

Farklı Ortam Derişimlerinin Etkisinde Bakır ve Bakır + Kadmiyum Karışımının Tatlısu Çipurası'nın (*Oreochromis niloticus*, L.) Solungaç, Karaciğer, Böbrek ve Kas Dokularındaki Bakır Birikimi Üzerine Etkileri

Baybars SAĞLAMTİMUR, Bedii CİCİK
Mersin Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yenişehir Kampüsü, C Blok, 33280, Mersin - TÜRKİYE
Cahit ERDEM
Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Balcalı, Adana - TÜRKİYE

Geliş Tarihi: 17.08.2001

Özet: Bu çalışmada salt bakır ile bakır + kadmiyum karışımının, farklı ortam derişimlerinin etkisinde tatlısu çipurasının (*Oreochromis niloticus*, L.) solungaç, karaciğer, böbrek ve kas dokularındaki bakır birikimi üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Deneyler iki seri halinde yürütülmüş, balıklar her iki seride de 1, 7, 15 ve 30 gün sürelerle, birinci seride 0,1; 0,5; 1,0 ve 5,0 ppm bakır, ikinci seride ise 0,1 + 0,05; 0,5 + 0,1; 1,0 + 0,5 ve 5,0 + 1,0 ppm bakır + kadmiyum ortam derişimlerinin etkisine bırakılmıştır.

Deneyler süresince, her iki deney serisinde de belirlenen ortam derişimlerinin etkisinde balıklarda mortalite gözlenmemiştir. Genel olarak incelenen doku ve organlardaki bakır birikimi etkide kalma süresi ve ortam derişimindeki artışa bağlı olarak artmıştır. Bakır + kadmiyum karışımlarının solungaç, karaciğer, böbrek ve kas dokularındaki bakır birikim düzeyine etkileri, ortam derişimine, etkide kalma süresine ve dokulara göre farklılık göstermiştir.

Anahtar Sözcükler: Bakır, kadmiyum, etkileşim, birikim, balık, tatlısu çipurası.

Effects of Different Concentrations of Copper Alone and a Copper + Cadmium Mixture on the Accumulation of Copper in the Gill, Liver, Kidney and Muscle Tissues of *Oreochromis niloticus* (L.)

Abstract: Experiments were conducted in two series for 1, 7, 15 and 30 days. In the first series, fish were exposed to 0.1, 0.5, 1.0 and 5.0 ppm of copper and in the second series to 0.1 + 0.05, 0.5 + 0.1, 1.0 + 0.5 and 5.0 + 1.0 ppm of copper and cadmium mixtures.

No mortalities were observed during the experimental period. Accumulation of copper in the tissues and organs increased with increasing concentrations of copper and with longer exposure periods. Copper accumulation associated with copper + cadmium mixtures in the gill, liver, kidney and muscle tissues varied with the concentration, exposure period and tissue type.

Key Words: Copper, cadmium, interaction, accumulation, fish, *Oreochromis niloticus*

Giriş

Ağır metallerin sucul ortamlardaki doğal derişimleri çok düşük düzeyde olmakla beraber, insan nüfusundaki hızlı artış, buna paralel olarak artan evsel ve endüstriyel atıkların arıtılmaksızın sucul ortamlara bırakılması, ortamdaki ağır metal derişiminin artmasına neden olmuştur (1). Sucul ortamdaki derişimi artan ağır metaller, suda yaşayan organizmalar tarafından alınarak

besin zinciri aracılığı ile üst trofik düzeylere taşınmaktadır. Bakır, özellikle elektrik endüstrisinde, alaşım, kimyasal katalizör, boya ve ahşap koruyucu yapımında kullanılırken; kadmiyum, genellikle akümülatör yapımında, boya sanayi, cam üretimi, nikel-kadmiyum pili yapımında kullanılmaktadır. Canlılar biyolojik işlevlerini sürdürebilmeleri için eser miktarda bakır, çinko, ve demir gibi iz elementlere gereksinim duyarlar (2); civa,

kurşun ve kadmiyum gibi elementler çok düşük derişimlerde bile zehir etkisi yapmaktadırlar (3).

Sucul organizmalarda ağır metal birikiminin incelenmesi, ağır metallere karşı duyarlılığı yüksek türlerin belirlenmesinin yanı sıra organizmada meydana gelen yapısal ve işlevsel bozuklukların belirlenmesi bakımından da önem taşımaktadır (1).

Balıklar tarafından ağır metallerin sucul ortamdan alınması solungaçlar aracılığı ile olmaktadır (4). Ağır metaller, subletal ortam derişimlerinin etkisinde balıkların karaciğer, böbrek ve dalak gibi metal metabolizması ve metal detoksifikasyonu ile ilgili organlarında yüksek düzeyde birirmektedir (5). Balıklarda kas dokusu ağır metal bağlamada etkili olmamasına karşın, metalin besin zinciri aracılığı ile insanlara değin taşınmasında işlev görmesi nedeni ile, bu dokudaki ağır metal birikiminin incelenmesi büyük önem taşımaktadır (6).

Gerek doğal, gerekse laboratuvar koşullarında balıklardaki bakır (7) ve kadmiyum (8) birikimi ve toksik etkileri ile ilgili çok sayıda araştırma yapılmıştır. Ağır metaller sucul ortamlarda birbirlerinden bağımsız bulunmadıklarından, ağır metal karışımlarının sucul organizmalar üzerine yaptığı etkilerin incelendiği araştırmaların sayısı giderek artmaktadır (9).

Bu çalışmada, ekolojik dengenin korunması ve insan sağlığı açısından, biyolojik çevrimin bir halkasını oluşturan ve önemli bir protein kaynağı olarak tüketilen balıklarda, doğal ortamlarda her zaman birarada bulunmaları gerçeğinden hareketle, bakır ve bakır + kadmiyum karışımının farklı ortam derişimlerinin etkisinde tatlısu çipurasının solungaç, karaciğer, böbrek ve kas dokularındaki bakır birikimi üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Metot

Araştırma materyali olarak kullanılan tatlısu çipurası, yetiştirme havuzlarından laboratuvarında bulunan her biri 40 x 120 x 40 cm boyutlarındaki 15 cam akvaryuma alınarak, iki ay süreyle beslenmiş ve laboratuvar koşullarına adaptasyonları sağlanmıştır. Balıklar bu süre içerisinde 11,38 ± 0,85 cm boy ve 31,87 ± 6,76 g ağırlığa ulaşmışlardır. Stok ve deney akvaryumları merkezi havalandırma sistemi ile havalandırılmış ve balıklar günde iki kez olmak üzere birey başına yaklaşık 25 mg hazır balık yemi ile beslenmişlerdir. Deneyler 25 ± 1 °C durağan sıcaklığa sahip ve 8 saat aydınlık; 16 saat

karanlık fotoperiyodu uygulanan laboratuvarında yürütülmüştür. Akvaryum ortamının bazı kimyasal özelliklerinden Total sertlik; 26,8 ± 4,83 Fransız Sertlik Derecesi, pH; 8,17 ± 0,05, Çözünmüş oksijen; 6,67 ± 0,61 mg/l olarak belirlenmiştir.

Bakır ve bakır + kadmiyum karışımının solungaç, karaciğer, böbrek ve kas dokularındaki bakır birikimi üzerine etkileri, iki seri halinde yürütülen deneyler sonucunda belirlenmiştir. Birinci seride, balıklar 1, 7, 15 ve 30 gün sürelerle bakırın 0,1; 0,5; 1,0 ve 5,0 ppm ortam derişimlerinin etkisinde bırakılırken, ikinci seri deneylerde balıklar yine aynı sürelerle bakır + kadmiyum karışımının 0,1 + 0,05; 0,5 + 0,1; 1,0 + 0,5 ve 5,0 + 1,0 ppm ortam derişimlerinin etkisine bırakılmıştır. Her seride her biri 40 x 120 x 40 cm boyutlarında olan ve içerisinde 24 adet balık bulunan 5 cam akvaryum kullanılmıştır. Beş cam akvaryumdan ilk dördüne 120'şer litre, birinci seride bakır, ikinci seride bakır + kadmiyum karışımı için anılan derişimlerde deney çözeltileri konarak solungaç, karaciğer, böbrek ve kas dokularındaki metal birikimi incelenmiştir. Her bir serideki beşinci akvaryum ise kontrol grubu olarak kullanılmıştır. Deneyler, her tekrarda iki balık olacak şekilde, üç tekrarlı olarak yürütülmüş, bu bağlamda, her bir derişimde, belirlenen süreler sonunda, akvaryumlardan toplam altı tane balık çıkartılarak, metal analizinde kullanılmak üzere doku ve organlarından örneklemeler yapılmıştır.

Deneyler süresince adsorbsiyon, presipitasyon ve evaporasyon gibi nedenlerle akvaryumlardaki deney çözeltilerinin derişimi değışebileceğinden, deney çözeltileri her üç günde bir taze hazırlanan stok çözeltiden uygun seyreltmeler yapılarak değıştirilmiştir. Deneylerde kadmiyum için, kadmiyum klorür monohidrat (CdCl₂. H₂O, Merck), bakır için bakır (II) sülfat pentahidrat (CuSO₄. 5H₂O, Merck), bakır ve kadmiyumun presipitasyonunu önlemek için tri sodyum sitrat 5,5 hidrat (C₆H₅Na₃O₇. 5,5H₂O) kullanılmıştır (10).

Her bir derişim için belirlenen süreler sonunda deneylerden çıkartılan 6 balık ikişerli 3 gruba ayrılmıştır. Her bir gruptaki iki balığın solungaç, karaciğer, böbrek ve kas dokuları çıkartılarak, biraraya getirilip örneklemeler yapılarak bakır derişiminin belirlenmesinde kullanılmıştır. Doku örneklerinin bakır analizi Atomik Adsorbsiyon Spektrofotometrik (AAS) yöntem kullanılarak (Perkin Elmer 3100) yapılmıştır (11). Deney verilerinin istatistik analizi "Student Newman Keul's Testi (SNK)" ve "t-Testi" kullanılarak yapılmıştır (12).

Bulgular

Birinci seri deneylerde, bakırın belirlenen süre ve ortam derişimlerinin etkisinde solungaç, karaciğer, böbrek ve kas dokularında üç tekrarlı olarak saptanan bakır derişimlerinin aritmetik ortalamaları ile istatistik analizleri sırasıyla Tablo 1-4'de sunulmuştur.

Bakırın belirlenen süre ve ortam derişimlerinin etkisinde, belirli bir sürede ortam derişimindeki artış, yine bakırın belirli bir ortam derişiminde etkide kalma

süresindeki artış solungaç, karaciğer, böbrek ve kas dokularındaki bakır birikimini arttırmıştır. Deney süresi sonunda bakır birikimi en yüksek düzeyde karaciğerde olurken, en düşük düzeyde kas dokusunda olmuştur. Bakır birikimi bakımından incelenen doku ve organlar arasında aşağıdaki sıralama belirlenmiştir.

Karaciğer > Böbrek > Solungaç > Kas

İkinci seri deneylerde bakır + kadmiyum karışımının belirlenen süre ve ortam derişimlerinin etkisinde

Tablo 1. Tatlısu çipurasında (*O. niloticus*) Bakırın Solungaç Dokusundaki Birikimi ($\mu\text{g Cu/g k.a.}$) Üzerine Ortam Derişimi ve Sürenin Etkileri.

DERİŞİM (ppmCu)	SÜRE							
	1. Gün		7. Gün		15. Gün		30. Gün	
	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)
0,00	0,0	as	0,0	as	0,0	as	0,0	as
0,10	0,0 \pm 0,0	as	7,21 \pm 0,88	bt	14,72 \pm 1,24	bx	26,66 \pm 1,50	by
0,50	10,67 \pm 0,36	bs	32,64 \pm 0,14	ct	43,13 \pm 0,61	cx	28,73 \pm 1,25	by
1,00	12,57 \pm 1,97	bs	35,07 \pm 1,23	ct	36,11 \pm 1,74	dt	34,04 \pm 5,66	bt
5,00	10,84 \pm 1,05	bs	56,43 \pm 2,01	dt	56,16 \pm 1,82	et	38,78 \pm 2,53	bx

* = SNK: a, b, c, d ve e derişimler; s, t, x ve y harfleri süreler arası ayrımı belirlemek amacı ile kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında P < 0,05 düzeyinde istatistik ayrım vardır.

X \pm Sx; Aritmetik ortalama \pm Standart hata

Tablo 2. Tatlısu çipurasında (*O. niloticus*) Bakırın Karaciğer Dokusundaki Birikimi ($\mu\text{g Cu/g k.a.}$) Üzerine Ortam Derişimi ve Sürenin Etkileri.

DERİŞİM (ppmCu)	SÜRE							
	1. Gün		7. Gün		15. Gün		30. Gün	
	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)
0,00	0,0	as	0,0	as	0,0	as	0,0	as
0,10	201,7 \pm 1,66	bs	211,4 \pm 4,02	bs	195,8 \pm 12,15	bs	258,9 \pm 5,40	bt
0,50	201,5 \pm 4,51	bs	261,5 \pm 18,17	bst	329,4 \pm 31,69	ct	276,2 \pm 15,68	bst
1,00	216,4 \pm 23,70	bs	311,7 \pm 0,09	bt	380,9 \pm 13,40	ct	384,8 \pm 23,39	ct
5,00	230,9 \pm 36,23	ds	330,8 \pm 39,00	bs	370,3 \pm 10,65	cs	371,5 \pm 5,92	cs

* = SNK: a, b, c, d ve e derişimler; s, t, x ve y harfleri süreler arası ayrımı belirlemek amacı ile kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında P < 0,05 düzeyinde istatistik ayrım vardır.

X \pm Sx; Aritmetik ortalama \pm Standart hata

Tablo 3. Tatlısu çipurasında (*O. niloticus*) Bakırın Böbrek Dokusundaki Birikimi ($\mu\text{g Cu/g k.a.}$) Üzerine Ortam Derişimi ve Sürenin Etkileri.

DERİŞİM (ppmCu)	SÜRE							
	1. Gün		7. Gün		15. Gün		30. Gün	
	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)
0,00	0,0	as	0,0	as	0,0	as	0,0	as
0,10	0,0 \pm 0,00	as	24,71 \pm 1,38	bt	50,27 \pm 3,88	bx	64,43 \pm 0,30	by
0,50	15,82 \pm 0,12	bs	29,03 \pm 4,42	bs	80,60 \pm 6,19	bt	64,22 \pm 5,53	bt
1,00	15,91 \pm 2,14	bs	36,18 \pm 0,46	bs	103,3 \pm 1,56	ct	176,2 \pm 11,70	cx
5,00	26,90 \pm 1,86	cs	86,77 \pm 2,16	ct	165,5 \pm 1,76	dx	329,9 \pm 4,20	dy

* = SNK: a, b, c, d ve e derişimler; s, t, x ve y harfleri süreler arası ayrımı belirlemek amacı ile kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında P < 0,05 düzeyinde istatistik ayrım vardır.

X \pm Sx; Aritmetik ortalama \pm Standart hata

Tablo 4. Tatlısu çıpurasında (*O. niloticus*) Bakırın Kas Dokusundaki Birikimi ($\mu\text{g Cu/g k.a.}$) Üzerine Ortam Derişimi ve Sürenin Etkileri.

DERİŞİM (ppmCu)	SÜRE							
	1. Gün		7. Gün		15. Gün		30. Gün	
	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)
0,00	0,0	as	0,0	as	0,0	as	0,0	as
0,10	1,37 \pm 0,41	bs	2,99 \pm 0,37	bt	4,90 \pm 0,23	bx	3,08 \pm 0,09	bt
0,50	3,67 \pm 0,37	cs	3,06 \pm 0,59	bs	3,57 \pm 0,15	bs	2,27 \pm 0,21	bs
1,00	3,84 \pm 0,11	cs	3,30 \pm 0,08	bs	3,46 \pm 0,21	bs	4,83 \pm 1,11	bs
5,00	3,67 \pm 0,12	cs	5,22 \pm 0,79	bs	2,59 \pm 0,78	bs	2,29 \pm 0,15	bs

* = SNK: a, b, c, d ve e derişimler; s, t, x ve y harfleri süreler arası ayrımı belirlemek amacı ile kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında P < 0,05 düzeyinde istatistik ayrım vardır.
X \pm Sx; Aritmetik ortalama \pm Standart hata

solungaç, karaciğer, böbrek ve kas dokularında üç tekrarlı olarak saptanan bakır derişimlerinin aritmetik ortalamaları ile istatistik analizleri sırasıyla Tablo 5-8'de sunulmuştur.

Bakır + kadmiyum karışımının belirlenen süre ve ortam derişimlerinin etkisinde solungaç, karaciğer ve böbrek dokularındaki bakır birikimi, belirli bir sürede ortam derişimindeki artışa, yine belirli bir ortam

derişiminin etkisinde, etkide kalma süresindeki artışa bağlı olarak artmıştır. Kas dokusunda ise belirlenen sürelerde ortam derişimindeki artış birikim düzeyini arttırırken, belirli bir ortam derişiminin etkisinde birikimi etkide kalma süresine bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Bakır + kadmiyum karışımının belirlenen süre ve ortam derişimlerinin etkisinde, bakır birikimi bakımından incelenen doku ve organlar arasında aşağıdaki sıralama belirlenmiştir.

Tablo 5. Tatlısu çıpurasında (*O. niloticus*) Solungaç Dokusundaki Bakır Birikimi ($\mu\text{g Cu/g k.a.}$) Üzerine Bakır + Kadmiyum Karışımının Ortam Derişimi ve Sürenin Etkileri.

DERİŞİM (ppmCu+Cd)	SÜRE							
	1. Gün		7. Gün		15. Gün		30. Gün	
	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)
0,00	0,0	as	0,0	as	0,0	as	0,0	as
0,10 + 0,05	9,37 \pm 0,23	bs	6,91 \pm 0,84	bs	7,61 \pm 1,14	bs	2,56 \pm 0,10	bt
0,50 + 0,10	6,97 \pm 0,11	cs	7,77 \pm 2,07	bt	22,62 \pm 1,12	cs	17,79 \pm 1,28	cs
1,00 + 0,50	12,20 \pm 0,42	bcs	10,55 \pm 0,95	bs	18,69 \pm 0,90	dt	34,32 \pm 1,65	dx
5,00 + 1,00	24,29 \pm 2,91	ds	10,62 \pm 2,29	bt	17,36 \pm 0,61	dst	39,62 \pm 2,90	dx

* = SNK: a, b, c, d ve e derişimler; s, t, x ve y harfleri süreler arası ayrımı belirlemek amacı ile kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında P < 0,05 düzeyinde istatistik ayrım vardır.
X \pm Sx; Aritmetik ortalama \pm Standart hata

Tablo 6. Tatlısu çıpurasında (*O. niloticus*) Karaciğer Dokusundaki Bakır Birikimi ($\mu\text{g Cu/g k.a.}$) Üzerine Bakır + Kadmiyum Karışımının Ortam Derişimi ve Sürenin Etkileri.

DERİŞİM (ppmCu+Cd)	SÜRE							
	1. Gün		7. Gün		15. Gün		30. Gün	
	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)
0,00	0,0	as	0,0	as	0,0	as	0,0	as
0,10 + 0,05	152,3 \pm 3,21	bs	198,8 \pm 1,27	bt	249,1 \pm 17,88	bx	381,4 \pm 0,09	by
0,50 + 0,10	155,6 \pm 6,61	bs	165,0 \pm 0,71	cs	198,4 \pm 0,38	bt	449,3 \pm 4,23	cx
1,00 + 0,50	141,3 \pm 10,23	bs	201,1 \pm 9,21	bt	213,8 \pm 5,70	bt	446,6 \pm 18,07	cy
5,00 + 1,00	141,7 \pm 0,22	bs	237,9 \pm 9,36	dt	351,5 \pm 23,12	cx	730,5 \pm 0,43	dy

* = SNK: a, b, c, d ve e derişimler; s, t, x ve y harfleri süreler arası ayrımı belirlemek amacı ile kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında P < 0,05 düzeyinde istatistik ayrım vardır.
X \pm Sx; Aritmetik ortalama \pm Standart hata

Tablo 7. Tatlısu çipurasında (*O. niloticus*) Böbrek Dokusundaki Bakır Birikimi ($\mu\text{g Cu/g k.a.}$) Üzerine Bakır + Kadmiyum Karışımının Ortam Derişimi ve Sürenin Etkileri.

DERİŞİM	SÜRE							
	1. Gün		7. Gün		15. Gün		30. Gün	
	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)
(ppmCu+Cd)								
0,00	0,0	as	0,0	as	0,0	as	0,0	as
0,10 + 0,05	14,58 \pm 1,82	bs	22,85 \pm 0,34	bs	34,23 \pm 1,74	bs	104,5 \pm 8,85	bt
0,50 + 0,10	20,59 \pm 1,23	bs	27,93 \pm 3,89	bs	63,21 \pm 3,34	ct	187,2 \pm 3,09	cx
1,00 + 0,50	23,88 \pm 0,72	bs	13,34 \pm 0,26	ct	77,83 \pm 2,07	dx	289,7 \pm 1,43	dy
5,00 + 1,00	46,94 \pm 3,39	cs	10,49 \pm 0,23	ct	58,02 \pm 1,91	cs	303,5 \pm 15,00	dx

* = SNK: a, b, c, d ve e derişimler; s, t, x ve y harfleri süreler arası ayırımı belirlemek amacı ile kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında P < 0,05 düzeyinde istatistik ayırım vardır.

X \pm Sx; Aritmetik ortalama \pm Standart hata

Tablo 8. Tatlısu çipurasında (*O. niloticus*) Kas Dokusundaki Bakır Birikimi ($\mu\text{g Cu/g k.a.}$) Üzerine Bakır + Kadmiyum Karışımının Ortam Derişimi ve Sürenin Etkileri.

DERİŞİM	SÜRE							
	1. Gün		7. Gün		15. Gün		30. Gün	
	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)
(ppmCu+Cd)								
0,00	0,0	as	0,0	as	0,0	as	0,0	as
0,10 + 0,05	14,58 \pm 1,82	bs	22,85 \pm 0,34	bs	34,23 \pm 1,74	bs	104,5 \pm 8,85	bt
0,50 + 0,10	20,59 \pm 1,23	bs	27,93 \pm 3,89	bs	63,21 \pm 3,34	ct	187,2 \pm 3,09	cx
1,00 + 0,50	23,88 \pm 0,72	bs	13,34 \pm 0,26	ct	77,83 \pm 2,07	dx	289,7 \pm 1,43	dy
5,00 + 1,00	46,94 \pm 3,39	cs	10,49 \pm 0,23	ct	58,02 \pm 1,91	cs	303,5 \pm 15,00	dx

* = SNK: a, b, c, d ve e derişimler; s, t, x ve y harfleri süreler arası ayırımı belirlemek amacı ile kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında P < 0,05 düzeyinde istatistik ayırım vardır.

X \pm Sx; Aritmetik ortalama \pm Standart hata

Karaciğer > Böbrek > Solungaç > Kas

Bakır, bakır + kadmiyum karışımının belirlenen süre ve ortam derişimlerinin etkisinde solungaç, karaciğer, böbrek ve kas dokularında belirlenen bakır derişimleri karşılaştırılmalı olarak sırasıyla Tablo 9-12'de verilmiştir.

Bakır + kadmiyum karışımının etkisinde solungaç ve böbrek dokularındaki bakır birikimi 1. ve 30. günlerde bakırın tek başına etkisinde saptanan birikimden yüksek düzeyde olurken, 7. ve 15. günlerde daha düşük düzeyde olmuştur. 30. gün dışında belirlenen sürelerde karışımın

Tablo 9. Bakır ve Bakır + Kadmiyum Karışımının Belirlenen Süre ve Ortam Derişimlerinin Etkisinde Tatlısu çipurası'nın (*O. niloticus*) Solungaç Dokusundaki Bakır Birikim Düzeylerinin ($\mu\text{g Cu/g k.a.}$) Karşılaştırılması.

DERİŞİM	SÜRE							
	1. Gün		7. Gün		15. Gün		30. Gün	
	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)
(ppmCu)								
0,10	0,00 \pm 0,00		7,21 \pm 0,88	a	14,72 \pm 1,24	a	26,66 \pm 1,50	a
0,10 + 0,05	9,13 \pm 0,23	b	6,91 \pm 0,84	a	7,61 \pm 1,14	a	2,56 \pm 0,10	b
0,50	10,67 \pm 0,36	a	32,64 \pm 0,14	a	43,13 \pm 0,61	a	28,73 \pm 1,25	a
0,50 + 0,10	16,97 \pm 0,11	b	7,77 \pm 2,07	b	22,62 \pm 1,12	b	17,79 \pm 1,28	b
1,00	12,57 \pm 1,97	a	35,07 \pm 1,23	a	36,11 \pm 1,74	a	34,04 \pm 5,66	a
1,00 + 0,50	12,20 \pm 0,42	a	10,55 \pm 0,95	b	18,69 \pm 0,90	b	34,32 \pm 1,65	a
5,00	10,84 \pm 1,05	a	56,43 \pm 0,23	a	56,16 \pm 1,82	a	38,78 \pm 2,53	a
5,00 + 1,00	24,29 \pm 2,91	b	10,62 \pm 2,29	b	17,36 \pm 0,61	b	39,62 \pm 2,90	a

* = t- Testi; a ve b harfleri Bakır ve Bakır + Kadmiyum karışımının etkisinde birikimler arasındaki ayırımı belirtmek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında P < 0,05 düzeyinde istatistik ayırım vardır.

X \pm Sx; Aritmetik ortalama \pm Standart hata

Tablo 10. Bakır ve Bakır + Kadmiyum Karışımının Belirlenen Süre ve Ortam Derişimlerinin Etkisinde Tatlısu çıpurası'nın (*O. niloticus*) Karacığer Dokusundaki Bakır Birikim Düzeylerinin ($\mu\text{g Cu/g k.a.}$) Karşılaştırılması.

DERİŞİM (ppm Cu) (ppmCu+Cd)	SÜRE							
	1. Gün		7. Gün		15. Gün		30. Gün	
	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)
0,10	201,7 \pm 1,66	a	211,4 \pm 4,02	a	195,8 \pm 12,15	a	258,9 \pm 5,40	a
0,10 + 0,05	152,3 \pm 3,21	b	198,8 \pm 1,27	a	249,1 \pm 17,88	a	381,4 \pm 0,09	b
0,50	201,5 \pm 4,51	a	261,5 \pm 18,17	a	329,4 \pm 31,69	a	276,2 \pm 15,68	a
0,50 + 0,10	155,6 \pm 6,61	b	165,0 \pm 0,71	b	198,4 \pm 0,38	a	449,3 \pm 13,39	b
1,00	216,4 \pm 23,70	a	311,7 \pm 0,09	a	380,9 \pm 13,40	a	384,8 \pm 23,39	a
1,00 + 0,50	141,3 \pm 10,23	a	201,1 \pm 9,21	b	213,8 \pm 5,70	b	446,6 \pm 18,07	a
5,00	230,9 \pm 36,23	a	330,8 \pm 39,00	a	370,3 \pm 10,65	a	371,5 \pm 5,92	a
5,00 + 1,00	141,7 \pm 0,22	a	237,9 \pm 9,36	a	351,5 \pm 23,12	a	730,5 \pm 0,43	b

* = t- Testi; a ve b harfleri Bakır ve Bakır + Kadmiyum karışımının etkisinde birikimler arasındaki ayrımı belirtmek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında P < 0,05 düzeyinde İstatistik ayrım vardır.
X \pm Sx; Aritmetik ortalama \pm Standart hata

Tablo 11. Bakır ve Bakır + Kadmiyum Karışımının Belirlenen Süre ve Ortam Derişimlerinin Etkisinde Tatlısu çıpurası'nın (*O. niloticus*) Böbrek Dokusundaki Bakır Birikim Düzeylerinin ($\mu\text{g Cu/g k.a.}$) Karşılaştırılması.

DERİŞİM (ppm Cu) (ppmCu+Cd)	SÜRE							
	1. Gün		7. Gün		15. Gün		30. Gün	
	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)
0,10	0,00 \pm 0,00	a	24,71 \pm 1,38	a	50,27 \pm 3,88	a	64,43 \pm 0,30	a
0,10 + 0,05	14,58 \pm 1,82	b	22,85 \pm 0,34	a	34,23 \pm 1,74	a	104,5 \pm 8,58	b
0,50	15,82 \pm 0,12	a	29,03 \pm 4,42	a	80,60 \pm 6,19	a	64,22 \pm 5,53	a
0,50 + 0,10	20,59 \pm 1,23	a	27,93 \pm 3,89	a	63,21 \pm 3,34	a	187,2 \pm 3,09	b
1,00	15,91 \pm 2,14	a	36,18 \pm 0,46	a	103,3 \pm 1,56	a	176,2 \pm 11,70	a
1,00 + 0,50	23,88 \pm 0,72	a	13,34 \pm 0,26	b	77,83 \pm 2,07	b	289,7 \pm 1,43	b
5,00	26,90 \pm 1,86	a	86,77 \pm 2,16	a	165,5 \pm 1,76	a	329,9 \pm 4,20	a
5,00 + 1,00	46,94 \pm 3,39	a	10,49 \pm 0,23	b	58,02 \pm 1,91	b	303,5 \pm 15,00	b

* = t- Testi; a ve b harfleri Bakır ve Bakır + Kadmiyum karışımının etkisinde birikimler arasındaki ayrımı belirtmek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında P < 0,05 düzeyinde İstatistik ayrım vardır.
X \pm Sx; Aritmetik ortalama \pm Standart hata

Tablo 12. Bakır ve Bakır + Kadmiyum Karışımının Belirlenen Süre ve Ortam Derişimlerinin Etkisinde Tatlısu çıpurası'nın (*O. niloticus*) Kas Dokusundaki Bakır Birikim Düzeylerinin ($\mu\text{g Cu/g k.a.}$) Karşılaştırılması.

DERİŞİM (ppm Cu) (ppmCu+Cd)	SÜRE							
	1. Gün		7. Gün		15. Gün		30. Gün	
	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)	X \pm Sx	* (n = 6)
0,10	1,37 \pm 0,41	a	2,99 \pm 0,37	a	4,49 \pm 0,23	a	3,08 \pm 0,09	a
0,10 + 0,05	2,76 \pm 0,47	a	1,51 \pm 0,19	a	2,62 \pm 0,48	a	2,98 \pm 0,55	a
0,50	3,67 \pm 0,37	a	3,06 \pm 0,59	a	3,57 \pm 0,15	a	2,27 \pm 0,21	a
0,50 + 0,10	3,44 \pm 0,21	a	1,52 \pm 0,48	a	2,00 \pm 0,03	b	1,30 \pm 0,18	a
1,00	3,84 \pm 0,11	a	3,30 \pm 0,09	a	3,46 \pm 0,21	a	4,83 \pm 1,11	a
1,00 + 0,50	4,70 \pm 0,63	a	1,05 \pm 0,17	b	2,54 \pm 0,44	a	3,37 \pm 0,16	a
5,00	3,67 \pm 1,12	a	5,22 \pm 0,79	a	2,59 \pm 0,78	a	2,29 \pm 0,15	a
5,00 + 1,00	5,30 \pm 0,10	b	2,56 \pm 0,04	a	4,49 \pm 0,13	a	0,16 \pm 0,13	b

* = t- Testi; a ve b harfleri Bakır ve Bakır + Kadmiyum karışımının etkisinde birikimler arasındaki ayrımı belirtmek amacıyla kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında P < 0,05 düzeyinde İstatistik ayrım vardır.
X \pm Sx; Aritmetik ortalama \pm Standart hata

incelenen ortam derişimlerinin etkisinde karaciğer dokusundaki bakır birikimi, bakırın tek başına etkisinde belirlenen birikimden düşük düzeyde olmuştur. Otuzuncu günde ise karışımın etkisinde birikim bakırın tek başına etkisinde saptanan birikimden daha yüksek düzeyde olmuştur.

Tartışma

Belirlenen süre ve ortam derişimlerinin etkisinde, deney balıklarında mortalite gözlenmemiştir. Subletal ortam derişimlerinin etkisinde mortalitenin gözlenmemesi, glutasyon ve metallothionein gibi metal bağlayıcı proteinlerin sentezindeki artış, metabolizmanın yavaşlatılması gibi çeşitli uyum mekanizmaları ile olmaktadır (13).

Balıklarda bakır ve kadmiyum gibi ağır metallerin letal olmayan ortam derişimlerinde öncelikle solungaçlarda birikmesi, solungaçların, sudaki çözülmüş ağır metallerle doğrudan doğruya etkileşim halinde olmasından kaynaklanmaktadır. Solungaçlardaki ağır metal birikim düzeyi mortaliteye neden olacak düzeyde değilse, derişimi zaman içerisinde azalmaktadır (7). Tatlısu çipurası ile yapılan bu araştırmada gerek salt bakır gerekse bakır + kadmiyum karışımının belirlenen ortam derişimlerinin etkisinde, deney süresi sonunda solungaç dokusundaki bakır birikimi karaciğer ve böbreğe oranla daha düşük düzeyde olmuştur. Solungaç dokusundaki bakır birikiminin diğer doku ve organlara göre düşük düzeyde olması, bakırın solungaçlardan dolaşım sistemine geçerek, amino asitlere ve albumin gibi serum proteinlerine bağlanarak depo ve detoksifiye edilmek üzere karaciğere taşınmasından kaynaklandığı bilinmektedir (1).

Balıklarda ağır metaller, subletal ortam derişimlerinin etkisinde karaciğer, böbrek ve dalak gibi metabolik aktivitenin yoğun olduğu doku ve organlarda birikmektedirler (5). Balıklarda karaciğer, ağır metalleri bağlayarak toksik etkilerinin yok edilmesinde işlev gören metallothionein ve glutasyon gibi metal bağlayıcı proteinlerin başlıca sentez yerlerinden biridir (14). Çeşitli balık türlerinde bakır birikimi ile ilgili yapılan çalışmalarda karaciğerdeki bakır derişiminin, diğer doku ve organlara göre önemli düzeyde yüksek olduğu belirlenmiştir (9). Bu araştırmada gerek bakır gerekse bakır + kadmiyum karışımının belirlenen süre ve ortam derişimlerinin etkisinde bakır birikimi, en yüksek düzeyde karaciğer dokusunda saptanmıştır. Bu durum, karaciğerin balıklarda bakır bağlamada etkin bir rol oynadığının göstergesidir.

Alabalık (*Salmo trutta*) ile yapılan bir araştırmada (15), bakır en fazla karaciğerde birikirken kadmiyumun böbrek dokusunda biriktiği ve karaciğerde biriken bakırın zamanla dolaşım sistemine geçerek böbrek dokusuna taşındığı ve orada biriktiği belirlenmiştir. Alabalıkta (*Salmo trutta*) serum albuminine bağlı olarak taşınan bakırın böbreğin değişik kısımlarındaki birikiminin farklılık gösterdiği saptanmıştır (16). Tatlısu çipurası (*O. niloticus*) ile yapılan bu araştırmada hem bakır hem de bakır + kadmiyum karışımının etkisinde karaciğerden sonra en fazla bakır birikimi böbrek dokusunda olmuştur (Tablo 10,11). Bu durumun, balıklarda böbrek dokusunun, bakırın depolanması ve atılmasında önemli bir işlev görmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kadmiyumun farklı ortam derişimlerinin etkisinde, Sazan'ın (*Cyprinus carpio*) karaciğer ve böbrek dokularındaki kadmiyum birikimi kısa sürede çok yüksek derişime ulaşırken, kas dokusundaki birikimin ancak 106 günlük bir etki süresi sonunda ortaya çıktığı belirlenmiştir (17). Bu da; balıklarda kas dokusunun ağır metalleri bağlamada aktif bir doku olmadığını, birikimin diğer doku ve organlara göre çok düşük düzeyde olduğunu gösterir. Anılan nedenlerden dolayı, sudaki ağır metal kirliliğini belirlemede kas dokusundaki birikim düzeyi yanıltıcı olabilmektedir. Fakat, kas dokusunun besin olarak tamamen tüketilmesi nedeniyle besin zincirinde artan derişimlerde ağır metali iletceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışmada da, kas dokusundaki bakır birikimi diğer doku ve organlara göre çok düşük düzeyde olmuştur. Bu sonuçlar da balık kas dokusunun bakır bağlamada etkin olmadığını göstermektedir.

Pelgrom ve ark. (9), *Oreochromis mossambicus*'da bakır + kadmiyum karışımının etkisinde karaciğer, böbrek ve bağırsak dokusundaki bakır birikiminin, bakırın tek başına etkisinde saptanan birikimden daha fazla olduğunu, ancak kas dokusunda bu durumun tam tersinin meydana geldiğini belirlemişlerdir. Midye (*Mytilus edulis planulatus*) ile yapılan bir araştırmada (18); bakır + kadmiyum karışımının, incelenen doku ve organlarda metallerin tek başına etkisinde saptanan kadmiyum birikimini azalttığı, bakır birikimini ise arttırdığı belirlenmiştir. Tatlısu çipurası ile yapılan bu araştırmada, bakır + kadmiyum karışımı etkisinde, incelenen doku ve organlardaki bakır birikimi, bakırın tek başına etkisinde saptanan birikim ile karşılaştırıldığında dalgalanma göstermiştir.

Bu çalışmanın sonucunda, gerek bakır gerekse bakır + kadmiyum karışımının etkisinde, bakır en fazla karaciğerde birikirken, en az kas dokusunda birikmiştir. Bakır + kadmiyum karışımı 1, 7 ve 15 günlük etki sürelerinde böbrek, solungaç ve karaciğer dokularındaki bakır birikimi üzerine azaltıcı etki yaparken, 30. günde

arttırıcı etki yapmıştır. Bu sonuçlar, metal etkisinde incelenen doku ve organlarda metallothionein gibi metal bağlayıcı proteinlerin sentezindeki artış ve metallothionein molekülü üzerindeki bağlanma bölgeleri ile solungaçtan vücuda alınımlar için iki metal arasındaki rekabetle açıklanabilir.

Kaynaklar

1. Heath, A.G.: Water Pollution and Fish Physiology. CRC Press Inc., Florida. pp. 359. 1985.
2. Tort, L., Torres, P., Flos, R.: Effects on Dogfish Haematology and Liver Composition after Acute Copper Exposure. Comp. Biochem. Physiol. 1987; 87C: 349-353.
3. Johnson, I.: The Effects of Combinations of Heavy Metals Hypoxia and Salinity on Ion Regulation in *Crangon crangon* (L.) and *Carcinus maenas* (L.). Comp. Biochem. Physiol. 1988; 91C: 459-463.
4. Flos, R., Caritat, A., Balasch, J.: Zinc Content in Organs of Dogfish (*Scyliorhinus canicula* L.) Subjected to Sublethal Experimental Aquatic Zinc Pollution. Comp. Biochem. Physiol. 1979; 63C: 77-81.
5. Sharma, R.P.: Ligands Binding Cadmium, Zinc and Copper in a Species of New Zealand Oyster (*Ostrea lutaria*). Bull. Environ. Contam. Toxicol. 1983; 30: 428-434.
6. Cross, F.A., Hardy, L.H., Jones, N.Y., Baeber, R.T.: Relation between Total Body Weight and Concentrations of Manganese, Iron, Copper, Zinc and Mercury in White Muscle of Bluefish (*Pomatomus saltatrix*) and a Bathy-Demersal Fish *Antimora rostrata*. J. Fish Res. Board Can. 1973; 30: 1287-1291.
7. Collvin, L.: Uptake of Copper on Growth and Starvation in Perch, *Perca fluviatilis*. Ecol. Bull. 1984; 36: 57-61.
8. Erdem, C.: Cadmium Accumulation in Liver, Spleen, Gill and Muscle Tissues of *Tilapia nilotica* (L.). Biyokim. Derg. 1990; 15: 13-22.
9. Pelgrom, S.M.G.J., Lamers, L.P.M., Lock, R.A.C., Balm, P.H.M., Wandelaar, S.E.: Interactions between Copper and Cadmium Modify Metal Organ Distribution in Mature Tilapia, *Oreochromis mossambicus*. Environ. Pollut. 1995; 90: 415-423.
10. Cıçık, B., Erdem, C.: *Tilapia nilotica*'da Bakırın Karaciğer ve Kas Dokularındaki Nicel Protein Değişimlerine Etkileri. Biyokim. Derg. 1992; 17: 51-64.
11. Muramoto, S.: Elimination of Copper from Cu-Contaminated Fish by Long Term Exposure to EDTA and Freshwater. J. Env. Sci. Health. 1983; A18: 455-461.
12. Rohlf, J.F., Sokal, R.R.: "Statistical Tables". W.H. Freeman and Company, San Fransisco. pp. 253. 1969.
13. Hilmy, A.M., El-Domiaty, N.A., Daabees, A.Y., Alsarha, A.: The Toxicity to *Clarias lazera* of Copper and Zinc Applied Jointly. Comp. Biochem. Physiol. 1987; 87C: 309-314.
14. Viarengo, A.: Biochemical Effects of Trace Metals. Mar. Poll. Bull. 1985; 16: 153-158.
15. Olsvik, P.A., Gundersen, P., Andersen, R.A., Zachariassen, K.E.: Metal Accumulation and Metallothionein in Brown Trout, *Salmo trutta*, from Two Norwegian Rivers Differently Contaminated with Cd, Cu and Zn. Comp. Biochem. Physiol. C. Toxicol. Pharmacol. 2001; 128: 189-201.
16. Woodling, J.D., Brinkman, S.F., Horn, B.J.: Nonuniform Accumulation of Cadmium and Copper in Kidneys of Wild Brown Trout (*Salmo trutta*) populations. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 2001; 40: 381-385.
17. De Conto Cinier, C., Petit-Ramel, M., Faure, R., Garin, D., Bouvet, Y.: Kinetics of Cadmium Accumulation and Elimination in Carp *Cyprinus carpio* tissues. Comp. Biochem. Physiol. C. Toxicol. Pharmacol. 1999; 122: 345-352.
18. Elliot, N.G., Swain, R., Ritz, D.A.: Metal Interaction during Accumulation by the Mussel (*Mytilus edulis planulatus*). Mar. Biol. 1986; 93: 359-399.