


Bakır Oksit Nanopartiküllerinin *Clarias gariepinus*'da Bazı Serum Parametreleri Üzerine Etkisi

Mustafa TUNÇSOY^{1*}

¹Çukurova Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü 01330 Sarıçam/Adana/Türkiye
: <https://orcid.org/0000-0001-7306-0539>

Received date: 04.09.2019

Accepted date: 30.10.2019

Atıf yapmak için: Tunçsoy, M. (2019). Bakır Oksit Nanopartiküllerinin *Clarias gariepinus*'da Bazı Serum Parametreleri Üzerine Etkisi. *Anadolu Çev. ve Hayv. Dergisi*, 4(3), 387-392.

How to cite: Tunçsoy, M. (2019). Influence of Copper Oxide Nanoparticles on Some Serum Parameters of *Clarias gariepinus*. *Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 4(3), 387-392.

Öz: Bu çalışmada bakır oksit nanopartiküllerinin (CuO NP) 1 ve 5 ppm derişimlerinin 7 günlük süreyle etkisinde *C. gariepinus*'un serum glikoz, total protein, albumin, kolesterol, trigliserit düzeyinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Serum parametrelerinin analizinde otoanalizator cihazı kullanılmış olup, verilerin istatistik analizleri Varyans Analizi ve Student-Newman Keul's Test (SNK) testleri uygulanarak yapılmıştır.

Belirlenen süre ve derişimlerde Cu NP etkisinde balıklarda mortalite gözlenmemiştir. Deney süresi sonunda her iki derişimde de serum glikoz ve albümin düzeyleri artarken serum total protein, kolesterol ve trigliserid düzeyleri kontrole oranla azalmıştır.

Ahtar sözcükler: Bakır oksit nanopartikülleri, *C. gariepinus*, Serum parametreleri.

Influence of Copper Oxide Nanoparticles on Some Serum Parameters of *Clarias gariepinus*

Abstract: Effects of waterborne copper on serum glucose, total protein, albumin and triglyceride levels of *C. gariepinus* were determined after exposing the fish to 1 and 5 ppm copper applied as CuO nanoparticles (CuO NPs) over 7 day. Serum parameters were measured using an auto analyzer and statistical evaluation of the experimental data was carried out by Variance Analysis and Student Newman Keul's Procedure (SNK).

No mortality was observed during the experiments. Serum glucose and albumin levels increased while serum total protein, cholesterol and triglyceride levels decreased compared to control when exposed to both concentration of Cu NPs at the end of the 7th day.

Keywords: Copper oxide nanoparticles, *C. gariepinus*, Serum parameters.

GİRİŞ

Ağır metaller doğada düşük derisimlerde bulunmakla beraber, hızlı nüfus artışı ve buna bağlı olarak artan sanayileşme su ekosistemlerinde ağır metal derisiminin artmasına neden olmuştur. Antropojenik etkiler sonucu su ekosistemlerinde derişimi artan ağır metaller su organizmaları tarafından alınarak doku birikimi ve fizyolojik ve biyokimyasal değişikliklere neden olmakta ve üst trofik düzeylere daha yoğun olarak aktarılmaktadır (Hu, 2000; De vd., 2010; Jorgensen, 2010).

Nanopartiküller (NP) boyutları 1 – 100 nm arasında değişen küçük boyutlu ve yüksek yüzey alanı olan partiküller olarak tanımlanırlar (Gomes vd., 2013). Kimyasal kompozisyonları göz önüne alındığında nanopartiküllerin en önemlileri karbon kaynaklı nanopartiküller ve metal içerikli metal oksit nanopartikülleridir (Klaine vd., 2008; Bhatt & Tripathi, 2011).

Metal oksit nanopartikülleri, çeşitli ticari ürünlerde diğer nanopartiküllere kıyasla en fazla kullanılan nanopartiküllerdir ve potansiyel toksisiteleri bakımından çevre ve insan sağlığı açısından büyük tehdit oluşturmaktadır (Aschberger vd., 2011). Metal oksit nanopartiküllerinin artan kullanımı sonucu bu partiküller su ortamlarına ulaşmaktadır. Biyolojik membranlardan rahatlıkla geçebilen nanopartiküller organ, doku, hücre ve moleküler düzeyde olumsuz etkilere neden olabilmektedirler (Schrand vd., 2010). Nanopartiküllerin, su ortamları ve organizmalar üzerine olumsuz etkileri son yıllarda araştırmacıların çok fazla dikkatini çekmektedir (Blaise vd., 2008; Farre vd., 2009).

Glikoz, omurgalı hayvanlarda başlıca yüksek enerjili bileşik olup, fazlası kas ve karaciğerde glikojen formunda depo edilirken, serumdaki düzeyi endokrin sistem aracılığı ile kontrol edilmektedir (Dange, 1986). Balıklarda açlık, üreme, hipoksik koşullar ve ağır metal etkisi gibi stres faktörleri, karbonhidrat metabolizmasında ve sonuçta serum glikoz düzeyinde değişimlere neden olur (Vosyliene, 1999; Kuşatan & Cicik, 2004). Albumin karaciğer orijinli bir serum proteindir ve kanın ozmotik basıncını ve pH'ını düzenlemekte ayrıca metaller, organik bileşikler ve hormonlar için taşıyıcı olarak görev yapmaktadır (Heath, 1995). Hayvansal organizmalarda kolesterol lipoproteinlerin, safra asitlerinin ve steroid hormonların başlıca yapısal bileşenini oluşturur ve ağır metaller gibi kirleticilerin etkisinde lipolizisin uyarılması sonucu serumdaki düzeyi değişim gösterir. Serum proteinleri ise organik ve inorganik bileşenlerin taşınımında görev yapar (Heath, 1995).

Metallerin çeşitli balık türleri üzerine etkisi üzerine çok sayıda araştırma bulunmasına rağmen, metal nanopartiküllerinin balık türleri üzerine etkilerinin incelendiği çalışmalar sınırlıdır. Bu nedenle bu araştırmada bakır nanopartiküllerinin 1 ve 5 mg/L derişimlerinin 7 günlük süreyle etkisinde *C. gariepinus*'un serum glikoz, total

protein, albumin, kolesterol ve trigliserid, düzeyleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL ve METOT

Araştırmada materyal olarak kullanılan *C. gariepinus* Silifke'de bulunan özel balık yetiştirme çiftliğinden alınarak deneylerin yürütüldüğü kontrollü ortam şartlarındaki Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Ekotoksikoloji Laboratuvarına getirilmiştir. Balıklar her biri 40x120x40 cm boyutlarında, içerisinde 120 L çeşme suyu bulunan stok akvaryumlar içerisinde 2 ay süreyle tutularak laboratuvar ortam koşullarına adaptasyonları sağlanmıştır. Bu süre sonunda deneyde kullanılan balıklar 22.9 ± 1.4 cm boy ve 86.9 ± 4.12 g ağırlığa ulaşmışlardır.

Adaptasyon ve deney süresince ortam sıcaklığı 25±1°C sabit tutularak 12 saat aydınlık, 12 saat karanlık fotoperiyodu uygulanmıştır. Akvaryumlar merkezi havalandırma sistemi ile havalandırılmış ve balıklar günde iki kez toplam biyomasın %2 si kadar hazır balık yemi (Pınar hazır balık yemi Pelet No:2, Türkiye) ile beslenmişlerdir.

Deneyde 40x120x40 cm boyutlarında toplam 3 tane cam akvaryum kullanılmış olup her birine 120 L dinlendirilmiş metal içermeyen çeşme suyu konulmuştur. Her bir akvaryuma 3'er balık konulmuştur. İlk 2 akvaryuma son derişimleri sırası ile 1 ve 5 mg Cu/L olacak şekilde 1000 ppm CuO NP çözeltisi eklenmiştir. Üçüncü akvaryuma ise metal içermeyen dinlenmiş çeşme suyu konulup kontrol grubu olarak değerlendirilmiştir. Deney çözeltilerinin hazırlanmasında bakır oksit nanopartikülü (Sigma-Aldrich; CuO; partikül boyutu <50nm) kullanılmıştır. Deneyler süresince ortam suyunun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

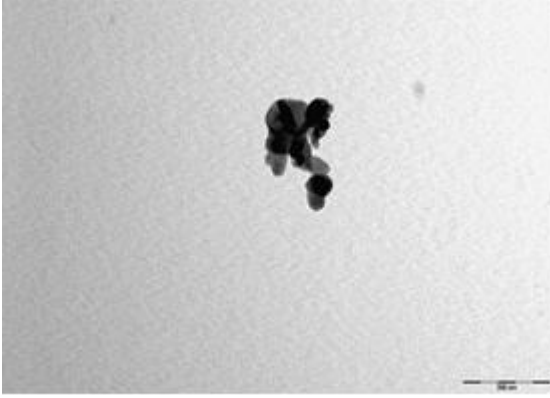
Tablo 1. Deney ortam suyunun fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Fiziksel ve kimyasal özellikleri	Miktarı
Sıcaklık (Akvaryum)	22 ± 0.5°C
Çözünmüş oksijen	7.2 ± 0.3 mg/L
Toplam alkalinite	305 ± 0.5 mg CaCO ₃ /L
pH	7.64 ± 0.4

Bakır oksit nanopartikülünün karakterizasyonunun belirlenmesinde CuO NP çözeltinin derişimi 100 mg/L olacak şekilde hem ultra saf su hem de çeşme suyu içerisinde çözülmüştür. Elde edilen karışım analizden hemen önce 15 dakika süreyle ultrasonik banyoda sonikasyona bırakılmış ve ardından analiz işlemine geçilmiştir.

Transmisyon elektron mikroskobu (TEM) analizleri için ultra saf su ile hazırlanan 100 mg/L CuO NP sonikasyona bırakılmış ardından üzeri karbon tabaka ile kaplanarak oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Partikül boyut aralığı JEOL (JEM-1011) mikroskopta görüntü analiz

yazılımı (Soft Imaging System) kullanılarak rastgele seçilmiş 60 nanopartikül analizi ile belirlenmiştir.



Şekil 1. CuO NP'nin Transmisyon elektron mikroskobu görüntüsü.

Hidrodinamik çap ve zeta potansiyeli belirlemek için ultra saf su ve çeşme suyu ile 100 mg/L CuO NP çözeltisi hazırlanmış Zetasizer Nano ZS analizatörü kullanılarak (Malvern Instruments Inc., UK) sırasıyla dinamik ışık saçılımı (DLS) ve elektroforetik ışık saçılımı (ELS) ile belirlenmiştir.

Tablo 2. CuO nanopartikül karakterizasyonu (Ortalama±Standart hata).

Partikül özellikleri	Metod	Ultra saf su	Çeşme suyu
Boyut (nm)	TEM	< 50 ^a	-
Partikül Boyut dağılımı (nm)	TEM	33.0 ± 8.3 ^b	-
Hidrodinamik çap (nm)	DLS	586.6 ± 89.4 ^b	812.8 ± 98.8 ^b
Zeta potansiyeli (mV)	ELS	-17.1 ± 0.4 ^b	-18.5 ± 2.1 ^b

^aSigma-Aldrich

^b100 mg/L CuO NP

Deneyler üç tekrarlı olarak yürütülmüş olup, deney süresince adsorbsiyon ve evaporasyon gibi nedenlerle metal çözeltilerinin derişimlerinde değışimler olabileceğinden deney çözeltileri her gün taze olarak hazırlanan stok çözeltilerinden uygun seyreltmeler yapılarak değıştirilmiştir.

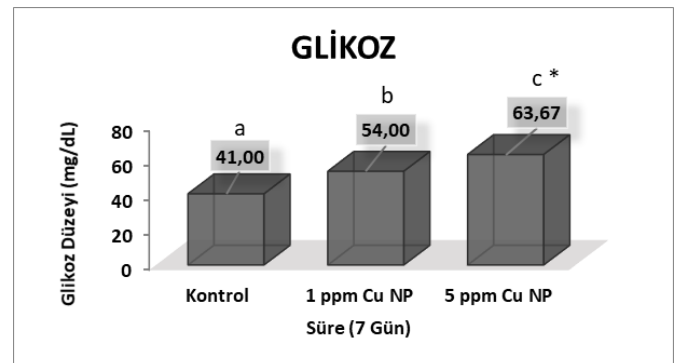
Belirlenen sürenin sonunda akvaryumların her birinden üç balık çıkarılmıştır. Daha sonra çeşme suyu ile iyice yıkanarak, kurutma kağıdı ile kurutulmuş ve kan örnekleri alınmıştır. Serum parametrelerin incelenmesinde kullanılan kan örnekleri her bir deneğın kaudal pedinkülünün vertikal doğrultuda kesilmesi yolu ile elde edilmiştir. Alınan kan örnekleri içerisinde herhangi bir antikoagülant madde bulunmayan santrifüj tüplerine aktararak 4000 dev/dak.'da 10 dakika süreyle santrifüj (Nüve, NF 400 marka) edilmiş ve serum örnekleri elde edilmiştir. Elde edilen serum örnekleri serum tüplerine aktararak analize hazır hale getirilmiş ve serum parametrelerinin analizinde Beckman Coulter DXI 800 ve DXC 800 marka otoanalizator cihazı kullanılmıştır.

Deneylerden elde edilen verilerin istatistik analizleri SPSS 21 Paket Programı kullanılarak Varyans Analizi ve Student-Newman Keul's Test (SNK) testleri uygulanarak yapılmıştır (Sokal & Rhofl, 1995).

BULGULAR ve TARTIŞMA

Su ekosistemlerine giren ağır metallerin akut veya kronik etkisi balıkların doku ve organlarında birikimin yanı sıra, serumdaki biyokimyasal parametreleri de etkileyerek metabolik ve fizyolojik olaylarda değışime neden olmaktadır (Heath, 1995). Biyokimyasal parametrelerin analizi hedef organ toksisitesinin belirlenmesinin yanında organizmaların genel sağıık durumlarının belirlenmesini ve stres halindeki organizmada erken uyarı sinyallerinin alınmasını da sağıılayabilir (David vd., 2010; Dube vd., 2014). Kirleticilerin etkisinde serum biyokimyasal parametrelerin incelenmesi aynı zamanda hedef organ toksisitesinde de belirleyici bir rol oynamakta (Prashanth, 2012; Dube vd., 2014) ve bu parametrelerin ağır metal toksisitesinin bir göstergesi olarak kullanılabileceğı belirtilmektedir (Fırat & Kargın, 2010a).

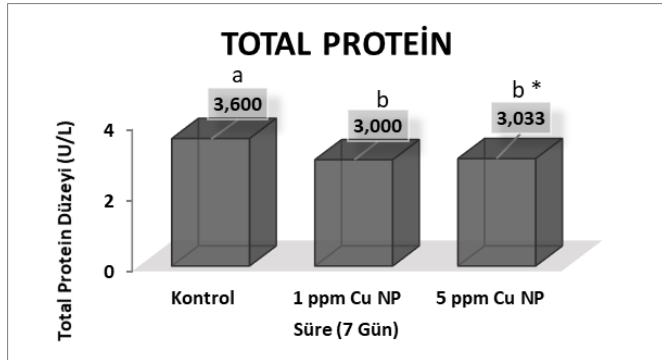
Serumdaki düzeyi endokrin sistem tarafından kontrol edilen glikoz balıklarda yaşamsal olaylar için gerekli olan enerjinin kaynağıdır ve fazlası kas ve karaciğerde glikojen formunda depo edilir (Javed & Usmani, 2013). Metal etkisi gibi stres faktörleri kortizol, epinefrin ve katekolamin gibi hormonların salınımını artırarak, karbonhidrat metabolizmasında değışikliklere neden olmaktadır (Vosyliene, 1999). Balıklarda ağır metal etkisinin strese neden olduğu, stres koşullarında enerji gereksiniminin arttığı ve bunu sonucunda bu hormonların salınımını stimule ederek glikojenlisis ile kas ve karaciğer glikojeninin mobilizasyonuna neden olduğu belirtilmektedir (Brown, 1993; Tuncsoy vd., 2016). Yapılan birçok çalışmada stres koşullarında serum glikoz düzeyinde artış meydana geldiğı belirtilmiştir (Iwama vd., 1999; Cicik & Engin, 2005; Ramesh, 2007). *S. trutta*'da bakır etkisinin ortam derişimi ve etkide kalma süresine bağılı olarak serum glikoz ve kortizol düzeylerini arttırdığı belirlenmiştir (Nemesok & Hughes, 1988). Bu çalışmada da Cu NP etkisinde serum glikoz düzeyi metal etkisine bağılı olarak her iki derişimde de artış göstermiştir (Şekil 2; P<0.05). Serum glikoz düzeyindeki bu artış metal etkisinin yarattığı stres nedeniyle enerji gereksiniminin glikojenlisisin artması sonucunda oluşan glikozdan sağıılaması ile açıklanabilir.



Şekil 2. *C. gariepinus*'da Cu NP'nin 1 ve 5 ppm derişimleri etkisinde serum glikoz düzeyleri (mg/dL).

*SNK; a, b ve c ile gösterilen harfler derişimler arası ayrımı göstermek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında P<0.05 düzeyinde istatistik ayrım vardır.

Serum total protein düzeyinin belirlenmesi karaciğer hasarının indikatörü olarak kullanılmakla birlikte balıkların beslenme durumlarıyla ilgili bir parametredir ve ksenobiyotik kaynaklı stresin bir belirteci olarak kullanılmaktadır (Schaperclaus vd., 1992; Yang & Chen, 2003). Zaghoul vd., (2006), *C. gariepinus*, *O. niloticus* ve *T. zillii*'de serum total protein düzeyinde azalmaya neden olduğunu belirtmiştir. *O. niloticus*'da 30 günlük bakır etkisinde serum total protein düzeyin azalma meydana geldiği belirtilmiştir (Öner vd., 2008). *R. quelen*'de bakırın 16 ve 29 µg/L'lik derişiminin 45 günlük etki süresinde serum glikoz düzeyinde artış gözlenirken serum total protein düzeyinde azalma meydana gelmiştir (Pretto vd., 2014). Singh ve Reddy, (1990) *H. fossilis*'de 30 günlük etki süresinde 0.25 ppm bakırın serum total protein düzeyinde azalmaya neden olduğunu belirtmişlerdir. *C. gariepinus* ile yürütülen bu araştırmada da 1 ve 5 ppm Cu NP etkisinde serum total protein düzeyinde azalma meydana gelmiştir (Şekil 3; P<0.05). Serum total proteinindeki bu azalma metal etkisine bağlı karaciğerdeki yapısal bozulmanın bir sonucu olarak serum proteinlerinin sentezindeki inhibisyonla kaynaklandığı düşünülmektedir.



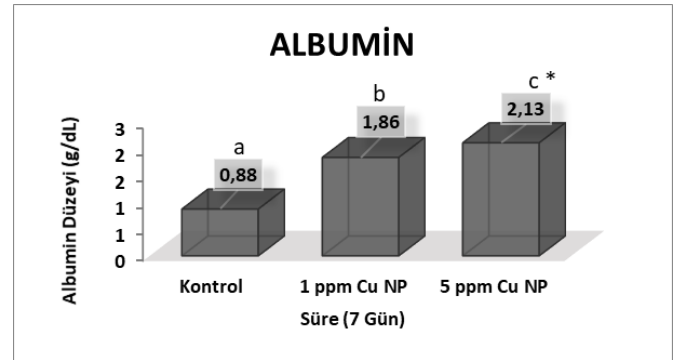
Şekil 3. *C. gariepinus*'da Cu NP'nin 1 ve 5 ppm derişimleri etkisinde serum total protein düzeyleri (U/L).

*Açıklamalar Şekil 2'de verilmiştir.

Balıklarda ağır metaller, kanda bulunan albumin, globulin ve seruloplazmin gibi proteinlere bağlanarak doku ve organlara taşınırlar. Sentez yerleri karaciğer olan albüminlerin taşıyıcı görevlerinin dışında kan ve dokular arasındaki ozmotik dengelyi sağlar ve gerektiğinde aminoasit kaynağı olarak kullanılmaktadır (Heath 1995). Chen vd. (2004), *O. niloticus*'da bakırın 7 günlük etkisinde albumin seviyesinin değişmediğini belirtmişlerdir. Fırat ve Kargın (2010b) 14 günlük metal etkisi sonunda *O. niloticus*'da serum albümin seviyesinde artış meydana geldiğini belirtmişlerdir. Bu araştırmada da 7 günlük etki süresi sonunda *C. gariepinus*'da Cu NP her iki derişimde de etkisinin serum albümin düzeyinde artışa neden olduğu belirlenmiştir (Şekil 4; P<0.05). Bu artışın metal etkisi süresince metal taşıyıcı proteinlerin taşıma kapasitesindeki artışa bağlı olarak sentezindeki artmadan kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

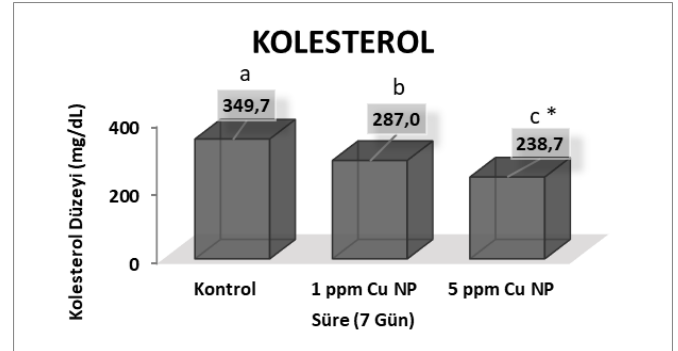
Çoğunlukla karaciğer tarafından sentezlenen kolesterol hücre membranlarının, lipoproteinlerin, safra

asitlerinin ve steroid hormonların başlıca yapısal bileşenini oluşturur (Heath., 1995) ve stres etkisindeki balıklarda çevresel stres faktörlerinin etkilerini belirlemek amacıyla kullanılır (Yang & Chen, 2003). Dutta ve Haghghi (1986) balıklarda ağır metallerin kolesterol sentezini inhibe ettiğini belirtmiştir. *C. carpio*'da metal etkisinde derişimin artmasına bağlı olarak serum total kolesterol düzeyinde önemli ölçüde düşüş gözleendiği belirtilmiştir (Shaheen & Akhtar, 2012). Heydarnejad vd., (2013) *O. mykiss*'de bakır etkisinde serum kolesterol düzeyinin azaldığını belirtmiştir. Bu araştırmada da 7 günlük etki süresi sonunda 1 ve 5 ppm'lik Cu NP etkisinde kontrole oranla serum kolesterol düzeyinde azalma belirlenmiştir (Şekil 5; P<0.05). Bu azalmanın da metal etkisine bağlı karaciğer hasarından, kolesterol sentezindeki bozulmalardan ve kolesterolün kortikosteroid hormonların sentezinde kullanılmasından ve glikoneogenezden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4. *C. gariepinus*'da Cu NP'nin 1 ve 5 ppm derişimleri etkisinde serum albumin düzeyleri (g/dL).

* Açıklamalar Şekil 2'de verilmiştir.

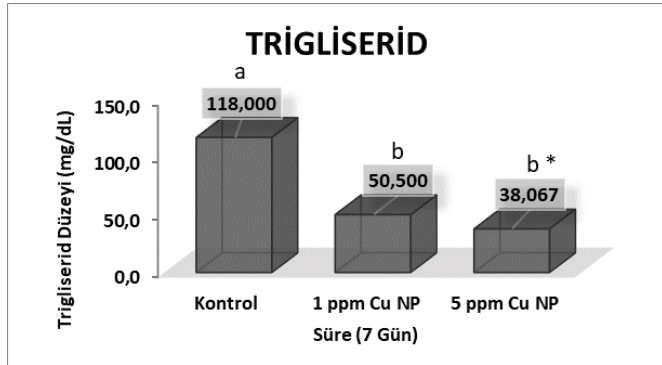


Şekil 5. *C. gariepinus*'da Cu NP'nin 1 ve 5 ppm derişimleri etkisinde serum kolesterol düzeyleri (mg/dL).

* Açıklamalar Şekil 2'de verilmiştir.

Trigliseridlerin başlıca görevi depolama ve hücresel enerjyiyi sağlama olmakla birlikte balıkların beslenme durumunun bir belirteci olarak kullanılmaktadır (Heydarnejad vd., 2013). Öner vd., (2008) *O. niloticus*'da bakırın 20 gün süreyle etkisinde serum trigliserid düzeyinde azalma meydana getirdiğini belirtmişlerdir. Artacho vd. (2007), stres altında enerji gereksiniminin karşılanması için lipit depolarının kullanıldığını belirtmektedir. Heydarnejad vd., (2013) *O. mykiss*'de bakırın 15 günlük etkisinin serum trigliserid düzeyinde azalmaya neden olduğunu belirtmiştir. Bu araştırmada da Cu NP etkisinde her iki derişimde de serum

trigliserid düzeyi 7 günlük etki süresi sonunda kontrole oranla azalmıştır (Şekil 6; $P < 0.05$). Bu azalma metal etkisinde enerji gereksiniminin glikoneogenezin artmasıyla ile glikojen olmayan kaynaklardan sağlanması ile açıklanabilir.



Şekil 6. *C. gariepinus*'da Cu NP'nin 1 ve 5 ppm derişimleri etkisinde serum glikoz düzeyleri (mg/dL).

*SNK; Açıklamalar Şekil 2'de verilmiştir.

Sonuç olarak teknolojik gelişmelerin ve endüstriyel atıkların artmasından kaynaklanan artan miktarlarda ağır metal kirliliği sonucu besin olarak tüketilen ve ekonomik öneme sahip bir türün fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerindeki değişimlerin periyodik olarak belirlenmesi ekosistemin yapısal bütünlüğü bakımından büyük önem taşımakla birlikte hem insan sağlığı hem de ekonomik bağlamda da önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Artacho, P., Soto-Gamboa, M., Verdugo, C. & Nespolo, R.F. (2007).** Blood biochemistry reveals malnutrition in black-necked swans (*Cygnus melanocoryphus*) living in a conservation priority area. *Comparative Biochemistry and Physiology A*, **146**, 283-290.
- Aschberger, K., Micheletti, C., Sokull-Kluttgen, B. & Christensen, F.M. (2011).** Analysis of currently available data for characterising the risk of engineered nanomaterials to the environment and human health lessons learned from four case studies. *Environment International*, **37**(6), 1143-1156.
- Bhatt, I. & Tripathi, B.N. (2011).** Interaction of engineered nanoparticles with various components of the environment and possible strategies for their risk assessment. *Chemosphere*, **82**(3), 308-317.
- Blaise, C., Gagne, F. & Ferard, J.F. (2008).** Ecotoxicity of selected nanomaterials to aquatic organisms. *Environmental Toxicology*, **23**, 591-598.
- Brown, J.A. (1993).** *Endocrine responses to environmental pollutants*. In: Rankin, J.C., Jensen, F.B. (eds.) *Fish Ecophysiology*. Chapman and Hall, London, UK, s. 276-296.
- Chen, C.Y., Wooster, G.A. & Bowser, P.R. (2004).** Comparative blood chemistry and histopathology of tilapia infected with *Vibrio vulnificus* or *Streptococcus iniae* or exposed to carbon tetrachloride, gentamicin or copper sulphate. *Aquaculture*, **239**, 421-443.
- Cicik, B. & Engin, K. (2005).** The effects of cadmium on levels of glucose in serum and glycogen reserves in the liver and muscle tissues of *Cyprinus carpio* (L., 1758). *Turkish Journal of Veterinary and Animal Science*, **29**, 113-117.
- Dange, A.D. (1986).** Changes in carbohydrate metabolism in tilapia *Oreochromis mossambicus*, during short-term exposure to different types of pollutants. *Environmental Pollution*, **41**, 165-177.
- David, M., Ramesh, H., Patil, V.K., Marigoudar, S.R. & Chebbi, S.G. (2010).** Sodium cyanide-induced modulations in the activities of some oxidative enzymes and metabolites in the fingerlings of *C. carpio* (L.). *Toxicological and Environmental Chemistry*, **92**, 1841-1849.
- De, T.K., De, M., Das, S., Ray, R. & Ghosh, P.B. (2010).** Level of heavy metals in some edible marine fishes of mangrove dominated tropical estuarine areas of hooghly river, north east coast of bay of Bengal, India. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **85**, 385-390.
- Dube, P.N., Shwetha, A. & Hosetti, B.B. (2014).** Impact of copper cyanide on the key metabolic enzymes of freshwater fish *Catla catla* (Hamilton). *Biotechnology in Animal Husbandry*, **30**, 499-508.
- Dutta, H.M. & Haghghi, A.Z. (1986).** Methylmercuric chloride and serum cholesterol levels in Blugill *Lepomis macrochirus*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **36**, 181-185.
- Farre, M., Gajda-Schranz, K., Kantiani, L. & Barcelo, D. (2009).** Ecotoxicity and analysis of nanomaterials in the aquatic environment. *Analytical And Bioanalytical Chemistry*, **393**, 81-95.
- Firat, Ö. & Kargin, F. (2010a).** Biochemical alterations induced by Zn and Cd individually or in combination in the serum of *Oreochromis niloticus*. *Fish Physiology and Biochemistry*, **36**, 647-653.
- Firat, Ö. & Kargin, F. (2010b).** Individual and combined effects of heavy metals on serum biochemistry of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, **58**, 151-157.
- Gomes, T., Pereira, C.G., Cardoso, C. & Bebianno, M.J. (2013).** Differential protein expression in mussels *Mytilus galloprovincialis* exposed to nano and ionic Ag. *Aquatic Toxicology*, **136**(137), 79-90.
- Heath, A.G. (1995).** *Water pollution and fish physiology*. CRC press, Florida, USA, s. 245.

- Heydarnejad, M.S., Khosravian-Hemami, M., Nematollahi, A. & Rahnema, S. (2013).** Effects of copper at sublethal concentrations on growth and biochemical parameters in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *International Review of Hydrobiology*, **98**, 71-79.
- Hu, H. (2000).** Exposure to metals. *Occupational and Environmental Medicine*, **27**, 983-996.
- Iwama, G.K., Vijayan, M.M., Forsyth, R.B. & Ackerman, P.A. (1999).** Heat shock proteins and physiological in fish. *American Zoologist*, **39**, 901-909.
- Javed, M. & Usmani, N. (2013).** Assessment of heavy metal (Cu, Ni, Fe, Co, Mn, Cr, Zn) pollution in effluent dominated rivulet water and their effect on glycogen metabolism and histology of *Mastacembelus armatus*. *Springer Plus*, **2**, 390.
- Jorgensen, S.W. (2010).** A derivative of encyclopedia of ecology. In: *Ecotoxicology*. Academic Press, London, s. 390.
- Klaine, S.J., Alvarez, P.J.J., Batley, G.E., Fernandes, T.F., Handy, R.D., Lyon, D.Y., Mahendra, S., Mclaughlin, M.J. & Lead, J.R. (2008).** Nanomaterials in the environment: behavior, fate, bioavailability and effects. *Environmental Toxicology and Chemistry*, **27**(9), 1825-1851.
- Kuşatan, Z. & Cıçık, B. (2004).** *Clarias lazera* (Valenciennes, 1840)'da kadmiyum'un solungaç, karaciğer, böbrek, dalak ve kas dokularındaki birikimi. *Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, **2**(12), 59-66.
- Nemcsok, J. & Hughes, G.M. (1988).** The effect of copper sulphate on some biochemical parameters of rainbow trout. *Environmental Pollution*, **49**, 77-85.
- Öner, M., Atli, G. & Canli, M. (2008).** Changes in serum parameters of freshwater fish *Oreochromis niloticus* following prolonged metal (Ag, Cd, Cr, Cu, Zn) exposures. *Environmental Toxicology and Chemistry*, **2**, 360-366.
- Prashanth, M.S. (2012).** Acute toxicity, behavioral and nitrogen metabolism changes of sodium cyanide affected on tissues of *Tilapia mossambica* (Peters). *Drug and Chemical Toxicology*, **35**, 178-183.
- Pretto, A., Loro, V.L., Silva, V.M.M., Salbego, J., de Menezes, C.C., Souza, C.F., Gioda, C.R. & Baldisserotto, B. (2014).** Exposure to sublethal concentrations of copper changes biochemistry parameters in silver catfish, *Rhamdia quelen*, (Quoy & Gaimard, 1824). *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology*, 392-399.
- Ramesh, M., Senthil Kumaran, S., Kavith, C., Saravanan, M. & Mustafa, A. (2007).** primary stress responses of common carp, *Cyprinus carpio* exposed to copper toxicity. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, **37**, 81-85.
- Schaperclaus, W., Kulow, H. & Schreckenbach, K. (1992).** In: Fish diseases, vol. 1. Rotterdam, *Septicemia of Fish, Fish Disease Leaflet*, **68**, 1-24.
- Schrand, A.M., Rahman, M.F., Hussain, S.M., Schlager, J.J., Smith, D.A. & Syed, A.F. (2010).** Metal-based nanoparticles and their toxicity assessment. *Wiley Interdisciplinary Reviews-Nanomedicine and Nanobiotechnology*, **2**(5), 544-568.
- Shaheen, T. & Akhtar, T. (2012).** Assessment of chromium toxicity in *Cyprinus carpio* through hematological and biochemical blood markers. *Turkish Journal of Zoology*, **36**, 682-690.
- Singh, H.S. & Reddy, T.V. (1990).** Effect of copper sulfate on hematology, blood chemistry, and hepatosomatic index of an Indian catfish, *Heteropneustes fossilis* (Bloch), and its recovery. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **20**, 30-35.
- Sokal, R.R. & Rohlf, F.J. (1995).** *Biometry: The principles and practice of statistics in biological research*, 3rd edition. W.H. Freeman and Co., New York, s. 887
- Tunçsoy, M., Duran, S., Yesilbudak, B., Ay, O., Cıçık, B. & Erdem, C. (2016).** Short term effects of zinc on some sera biochemical parameters and on tissue accumulation of *Clarias gariepinus*. *Fresenius Environmental Bulletin*, **25**(2), 658-664.
- Vosyliene, M.Z. (1999).** The effect of heavy metals on hematological indices. *Acta Zoologica Litvanica Hydrobiologia*, **9**, 76-82.
- Yang, J.L. & Chen, H.C. (2003).** Effects of gallium on common carp (*Cyprinus carpio*): Acute test, serum biochemistry, and erythrocyte morphology. *Chemosphere*, **53**, 877-882.
- Zaghloul, K.H., Omar, W.A. & Abo-Hegab, S. (2006).** Toxicity specificity of copper in some freshwater fishes. *Egyptian Journal of Zoology*, **47**, 383-400.

*Corresponding author's:

Mustafa TUNÇSOY

Çukurova Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü 01330 Sarıçam/Adana/Türkiye.

✉E-mail: mustafa_tuncsoy@hotmail.com

ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-7306-0539>

GSM : +90 (539) 815 28 28