. Florida USA.
- Hilmy, A.M., El Domiaty, N.A., Daabees, A.Y. & Alsarha, A. (1987).** The toxicity to *Clarias lazera* of copper and zinc applied jointly. *Comp Biochem Physiol*, **87C**(2), 309-314.
- Hongstrand, C., Ferguson, E.A., Galves, F., Shaw, J.R., Webb, N.A. & Wood, C.M. (1999).** Physiology of acute silver toxicity in the starry flounder (*Platichthys*

- stellatus*) in Seawater. *J Comp Physiol B*, **169**, 461-473.
- Hutchinson, N.J. & Sprague, J.B. (1989).** Lethality of trace metal mixtures to americans flagfish in neutralized acid water. *Arch Environ Contam Toxicol*, **18**, 249-254.
- Lauren, D.J. & Mc Donald, D.G. (1986).** Influence of water hardness, ph and alkalinity on the mechanisms of copper toxicity in juvenile rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Can J Fish Aquat Sc*, **43**, 1488-1496.
- Muramoto, S. (1983).** Elimination of copper from cu-contaminated fish by long-term exposure to EDTA and fresh-water. *J Environ Sci Health A*, **18**(3), 455-461.
- Murphy, C.B.Jr. & Spiegel, S.J. (1983).** Bioaccumulation and toxicity of heavy metals and related trace elements, *Water Pollution*, **55**(6), 816-821.
- Nemcsok, J.G. & Hughes, G.M. (1988).** The effect of copper sulphate on some biochemical parameters of Rainbow trout. *Environmental Pollution*, **49**, 77-85.
- Morgan, J.D., Sakamoto, T., Grau, E.G. & Iwama, G.K. (1997).** Physiological and respiratory responses of the Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*) to salinity acclimation. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, **117**(3), 391-398.
- Nussey, G., Van Vuren, J.H.J. & Du Preez, H.H. (1995).** Effect of copper on the haematology and osmoregulation of the Mozambique tilapia, *Oreochromis mossambicus* (Cichlidae). *Comp Biochem Physiol*, **111C**, 369-380.
- Pelgrom, S.M.G.J., Lock, R.A.C., Balm, P.H.M. & Wendelaar Bonga, S.E. (1995).** Effects of combined waterborne Cd and Cu Exposures on ionic composition and plasma cortisol in Tilapia, *Oreochromis mossambicus*. *Comp Biochem and Physiol Part C: Toxicol & Endocrin*, **111**(2), 227-235.
- Playle, R.C. (1998).** Modelling metal interactions at fish gills. *The Science of the Total Environment*, **219**, 147-163.
- Rohlf, J.F. & Sokal, R.R. (1969).** *Statistical tables*. W. H. Freeman and Company, San Francisco. 253pp.
- Roger, J.T., Richards, J.G. & Wood, C.M. (2003).** Ionoregulatory disruption as the toxic mechanism for lead in the Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquatic Toxicology*, **64**(2), 215-234.
- Ruparelia, S.G., Verma, Y., Mehta, N.S. & Salyed, S.R. (1989).** Lead-induced biochemical changes in Freshwater fish *Oreochromis mossambicus*. *Bull Environ Contam Toxicol*, **43**, 310-314.
- Slovan, K.A., Morgan, T.P., McDonald, D.G. & Wood, C.M. (2003).** Socially-induced changes in sodium regulation affect the uptake of water-borne copper and silver in the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, **135**(4), 393-403.
- Sokal, R.R. & Rohlf, J.F. (1969).** “*Biometry*” W.H. And Freeman and Company, San Francisco. 776pp.
- Spry, D.J. & Wood, C.M. (1984).** Acid-base, plasma ion and gas changes in Rainbow Trout during short term toxic zinc exposure, *J Comp Physiol B*, **154**, 149-158.
- Suresh, A., Sivaramakrishna, B. & Radhakrishnaiah, K. (1995).** Cadmium induced changes in ion levels and atpase activities in the muscle of the fry and fingerlings of the Freshwater fish, *Cyprinus carpio*. *Chemosphere*, **30**(2), 365-375.
- 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 dipes*. *Toxicology*, **112**, 237-244.
- Verboost, P.M., Flik, G., Lock, R.A.C. & Wendelaar Bonga, S.E. (1987).** Cadmium inhibition of Ca²⁺ uptake in Rainbow trout gills. *Am J Physiol*, **253**, 216-221.
- Verboost, P.M., Flik, G., Lock, R.A.C. & Wendelaar Bonga, S.E. (1989).** The movement of cadmium through freshwater trout branchial epithelium and its interference with calcium transport. *J Exp Biol*, **145**, 185-197.
- Verep, B., Mutlu, T., Yüksek, T. & Gürdal, A.A. (2018).** Sert ve yumuşak su koşullarında Karadeniz alabalığı (*Salmo coruhensis*) dokularında ağır metal (Civa: Hg) birikiminin belirlenmesi, *Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi*, **3**(1), 19-26.
- Viarengo, A. (1985).** Biochemical effects of trace metals. *Marine Pollution Bull*, **16**(4), 153-158.
- Wood, C.M. (1988).** Acid-base and ionic exchanges at gills and kidney after exhaustive exercises in the Rainbow trout. *J Exp Biol*, **136**, 461-481.
- Wood, C.M. (1992).** Flux measurements as indices of H⁺ and metal effects on freshwater fish. *Aquatic Toxicology*, **22**, 239-264.

*Corresponding author's:

Doç. Dr. Hikmet Yeter ÇOĞUN

Çukurova Üniversitesi

Ceyhan Veteriner Fakültesi, Adana, Türkiye.

E-mail: hcogun@cu.edu.tr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6559-4397>