



Bakırın Tilapia'nın (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) Kas Dokusunda Birikimi ve İyon Düzeyleri Üzerine Etkiler^[*]

Hikmet Yeter ÇOĞUN^{1*} Ferit KARGIN²

¹Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Veteriner Fakültesi Ceyhan, Adana, Türkiye
²Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Adana, Türkiye

Geliş Tarihi: 01.02.2021

Kabul Tarihi: 13.04.2021

Basım Tarihi: 30.06.2021

Atıf yapmak için: Çoğun, H.K. & Kargin, F. (2021). Bakırın Tilapia'nın (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) Kas Dokusunda Birikimi ve İyon Düzeyleri Üzerine Etkiler. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, 6(2), 174-179.

How to cite: Çoğun, H.K. & Kargin, F. (2021). The Effects of Copper on Ion Levels and Accumulation in Muscle Tissues of Tilapia (*Oreochromis Niloticus* Linnaeus, 1758). *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 6(2), 174-179.

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6559-4397>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4315-5689>

***Sorumlu yazarın:**

Hikmet Yeter ÇOĞUN
Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Veteriner
Fakültesi Ceyhan, Adana, Türkiye.
✉: hcogun@cu.edu.tr

Öz: Çalışmamızda bakırın farklı ortam derişimlerinde (0.1, 0.5, 1.0 ve 5.0 mg/L) *Oreochromis niloticus*'un kas dokusunda bakır ve iyon parametrelerinin düzeyleri (Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺ ve Mg⁺⁺) 10, 20 ve 30 günlük sürelerle araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla balık kas dokusundaki bakır iyon düzeyleri Atomik Absorbsiyon Spektrometrik (AAS) yöntemle belirlenmiştir. Yapılan çalışmada *O. niloticus* kas dokusunda bakır birikimi tüm ortam derişimlerinde ve etkide kalma süresinin uzamasıyla arttığı saptanmıştır. *O. niloticus* kas dokusunda bakır etkisinde iyon düzeyleri incelendiğinde, denenen ortam derişimlerinde ve sürelerinde sodyum düzeyinde herhangi bir değişim olmazken, magnezyum düzeyinde bir artışa, potasyum ve kalsiyum düzeylerinde ise bir azalmaya neden olmuştur.

Anahtar kelimeler: Bakır, birikim, iyon, kas dokusu, *Oreochromis niloticus*.

The Effects of Copper on Ion Levels and Accumulation in Muscle Tissues of Tilapia (*Oreochromis Niloticus* Linnaeus, 1758)

Abstract: In our study, it was aimed to investigate the levels of copper and ion parameters (Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺ and Mg⁺⁺) in the muscle tissue of *Oreochromis niloticus* at different copper medium concentrations (0.1, 0.5, 1.0 and 5.0 mg / L) for 10, 20 and 30 days. For this purpose, copper levels and ion levels in fish muscle tissue were determined by Atomic Absorption Spectrometric (AAS) method. In the study, it was determined that copper accumulation in *O. niloticus* muscle tissue increased at all ambient concentrations and with prolonged exposure time. When the ion levels under the influence of copper in *O. niloticus* muscle tissue were examined, there was no change in sodium level in the tested environment concentrations and durations, while it caused an increase in magnesium level and a decrease in potassium and calcium levels.

***Corresponding author's:**

Hikmet Yeter ÇOĞUN
Çukurova University, Ceyhan Veterinary
Faculty Ceyhan, Adana, Turkey.
✉: hcogun@cu.edu.tr

Keywords: Accumulation, copper, ion, muscle tissue, *Oreochromis niloticus*.

GİRİŞ

Çevre kirleticisi olarak son yıllarda dikkat çeken ağır metaller endüstride yoğun bir şekilde kullanımı

sunucu su ortamında düzeyleri giderek artmakta ve ciddi risk olarak kendini göstermektedir. Bu riskler sadece karasal ortamda değil sucul ortamlarda da kendini göstermektedir. Ağır metallerin canlıya olan toksik etkisi

[*] Bu araştırma Doktora çalışmasından üretilmiştir.

This study was produced from the doctoral thesis.

enzimin aktif bölgesine, molekül üzerinde aktif olmayan bölgeye bağlantı yapmak ve proteinlerin imidazol, amino, sülfidril ve karboksil guruplarına bağlanarak yaptıkları belirtilmiştir (Murphy & Spiegel., 1983; Viarengo, 1985; Çoğun & Kargin 2020).

Tüm hücrelerde pikomolar düzeyde bulunan bakır bir iz elementi olarak sınıflandırılmaktadır. Bakır tüm canlılar için gerekli bir element olup, yaklaşık 30 enzimin kofaktör olarak bakırı kullandığı belirlenmiştir (Arellano vd., 1999). Kentsel ve endüstriyel gelişimin bir sonucu olarak yaygın bir şekilde kullanılan bakır su ortamının kirlenmesine ve dolayısıyla organizmalarda birçok hasarlara neden olmaktadır (Munoz vd., 1991). Bakırın subletal derişimleri balıklarda büyüme, gelişme ve üreme üzerine olumsuz etkiler yaptığı bir çok araştırmacı tarafından belirtilmiştir (Buckley vd., 1982; Hilmy vd., 1985).

Balıkların dokularında ağır metallerin birikimi, metalin alınımlı şekline, derişimine ve etki süresine bağlı olarak değişim göstermektedir. Metallerin toksik etkileri ve birikimleri dokuların işlevsel ve fizyolojik durumlarına bağlı olarak değişim göstermektedir (Campana vd., 2003).

Akuatik organizmalarda ağır metallerin subletal etkilerinin hızlı ve doğru bir şekilde belirlenebilmesi için balıkların, bu metallerle karşı fizyolojik ve biyokimyasal tepkilerinin araştırılması gerekmektedir (Campana vd., 2003). Canlı organizmalarda iyonlar, protein ve lipid gibi birçok birleşiklerin yapılarında bulunurlar, enzimatik reaksiyonlarda kofaktör olarak görev alırlar ve asit-baz dengesini sağlarlar. Ağır metaller hücre zarının geçirgenliğini değiştirmesi, birçok enzimatik reaksiyonda değişikliklere neden olması ve yaşamsal öneme sahip inorganik katyonların düzeylerini değiştirmesiyle iyon dengesini bozmaktadır (Viarengo, 1985; Suresh vd., 1995). Ağır metaller kemikli balıkların osmoregülatör sistemlerinde iyon taşınmasını baskı altında tutmakta (Olson vd., 1973; Thaker vd., 1996) ve bunun sonucu çeşitli organlarda yapısal hasarlar oluşturmaktadır. Organizmalarda ağır metaller ile Na^+ , K^+ , Ca^{++} ve Mg^{++} gibi iyonların derişimleri arasında sıkı bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Astorga-Espana vd., 1999; Çoğun, 2008).

Bu çalışmada; 10, 20 ve 30 günlük sürelerle bakırın farklı derişimlerine bırakılan *O. niloticus* kas dokularında bakır birikimi ve kas dokusunda iyon düzeyleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Araştırmamızda *Oreochromis niloticus* balıkları Çukurova üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi yetiştirme havuzlarından alınmış ve iki ay süre ile 40X120X40 cm boyutlarındaki beş (5) stok akvaryum içerisinde laboratuvar koşullarına adaptasyonları sağlanmıştır. Balıklar bu sürenin sonunda 14.72 ± 0.44 cm boy ve 37.87

± 1.19 g ağırlığa ulaşmışlardır. Deneyler 20 ± 1 °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.

Deneyler, 10, 20 ve 30 gün sürelerde bakırın 0.1, 0.5, 1.0 ve 5.0 mg/L ortam derişimlerine bırakılmıştır. Deneylerde 40X120X40 cm. boyutlarında olan içerisinde 18 balık bulunan 5 cam akvaryum kullanılmıştır. Bu akvaryumlardan her birine 120'şer litre olacak şekilde su ve ilk dört akvaryuma 0.1, 0.5, 1.0 ve 5.0 mg/L bakır çözeltileri, son beşinci akvaryuma ise kontrol balıkları konulmuştur. Deneyler üç tekrarlı olarak yürütülmüştür ve her tekrarda iki balık kullanılmıştır.

Deney süresince ortam suyunun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri toplam sertlik 268.81 ± 0.29 ppm $CaCO_3$, pH 8.42 ± 0.02 ve çözünmüş oksijen 7.21 ± 0.09 mg/L olarak ölçülmüştür.

Kullanılan bakır $CuCl_2 \cdot 2 H_2O$ (Merck) olup deney boyunca çözeltilinin akvaryumda homojen dağılması ve çökelmeyi önlemek için tri-sodyum sitratla ($C_6H_5Na_3O_7 \cdot 2H_2O$ Merck) birlikte çözeltiler de iyonize su ile taze hazırlanmıştır. Bu hazırlanan çözeltiden uygun derişimler uygun seyreltmelerle akvaryumlara iki güne bir uygulanmıştır.

Her deney süresi bitiminde balıklar alınmış ve daha sonra çeşme suyu ile iyice yıkanmış ve kurutma kâğıdı ile yüzeylerinde bulunan su damlacıkları alınmıştır. Balıkların kas dokularının diseksiyonu yapılmıştır. Daha sonra kas dokusu etüvde $150^\circ C$ 'de 48 saat süreyle kurumaya bırakılmışlardır. Kuru ağırlıkları belirlenen kas dokusu 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 $120^\circ C$ 'de 3 saat süreyle yakılmıştır. Yakımı tamamlanan örnekler polietilen tüplere aktarılmış ve üzerleri deiyonize su ile 5 mL' ye tamamlanarak iyon analizine hazır hale getirilmiştir. Na^+ , K^+ , Mg^+ ve Ca^+ iyon düzeyleri kas dokusu kuru ağırlığına bağlı olarak bu örneklerden uygun seyreltmeler yapıldıktan sonra belirlenmiştir. Kas dokusundaki bakır birikimi ve iyon analizleri Perkin Elmer AS 3100 Atomik Absorbsiyon Spektrofotometrik yöntemlerle saptanmıştır.

Deneylerden elde edilen verilerin istatistik analizleri " Regresyon analizi" ve " Student-Newman Keul's Test (SNK)" testleri uygulanarak yapılmıştır

BULGULAR

Bakır ortam derişimleri etkisinde *O. niloticus* balık kas dokusunda bakır birikim düzeyleri Çizelge 1 de,

kas dokusu Na⁺, K⁺, Ca⁺ ve Mg⁺ iyon düzeyleri Şekil 1-4’de verilmiştir.

Kas dokusunda ortamda bulunan bakır derişimi arttıkça bakır birikiminde de önemli düzeylerde artma gözlenmiş ve bu artış istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 1; SNK, P<0.01). 10. güne oranla 30 günlük süre sonunda tüm ortam derişimlerinde bakır düzeyleri artmış ve bu artış istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır.

O. niloticus’un 10, 20 ve 30 gün süre sonunda kas dokusu sodyum düzeyi üzerine bakır derişimlerinin etkisi Şekil 1’de verilmiştir. Denenen tüm sürelerde artan bakır derişimlerinin *O. niloticus*’un kas dokusundaki sodyum düzeylerine etkisi istatistik olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. (Şekil 1; SNK, P>0.01). 30. günde *O. niloticus*’un kas dokularında 0.1 mg ortam derişimi etkisinde sodyum düzeyinde bir azalmanın olduğu gözlenmiştir.

Tablo 1. *O. niloticus* ‘da farklı ortam derişimlerinde ve etkide kalınan sürelerde kas dokusu bakır birikimi (µg Cu/g k.a.).
Table 1. Copper accumulation of muscle tissue at different media concentrations and periods in *O. niloticus* (µg Cu / g k.a.).

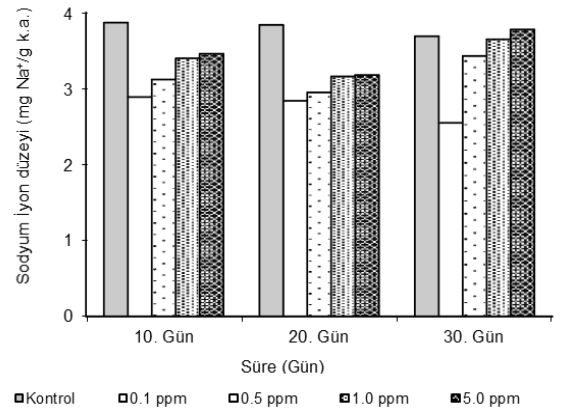
Süre (Gün)	DERİŞİM (mg Cu.L ⁻¹)				
	0.0	0.1	0.5	1.0	5.0
	$\bar{X} \pm s\bar{x}^*$	$\bar{X} \pm s\bar{x}^*$	$\bar{X} \pm s\bar{x}^*$	$\bar{X} \pm s\bar{x}^*$	$\bar{X} \pm s\bar{x}^*$
10	0.56±0.04 ^{ab}	3.42±0.22 ^{ab}	5.25±0.24 ^{bc}	8.71±0.51 ^{cd}	9.59±0.55 ^{cd}
20	0.56±0.07 ^{ab}	5.65±0.36 ^b	8.04±0.52 ^{bc}	9.51±0.29 ^{cd}	10.26±0.10 ^{cd}
30	0.57±0.04 ^{ab}	5.04±0.50 ^b	8.30±0.32 ^{bc}	10.17±0.17 ^{cd}	12.27±0.30 ^{cd}

*: a, b, c,d ve e harfleri derişimleri belirlemek; x ve y harfleri günler arası ayrımı belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında istatistiksel ayrım vardır (P<0.01).
 $\bar{X} \pm s\bar{x}$: Aritmetik ortalama ± Standart hata

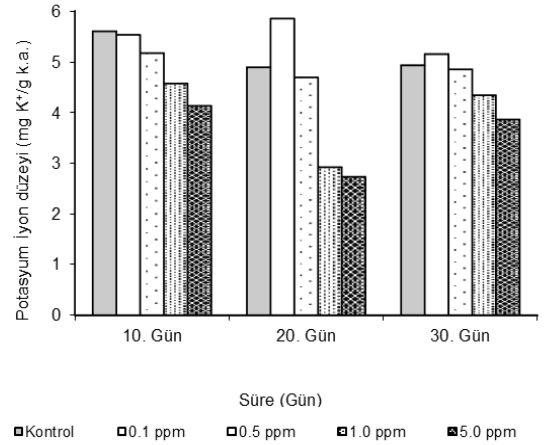
Denenen her üç süre sonunda potasyum düzeylerine bakır derişimlerinin etkisi Şekil 2 ‘de verilmiştir. 10. günde denenen ortam derişimleri kas dokusunda potasyum düzeyine etkisi önemsizdir. 20 ve 30 günlük sürelerde yüksek bakır ortam derişimlerinde kas dokusu potasyum düzeylerinde azalma gözlenmiştir.

Kas dokusu kalsiyum düzeyleri Şekil 3’de verilmiştir. Bakırın düşük derişimleri hariç denenen diğer ortam derişimlerinde kas dokusunda kalsiyum düzeyi tüm sürelerde azaldığı gözlenmiştir. Bu azalma yüksek ortam derişimlerinde istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır.

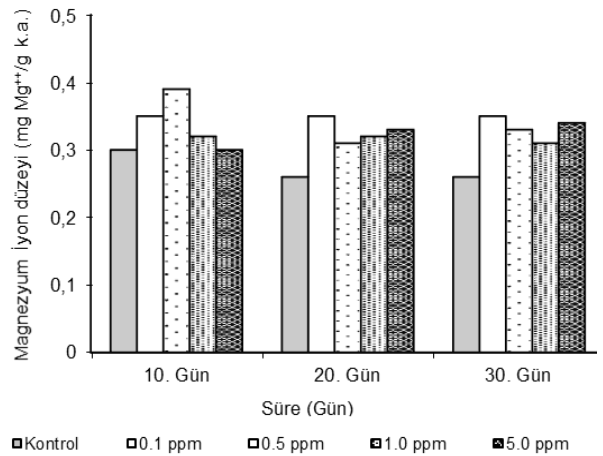
O. niloticu’un kas dokusunda magnezyum düzeyi üzerine bakır ortam derişimlerinin etkisi Şekil 4’de verilmiştir. 10 ve 20 gün süre sonunda kas dokusu magnezyum düzeyine bakır ortam derişimlerinin etkisi önemsizdir ve kas dokusu magnezyum düzeylerinde kontrole göre bir istatistiksel ayrım saptanmamıştır (Şekil 4; SNK, P>0.01). 30. gün sonunda ise *O. niloticus* kas dokularında magnezyum düzeyi kontrole göre artmış ve bu artış istatistiksel olarak önemlidir.



Şekil 1. *O. niloticus* ‘da bakırın kas dokusu sodyum düzeyi üzerine etkisi (mg Na⁺/g k.a.).
Figure 1. The effect of copper on muscle tissue sodium level in *O. niloticus* (mg Na⁺/g k.a.).



Şekil 2. *O. niloticus* ‘da bakırın kas dokusu potasyum düzeyi üzerine etkisi (mg K⁺/g k.a.).
Figure 2. The effect of copper on muscle tissue potassium level in *O. niloticus* (mg K⁺/g k.a.).



Şekil 4. *O. niloticus* ‘da bakırın kas dokusu magnezyum düzeyi üzerine etkisi (mg Mg⁺⁺/g k.a.).
Figure 4. The effect of copper on muscle tissue magnesium level in *O. niloticus* (mg Mg⁺⁺/g k.a.).

TARTIŞMA

Çalışmamızda denenen tüm süre ve ortam bakır derişimlerinde ölüm gözlenmemiştir. Sucul organizmalarda stres ortamında besin alınımının azaldığı saptanmıştır. Buckley vd., (1982) *Oncorhynchus kisutch* ile yaptığı bir araştırmada bakırın yüksek derişimlerinde tutulan balıklarda besin alınımının azaldığı gözlemiştir. Araştırmamızda deney süresince yüksek ortam derişimlerinin etkisinde bulunan balıkların kontrol balıklarına oranla hareketsiz oldukları ve verilen yemleri almadıkları gözlenmiştir.

Ağır metallerin su organizmaları tarafından solunum, besin ve direkt temas yoluyla alınan metaller ya proteinlere bağlanırlar ki bu durumda inaktif halde bulunurlar veya bağlanmazlar yani serbest veya aktif halde bulunurlar (Campana vd., 2003). Ağır metallerin organlardaki birikimleri etkide kalınan süre ve ortam derişimine bağlı olarak değişim göstermektedir. Brung vd., (1973) yaptıkları bir çalışmada *Ictalurus nebulosus*'da dokulardaki bakır birikiminin etkide kalınan süre ve ortam derişimine bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Aynı şekilde *Carassius auratus*'da kurşun birikimiyle ilgili yapılan bir çalışmada ortamdaki kurşun derişiminin artışına paralel olarak dokudaki birikiminde arttığı saptanmıştır (Tao vd., 1999). Bu araştırmada kas dokusunda bakır birikimi süre ve ortam derişiminin artışına bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Bunun büyük bir olasılıkla bakır sürekli olarak solungaçlardan alınarak hedef dokuya taşınması nedeniyle olabileceği düşünülmektedir.

Balıklarda osmolaritenin ve plazmanın osmotik basıncının korunmasından sorumlu mineraller olan Na^+ , K^+ , Ca^{++} ve Cl^- gibi iyonlar birçok fizyolojik olaylar için gereklidir (Stouthart vd., 1995). Balıklar canlılıklarının devamlılığını ve homeostasiyi tam olarak sürdürebilmesi için hücre içi ve hücre dışı arasında iyon derişimindeki dengenin sürekli olarak korunması gerekmektedir. Bunu sağlamak için çeşitli sistemler geliştirilmiştir Bu sistemler içerisinde ATPazlar önemli bir yer tutmaktadır. Na^+ , K^+ -ATPaz sistemi hücre içinde potasyumun, hücre dışında da sodyumun yüksek derişimlerde tutulmasını (Satyavath & Rao, 2000), Na , K -ATPaz ile Ca - Mg ATPaz sistemi solungaçlarda ilgili iyonların aktif taşınmalarını (Sloman vd., 2003), karbonik anhidraz enzimi Na ve Ca iyonlarının taşınmalarını (McGeer vd., 2000) sağlayarak iyon dengesinin korunmasında büyük önem taşırlar. Ağır metaller bu enzimlerin sülfidril gruplarına bağlanarak bu sistemlerin inhibisyonuna neden olabilmektedirler. Bu inhibisyon sonucunda hücre membranlarından iyon geçişleri aksamakta ve iyon dengesi büyük ölçüde bozulmaktadır. Wang vd., (1998) yaptıkları bir araştırmada bakır etkisinde *O. mykiss* balıklarında Na^+ , K^+ -ATP az aktivitesini inhibe etmiş ve hücre içi ve dışı iyon düzeyini

etkilemiştir. Çoğun ve Kargın (2019) yaptıkları bir çalışmada ağır metallerin *O. niloticus* balık iyon düzeylerinde önemli etkileri olduğunu gözlemlemiştir.

Bu araştırmada denenen bakır ortam derişimleri kas dokusu Na^+ düzeyi denenen tüm metal derişiminden etkilenmemiş, sadece 30. gün 0.1 mg/L bakır derişimlerinde kontrole göre bir azalma gözlenmiştir. Pane vd., (2003) yaptıkları bir araştırmada nikel etkisinde kalan *O. mykiss*'de kas dokusu Na^+ düzeyinin kontrol balıklarına göre pek değişmediğini belirlemiştir.

Balıklarda potasyum hücrede klor iyonu ile ilişkili olarak fizyolojik adaptasyonda rol almaktadır. Lauren & McDonald, (1986) *S. gairdneri* ile yapmış olduğu çalışmada ortamdaki bakırın artışı ile vücut K^+ ve Cl^- düzeylerinde azalmaların daha fazla olduğu belirtilmiştir. Civanın etkisine bırakılan *Carcinus means*'da K^+ ve Cl^- düzeylerinde değişiklikler, balığın Na^+/K^+ -ATP az aktivitesinin inhibisyonundan kaynaklandığı belirtilmiştir (Bjerregaard & Vislie, 1985). Çalışmamızda *O. niloticus* kas dokusu K^+ düzeyleri tüm ortam derişimlerinde ve denenen tüm sürelerde azalma gözlenmiştir. Bu azalma bakırın Na^+/K^+ -ATP az sistemlerinin inhibisyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Balıklarda bakır (Shephard & Simkiss, 1978) Ca^{++} -ATP az'ın taşıma görevini engellemesi neden ile doku ve serumda Ca^{++} düzeyinde değişikliklerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu araştırmada denenen yüksek bakır ortam derişimlerinde kas dokusu Ca^{++} düzeyi kontrole göre bir azalma göstermiştir. Araştırmamızda kas dokusu Ca^{++} düzeyinde azalmanın saptanması, bakırın solungaç dokusunda Ca^{++} taşınmasını engellemesinden kaynaklanabilir. *C. means*'da bakır, Ca^{++} -ATP azı direkt engellemesi veya indirekt olarak $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ pompasını bozması sonucu aktif Ca^{++} taşınmasını engellemektedir (Bjerregaard & Vislie, 1986).

Magnezyum canlılar için protein sentezi gibi fizyolojik işlevlerde gerekli bir mineraldir. 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 (Flik vd., 1993). Bu araştırmada kas dokusu bakır Mg^{++} düzeylerinde meydana gelen değişimler, Mg^{++} -ATPaz sisteminin inhibisyonu sonucu olabileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak bu çalışmada elde edilen bulgular, *O. niloticus* kas dokusunda bakır birikimi tüm ortam derişimde ve etkide kalma süresinin uzamasıyla arttığı saptanmıştır. *O. niloticus* kas dokusunda bakır etkisinde iyon düzeyleri incelendiğinde, magnezyum düzeylerinde tüm ortam derişim ve etkide kalınan sürelerde arttığı, potasyum ve kalsiyum düzeylerinde ise yüksek bakır ortam derişimlerinde bir azalmaya neden olmuştur. Bu sonuçlar *O. niloticus*'un bakır birikimi ve toksisitesine karşı dirençli

bir tür olduğunu ve osmoregülasyonun iyi 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 Tenerife (Canary Islands), *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, **49**, 173-178. DOI: [10.1016/S0169-7439\(99\)00038-6](https://doi.org/10.1016/S0169-7439(99)00038-6)
- Arellano, J. M., Storch, V. & Sarasquete, C. (1999).** Histological changes and copper accumulation in liver and gills of the senegales Sole, *Solea senegalensis*, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **44**, 62-72. DOI: [10.1006/eesa.1999.1801](https://doi.org/10.1006/eesa.1999.1801)
- 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 Tenerife (Canary Islands), *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, **49**, 173-178.
- Bjerregaard, P. & Vislie, T. (1985).** Effect of mercury on ion and osmoregulation in the Shore Crab *Carcinus maenas* (L.), *Comparative Biochemistry & Physiology*, **82C**, (1), 227-230. DOI: [10.1016/0742-8413\(85\)90235-x](https://doi.org/10.1016/0742-8413(85)90235-x)
- Brung, W.A., Leonard, E.N. & Mc Kim. (1973).** Acute and long-term accumulation of copper by the Brown Bullhead, *Ictalurus nebulosus*. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, **30**, 583-586. DOI: [10.1139/f73-103](https://doi.org/10.1139/f73-103)
- Buckley, J. T., Roch, M., Mccarter, J. A., Rendell, C. A. & Matherson, A. T. (1982).** Chronic exposure of coho salmon to sublethal concentrations of copper-i. effects of growth, on accumulation and distribution of copper and on copper tolerance. *Comparative Biochemistry & Physiology*, **72C**(1), 15-19. DOI: [10.1016/0306-4492\(82\)90198-8](https://doi.org/10.1016/0306-4492(82)90198-8)
- 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. DOI: [10.1016/S0147-6513\(02\)00093-3](https://doi.org/10.1016/S0147-6513(02)00093-3)
- Çoğun, H. Y. (2008).** *Oreochromis niloticus* ve *Cyprinus carpioda* Bakır ve Kurşun Birikiminin Solungaç, Kas, Karaciğer, Böbrek ve Kan Dokularındaki İyon Dağılımı Üzerine Etkisi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, **173s**
- Çoğun, H.Y. & Kargın, F. (2020).** *Cyprinus carpio*'da Bakırın Solungaç Dokusunda Birikimi ve Na/K İyon Düzeylerine Etkisi. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, **5**(3), 313-317
- Çoğun, H.Y. & Kargın F. (2019).** *Oreochromis niloticus*'un solungaç dokusu iyon düzeyleri üzerine kurşunun etkisi. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, **4**(1), 22-26. DOI: [10.35229/jaes.527071](https://doi.org/10.35229/jaes.527071)
- Flik, G., Van Der Velden, J. A., Dechering, K. J., Verbost, P. M., Schoenmakers, T. J. M., Klar, Z. I. & Wendelaar Bonga, S. E. (1993).** Ca²⁺ and Mg²⁺ transport in gills and gut of Tilapia; *Oreochromis mossambicus*: A Review. *The Journal of Experimental Zoology* **265**, 356-365. DOI: [10.1002/jez.1402650404](https://doi.org/10.1002/jez.1402650404)
- Hilmy, A. M., Shabana, M. B. & Daabees, A. Y. (1985).** Bioaccumulation of cadmium: toxicity in *Mugil cephalus*. *Comparative Biochemistry & Physiology*, **81C**(1), 139-143.
- 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*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **43**, 1488-1496. DOI: [10.1139/f86-186](https://doi.org/10.1139/f86-186)
- McGeer, J. C., Szebedinszky C., Mcdonald D. G. & Wood C. M. (2000).** Effect of chronic sublethal exposure to waterborne Cu, Cd or Zn in Rainbow trout 2: Tissue specific metal accumulation. *Aquatic Toxicology*, **50**, 245-256. DOI: [10.1016/S0166-445X\(99\)00106-X](https://doi.org/10.1016/S0166-445X(99)00106-X)
- Munoz, M. J., Carballo, M. & Tarazona, J. V. (1991).** The Effect of Sublethal Levels of Copper and Cyanide on Some Biochemical Parameters of Rainbow Trout Along Subacute Explotion. *Comparative Biochemistry & Physiology*, **100C**(3), 577-582. DOI: [10.1016/0742-8413\(91\)90043-S](https://doi.org/10.1016/0742-8413(91)90043-S)
- Muramoto, S. (1983).** Elimination of copper from Cu-contaminated fish by long-term exposure to EDTA and fresh-water, *Journal of Environmental Science and Health*, **A18**(3), 455-461. DOI: [10.1080/10934528309375113](https://doi.org/10.1080/10934528309375113)
- Murphy, C. B. Jr, & Spiegel, S. J. (1983).** Bioaccumulation and toxicity of heavy metals and related trace elements. *Water Pollution*, **55**(6), 816-821.

- Olson, K. R., Bergman, H. L. & Fromn, P. O. (1973).** Uptake of methylmercuric chloride and mercuric chloride by trout: a study of uptake pathways into the whole animal and uptake by erythrocytes in vitro, *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, **30**, 1293-1299. DOI: [10.1139/f73-209](https://doi.org/10.1139/f73-209)
- Pane, E. F., Richards. J. G. & Wood, C. M. (2003).** Acute waterborne nickel toxicity in the Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) occurs by a respiratory rather than ionic regulatory mechanism, *Aquatic Toxicology*, **65**, 65-82. DOI: [10.1016/S0166-445X\(02\)00131-5](https://doi.org/10.1016/S0166-445X(02)00131-5)
- Satyavathi, C. & Rao, Y. P. (2000).** Inhibition of Na⁺, K⁺-ATPase in *Penaeus indicus* postlarvae by lead, *Comparative Biochemistry & Physiology, C*, **127**, 11-22. DOI: [10.1016/S0742-8413\(00\)00130-4](https://doi.org/10.1016/S0742-8413(00)00130-4)
- Shephard, K. & Simkiss, K. (1978).** The effects of heavy metal ions on Ca²⁺ ATPase extracted from fish gills, *Comparative Biochemistry & Physiology*, **61 B**, 69-72. DOI: [10.1016/0305-0491\(78\)90216-X](https://doi.org/10.1016/0305-0491(78)90216-X)
- Sloman, K. A., Morgan, T. P., McDonald, D. G. & Wood, C. M. (2003).** Socially-induced changes in sodium regulation affect the uptake of waterborne copper and silver in the Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, *Comparative Biochemistry & Physiology C*, **135**, 393-403. DOI: [10.1016/S1532-0456\(03\)00139-X](https://doi.org/10.1016/S1532-0456(03)00139-X)
- Stouthart, A. J. H. X., Spanings, F. A. T., Lock, R. A. C. & Wendelaar Bonga, S. E. (1995).** Effects of water pH toxicity to early life stages of Common Carp (*Cyprinus carpio*), *Aquatic Toxicology*, **32**, 31-42. DOI: [10.1016/0166-445X\(94\)00079-6](https://doi.org/10.1016/0166-445X(94)00079-6)
- 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 DOI: [10.1016/0045-6535\(94\)00403-H](https://doi.org/10.1016/0045-6535(94)00403-H)
- Tao, S., Liu, C., Dawson, R., Cao, J. & Li, B. (1999).** Uptake of particulate lead via the gills of fish (*Carassius auratus*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, **37**, 352-357. DOI: [10.1007/s002449900524](https://doi.org/10.1007/s002449900524)
- 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 dipses*, *Toxicology*, **112**, 237-244. DOI: [10.1016/0300-483X\(96\)86481-X](https://doi.org/10.1016/0300-483X(96)86481-X)
- Viarengo, A. (1985).** Biochemical effects of trace metals. *Marine Pollution Bulletin*, **16**(4), 153-158. DOI: [10.1016/0025-326X\(85\)90006-2](https://doi.org/10.1016/0025-326X(85)90006-2)
- Wang, T., Knudsen, P. K., Brauner, C. J., Busk, M., Vijayan, M. M. & Jensen, F. B. (1998).** Copper exposure impairs intra-and extracellular acid-base regulation during hypercapnia in the fresh water Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *The Journal of Comparative Physiology B*, **168**, 591-599.