

***Oreochromis niloticus*'DA FARKLI ALINIM
YOLLARININ DOKU BAKIR BİRİKİMİ ÜZERİNE
ETKİSİ**

MEHMET HÜSEYİN AK

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SU ÜRÜNLERİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERSİN
TEMMUZ – 2015**

***Oreochromis niloticus*'DA FARKLI ALINIM
YOLLARININ DOKU BAKIR BİRİKİMİ ÜZERİNE
ETKİSİ**

MEHMET HÜSEYİN AK

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SU ÜRÜNLERİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Danışman
Doç. Dr. ÖZCAN AY**



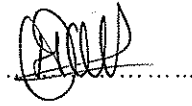
**MERSİN
TEMMUZ - 2015**

Mehmet Hüseyin AK tarafından Doç. Dr. Özcan AY danışmanlığında hazırlanan "Oreochromis niloticus' da Farklı Alınım Yollarının Doku Bakır Birikimi Üzerine Etkisi" başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Bedii CİCİK

Doç. Dr. Özcan AY

Doç. Dr. Hikmet Yeter ÇOĞUN

İmza




Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 31.07.2015 tarih ve 2015.20.../810... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alını yapılmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

***Oreochromis niloticus*' DA FARKLI ALINIM YOLLARININ DOKU BAKIR BİRİKİMİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Mehmet Hüseyin AK

ÖZ

Araştırmada, bakırın ortam ve besin yolu ile 44,7 ve 89.4 ppb'lik derişimlerinin 7, 15, ve 30 gün süreler ile etkisinde *Oreochromis niloticus*'un dokularındaki metal birikim düzeyleri, gonadosomatik indeks (GSI) ve hepatosomatik indeks HSI parametrelerindeki değişimler incelenmiştir. Doku örneklerinde bakır analizi İndüktif olarak Eşleştirilmiş Plazma-Kütle Spektrofotometresi (ICP-MS) yöntemi ile belirlenmiştir. Bakırın belirlenen süre ve ortam derişimlerinin etkisinde deneklerde mortalite gözlenmemiştir.

Bakırın ortam ve besin yolu ile etkisinde en yüksek metal birikimi karaciğer dokularında olurken, en düşük birikimin ise kas dokularında olduğu gözlenmiştir.

Yapılan çalışmada bakırın belirlenen derişimler ve etki süresine bağlı olarak GSI ve HSI parametrelerinde anlamlı değişimler oluşturmadığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Oreochromis niloticus*, Bakır, Birikim, GSI, HSI

Danışman: Doç. Dr Özcan AY, Mersin Üniversitesi, Su Ürünleri Ana Bilim Dalı

ACCUMULATION OF WATER-BORNE AND DIETARY COPPER IN *OREOCHROMIS NILOTICUS*

Mehmet Hüseyin AK

ABSTRACT

Accumulation of copper in tissues of *Oreochromis niloticus* and its effects on GSI and HSI were studied after exposing the animals to 44,7 and 89,4 ppb water-borne and dietary copper over 7, 15 and 30 days. Copper analysis of the tissue samples were carried out using ICP-MS methods. No mortality was observed in any of the copper concentrations after 30 days of exposure.

The highest and lowest copper accumulation was observed in liver and muscle tissues of animals after both water-borne and dietary copper exposure, respectively.

Water-borne and dietary copper was not significantly altered the GSI and HSI parameters in any copper concentrations after the 30 days of exposure.

Key Words: *Oreochromis niloticus*, Copper, Accumulation, GSI, HSI

Advisor: Assoc. Doç. Dr. Özcan AY, Department of Aquacultural Basic Sciences, University of Mersin

TEŞEKKUR

Yüksek Lisans yapmam için beni destekleyen, maddi ve manevi olarak hep yanımda olan, tez konusunun belirlenmesi, planlanması, yürütülmesi sırasında göstermiş olduğu katkılarından dolayı danışman hocam Doç. Dr. Özcan AY'a, istisnasız olarak deneyin bütün evrelerinde ve tezin yazımı esnasında teorik ve pratik olarak göstermiş olduğu katkı, destek ve emeklerinden ötürü değerli arkadaşım Arş. Gör. Cengiz KORKMAZ'a, çalışmanın kurgu, analiz, değerlendirme ve yazımında deneyim ve bilgileriyle yapmış olduğu katkılardan dolayı Yrd. Doç. Dr. Fahri KARAYAKAR'a, deney aşamasında ve tez yazımında yapmış olduğu katkılardan ve laboratuvar araç, gereçlerinin kullanımında büyük kolaylık sağlayan sayın dekanımız Prof. Dr. Bedii CİCİK'e sonsuz teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım sırasında yardım ve desteklerinden ötürü arkadaşlarım Coşkun ÇOLAKFAKIOĞLU, Kıvılcım ÖZTUNÇER, Nazlı YEL, Leyla Almıla KENCİK, Tebessüm Zeril ÖZDAĞ ve Seda ŞANLI'ya ayrı ayrı teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olup, bu günlere gelmemin sebebi canım ailem Halit ve Havana AK'a sonsuz teşekkür ederim, iyiki varsınız.

İÇİNDEKİLER

ÖZ.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM	10
3.1 MATERYAL	10
3.2 YÖNTEM	10
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	14
4.1 BULGULAR.....	14
4.2 TARTIŞMA	23
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	28
6. KAYNAKLAR.....	29
7. ÖZGEÇMİŞ VE ESERLER LİSTESİ	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Deneylerin yürütüldüğü laboratuvar ve stok akvaryumlarındaki ortamın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	10
Çizilge 4.1 Bakırın belirlenen derişimlerinin etkisinde 7. gün sonunda <i>O. niloticus</i> 'un dokuların bakır birikim düzeyleri ($\mu\text{g Cu/kg k.a.}$).....	15
Çizilge 4.2 Bakırın belirlenen derişimlerinin etkisinde 15. gün sonunda <i>O. niloticus</i> 'un dokuların bakır birikim düzeyleri ($\mu\text{g Cu/kg k.a.}$).....	16
Çizelge 4.3 Bakırın belirlenen derişimlerinin etkisinde 30. gün sonunda <i>O. niloticus</i> 'un dokuların bakır birikim düzeyleri($\mu\text{g Cu/kg k.a.}$).....	17
Çizelge 4.4 Bakırın belirlenen derişimlerinin etkisinde 7. 15. ve 30. günler sonunda <i>O. niloticus</i> 'un karaciğer dokusunda bakır birikim düzeyleri ($\mu\text{g Cu/kg k.a.}$).....	18
Çizelge 4.5 Bakırın belirlenen derişimlerinin etkisinde 7. 15. ve 30. günler sonunda <i>O. niloticus</i> 'un dalak dokusunda bakır birikim düzeyleri ($\mu\text{g Cu/kg k.a.}$).....	18
Çizelge 4.6 Bakırın belirlenen derişimlerinin etkisinde 7. 15. ve 30. günler sonunda <i>O. niloticus</i> 'un böbrek dokusunda bakır birikim düzeyleri ($\mu\text{g Cu/kg k.a.}$).....	19
Çizelge 4.7 Bakırın belirlenen derişimlerinin etkisinde 7. 15. ve 30. günler sonunda <i>O. niloticus</i> 'un bağırsak dokusunda bakır birikim düzeyleri ($\mu\text{g Cu/kg k.a.}$).....	20
Çizelge 4.8 Bakırın belirlenen derişimlerinin etkisinde 7. 15. ve 30. günler sonunda <i>O. niloticus</i> 'un gonad dokusunda bakır birikim düzeyleri ($\mu\text{g Cu/kg k.a.}$).....	20
Çizelge 4.9 Bakırın belirlenen derişimlerinin etkisinde 7. 15. ve 30. günler sonunda <i>O. niloticus</i> 'un solungaç dokusunda bakır birikim düzeyleri ($\mu\text{g Cu/kg k.a.}$).....	21
Çizelge 4.10 Bakırın belirlenen derişimlerinin etkisinde 7. 15. ve 30. günler sonunda <i>O. niloticus</i> 'un kas dokusunda bakır birikim düzeyleri ($\mu\text{g Cu/kg k.a.}$).....	22
Çizelge 4.11 Bakırın belirlenen derişimlerinin etkisinde 7. 15. ve 30. günler sonunda <i>O. niloticus</i> 'un hepatosomatik indeksi ($\mu\text{g Cu/kg k.a.}$).....	22
Çizelge 4.12 Bakırın belirlenen derişimlerinin etkisinde 7. 15. ve 30. günler sonunda <i>O. niloticus</i> 'un gonadosomatik indeksi ($\mu\text{g Cu/kg k.a.}$).....	23

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa



SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

GSI	: Gonadosomatik indeks
HSI	: Hepatosomatik indeks
MS-222	: Tricaine methanesulfonate
UV	: Ultraviyole
Pb	: Kurşun
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Zn	: Çinko
Na⁺	: Sodyum
K	: Potasyum
ATPaz	: Adenozin trifosfataz
Cd	: Kadmiyum
Ca²⁺	: Kalsiyum
KF	: Kondisyon faktörü

1. GİRİŞ

Son yıllarda artan nüfus, tarımsal ve endüstriyel gelişim, hammadde çeşitliliği ve atmosferik olaylar, kimyasal atık maddelerin ekosisteme girişini arttırarak insan ve çevre sağlığını tehdit edecek düzeylere ulaşmıştır [Bailey vd., 1999, Nordberg vd., 2007]. Sucul ekosistemlerde kirliliğe neden olan kimyasal maddeler arasında ağır metaller üst sırada yer almaktadır [Bettini vd., 2006]. Normal koşullarda doğadaki derişimleri son derece düşük olan ağır metallerin, antropojenik faktörler, atmosferik olaylar ve organik kirleticilerin etkisiyle sucul ortamlara katılımı artmakta ve suyun kalite ve biyolojik özelliklerinde kantitatif değişimlere neden olmaktadır [Canpolat ve Çalta, 2001]. Sudaki derişimleri artan ağır metaller balıklar tarafından besin ve ortam yolu ile alınarak doku ve organlarda birikmekte, metabolik, fizyolojik ve patolojik değişikliklere neden olmakta, üreme ve gelişmeyi olumsuz etkilemekte ve besin zinciri aracılığı ile üst trofik düzeylere taşınmaktadır [Levesque vd., 2002].

Bakır doğal olarak, genellikle yüzey sularında mevcut, yerkabuğunda doğal olarak bol bulunan bir eser elementtir. Bakır cevherleri, birçok endüstriyel ve ticari ürün üretmek için eritilip yeniden işlenir [USEPA, 2003]. Bakır, özellikle elektrik endüstrisinde, alaşım, kimyasal katalizör, boya ve ahşap koruyucu, yapımında, yüksek elektrik ve ısı iletkenliğine sahip olduğundan korozyona karşı sıklıkla kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, istenmeyen alglerin, bazı hastalıkların ve sucul canlılıklara etki eden ektoparazitlerin kontrolünde de kullanılır [Eisler, 2000]. Ayrıca çiftlik ve kümes hayvanlarında, hastalık kontrolü ve büyüme gelişimi için hayvan yemi katkı maddelerinde de kullanılmaktadır [USEPA, 2003].

Düşük derişimlerde hayvansal organizmalar için gereksinim duyulan bir eser element olup, yaklaşık 30 kadar enzim ve glikoproteinin yapısal bileşiminde bulunur [Stemann ve Wium-Andersen, 1970, Aaseth vd., 1986, Goyer vd., 1986]. Aynı zamanda omurgalı hayvanlarda demirin sindirim sisteminden absorbsiyonunda, hemoglobin sentezinde [Kruger, 2002] sinir sistemindeki miyelin kılıf sürekliliğinde, beyin ve kemik doku oluşumunda da işlev görür [Lehninger, 1975]. Tatlı su ve deniz ekosisteminde yaşayan canlılar ihtiyaç duyulan düzeyin üzerinde bakır etkisinde kaldıklarında, bakır toksik etki göstererek geri dönülmez birçok zarara yol açar ve bazı doku ve organlarda birikir [Eisler, 2000]. Çeşitli balık türleri ile yapılan

araştırmalarda bakırın solungaç, karaciğer ve böbrek gibi metabolik bakımdan aktif organlarda yüksek derişimlerde biriktiği [Cicik, 2003], osmoregülasyon, lokomasyon ve göç davranışını etkilediği [Eisler, 2000], operkulum hareketini arttırdığı [Karaytuğ vd., 2007a], dalak ve böbrekte histopatolojik değişimlere neden olduğu [Hilmy vd., 1987], üreme başarısını düşürdüğü [Horning ve Neiheisel, 1979], solungaçlarda hemoraji, kalp atışında düşme ve anemiye [Stagg ve Shuttleworth, 1982], iyon regülasyonunda bozukluğa [Hashemi vd., 2008], iskelet anomalilerine, klorit hücre sayılarında değişikliklere [Levesque vd., 2002] ve serum glikoz, protein ve kolesterol düzeyleri üzerinde olumsuz etkiler yarattığı belirtilmiştir [Hollis vd., 2001].

Karaciğer besin bileşenlerinin dönüşümünde, fazla glikozun glikojen formunda depo edilmesinde, toksik etkili kimyasalların detoksifikasyonunda, yağların sindiriminde işlev gören başlıca organdır [Heath, 1995]. Bununla birlikte, ağır metalleri bağlayarak toksik etkilerinin yok edilmesinde işlev yapan metallothionein [Langston vd., 2002] ile glutatyonun başlıca sentez yerinden birisidir. Toksik kimyasalların etkisi dikkate alındığında, karaciğerin anahtar role sahip olduğu görülür. Karaciğer, alımın yoluna bağlı olmaksızın metalleri yüksek derişimlerde biriktiren bir organdır. Karaciğerdeki metal birikimi; genellikle ortamdaki derişim ile orantılı olduğundan dolayı metal kirliliğinin izlenmesinde yada ortaya çıkartılmasında oldukça iyi bir araçtır. Metal etkisi sırasında karaciğerdeki metal düzeyi; hızlı bir artış gösterir ve (diğer organlarda atılım gerçekleşmiş olsa bile) atılım periyodu boyunca yüksek kalır [Jeziarska ve Witeska, 2006].

Solungaçların başlıca solunum organı olması, iyon regülasyonunda işlev görmesi ve doğrudan doğruya ortam ile etkileşim halinde olması toksik kimyasallar için hedef organı oluşturur [Heath, 1995]. Bakır ve çinko subletal ortam derişimlerinde öncelikle solungaçlarda birikmekte ekide kalma süresinin uzamasıyla kan yolu ile karaciğer ve böbreğe taşınarak solungaçlardaki birikimi azalmaktadır [Kargin ve Erdem, 1991].

Balıklarda böbrek; osmoregülasyon kontrolü, eritrosit oluşumu, immün sistem, kortikosteroid ve katekolaminlerin salınımı, asit-baz ve iyon regülasyonunda görev alan metabolik bakımından aktif bir organdır [Evans, 1993]. Ağır metallerin böbrekte birikimi; karaciğere oranla daha düşüktür. Fakat kadmiyum ve çinkonun

hedef organ olarak böbrekte birikmesi, anılan her iki metal kirliliğinin belirlenmesinde böbreği biyoindikatör bir organ yapmaktadır.

Kemikli balıklarda dalak hematopoetik görevlerinin yanı sıra, olgunlanmış kırmızı kan hücrelerinin depo edilmesi, trombosit üretimi ve lenfositlerin proliferasyonu ve stimülasyonunda görev alır. Splenomegali toksik madde etkisinde görülen bir anomali olduğundan dolayı çevre kirliliğinin belirlenmesinde dalağın da indikatör bir organ olduğu düşünülmektedir [Powell, 2000].

Balıklarda bağırsak beslenme alışkanlığına bağlı olarak anatomik değişiklikler gösteren bir organ olup beslenme, boşaltım, deniz balıklarında osmoregülasyon ve iyon dengesinin sağlanması ve sindirim enzimlerinin ihtiyaç duyduğu hormonların salgılanmasında işlev görür. Bağırsak aynı zamanda patojen ve toksik maddelerin kana karışımının engellenmesinde de görev alır. Bu nedenle toksik maddelerin etkilerinin belirlenmesinde intestinal mukoza önemli hedef organlar arasında yer almaktadır [Buddington ve Kuz'mina, 2000].

Kas dokusu metabolik aktivite bakımından solungaç, karaciğer, böbrek, dalak ve bağırsak gibi organlara kıyasla daha az aktiftir. Buna karşın, sucul organizmalarda kas başlıca tüketilebilir kısmı oluşturduğundan bu dokudaki metal birikimi, metalin üsttrofik aktarımı yansıtması bakımından önem taşımaktadır [Cicik vd., 2004].

Ağır metallerin sucul canlılarda vücuda alınım yolları daha çok solungaçlar, vücut yüzeyi ve besin yolu ile olmaktadır [Kayhan vd., 2009]. Bunun yanı sıra deniz balıkları iyon regülasyonunu sağlamak amacıyla su içtiklerinden dolayı solungaç ile alınım yoluna ek olarak gastrointestinal yol ile de toksik metallere maruz kalırlar. Cd, Ca²⁺ gibi metaller ise daha çok deri yoluyla kan dolaşımına katılabilirler [Olsson vd., 1998].

Bakırın besin yolu ile alınımında görev alan temel organ bağırsaktır. Intestinal mukozada bulunan epitel hücreler metallerin bağırsak lümeninden geçerek kana karışmasında görev alır. Bu sebepten bağırsak duvarında bulunan intestinal mukoza besin yolu ile metal birikiminde önemli rol oynar [Campbell vd., 2005]. Ortam yolu ile bakır alınımında ise solungaçlar ve tüm vücut yüzeyi görev alır. Solungaçlardan metal alınımında rol oynayan temel hücreler klorid hücreleridir. Klorid hücreleri, solungaç lamelini tümüyle saran aynı zamanda Na⁺/Ca²⁺ gibi iyonların taşınımında görev alan yapılardır. Bu nedenle ortam yolu ile oluşabilecek

metal toksisitesinde su sertliği önemli bir faktör oluşturur. Ortamdan solungaç yolu ile kana karışan metaller dolaşım sistemi, dolayısıyla solunum ve aerobik metabolizmaları öncelikle etkiler ve bu organlarda daha fazla birikir [Olsson vd., 1998].

Hepatosomatik indeks üreme dönemi hariç her periyot boyunca enerjinin karaciğere düşen kısmını göstermesi bakımından faydalı bir parametredir [Nunes ve Hartz, 2001]. Balıklar enerjiyi kas dokularında depolamaktadır; ancak enerji fazla olduğu zaman vücut tarafından karaciğerde glikojen olarak depolanmaktadır. Bu sebepten dolayı karaciğerin oransal büyüklüğü beslenme durumu ile büyüme hızının bir indeksi olarak görülmektedir. Yani balıkların aldıkları besinler monomerlerine ayırdıktan sonra karaciğere gönderilir ve buradaki havuzda toplanır. Buradan da vücudun ihtiyacı olan kadarı vücut dolaşımına katılır kalan kısmı ise depo edilir [Halver ve Hardy, 2002]. Bununla birlikte üreme dönemlerinde enerjinin büyük kısmı gonad gelişimine ayrılacağından besin maddelerindeki enerjinin çoğu üreme organlarına gönderilir. Bu sebeple üreme dönemlerinde HSI değerleri üreme dönemi dışına göre daha düşük olmaktadır. Yapılan besleme çalışmalarında mide ve karaciğer ağırlıkları arasında vücut ağırlığı ile doğrusal regresyon olduğu saptanmıştır [Nunes ve Hartz, 2001]. Balıklarda beslenme aktiviteleri yüksek enerji depolanmasının bir göstergesi olan HSI kullanılarak değerlendirilmiştir.

Gonadosomatik indeks değerleri gonad gelişiminin olduğu dönemlerde artış göstermektedir. Gonadosomatik indeksin yükselmesi gonad ağırlığının artmasıyla doğru orantılıdır. Yani balığın üreme öncesi gonadosomatik indeksi en yüksek değerlerine ulaşmaktadır ve balıklar gonadosomatik indekslerinin en yüksek olduğu zaman yumurtlarlar. Bunun yanı sıra GSI balığın yaşına göre de değişmektedir; çünkü farklı balık türlerinin farklı yaşlarında gonad gelişimi olmaktadır. Diğer yandan balığın döngüsel karakterlerinin ve gonad gelişim oranının belirlenmesi bilimsel olarak olduğu kadar ekonomik olarak ta büyük öneme sahiptir. Çünkü balığın üreme zamanının bilinmesi üretimin başlaması için oldukça önemlidir. Yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre balıkların dişi ve erkeklerinde GSI ve KF değerleri arasında mevsimsel olarak negatif lineer korelasyon mevcuttur [Martinez ve Vasquez, 2001].

Ağır metaller gibi kirleticilerin sucul organizmaların dokularındaki birikim düzeyleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörlere ve alınım yollarına bağlı olarak değişim gösterir. Bu sebepten, bu araştırmada *O. niloticus*'da 7, 15 ve 30 gün sürelerle bakır etkisinde alınım yoluna bağlı olarak karaciğer, dalak, böbrek, gonad, bağırsak, solungaç ve kas dokularında birikim düzeylerinin belirlenmesi ve bakırın GSI ve HSI parametreleri üzerine etkilerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra hayvansal protein kaynağı olarak yaygın bir şekilde tüketilen balıklarda, düşük derişimlerde yaşamsal olaylar için gereksinim duyulan, yüksek bakırın balık sağlığı üzerine etkisinin ortam yolu ile mi yoksa besin yolu ile mi etkili olup olmadığını belirlenmeye çalışılacaktır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Cd, Hg, Pb gibi ağır metallerin subletal derişimleri bile sucul organizmaların metabolik, fizyolojik ve biyokimyasal olaylarda değişime neden olurken [DeConto-Cinier vd., 1999; Dethloff vd., 1999], eser ağır metaller yüksek derişimlerde doğrudan mortaliteye neden olduğu bilinmektedir [Hollis vd., 2001]. Ağır metallerin toksik etkileri türe [Romeo vd., 1999; Göksu vd., 2005], yaşam evresine [Nguyen ve Janssen, 2002; Canlı ve Atlı, 2003], eşeye [Larsson vd., 1985; Authman, 2008], metale [Amiard, 1976], etkide kalma süresine ve ortamın fiziksel ve kimyasal özelliklerine [Hollis vd., 2000; Witeska ve Jezierska, 2003; Blanchard ve Grosell, 2005] göre değişim gösterebilmektedir.

Tüm ağır metaller gibi bakırda, balıklar tarafından su, besin, solungaçlar ve tüm vücut yüzeyinden absorpsiyon yolu ile alınmakta ve dolaşım sistemi aracılığı ile doku ve organlara taşınmaktadır [Viarengo vd., 1993]. Bakırın ve diğer metallerin ortam yolu ile oluşturduğu sublethal etkiler geçmişte laboratuvar deneylerinde sıklıkla çalışılmıştır [Kamunde vd., 2002a, Bielmyer vd., 2005, Chowdhury vd., 2005]. Son yıllarda ise bakır gibi metallerin besin yolu ve trofik taşınım ile oluşturduğu toksik etkiler ve birikim düzeyleri üzerine yapılan çalışmalar önem kazanmaktadır [Tania vd., 2008].

Ağır metal etkisinde sucul canlılar, öncelikle davranış değişikliği göstererek ortam koşullarına adapte olmaya çalışırlar. Hilmy vd. (1987) *Tilapia zilli* ve *Clarias lazera*'da çinko, Khunyakari vd. (2001) *Poecilia reticulata*'da akut bakır etkisinde, mukus salgılamasında artış, besine karşı duyarsızlık, operculum hareketlerinde hızlanma, yüzme performansında düşme, fiziksel etkilere karşı duyarsızlık gibi davranış değişikliklerinin gözlendiğini, etkide kalma süresinin uzaması ile bu değişikliklerin normale döndüğü belirlemişlerdir.

Bakır, çinko, demir gibi bazı ağır metallerin çeşitli biyokimyasal olaylarda aldıkları roller nedeni ile organizmanın yaşamı için eser miktarlarda bulunması gerekir [Amundsen vd., 1997]. Bu metallerin ihtiyaç duyulan düzeyin üzerinde alınması sonucu organizmaların solungaç, karaciğer ve böbrek gibi metabolik bakımdan aktif organlarda birikim düzeyleri artış gösterir ve toksik etkiler görülmeye başlanır [Erdem ve Kargın, 1992; Karaytuğ vd., 2007a]. Bu toksik etkilerin, solungaç dokusunda mukus artışı ve hipoksi [De Boeck vd., 2007], iyon dengesinde

bozulma [Van Heerden vd., 2004], karaciğer hücrelerinde hiperplasi, hipertropi ve stoplazmik vakuollerin sayısında artış [Heath, 1995], solungaç ve böbrek dokularında histolojik değişiklikler [McGeer vd., 2000; Handy vd., 2002] olduğu yapılan çalışmalarda rapor edilmiştir.

Buckley vd. (1982), *Oncorhynchus kisutch*'un solungaç dokusundaki bakır birikim düzeylerinin ortam derişimi ve etkide kalma süresine bağlı olarak artış gösterdiği, birikimin karaciğer ve böbreğe oranla daha düşük olduğu belirtilmiştir.

Bielmyer vd. (2005), *Morone saxatilis*'de bakırın besin ve ortam yolu ile alınımının karaciğer ve bağırsak dokularında farklı düzeylerde birikime neden olduğunu ve besin yolu ile alındığında bakır derişim düzeylerinin arttığını bildirmişlerdir.

Kraal vd. (1995), *Cyprinus carpio*'da kadmiyumun besin yolu ile alındığında sırasıyla bağırsak>böbrek>karaciğer=solungaç>kasta biriktiğini, ortam yolu ile alındığında ise birikim düzeylerinin bağırsak>solungaç>böbrek>karaciğer>kas şeklinde olduğunu belirtmişlerdir.

Kamunde vd. (2002a), *Oncorhynchus mykiss*'de yüksek derişimlerde bakırın besin yolu ile alındığında tüm vücutta yüksek oranlarda biriktiğini fakat ortam yolu ile alındığında bu derişimlerin azalış gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Kamunde vd. (2002b), *O. mykiss*'de besin yolu ile bakır alınımında temel rol oynayan organların karaciğer ve bağırsak olduğunu, ortam yolu ile alınımında ise bu rolü solungaçların üstlendiğini göstermişlerdir.

Xu ve Wang (2002), *Lutjanus argentimaculatus*'da bakırın besin yolu ile alındığında atılım süresinin sucul toksisiteye göre daha kısa olduğunu belirtmişlerdir.

Karaytuğ vd. (2007b), *O. niloticus*'da bakırın 0,1 ppm ortam derişiminin etkisinde, 30. günde hepatosomatik indeksi artarken, gonadosomatik indeks ve kondüsyon faktörünün azaldığını rapor etmişlerdir.

C. carpio [Erdem ve Kargin, 1992], *P. reticulata* [Khunyakari vd., 2001], *O. mykiss* [Handy, 2003], *O. niloticus* [Moterio vd., 2002]' da kronik bakır etkisinin solungaç epiteli hücrelerinde hiperplasi, hipertrofi, ve proliferasyon gibi yapısal değişikliklere neden olup, mukus salınımını arttırdığı, Na⁺ /KATPaz aktivitesini inhibe ederek osmoregülasyon ile elektrolit düzeyine değişikliklere neden olduğu belirtmişlerdir.

Kargın (1990), *C. carpio*'nun *T. nilotica*'ya göre bakır toksisitesine daha hassas olduğunu, en yüksek bakır birikim düzeylerinin *C. carpio*'da karaciğerde olurken, *T. nilotica*'da dalakta olduğu bildirmiştir.

McGeer vd. (2000), *O. mykiss*'de sublethal derişimlerde kronik bakır etkisinde birikim düzeylerinin en fazla karaciğer ve böbrekte olduğu bildirmişlerdir.

Handy (2003), erişkin *O. mykiss*'lerin doku ve organlarında bakır birikim düzeylerinin juvenillere göre daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Cicik (2003), *C. Carpio*'da bakırın 0,5 ve 5,0 ppm ortam derişimlerinin etkisinde, 15. günde birikim düzeylerinin en fazla karaciğer ve solungaçlarda olduğunu bildirmiştir.

Avenant-Oldewage ve Marx (2000), *Clarias gariepinus*'da kromun en fazla solungaç dokusunda, bakır ve demirin ise en fazla karaciğer dokusunda birikim gösterdiğini belirtmişlerdir.

Gbem vd. (2001), krom, bakır, kurşun ve çinko içerdiği bilinen fabrika atık sularının %2 ve % 6 oranlarındaki derişimlerinin etkisine 8 hafta süre ile bırakılan *C. gariepinus*'un doku ve organlarındaki metal birikim düzeylerinin Pb>Cr>Cu>Zn şeklinde olduğu ve etki süresine bağlı olarak artış gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Reichert vd. (1979), *O. kisutch*'da kurşunun solungaç, karaciğer ve böbreklerde yüksek derişimlerde birikim gösterdiğini belirtmişlerdir.

Colvin (1984), *Perca fluviatilis*'in solungaç ve karaciğer dokularında bakır birikim düzeylerinin küçük balıklarda büyüklere göre daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Felts ve Heath (1984), *Lepomis macrochirus*'da bakır birikimi düzeylerinin sıcaklık artışına bağlı olarak dokularda artış gösterdiğini bildirmişlerdir.

Viarengo vd. (1988), *Mytilus galloprovincialis*'de bakır birikim düzeylerine ortam parametrelerinden sıcaklık, tuzluluk, oksijen gibi fiziksel ve kimyasal faktörlerin etki gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Kargın (1996), *Mullus barbatus* ve *Sparus auratus*'da bakır birikim düzeylerinin karaciğer>solungaç>kas şeklinde olduğunu belirtmiştir.

Legorburu vd. (1988), Unola Nehri'nden avlanan *Anguilla anguilla*, *Chelon labrosus* ve *Salmo trutta*'da, aliminyum, demir ve manganezin en çok *A. anguilla*'nın solungaçlarında, kadmiyum ve bakırın ise karaciğerde birikim

gösterdiğini belirtmişlerdir. Aynı çalışmada *C. labrosus* ve *S. trutta*'da metal birikiminin düzeylerinin *A. anguilla*'a göre daha az olduğu tespit etmişlerdir.

Kargın ve Erdem (1991), *C. carpio*'da bakırın karaciğer, dalak, mide, bağırsak, solungaç ve kas dokularındaki birikimlerinin ortam derişimlerine ve etkide kalma süresine bağılı olarak arttığını rapor etmişlerdir.

Hollis vd. (2001), *O. mykiss*'de bakırın 30 günlük etkisi altında birikim düzeylerinin karaciğer>böbrek>solungaç şeklinde olduğunu bildirmişlerdir.

Cogun vd. (2003), farklı boy ve ağırlıkta *O. niloticus*'un solungaç, karaciğer ve kas dokularında bakır ve kadmiyum düzeylerini metalin cinsine ve derişimine, balığın boy ve ağırlığına göre değişiklik gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Cogun ve Kargın (2004), *O. niloticus*'da bakırın düşük pH'ta birikimin düzeylerinin yüksek pH'a göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Frag vd. (1994), *O. mykiss*'te ortam yolu ile uygulanan sublethal kadmiyum derişimlerinin etkisinde, 21 gün süre sonunda, böbrek ve solungaçlarda yüksek düzeylerde birikim gösterdiği, besin yoluyla ile uygulandığında ise birikim düzeylerinin en fazla bağırsakta olduğunu tespit etmişlerdir.

Kraal vd. (1995), *C. carpio*'da ortam yolu ile verilen kadmiyumun en fazla solungaç dokusunda, besin yolu ile verildiğinde ise en çok bağırsak ve böbrek dokularında birikim gösterdiğini tespit etmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. MATERYAL

Araştırmada materyal olarak Mersin Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Uygulama Biriminden temin edilen, $18,69 \pm 1,25$ cm ortalama boy ve $102,99 \pm 19,28$ g ortalama ağırlığa sahip *O. niloticus* türü kullanılmıştır. Deney kontrollü ortam koşullarına sahip ($25 \pm 1^\circ\text{C}$ durağan sıcaklık; 12 saat aydınlık 12 saat karanlık fotoperiyodu) MEÜ. Su Ürünleri Fakültesi Temel Bilimler Araştırma Laboratuvarında yürütülmüştür. Akvaryumlar merkezi havalandırma sistemi ile havalandırılmıştır.

Laboratuvara alınan balıklar; her biri $40 \times 100 \times 40$ cm boyutlarında olan 10 akvaryum içerisinde 30 gün süreyle bekletilerek ortam koşullarına uyumları sağlanmıştır.

Denemelerde $40 \times 100 \times 40$ cm boyutlarında içerisinde 120 lt dinlenmiş çeşme suyu bulunan toplam 5 adet cam akvaryum kullanılmıştır.

Deney ve kontrol akvaryumlarındaki suyun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1'de gösterildiği şekildedir.

Çizelge 3.1 Deney, kontrol ve stok akvaryumlarındaki sucul ortamın bazı fiziko-kimyasal özellikleri.

Sıcaklık (akvaryum)	$26 \pm 1^\circ\text{C}$
pH	$7,35 \pm 0,76$
Çözünmüş Oksijen	$6,8 \pm 0,55$ mg/l
Toplam Sertlik	$227 \pm 0,48$ ppm CaCO_3
Alkalinite	$332 \pm 0,50$ ppm CaCO_3

3.2. YÖNTEM

Araştırmada bakırın *O. niloticus*'da 96 saatlik LC_{50} değerinin [Daramola ve Oladimeji, 1989] %5 ve %10'una karşılık gelen 44,7 ve 89,4 ppb'lik derişimlerinin 7, 15, ve 30 gün süreler ile etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla her biri $40 \times 100 \times 40$ cm boyutlarında içerisinde 120 lt dinlendirilmiş çeşme suyu bulunan toplam 10 adet akvaryum kullanılmıştır. Akvaryumlardan ikisine bakırın 44,7 ve 89,4 ppb'lik

derişimleri ortam yolu, akvaryumların diğer ikisine bakırın aynı derişimleri, balık yemi içerisinde daha önceden homojenize edilmiş halde besin yolu ile verilerek deney grupları oluşturulmuş, son akvaryuma ise bakır içermeyen dinlendirilmiş çeşme suyu kullanılarak kontrol grubu hazırlanmıştır. Deneyler 2 paralelli ve 3 tekrarlı olarak yürütülmüş ve her tekrarda akvaryumların her birinden 1 adet balık örneklenmiştir. Bakırın ortam ve besin yolu ile belirlenen derişimlerinin etkisinde deney süresince balıklarda mortalite gözlenmemiştir.

Balıkların beslenmesinde ticari olarak temin edilen Çamlı Balık yemi kullanılmıştır. Kullanılan balık yeminin besin, makro element ve vitamin içeriği; % 60 protein, % 10 ham yağ, % 1,5 ham selüloz, % 11 ham kül, % 2,1 kalsiyum, % 1,6 fosfor, % 0,7 sodyum, 5,4 mg/kg vitamin A, 0,09 mg/kg vitamin D3, 300 mg/kg vitamin E ve 1000 mg/kg vitamin C şeklinde olduğu üretici firma tarafından bildirilmiştir.

Besin yolu ile bakır etkisine bırakılan deneklerin beslenmesinde bakır içeriği bilinen yemlerin 44,7 ve 89,4 ppb'lik derişimlerine karşılık gelen miktarlarda yem kullanılmıştır. Kontrol grubu ve ortam yolu ile bakır etkisine bırakılan deneklerin beslenmesinde ise yine aynı miktarlarda yem kullanılmıştır. Tüm gruplarda balıkların beslenmesi sırasında deneklerin davranışları gözlenmiş ve tüketilmeyen yemler 5 dakika sonra ortandan, akvaryum kepçeleri ile çıkarılmıştır.

Bakır içeren yemlerin hazırlanışında sırasıyla şu işlemler uygulanmıştır;

Ticari olarak temin edilen 500'er g Çamlı Balık Yemi ayrı ayrı olarak tartılmış ve 100 ml saf su içerisinde çözülmüş 1,96 ve 3,92 g bakır sülfat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) yemlere ayrı kaplarda eklenmiştir. Bakır sülfat eklenen yemlerin homojen olarak karışması amacıyla 500 ml saf su kaplara eklenmiş ve mikser yardımı ile yaklaşık 30 dakika karıştırılmıştır [Shaw ve Handy, 2006]. Karıştırma işleminden sonra bakır içeren yemler bakteriyel kontaminasyonu engellemek amacıyla UV altında havalandırma yardımıyla kurutulmuştur. Uygun kıvama gelen yemler daha sonra kıyma makinesinden geçirilerek peletlenmiş ve lipit peroksidasyonu engellemek amacıyla -20°C 'de stoklanmıştır.

Kontrol yemleri ve bakır içeren yemlerden rastgele 10'ar adet örnek alınarak 0.0001 gr hassas terazide (Sartorius CP-2248.) kuru ağırlıkları belirlenmiş ve yakma işlemi için deney tüplerine aktarılarak, üzerlerine 2:1 oranında nitrik asit (HNO_3

Merck, %65, Ö.A 1.40) ve perklorik asit (HClO₄ Merck, %60, Ö.A 1.53) karışımı eklenmiştir. 120°C'de 8 saat süre ile yakımı tamamlanan örnekler polietilen tüplere aktarıldıktan sonra uygun seyreltmeler yapılarak, yemlerdeki bakır derişimleri Agilent 7500ce model ICP-MS (İndüktif olarak Eşleştirilmiş Plazma-Kütle Spektrofotometresi) ile saptanmıştır [Muramoto, 1983, Karayakar vd., 2007].

Yemlerin analiz sonuçlarında; kontrol grubunda bakır derişimi ölçülebilir limitlerin altında tespit edilmiştir. 1,96g/500g bakır sülfat eklenen yemlerde, saf bakır derişim düzeyleri 0,6805±0,0924 ppt, 3,92g/500 g bakır sülfat eklenen yemlerde ise, saf bakır derişim düzeyleri 1,3679±0,0194 ppt olarak tespit edilmiştir.

Araştırma süresince akvaryumlardaki bakır çözeltilerinin derişimlerinde evaporasyon, presipitasyon ve adsorbsiyon gibi nedenlerle değışimler olabileceğinden, deney çözeltileri her gün aynı saatte dinlenmiş çeşme suyu ile yenilenmiş ve ortam yolu ile bakır birikimi incelenen akvaryumlara stok çözeltiden uygun seyreltmeler yapılarak bakır eklenmiştir.

Belirlenen sürelerin sonunda akvaryumların her birinden 3 balık örnekleterek MS-222 ile bayıltılmıştır. Örnekler daha sonra çeşme suyu ile iyice yıkanarak, kurutma kağıdı ile yüzeylerindeki su damlacıkları alınmıştır.

Gonado-somatik ve hepato-somatik indeks analizleri için balıkların tek tek boy ve ağırlıkları belirlenmiş gonad ve karaciğer dokuları tartılarak yaş ağırlıkları not edilmiştir.

Gonadosomatik indeks balıklarda gonadal gelişimin belirlenmesinde kullanılan bir indekstir. Balığın gonad ağırlığının vücut ağırlığına oranı olarak ifade edilmektedir [Martinez ve Vazquez, 2001].

Gonad Ağırlığı (g)

$$GSI = \frac{\text{Gonad Ağırlığı (g)}}{\text{Toplam Vücut Ağırlığı (g)}} \times 100$$

Toplam Vücut Ağırlığı (g)

Balıklarda beslenme aktiviteleri yüksek enerji depolanmasının bir gösterimi olan HSI kullanılarak değerlendirilmiştir. Hepatosomatik indeks şu formülle ifade edilmektedir [Cheng vd., 2005].

Karaciğer Ağırlığı(g)

$$HSI = \frac{\text{Karaciğer Ağırlığı(g)}}{\text{Vücut Ağırlığı (g)}} \times 100$$

Vücut Ağırlığı (g)

Disekte edilen balıkların karaciğer, dalak, böbrek, solungaç, bağırsak, gonad ve kas dokuları ayrı ayrı petri kaplarına konulmuştur. Bağırsak dokuları örneklenmeden önce doku üzerinde bakır içerikli yem kalıntıları olabileceğinden % 0,7 (NaOH) tuzluluğa sahip fizyolojik su yıkanmıştır.

Örneklenen dokular etüvde 150°C sabit sıcaklıkta 72 saat süreyle kurutularak sabit tartıma hazır hale getirilmiştir [Cicik, 1991]. Etüvden çıkarılan dokular, 0.0001 gr hassas terazide (Sartorius CP-2248) kuru ağırlıkları alınarak yakma işlemi için deney tüplerine aktarılmış, üzerlerine 2:1 oranında nitrik asit (HNO₃ Merck, %65, Ö.A 1.40) ve perklorik asit (HClO₄ Merck, %60, Ö.A 1.53) karışımı eklenerek 120°C'de 8 saat süre ile yakılmıştır [Muramoto, 1983]. Yakma işlemi tamamlandıktan sonra örnekler polietilen tüplere aktarılarak toplam hacimleri saf su ile 10 ml'ye tamamlanmış ve bakır analizine hazır hale getirilmiştir.

Dokulardaki bakır düzeyleri Agilent 7500ce model ICP-MS ile saptanmıştır. Deney verilerinin istatistiksel analizinde SNK (Student – Newman Keul's Test) uygulanmıştır [Sokal ve Rohlf, 1995].

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. BULGULAR

O. niloticus ile yapılan bu çalışmada, bakırın ortam ve besin yolu ile alınımı incelenmiş ve farklı alınım yollarının dokularda birikim düzeyleri üzerine etkisi araştırılmıştır. 7, 15 ve 30 gün süreler ile bakırın 44,7 ve 89,4 ppb derişimlerinin etkisine besin ve ortam yolu ile bırakılan deneklerde, mortalite gözlenmemiştir. Besin yolu ile bakırın etkisine bırakılan deneklerde dönem dönem iştahsızlık gözlenirken, ortam yolu ile bakır etkisinde deneklerde herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir.

Bakırın 44,7 ve 89,4 ppb'lik besin ve ortam derişimlerinin etkisine 7, 15 ve 30 gün süresince bırakılan *O. niloticus*'un karaciğer, dalak, böbrek, bağırsak, gonad, solungaç ve kas dokularında bakır derişimlerinin ve aritmetik ortalamaları ile istatistik analiz sonuçları Çizelge (4.1)-(4.10)'da verilmiştir. Belirlenen bakır derişimlerinin etkisinde 7, 15 ve 30 gün sonunda GSI ve HSI değerleri ise Çizelge (4.11)-(4.12)'de verilmiştir.

Çizilge 4.1 Bakırın belirlenen derişimlerinin etkisinde 7. gün sonunda *O. niloticus*'un dokuların bakır birikim düzeyleri ($\mu\text{g Cu/kg k.a.}$).

	Doku						
	Karaciğer	Dalak	Böbrek	Bağırsak	Gonad	Solungaç	Kas
Derişim	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$
Kontrol	386,50 \pm 9,00 ^{as}	7,77 \pm 2,10 ^{at}	17,15 \pm 0,43 ^{at}	9,07 \pm 0,71 ^{at}	7,24 \pm 0,26 ^{ay}	4,03 \pm 0,86 ^{ay}	2,42 \pm 0,35 ^{at}
Ortam Cu Derişimi -1 (44,7 ppb)	1144,76 \pm 66,81 ^{bs}	19,10 \pm 1,516 ^{bt}	34,04 \pm 1,30 ^{bt}	13,29 \pm 0,51 ^{at}	5,54 \pm 0,26 ^{at}	11,46 \pm 0,72 ^{bt}	2,87 \pm 0,38 ^{at}
Ortam Cu Derişimi -2 (89,4 ppb)	950,06 \pm 2,63 ^{bs}	26,98 \pm 4,553 ^{bt}	48,10 \pm 1,46 ^{cx}	43,88 \pm 0,51 ^{bx}	7,37 \pm 0,63 ^{ay}	18,79 \pm 0,25 ^{ct}	2,76 \pm 0,31 ^{ay}
Yem Cu Derişimi -1 (44,7 ppb)	1193,83 \pm 141,67 ^{bs}	18,11 \pm 1,146 ^{bt}	46,87 \pm 2,01 ^{ct}	23,40 \pm 1,05 ^{ct}	6,69 \pm 0,92 ^{at}	8,39 \pm 0,62 ^{dt}	3,58 \pm 0,55 ^{at}
Yem Cu Derişimi -2 (89,4 ppb)	1100,23 \pm 1,94 ^{bs}	71,38 \pm 0,94 ^{ct}	35,00 \pm 4,90 ^{bt}	12,22 \pm 1,23 ^{at}	4,96 \pm 0,59 ^{at}	4,42 \pm 1,77 ^{at}	2,36 \pm 0,33 ^{at}

*=SNK; a, b, c ve d derişimler arası ayırımı, s, t, x ve y harfleri ise süreler arası ayırımı göstermek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harfler ile gösterilen verilen arasında $P < 0.05$ düzeyinde istatistik ayırım vardır.

$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ = Aritmetik ortalama \pm Standart hata

7. gün sonunda bakırın tüm derişimlerinin etkisi altında *O. niloticus*'un karaciğer, dalak, böbrek dokularında metal düzeylerinin birikimi kontrole oranla önemli düzeyde artış göstermiştir. Gonad ve kas dokularında metal düzeylerinin değişimi istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır. 7. gün sonunda *O. niloticus*'da bakırın ortam ve besin yolu ile birikimi en çok karaciğer dokusunda olurken en düşük birikim düzeyleri kas dokusunda tespit edilmiştir.

Çizilge 4.2 Bakırın belirlenen derişimlerinin etkisinde 15. gün sonunda *O. niloticus*'un dokuların bakır birikim düzeyleri ($\mu\text{g Cu/kg k.a.}$).

	Doku						
	Karaciğer	Dalak	Böbrek	Bağırsak	Gonad	Solungaç	Kas
Derişim	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$
Kontrol	388,64 \pm 7,15 ^{as}	12,70 \pm 0,47 ^{atx}	19,79 \pm 1,33 ^{abx}	10,07 \pm 0,75 ^{atx}	5,37 \pm 0,10 ^{at}	3,68 \pm 0,26 ^{at}	4,59 \pm 0,77 ^{at}
Ortam Cu Derişimi -1 (44,7 ppb)	1793,10 \pm 141,04 ^{bs}	26,32 \pm 2,02 ^{bt}	29,37 \pm 0,98 ^{bt}	32,73 \pm 3,65 ^{bt}	12,13 \pm 1,01 ^{bt}	13,63 \pm 0,16 ^{bt}	7,24 \pm 0,28 ^{at}
Ortam Cu Derişimi -2 (89,4 ppb)	4605,74 \pm 37,62 ^{cs}	17,25 \pm 0,50 ^{at}	14,10 \pm 0,66 ^{at}	28,56 \pm 0,78 ^{bt}	9,17 \pm 0,19 ^{bct}	7,97 \pm 0,51 ^{ct}	4,74 \pm 1,02 ^{at}
Yem Cu Derişimi -1 (44,7 ppb)	882,24 \pm 81,7 ^{ds}	15,46 \pm 0,74 ^{at}	26,73 \pm 5,10 ^{bt}	19,40 \pm 0,72 ^{ct}	9,34 \pm 1,05 ^{bct}	6,44 \pm 0,55 ^{cdt}	4,22 \pm 0,50 ^{at}
Yem Cu Derişimi -2 (89,4 ppb)	1407,70 \pm 67,37 ^{bs}	31,23 \pm 1,11 ^{ct}	56,01 \pm 1,18 ^{ct}	25,83 \pm 1,43 ^{bct}	7,75 \pm 0,76 ^{act}	5,05 \pm 0,63 ^{adt}	5,19 \pm 0,50 ^{at}

*=SNK; a, b, c ve d derişimler arası ayrımı, s, t ve x harfleri ise süreler arası ayrımı göstermek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harfler ile gösterilen verilen arasında $P < 0.05$ düzeyinde istatistik ayrım vardır.

$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ = Aritmetik ortalama \pm Standart hata

15. gün sonunda bakırın tüm derişimlerinin etkisi altında *O. niloticus*'un karaciğer, bağırsak, gonad ve solungaç dokularında metal düzeylerinin birikimi kontrole oranla önemli düzeyde artış göstermiştir. Kas dokularında metal düzeylerinin değişimi istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır. Bakırın 15. gün sonunda *O. niloticus*'da bakırın besin ve ortam yolu ile birikimi en fazla karaciğer dokusunda olurken en düşük birikim düzeyleri kas dokusunda tespit edilmiştir.

Çizelge 4.3 Bakırın belirlenen derişimlerinin etkisinde 30. gün sonunda *O. niloticus*'un dokuların bakır birikim düzeyleri ($\mu\text{g Cu/kg k.a.}$).

	Doku						
	Karaciğer	Dalak	Böbrek	Bağırsak	Gonad	Solungaç	Kas
Derişim	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$
Kontrol	385,53± 1,04 ^{as}	10,69± 2,93 ^{at}	10,85± 0,62 ^{at}	8,38± 0,27 ^{atx}	5,44± 0,07 ^{atx}	5,89± 0,11 ^{atx}	2,81± 0,11 ^{ax}
Ortam Cu Derişimi -1 (44,7 ppb)	1759,25± 47,11 ^{bs}	43,98± 2,65 ^{bt}	21,26± 1,70 ^{bt}	13,27± 0,28 ^{bt}	6,07± 0,52 ^{at}	14,47± 0,38 ^{bt}	5,78± 1,61 ^{abt}
Ortam Cu Derişimi -2 (89,4 ppb)	1035,17± 59,81 ^{cs}	17,39± 0,71 ^{at}	35,73± 1,03 ^{ct}	10,97± 1,11 ^{abt}	9,14± 0,40 ^{bt}	9,63± 0,13 ^{ct}	6,87± 0,45 ^{bt}
Yem Cu Derişimi -1 (44,7 ppb)	1300,55± 72,99 ^{ds}	36,99± 3,90 ^{bt}	22,00± 0,26 ^{bt}	27,03± 0,58 ^{ct}	5,56± 0,04 ^{at}	5,26± 0,89 ^{at}	1,87± 0,18 ^{at}
Yem Cu Derişimi -2 (89,4 ppb)	1571,84± 15,49 ^{es}	34,58± 2,02 ^{btx}	20,16± 0,71 ^{bxy}	56,61± 1,02 ^{dt}	7,11± 0,72 ^{ay}	5,54± 0,11 ^{ay}	2,28± 0,49 ^{ay}

*=SNK; a, b, c ve d derişimler arası ayrımı, s, t, x ve y harfleri ise süreler arası ayrımı göstermek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harfler ile gösterilen verilen arasında $P < 0.05$ düzeyinde istatistik ayırım vardır.

$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ = Aritmetik ortalama \pm Standart hata

30. gün sonunda bakırın tüm derişimlerinin etkisi altında *O. niloticus*'un karaciğer ve böbrek dokularında metal düzeylerinin birikimi kontrole oranla önemli düzeyde artış göstermiştir. Kas dokularında metal düzeylerinin değışimi istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır. . Bakırın 30. gün sonunda *O. niloticus*'da bakırın besin ve ortam yolu ile birikimi en fazla karaciğer dokusunda olurken en düşük birikim düzeyleri kas dokusunda tespit edilmiştir.

Çizelge 4.4 Bakırın belirlenen derişimlerinin etkisinde 7. 15. ve 30. günler sonunda *O. niloticus*'un karaciğer dokusunda bakır birikim düzeyleri ($\mu\text{g Cu/kg k.a.}$).

Derişim	Süre		
	7. Gün	15. Gün	30. Gün
Kontrol	$386,50 \pm 9,00^{as}$	$388,64 \pm 7,15^{as}$	$385,53 \pm 1,04^{as}$
Ortam Derişimi -1 (44,7 ppb Cu)	$1144,76 \pm 66,81^{bs}$	$1793,10 \pm 141,04^{bt}$	$1759,25 \pm 47,11^{bt}$
Ortam Derişimi -2 (89,4 ppb Cu)	$950,06 \pm 2,63^{bs}$	$4605,74 \pm 37,62^{ct}$	$1035,17 \pm 59,81^{cs}$
Yem Derişimi -1 (44,7 ppb Cu)	$1193,83 \pm 141,67^{bs}$	$882,24 \pm 81,7^{ds}$	$1300,55 \pm 72,99^{ds}$
Yem Derişimi -2 (89,4 ppb Cu)	$940,23 \pm 34,76^{bs}$	$1407,70 \pm 67,37^{bt}$	$1571,84 \pm 15,49^{et}$

*=SNK; a, b, c, d ve e derişimler arası ayrımı, s ve t harfleri ise süreler arası ayrımı göstermek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harfler ile gösterilen verilen arasında $P < 0.05$ düzeyinde istatistik ayrım vardır.

$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ = Aritmetik ortalama \pm Standart hata

7. 15. ve 30. günlerin sonunda bakır birikim düzeyleri *O. niloticus*'un karaciğer dokusunda tüm derişimlerin etkisi altında kontrol grubuna göre önemli düzeyde artış göstermiştir. Tüm derişimlerin etkisi altında, bakır birikim düzeylerinin kontrol grubuna göre etkide kalma süresine bağlı olarak önemli düzeyde artış gösterdiği gözlenmiştir.

Çizelge 4.5 Bakırın belirlenen derişimlerinin etkisinde 7. 15. ve 30. günler sonunda *O. niloticus*'un dalak dokusunda bakır birikim düzeyleri ($\mu\text{g Cu/kg k.a.}$).

Derişim	Süre		
	7. Gün	15. Gün	30. Gün
Kontrol	$7,77 \pm 2,10^{as}$	$12,70 \pm 0,47^{as}$	$10,69 \pm 2,93^{as}$
Ortam Derişimi -1 (44,7 ppb Cu)	$19,10 \pm 1,516^{bs}$	$26,32 \pm 2,02^{bs}$	$43,98 \pm 2,65^{bt}$
Ortam Derişimi -2 (89,4 ppb Cu)	$26,98 \pm 4,553^{bs}$	$17,25 \pm 0,50^{as}$	$17,39 \pm 0,71^{as}$
Yem Derişimi -1 (44,7 ppb Cu)	$18,11 \pm 1,146^{bs}$	$15,46 \pm 0,74^{as}$	$36,99 \pm 3,90^{bt}$
Yem Derişimi -2 (89,4 ppb Cu)	$71,38 \pm 0,94^{cs}$	$31,23 \pm 1,11^{ct}$	$34,58 \pm 2,02^{bt}$

*=SNK; a, b ve c derişimler arası ayrımı, s ve t harfleri ise süreler arası ayrımı göstermek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harfler ile gösterilen verilen arasında $P < 0.05$ düzeyinde istatistik ayrım vardır.

$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ = Aritmetik ortalama \pm Standart hata

7. 15. ve 30. günlerin sonunda bakır birikim düzeyleri *O. niloticus*'un dalak dokularında tüm derişimlerin etkisi altında kontrol grubuna göre artış göstermiştir. 7. gün sonunda tüm derişimlerin etkisi altında bakır birikim düzeylerindeki artışın istatistiksel açıdan anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Tüm derişimlerde bakır birikim düzeylerini kontrol grubuna göre etkide kalma süresine bağlı olarak önemli düzeyde artış gösterdiği gözlenmiştir.

Çizelge 4.6 Bakırın belirlenen derişimlerinin etkisinde 7. 15. ve 30. günler sonunda *O. niloticus*'un böbrek dokusunda bakır birikim düzeyleri ($\mu\text{g Cu/kg k.a.}$).

Derişim	Süre		
	7. Gün	15. Gün	30. Gün
Kontrol	$17,15 \pm 0,43^{as}$	$19,79 \pm 1,33^{abs}$	$10,85 \pm 0,62^{at}$
Ortam Derişimi -1 (44,7 ppb Cu)	$34,04 \pm 1,30^{bs}$	$29,37 \pm 0,98^{bs}$	$21,26 \pm 1,70^{bt}$
Ortam Derişimi -2 (89,4 ppb Cu)	$48,10 \pm 1,46^{cs}$	$14,10 \pm 0,66^{at}$	$35,73 \pm 1,03^{cx}$
Yem Derişimi -1 (44,7 ppb Cu)	$46,87 \pm 2,01^{cs}$	$26,73 \pm 5,10^{bt}$	$22,00 \pm 0,26^{bt}$
Yem Derişimi -2 (89,4 ppb Cu)	$35,00 \pm 4,90^{bs}$	$56,01 \pm 1,18^{ct}$	$20,16 \pm 0,71^{bx}$

*=SNK; a, b ve c erişimler arası ayrımı, s, t ve x harfleri ise süreler arası ayrımı göstermek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harfler ile gösterilen verilen arasında $P < 0.05$ düzeyinde istatistik ayrım vardır.

$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ = Aritmetik ortalama \pm Standart hata

7. ve 30. günlerin sonunda bakır birikim düzeyleri *O. niloticus*'un böbrek dokularında tüm derişimlerin etkisi altında kontrol grubuna göre önemli düzeyde artış göstermiştir. En yüksek birikim düzeyi 15. gün sonunda besin yolu ile bakırın 89,4 ppb etkisi altında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.7 Bakırın belirlenen derişimlerinin etkisinde 7. 15. ve 30. günler sonunda *O. niloticus*'un bağırsak dokusunda bakır birikim düzeyleri ($\mu\text{g Cu/kg k.a.}$).

	Süre		
	7. Gün	15. Gün	30. Gün
Derişim	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$
Kontrol	9,07 \pm 0,71 ^{as}	10,07 \pm 0,75 ^{as}	8,38 \pm 0,27 ^{as}
Ortam Derişimi -1 (44,7 ppb Cu)	13,29 \pm 0,51 ^{as}	32,73 \pm 3,65 ^{bt}	13,27 \pm 0,28 ^{bs}
Ortam Derişimi -2 (89,4 ppb Cu)	43,88 \pm 0,51 ^{bs}	28,56 \pm 0,78 ^{bt}	10,97 \pm 1,11 ^{abx}
Yem Derişimi -1 (44,7 ppb Cu)	23,40 \pm 1,05 ^{cs}	19,40 \pm 0,72 ^{ct}	27,03 \pm 0,58 ^{cs}
Yem Derişimi -2 (89,4 ppb Cu)	12,22 \pm 1,23 ^{as}	25,83 \pm 1,43 ^{bct}	56,61 \pm 1,02 ^{dx}

*=SNK; a, b, c ve d derişimler arası ayrımı, s, t ve x harfleri ise süreler arası ayrımı göstermek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harfler ile gösterilen verilen arasında $P < 0.05$ düzeyinde istatistik ayrım vardır.

$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ = Aritmetik ortalama \pm Standart hata

15. ve 30. günlerin sonunda bakır birikim düzeyleri *O. niloticus*'un bağırsak dokularında tüm derişimlerin etkisi altında kontrol grubuna göre önemli düzeyde artış göstermiştir. Bakırın besin yolu ile 89,4 ppb etkisi altında, etkide kalma süresine bağlı olarak önemli düzeyde artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.8 Bakırın belirlenen derişimlerinin etkisinde 7. 15. ve 30. günler sonunda *O. niloticus*'un gonad dokusunda bakır birikim düzeyleri ($\mu\text{g Cu/kg k.a.}$).

	Süre		
	7. Gün	15. Gün	30. Gün
Derişim	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$
Kontrol	7,24 \pm 0,26 ^{as}	5,37 \pm 0,10 ^{at}	5,44 \pm 0,07 ^{at}
Ortam Derişimi -1 (44,7 ppb Cu)	5,54 \pm 0,26 ^{as}	12,13 \pm 1,01 ^{bt}	6,07 \pm 0,52 ^{as}
Ortam Derişimi -2 (89,4 ppb Cu)	7,37 \pm 0,63 ^{as}	9,17 \pm 0,19 ^{bcs}	9,14 \pm 0,40 ^{bs}
Yem Derişimi -1 (44,7 ppb Cu)	6,69 \pm 0,92 ^{as}	9,34 \pm 1,05 ^{bcs}	5,56 \pm 0,04 ^{as}
Yem Derişimi -2 (89,4 ppb Cu)	4,96 \pm 0,59 ^{as}	7,75 \pm 0,76 ^{acs}	7,11 \pm 0,72 ^{as}

*=SNK; a, b ve c derişimler arası ayrımı, s ve t harfleri ise süreler arası ayrımı göstermek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harfler ile gösterilen verilen arasında $P < 0.05$ düzeyinde istatistik ayrım vardır.

$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ = Aritmetik ortalama \pm Standart hata

7. günün sonunda bakır birikim düzeyleri *O. niloticus*'un gonad dokularında tüm derişimlerin etkisi altında kontrol grubuna göre önemli düzeyde bir değişiklik göstermediği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.9 Bakırın belirlenen derişimlerinin etkisinde 7. 15. ve 30. günler sonunda *O. niloticus*'un solungaç dokusunda bakır birikim düzeyleri ($\mu\text{g Cu/kg k.a.}$).

	Süre		
	7. Gün	15. Gün	30. Gün
Derişim	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$
Kontrol	$4,03 \pm 0,86^{\text{as}}$	$3,68 \pm 0,26^{\text{as}}$	$5,89 \pm 0,11^{\text{as}}$
Ortam Derişimi -1 (44,7 ppb Cu)	$11,46 \pm 0,72^{\text{bs}}$	$13,63 \pm 0,16^{\text{bt}}$	$14,47 \pm 0,38^{\text{bt}}$
Ortam Derişimi -2 (89,4 ppb Cu)	$18,79 \pm 0,25^{\text{cs}}$	$7,97 \pm 0,51^{\text{ct}}$	$9,63 \pm 0,13^{\text{cx}}$
Yem Derişimi -1 (44,7 ppb Cu)	$8,39 \pm 0,62^{\text{ds}}$	$6,44 \pm 0,55^{\text{cds}}$	$5,26 \pm 0,89^{\text{as}}$
Yem Derişimi -2 (89,4 ppb Cu)	$4,42 \pm 1,77^{\text{as}}$	$5,05 \pm 0,63^{\text{ads}}$	$5,54 \pm 0,11^{\text{as}}$

*=SNK; a, b, c ve d derişimler arası ayrımı, s, t ve x harfleri ise süreler arası ayrımı göstermek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harfler ile gösterilen verilen arasında $P < 0.05$ düzeyinde istatistik ayırım vardır.

$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ = Aritmetik ortalama \pm Standart hata

7. 15. ve 30. günlerin sonunda bakır birikim düzeyleri *O. niloticus*'un solungaç dokularında ortam derişimlerinin etkisi altında kontrol grubuna göre önemli düzeyde artış göstermiştir.

Çizelge 4.10 Bakırın belirlenen derişimlerinin etkisinde 7. 15. ve 30. günler sonunda *O. niloticus*'un kas dokusunda bakır birikim düzeyleri ($\mu\text{g Cu/kg k.a.}$).

	Süre		
	7. Gün	15. Gün	30. Gün
Derişim	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$
Kontrol	2,42 \pm 0,35 ^{as}	4,59 \pm 0,77 ^{at}	2,81 \pm 0,11 ^{as}
Ortam Derişimi -1 (44,7 ppb Cu)	2,87 \pm 0,38 ^{as}	7,24 \pm 0,28 ^{as}	5,78 \pm 1,61 ^{abs}
Ortam Derişimi -2 (89,4 ppb Cu)	2,76 \pm 0,31 ^{as}	4,74 \pm 1,02 ^{ast}	6,87 \pm 0,45 ^{bt}
Yem Derişimi -1 (44,7 ppb Cu)	3,58 \pm 0,55 ^{as}	4,22 \pm 0,50 ^{as}	1,87 \pm 0,18 ^{as}
Yem Derişimi -2 (89,4 ppb Cu)	2,36 \pm 0,33 ^{as}	5,19 \pm 0,50 ^{at}	2,28 \pm 0,49 ^{as}

*=SNK; a ve b derişimler arası ayrımı, s ve t harfleri ise süreler arası ayrımı göstermek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harfler ile gösterilen verilen arasında $P < 0.05$ düzeyinde istatistik ayrım vardır.

$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ = Aritmetik ortalama \pm Standart hata

7. ve 15. günlerin sonunda bakır birikim düzeyleri *O. niloticus*'un kas dokularında tüm derişimlerin etkisi altında kontrol grubuna göre önemli düzeyde bir değişim göstermediği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.11 Bakırın belirlenen derişimlerinin etkisinde 7. 15. ve 30. günler sonunda *O. niloticus*'un hepatosomatik indeksi

	Süre		
	7. Gün	15. Gün	30. Gün
Derişim	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$
Kontrol	1.36 \pm 0.36	1.50 \pm 0.13	1.75 \pm 0.19
Ortam Derişimi -1 (44,7 ppb Cu)	1.46 \pm 0.07	1.31 \pm 0.11	1.28 \pm 0.18
Ortam Derişimi -2 (89,4 ppb Cu)	1.15 \pm 0.19	1.47 \pm 0.15	1.40 \pm 0.13
Yem Derişimi -1 (44,7 ppb Cu)	1.34 \pm 0.31	1.42 \pm 0.12	1.51 \pm 0.15
Yem Derişimi -2 (89,4 ppb Cu)	1.37 \pm 0.07	1.32 \pm 0.16	1.42 \pm 0.10

*=SNK; Yatay satırlar etki süresine bağlı değişimleri, dikey sütunlar derişime bağlı değişimleri ifade etmektedir.

$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ = Aritmetik ortalama \pm Standart hata

Çizelge 4.12 Bakırın belirlenen derişimlerinin etkisinde 7. 15. ve 30. günler sonunda *O. niloticus*'un gonadosomatik indeksi

	Süre		
	7. Gün	15. Gün	30. Gün
Derişim	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}^*$
Kontrol	3.55 ± 1.06	3.65 ± 0.92	3.30 ± 1.178
Ortam Derişimi -1 (44,7 ppb Cu)	1.57 ± 0.74	1.98 ± 0.59	0.90 ± 0.10
Ortam Derişimi -2 (89,4 ppb Cu)	0.56 ± 0.17	1.51 ± 0.67	2.55 ± 0.94
Yem Derişimi -1 (44,7 ppb Cu)	2.13 ± 1.02	1.42 ± 0.33	3.60 ± 0.92
Yem Derişimi -2 (89,4 ppb Cu)	2.18 ± 0.88	1.83 ± 0.64	1.69 ± 0.56

*=SNK; Yatay satırlar etki süresine bağılı değişimleri, dikey sütunlar derişime bağılı değişimleri ifade etmektedir.

$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ = Aritmetik ortalama ± Standart hata

7. 15. ve 30. günlerin sonunda bakır etkisindeki *O. niloticus*'un hepatosomatik ve gonadosomatik indekslerinde, kontrol grubuna göre istatistiksel açıdan farklılık görülmemiştir.

4.2. TARTIŞMA

Su organizmalarında ağır metallerin mortalite üzerine etkileri türün biyolojik özelliklerine ek olarak, ortamın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağılı olarak değişim gösterir ve mortalite oranı belirli bir süre ve derişim aralığı üzerinde hızla artmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda *O. niloticus*'da bakırın 96-saat LC₅₀ değerinin 0,964 ppb olduğu belirtilmiştir [Daramola ve Oladimeji, 1989]. *O. niloticus* ile yürütölen bu çalışmada bakırın 96-saat LC₅₀ değerinin % 5 ve % 10'una karşılık gelen 44,7 ve 89,4 ppb'lik derişimlerinin 7, 15 ve 30 gün süreler ile etkileri araştırılmıştır ve deneklerde mortalite gözlenmemiştir. Mortalitenin gözlenmemesi anılan türün bakırın belirlenen derişim ve sürelerde tolere edilebilmesinden, detoksifikasyon merkezi olan karaciğer ve böbrekte sentezlenen glutatyon ve metallothionein gibi metal bağlayıcı proteinlerin metalleri esterleştirerek toksifikasyonun diğer dokulara yayılmasını engellemesinden kaynaklanabilir.

Balıklar ağır metal etkisi gibi ortam koşullarındaki değişimlere karşı öncelikli tepki olarak davranış değişimi göstermektedirler. Yapılan çalışmalarda bakır etkisi

altında bazı sucul canlılarda başlangıçta besin almama, akvaryum yüzeyine yönelme, yüzme performansında düşme, operkulum hareketlerinde ve solungaçlardan mukus salgılamasında artış, fiziksel etkilere karşı duyarsızlık ve yüzgeç ışınlarında dikleşme gibi değişikliklerin olduğu bildirilmiştir [Khunyakari vd., 2001]. Bu çalışmada da benzer davranış ve morfolojik değişimler gözlenmiş, etkide kalma süresinin uzamasıyla balıkların normale döndüğü gözlenmiştir. Balıklarda gözlenen bu davranış değişikliklerinin metal etkisinde metabolik aktiviteyi minimum düzeye indirerek davranış için gereksinim duyulan enerjiyi değişen ortam koşullarına uyum amacıyla kullanmasından kaynaklanabildiği düşünülmektedir.

Balıklarda ağır metallerin doku birikimi ve toksik etkileri ortam koşullarına bağlı olarak değişim gösterir. Bakır toksisitesinin sertlik, sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen derişimi gibi suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişim gösterdiği bilinmektedir [Nussey vd., 1999]. *O. niloticus* ile yürütülen bu araştırmada ortam koşulları sabit tutularak birikim ve toksisite üzerine etkileri minimum düzeye indirgenmiştir.

Balıklarda ağır metaller düşük derişimlerin uzun süreli etkisinde öncelikle solungaç, karaciğer, böbrek ve dalak gibi metabolik bakımdan aktif dokularda yüksek derişimlerde birikmektedirler [Hogstrand ve Haux, 1990]. *O. niloticus* ile yürütülen bu çalışmada bakırın hem ortam hem besin yolu ile etkisinde yüksek derişimlerde karaciğer, düşük derişimlerde ise kas dokusunda birikim gösterdiği gözlenmiştir. Buckley vd. (1982), *O. kisutch*'da, Kargin (1990), *C. carpio*'da, McGeer vd. (2000), *O. mykiss*'de bakır etkisi altında birikim düzeylerinin ortam derişimi ve etkide kalma süresine bağlı olarak artış gösterdiği, birikimin karaciğer dokusunda daha yüksek seviyelerde olduğunu bildirmişlerdir. Hem besin hem de ortam yolu ile bakır etkisinde birikim düzeylerinin karaciğer dokusunda yüksek olmasının nedeni karaciğerin detoksifikasyon mekanizmasının merkezi olması ve metabolik bakımdan en aktif organ olduğu düşünülmektedir. Kas dokusunda hem ortam hem de besin yolu ile birikim düzeylerinin diğer dokulara oranla daha düşük derişimlerde olması, kas dokusunun metabolik bakımdan daha az aktif olması nedeniyle gerçekleştiği düşünülmektedir. Çeşitli balık türleri ile doğa ve laboratuvar koşullarında yürütülen araştırmalarda kas dokusundaki ağır metal birikiminin böbrek,

karaciğer ve solungaca oranla daha düşük olduğu bildirilmiştir [Miller vd, 1992, Kargın, 1996, Zyadah, 1999, Cicik vd., 2004].

Yapılan çalışmada, *O. niloticus*'da besin ve ortam yolu ile bakır etkisi altında 7. 15. ve 30. günlerin sonunda solungaç dokusunda, birikim düzeylerinin karaciğer, dalak, böbrek ve bağırsak gibi dokulardan daha düşük derişimlerde olduğu tespit edilmiştir. Laurén ve McDonald (1987) ve Grosell vd. (1997), bakırın toksik etkisinin ve birikim düzeylerinin balık solungacında iki fazlı bir döngü gösterdiğini, ilk günlerde solungaç dokularında derişimi hızla yükselen bakırın, etkide kalma süresi arttıkça azalmaya ve kontrol grubuna yakın derişimlere geriledikçe sabitlenmeye başladığını bildirmişlerdir [McGeer vd., 2000].

Colvin (1984), *P. fluviatilis*'in solungaç ve karaciğer dokularında bakır birikim düzeylerinin küçük balıklarda büyüklere göre daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. *L. macrochirus*'da bakır birikimi düzeylerinin sıcaklık artışına bağlı olarak dokularda artış gösterdiğini belirtilmiştir [Felts ve Heath 1984]. *M. galloprovincialis*'de bakır birikim düzeylerine ortam parametrelerinden sıcaklık, tuzluluk, oksijen gibi fiziksel ve kimyasal faktörlerin etki gösterdiğini tespit etmişlerdir [Viarengo vd., 1988].

Kargın (1990), *C. carpio*'nun *T. nilotica*'ya göre bakır toksisitesine daha hassas olduğunu, en yüksek bakır birikim düzeylerinin *C. carpio*'da karaciğerde olurken, *T. nilotica*'da dalakta olduğu bildirmiştir. Diğer bir çalışmada McGeer vd. (2000), *O. mykiss*'de sublethal derişimlerde kronik bakır etkisinde birikim düzeylerinin en fazla karaciğer ve böbrekte olduğu bildirmişlerdir. *O. mykiss*'de besin yolu ile bakır alınımında temel rol oynayan organların karaciğer ve bağırsak olduğunu, ortam yolu ile alınımında ise bu rolü solungaçların üstlendiğini göstermişlerdir [Kamunde vd., 2002b].

Kargın (1996)'da *M. barbatus* ve *S. auratus*'da bakır birikim düzeylerinin karaciğer>solungaç>kas şeklinde olduğunu belirtmiştir. Hollis vd. (2001) ise, *O. mykiss*'de bakırın 30 günlük etkisi altında birikim düzeylerinin karaciğer>böbrek>solungaç şeklinde olduğunu bildirmişlerdir. Legorburu vd. (1988), Urola Nehri'nden avlanan *A. anguilla*, *C. labrosus* ve *S. trutta*'da, aliminyum, demir ve manganezin en çok *A. anguilla*'nın solungaçlarında, kadmiyum ve bakırın ise karaciğerde birikim gösterdiğini belirtmişlerdir. Aynı çalışmada *C. labrosus* ve *S.*

trutta'da metal birikiminin düzeylerinin *A. anguilla*'a göre daha az olduğu tespit etmişlerdir. Avenant-Oldewage ve Marx (2000), *C. gariepinus*'da kromun en fazla solungaç dokusunda, bakır ve demirin ise en fazla karaciğer dokusunda birikim gösterdiğini belirtmişlerdir.

Yapılan çalışmada besin yolu ile 44,7 ppb bakır etkisine bırakılan deneklerin 15. Gün sonunda bağırsak dokularında metal derişimlerinin azaldığı, 30. günde bu düzeylerin tekrar artış gösterdiği saptanmıştır. 15. günde gözlemlenen ve etkide kalma süresine ters orantılı olan bu düşüşün, deneklerin yem almama adaptasyonu ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Buna ek olarak bağırsak dokusunun mukus salınımını artırarak, bir bariyer oluşturduğu ve bu sayede yüksek bakır derişimlerinin kan yolu ile dolaşıma girmesini engelleyerek fekal yoldan atılma gitmiş olabileceği düşünülmektedir [Clearwater vd, 2002].

Ortam yolu ile 89,4 ppb bakır etkisine bırakılan deneklerde 7. gün sonunda bakır birikim düzeylerinin; karaciğer >bağırsak > böbrek = dalak > solungaç = gonad > kas şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Bağırsak dokularında, ortam yolu ile bakır etkisinde birikim düzeylerinin 15. ve 30. güne oranla yüksek olmasının nedeni, deneklerin ortam yolu ile etkide bırakılan bakırı sadece solungaç dokusu ile değil, deri ve yem alımı sırasında içilen ortam suyunun etkisi ile elde etmiş olabileceği düşünülmektedir. Kraal vd. (1995), *C. carpio*'da ortam yolu ile alınan kadmiyumun bağırsak>solungaç>böbrek>karaciğer>kas şeklinde birikim gösterdiğini belirtmişlerdir.

Yapılan çalışmada ortam ve besin yolu bakır etkisine bırakılan deneklerde derişim ve etkide kalma süresine bağlı olarak GSI ve HSI parametrelerinin kontrol grubuna göre anlamlı bir değişim göstermediği tespit edilmiştir.

Sindhe ve Kulkarni (2004), *Notopterus notopterus*'ta cıva klorit ve kadmiyum kloritin GSI ve HSI parametrelerini düşürdüğünü belirtmişlerdir.

Karaytuğ vd. (2007), *O. niloticus*'da bakırın, GSI parametlerini düşürdüğünü fakat HSI parametlerini arttırdığını belirtmişlerdir.

El-Serafy vd. (2013), *O. niloticus*'da bakır, kadmiyum ve bakır+kadmiyumun GSI ve HSI parametrelerini azalttığını belirtmişlerdir.

Elde edilen verilerin sonucunda; bakırın *O. niloticus*'da GSI ve HSI parametreleri üzerine etkisinin olmayabileceği ya da belirlenen süreler ve derişimlerde olası etkilerin görülmemiş olabileceği düşünölmektedir.



5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Sucul ekosistemlerde kirliliğe neden olan kimyasal maddeler arasında ağır metaller üst sırada yer almaktadır. Normal koşullarda doğadaki derişimleri son derece düşük olan ağır metaller, antropojenik faktörler, atmosferik olaylar ve organik kirleticilerin etkisiyle sucul ortamlara katılmakta ve sucul canlılar tarafından alınarak, doku ve organlarda birikmektedir.

Ağır metaller gibi kirleticilerin sucul organizmaların dokularındaki birikim düzeyleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörlere ve alınım yollarına bağlı olarak değişim göstermektedir.

Sunulan bu çalışmayla eser ağır metallerden bakırın *O. niloticus*'da farklı alınım yollarının doku birikim düzeyleri, GSI ve HSI üzerine etkileri araştırılmış ve toksik etkileri ifade edilmeye çalışılmıştır.

Sonuç olarak bakırın ortam ve besin yolu ile alındığında doku ve organlarda farklı düzeylerde birikim gösterdiği tespit edilmiştir. Sunulan çalışmada ortam ve besin yolu ile bakır etkisinde, derişim ve süreye bağlı olarak en yüksek birikimin düzeylerinin karaciğerde, en düşük birikim düzeylerinin ise kas dokularında olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra belirlenen derişim ve etkide kalma sürelerinde bakırın ortam ya da besin yolu ile *O. niloticus*'da GSI ve HSI parametreleri üzerine etki etmediği belirlenmiştir.

İleride yapılacak çalışmalarda bakır ya da diğer metallerin farklı alınım yollarının glutatyon ve metallothionein seviyelerine etkileri, hedef organlarda oluşturabileceği histopatolojik ve morfolojik değişimlerin araştırılması bu etkilerin daha belirgin şekilde ortaya çıkarılması açısından önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Aaseth, J. ve Norsenth, T., Friberg, L., Nordberg, G.F., ve Vouk, V. (Eds), "Handbook on the Toxicology of Metals", 2nd ed., Elsevier Science Publishers, Amsterdam , 233, (1986).
- Amiard, J. C. "Experimental Study of Acute Toxicity of Salts of Cobalt, Antimony, Strontium and Silver Crustaceans and Their Larvae and in Some Teleosts". Rev. Int. Oceanog. Med. (Yug), 43, 79; Sel Water Resources Abs., 10: W77-07728, (1976).
- Amundsen, P-A, Staldvik J.F., Lukin, A. A., Kashulin A. N., Popava A. O. and Reshetnikov, S. Y. "Heavy Metal Contamination in Freshwater Fish from the Border Region between Norway and Russia". The Science of the Total Environment, 201: 211-224, (1997).
- Authman, M.M.N. "*Oreochromis niloticus* as a Biomonitor of Heavy Metal Pollution with Emphasis on Potential Risk and Relation to Some Biological Aspects". Global Veterinaria, (3): 104-109, (2008).
- Avenant-Oldewage, A. and Marx, H. M. "Bioaccumulation of chromium, copper and iron in the organs and tissues of *Clarias gariepinus* in the Olifants River, Kruger National Park". *Water sa-pretoria-*, 26(4): 569-580, (2000).
- Bailey, S.E., Olin T.J., Bricka, R.M. ve Adrian, D.D., " A Review of Potentially Low Costs Sorbents for Heavy Metals", Research, 33(11):2469-2479, (1999).
- Bettini, S., Ciani, F. and Franceshini, V. "Recovery of the Olfactory Receptor Neurons in the African *Tilapia mariae* Following Exposure to Low Copper Level", Aquatic Toxicology, 76:321-328, (2006).
- Bielmyer, G. K., Gatlin, D., Isely, J.J., Tomasso, J. and Klaine, S. J. "Responses of hybrid striped bass to waterborne and dietary copper in freshwater and saltwater", Comparative Biochemistry and Physiology, Part C 140:131–137, (2005)
- Blanchard, J. and Grosell, M. "Effects of Salinity on Copper Accumulation in the Common Killifish (*Fundulus heteroclitus*)". Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 24 (6): 1403-1413, (2005).
- Buckley, J.T., Roch, M., McCarter, J.A. Rendell, C.A. and Matheson, A.T. "Chronic Exposure of Coho Salmon to Sublethal Concentrations of Copper-I. Effect on

- Growth, on Accumulation and Distribution of Cupper and on Copper Tolerance”, *Comp. Biochem. Physiol.*, 72C, (1): 15-19. (1982).
- Buddington, R.K., ve Kuz'mina, V. “Digestive System”, *The laboratory Fish*, (Editör: Olander, G.K.), Academic Press, New York, 678s., (2000).
- Campbell, G.C, Clearwater, S.J., Brown, P.B., Fisher, N.S., Hogstrand, C., Loper, G.R., Mayer, M. L. and Meyer, J.S, “Digestive Physiology, Chemistry and Nutrition”, *Toxicity of Dietborne Metals to Aquatic Organisms*, 1st ed., (Editör: Meyer J.S.), Pensacola (FL): Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), Canada, 13-102, (2005).
- Canlı, M., and Atlı, G. “The Relationships Between Heavy Metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) Levels and the Size of Six Mediterranean Fish Species”. *Environmental Pollution*, 121: 129–136, (2003).
- Canpolat, Ö. ve Çalta, M. “Keban Baraj Gölünden (Elazığ) Yakalanan *Acanthobrama marmid* (Heckel, 1843)'de Bazı Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi”, *Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi*, 13(2):263-268, (2001).
- Chowdhury, M. J., Baldisserotto, B. and Wood, C.M., “Tissue-Specific Cadmium and Metallothionein Levels in Rainbow Trout Chronically Acclimated to Waterborne or Dietary Cadmium”, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 48:381–390, (2005).
- Cicik, B. “*Tilapia nilotica*'da Bakırın Karaciğer ve Kas Dokularında Nicel Protein Değişimlerinin Etkileri”. Master Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana. (1991).
- Cicik, B. “Bakır-Çinko Etkileşiminin Sazan (*Cyprinus Carpio*)'nın Karaciğer, Solungaç ve Kas Dokularındaki Metal Birikimi Üzerine Etkileri”, *Ekoloji Çevre Dergisi*, Cilt 12, Sayı 48: 32-36, (2003).
- Cicik, B., Ay, Ö. and Karayakar, F. “Effects of lead and Cadmium and Candmium Interactions on the Metal Accumulation in Tissue and Organs of the Nile *Tilapia (Oreochromis niloticus)*” *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 72: 141-148, (2004).
- Clearwater, S.J., Farag, A.M., Meyer, J.S., “Bioavailability and toxicity of dietborne copper and zinc to fish”, *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 132: 269–313, (2002).
- Cogun, H. Y. and Kargın, F. “Effects of pH on the Mortality and Accumulation of Copper in Tissues of *Oreochromis niloticus*”. *Chemosphere*, 55: 277–282, (2004).

- Cogun, H. Y., Kargın, F. and Yuzereroglu T. A. “Accumulation of Copper and Cadmium in Small and Large Nile Tiapia *Oreochromis niloticus*”. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 71: 8523-8528, (2003).
- Colvin, L. “Uptake of Copper in the Gills and Liver of Perch, *Perca fluviatilis*”. Ecological Bulletins, 36: 57-61, (1984).
- Daramola, J. A. and Oladimeji, A. A. Accumulation of copper in *Clarias anguillaris L.* and *Oreochromis niloticus L.* Water, Air, and Soil Pollution, 48(3-4): 457-461, (1989).
- De Boeck, G., Van der VEN, K., Meeus, W. and Blust, R. “Sublethal Copper Exposure Induces Respiratory Stress in Common and Gibel Carp but not in Rainbow Trout”. Comparative Biochemistry and Physiology, Part C, 144: 380–390, (2007).
- Deconto-cinier, C., Petit-ramel, M., Faure, R., Garin, D. and Bouvet, Y. “Kinetics of Cadmium accumulation and elimination in carp *Cyprinus carpio* Tissues”. Comp. Biochem. Physiol., 122(C): 345-352, (1999).
- Dethloff, G. M. Schelenk, D., Khan, S. and Bailey, H. C. “The Effects of Copper on Blood and Biochemical Parameters of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*)”. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 36: 415-423, (1999).
- Eisler, R., “Handbook Of Chemical Risk Assessment Health Hazards to Humans, Plants, and Animals”, Vol 1, United States of America, 844s, (2000).
- El-Serafy, S. S., Zowail, M. E., Abdel-Hameid, N. A. H., Awwad, M. H., & Omar, E. H. Effect of Dietborne Cu and Cd on Body Indices of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) with Emphasis on Protein Pattern. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 13(4) (2013).
- Erdem, C. ve Kargın, F. “*Cyprinus carpio* ile *Tilapia nilotica* 'nın Karaciğer, Dalak, Bağırsak, Solungaç ve Kas Dokularındaki bakır birikiminin Karşılıklı olarak araştırılması”, *Biyokimya Dergisi*, 7(1): 13-27, (1992).
- Evans, D.H., “The Physiology of Fishes”, 2nd ed., CRC Press, Florida, (1993)
- Farag, A. M., Boese, C. J., Bergman, H. L. and Woodward, D. F. “Physiological changes and tissue metal accumulation in rainbow trout exposed to foodborne and waterborne metals”. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 13(12): 2021-2029, (1994).
- Felts, P. A. and Heath, A. G. “Interaction of Temperature and Sublethal Environmental Copper Exposure on the Energy Metabolism of Bluegill, *Lepomis macrochirus Rafinesque*”. *J. Fish Biol.*, 25: 445-453, (1984).

- Gbem, T.T, Balogun, J.K., Lawal, F.A. and Annune, P.A. “Trace Metal Accumulation in *Clarias gariepinus* (Teugels) Exposed to Sublethal Levels of Tannery Effluent”, *The Sciences of the Total Environment*, 271:1-9, (2001).
- Goyer, R.A., Klaassen, C.D, Amdur, M.O. ve Doull, J. (Eds). “Casarett and Doull’s Toxicology The Basic Science of Poisons”. Macmillian Publ. Co., New York, 582, (1986).
- Grosell, M. H., Hogstrand, C., & Wood, C. M. Cu uptake and turnover in both Cu-acclimated and non-acclimated rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquatic Toxicology*, 38(4), 257-276 (1997).
- Göksu, M.Z.L., Akar. M., Çevik, F. and Findik, Ö. “Bioaccumulation of Some Heavy Metals (Cd, Fe, Zn, Cu) in Two Bivalvia Species (*Pinctada radiata* Leach, 1814 and *Brachidontes pharaonis* Fischer, 1870)”. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 29, 89-93, (2005).
- Halver J. and W.R Hardy. *Fish Nutrition*, Academic Press., Elsevier Science, Third Edition, 417-423, USA (2002).
- Handy, R. D. “Chronic Effects of Copper Exposure Versus Endocrine Toxicity: Two Sides of the Same Toxicological Process”, *Comp. Biochem. Physiol.*, 135A: 25-38, (2003).
- Handy, R.D., Eddy, F.B., and Baines, H. “Sodium-Dependent Copper Uptake Across Epithelia: A Review of Rationale with Experimental Evidence from Gill and Intestine”. *Biochimica Et Biophysica Acta*, 1566: 104-115, (2002).
- Hashemi, S., Blust, R. and De Boeck, G. “The Effect of Starving and Feeding on Copper Toxicity and Uptake in Cu Acclimated and Non- Acclimated Carp”. *Aquat.Toxicol.*, 86:142–147, (2008).
- Heath, A. G. “Water Pollution and Fish Physiology”, CRC Press, Inc. Boca Rotan, Florida, 245, (1995).
- Hilmy, A.M., El-domiaty, N.A., Daabees, A.Y. and Abdel Latife, H.A. “Some Physiological and Biochemical Indices of Zinc Toxicity in Two Freshwater Fish, *Clarias lazera* and *Tilapia zilli*”. *Comp.Biochem.Physiol.*, 87C (2): 297-301. (1987).
- Hollis, L. K., McGeer, J.C., McDonald, D.G. and Wood, C.M. “Effects of Long Term Sublethal Cd Exposure in Rainbow Trout during Soft Water Exposure: Implications for Biotic Ligand Modelling”. *Aquatic Toxicology*, 51: 93–105, (2000).
- Hollis, L., Hogstrand, C. and Wood, C. M. “Tissue Specific Cadmium Accumulation Metallothionein Induction and Tissue Zinc and Copper Ligands during Chronic

- Sublethal Cadmium Exposure in Juvenile Rainbow Trout”, Arch. Environ. Contam. Toxicol., 41(4): 468-474, (2001).
- Horning, W.B. and Neiheisel T.W. “Chronic Effect of Copper on the Bluntnose Minnow, *Pimephales notatus* (Rafinesque)”. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 8:545-552, (1979).
- Hogstrand, C., & Haux, C. Metallothionein as an indicator of heavy-metal exposure in two subtropical fish species. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 138(1), 69-84 (1990).
- Kamunde, C., Grosell, M., Higgs, D. and Wood, C.M., “Copper metabolism in actively growing rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): interactions between dietary and waterborne copper uptake”, *The Journal of Experimental Biology*, 205:279–290, (2002a).
- Jeziarska, B. and Witeska, M. “The Metal Uptake and Accumulation in Fish Living in Polluted Waters, Soil and Water Pollution Monitoring”, *Protection and Remediation*, 3(23): 107-113 (2006).
- Kamunde, C., Clayton, C., and Wood, C.M. “Waterborne vs. Dietary Copper Uptake in Rainbow Trout and the Effects of Previous Waterborne Copper Exposure”. *American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 283: 69-78, (2002b).
- Karayakar, F., Erdem, C., and Cicik, B. “Seasonal variation in copper, zinc, chromium, lead and cadmium levels in hepatopancreas, gill and muscle tissues of the mussel *Brachidontes pharaonis* (Fischer, 1870) collected along the Mersin coast, Turkey”. *Bulletin of environmental contamination and toxicology.*, 79(3): 350-355, (2007).
- Karaytuğ, S., Erdem, C. and Cicik, B. “Accumulation of Cadmium in the Gill, Liver, Kidney, Spleen, Muscle and Brain Tissues of *Cyprinus carpio*”. *Ekoloji*, 63(16): 16-22. (2007a).
- Karaytuğ, S., Erdem, C., Cicik, B. and Ay, Ö. “Effects of Copper on Hepatosomatic Index, Gonadosomatic Index and Condition Factor of *Oreochromis niloticus* (L., 1758)”, *Fresenius Environmental Bulletin.*, 16(11a):1355-1358, (2007b).

- Kargın, F. ve Erdem, C. “*Cyprinus carpio*'da Bakırın Karaciğer, Dalak, Mide, Barsak, Solungaç ve Kas Dokularındaki Birikimi”, *Doğa-Tr. J. of Zoology*, 15, 306-314, (1991).
- Kargın, F. “*Cyprinus carpio* ve *Tilapia nilotica*'da Doku ve Organlardaki Birikimi ile Mortalite Üzerine Etkisi”, *Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı Doktora Tezi*, 68 s., (1990).
- Kargın, F. “Seasonal Changes in Levels of Heavy Metals in Tissues of *Mullus barbatus* and *Sparus aurata* Collected From Iskenderun Gulf (Turkey)”. *Water, Air and Soil Pollution*, 90: 557-562, (1996).
- Kayhan F.E., Muşlu M. N. ve Koç D. K., “Bazı Ağır Metallerin Sucul Organizmalar Üzerinde Yarattığı Stres ve Biyolojik Yanıtları” *Journal of Fisheries Science* 3(2): 153-162 (2009).
- Khunyakari, R. P., Tare V. And Sharma, R. N. “Effects of Some Trace Heavy Metals on *Poecilia reticulata* (Peters)”, *Journal of Enviromental Biology.*, 22(2): 141-144, (2001).
- Kraal, M., Kraak, M.H., Groot, C.J. and Davids, C. “Uptake and Tissue Distribution of Dietary and Aqueous Cadmium by Carp (*Cyprinus carpio*)”, *Ecotoxicol. Environ. Safety*, 31:179-183, (1995).
- Kruger, T. “Effects of Zinc, Copper and Cadmium on *Oreochromis mossambicus* Free-Embryos and Randomly Selected Mosquito Larvae as Biological Indicators during Acute Toxicity Testing”. MSc Thesis, Rand Afrikaans University, South Africa, 4: 55-115, (2002).
- Langston, W.J., Chesman, B.S., Burt, G.R., Pope, N.D. and McEvoy, J. “Metallothionein in Liver of Eels *Anguilla anguilla* from the Thames Estuary: An Indicator of Environmental Quality”. *Mar. Environ. Res.*, 53(3): 263-293 (2002).
- Larsson, A., Haux, C and Sjobeck, M. “Fish Physiology and Metal Pollution: Results and Experiences from Laboratory and Field Studies”. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 9: 250-281, (1985).
- Laurén, D. J., & McDonald, D. G. Acclimation to copper by rainbow trout, *Salmo gairdneri*: biochemistry. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 44(1), 105-111 (1987).

- Legorburu, I., Canton, L. and Casado, A. “Trace Metal Levels in Fish From Urola River (Spain) *Anguillidae*, *Mugillidae* and *Salmonidae*”. *Environmental Technology Letters*, 9: 1373-1378, (1988).
- Lehninger, A.L. “Biochemistry”, Worth Publ. Inc., New York, 1104 s, (1975).
- Levesque, H.M., Moon, T.W., Campbell, P.G.C., and Hontela, A., “Seasonal Variation in Carbonhydrate and Lipid Metabolism of Yellow Perch (*Perca flavescens*) Chronically Exposed to Metals in the Field”, *Aquatic Toxicology*, 60(3-4):257-267, (2002).
- Martínez A.M. and Vázquez B.P.C. “Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, México, Reproductive activity and condition index of *Holacanthus passer* (*Teleostei:Pomacanthidae*) in the Gulf of California”, Mexico, Pg.1-3, Centro Interdisciplinario De Ciencias Marinas, Mexico (2001).
- McGeer, J.C., Szebedinszky, C., McDonald, D.G., and Wood, C.M. “Effects of Chronic Sublethal Exposure to Waterborne Cu, Cd or Zn in Rainbow Trout”. 1: Iono-regulatory Disturbance and Metabolic Costs. *Aquatic Toxicology*, 50: 231–243, (2000).
- Miller, P. A., Munkittrick, K. R., & Dixon, D. G. Relationship between concentrations of copper and zinc in water, sediment, benthic invertebrates, and tissues of white sucker (*Catostomus commersoni*) at metal-contaminated sites. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49(5), 978-984 (1992).
- Moterio, S. M., Mancera J. M. Fontainhas-Fernandes, A. and Sousa, M. “Copper Induces Alterations of Biochemical Parameters in the Gill and Plasma of *Oreochromis niloticus*”, *Comp. Biochem. Physiol.*, 141C: 375-383, (2002).
- Muramoto, S. “Elimination of copper from Cu-contaminated fish by long-term exposure to EDTA and fresh water”. *Journal of Environmental Science & Health Part A*, 18(3): 455-461, (1983).
- Nguyen, L. T. H. and Janssen, C. R. “Embryo-Larval Toxicity Tests with the African Catfish (*Clarias gariepinus*): Comparative Sensitivity of Endpoints”. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 42: 256–262, 2002.
- Nordberg, G.F., Fowler, B.A., Nordberg, M. and Friberg, L. “Handbook on the Toxicology of Metals”, 3rd Edition, Academic Press, 969s, (2007).

- Nunes, D.M., M.S. Hartz. Feeding Dynamics and Ecomorphology of *Oligosarcus jenynsii* (Gunther, 1864) and *Oligosarcus robustus* (Menezes, 1969) in the Lagoa Fortaleza, Southern Brazil, Pg.1-13, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, Brazilian Journal of Biology (2001).
- Nussey, G., Van Vuren, J. H. J., & Du Preez, H. H. Bioaccumulation of aluminium, copper, iron and zinc in the tissues of the moggel from Witbank Dam, Upper Olifants River Catchment (Mpumalanga). *South African Journal of Wildlife Research*, 29(4), 130-144 (1999).
- Olsson, P.E., Kling, P, and Hogstrand, C. “Mechanisms of Heavy Metal Accumulation and Toxicity in Fish”, Metal Metabolism in Aquatic Environments, 1st ed., (Editörler: Langston, W.J., ve Bebianno, M.J.), Chapman&Hall, London, 312-350, (1998).
- Powell, D.B. “Immune Sytem”, The laboratory Fish, (Editör: Olander, G.K.), Academic Press, New York, 678s., (2000).
- Reichert, W. L., Federigh, D. A. and Malins, D. C. “Uptake and Metabolism of Lead and Cadmium in Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*)”. *Comp. Biochem. Physiol.*, 63 C: 229-234, (1979).
- Romeo, M., Yves Siau, Zeinabou, S. and Gnassia – Barelli, M. “Heavy Metal Distribution in Different Fish Species from the Mauritania Coast”. *The Science of the Total Environment* 232: 169-175, (1999).
- Shaw, B. J. and Handy, R. D. “Dietary copper exposure and recovery in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*”. *Aquatic Toxicology*, 76(2): 111-121, (2006).
- Sindhe, V. R., & Kulkarni, R. S. Gonadosomatic and hepatosomatic indices of the freshwater fish *Notopterus notopterus* (Pallas) in response to some heavy metal exposure. *Journal of environmental biology/Academy of Environmental Biology, India*, 25(3), 365-368 (2004).
- Sokal, R.R. and Rohlf, F.J. “Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research”, 3rd edition. W.H. Freeman and Co., New York, 887s. (1995).
- Stagg, R.M. and Shuttleworth, T.J. “The Effects of Copper on Ionic Regulation by the Gills of the Seawater-Adapted Flounder (*Platichthys flesus* L.)”. *Journal of Comparative Physiology*, 149: 83-90, (1982).
- Stemann Nielsen, E. and Wium-Andersen, S. “Copper Ions As Poison in the Sea and in Freshwater”. *Marine Biology*. 6: 93-97, (1970).

- Tania, Y., Ng, T. and Wood, C. M. “Trophic transfer and dietary toxicity of Cd from the oligochaete to the rainbow trout”, *Aquatic Toxicology*, 87: 47–59, (2008).
- U.S.Epa (United States Environmental Protection Agency), “Update of Ambient Water Quality Criteria for Copper”, Office of Water Office of Science and Technology Washington, DC, EPA822-R-03-026, CAS Registry Number 7440-50-8, November (2003).
- Van Heerden, D., Tiedt, L. and Vosloo, A. “Gill Damage in *Oreochromis mossambicus* and *Tilapia sparrmanii* after Short-Term Copper Exposure”. *International Congress Series* 1275: 195–200, (2004).
- Viarengo, A., Mancinelli, G., Orunesu, M., Martino, G., Faranda, F. and Mazzucotelli, A. “Effects of Sublethal Copper Concentrations, Temperature, Salinity and Oxygen Levels on Calcium Content and on Cellular Distribution of Copper in the Gills of *Mytilus galloprovincialis* Lam: A Multifactorial Experiment”. *Marine Environmental Research*. 24: 227- 231, (1988).
- Viarengo, A., Mancinelli, G., Pertica, M., Fabbri, R. and Orunesu, M. “Effects of heavy metals on the Ca²⁺-ATPase activity present in gill cell plasma-membrane of mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lam.)”, *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 106 (3): 655-660, (1993).
- Witeska, M. and Jezierska, B. “The Effects of Environmental Factors on Metal Toxicity to Fish (Review)”. *Fresenius Environmental Science*, 12(8): 824- 829, (2003).
- Xu, Y. ve Wang, W.X. “Exposure and potential food chain transfer factor of Cd, Se and Zn in marine fish *Lutjanus argentimaculatus*”, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 238: 173–186, (2002).
- Zyadah, M.A. “Accumulation of Some Heavy Metals in *Tilapia zilli* Organs from Lake Manzalah Egypt”, *Tr. J. of Zoology*, 23:(367-372), (1999).

ÖZGEÇMİŞ VE ESERLER LİSTESİ

Adı Soyadı: Mehmet Hüseyin AK

Doğum Tarihi: 08/08/1987

Öğrenim Durumu: Lisans mezunu

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lise			2001-2004
Lisans	Su Ürünleri Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2004-2011
Yüksek Lisans	Su Ürünleri	Mersin Üniversitesi	2012-2015

