

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serda KARAYAKAR

KADMİYUM'UN *Clarias lazera* (Valenciennes, 1840)'nın SOLUNGAÇ,
KARACİĞER, BÖBREK, DALAK ve KAS DOKULARINDAKİ BİRİKİM
ve ELİMİNASYONU

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2004

151 759

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KADMIYUM'UN *Clarias lazera* (Valenciennes, 1840)'nın SOLUNGAÇ,
KARACİĞER, BÖBREK, DALAK ve KAS DOKULARINDAKİ BİRİKİM
ve ELİMİNASYONU

Serda KARAYAKAR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 16 / 09 / 2004 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oy Birliği /
~~Oy Çoğunluğu~~ İle Kabul Edilmiştir

İmza
Prof. Dr. Cahit ERDEM
JÜRİ BAŞKANI

İmza
Prof. Dr. Nevin ÜNER
ÜYE

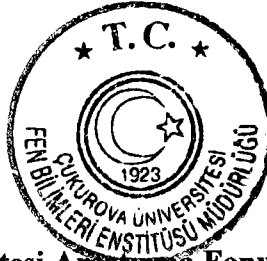
İmza
Doç. Dr. M. Z. Lugal GÖKSU
ÜYE

İmza
Yrd. Doç. Dr. Bedii CİCİK
ÜYE

İmza
Yrd. Doç. Dr. Özcan AY.
ÜYE

Bu tez Enstitümüz Biyoloji Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod no: 2433



Prof. Dr. Fikri ARDENİZ
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu Tarafından desteklenmiştir.

Proje No: FBE2003YL1

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO :

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	9
3.1. Materyal	9
3.1.1. Kimyasal Maddeler	10
3.1.2. Cihazlar ve Diğer Gereçler	11
3.2 Yöntem	11
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	12
4.1. Bulgular	12
4.2. Tartışma	20
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	24
KAYNAKLAR	25
ÖZGEÇMİŞ	34

ÖZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KADMİYUM'UN *Clarias lazera* (Valenciennes, 1840)'nın SOLUNGAÇ,
KARACİĞER, BÖBREK, DALAK ve KAS DOKULARINDAKİ BİRİKİM
ve ELİMİNASYONU**

Serda KARAYAKAR

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

Danışman: Prof. Dr. Cahit ERDEM

İkinci Danışman: Yrd. Doç. Dr. Bedii CİCİK

Yıl : 2004, Sayfa: 34

Jüri : Prof. Dr. Cahit ERDEM

: Prof. Dr. Nevin ÜNER

: Doç.Dr. M. Z Lugal GÖKSU

: Yrd. Doç. Dr. Bedii CİCİK

: Yrd. Doç. Dr. Özcan AY

Clarias lazera ile yapılan bu araştırmada kadmiyumun 0.25, 0.50 ve 1.00 ppm ortam derişimlerinin etkisinde 30 gün süre ile solungaç, karaciğer, böbrek, dalak ve kas dokularındaki birikimi ile bunu izleyen 15, 30 ve 45 günlük periyotlarda bu dokulardan depurasyon düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Doku metal düzeylerinin belirlenmesinde ICP-AES spektrofotometrik yöntemi kullanılmıştır.

Denenen ortam derişimlerinin etkisinde kadmiyum birikiminin kontrole oranla tüm dokularda önemli düzeyde arttığı, en fazla birikimin böbrek dokusunda olduğu, bunu sırasıyla karaciğer, dalak, solungaç ve kas dokularının izlediği saptanmıştır.

Farklı ortam derişimlerinin 30 gün etkisi sonunda belirlenen depurasyon periyotlarında ise dalak ve karaciğer dokusunda herhangi bir değişim gözlenmemiş, solungaç ve kas dokusundaki metal düzeyinde genel olarak bir azalma, böbrek dokusunda ise bir artış belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Clarias lazera*, Kadmiyum, Birikim, Depurasyon

ABSTRACT
MSc THESIS

**ACCUMULATION and ELIMINATION of CADMIUM from the GILL,
LIVER, KIDNEY, SPLEEN and MUSCLE TISSUES of *Clarias lazera*
(Valenciennes, 1840)**

Serda KARAYAKAR

UNIVERSITY of ÇUKUROVA

INSTITUTE of NATURAL and APPLIED SCIENCES

DEPARTMENT of BIOLOGY

Supervisor: Prof.Dr. Cahit ERDEM

Vice Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Bedii CİCİK

Year : 2004, Page: 34

Jury : Prof. Dr. Cahit ERDEM

Prof. Dr. Nevin ÜNER

Doç.Dr. M. Z. Lugal GÖKSU

Yrd. Doç. Dr. Bedii CİCİK

Yrd. Doç. Dr. Özcan AY

Clarias lazera was exposed to 0.25, 0.50 and 1.00 ppm Cd for 30 days period and accumulation over 30 days and depuration of the metal over 15, 30 and 45 days from the gill, liver, kidney, spleen and muscle tissues were studied. Metal levels in tissues were studied using ICP-AES spectrophotometric methods.

Cadmium accumulation increased in all the tissues studied as the concentration of the metal in the medium increased. Highest accumulation of the metal was observed in the kidney tissue followed by the liver, spleen, gill and muscle tissues.

During the 15, 30 and 45 days depuration periods, after 30 days of exposure, no difference was observed in spleen and liver tissues, a general decrease in gill and muscle tissues and an increase in kidney tissue was measured.

Key Words: *Clarias lazera*, Cadmium, Accumulation, Depuration

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarıma baőladıđım andan itibaren desteklerini esirgemeyen değerli danışman hocalarım Ç.Ü. Fen Edebiyat Fakóltesi Biyoloji Bölümü öğretim üyelerinden Sayın Prof. Dr. Cahit ERDEM ve Mersin Üniversitesi Su Ürünleri Fakóltesi öğretim üyelerinden Sayın Yrd. Doç. Dr. Bedii CİCİK'e teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Tezimin genel değerlendirmesinde benden yardımlarını esirgemeyen Mersin Üniversitesi Su Ürünleri Fakóltesi öğretim üyelerinden Sayın Yrd. Doç. Dr. Özcan AY, Sahire KARAYTUĐ, her türlü desteğini gördüğüm eőim Fahri KARAYAKAR'a ve biricik kızım Evrim'e teşekkür ederim.

FBE-2003-YL1 numaralı bu çalıőmaya desteklerinden dolayı Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederim.

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA NO :

Çizelge 3.1.1.	Akvaryum ortamının fiziksel ve kimyasal özellikleri.	10
Çizelge 4.1.1.	Kadmiyumunun farklı ortam derişimlerinin etkisinde 30 gün süre ile bırakılan <i>C. lazera</i> 'nın dokularındaki metal birikimi ($\mu\text{gCd/g}$ k.a.).	13
Çizelge 4.1.2.	<i>C. lazera</i> 'da solungaç dokusundaki kadmiyum birikimi ve depurasyonu ($\mu\text{g Cd/g}$ k.a.) üzerine ortam derişimi ve sürenin etkileri.	15
Çizelge 4.1.3.	<i>C. lazera</i> 'da karaciğer dokusundaki kadmiyum birikimi ve depurasyonu ($\mu\text{gCd/g}$ k.a.) üzerine ortam derişimi ve sürenin etkileri.	15
Çizelge 4.1.4.	<i>C. lazera</i> 'da böbrek dokusundaki kadmiyum birikimi ve depurasyonu ($\mu\text{gCd/g}$ k.a.) üzerine ortam derişimi ve sürenin etkileri.	16
Çizelge 4.1.5.	<i>C. lazera</i> 'da dalak dokusundaki kadmiyum birikimi ve depurasyonu ($\mu\text{gCd/g}$ k.a.) üzerine ortam derişimi ve sürenin etkileri.	17
Çizelge 4.1.6.	<i>C. lazera</i> 'da kas dokusundaki kadmiyum birikimi ve depurasyonu ($\mu\text{gCd/g}$ k.a.) üzerine ortam derişimi ve sürenin etkileri.	17

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA NO :

- Şekil 4.1.1.** Kadmiyumun farklı ortam derişimlerinin etkisinde 30 gün süre ile bırakılan *C. lazera*'nın, solungaç, karaciğer, böbrek dalak ve kas dokularında metal birikimi ($\mu\text{g Cd/g k.a.}$). 14
- Şekil 4.1.2.** Kadmiyumun 0.25 ppm ortam derişiminde *C. lazera*'nın solungaç, karaciğer, böbrek dalak ve kas dokularındaki birikimi ve depurasyonu ($\mu\text{g Cd /g k.a.}$). 18
- Şekil 4.1.3.** Kadmiyumun 0.50 ppm ortam derişiminde *C. lazera*'nın solungaç, karaciğer, böbrek dalak ve kas dokularındaki birikimi ve depurasyonu ($\mu\text{g Cd /g k.a.}$). 19
- Şekil 4.1.4.** Kadmiyumun 1.00 ppm ortam derişiminde *C. lazera*'nın solungaç, karaciğer, böbrek dalak ve kas dokularındaki birikimi ve depurasyonu ($\mu\text{g Cd /g k.a.}$). 19

1. GİRİŞ

Antropojenik faktörler ve biyojeokimyasal olaylar bakır, çinko gibi eser elementlerin yanı sıra doğal derişimlerde de toksik etkili olabilen kurşun, kadmiyum ve civa gibi ağır metallerin su ortamlarına katılımını arttırmaktadır. Ortamdaki derişimleri artan ağır metaller, metale duyarlı türlerde mortaliteye veya habitat değişimine neden olurken hoşgörüsü yüksek türlerde birikerek biyolojik yapısını etkilemektedir.

Organizmalar yaşamsal işlevlerinde kadmiyuma gereksinim duymazlar, ancak su ortamında bulunan ve metabolik olaylarda gereksinim duyulan iyonlarla rekabet halinde olması alınımına, metal bağlayıcı bileşiklere kolayca bağlanması birikimine ve biyolojik olaylarda gereksinim duyulmayan bir element olarak regülasyonu yapılmadığından toksisiteye neden olmaktadır.

Balıklarda kadmiyum birikimi biyolojik özelliklere ve ortam koşullarına bağlı olarak değişir. Çeşitli balık türleri ile yapılan araştırmalardan kadmiyum birikiminin biyolojik özelliklerden türe (Erdem ve Kargın, 1990), türün gelişme evresine (Beaumont ve ark., 2000), boy ve ağırlığa (Zyadah, 1999), doku ve organa (Erdem, 1990; Cicik ve Erdem 1992; DeConto Cinier ve ark., 1999), ortam koşullarından ise derişime (Gill ve ark., 1992; Kalay, 1996), etkide kalma süresine (Suresh ve ark., 1993), ortamda bulunan diğer metallere (Allen, 1995 a, b), EDTA, DTA, DPTA gibi kompleksleştirici ajanlara (Muramoto, 1980), sıcaklık, pH, tuzluluk, alkalinite, çözünmüş oksijen ve sertlik gibi su özelliklerine (Pagenkopf, 1983; Hollis ve ark., 1999) ve alınım yoluna (Szebedinszky, ve ark., 2001) bağlı olarak değişim gösterir.

Balıklarda ağır metaller su, besin, solungaçlar ve tüm vücut yüzeyinden absorpsiyon şeklinde alınsalar da alınım yoluna bağlı olmaksızın başlıca karaciğer, böbrek, dalak ve solungaç gibi metabolizması aktif olan organlarda birikirler. Kadmiyumun subletal derişimlerinin uzun süreli etkisinde *Cyprinus carpio* fingerlinglerinin solungaç dokusunda (Suresh ve ark., 1993), *Oreochromis aureus*'da böbrek dokusunda birikirken (Woo ve ark., 1993), aynı türde bu dokuyu dalak ve karaciğer dokularının izlediği saptanmıştır (Allen, 1995 a). Kas ve beyin gibi metabolik inaktif dokularda kadmiyumun düşük düzeylerde biriktiği *Tilapia nilotica*

(Kalay ve Karataş, 1999) ve *Oreochromis mossambicus* (Woo ve ark., 1993) ile yapılan araştırmalarla belirlenmiştir.

Depurasyon belirli bir sürede organizma tarafından alınan toksik etkili kimyasalların, normal ortam koşullarında süreye bağlı olarak vücuttan uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. Balıklarda memelilerden farklı olarak ksenobiyotiklerin başlıca depurasyon yolları solungaçlar, safra, böbrekler ve deri olup solungaç ve deri kontamine ortamda atılımdan çok alınımda işlev görmektedir (Heath, 1995). Balıklarda kadmiyum depurasyonu metabolik aktiviteye, büyüklüğe ve ortamda bulunan kompleksleştirici ajanların bulunmasına bağlı olarak değişim gösterir. Ortamda bulunan EDTA'nın *Tilapia zilli*'nin dokularından kadmiyum atılımını arttırdığı belirtilmektedir (Kargın, 1996).

Kadmiyumun balıklarda oluşturduğu toksik etkiler arasında Ca^{++} alımını engelleyerek hipokalsemi'ye (Wicklund ve ark., 1988; Lionetto ve ark., 2000), serum glikoz düzeyini arttırarak hiperglisemi'ye (Sastry ve Subhadra, 1982; Gill ve ark., 1993; Cicik, 1995), anemiye bağlı olarak iyon kompozisyonunda değişime (Sjöbeck ve ark., 1984) solungaç ve karaciğer hücrelerinde hiperplasi ve hipertropi'ye (Gill ve ark., 1988; Matei ve ark., 1993) neden olmasına ek olarak kılcal damarlarda tıkanma, solungaç, böbrek, dalak ve karaciğerde patolojik değişimler ve iskelette yapısal bozulmalar sayılabilir.

Siluridae familyasının bir üyesi olan *Clarias lazera*, ülkemizde özellikle Akdeniz bölgesindeki akarsularda ve drenaj kanallarında yaygın olarak bulunmaktadır. Türün çevre koşullarındaki değişimlere ve kirleticilere hoşgörüsü yüksek düzeylerde olup, yaşam alanları tarımsal ve endüstriyel aktivitelerin doğrudan etkisindedir.

Balık dokularındaki metal birikim ve atılım düzeylerinin belirlenmesi, ortamdaki kirlilik düzeyini yansıtmaması ve metal atılım mekanizmasının etkinliğini belirleme bağlamında önem taşıdığından, *C. lazera* ile yapılan bu araştırmada kadmiyumun 0.25, 0.50 ve 1.00 ppm derişimlerinin etkisinde 30 gün süre ile birikimi ve bunu izleyen 15, 30 ve 45 günlük periyotlarda depurasyon düzeyinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ağır metallerin doğada çok düşük derişimlerde bulunması ile birlikte insan nüfusunun hızlı artması ve bununla birlikte endüstriyel gelişmeler doğadaki ağır metal derişiminin de artmasına neden olmuştur. Kadmiyum, doğada parçalanamayan etkisi kumulatif bir kirletici olarak, uzun sürede trofik düzeylerde değişikliğe neden olabilmekte ve tatlısu balıkları özellikle Cd'dan etkilenebilmektedir (Sorensen, 1991).

Metalin metabolik olaylar üzerine etkisi ile Cd'a karşı duyarlılık; metalin alınıma kaynağına (Hollis ve ark., 1999), besin ya da su kaynaklı etkisine (Spry ve Wiener, 1991), metal bağlayıcı proteinler üzerine etkisine (Carginale ve ark., 1998) ve Cd'un dokulardaki dağılımına (De Conte Cinier ve ark., 1999) bağlı olarak değişim gösterir. Sert ve alkalinitesi yüksek sularda kronik kadmiyum etkisinin *Oncorhynchus mykiss*'de solungaç kadmiyum birikimini arttırdığı, Ca^{++} 'un solungaçlardan alınımını engellediği ve Ca^{++} derişiminde bir düşme ile sonuçlandığı saptanmıştır (Hollis ve ark., 1999).

Balıkların doku ve organlarındaki metal birikimi türe bağlı olarak değişim göstermektedir. *O. mykiss* ve *Noemacheilus barbatulus*'da kadmiyumun subletal derişiminin kronik etkisinde doku ve organlardaki kadmiyum birikiminin türe bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir (Norey ve ark., 1990). *Cyprinus carpio* ve *Capoeta capoeta*'nın solungaç, karaciğer ve kas dokularında Cd, Cu ve Pb birikimlerinin incelenmesi sonunda *C. capoeta*'nın *C. carpio*'ya oranla daha yüksek derişimde kadmiyum biriktirdiği saptanmıştır (Erdem ve ark., 2004).

Balıklarda metal birikimi, doku ve organlara bağlı olarak değişim gösterir (Pagenkopf, 1983; Heath, 1995). *O. mykiss*'de kadmiyumun subletal derişimlerinin etkisinde kas ve beyin dışında böbrek, karaciğer ve solungaç dokularında ortam derişimi ve etkide kalma süresine bağlı olarak önemli düzeyde biriktiğini saptamıştır (Melgar ve ark., 1997). *C. carpio*'da kadmiyumun subletal ortam derişimlerinin 29 günlük etki süresi sonunda en fazla metal birikiminin solungaç ve karaciğere oranla böbrekte olduğu belirlenmiştir (DeSmet ve Blust, 2001). Kadmiyumun subletal ortam derişimlerinin etkisinde *T. nilotica*'da 15. günden sonra solungaç dokusundaki

Cd birikim düzeyi düşerken karaciğer ve böbrekteki Cd birikiminin arttığı saptanmıştır (Kalay, 1996). Kadmiyumun *O. mossambicus*'da 40, 80 ve 160 ppb'lik ortam derişimlerinin 7 gün süreyle etkisi solungaç dokusundaki kadmiyum birikimini önemli düzeyde arttırmıştır (Wong ve Wong, 2000). Kadmiyum, kurşun, bakır ve çinko'nun *T. zilli*'de 1.00 ppm'lik derişimlerinin 10 gün süre etkisinde karaciğer, solungaç, beyin ve kas dokularındaki birikimi incelenmiştir. Cd ve Pb incelenen tüm dokularda, Cu kas dokusu dışında diğer doku ve organlarda önemli düzeyde artarken, Zn'nun ise diğer metallere göre daha düşük düzeyde biriktiği saptanmıştır (Kalay ve Canlı, 2000). Kadmiyumun *T. nilotica*'da 0.1 ve 1.00 ppm'lik 10 gün süre etkisinde en yüksek birikimin karaciğerde olduğu daha sonra bunu sırasıyla solungaç ve kas dokusunun izlediği belirlenmiştir (Kargın ve Çoğun, 1999).

C. carpio'da Cd'un 53 ve 443 ppb'lik derişimlerinin 127 gün süreyle etkisi, doku ve organlarda önemli düzeyde Cd birikimine neden olmuştur (DeConto-Cinier ve ark., 1999). *O. mykiss*'de Cd'un subletal derişimlerinin uzun süreli etkisi sonunda biriken total metalin % 90'dan fazlasının solungaç, karaciğer ve böbrek dokularında olduğu saptanmıştır (Thomas ve ark., 1985). Balıklarda ağır metallerin subletal derişimlerinin etkisinin başlangıcında öncelikle yüksek derişimlerde solungaçlarda biriktiği ve etkide kalma süresinin uzaması ile solungaçtaki derişimlerinin düştüğü belirlenmiştir (Collvin, 1984; Tort ve ark., 1984). *O. mykiss*'de Cd'un subletal derişimlerinin 3 hafta süreyle etkisi doku ve organlardaki Cd derişiminde artışa neden olmuştur. Cd birikimi en yüksek düzeyde böbrek dokusunda olurken, bunu sırasıyla karaciğer, solungaç ve kas izlemiştir (Melgar ve ark., 1997). Kadmiyum kontaminasyonu gösteren bölgelerden örneklenen *Perca fluviatilis*'in karaciğerinde yüksek düzeyde Cd biriktiği saptanmıştır (Hogstrand ve ark., 1991). Doğal kaynaklı Pb ve Cd etkisinde kalan *O. kisutch*'da gerek Pb gerekse Cd solungaç, karaciğer ve böbrekte nispeten yüksek derişimlerde birikmiştir (Reichert ve ark., 1979).

Balıklarda doku ve organlardaki metal birikimi, yaş, boy, ağırlık ve eşeye bağlı olarak da değişim göstermektedir. Mısır, Aswan Baraj gölünden örneklenen *T. nilotica*'nın doku ve organlarında Cd ve Pb birikim düzeyleri incelenmiş, metal birikiminin yaş ve ağırlığa bağlı olarak değiştiği saptanmıştır (Rashed, 2001). İki farklı kültür ortamından sağlanan *O. niloticus* fingerlinglerinde Zn, Cd ve Hg'nun

subletal derişimlerinin kısa süreli etkisine bırakılmış ve etkide kalma süresine bağlı Cd ve Hg her iki gruptaki birikimi artarken, çinko derişiminde herhangi bir değişimin olmadığı belirlenmiştir (Cuvin–Aralar, 1994). Mısır’da Cd, Cu, Zn ve Pb kontaminasyonu gösteren gölden yapılan örneklemede *T. zilli*’nin doku ve organlarındaki ağır metal birikiminin boy ve eşeye bağlı olarak değişim gösterdiği büyük boylu balıkların küçük boylu balıklara oranla daha yüksek derişimde metal biriktirirken, dişilerin erkeklere oranla daha fazla birikim sergilediği belirlenmiştir (Zyadah, 1999).

Dokular arasındaki metal dağılımı, alınım kaynağına, etki şekline, besine ve sudaki bileşimin şekline bağlı olarak değişim göstermektedir (Kraal ve ark., 1995). *O. mykiss* juvenil ve erginlerinde kadmiyumun subletal derişimlerinin 21 gün süreyle besin ve ortam yoluyla etkisi sonunda böbrek ve solungaçta yüksek düzeyde metal birikimine neden olurken besin yoluyla etkisinde en fazla bağırsakta birikmiştir (Farag ve ark., 1994). *C. carpio*’da kadmiyumun ortam yoluyla etkisinde metal etkisinin başlangıcında en fazla doğrudan doğruya ortamla temas halinde olan solungaç dokusunda olduğu saptanmıştır. Kontamine besinle beslenen balıklarda en yüksek derişimde kadmiyum birikimi bağırsak ve böbrek dokularında olurken, metalin yaşam ortamını oluşturan su aracılığı ile etkisinde bağırsak ve solungaç dokusunda biriktiği belirlenmiştir (Kraal ve ark., 1995).

Dicentrarchus labrax’da besin içerisinde Pb ve Cd’un birlikte uygulanmasından 62 günlük etki süresi sonunda her iki metalin de kasa oranla karaciğerde daha fazla biriktiği saptanmıştır (Odzak ve Zvanoric, 1995). İntraperitoneal olarak Cu ve Cd enjekte edilmiş *D. labrax*’da bakırın, kadmiyumdan daha toksik olduğu belirlenmiştir. Enjeksiyonu takiben kas, karaciğer ve böbrek dokularındaki metal birikimi ölçülmüş, Cd etkisinde Cu’ın daha fazla biriktiği saptanmıştır (Romeo ve ark., 2000). *O. mykiss*’de 30 gün süre ile Cd’un subletal derişimlerinin besin ve ortam yoluyla etkisinin solungaç dokusundaki metal birikimi üzerine etkileri incelenmiş, her iki etki şeklinde de solungaç dokusunda önemli düzeyde Cd biriktiği belirlenmiş, en fazla Cd birikiminin ise böbrekte olduğu saptanmıştır (Szebediniszky ve ark., 2001). Metal içeren larvalarla beslenen balıkların sindirim sistemi, karaciğer ve böbrek dokularında önemli düzeyde Cd

biriktiği saptanmıştır (Hatekeyama ve Yasuno, 1987). *O. mykiss*'in fingerlinglerinde Cd'un sitrat, asetat ve klorür tuzlarının 4 ppb'lik derişimlerinin 10 hafta süreyle etkisinde su veya besin aracılığı ile doku ve organlardaki metal birikimi etki şekline bağlı olarak değişim göstermiştir (Kumada ve ark., 1980).

Balıkların doku ve organlarındaki ağır metal birikimi, ortamda bulunan diğer metal ve kompleksleştirici bileşiklere bağlı olarak da değişim göstermektedir. Kadmiyumun tek başına ve ayrı ayrı civa ve kurşun ile karışımlarının doku ve organlardaki kadmiyum birikimi üzerine etkileri *O. aureus*'da incelenmiş, kadmiyumun tek başına uzun süreli etkisinde en fazla metal birikimi böbrek dokusunda saptanmıştır. Kadmiyumun civa ve kurşun karışımlarının etkisinde de en fazla Cd birikiminin yine böbrek dokusunda olduğu belirlenmiştir. Ortamda Pb ve Hg'nin bulunması Cd'un doku ve organlardaki birikimi üzerine arttırıcı veya azaltıcı yönde herhangi bir etki yapmadığı saptanmıştır (Allen, 1995a,b). Kadmiyum, Fe, Cu ve Zn gibi diğer metallerle etkileşime girerek metabolik olaylarda işlev gören enzimlerin aktivitelerini etkileyebilir (Khan ve ark., 1991; Li ve ark., 1993; Katakura ve Sugawara, 1995). Subletal derişimlerdeki Cd'un EDTA ile birlikte etkisi *T. zilli*'de karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki metal birikimini, Cd'un tek başına etkisindekine oranla azaltmıştır (Kargın, 1996).

Balıklarda ağır metal etkisi, patolojik, fizyolojik ve metabolik değişimlere neden olmaktadır. Kadmiyumun, karaciğer (Friedman ve Gesek, 1994), testis (Shen ve Sangiah, 1995), sinir sistemi (Provias ve ark., 1994), böbrek (Novelli ve ark., 1999), dalak ve kemik iliğinde (Yamano ve ark., 1998) patolojik değişimlere neden olduğu bildirilmiştir. Horiguchi ve ark. (1994), kadmiyumun, Ca, Fe, PO₄ ve HCO₃ gibi minerallerin kaybı sonucunda kemik erimesi ve anemiye neden olduğunu saptamışlardır. *O. mossambicus*'da Cd'un 5 ppm'lik derişiminin 2 ay süreyle etkisinde solungaç yapısında hipertrofi, solungaç lamellerinde erime, kılcal damarlarda tıkanma gibi çeşitli bozukluklara neden olduğu bildirilmiştir (Matei ve ark., 1993). Kadmiyum solunum olayları ile hipokalsemi ve hiperglisemiye neden olarak plazma kompozisyonunu da etkiler (Sorensen, 1991). Kadmiyum etkisinde bırakıldıktan sonra karaciğer, böbrek, kas ve diğer dokulardaki metabolik enzim aktivitesinin değiştii belirlenmiştir (Sastry ve Subhadra, 1982).

Balıklarda kadmiyum birikimi doku ve organların işlevlerinde bozukluklara neden olurken, balığın gelişimini de olumsuz yönde etkilemektedir. Kadmiyum balıklarda gelişmeyi olumsuz etkilemekte (Lemaire ve Lemaire, 1992), solungaçlardan Ca^{++} alınımını engellemekte (Verbost ve ark., 1987) ve karaciğer işlevinde bozukluklara neden olmaktadır (Soengas ve ark., 1996). *Lepomis macrochirus*'da Cd'un subletal derişimlerinin 163 gün süre etkisindeki balıklarda gelişmenin önemli düzeyde yavaşladığı ve etkide kalma süresinin uzaması ile mortalitenin arttığı saptanmıştır (Versteeg ve Giesy, 1986). Gökkuşığı alabalıklarının fingerlinglerinde ise Cd'un sitrat, asetat ve klorür tuzlarının 4 ppb'lik derişimlerinin 10 hafta süreyle etkisinde gelişme, yaşama süresi ve histolojik bakımdan herhangi bir olumsuz etkiye neden olmadığı saptanmıştır. Belirtilen metal tuzlarının aynı derişimde besin aracılığı ile 12 hafta süreyle etkisi gelişme, yaşama süresi ve histolojik bakımdan bir bozukluğa neden olmamıştır (Kumada ve ark., 1980).

Kadmiyumun balıklarda eşeyssel olgunluğa ulaşma oranlarını büyük ölçüde etkilediği bildirilmektedir. İki ay süreyle 210 ppb Cd içeren *Chironomus yoshimatsui* larvaları ile beslenen *Poecilia reticulata*'da eşeyssel olgunluğa ulaşan bireylerin kontrole göre % 80 oranında düştüğü saptanmıştır. Yine Cd içeren larvalarla 30 gün süreyle beslenmiş balıkların kontrole oranla daha kısa süre yaşadıkları belirlenmiştir. Kadmiyum içeren larvalarla beslenen balıklarda Cd'un üreme sistemi üzerine benzer etkiler 6 ay süreyle Cd'un 10 ve 20 ppb'lik ortam derişimlerinin etkisinde kalan balıklarda gözlenmiştir (Hatekeyama ve Yasuno, 1987).

Balıklarda zararlı kimyasalların atılım yolları solungaçlar, safra, böbrek ve deridir. Suda metal bulunması durumunda solungaç ve deri metali atmaktan çok alma eğilimindedir (Heath, 1987).

Depurasyon düzeyi doku ve metale bağlı olarak değişim göstermektedir. 10 gün metal etkisinde bırakılan *T. zilli*'nin farklı dokularında 1, 7, 15 ve 30. günlerde eliminasyonu sonucunda en fazla metal eliminasyonu solungaç dokusunda olurken, karaciğerde sadece Pb'un önemli düzeyde elimine edildiği, beyin ve kas dokusunda ise 30 günlük eliminasyon periyotlarında önemli bir eliminasyonun olmadığı saptanmıştır. Diğer taraftan eliminasyon periyodunda karaciğerdeki Cd ve Cu

derişiminin arttığı belirlenmiştir (Kalay ve Canlı, 2000). Kadmiyum'un 0.1 ve 1.00 ppm ortam derişimlerinin 30 gün süreyle etkisi sonunda temiz ve EDTA'lı temiz suya alınan balıklarda kadmiyum eliminasyonu sonunda süreye bağlı bir artış gözlenmiştir. Her iki grupta da en fazla kadmiyum eliminasyonu solungaç dokusunda olurken bunu karaciğer ve kas izlemiştir. Dokularda kadmiyum eliminasyonu EDTA'lı ortamda bekletilen balıklarda EDTA içermeyen temiz suya alınan balıklardakinden yüksek düzeyde olmuştur (Kargin, 1996). 0.1 ve 1.00 ppm kadmiyum derişiminin 10 gün etkisinde tutulan *T.zilli*'nin 30 günlük eliminasyon periyodunun sonunda karaciğer dokusundaki Cd eliminasyonu solungaç dokusuna oranla daha az olurken, kas dokusunda önemli bir eliminasyon saptanmamıştır (Kargin ve Çoğun, 1999). Metal içermeyen ortama alınan balıkların doku ve organlarında 34 günlük periyot sonunda yüksek miktarda Cd biriktiği, birikimin en fazla böbrek dokusunda olduğu bunu karaciğer, beyin, solungaç ve kas dokusunun izlediği saptanmıştır (Woo ve ark., 1993). Metal etkisini izleyen 43 gün süreli depurasyon periyodunda hızlı ve yüksek düzeydeki eliminasyon kas dokusunda gerçekleşirken, böbrek ve karaciğerde önemli düzeyde bir eliminasyonun olmadığı saptanmıştır (DeConto-Cinier ve ark., 1999).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Araştırmada materyal olarak 65.00 ± 5.00 g ağırlık ve 20.00 ± 2.00 cm total boya sahip *Clarias lazera* türü balıklar kullanılmıştır. Balıklar Mersin ilinin Silifke ilçesindeki balık işletmesinden sağlanmıştır. Araştırma Mersin Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Araştırma Laboratuvarında bulunan stok ve deney akvaryumları içerisinde yürütülmüştür. Balıkların deney koşullarına adaptasyonları stok akvaryumlar içerisinde 30 gün süre ile bekletilerek sağlanmıştır. Deneyler, stok akvaryumlarla aynı boyutlarda olan 4 cam akvaryum içerisinde sürdürülmüştür. Her biri 40 x 100 x 40 cm boyutlarında olan akvaryumlardan ilk üçüne 120 litre kadmiyum içermeyen dinlendirilmiş çeşme suyu ile hazırlanan 0.25, 0.50, 1.00 ppm Cd derişimindeki deney çözeltileri ile 24'er adet balık konmuştur. Kontrol olarak kullanılan 4. akvaryuma ise 120 litre yukarıda belirtilen özelliklerdeki çeşme suyu ve aynı sayıda deney materyali konmuştur. Deneylerin birinci aşamasında 30 günlük etki süresinde belirlenen derişimlerde metal birikim düzeylerini saptamak amacıyla her akvaryumdan altı balık çıkartılırken akvaryumlarda kalan 18'er balık, ayrı ayrı dinlenmiş su içeren 4 akvaryuma alınmışlardır. İkinci aşamada ise kadmiyum depurasyonunu belirlemek amacıyla 15, 30 ve 45 gün süreler sonunda, her akvaryumdan 6 balık çıkartılmıştır.

Akvaryumlarda havalandırma, merkezi havalandırma sistemi ile sağlanmıştır. Balıklar, deney süresince her gün ağırlıklarının %2'si oranında, içerisinde kadmiyum bulunmadığı belirtilen, hazır balık yemi ile beslenmiştir (Pınar yem).

Deneyler her tekrarda 2 balık olacak şekilde 3 tekrarlı olarak yürütülmüş, birinci aşamada 24, ikinci aşamada ise 72 balık olmak üzere tüm deneylerde toplam 96 balık kullanılmıştır.

Deney ve kontrol akvaryumlarında deneyler süresince ölçülen ortamın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1.1'de sunulmaktadır.

Çizelge 3.1.1. Akvaryum ortamının fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Sıcaklık	24.00 ⁰ ± 1.00 ⁰ C
Aydınlanma	12 s karanlık / 12 s aydınlık
pH	8.18 ± 0.07
Çözünmüş Oksijen	6.82 ± 0.39 ppm O ₂
Toplam Sertlik	257.8 ± 3.67 ppm CaCO ₃
Toplam Alkalinite	342 ± 0.57 ppm CaCO ₃

Deneyleerde kullanılan 0.1 M kadmiyum çözeltisi 1.79 g CdCl₂ H₂O (Merck) tuzunun sulu çözeltisine, kadmiyumun presipitasyonunu önlemek için, 3.18 g tri sodyum sitrat (C₆H₅Na₃O₇ 5.5 H₂O; Merck) eklenerek hazırlanmıştır (Brown ve Ahsanullah, 1971; Kargın ve Erdem, 1992). Deneyleye çözeltilerinin derişiminde, çökeltme, buharlaşma ve yapışma gibi nedenlerle zaman içerisinde değışimler olabileceğinden, çözeltiler her iki günde bir taze olarak hazırlanmış stok çözeltilerden uygun seyreltmeler yapılarak değıştirilmiştir (Tort ve ark., 1984; Cicik, 1995).

3.1.1. Kimyasal Maddeler

Nitrik Asit	HNO ₃	Merck
Perklorik Asit	HClO ₄	Merck
Kadmiyum Klorür	CdCl ₂ .H ₂ O	Merck
Etilen Glikol Monofenil Eter	C ₈ H ₁₀ O ₂	Merck
Tri Sodyum Sitrat	C ₆ H ₅ Na ₃ O ₇ .5.5 H ₂ O	Merck

3.1.2. Cihazlar ve Diğer Gereçler

1.	Analitik Terazî	Sartorius CP – 224S
2.	Distile Su Cihazı	Şimşek Labor teknik SS – 200
3.	Dijital pH metre	WTW Multiline P3/LF – SET
4.	pH metre	Hanna Instruments HI 8314
5.	Hot Plate	TSEK ELEKTRO-MAG
6.	ICP-AES	PERKIN ELMER OPTIMA 3100 XL
7.	Etüv	Nüve EN – 400
8.	Oksijenmetre	Mettler Toledo MO128

3.2 Yöntem

Birinci aşamada 30 gün süre ile 0.25, 0.50 ve 1.00 ppm Cd derişimlerinin etkisinde doku birikim düzeyini saptamak amacıyla her akvaryumdan 6 balık çıkartılarak Etilen Glikol Monofenil Eter ($C_8H_{10}O_2$, Merck) anesteziği ile bayıltılmıştır. Balıklar çeşme suyunda yıkanmış, kurutma kağıdı ile kurutularak karaciğer, solungaç, böbrek, dalak ve kas dokuları disekte edilmiştir.

Metal analizinde kullanılacak doku örnekleri petri kaplarına konulmuş ve etüvde $150^{\circ}C$ 'de 72 saat süre ile kurutularak sabit tartıma getirilmiştir (Cicik, 1991). Doku örnekleri kuru ağırlıkları hassas teraziyle belirlendikten sonra deney tüplerine konmuştur. Daha sonra örneklerin her birinin üzerine 2 mL nitrik asit (HNO_3 , %65, Ö.A.: 1.40, Merck) ve 1 mL perklorik asit ($HClO_4$, %60, Ö.A.:1.53, Merck) karışımı eklenerek (Muramoto, 1983; Elliot ve ark., 1986; Cicik, 1991), $120^{\circ}C$ 'de 8 saat süre ile yakılmıştır. Yakımı tamamlandıktan sonra örnekler, kapaklı polietilen tüplere aktarılmış ve üzerlerine 5 mL'ye tamamlanuncaya kadar deiyonize su eklenerek analize hazır duruma getirilmiştir. Analize hazır duruma getirilen örneklerin ağır metal içerikleri Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer (ICP-AES) aleti ile saptanmıştır.

İkinci aşamada metal depurasyon düzeylerini belirlenmesinde kullanılan balıklar 15., 30. ve 45. günlerde deneylerden çıkartılarak metal analizi için yukarıda belirtilen işlemler uygulanmıştır.

Çalışılan dokulardaki süre ve derişime bağı kadmiyum birikim ve depurasyon verilerinin istatistiksel değerlendirilmesinde “Varyans analizi” ve “Student Newman Keul’s Testi” (SNK) kullanılmıştır (Rohlf ve Sokal, 1969; Sokal ve Rohlf, 1969).



4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Bulgular

C. lazera ile yapılan bu araştırmada subletal kadmiyum derişimlerinin etkisinde balıklarda başlangıçta kontrolsüz yüzme sonucu yüzgeçlerde kanlanma ve yırtılma, besine karşı ilgisizlik, solunumun hızlanması, akvaryum yüzeyine yönelme, dış uyarılara ani tepki ve renkte açılma gibi çeşitli morfolojik ve davranış değişikleri gözlenmiştir.

Kadmiyumun 0.25, 0.50, 1.00 ppm'lik ortam derişimlerinin etkisinde 30 gün süre ile bırakılan *C. lazera*'nın solungaç, karaciğer, böbrek, dalak ve kas dokularında üç tekrarlı olarak belirlenen kadmiyum derişimlerinin aritmetik ortalamaları ile istatistik analiz sonuçları Çizelge 4.1.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1.1. Kadmiyumunun farklı ortam derişimlerinin etkisinde 30 gün süre ile bırakılan *C. lazera*'nın dokularındaki metal birikimi($\mu\text{gCd/g k.a.}$).

DOKU	DERİŞİM (ppm Cd)			
	Kontrol	0.25	0.50	1.00
	$\bar{X} \pm S_x$	$\bar{X} \pm S_x$	$\bar{X} \pm S_x$	$\bar{X} \pm S_x$
Solungaç	DA as	3.65 \pm 0.12 at	3.74 \pm 0.23 at	6.29 \pm 0.27 ax
Karaciğer	DA as	44.00 \pm 0.84 bt	62.70 \pm 1.67 bx	86.05 \pm 2.11 by
Böbrek	DA as	57.69 \pm 0.75 ct	64.01 \pm 0.98 bt	107.2 \pm 0.80 cx
Dalak	DA as	8.34 \pm 1.06 dt	12.52 \pm 1.36 ct	12.73 \pm 0.32 dt
Kas	DA as	0.28 \pm 0.04 et	1.22 \pm 0.10 ax	1.84 \pm 0.04 ey

*= SNK; a, b, c, d ve e dokular; s, t, x ve y harfleri derişimler arası ayırımı belirlemek amacı ile kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında $P < 0.05$ düzeyinde istatistik ayırım vardır.

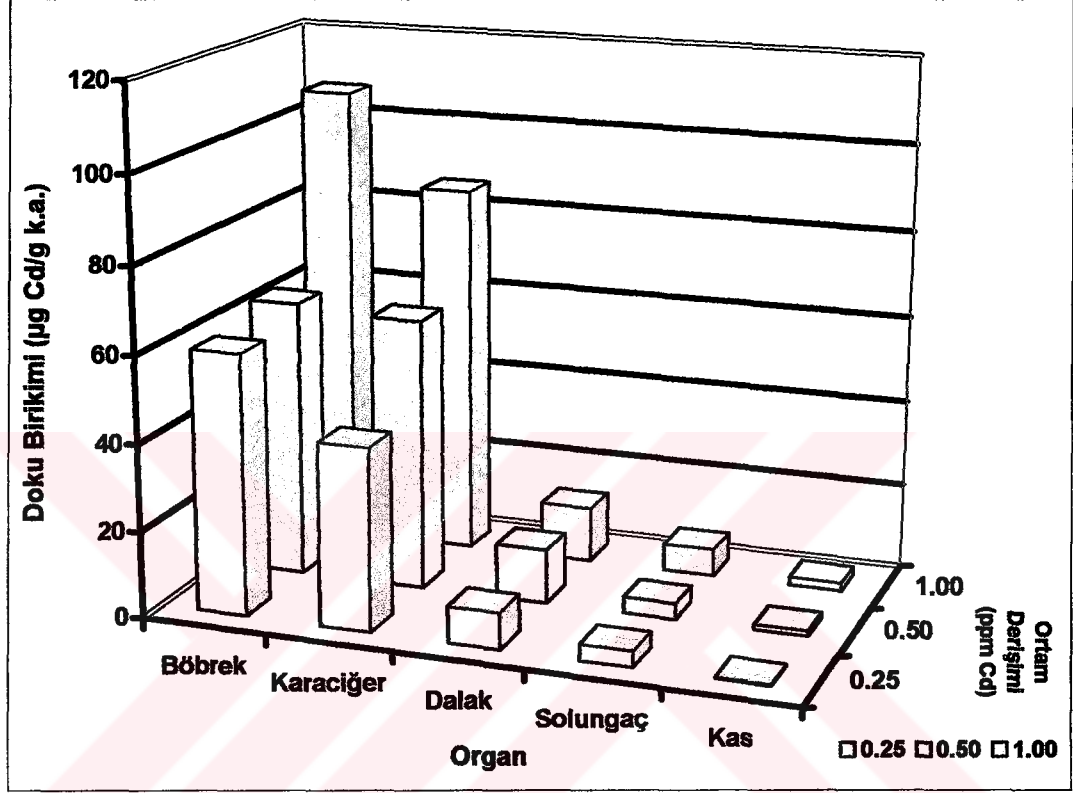
$\bar{X} \pm S_x$ = Aritmetik ortalama \pm Standart hata

DA= Duyarlılık düzeyi altında

Kadmiyumun çalışılan tüm derişimlerinin 30 gün sürelik etki periyodunda incelenen dokulardaki metal birikimi kontrole oranla önemli artma göstermiştir ($P < 0.05$). İncelenen tüm derişimlerde dokular arasında en fazla birikim böbrek dokusunda olurken en az birikim kas dokusunda olmuştur. Birikim bakımından dokular arasında aşağıdaki ilişki saptanmıştır.

Böbrek > Karaciğer > Dalak > Solungaç > Kas

Tüm dokulardaki metal birikimi, kadmiyumun ortam derişimindeki artışa bağlı olarak artmıştır (Şekil 4.1.1).



Şekil 4.1.1. Kadmiyumun farklı ortam derişimlerinin etkisinde 30 gün süre ile bırakılan *C. lazera*'nın solungaç, karaciğer, böbrek, dalak ve kas dokularında metal birikimi ($\mu\text{g Cd/g k.a.}$).

Solungaç dokusunda 30 günlük etki süresi sonunda 0.25 ve 0.50 ppm Cd ortam derişimlerinin etkisinde birikim bakımından istatistik olarak ayırım yoktur ancak ortam derişimindeki artma birikimi önemli düzeyde artırmıştır (Çizelge 4.1.2).

Depurasyon sürecinde solungaç dokusundaki kadmiyum düzeyi düşük derişimlerin etkisinde belirgin bir düşme göstermezken, yüksek derişimin etkisinde ilk 15 gün içerisinde ani bir düşme göstermiş ve bunu izleyen sürelerde durağan bir düzeyde kalmıştır.

Çizelge 4.1.2. *C. lazera*'da solungaç dokusundaki kadmiyum birikimi ve depurasyonu ($\mu\text{gCd/gk.a.}$) üzerine ortam derişimi ve sürenin etkileri.

DERİŞİMİ (ppm Cd)	SÜRE							
	30 Gün		15 Gün		30 Gün		45 Gün	
	BİRİKİM		DEPURASYON					
	$\bar{X} \pm S_x$		$\bar{X} \pm S_x$		$\bar{X} \pm S_x$		$\bar{X} \pm S_x$	
Kontrol	DA	as	DA	as	DA	as	DA	as
0.25	3.65 \pm 0.12	bs	1.88 \pm 0.14	bt	1.62 \pm 0.28	bt	1.72 \pm 0.02	bt
0.50	3.74 \pm 0.23	bs	3.45 \pm 0.54	cst	2.50 \pm 0.14	ctx	1.76 \pm 0.07	bx
1.00	6.29 \pm 0.27	cs	2.06 \pm 0.17	bt	2.85 \pm 0.13	ct	2.23 \pm 0.10	bt

*= SNK; a, b ve c derişimler; s, t ve x harfleri süreler arası ayrımı belirlemek amacı ile kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında $P < 0.05$ düzeyinde istatistik ayrım vardır.

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

DA= Duyarlılık düzeyi altında

Karaciğer dokusundaki kadmiyum düzeyi gerek birikim gerekse depurasyon süreçlerinde ortam derişimlerine bağlı düzenli olarak artmıştır (Çizelge 4.1.3). Düşük ortam derişimlerinin etkisinde *C. lazera*'nın karaciğer dokusundaki kadmiyum birikimi tüm depurasyon periyotlarında önemli bir düşme göstermemiştir. Kadmiyumun 1.00 ppm ortam derişiminde ilk 30 günlük depurasyon periyodunda doku derişiminde herhangi bir değişim gözlenmezken, 45. günde önemli bir artış belirlenmiştir.

Çizelge 4.1.3. *C. lazera*'da karaciğer dokusundaki kadmiyum birikimi ve depurasyonu ($\mu\text{gCd/gk.a.}$) üzerine ortam derişimi ve sürenin etkileri.

DERİŞİM (ppm Cd)	SÜRE							
	30 Gün		15 Gün		30 Gün		45 Gün	
	BİRİKİM		DEPURASYON					
	$\bar{X} \pm S_x$		$\bar{X} \pm S_x$		$\bar{X} \pm S_x$		$\bar{X} \pm S_x$	
Kontrol	DA	as	DA	as	DA	as	DA	as
0.25	42.09 \pm 3.41	bs	43.79 \pm 2.51	bs	35.67 \pm 4.95	bs	32.73 \pm 2.40	bs
0.50	62.70 \pm 1.67	cs	56.22 \pm 1.43	cs	79.71 \pm 0.47	ct	59.57 \pm 4.63	cs
1.00	86.05 \pm 2.11	ds	68.76 \pm 4.47	ds	65.25 \pm 3.84	ds	118.6 \pm 7.12	dt

*=SNK; a, b, c ve d derişimler; s ve t harfleri süreler arası ayrımı belirlemek amacı ile kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında $P < 0.05$ düzeyinde istatistik ayrım vardır.

$\bar{X} \pm S_x$ = Aritmetik ortalama \pm Standart hata; DA= Duyarlılık düzeyi altında

C. lazera'nın böbrek dokusunda 0.25, 0.50 ve 1.00 ppm Cd ortam derişimlerinin 30 günlük etki sürecinde kadmiyum düzeyleri arasında istatistiksel ayırım gözlenmiş, ortam derişimindeki artış doku birikim düzeyini önemli düzeyde arttırmıştır (Çizelge 4.1.4). Düşük ortam derişimlerinin etkisinde kalan balıkların böbrek dokusundaki kadmiyum düzeyi depurasyon periyodunda, diğer dokuların aksine, süreye bağlı artış göstermiştir. Kadmiyumun 1.00 ppm ortam derişiminde 30 günlük birikim sürecinde böbrek dokusundaki metal birikim düzeyi ile bunu izleyen 45 günlük depurasyon süreci sonundaki kadmiyum düzeyi arasında istatistik ayırım yoktur.

Çizelge 4.1.4. *C. lazera*'da böbrek dokusundaki kadmiyum birikimi ve depurasyonu ($\mu\text{gCd/g k.a.}$) üzerine ortam derişimi ve sürenin etkileri.

DERİŞİM (ppm Cd)	SÜRE							
	30 Gün		15 Gün		30 Gün		45 Gün	
	BİRİKİM				DEPURASYON			
	$\bar{X} \pm S_x$		$\bar{X} \pm S_x$		$\bar{X} \pm S_x$		$\bar{X} \pm S_x$	
Kontrol	DA	as	DA	as	DA	as	DA	as
0.25	57.69 \pm 0.75 bs		68.72 \pm 1.18 bt		64.61 \pm 1.44 bt		81.02 \pm 2.51 bx	
0.50	64.01 \pm 0.98 cs		88.21 \pm 2.85 ct		114.33 \pm 0.65 cx		105.13 \pm 7.0 bcx	
1.00	107.18 \pm 0.80 ds		76.16 \pm 4.60 bt		123.79 \pm 2.03 ds		114.32 \pm 9.54 cs	

* SNK; a, b, c ve d derişimler; s, t ve x harfleri süreler arası ayırımı belirlemek amacı ile kullanılmıştır.

Farklı harflerle gösterilen veriler arasında $P < 0.05$ düzeyinde istatistik ayırım vardır.

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

DA= Duyarlılık düzeyi altında

Kadmiyumun 30 günlük sürede dalak dokusundaki birikimi derişime bağlı önemli istatistik ayırım göstermemiştir (Çizelge 4.1.5). Dalak dokusundan 45 günlük depurasyon periyodu süresince 1.00 ppm Cd ortam derişimi dışında kadmiyum depurasyonu olmamış, 45. günde bu dokudaki kadmiyum düzeyi artmıştır.

Çizelge 4.1.5. *C. lazera*'da dalak dokusundaki kadmiyum birikimi ve depurasyonu ($\mu\text{g Cd/g k.a.}$) üzerine ortam derişimi ve sürenin etkileri.

DERIŞİM (ppm Cd)	SÜRE							
	30 Gün		15 Gün		30 Gün		45 Gün	
	BİRİKİM		DEPURASYON					
	$\bar{X} \pm S_x$		$\bar{X} \pm S_x$		$\bar{X} \pm S_x$		$\bar{X} \pm S_x$	
Kontrol	DA	as	DA	as	DA	as	DA	as
0.25	8.34 \pm 1.06	bs	8.90 \pm 0.06	bs	8.83 \pm 1.15	bs	9.88 \pm 0.84	bs
0.50	12.52 \pm 1.36	bs	17.93 \pm 1.91	cs	15.26 \pm 1.59	cs	16.37 \pm 1.54	cs
1.00	12.73 \pm 0.32	bs	13.65 \pm 1.50	bcs	13.44 \pm 1.40	bcs	19.26 \pm 0.81	ct

*=SNK; a, b, ve c derişimler; s ve t harfleri süreler arası ayırımı belirlemek amacı ile kullanılmıştır. Farklı harflerle gösterilen veriler arasında $P < 0.05$ düzeyinde istatistik ayırım vardır.

$\bar{X} \pm S_x$ = Aritmetik ortalama \pm Standart hata; DA= Duyarlılık düzeyi altında

C. lazera'nın kas dokusundaki metal birikimi 30 günlük etkide kalma sürecinde ortam derişimine bağlı olarak artmıştır (Çizelge 4.1.6). Depurasyon sürecinde en düşük derişimin etkisine kalan balıkların dışında, kas dokusundan kadmiyum depurasyonu gerçekleşmiş ancak depurasyon süreçleri arasında kadmiyum düzeylerinde önemli değişim olmamıştır. Kadmiyumun 0.25 ppm ortam derişiminin etkisinde kalan balıkların kas dokusunda ise depurasyon periyodunun 30. gününe kadar metalin doku düzeyi artmış, sürenin artmasıyla düşmüştür.

Çizelge 4.1.6. *C. lazera*'da kas dokusundaki kadmiyum birikimi ve depurasyonu ($\mu\text{g Cd/g k.a.}$) üzerine ortam derişimi ve sürenin etkileri.

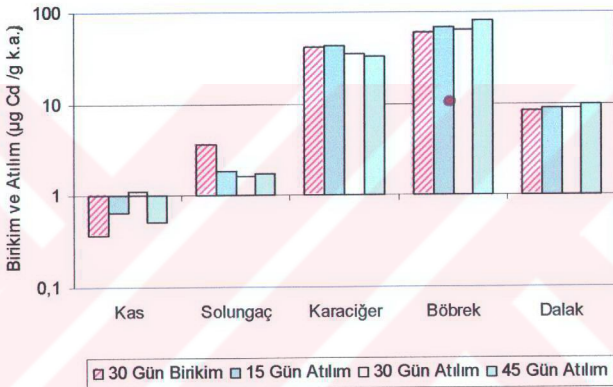
DERIŞİM (ppm Cd)	SÜRE							
	30 Gün		15 Gün		30 Gün		45 Gün	
	BİRİKİM		DEPURASYON					
	$\bar{X} \pm S_x$		$\bar{X} \pm S_x$		$\bar{X} \pm S_x$		$\bar{X} \pm S_x$	
Kontrol	DA	as	DA	as	DA	as	DA	as
0.25	0.28 \pm 0.04	bs	0.65 \pm 0.03	bt	1.13 \pm 0.03	bx	0.51 \pm 0.11	bt
0.50	1.22 \pm 0.10	cs	0.60 \pm 0.03	bt	0.73 \pm 0.09	ct	0.73 \pm 0.06	bt
1.00	1.84 \pm 0.04	ds	1.12 \pm 0.06	ct	1.08 \pm 0.02	bt	0.87 \pm 0.10	bt

* SNK; a, b, c ve d derişimler; s, t ve x harfleri süreler arası ayırımı belirlemek amacı ile kullanılmıştır.

Farklı harflerle gösterilen veriler arasında $P < 0.05$ düzeyinde istatistik ayırım vardır.

$\bar{X} \pm S_x$ = Aritmetik ortalama \pm Standart hata; DA= Duyarlılık düzeyi altında

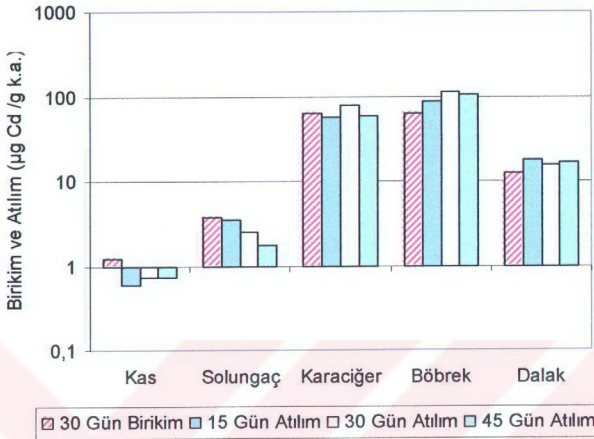
Kadmiyumun 0.25, 0.50 ve 1.00 ppm ortam derişimlerinde 30 gün süre ile bırakılan balıkların belirlenen depurasyon periyotlarında incelenen dokulardaki metal düzeyleri sırası ile aşağıdaki şekillerde verilmiştir (4.1.2-4). Denenen en düşük ortam derişiminin etkisinde kalan balıklar metal içermeyen suya alındıklarında dalak ve karaciğer dokularındaki metal düzeyleri 15, 30 ve 45 günlük sürelerde değişim göstermemiş, böbrek ve kas dokularında artma gösterirken solungaç dokusunda azalmıştır (Şekil 4.1.2).



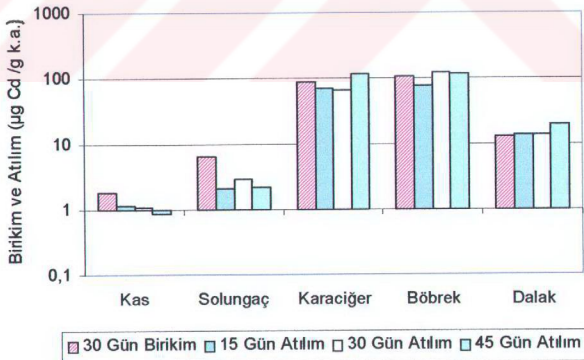
Şekil 4.1.2. Kadmiyumun 0.25 ppm ortam derişiminde *C. lazera*'nın solungaç, karaciğer, böbrek, dalak ve kas dokularındaki birikimi ve depurasyonu (µg Cd /g k.a.)

Kadmiyumun 0.50 ppm derişiminin etkisinde kalan balıklar 2. seri deneylere alındıklarında solungaç ve kas dokularındaki metal düzeylerinde süreye bağlı düşme, böbrek dokusunda artma, dalak ve karaciğer dokularında ise herhangi bir değişim gözlenmemiştir (Şekil 4.1.3).

İkinci seri deneyler süresince 1.00 ppm Cd etkisinde kalan balıkların solungaç ve kas dokularındaki metal düzeylerinde süreye bağlı bir düşme, karaciğer ve böbrek dokularında önce bir düşme ve tekrar artma gözlemlenirken, dalak dokusunda ise depurasyon olmamıştır (Şekil 4.1.4).



Şekil 4.1.3. Kadmiyumun 0.50 ppm ortam derişiminde *C. lazera*'nın solungaç, karaciğer, böbrek, dalak ve kas dokularındaki birikimi ve depurasyonu ($\mu\text{g Cd /g k.a.}$)



Şekil 4.1.4. Kadmiyumun 1.00 ppm ortam derişiminde *C. lazera*'nın solungaç, karaciğer, böbrek, dalak ve kas dokularındaki birikimi ve depurasyonu ($\mu\text{g Cd /g k.a.}$)

4.2. Tartışma

Balıklarda ağır metallerin mortalite üzerine etkisi türe bağlı olarak belirli bir süre ve derişim aralığı üzerinde artış göstermektedir. *O. mykiss* juvenillerinde kadmiyumun 3.00 ppm ortam derişimlerinin 30 gün süreli etkisi gelişmede herhangi bir değişime neden olmazken %10 oranında mortaliteye neden olduğu saptanmıştır (Hollis ve ark., 2001). *T. aurea*'da 0.7 – 20 ppm Cd derişim aralığında mortalite gözlenmemiş ancak derişimin artması bu türde mortaliteye neden olmuştur (Abel ve Papoutsoglou, 1986). Kadmiyumun 0.1 ve 1.0 ppm ortam derişimlerinin etkisinde bırakılan *T. zilli*'de 30 gün süreli birikim ve 1, 5 ve 30 günlük eliminasyon periyotlarında mortalite gözlenmemiştir (Kargın, 1996). *C. lazera* ile yürütülen bu araştırmada da kadmiyumun 0.25, 0.50 ve 1.00 ppm ortam derişimlerinin 30 gün süreli etkisinde ve 15, 30 ve 45 günlük depurasyon sürelerinde mortalite gözlenmemesi belirlenen sürelerde çalışılan derişimlerin türün hoşgörü sınırı içerisinde olduğunu göstermektedir.

Bu araştırmada aynı boyda balıklar kullanılarak, ağır metal birikimi ve depurasyonunda boy ve metabolik aktiviteden kaynaklanabilecek olası ayrımlar minimum düzeye indirilmiştir. Ricard ve ark. (1998) *O. mykiss*'de kadmiyumun subletal ortam derişimlerinin 30 gün süre ile etkisinde doku birikiminin juvenillerde erginlere oranla daha yüksek düzeyde olduğunu saptamışlardır. Doğal ortam koşullarında *T. zilli*'nin dokularındaki Cd, Cu, Zn ve Pb birikiminin boya bağlı olarak derişim gösterdiği, küçük balıkların büyük balıklara oranla daha fazla metal biriktirdiği saptanmıştır (Zyadah, 1999). *Gambusia affinis*'de çinko depurasyonunun küçük balıklarda, büyüklere oranla daha fazla ve hızlı olduğu belirlenmiştir (Newman ve Mitz, 1988).

Balıklarda kadmiyumun doku birikimi ortam derişimi ve etkide kalma süresine göre artış göstermektedir. Gill ve ark. (1992) *Anguilla rostrata*'da 75 ve 150 ppb ortam derişimlerindeki kadmiyumun 16 hafta süreli etkisinde doku birikiminin ortam derişimindeki artışa bağlı olduğu ve belirli bir derişimde başlangıç düzeyine oranla birikimin daha yüksek olduğu belirtilmektedir. *T. nilotica*'da subletal kadmiyum derişimlerinin kronik etkisinde doku birikiminin süre ve

derişimdeki artışa bağlı olarak arttığı saptanmıştır (Erdem, 1990). Kadmiyumun çalışılan derişimlerinin 30 gün süre ile etkisinde *C. lazera*'nın dokularındaki metal birikimi ortam derişimine bağlı olarak artma göstermiştir.

Balıklarda kadmiyum birikimi doku ve organlara bağlı olarak değişim göstermektedir. *C. carpio*'da kadmiyumun 53 ve 443 ppb ortam derişimlerinin 127 gün süre ile etkisi tüm dokularda önemli düzeyde birikime neden olurken böbrek ve karaciğerin kas dokusuna oranla daha fazla metal biriktirdiği saptanmıştır (DeConto Cinier ve ark., 1999). Suresh ve ark. (1993) *C. carpio*'nun yavru ve fingerlinglerinde kadmiyumun subletal derişimlerinin kronik, letal derişimlerinin akut etkisinde, çalışılan diğer dokulara oranla en fazla birikimin solungaçlarda olduğunu saptamışlardır. *O. aureus*'un doku ve organlarındaki metal birikimi 0.5 ve 1.0 ppm Cd derişimlerinin kronik etkisinde incelenmiş, en fazla birikimin böbrek dokusunda olduğu, bunu dalak, karaciğer ve kas dokularının izlediği saptanmıştır (Allen, 1995a). Farag ve ark. (1994) *O. mykiss*'le yaptıkları bir araştırmada, balıkları 21 gün süre ile besin ve ortam yolu ile subletal kadmiyum derişimlerinin etkisinde bırakarak dokulardaki metal birikimini incelemişler, besin yolu ile etkide en fazla birikimin bağırsakta, ortam yolu ile etkide ise böbrekte olduğunu belirlemişlerdir. Kadmiyum etkisinde 29 gün süre ile bırakılan *C. carpio*'nun böbrek dokusundaki birikimin karaciğer ve solungaç dokularındaki birikime oranla daha yüksek olduğu ve kadmiyum birikiminde hedef organın böbrek olduğu bildirilmiştir (DeSmet ve Blust, 2001). Tort ve ark. (1984) *Scyliorhinus canicula*'da akut ve kronik kadmiyum etkisinin başlangıcında en fazla metal birikiminin solungaç dokusunda olduğunu, etkide kalma süresinin uzamasıyla kadmiyum düzeyinin solungaç dokusunda düşerken, böbrek ve karaciğer dokularında arttığını saptamışlardır. *O. kisutch*'un böbrek dokusunda süreye bağlı olarak yüksek düzeyde kadmiyum birikim mekanizması, alınım ve depolama organlarındaki metal taşıma kapasitesinin aşmasından ve organizmanın aşırı metali uzaklaştırmaya çalışması şeklinde açıklanmıştır (Reichert ve ark., 1979). Subletal derişimlerdeki kadmiyumun etkisinde 3 hafta süre ile bırakılan *O. mykiss*'de kadmiyum birikimi bakımından incelenen dokular arasında Böbrek > Karaciğer > Solungaç > Kas şeklinde bir ilişki saptanmıştır (Melgar ve ark., 1997). *C. lazera* ile yapılan bu araştırmada da en fazla

kadmiyum birikimi böbrek dokusunda olurken, bunu karaciğer, dalak, solungaç ve kas dokularının izlediği saptanmıştır.

En yüksek kadmiyum birikiminin böbrek dokusunda olması, işlevsel özelliği olmayan bu metalin, depurasyon sırasında reabsorbsiyonundan, alınımlı ve detoksifikasyon organlarındaki kadmiyum birikim kapasitesini aşması sonucu dolaşım sistemi ile doğrudan doğruya su ve metabolizma artıkları ile birlikte başlıca boşaltım organı olan böbreklere taşınmasından ve bu dokuda metallothionein (MT) gibi metal bağlayıcı proteinlere bağlanmasından kaynaklanması olasıdır.

Kadmiyum etkisinde balıkların böbrek dokusunda olduğu gibi karaciğer ve dalak gibi metabolik bakımdan aktif dokularında molekül ağırlığı düşük metal bağlayıcı proteinlerin sentezini artırdığı belirtilmektedir (Hogstrand ve Haux, 1990). Karaciğer ve dalak dokularında yüksek düzeyde kadmiyum birikimi, metalin metal bağlayıcı proteinlere bağlanarak bu dokularda alıkonması, lizozomal vesiküller tarafından fagosite edilerek tutulması ve metalden etkilenen eritrositlerin parçalanmak üzere dalağa taşınması nedeniyle olabilir.

Balıklarda ağır metallerin kısa süreli etkide solungaçlarda yüksek düzeyde biriktiği, etkide kalma süresinin uzamasıyla düştüğü bilinmektedir (Tort ve ark., 1984). *C. lazera* ile yapılan bu çalışmada da 30 günlük etkide kalma süresi sonunda solungaç dokusundaki kadmiyum birikiminin kas dışında incelenen dokulara oranla düşük düzeyde olması etkide kalma süresinin uzun olmasından kaynaklanabilir.

Kadmiyumun subletal derişimlerinin uzun süreli etkisinde *C. carpio*'nun kas dokusundaki metal birikimi böbrektekinin ellide bir oranında olurken, bu dokudaki birikim ancak 106. günde önemli düzeye ulaşmıştır (DeConto Cinier ve ark., 1999). Kadmiyumun 30 gün süreyle etkisinde *C. lazera*'nın kas dokusundaki metal birikiminin diğer dokulara oranla düşük olması etkide kalma süresinin kısa olması ile açıklanabilir.

C. carpio'da 53 ve 443 ppb Cd ortam derişimlerinin 127 gün süre ile etkisinde bırakıldıktan sonra 43 günlük eliminasyon periyodunda kas dokusundaki kadmiyum düzeyi önemli derecede düşerken, böbrek ve karaciğer dokularındaki kadmiyum düzeyinde herhangi bir değişimin olmadığı belirlenmiştir (DeConto Cinier ve ark., 1999). Kadmiyumun 0.50 ve 1.00 ppm ortam derişimlerinin 30 günlük

birikim periyodunu izleyen 34 gün depurasyon periyodunda *O. aureus*'un böbrek dokusunda metal düzeyi artarken, solungaç ve kas dokusunda azaldığı belirlenmiştir (Woo ve ark., 1993). Bu araştırmada da kadmiyumun incelenen derişimlerinin 30 gün süre ile etkisinde *C. lazera*'nın dalak ve karaciğer dokusundaki metal düzeyi belirlenen depurasyon periyotlarında değişim göstermezken, solungaç ve kas dokusundaki metal düzeyi genel olarak azalmış, böbrek dokusunda artmıştır.

Depurasyon periyotlarının tümünde solungaç dokusundaki metal düzeylerinin azalması, dış ortamla doğrudan ilişki içerisinde olması ve metalin dolaşım sistemine geçmesi, kas dokusundaki azalma ise metal içermeyen ortamda deri aracılığı ile yapılan salınımla açıklanabilir.

Depurasyon periyotlarında karaciğer ve dalak dokularındaki kadmiyum düzeylerinin herhangi bir değişim göstermemesi, belirtilen dokuların birikim periyodunda doygunluk kapasitesine ulaşmaması ve bu nedenle depurasyon periyotlarında metal alınımı olmadığından salınımın da yapılmamasından kaynaklanabilir.

Birinci seri deneylerde deney süresi sonunda kadmiyumun en fazla biriktiği böbrek dokusunda, 2. seri deneylerdeki tüm depurasyon periyotlarında metal derişiminde düşme yerine gözlenen artış, böbrek dokusu dışındaki dokularda biriken metalin dolaşım sistemi aracılığı ile atılmak üzere böbreklere taşınması, böbrek tübül hücrelerinde reabsorbsiyon olayı ve alınan metalin bu dokuda metal bağlayıcı bileşiklere bağlanarak tutulması ile açıklanabilir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

C. lazera ile yapılan bu araştırmada kadmiyumun 0.25, 0.50 ve 1.00 ppm ortam derişimlerinin etkisinde 30 gün süre ile solungaç, karaciğer, böbrek, dalak ve kas dokularındaki birikimi ile bunu izleyen 15, 30 ve 45 günlük periyotlarda bu dokulardan depurasyon düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

- Kadmiyum birikiminin kontrole oranla tüm dokularda önemli düzeyde biriktiği, en fazla birikimin böbrek dokusunda olduğu, bunu sırasıyla karaciğer, dalak, solungaç ve kas dokularının izlediği saptanmıştır.
- İncelenen kadmiyumun derişimlerinin 30 gün süre ile etkisinde *C.lazera*'nın dalak ve karaciğer dokusundaki metal düzeyi belirlenen 15, 30 ve 45 günlük depurasyon periyotlarında değişmemiş, solungaç ve kas dokusundaki metal düzeyi genel olarak azalmış, böbrek dokusunda artmıştır.
- Doku birikimi, canlıda düşük derişimlerde toksik olan kadmiyum için regülasyon mekanizmasının olmaması, metal etkisinde detoksifikasyon mekanizmalarının stimülasyonu, birikim bakımından doku ve organlar arasındaki ayırım ise metabolik, yapısal ve işlevsel ayrımlarla açıklanabilir.
- Depurasyon periyotlarında dokular arasında gözlenen ayrımlar aşağıdaki mekanizmalarla açıklanabilir;
 - Karaciğer ve dalak dokularında biriktirilen metal düzeyinde değişim gözlenmemesi, bu organlarda doygunluk kapasitesine ulaşmaması.
 - Solungaç ve kas dokusundaki azalma, metal bulunmayan dış ortamla ilişkili atılım yollarının aktivasyonu.
 - Böbrek dokusundaki artışın, diğer dokularda biriken metalin dolaşım sistemi aracılığı ile vücuttan atılmak üzere bu organa taşınması.
- Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, balıklarda ağır metal birikimi ve depurasyonu ile ilgili ekotoksikolojik çalışmalar için *C.lazera*'nın uygun bir tür olduğu ve benzer çalışmalarda kullanılması önerilir.

KAYNAKLAR

- ABEL, P.D., PAPOUTSOUGLOU, S.E., 1986. Lethal Toxicity of Cadmium to *Cyprinus carpio* and *Tilapia aurea*. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 37, 382-386.
- ALLEN, P., 1995a. Chronic Accumulation of Cadmium in the Edible Tissue of *Oreochromis aureus* (Steindachner); Modification by Mercury and Lead. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 29(1), 8-14.
- ALLEN, P., 1995b. Soft-Tissue Accumulation of Lead in the Blue Tilapia, *Oreochromis aureus* (Steindachner), and the Modifying Effects of Cadmium and Mercury. Biol. Trace. Elem. Res. 50(3): 193-208.
- BEAUMONT, M.W., BUTLER, P.J., TAYLOR, E.W., 2000. Exposure of Brown Trout *Salmo trutta*, to a Sublethal Concentration of Copper in Soft Acidic Water, Effects upon Muscle Metabolism and Membrane Potential. Aquat. Toxicol., 51, 259-272.
- BROWN, B., AHSANULLAH, M., 1971. Effect of Heavy Metals on Mortality and Growth. Mar. Poll. Bull., 2 (12), 182-187.
- CARGINALE, V., SCUDIERO, R., CAPASSO, C., CAPASSO, A., KILLE, P., PRISCO, G., PARISI, E., 1998. Cadmium Induced Differential Accumulation of Metallothionein Isoforms in the Antarctic Icefish, Which Exhibits No Basal Metallothionein Protein but High Endogenous mRNA Levels. Biochemical Journal 332, 475-481.
- CİCİK, B., 1991. *Tilapia nilotica*'da Bakırın Karaciğer ve Kas Dokularındaki Nicel Protein Değişimlerine Etkileri. Master Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- CİCİK, B., 1995. *Cyprinus carpio* (L.)'da Bakır, Çinko ve Bakır + Çinko Karışımında Solungaç, Karaciğer ve Kas Dokularındaki Metal Birikiminin Nicel Protein, Glikojen ve Kandaki Bazı Biyokimyasal Parametreler Üzerine Etkileri. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- CİCİK, B., ERDEM, C., 1992. *Tilapia nilotica*'da Bakırın Karaciğer ve Kas Dokularındaki Nicel Protein Değişimlerine Etkileri. Biyokimya Dergisi, XVII, 1, 51-64.

- COLLVIN, L., 1984. Uptake of Copper in the Gills and Liver of Perch, *Perca fluviatilis*. Ecological Bulletins, 36, 57-61.
- CUVIN-ARALAR, M.L., 1994. Survival and Heavy Metal Accumulation of Two *Oreochromis niloticus* (L., 1758), Strains Exposed to Mixtures of Zinc, Cadmium and Mercury. Sci. Total Environ., 148; 31-38.
- DE CONTO-CINIER, C., PETIT-RAMEL, M., FAURE, R., GARIN, D., BAOUVET, Y., 1999. Kinetics of Cadmium Accumulation and Elimination in Carp *Cyprinus carpio* Tissues. Comp. Biochem. Physiol. C., 122(3), 345-352.
- DE SMET, H., BLUST, R., 2001. Stress Responses and Changes in Protein Metabolism in Carp *Cyprinus carpio* during Cadmium Exposure. Ecotoxicol. Environ. Safe, 48(3): 255-262.
- ELIOT, N.G., SWAIN, R., RITZ, D.A., 1986. Metal Interaction During Accumulation by the Mussel (*Mytilus edulis planulatus*). Marine Biology, 93, 359-399.
- ERDEM, C., 1990. Cadmium Accumulation in Liver, Spleen, Gill and Muscle Tissues of *Tilapia nilotica*'nın (L.). Biyokimya Dergisi, XV (3): 13-22.
- ERDEM, C., KARGIN, F., 1990. Farklı Ortam Derişimlerinde *Tilapia nilotica* (L.)'nın Doku ve Organlarında Bakır Birikimi. Doğa-Tr.J. of Zoology, 14, 173-178.
- ERDEM, C., AY, Ö., CİCIK, B., KARAYAKAR, F., 2004. Levels of Copper, Cadmium and Lead in Tissues of Fish (*Cyprinus carpio*, *Capoeta capoeta*) from the Berdan River. Süleyman Demirel Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, II Cilt, XI Sayı (Baskıda).
- FARAG, A.M., BOESE, C.J., WOODWARD, D.F., BERGMAN, H.L., 1994. Physiological Changes and Tissue Metal Accumulation in Rainbow Trout Exposed to Foodborne and Waterborne Metals. Environ. Toxicol. Chem., 13(12), 2021-2029.

- FRIEDMAN, P.A., GESEK, F.A., 1994. Cadmium Uptake by Kidney Distal Convolute Tubule Cells. *Toxicol. and Appl. Pharm.*, 128; 257-263.
- GILL, T.S., BIANCHI, C.P., EPPLE, A., 1992. Trace Metal (Cu and Zn) Adaptation of Organ Systems of the American Eel *Anguilla rostrata*, to External Concentrations of Cadmium. *Comp. Biochem. Physiol. C.*, 102; 361-371.
- GILL, T.S., LEITNER, G., PORTA, S., EPPLE, A., 1993. Response of Plasma Cortisol to Environmental Cadmium in the Eel, *Anguilla rostrata* LeSueur. *Comp. Biochem. Physiol. C.*, 104 (3): 489-495.
- GILL, T.S., PANT, J.C., TEWARI, H., 1988. Branchial Pathogenesis in a Freshwater Fish *Puntius conchonus* Ham., Chronically Exposed to Sublethal Concentrations of Cadmium. *Ecotoxicol. Environ. Safe.*, 15(2), 153-161.
- HATEKEYAMA, S., YASUNO, M., 1987. Chronic Effects of Cd on Reproduction of the Guppy (*Poecilia reticulata*) through Cd Accumulated Midge Larvae (*Chironomus yoshimatsui*). *Ecotoxicol. Environ. Safe.*, 14(3), 191-207.
- HEATH, A.G., 1987. *Water Pollution and Fish Physiology*. CRC Pres. Inc., Florida USA, 245 pp.
- HEATH, A.G., 1995. *Water Pollution and Fish Physiology*. 2. Baski, CRC Pres. Inc., Florida USA, 359 s.
- HOGSTRAND, C.L., HAUX, C., 1990. Metallothionein as an Indicator of Heavy Metal Exposure in two Subtropical Fish Species. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 138, 69-84.
- HOGSTRAND, C.L., LITHNER, G., HAUX, C., 1991. The Importance of Metallothionein for the Accumulation of Copper, Zinc and Cadmium in Environmentally Exposed Perch, *Perca fluviatilis*. *Pharmacol. Toxicol.*, 68 (6), 492-502.
- HOLLIS, L., HOGSTRAND, C., WOOD, C.M. 2001. Tissue Specific Cadmium Accumulation Metallothionein Induction and Tissue Zinc and Copper Levels during Chronic Sublethal Cadmium Exposure in Juvenile Rainbow Trout. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 41(4), 468-474.

- HOLLIS, L., MCGEER, J.C., MCDONALD, D.G., WOOD, C.M., 1999. Cadmium Accumulation, Gill Cadmium Binding, Acclimation, and Physiological Effects during Sublethal Cd Exposure in Rainbow Trout. *Aquatic Toxicol.*, 46: 101-119.
- HORIGUCHI, H., TERANISHI, H., NIIYA, K., AOSHIMA, K., KATOH, T., SAKURAGAWA, N., KASUYA, M., 1994. Hypoproduction of Erythropoietin Contributes to Anemia in Chronic Cadmium Intoxication: Clinical Study in Itai-Itai Disease in Japan. *Arch. Toxicol.* 68, 632-636.
- KALAY, M., 1996. *Tilapia nilotica* (L.)'da Karaciğer, Dalak, Böbrek, Kas ve Solungaç Dokularındaki Kadmiyum Birikiminin Total Protein Düzeyi ve İyon Dağılımı Üzerine Etkileri. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı Doktora Tezi, Eylül-. Adana.
- KALAY, M., CANLI, M., 2000. Elimination of Essential (Cu,Zn) and Non Essential (Cd, Pb) Metals from Tissues of a Fresh Water Fish *Tilapia zilli*. *Turk.J.Zool.*, 24, 429-436.
- KALAY, M., KARATAŞ, S., 1999. Kadmiyumun *Tilapia nilotica* (L.)' da Kas, Beyin ve Kemik (Omurga Kemiği) Dokularındaki Birikimi, *Tr. J. of Zoology* 23(3): 985-991.
- KARGIN, F., 1996. Effects of EDTA on Accumulation of Cadmium in *Tilapia zilli*. *Tr. J. of Zoology*, 20(4), 419-421.
- KARGIN, F., ÇOĞUN, H.Y., 1999. Metal Interactions during Accumulation and Elimination of Zinc and Cadmium in Tissues of the Freshwater Fish *Tilapia nilotica*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 63(4): 511-519.
- KARGIN, F., ERDEM, C., 1992. Bakır-Çinko Etkileşiminde *Tilapia nilotica* (L.)'nın Karaciğer, Solungaç ve Kas Dokularındaki Metal Birikimi. *Doğa-Tr.J. of Zoology*, 16, 343-348.
- KATAKURA, D.I.M., SUGAWARA, N., 1995. Improvement of Acute Cadmium Toxicity by Pretreatment with Copper Salt. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 54; 878-883.

- KHAN, S., KHAN, M.A., BHATNAGAR, D., YADAV, P., SARKAR, S., 1991. Zinc Protection Against Lipid Peroxidation from Cadmium. *Indian Journal Experimental Biology* 29, 823-825.
- KRAAL, M.H., KRAAK, M.H., DEGROOT, C.J., DAVIDS, C., 1995. Uptake and Tissue Distribution of Dietary and Aqueous Cadmium by Carp (*Cyprinus carpio*). *Ecotoxicol. Environ. Safety*, 31(2), 179-183.
- KUMADA, H., KIMURA, S., YOKOTE, M., 1980. Accumulation and Biological Effects of Cadmium in Rainbow Trout. *Bull. Jpn. Sci. Fish*, 46(1), 97-104.
- LEMAIRE, G.S., LEMAIER, P., 1992. Interactive Effects of Cadmium and Benzo(a)pyrene on Cellular Structure and Biotransformation Enzymes of the Liver of the European Eel. *Aquat. Toxicol.*, 22;145-160.
- LI, W., ZHAO, Y., CHOU, I.N., 1993. Alterations in Cytoskeletal Protein Sulfhydryls and Cellular Glutathione in Cultured Cells Exposed to Cadmium and Nickel Ions. *Toxicology* 77; 65-79.
- LIONETTO, M.G., GIORDANO, M.E., VILELLA, S., SCHETTINO, T., 2000. Inhibition of Eel Enzymatic Activities by Cadmium. *Aquatic Toxicology*, 48 (4), 561-571
- MATEI, V.E., PAVLOV, D.F., CHUIKO, G.M., 1993. The Effect of Cadmium on the Gill Structure in Tilapia. *Tsitologia*, 35(10): 13-19.
- MELGAR, M.J., PEREZ, M. GARCIA, M.A., ALONSO, J., MIGUEZ, B. 1997. The Toxic and Accumulative Effects of Short Term Exposure to Cadmium in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Vet. Hum. Toxicol.*, 39(2), 79-83.
- MURAMOTO, S., 1980. Effect of Complexans (EDTA, NTA and DPTA) on the Exposure to High Concentrations of Cadmium, Zinc and Lead. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 25, 941-946.
- MURAMOTO, S., 1983. Elimination of Copper from Cu-Contaminated Fish by Long Term Exposure to EDTA and Freshwater. *J. Environ. Sci. Health*, A18, (3), 455-461.

- NEWMAN, M.C., MITZ, S., 1988. Size Dependence of Zinc Elimination and Uptake from Water by Mosquitofish (*Gambusia affinis*). *Aquat. Toxicol.*, 12, 17-19.
- NOREY, C.G., CRYER, A., KAY, J., 1990. A Comparison of Cadmium Induced Metallothionein Gene Expression and Metal Ion Distribution in the Tissues of Cd Sensitive (Rainbow Trout, *Salmo gairdneri*) and Tolerant (Stone Loach, *Noemacheilus barbatulus*) Species of Freshwater Fish. *Comp. Biochem. Physiol. C.*, 97 (2), 221-226.
- NOVELLI, E.L.B., LOPES, A.M., RODRIGUES, A.S.E., NOVELLI FILBO, J.L.V.B., RIBAS, B.O., 1999. Superoxide Radical and Nephrotoxic Effect of Cadmium Exposure. *Int. J. Environ. Health Res.*, 9: 109-116.
- ODZAK, N., ZVONARIC, T., 1995. Cadmium and Lead Uptake from Food by the Fish *Dicentrarchus labrax*. *Water Science and Technology*, 32(9-10): 49-55.
- PAGENKOPF, G.K., 1983. Gill Surface Interaction Model for Trace-Metal Toxicity to Fishes: Role of Complexation, pH and Water Hardness. *Environ. Sci. Technol.*, 17, (6), 342-347.
- PROVIAS, J.P., ACKERLEY, C.A., SMITH, C., BERKER, L.E., 1994. Cadmium Encephalopathy: A Report with Elemental Analysis and Pathological Findings. *Acta Neuropathol.* 88, 583-586.
- RASHED, M. N., 2001. Cadmium and Lead in Fish (*Tilapia nilotica*) Tissues as Biological Indicator for Lake Water Pollution. *Environ. Monit. Assess.*, 68(1), 75-89.
- REICHERT, W.L., FEDERIGHI, D.A., MALINS, D.C., 1979. Uptake and Metabolism of Lead and Cadmium in Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Comp. Biochem. Physiol.*, 63C, 229-234.
- RICARD, A.C., DANIEL, C., ANDERSON, P., HONTELA, A., 1998. Effects of Subchronic Exposure to Cadmium Chloride on Endocrine and Metabolic Functions in Rainbow Trout *Oncorhynchus mykiss*. *Arch. Environmental Contam. Toxicol.*, 34(4): 377-381.

- ROHLF, J.F., SOKAL, R.R., 1969. Statistical Tables. W.H. and Freeman and Company, San Francisco, 253s.
- ROMEO, M., BENNANI, N., GNASSIA-BARELLI, M., LAFAURIE, M., GIRARD, J.P., 2000. Cadmium and Copper Display Different Responses towards Oxidative Stress in the Kidney of the Sea Bass *Dicentrarchus labrax*. *Aquat. Toxicol.*, 48, 185-194.
- SASTRY, K.V., SUBHADRA, K.M., 1982. Effect of Cadmium on Some Aspects of Carbohydrate Metabolism in a Freshwater Catfish *Heteropneustes fossilis*, *Toxicol. Lett.*, 14(1-2), 45-55
- SHEN, Y.M., SANGIAH, S., 1995. Na⁺, K⁺, ATPase, Glutathione and Hydroxyl Free Radicals in Cadmium Chloride Induced Testicular Toxicity in Mice. *Arch. Environ. Contam. and Toxicol.* 29, 174-179.
- SJOBECK, M., HAUX, C., LARSSON, A., LITHNER, G., 1984. Biochemical and Hematological Studies on Perch *Perca fluviatilis* from the Cadmium-Contaminated River Eman. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 8, 303-312.
- SOENGAS, J.L., AGRA-LAGO, M.J., CARBALLO, B., ANDRES, M.D., VIEIRA, J.A.R., 1996. Effect of an Acute Exposure to Sublethal Concentrations of Cadmium on Liver Carbohydrate Metabolism of Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 57, 625-631.
- SOKAL, R.R., ROHLF, J.F., 1969. Biometry. W.H. and Freeman and Company, San Francisco, 776s.
- SORENSEN, E.M., 1991. Metal Poisoning in Fish. CRC Press, Boca Raton, FL. 243pp.
- SPRY, D.J., WIENER, J.G., 1991. Metal Bioavailability and Toxicity to Fish in Low Alkalinity Lakes: a Critical Review. *Environ. Pollut.*, 71, 243-304.

- SURESH, A., SIVARAMAKRISHNA, B., RADHAKRISHNAIAH, K., 1993. Effect of Lethal and Sublethal Concentrations of Cadmium on Energetics in the Gills of Fry and Fingerlings of *Cyprinus carpio*. Bull. Environmental Contam. Toxicol, 51(6): 920-926.
- SZEBEDINSZKY, C., MCGEER, J.C., MCDONALD, D.G., WOOD, C.M., 2001. Effects of Chronic Cadmium Exposure via the Diet or Water on Internal Organ-Specific Distribution and Subsequent Gill Cd Uptake Kinetics in Juvenile Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). Environ. Toxicol. Chem., 20(3): 597-607.
- THOMAS, D.G., BROWN, M.W., SHURBEN, D., SOLBE, J.F.D.G., CRYER, A., KAY, J., 1985. Comparison of the Sequestration of Cadmium and Zinc in the Tissues of Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*) Following Exposure to the Metals. Singly or in Combination. Comp. Biochem. Physiol., 82 (C), (1), 55-62.
- TORT, L., TORRES, P., HIDALGO, J., 1984. Short-Term Cadmium Effects on Gill Tissue Metabolism. Mar. Poll. Bull., 15, (12), 448-450.
- VERBOST, P.M., FLIK, G., LOCK, R.A.C., BONGA, S.E.W., 1987. Cadmium Inhibition of Ca^{++} Uptake in Rainbow Trout Gills. Am. Journal of Physiology, 253, 216-221.
- VERSTEEG, D.J., GIESY, J.P., 1986. The Histological and Biochemical Effects of Cadmium Exposure in the Bluegill Sunfish (*Lepomis macrochirus*). Ecotoxicol. Environ. Safe., 11(1): 31-43.
- WICKLUND, A., RUNN, P., NORRGREN, L., 1988. Cadmium and Zinc on the Uptake Organ Distribution and Elimination of ^{109}Cd in the Zebrafish, *Brachydania rerio*. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 17, 345-354.
- WONG, C.K., WONG, M.H., 2000. Morphological and Biochemical Changes in the Gills of Tilapia (*Oreochromis mossambicus*) to Ambient Cadmium Exposure. Aquat. Toxicol. 1; 48 (4), 517-527.

- WOO, P.T.K., YOKE, M.S., WONG, M.K., 1993. The Effects of Short-Term Acute Cadmium Exposure on Blue Tilapia *Oreochromis aureus*. Environ. Biol. Fish. 37; 67-74.
- YAMANO, T., SHIMIZU, M., NODA, T., 1998. Comparative Effects of Repeated Administration of Cadmium on Kidney, Spleen, Thymus and Bone Marrow in 2, 4 and 8 Month Old Male Wistar Rats. Toxicology Sciences 46, 393-402.
- ZYADAH, M. A., 1999. Accumulation of Some Heavy Metals in *Tilapia zilli* Organs from Lake Manzalah Egypt. Tr. J. of Zoology, 23, 367-372.



ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Almanya'nın Hamburg şehrinde doğdum. İlk öğrenimimin ilk iki sınıfını Almanya'nın Rudolf Ross Schule okulunda okudum. Geri kalan bölümünü Mersin Gazi Paşa İlköğretim okulunda, orta öğrenimimi Mersin Salim Yılmaz Lisesinde tamamladım. 1997 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümünden "Biyolog" unvanı ile mezun oldum. 2001 yılında Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalında Yüksek Lisansa başladım. 1998 yılında Öğretmenliğe atandım. Halen bu görevime devam etmekteyim.

