

Araştırma Makalesi  
Research Article**Bakırın (Cu<sup>+2</sup>) Gökkuşığı Alabalığı  
(*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792) Üzerine Akut Toksisitesi**Cafer BULUT<sup>1\*</sup>, Osman ÇETİNKAYA<sup>2</sup>, Ayşegül KUBİLAY<sup>2</sup><sup>1</sup>Eğirdir Su Ürünleri Araştırma İstasyonu Müdürlüğü, Eğirdir/Isparta<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Doğu Kampüsü 32260 Isparta\* Sorumlu yazar: Tel: (0246) 313 3460-121 Faks: (0246) 313 3463  
e-posta: caferbulut@gmail.com

Geliş Tarihi: 06.06.2013

Kabul Tarihi: 23.09.2013

**Abstract****Acute Toxicity on Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792) of Copper (Cu<sup>+2</sup>)**

In this study it was aimed to determine acute toxicity of copper on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). In the experiments were used rainbow trout which have average length of  $5.86 \pm 0.04$  cm and weights  $2.09 \pm 0.05$  g. The test fish were exposed to following concentrations of copper (0.0778, 0.1296, 0.216, 0.36, 0.60, 1.00, 1.667, 2.778, 4.63, 7.717 and 12.862 mg/L) for 24-96 hours. In preparation of test solutions copper sulphate and artesian water which has temperature  $13.2^\circ\text{C}$ , hardness 360 mg/L CaCO<sub>3</sub> and 6.03 mg/L DO. Test fish were placed in plastic containers to replications experimental groups as hourly and daily morphological observations were made and recorded time of death in acute toxicity test. In copper-acute toxicity test were used oxygen assisted static bioassay method for 24-96 hour intervals. Data obtained from the copper acute toxicity tests were evaluated using the Probit Analysis to LC<sub>50</sub> and LT<sub>50</sub>. LC<sub>50</sub> copper concentrations values were ranged between 1.054 mg/L were observed. 1.837-1.054 mg/L for 96-hour, LC<sub>50</sub> value 1.054 mg/L for rainbow trout for 96-hour. The longer the duration of copper showed a decrease in the value of LC<sub>50</sub>. LC<sub>50</sub> value of the application factor is applied (1.054x0.1) to smelt copper maximum acceptable concentration (safe concentration), 0.1054 mg/L Cu<sup>+2</sup>, respectively. Lethal concentration, depending on the time interval is 1 hour and 25 minutes to 65 hours 31 minutes LT<sub>50</sub> values ranged and decreases the concentration of copper have been found. During the experiment, the surface concentrations of fish depending on the movements of assembly and also the opposite effect and side swims away from a fast-moving, uncontrolled swimming, to escape out of the water movement, perpendicular to the water, swimming, breathing movements are observed approaching the surface of the water. As a result, in the light of other fish rainbow trout were found to be more durable than many fish.

**Keywords:** Acute toxicity, *Oncorhynchus mykiss*, rainbow trout, copper, LC<sub>50</sub>, LT<sub>50</sub>**Özet**

Bu çalışmada bakırın gökkuşığı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) üzerine akut toksisitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Denemelerde ortalama boyları  $5.86 \pm 0.04$  cm ve ağırlıkları  $2.09 \pm 0.05$  g olan gökkuşığı alabalıkları kullanılmıştır. Test balıklarına bakır sülfat çözülerek hazırlanan 0.0778, 0.1296, 0.216, 0.36, 0.60, 1.00, 1.667, 2.778, 4.63, 7.717 ve 12.862 mg/L Cu<sup>+2</sup> iyonu 24-96 saat ile uygulanmıştır. Denemede sıcaklığı  $13.2^\circ\text{C}$ , sertliği 360 mg/L CaCO<sub>3</sub>, çözülmüş oksijeni 6.03 mg/L olan artezyen suyu kullanılmıştır. Balıklar plastik kaplara 2 tekerrürlü olarak yerleştirilip, deneme gruplarında saatlik ve günlük olarak gözlemler yapılmış, ölen balık sayıları ve ölüm süreleri kaydedilerek akut toksisite testi gerçekleştirilmiştir. Bakır akut toksisite testinde statik biyo-deney yöntemi uygulanmış, 24-96 LC<sub>50</sub> ve LT<sub>50</sub> değerleri probit analiziyle belirlenmiştir. Gökkuşığı alabalığı için 96 sa Cu<sup>+2</sup> LC<sub>50</sub> 1.054 mg/L olarak belirlenmiştir. Maruz bırakma süresi uzadıkça LC<sub>50</sub> düşmektedir. Aplikasyon faktörü (0.1) alındığında gökkuşığı alabalığı için maksimum kabul edilebilir konsantrasyon 0.1054 mg/L Cu<sup>+2</sup> olarak hesaplanmıştır. LT<sub>50</sub> konsantrasyona bağlı olarak 1 sa 25 dk ile 65 sa. 31 dk arasında değişmiş, konsantrasyonu azaldıkça LT<sub>50</sub> uzamıştır. Deneme süresince konsantrasyonlara bağlı olarak balıklarda yüzeyde toplanma, ters ve yan yüzme, hızlı ve kontrolsüz yüzme, suyun dışına kaçma hareketleri, su yüzeyine dik yüzmeler, su yüzeyine yaklaşım hareketleri gözlemlenmiştir. Diğer balıklarla yapılan çalışmaların sonuçlarıyla kıyaslandığında gökkuşığı alabalığının bakır toksisitesine birçok balıktan daha dayanıklı olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Akut toksisite, *Oncorhynchus mykiss*, gökkuşığı alabalığı, bakır, LC<sub>50</sub>, LT<sub>50</sub>

## Giriş

Günümüzde artan endüstriyel gelişim, kentleşme, nüfus artışı ve yoğun tarımsal ilaç uygulamaları, hızlı bir şekilde ortaya çıkan ve aşırı düzeylere ulaşan çevre kirliliğine neden olmaktadır. Oluşan bu kirlilikte metal ve metal bileşiklerde önemli etkenler arasında bulunmaktadır. Karasal ortamlarda ortaya çıkan atıklar, çeşitli yollarla sucul alanlara taşınmaktadır. Bunun yanında su kaynaklarının kirlenmesine asıl neden olan etkenlerin başında, sulara direkt deşarj edilen endüstriyel ve evsel atıklar gelmektedir (Bilgili vd., 1995).

Ortama bırakılan bu atıklar zamanla çürüyüp çevreye dönmekte ve teknolojinin yoğun olarak ürettiği kalıcı toksik maddeler ve ağır metaller çevrede her geçen gün biraz daha birikmektedir. Tehlikeli boyutlarda ağır metal deşarjları neticesinde doğal suların kalitesi bozulmaktadır. Doğal sularda çeşitli tuzlar halinde bulunan ağır metaller genel olarak her türden su canlısına akut toksik etkiye sahiptir (Bilgili vd., 1995).

Bakır, sucul ortamlarda genellikle eser miktarlarda bulunmakla birlikte gerek doğal gerekse endüstriyel, madencilik ve tarımsal aktiviteler gibi temelde antropojenik kaynaklı faktörlerin etkisi ile giderek artan derişimlerde bulunurlar. Bunun bir sonucu olarak, balıkların da içinde bulunduğu sucul organizmalar metallerin artan derişimlerinin etkisinde kalırlar (Cicik, 2003).

Bakır, ağır metal kirlenmesi olarak çevrede çok bulunan, mikroorganizma, bitki, hayvan ve insanlara belirli konsantrasyonların üzerinde zehirlilik etkisi gösteren ağır metallerden birisidir (Dunn ve Bull, 1983). Bakırın elektrik endüstrisinde, sucul vejetasyonu kontrol etmede, gübre ve pestisidlerin bileşiminde tarımda yaygın bir şekilde kullanımı, sucul ortamlara katılımını arttırarak doğal düzeyinin

aşılmasına neden olur (Nussey vd., 1995).

Bakır, bakır sülfat olarak ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) özellikle zirai ve tarımsal alanlarda yoğun bir şekilde kullanılan bir metaldir. Bakır sülfat, kültür balıkçılığında fungal ve paraziter hastalıkların tedavisinde, tarım alanlarında bitkileri tahrip eden zararlılarla mücadelede, havuzlarda zararlı otların yok edilmesinde ve su bitkilerinin büyümesinin kontrol altında tutulmasında sıkça kullanılan kimyasal maddelerden biridir (Boyd, 1982; Arda vd., 2002). Bakır sülfat ayrıca su ürünleri yetiştiriciliğinde yoğun bir şekilde dezenfektan ve tedavi edici olarak kullanılmaktadır (Timur ve Timur, 2003).

Bu çalışmamızda ise bakırın gökkuşağı alabalığına (*Oncorhynchus mykiss*) olan akut toksisitesinin araştırılması amaçlanmıştır.

## Materyal ve Metot

Denemeler Eğirdir Su Ürünleri Araştırma İstasyonu Müdürlüğü Hastalık Laboratuvarı'nda yürütülmüştür. Deneme Haziran 2011'de gerçekleştirilmiştir. Çalışma boyunca iki farklı deneme ortamı kurulmuştur.

Akut toksisite çalışmalarında 3-6 cm. büyüklüğündeki balıkların kullanılmasının uygun olduğu bildirilmiştir (Anonim, 1989). Bakır ile akut toksisite denemesinde ise ortalama boy ve ağırlıkları  $5.86 \pm 0.044$  cm;  $2.09 \pm 0.052$  g olan 240 adet gökkuşağı alabalığı kullanılmıştır. Balıklar, Isparta Çukur Deresi üzerinde kurulu bir alabalık işletmesinden temin edilmiş ve Müdürlüğümüz Kuluçkahanesi'ne getirilerek tanklara alınmış ve adaptasyon süresince (7 gün) bekletilmiştir.

Denemede İstasyon Müdürlüğümüz'ün Eğirdir Birimi'nin sıcaklığı  $13.2$  °C, pH  $7.80$ , sertliği  $360$  mg/L  $\text{CaCO}_3$ , çözülmüş oksijeni  $6.03$  mg/L, elektriksel iletkenliği  $460$   $\mu\text{mhos/cm}$  olan kuluçkahane suyu kullanılmıştır.

Denemede Sigma-Aldrich marka teknik saflıkta bakır sülfat ve 24 adet 5 L'lik plastik kaplar kullanılmıştır. Denemede kullanılan konsantrasyon oranları Sönmez ve Çetinkaya (2003b)'ya göre hazırlanmıştır. Test balıklarına bakır sülfat çözülerek hazırlanan 0.0778, 0.1296, 0.216, 0.36, 0.60, 1.00, 1.667, 2.778, 4.63, 7.717 ve 12.862 mg/L  $\text{Cu}^{+2}$  iyonu 24-96 saat süre ile uygulanmıştır.

Deneme boyunca suyun fiziko-kimyasal parametreleri kontrol edilmiş, deneme gruplarında saatlik ve günlük ölümler ile morfolojik gözlemler kaydedilmiştir. Akut toksisite testi oksijen takviyeli statik biyo-deney (O-SBD) olarak gerçekleştirilmiştir.

Deneme sonuçlarının hesaplanması ve değerlendirilmesinde kullanılan parametreler ise kaçınma reaksiyonu, %95 güven sınırları,  $\text{LC}_{50}$  konsantrasyonu, uygulama faktörü bir diğer ifade ile güvenli konsantrasyon,  $\text{LT}_{50}$  ölüm zamanı olarak belirlenmiştir (Alabaster ve Lloyd, 1982; Sönmez ve Çetinkaya, 2003a). Gökkuşığı alabalığına bakırın akut toksisitesini belirlemek için yapılan bu çalışmada süre (maruz bırakma periyodu) 96 saat; akut toksisite ölçüsü olarak hareket, solunum, denge bozuklukları ve ölüm seçilmiştir.

### İstatistiksel Analizler

Deneme de elde edilen verilerin istatistiksel analizinde probit regresyon analizi kullanılmıştır. Probit regresyon analizi; değişkenlerin uygulanan muamele seviyesi ya da zamana göre davranışını yorumlamaktadır.

En iyi muamele seviyesini ya da kombinasyonunu tahmin etme gibi ek bilgiler sağlar (Sönmez ve Çetinkaya, 2003a). Bu çalışmada probit analizi SPSS 17.0 paket programı yardımıyla yapılmıştır. Önem seviyesi olarak  $p < 0.05$  kullanılmıştır.

### Bulgular

#### Akut Bakır Toksikite Testi Bulguları

Denemenin yürütüldüğü 4 gün boyunca 0.0778 mg/L ( $A_1$ - $A_2$ ), 0.1296 mg/L ( $B_1$ - $B_2$ ), 0.216 mg/L ( $C_1$ - $C_2$ ), 0.36 mg/L ( $D_1$ - $D_2$ ) ve 0.60 mg/L ( $E_1$ - $E_2$ ) deneme gruplarında herhangi bir ölüm görülmemiştir. Balıkların morfolojik gözlemlerinde de herhangi bir olumsuzluğa rastlanılmamıştır. İlk 24 saat içinde 12.862 mg/L ( $L_1$ - $L_2$ ), 7.717 mg/L ( $K_1$ - $K_2$ ), 4.63 mg/L ( $\dot{I}_1$ - $\dot{I}_2$ ) gruplarında bulunan gökkuşığı alabalıklarının ise tamamında ölümler gözlenmiştir. 1.667 mg/L ( $G_1$ - $G_2$ ) ve 2.778 mg/L ( $H_1$ - $H_2$ ) deneme gruplarının tamamı ise 48 saat içinde ölmüştür. 1.00 mg/L ( $F_1$ / $F_2$ ) deneme grubunda 4 günlük deneme sonunda %75'lik ölüm gözlenmiştir (Çizelge 1).

12.862 mg/L konsantrasyonda ilk ölüm 15. dakikada görülürken, konsantrasyonun azalmasıyla ilk ölüm zamanının da arttığı görülmektedir. 1.00 mg/L konsantrasyona tabi tutulan deneme grubunda bu süre 17 saat 15 dakikaya çıkmaktadır. 0.0778 mg/L, 0.1296 mg/L, 0.216 mg/L, 0.36 mg/L ve 0.60 mg/L konsantrasyona tutulan deneme gruplarında ise herhangi bir ölüm görülmemiştir (Çizelge 2).

Gökkuşığı alabalığı için  $\text{LC}_{50}$  bakır konsantrasyonlarının 96 saatlik periyot için 1.837–1.054 mg/L arasında değiştiği görülmektedir. Süre uzadıkça bakır  $\text{LC}_{50}$  değeri azalma göstermiştir. 96 saat  $\text{LC}_{50}$  değerine aplikasyon faktörü uygulandığında (1.054 x 0.1) gökkuşığı alabalığı için maksimum kabul edilebilir bakır konsantrasyonu (güvenli konsantrasyon) 0.1054 mg/L  $\text{Cu}^{+2}$  olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3).  $\text{LT}_{50}$  değerlerinin ise konsantrasyona bağlı olarak 1 saat 22 dakika ile 65 saat 31 dakika arasında değiştiği ve bakır konsantrasyonu azaldıkça  $\text{LT}_{50}$  değerinin arttığı görülmektedir (Çizelge 4).

**Çizelge 1.** Akut bakır toksisite testi 24, 48, 72 ve 96 saatlik ölüm oranları

Tatbik Süresi (saat)	Gruplar	Konsantrasyon (mg/L)	Tatbik Süresi Sonunda Canlı Balık Sayısı (adet)	Ölüm Oranı (%)	Ortalama Ölüm Oranı (%)
24	L <sub>1</sub> /L <sub>2</sub>	12.862	0/0	100/100	100
	K <sub>1</sub> /K <sub>2</sub>	7.717	0/0	100/100	100
	İ <sub>1</sub> /İ <sub>2</sub>	4.630	0/0	100/100	100
	H <sub>1</sub> /H <sub>2</sub>	2.778	1/1	90/90	90
	G <sub>1</sub> /G <sub>2</sub>	1.667	4/6	60/40	50
	F <sub>1</sub> /F <sub>2</sub>	1.000	5/8	50/20	35
48	L <sub>1</sub> /L <sub>2</sub>	12.862	0/0	100/100	100
	K <sub>1</sub> /K <sub>2</sub>	7.717	0/0	100/100	100
	İ <sub>1</sub> /İ <sub>2</sub>	4.630	0/0	100/100	100
	H <sub>1</sub> /H <sub>2</sub>	2.778	0/0	100/100	100
	G <sub>1</sub> /G <sub>2</sub>	1.667	0/0	100/100	100
	F <sub>1</sub> /F <sub>2</sub>	1.000	2/7	80/30	55
72	L <sub>1</sub> /L <sub>2</sub>	12.862	0/0	100/100	100
	K <sub>1</sub> /K <sub>2</sub>	7.717	0/0	100/100	100
	İ <sub>1</sub> /İ <sub>2</sub>	4.630	0/0	100/100	100
	H <sub>1</sub> /H <sub>2</sub>	2.778	0/0	100/100	100
	G <sub>1</sub> /G <sub>2</sub>	1.667	0/0	100/100	100
	F <sub>1</sub> /F <sub>2</sub>	1.000	2/5	80/50	65
96	L <sub>1</sub> /L <sub>2</sub>	12.862	0/0	100/100	100
	K <sub>1</sub> /K <sub>2</sub>	7.717	0/0	100/100	100
	İ <sub>1</sub> /İ <sub>2</sub>	4.630	0/0	100/100	100
	H <sub>1</sub> /H <sub>2</sub>	2.778	0/0	100/100	100
	G <sub>1</sub> /G <sub>2</sub>	1.667	0/0	100/100	100
	F <sub>1</sub> /F <sub>2</sub>	1.000	2/3	80/70	75

**Çizelge 2.** Akut bakır toksisite testinde bazı parametreler

Konsantrasyon (mg/L)	İlk Ölüm Zamanı (saat)	Etkili Konsantrasyon
12.862	0.15	X
7.717	0.18	X
4.630	1.45	X
2.778	2.30	X
1.667	4.40	X
1.000	17.15	

### Morfolojik Gözlemler ve Davranış Değişimleri

L<sub>1</sub>-L<sub>2</sub> (12.862 mg/L) deneme grubunda deneme başlangıcından ilk 5 dakika içinde balıklarda yüzeyde toplanma ve etkiden uzaklaşma hareketleri gözlenmiştir. Ayrıca ters ve yan yüzmeler, hızlı hareket, kontrolsüz

yüzme, suyun dışına kaçma hareketleri, suya dik yüzmeler, su yüzeyine yaklaşarak soluma hareketleri gözlenmiştir. Bu belirtiler deneme ilerledikçe artmıştır. İlk ölüm 15 dakika sonra gözlenmiştir. Bunu takiben L<sub>1</sub>-L<sub>2</sub> deneme grubundaki balıkların tamamı 2 saat 25 dakika içinde ölmüştür.

**Çizelge 3.** Akut bakır toksisite testinde belirlenen LC<sub>50</sub> değerleri ve % 95'lik güven sınırları

Tatbik Süresi (saat)	LC <sub>50</sub> (mg/L)	% 95'lik Güven Sınırları
24	1.837	1.637-2.151
48	1.114	1.002-1.284
72	1.093	0.983-1.262
96	1.054	0.948-1.219

**Çizelge 4.** Akut bakır toksisite testinde belirlenen LT<sub>50</sub> değerleri ve % 95'lik güven sınırları

Konsantrasyon (mg/L)	LT <sub>50</sub> (saat)	% 95'lik Güven Sınırları
12.862	1.22	1.14-1.29
7.717	1.48	1.36-2.00
4.630	8.10	7.10-9.09
2.778	15.56	14.55-17.05
1.667	22.01	19.20-25.12
1.000	65.31	57.48 75.19

Balıkların operkulum ve ağızlarının normalden daha fazla açıldığı görülmüştür. K<sub>1</sub> – K<sub>2</sub> (7.717 mg/L) deneme grubunda deneme başlangıcından ilk 10 dakika sonra balıkların suyun yüzeyinde yavaş hareketlerle yüzdükleri gözlenmiştir. Ayrıca bu deneme grubundaki balıklarda da etkiden uzaklaşma hareketleri gözlenmiş olup hızlı hareket, kontrolsüz yüzme, suyun dışına kaçma hareketleri, su yüzeyine yaklaşarak soluma hareketleri de gözlenmiştir. Deneme ilerle-dikçe bu belirtiler artmıştır. İlk ölüm 18 dakika sonra gözlenmiştir. Bunu takiben K<sub>1</sub>-K<sub>2</sub> deneme grubundaki balıkların tamamı 3 saat 15 dakika içinde ölmüştür. İ<sub>1</sub> – İ<sub>2</sub> (4.630 mg/L) deneme grubunda deneme başlangıcından ilk 1 saat boyunca normal davranışlar gösterdikleri gözlenmiştir. Daha sonra balıkların suyun yüzeyinde yavaş yavaş hareketlerle yüzdükleri gözlenmiştir. Ayrıca bu deneme grubundaki balıklarda da ilk 30 dakikadan yüzeyde toplanma ve etkiden uzaklaşma hareketleri, zamanla kontrolsüz yüzme, suyun dışına kaçma hareketleri, su yüzeyine yaklaşarak soluma hareketleri gözlenmiştir. İlk ölüm 1 saat 45 dakika sonra gözlenmiştir. Bunu takiben İ<sub>1</sub>-İ<sub>2</sub> deneme grubundaki balıkların tamamı 8 saat 45 dakika içinde ölmüştür.

H<sub>1</sub>-H<sub>2</sub> (2.778 mg/L) deneme grubunda deneme başlangıcından ilk 1 saat 30 dakika boyunca normal davranışlar gösterdikleri gözlenmiştir. Daha sonra balıkların suyun yüzeyine yaklaşarak yüzdükleri görülmüş ve kontrolsüz yüzme, suyun dışına kaçma hareketleri, su yüzeyine yaklaşarak soluma hareketleri gözlenmiştir. İlk ölüm 2 saat 30 dakika sonra gözlenmiştir. İlk 24 saatlik deneme süresinde ölüm oranı % 90 olarak gerçekleşmiştir ve bunu takiben G<sub>1</sub>-G<sub>2</sub> deneme grubundaki balıkların tamamı 24 saat 15 dakika içinde ölmüştür. G<sub>1</sub> – G<sub>2</sub> (1.667 mg/L) deneme grubunda deneme başlangıcından ilk 3 saat 30 dakika boyunca normal davranışlar gösterdikleri gözlenmiştir.

Daha sonra balıkların suyun yüzeyine yaklaşarak yüzdükleri görülmekle birlikte zamanla kontrolsüz yüzme, suyun dışına kaçma hareketleri, su yüzeyine yaklaşarak soluma hareketleri gözlenmiştir. İlk ölüm 4 saat 40 dakika sonra gözlenmiştir. İlk 24 saatlik deneme süresinde ölüm oranı % 50 olarak gerçekleşmiştir ve bunu takiben G<sub>1</sub>-G<sub>2</sub> deneme grubundaki balıkların tamamı 33 saat 45 dakika içinde ölmüştür. F<sub>1</sub>-F<sub>2</sub> (1.00 mg/L) deneme grubunda denemenin ilk günü balıkların büyük kısmı normal davranış göstermiştir.

Daha sonra balıkların suyun yüzeyine doğru yüzdükleri görülmüş ve deneme grubunda zamanla kontrolsüz yüzmeye, su yüzeyine yaklaşarak soluma hareketleri gözlenmiştir. Bu belirtiler deneme ilerledikçe artmıştır. İlk ölüm 17 saat 15 dakika sonra gözlenmiştir. İlk 24 saatlik deneme süresinde ölüm oranı % 35, 48 saatlik deneme süresinde ölüm oranı % 55, 72 saatlik deneme süresinde ölüm oranı % 65 ve deneme sonunda ise ölüm oranı % 75 olarak gerçekleşmiştir.

(E<sub>1</sub>-E<sub>2</sub>) (0.60 mg/L), (D<sub>1</sub>-D<sub>2</sub>) (0.36 mg/L), (C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub>) (0.216 mg/L), (B<sub>1</sub>-B<sub>2</sub>) (0.1296 mg/L), (A<sub>1</sub>-A<sub>2</sub>) (0.0778 mg/L) ve KO<sub>1</sub> – KO<sub>2</sub> (Kontrol Grubu) deneme gruplarında ise morfolojik ve davranış değişimleri olarak önemli değişiklikler görülmemiştir. Bu deneme gruplarında 96 saat deneme süresi boyunca hiç ölüm gözükmemiştir.

### Tartışma

Bu çalışmada; bakırın gökkuşığı alabalığına akut toksisitesi araştırılmıştır. Denemede bir alabalık işletmesinden canlı olarak getirildikten sonra deneme ortamına alıştırılan gökkuşığı alabalıkları kullanılmıştır. Gökkuşığı alabalığı denemesi oksijen takviyeli statik biyodene yöntemine ile 24-96 saatlik süre içinde akut toksisite testi uygulanarak morfolojik gözlemler ve davranış değişimleri takip edilmiş ve ölümleri esas alınır LC<sub>50</sub> ve LT<sub>50</sub> değerleri bulunmuştur.

Gökkuşığı alabalığı için LC<sub>50</sub> bakır konsantrasyonlarının 96 saatlik periyot için 1.837–1.054 mg/L arasında değiştiği görülmektedir. Süre uzadıkça bakır LC<sub>50</sub> değeri azalma göstermiştir. LC<sub>50</sub> değerine aplikasyon faktörü uygulandığında (1.054x0.1) gökkuşığı alabalığı için maksimum kabul edilebilir bakır konsantrasyonu (güvenli konsantrasyon) 0.1054 mg/L Cu<sup>+2</sup> olarak hesaplanmıştır. Öldürücü zaman aralığının konsantrasyona bağlı olarak 1 saat 22 dakika ile 65 saat 31 dakika

arasında değiştiği ve bakır konsantrasyonu azaldıkça LT<sub>50</sub> değerinin arttığı görülmektedir. Deneme süresince konsantrasyonlara bağlı olarak balıklarda yüzeyde toplanma ve etkiden uzaklaşma hareketleri ayrıca ters ve yan yüzmeler, hızlı hareket, kontrolsüz yüzmeye, suyun dışına kaçma hareketleri, suya dik yüzmeler, su yüzeyine yaklaşarak soluma hareketleri gözlenmiştir. Bu belirtiler deneme ilerledikçe artmıştır.

Baker ve Walden (1984), üç balık türü için bakırın 96 saatlik medyan letal konsantrasyonlarını (LC<sub>50</sub>) statik biyodene yöntemiyle belirlemişlerdir. Bakır için 96 saat LC<sub>50</sub> değerini; *Melanotaenia splendida inornata* için 7.0 mg/L CaCO<sub>3</sub> su sertliğinde 0.25 mg/L; *Melanotaenia nigra* için 3.3 mg/L CaCO<sub>3</sub> su sertliğinde 0.06 mg/L, yine aynı balık için 25.2 mg/L CaCO<sub>3</sub> su sertliğinde 0.12 mg/L; *Craterocephalus stercusmuscarum* için 6.6 mg/L CaCO<sub>3</sub> su sertliğinde 0.019 mg/L olarak hesaplamışlardır.

Gaikwad (1989), *Etroplus maculatus* balığında 96 saat LC<sub>50</sub> değerlerini bakır sülfat için 1.83 mg/L olarak bildirmiştir. Joshi ve Prakash-Semwal (1990), *Noemacheilus rupicola* için CuSO<sub>4</sub>'ün akut toksisitesini klorlanmamış su kullanarak statik biyodene yöntemiyle tayin etmişlerdir. *N.rupicola* için CuSO<sub>4</sub>'ün 24, 48, 72 ve 96 saatlik LC<sub>50</sub> değerlerini sırasıyla 1.58 mg/L, 0.98 mg/L, 0.60 mg/L ve 0.23 mg/L olarak bildirmişlerdir.

Ayrıca güvenli konsantrasyonu CuSO<sub>4</sub> için 0.113 mg/L olarak hesaplamışlardır. Chen ve Yuan (1994), bir tatlı su balığı olan *Acrossocheilus paradoxus*'un Cu<sup>+2</sup>'ye olan hassasiyetini % 95 güven aralığında test etmişler ve bakır için 24 saat LC<sub>50</sub> 0.032-0.050 mg/L olarak bildirmişlerdir.

Bilgili vd. (1995), Van Gölü'nün suyunun doğal kalitesini yansıtan özellikleri ile Van Gölü'nden avlanan inci kefali örneklerinde kurşun, kadmiyum, bakır, mangan, demir ve çinko artıklarına bağlı olarak kirlenmenin düzeyini araştırmışlardır.

Van Gölü suyunun kimyasal yönden analizi sonucunda pH 9.54; ortalama olarak Ca 6.74 mg/L, Mg 97.66 mg/L, Na 7673.15 mg/L, K 524.60 mg/L, HCO<sub>3</sub> 2110.63 mg/L, CO<sub>3</sub> 3412.41 mg/L, Cl 5320.13 mg/L, SO<sub>4</sub> 2466.36 mg/L derişiminde olduğunu bildirmişlerdir. İnci kefali örneklerinde ise ortalama  $4.326 \pm 1.694$  mg/L bakır kalıntısının saptandığını bildirmişlerdir.

Bat vd. (1999), Karadeniz'in Sinop Yarımadası'nda yaşayan *Echinogammarus olivii* (Amfipod), *Sphaeroma serratum* (Isopod), *Palaemon elegans*'lar (Dekapod) üzerinde bakırın akut toksik etkisini araştırmışlar ve 96 saatlik LC<sub>50</sub> değerlerini belirlemişlerdir. Bakırın LC<sub>50</sub> değerini *Echino-gammarus olivii* için 0.25 mg/L, *Sphaeroma serratum* için 1.98 mg/L, *Palaemon elegans* için 2.52 mg/L olarak bulmuşlardır. Bat vd. (2000), *Gammarus pulex pulex* (L. 1758)'lerde bakır toksisitesi üzerine sıcaklığın etkisini araştırmışlar ve 96 saatlik LC<sub>50</sub> değerlerini statik biyo-deneyle bulmaya çalışmışlardır. Çalışmanın sonucunda bakır için 96 saat LC<sub>50</sub> değerleri 15°C'de 0.080 mg/L, 20°C'de 0.041 mg/L, 25°C'de 0.028 mg/L olarak bulmuşlardır. Bakırın bu tür için toksik bir metal olduğunu belirtmişlerdir.

Straus (2006), kanal yayın balığı (*Ictalurus punctatus*) ve beyaz bas balığı (*Morone chrysops*) üzerinde bakırın akut toksisitesini gözlemek için statik toksisite testi gerçekleştirmiştir. Çalışmada su sıcaklığı 18,9 °C, pH 8,71, alkalinite 224 mg/L, toplam sertliği 110 mg/L olan su kullanmıştır. Çalışma sonucunda 96 saat Cu<sup>+2</sup> iyonu LC<sub>50</sub> değerini kanal yayın balığı için 1,75 mg/L, beyaz bas balığı için ise 0,85 mg/L olarak belirlemiştir. Sonuç olarak ise beyaz bas balığının kanal yayın balığına kıyasla bakır iyonuna daha hassas olduğunu tespit etmiştir.

Liao vd. (2007), tatlı su midyesinin (*Corbicula fluminea*) ağız kapatma davranışı

üzerine akut bakır (Cu<sup>+2</sup>) toksisitesinin etkisini biyotik ligand modeli (BLM) ile test etmişlerdir. Çalışma sonucunda oluşturdukları mekanik tabanlı Cu-BLM-*Corbicula* modelinin tatlı su ağız kapatma davranışına metal neden toksisite biyolojik kısmını tanımlamak için geliştirilebileceğini ve bu sistemin metallerin kontrol ve düzenlenmesinde ekosistem bazlı kullanımının teşvik edilebileceğini bildirmişlerdir.

Martins vd. (2011), mavi yengeçler (*Callinectes sapidus*) üzerinde in vivo ve in vitro organ-spesifik dağıtımı ve bakır doku birikimini değerlendirmek amacıyla yaptıkları akut toksisite testinde iki farklı deneysel tuzluluk (2 ppt ve 30 ppt) ortamı oluşturmuşlardır. Deney sonucunda mavi yengeçlerin bakır oldukça hoşgörülü ve toleranslı olduklarını tespit etmişlerdir.

Akut çözünmüş bakır toksisite (96 sa LC<sub>50</sub> ve % 95) 30 ppt tuzluluğa deneme grubunda (53.0 (27,39-102,52) mcM Cu) tuzluluk 2 ppt (5,3 (3,50-8,05) mcM Cu) olan gruba oranla daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca hem de mavi yengeçlerdeki hemolimfin fazla bakırın vücut içine alınmasına karşı önemli biyolojik bir bariyer olduğunu bildirmişlerdir. Yukarıda araştırmacılar tarafından bildirilen Cu<sup>+2</sup> akut toksisite değerleri tablo halinde Çizelge.5'de verilmiştir:

## Sonuç

Bakır, bakır sülfat olarak gerek su ürünleri yetiştiriciliğinde gerekse de tarımsal aktivitelerde yoğunlukla kullanılmaktadır. Yetiştiricilikte kullanılan materyalin dezenfeksiyonunda ve balıkların tedavisinde kullanıldıktan sonra sucul ortama deşarj olmaktadır. Özellikle meyvecilik sektöründe bilinçsizce kullanılmakta ve yüzey akışları ile yine sucul ortama ulaşmaktadır.

Çizelge 5. Çeşitli araştırmacıların yapmış oldukları çalışmada bakır akut toksisite değerleri

Organizma Türü	Test Ortamı	Test Süresi (Saat)	LC <sub>50</sub> (mg/L)	Özel Koşullar	Literatür
<i>Etrophus maculatus</i>	----	96	1.83	10 mg/L sertlikte	Gaikwad, 1989
<i>Melanotaenia Splendida inornata</i>	SBD	96	0.25	7 mg/L sertlikte	Baker ve Walden (1984)
<i>Melanotaenia nigrans</i>	SBD	96	0.06	3.3 mg/L sertlikte	Baker ve Walden (1984)
<i>Melanotaenia nigrans</i>	SBD	96	0.12	25 mg/L sertlikte	Baker ve Walden (1984)
<i>Craterocephalus stercusmuscarum</i>	SBD	96	0.019	25 mg/L sertlikte	Baker and Walden (1984)
<i>Hirudo medicinalis</i>	SBD	96	0.0044	----	Sağlam ve Şahin, 2006
<i>Noemacheilus rupicola</i>	SBD	24	1.58	----	Joshi ve Prakash-Semwal (1990)
	SBD	48	0.98	----	
	SBD	72	0.60	----	
	SBD	96	0.23	----	

Sucul ortamlara yapılan bu türden deşarjlar, balık ve diğer sucul organizmalar üzerinde letal etkiler oluşturabilmektedir. Bu çalışma da yetiştiricilikte en çok üretimi yapılan gökkuşağı alabalığının bakıra olan toleransları ve letal konsantrasyonları belirlenmiştir. Deneme sonucu gökkuşağı alabalığının çalışma yapılan diğer balık türlerine kıyasla bakır iyonuna daha dayanıklı oldukları görülmüştür.

### Kaynaklar

Alabaster, J.S. ve Lloyd, R.1982. Water Quality Criteria for Freshwater Fish. 2. Baskı. FAO, Butterworths, Sci. London, Sidney, Toronto. 361.  
Anonim. 1989. Standard methods for the examination of water and wastewater. 17. Ed. APHA, AWWA,

WPFC, Washington D.C. 1467.

- Arda, M. Seçer S. ve Sarıyüpoğlu M. 2002. Balık Hastalıkları. Medisan Yayınları Serisi, No: 56, Ankara, 142s.  
Baker, L. ve Walden, D. 1984. Acute toxicity of copper and zinc to three fish species from the Alligator Rivers Region. Technical Memorandum 8, Supervisin Scientist for the Alligator Rivers Region, AGPS, Canberra, Australian Government. Publ. Serv. 27.  
Bat, L., Akbulut, M., Çulha, M., Gündoğdu, A. ve Satılmış, H. H. 2000. Effect of Temperature on the Toxicity of Zinc, Copper and Lead to the Freshwater Amphipoda *Gammarus pulex pulex* (L., 1758). Tr. J. of Zoology, 24:409 - 415.  
Bat, L., Gündoğdu, A., Sezgin, M., Çulha, M., Gönlügür, G. ve Akbulut, M. 1999. Acute toxicity of zinc, copper and lead to three species of marine organism from the Sinop Peninsula, Black Sea. Tr. J. of Biology, 23:537 - 544.



- Bilgili, A. Sağmanlıgil, H. Çetinkaya, N. Yersan ve E. Türel, İ. 1995. Van Gölü suyunun doğal kalitesi ve buradan avlanan inci kefali (*Chalcalburnus tarichi* Pallas 1811) örneklerinde bazı ağır metal düzeyleri. Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, (42), 445-450.
- Boyd, C.E. 1982. Water quality management for pond fish culture. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Oxford, New York, 318 pp.
- Chen, H., C. ve Yuan, Y. K. 1994. Acute toxicity of copper, cadmium and zinc to freshwater fish *Acrossocheilus paradoxus*. ACTA - Zool. Taiwan, 5 (2):45 – 60.
- Cicik, B. 2003. 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.
- Dunn, G.M. ve Bull, A.T. 1983. Bioaccumulation of copper by a defined community of activated sludge bacteria. European J. Appl. Microbiology. Biotechnology, (17), 30-34.
- Gaikvad, S. A. 1989. Acute toxicity of mercury, copper and selenium to the fish *Etroplus maculatus*. Environ. Ecol., 7 (3):694 - 696.
- Joshi, S. N. ve Parakash-Semwal, V. 1990. Toxicity of Zinc sulphate and copper sulphate to a hillstream cobitid fish *Noemacheilus rupicola*. Indian Journal-ECOL., 17 (2): 148-150.
- Liao, M.C.; Jou L. Ve Lin C.M., Chiang K.C., Yeh C.H., Chou B.H. 2007. Predicting acute copper toxicity to valve closure behavior in the freshwater clam *Corbicula fluminea* supports the biotic ligand model. Environmental Toxicology, Volume 22, Issue 3, pages 295–307.
- Martins, C.M.G., Barcarolli İ.F., Menezes E.J., Giacomini M:M., Wood C.M. ve Bianchini A. 2011. Aquatic Toxicology, Volume 101, Issue 1, 17 January 2011, pages 88–99. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquatox.2010.09.005>
- Nussey, G., Van Vuren, J.H.J. ve Du Preez, H.H. 1995. Effect of copper on hematology and osmoregulation of the Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*, Cichlidae). Comparative Biochemistry Physiology, (111) 369-380.
- Sönmez, M., ve Çetinkaya, O. 2003a. Çinkonun ( $Zn^{+2}$ ) inci kefali (*Chalcalburnus tarichi* Pallas 1811)'ne akut toksisitesinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 40s, Van.
- Sönmez, M. ve Çetinkaya, O. 2003b. Çinkonun ( $Zn^{+2}$ ) inci kefali (*Chalcalburnus tarichi* Pallas 1811) üzerindeki akut toksisitesi. XII. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, 413-418, Elazığ.
- Straus, D.L. 2006. Acute Toxicity to Channel Catfish, *Ictalurus punctatus* and Sunshine Bass, *Morone chrysops*×*M.saxatilis*. Journal of Applied Aquaculture, Volume 18, Issue 1, pages 88-89. DOI:10.1300/J028v18n01\_06.
- Timur, G. ve Timur, M. 2003. Balık Hastalıkları, İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayın No:5, 538s, Dilek Ofset İstanbul.