



CİNSİ OLGUNLUĞA ERİŞMEMİŞ PULLU SAZAN (*Cyprinus carpio* L., 1758)'LARIN KAS, DERİ VE SOLUNGAÇLARINDAKİ AĞIR METAL AKÜMÜLASYON ORANLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Esengül KÖSE*, Kazim UYSAL*

*Dumlupınar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kütahya
e-mail: esen_kose@yahoo.com, kuysal@dumlupinar.edu.tr

Geliş Tarihi: 21.02.2008

Kabul Tarihi: 16.09.2008

ÖZET

Bu çalışmada, ağırlıklı olarak kaplıca suları ile beslenen Enne Baraj Gölü (Kütahya)'nde yaşayan cinsi olgunluğa erişmemiş pullu sazanların (*Cyprinus carpio*) kas, deri ve solungacında ağır metal biyoakümülyasyon oranları araştırılmıştır. Cu, Zn, Mn, Ni, Fe, Ca, Mg, Cr, Co ve B analizleri İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektroskopisi (ICP-OES), Cd analizleri ise Atomik Absorbsiyon Spektrofotometri (AAS) ile yapılmıştır. Kas dokunun metal seviyeleri solungaçlardan önemli derecede düşük bulunmuştur ($p < 0.05$). Bor, suda magnezyum ve kalsiyumdan sonra üçüncü derecede yüksek konsantrasyona sahipken hiçbir dokuda ölçülebilecek derecede akümüle olmamıştır. Tespit edilen elementlerin dokulara akümülyasyon sırası; kasda $Ca > Mg > Zn > Fe > Cd$, solungaçta $Ca > Mg > Zn > Fe > Cd$ ve deride $Ca > Mg > Fe > Zn > Cd$ olarak bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Ağır metal, *Cyprinus carpio*, Enne Baraj Gölü, kas, solungaç, deri

THE COMPARISON OF HEAVY METAL ACCUMULATION RATIOS IN MUSCLE, SKIN AND GILL OF NON-MATURATED COMMON CARP (*Cyprinus carpio* L., 1758)

ABSTRACT

In this study, Heavy metal bioaccumulation ratios of muscle, skin and gill of common carp (*Cyprinus carpio*) in Enne Dame Lake fed with hot spring water (in Kütahya) were investigated. The analyses of Cu, Zn, Mn, Ni, Fe, Ca, Mg, Cr, Co and B were performed with Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) and Cd with Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). It was found that the metal levels of muscle were extremely lower than gill ($p < 0.05$). While B had the third highest concentration followed by Mg and Ca in the water of the lake, it was not encountered in any tissue. The heavy metal accumulation orders were as follows for the tissues: $Ca > Mg > Zn > Fe > Cd$ in muscle, $Ca > Mg > Zn > Fe > Cd$ in gill and $Ca > Mg > Fe > Zn > Cd$ in skin.

Keywords: Heavy metal, *Cyprinus carpio*, Enne Dame Lake, muscle, gill, skin

1.GİRİŞ

Çevre kirliliği bütün dünyada korkutucu boyutlara ulaşmış, hem insan hem de diğer canlıların hayatını tehdit etmeye başlamıştır. Özellikle de sucul habitatların gittikçe kirlenmesi ve tükenmesi ekonomik, ekolojik ve sosyolojik bakımdan ciddi sorunların çıkmasına neden olmaktadır. Bunlar genel olarak, besin maddesi üretimin azalması, sucul ekosistemlerde ekolojik dengeyi bozulması, sosyal ve politik istikrarın sarsılması ve hastalıkların artması, olarak sıralanabilir [1,2,3]. Doğal dengeyi bozan kirlenici unsurlar; organik maddeler, ağır metaller, petrol türevleri, yapay tarımsal gübreler, deterjanlar, radyoaktivite, pestisitler, inorganik tuzlar, yapay organik kimyasal maddeler ve atık ısı olarak sıralanabilir [4,5]. Bu kirlenicilerden özellikle ağır metaller deşarj edildikleri ortamda uzun süre kalabilmeleri, sucul canlılarda toksik etkiler meydana getirmeleri ve besin

zincirinde akümüle olarak insan sağlığını tehdit etmeleri nedeniyle büyük önem taşırlar [6,7]. Ağır metallere bazıları (Kadmium, kurşun, arsenik, civa v.s.) canlı dokularda çok düşük konsantrasyonlarda olsalar bile hayli yüksek toksik etkiler meydana getirirler. Bununla birlikte bazı metaller de (Bakır, çinko, demir v.s.) biyolojik öneme sahiptirler ve sucul ekosistemin tabi bileşenleridirler. Çok yüksek konsantrasyonlarda ancak toksik etki gösterirler [8].

Ağır metallere, balıklar tarafından ortamdan alınımı solungaçlar, besin, su ve deri aracılığı ile olmaktadır [9]. Balıklarda metallere toksik etkileri ilk olarak solungaçlarda görülür. Bunun nedeni, solungaçların lamellar yapı sayesinde oldukça geniş yüzey alanına sahip olması, ortamla doğrudan doğruya temas halinde olması ve su ile kan arasındaki difüzyon aralığının kısa olması gibi nedenlerle açıklanabilir [10,11]. Balık zehirlenmeleri genelde ağız yolu ile alınan toksik maddelerce olur. Sindirim kanalından absorbe olan toksik maddeler, kan dolaşımı ile tüm vücuda dağılır. Deri genellikle toksik maddelerle sık sık temas halindedir. Ancak derinin ağır metallere karşı fazla geçirgen olmayışı nedeniyle bu yoldan canlıların zehirlenmeleri nispeten seyrek olur [12]. Ağır metaller, sularda ayrışmadıklarından ya da zor ayrıştıktıklarından organizmaların dokularında büyük konsantrasyonlarda birikmektedirler. Balıklarda ağır metal birikimi metalin çeşidine, ortam derişimine ve etkide kalma süresine; türün beslenme durumuna, yaşına, gelişme evresine, metabolik aktivitesine, doku ve organlara, suyun fizikokimyasal özelliklerine ve ortamda bulunan diğer metallere bağlı olarak değişir [11,13,14,15,16,17].

Karaciğer, gonad, böbrek ve solungaç gibi hedef organlar metabolik olarak aktif dokulardır ve ağır metalleri daha yüksek seviyelerde akümüle ederler [18]. Ağır metallere, balıkların doku ve organlarındaki birikiminin yanı sıra çeşitli kan parametrelerini, enzim aktivitelerini, büyüme ve gelişmeyi de etkilediği belirlenmiştir [9].

Enne Baraj Gölü ağırlıklı olarak kaplıca suları ile beslenmektedir. Dolayısı ile burada sadece insan aktivitesi kaynaklı ağır metaller değil kaplıca sularında doğal olarak bulunabilen ağır metallere de bulunması olasıdır. Bundan dolayı önce yapmış olduğumuz bir çalışma ile; Enne Baraj Gölü suyunda ve burada yaşayan insan gıdası olabilecek büyüklükteki balıklarda ağır metal konsantrasyonları araştırılmıştır. Ancak örnek alırken insan gıdası olabilecek yeterli büyüklükte *Cyprinus carpio* L., 1758 örnekleri yakalanamamıştır.¹

Yakalanan *Cyprinus carpio*'lar cinsi olgunluğa ulaşmamış ve oldukça küçük olduğundan ayrı bir makale olarak düşünülen ve özellikle gıda açısından ele alınacak olan diğer balıklarla değerlendirilmemiştir. Bilindiği gibi eşey farklılıkları da balıklarda ağır metal akümülyasyon oranlarını etkilemektedir. Literatürde, genelde gıda olarak tüketilebilecek büyüklükte ve bizim örneklerimizden çok daha büyük *Cyprinus carpio*'larla yapılan çalışmalar vardır [1,20,26,30,31]. Özellikle Enne Baraj Gölü'nde yaşayan *Cyprinus carpio*'larda ağır metal akümülyasyonu ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Çalışmamızdan elde edilen verilerin literatüre kazandırılmasının sonraki yapılacak çalışmalara da katkı sağlayacağı kanaatindeyiz. Bu çalışmanın amacı kaplıca suları ile beslendiğinden özel bir ekosistem sayılan Enne Baraj Gölü'ndeki cinsel olgunluğa erişmemiş *Cyprinus carpio*'ların kas, deri ve solungaçlarındaki ağır metal akümülyasyon oranlarının karşılaştırılmasıdır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Çalışma Alanı ve Materyal

Enne Baraj Gölü (39° 28'N - 29° 51'E) Kütahya'nın batısında şehir merkezine 18 km. uzaklıktadır. Yoncalı Köyü'nün güney batısından başlayarak, Cıvli Köyü girişine kadar uzanır. Enne Barajı, Porsuk Çayı'nın bir kolu olan Felent Çayı üzerinde kurulmuştur. Enne Barajı, Seyit Ömer Termik Santrali'nin su ihtiyacını karşılamaktadır. Kütahya'nın güzel bir mesire yeri olmasından dolayı özellikle olta balıkçılığı yaygındır. Baraj Gölü havzası, Yoncalı Köyü içinde bulunan termal kaplıcalar ve çevreden gelen küçük derelerin suları ile beslenir. Kurak geçen yaz ayları sonunda Kayaboğazı Barajı'ndan su pompalanarak takviye yapılmaktadır. Bu nedenle, barajdaki su seviyesinin tehlike sınırına gelmesi ihtimali zayıftır [19].

Cyprinus carpio örnekleri olta ve fanyalı ağlar kullanılarak bölgede balıkçılık yapanların yardımı ile yakalanmıştır. Yakalanan balık örnekleri buz kalıpları içerisinde muhafazalı bir şekilde Dumlupınar Üniversitesi

¹ Bu çalışma D.P.Ü. Bilimsel Araştırmalar Projeleri Komisyon Başkanlığı tarafından desteklenen "Enne Barajı'nda yaşayan değişik tür balıkların ağır metal seviyelerinin belirlenerek biyoakümülyasyon (BAF) değerlerinin incelenmesi" adlı proje çerçevesinde yürütülmüştür. Proje No: 2004-8

Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölüm Laboratuvar'ına getirilmiştir. Balık örnekleri analiz işlemleri başlanıncaya kadar -80°C 'de saklanmıştır. Analizlerde kullanılan örneklerin hepsi cinsel olgunluğa erişmemiş bireylerden oluşmuş olup ortalama boyları $12,85 \pm 0,45$ cm ve ortalama ağırlıkları da $31,43 \pm 0,56$ gr olarak ölçülmüştür.

2.2. Su Analizleri

Su analizleri için, 2 istasyon (Milli Park ve Kayalık) belirlenmiş olup, Oksijen, pH, sıcaklık ölçümleri istasyonlarda yapılmıştır. Amonyak, amonyum, nitrit, nitrat, potasyum, klor, sülfat, sülfid, fosfat analizleri ise Kütahya Tarım il Müdürlüğü laboratuvarlarında (Spektrofotometre ile) yapılmıştır. Sudaki Cu, Zn, Mn, Ni, Fe, Cr, Co, Ca, Mg ve B analizleri Dumlupınar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölüm Laboratuvar'ında bulunan ICP-OES (İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektroskopisi) ile ölçülmüştür.

2.3. Dokularda Ağır Metal Analizleri

Cu, Zn, Mn, Ni, Fe, Cr, Co, Ca, Mg ve B analizleri Dumlupınar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölüm Laboratuvar'ında bulunan ICP-OES ile, Cd analizleri ise Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölüm Laboratuvar'ında bulunan Hiatchi (180-70) model Polarized Zeaman Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi ile yapılmıştır.

Analiz işlemlerine başlanmadan, balıklar önce çeşme suyu daha sonra saf su ile yıkanarak üzerlerindeki kalıntılardan arındırılmıştır. Temiz bir havlu ile kurulanıp boy ve ağırlıkları ölçülmüştür. Daha sonra, pens ve bistürü yardımıyla diseksiyonu yapılan balıkların kas, solungaç ve derisinden $0,0001$ gr hassasiyetli terazi ile balık doku örneklerinden yaklaşık $0,5$ gr tartılarak, Milestone Ethos D Mikrowave Labstation model mikrodalga çözünürleştirme hücrelerine konulmuştur. Her bir hücrenin içerisine 7 ml HNO_3 (%65) ve 1 ml H_2O_2 (%35) ilave edilmiştir. Hücre kapakları kapatılarak mikrodalga fırınına yerleştirilmiş, belli zaman, güç ve sıcaklık aralıklarında çözündürülmüştür. Çözündürme programı Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Çözündürme Programı

Adım	Zaman	Güç	Sıcaklık
1	1 dak.	250	180°C
2	1 dak.	0	180°C
3	6 dak.	250	180°C
4	5 dak.	400	200°C
5	5 dak.	650	220°C
Soğutma süresi 3 dak.			

Mikrodalga fırınında 21 dakikalık çözünürleştirme işlemi yapıldıktan sonra fırından çıkarılan hücrelerin oda sıcaklığında soğumaları sağlanmıştır. Soğuyan hücrelerin kapakları açıldıktan sonra çözünen örnekler ultra saf su ile $50-100$ ml'ye seyreltilerek balon jöjelere aktarılmıştır.

Örnekler argon gazıyla plazmaya taşınmış ve cihazın soğutma sisteminde azot gazı kullanılmıştır. Analiz edilecek elementlerin (Cu, Zn, Fe, Mn, Ni, Cr, Co, Pb, Ca, Mg ve B) önce standart aralığı belirlenmiştir. Bu standartların derişimi $1, 5, 10, 25, 50$ ppm lik standartlar olarak hazırlanmış ve bu standartlarla kalibrasyon doğrusu oluşturulmuştur. Belirli derişimlerdeki standart çözeltileri hazırlamak için Merck marka 1000 ppm'lik stok standartlar kullanılmıştır. Sonuçlar NIST-CE278 sertifika kodlu midye dokusu standart örnekleri ile karşılaştırılmıştır. Örneklerden hazırlanmış olan çözeltiler; Cu $324,8$ nm, Zn $213,9$ nm, Mn $279,5$ nm, Ni 232 nm, Fe $248,3$ nm, Cr $357,9$ nm, Co $240,7$ nm, Pb $217/283,3$ nm, Ca $422,7$ nm, Mg $285,2$ nm ve B $249,7$ nm dalga boylarında ICP-OES'de okutulmuştur. Ağır metal seviyeleri balık örneklerinde mg/kg (ppm) yaş ağırlık olarak belirlenmiştir. Analiz işlemleri her tayin için 3 'er defa tekrarlanmıştır.

Cd analizleri Hiatchi (180-70) model Polarized Zeaman Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi (AAS) grafit ünitesinde yapılmıştır. Cihaza kadmiyum hallow katod lambası takılmış ve lamba akımı $7,5$ Ma, dalga boyu $228,8$ nm, slit $1,3$ nm olarak ayarlanmıştır. Merck kadmiyum AAS standart çözeltisinden hazırlanan $10, 20, 40$ $\mu\text{g/l}$ çalışma standart çözeltileriyle cihaz kalibre edilmiştir. Kalibrasyondan sonra örnekler cihaza üç kez verilerek, sonuçlar yazıcıdan alınmıştır [21].

2.4. Sudan Balık Dokularına Ağır Metal Transfer Faktörü

Suda bulunan ağır metallerin balığa akümüle olup olmadığını hesaplamak için “transfer faktörü (tf) = Balıkta tespit edilen metal konsantrasyonu/Ekosistemdeki metal konsantrasyonu” formülü kullanılmıştır. tf 1 den büyükse biyoakümülyasyonun olduğunu ve balığın ağır metalleri biriktirdiğini, küçükse metallerin dokularda akümüle olmadığını göstermektedir [22].

2.5. İstatistiksel Analizler

Analizler her doku için üç tekrar olarak yapılmıştır. Üç tekrarın aritmetik ortalamaları hesaplanarak tablolar düzenlenmiştir. Tablolarda ortalama değerlerin sağında standart hataları (\pm) belirtilmiştir. Elde edilen verilere SPSS 13.00 Paket programı kullanılarak varyans analizi uygulandıktan sonra Tukey çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. Tabloda ortalama veriler arasındaki farkın önem durumu harflendirme sistemi ile gösterilmiştir. Sonuçlar $p < 0,05$ ise önemli kabul edilmiştir [23].

3. BULGULAR

3.1. Enne Baraj Gölü Suyu Analiz Sonuçları

Enne Baraj Gölü suyunun Milli Park ve Kayalık istasyonları analiz sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir. İki istasyon arasında önemli bir farklılık tespit edilmemiştir. Su analizlerinde göze çarpan en önemli nokta organik kirlilik göstergesi olan amonyak, nitrit ve nitrat değerlerinin oldukça yüksek olmasıdır.

Çizelge 2. Enne Baraj Gölü Suyu Analiz Sonuçları

Parametreler	Milli Park	Kayalık
Sıcaklık (°C)	22,9	22,7
pH	8,1	7,9
Çözünmüş oksijen ($mg\ l^{-1}$)	8	8,2
Amonyak ($mg\ l^{-1}$)	0,06	0,084
Amonyum ($mg\ l^{-1}$)	0,065	0,091
Nitrit ($mg\ l^{-1}$)	0,220	0,2
Nitrat ($mg\ l^{-1}$)	1,40	1,55
Potasyum ($mg\ l^{-1}$)	2,6	2,4
Klor ($mg\ l^{-1}$)	0,1	0,1
Sülfat ($mg\ l^{-1}$)	54	48
Fosfat ($mg\ l^{-1}$)	0	0
Sülfid ($mg\ l^{-1}$)	4	3

3.2. Enne Baraj Gölü Suyu ve *Cyprinus carpio*'nun Farklı Dokularında Ölçülen Metal Konsantrasyonları

Enne Baraj Gölü suyunda ve *Cyprinus carpio*'nun kas, solungaç ve derisinde tespit edilen metal oranları Çizelge 3’de verilmiştir. İçerdiği Zn, Fe, Cd, Ca ve Mg konsantrasyonuna göre dokuların sıralaması Solungaç>Deri>Kas şeklindedir. Cu, Mn, Ni, Cr, Co ve B *Cyprinus carpio*'nun hiçbir dokusunda tespit edilememiştir. B, suda tespit edilmiş olmasına rağmen balık dokularına akümüle olmamıştır. Tespit edilen tüm metal konsantrasyonları en yüksek solungaçlarda, en düşük ise kas dokusunda bulunmuştur. *Cyprinus carpio* dokularındaki metal birikimi ise; kasta Ca>Mg>Zn>Fe>Cd; solungaçta Ca>Mg>Zn>Fe>Cd ve deride Ca>Mg>Fe>Zn>Cd olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 3. Suda ve *Cyprinus carpio*'nun Farklı Dokularında Ölçülen Metal Konsantrasyonları (mg kg⁻¹ yağ ağırlık)*

Element	Su (mg l ⁻¹) $\bar{X} \pm SE$	Doku (mg kg ⁻¹)		
		Kas $\bar{X} \pm SE$	Solungaç $\bar{X} \pm SE$	Deri $\bar{X} \pm SE$
Cu	0,003 ± 0,000	öd	öd	öd
Zn	0,022 ± 0,000	27,65 ± 1,62 ^a	91,55 ± 2,50 ^b	38,20 ± 5,38 ^a
Mn	0,001 ± 0,000	öd	öd	öd
Ni	0,007 ± 0,002	öd	öd	öd
Fe	0,076 ± 0,016	16,98 ± 0,02 ^a	87,19 ± 11,88 ^b	50,77 ± 1,29 ^{ab}
Cr	öd	öd	öd	öd
Co	0,005 ± 0,000	öd	öd	öd
Cd	-	0,04 ± 0,00 ^a	0,14 ± 0,00 ^b	0,12 ± 0,01 ^b
Ca	45,688 ± 1,085	458,85 ± 19,85 ^a	9099 ± 8,50 ^c	1202 ± 56 ^b
Mg	290,516 ± 3,542	189,15 ± 13,15 ^a	507,40 ± 1,90 ^b	404,10 ± 41,20 ^b
B	0,129 ± 0,004	öd	öd	öd

*Aynı satırda farklı harfle gösterilen ortalama değerler arasındaki fark önemlidir (p<0,05)

$\bar{X} \pm SE$: Ortalama ± Standart hata

öd: Ölçülemeyecek düzeyde

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çizelge 2'de görüldüğü gibi Enne Baraj Gölü suyunda amonyak, amonyum, nitrit, nitrat ve potasyum değerleri oldukça yüksek bulunmuştur. Bu durum ise organik kirliliğin yüksek olduğu izlenimini vermektedir. Zira Ilıca Kaplıcası Tesisleri'nden çıkan atık sular arıtılmadan buraya verilmektedir. Ayrıca bölgede hayvancılık da yaygın olduğundan hayvan gübrelerinin de buraya karışması olasıdır. Özellikle Enne Köyü atıkları da direkt olarak bu gölete karışmaktadır. Bölgenin güzel bir piknik alanı olmasından dolayı piknikçilerin bıraktığı organik atıkların da buraya karışabileceği düşünüldüğünde ve analiz sonuçlarımızda desteğinde Enne Baraj Gölü'nün ciddi bir organik kirlenme ile karşı karşıya olduğu söylenebilir.

Enne Baraj Gölü suyunda Cr tespit edilememiştir. Suda tespit edilen diğer metaller ise düşük konsantrasyonlarda bulunmuştur. Bu durum suyun pH'nın yüksek (7,9-8,1) olmasından dolayı (Çizelge 2.) metallerin çözünmediğinden kaynaklanabilir. Çünkü sedimentte ve suda asılı parçacıklara bağlı metaller ancak suyun asidik olması durumunda serbest hale geçer [12]. B, suda Mg ve Ca dan sonra üçüncü derecede yüksek konsantrasyona sahipken *Cyprinus carpio* nun incelenen hiçbir dokusunda tespit edilememiştir. Bu, B'un henüz doku ve organlarda ölçülebilir seviyelerde akümüle olmadığından veya detoksife edildiğinden kaynaklanabilir. Dünya toplam B rezervinin %63'ü Türkiye'de bulunmaktadır. Türkiyede'ki rezervin büyük bir kısmı da Kütahya'da bulunmaktadır [24]. Bu nedenle suda B'un çok az ve balık dokularında da ölçülebilecek seviyede olmaması dikkate değer bulunmuştur. Uysal ve ark [25]; Beymelek Lagünü'nden yakalanan bazı göçücü balıkların kas, solungaç ve derilerinde B'un ölçülebilecek seviyenin altında olduğunu tespit etmişlerdir. Özkurt [26]; Çatören ve Kunduzlar (Kırka-Eskisehir) Baraj Göletlerindeki Sazanların (*Cyprinus carpio*) dokularında bor birikimini araştırmış; Çatören Barajında bor kirliliğinin Kunduzlar'a göre daha fazla olduğunu, bunun balık büyümesini engellediğini bildirmiştir. Dünyada sucul ortamlardaki bor kirliliğinin kaynakları, ikinci kullanım atık sular olarak tanımlanmaktadır. Türkiye'de ise sucul ortamlardaki bor kirliliği direkt olarak bor üretimi yapan işletmelerden artık ve yıkama suları yoluyla olmaktadır. Açık ocaklarda bor cevheri elde edilirken, cevherin üzerinde bulunan borca zengin örtü tabakası traşlanarak atılmaktadır. Borca zengin olan ve pasa adı verilen bu artıklar erozyon ve yağışların etkisiyle hem akarsulara ulaşmakta, hem de geçtiği yerlerdeki toprakları kirliletmektedir. Aşırı B insanlar ve hayvanların merkezi sinir sistemini etkilemektedir [26]. Yapılan sucul toksisite çalışmalarında bütün türler ve yaşam dereceleri arasında, B'a en hassas olan organizmanın erken yaşam

devresindeki gökkuşağı alabalığı olduğu tespit edilmiştir. Deney ortamı olarak hazırlanan suda 0,1 mg/lit B'un, gözlenebilen en düşük etki konsantrasyonu olduğu tespit edilmiştir (26,27).

Balık dokularında tespit edilen metal seviyeleri suya göre yüksek konsantrasyonlarda bulunmuştur. Bunun nedeni sudaki ağır metallerin çökerek, dip kısmında birikmesi ve incelediğimiz balıkların bu metalleri sedimentten veya besinlerden alıp doku ve organlara akümüle etmiş olmasından kaynaklanabilir. Canbek ve ark [28]; yaptıkları çalışmada inceledikleri türlerin ağır metal birikim düzeylerinin, ortam suyundaki ağır metal derişimlerinden fazla olduğunu ve bu birikimlerin organ ve dokulara göre farklılık gösterdiklerini belirtmişlerdir. *Cyprinus carpio*'nun yenilebilir kısımları (Kas ve deri) solungaçlardan daha az metal biriktirmiştir ($p<0.05$). Solungaçtaki yüksek birikim bu organın solunum fonksiyonu, osmotik ve iyonik regülyasyon gibi çok sayıda metabolik aktiviteyi yürütmesi sonucu dış çevre ile sürekli temas halinde olmasından kaynaklanmaktadır [11]. Çalışmamızda kas dokusunun genelde ağır metalleri bağlamada etkin bir doku olmadığı belirlenmiştir. *Cyprinus carpio*'nun solungacında Ca ve Mg diğer metallerden yüksek konsantrasyonlarda bulunmuştur. Bu elementlerden sonra ise solungaçta ve kas dokusunda Zn ve Fe en yüksek seviyede bulunmuştur. Zn sucul hayat için esansiyel bir elementtir, canlılarda normal bir büyüme ve gelişme için zorunludur. Eğer Zn'nun sudaki seviyesi yükselecek ve balıklarda solungaçlara alınan Zn miktarı yüksek bir seviyeye ulaşacak olursa bu fazlalığın boşaltılması zorunluluğu doğar. Ayrıca bu boşaltım sırasında ek bir enerji sarfiyatı gerekir. Yüksek seviyelerde Zn varlığında ise detoksifikasyon mekanizması vücuda alınan fazlalığı bertaraf etmede yetersiz kalır ve toksik etki yapar [29].

Cd ise *Cyprinus carpio*'nun tüm dokularında diğer metallere oranla düşük bulunmuştur. Öztürk ve ark [30], Altınkaya Barajı'nda yaşayan *Cyprinus carpio*'nun çeşitli organ ve dokularındaki bazı ağır metallerin birikimini incelemişlerdir. İncelenen dokulardan, kas dokusunda en yüksek metal birikiminin Zn olduğu ve bunu Fe'in izlediğini tespit etmişlerdir. İncelikleri tüm doku ve organlarda Cd konsantrasyonlarını diğer metallere oranla düşük bulmuşlardır. Uysal ve ark [31], Gölcük (Bozdağ-Ödemiş) Gölü'ndeki *Cyprinus carpio*'nun kas dokusundaki ağır metal değerlerini belirlemişlerdir. Araştırma sonuçlarında, kas dokusunda en yüksek Fe'in bulunduğunu ve bunu Zn'nun izlediğini tespit etmişlerdir. Canpolat [7], Hazar Gölü'nden yakalanan *Capoeta capoeta umbla* (Heckel, 1843)'da bazı ağır metal miktarlarını incelemiştir. Araştırma sonucuna göre incelenen doku ve organlarda en yüksek birikim gösteren ağır metal Zn olup bunu ise Fe'in izlediğini belirlemiştir. Bu araştırmacıların bulguları, bizim bulgularımızı destekler niteliktedir.

Cyprinus carpio'nun tüm dokularında Zn, Fe ve Ca için hesaplanan transfer faktörleri 1'den büyük bulunmuştur. Bu durum, bu elementlerin balıklara akümüle olduğunu göstermektedir. Çünkü herhangi bir metalin transfer faktörünün 1'den büyük olması dokularda biyoakümülyasyonun meydana geldiğinin bir göstergesi olduğu bildirilmiştir [22]. İncelenen dokularda transfer faktörü en düşük metal Mg'dur. Mg'un transfer faktörü (0,65), *Cyprinus carpio*'nun kas dokusunda 1'in altında bulunmuştur. Tespit edilen elementlerin transfer faktörleri tüm dokularda $Zn>Fe>Ca>Mg$ olarak belirlenmiştir. Zn'nun transfer faktörü Fe'in transfer faktöründen kas dokusunda yaklaşık 6 kat, solungaçta 4 kat, deride ise 3 kat yüksek bulunmuştur. Tespit edilen tüm metallerin transfer faktörleri dokular arasında en yüksek solungaçta en düşük ise kas dokusunda belirlenmiştir.

Sonuç olarak; Enne Baraj Gölü'nde yaşayan cinsi olgunluğa erişmemiş pullu sazanların (*Cyprinus carpio*) kas dokusunda tespit edilen tüm metaller Türk Gıda Kodeksi'nde balıklar için önerilen kabul edilebilir değerlerin altında bulunmuştur. Ancak derinin Cd içeriği (0,12 mg/kg) yenilebilir sınırı (0,1 mg/kg) aşmıştır. Analiz edilen balıkların 0-1⁺ yaş grubu olduğu düşünülürse büyük balıkların daha fazla Cd akümüle edebileceği düşünülebilir.

KAYNAKÇA

- [1] Çiçek, A. ve Koparal, A. S., “Porsuk Baraj Gölü’nde yaşayan *Cyprinus carpio* ve *Barbus plebejus*’da kurşun, krom ve kadmiyum seviyeleri”, ***Ekoloji Çevre Dergisi***, 39: 3-6 (2001)
- [2] Çepel, N., “Ekolojik sorunlar ve çözüm önerileri”, Tubitak Popüler Bilim Kitapları, 183, (2003)
- [3] Keleş, S. ve Göl, C., “Çok fonksiyonlu bir orman çıktısı: Su”, ***Türkiye Tabiatını Koruma Derneği, Tabiat ve İnsan Dergisi***, 1-2: 3-12 (2004)
- [4] Yarsan, E., Bilgili, A. ve Türel, İ., “Van Gölü’ünden toplanan midye (*Unio stevenianus Krynicki*) örneklerindeki ağır metal düzeyleri”, ***Türk Veterinerlik ve Hayvancılık Dergisi*** 24: 93-96 (2000)
- [5] Bat, L., Gündoğdu, A., Yardım, Ö., Zoral, T. ve Çulha, S., “Sinop ili İç Liman Bölgesindeki zooplankton ve bazı ekonomik balıklarda ağır metal düzeyleri”, ***Sumder (Su Ürünleri Mühendisleri Derneği Dergisi)*** 25,26: 22-27 (2006)
- [6] Papagiannis, I., Kagalou, I., Leonardos, J., Petridis, D. and Kalfakakou V., “Copper and zinc in four freshwater fish species from Lake Pamvotis (Greece)”, ***Environment International***, 30: 357-362 (2004)
- [7] Canpolat, Ö., Hazar Gölü’nde yakalanan *Capoeta capoeta umbla* (Heckel, 1843)’da bazı ağır metal miktarlarının tespiti, Yüksek lisans tezi, ***Fırat Üniv. Fen Bilm. Ens. Su Ürünleri Temel Bilimleri Anabilim Dalı***, 50 (2001)
- [8] Amundsen, P-A, Staldivik J.F., Lukin, A. A., Kashulin A. N., Popava A. O. and Reshetnikov, S. Y., “Heavy metal contamination in freshwater fish from the border region between Norway and Russia”, ***The Science of the Total Environment*** 201: 211-224 (1997)
- [9] Cicik, B., “Bakır-Çinko Etkileşiminin Sazan (*Cyprinus carpio* L.)’nın karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki metal birikimi üzerine etkileri”, ***Çevre ve Ekoloji Dergisi***, 12, 48: 32-36 (2003)
- [10] Kalay, M. ve Erdem, C., “Bakırın *Tlapia nilotica* (L)’da karaciğer, böbrek, solungaç, kas, beyin ve kan dokularındaki birikimi ile bazı kan parametreleri üzerine etkileri”, ***Tr. J. of Zoology*** 19: 27-33 (1995)
- [11] Kuşatan, Z. ve Cicik, B., “*Clarias lazera* (Valenciennes, 1840)’da kadmiyumun solungaç, karaciğer, böbrek, dalak ve kas dokularındaki birikimi”, ***Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi***, 2, 12: 59-66 (2004)
- [12] Karadede, H., Atatürk Baraj Gölü’nde su, sediment ve balık türlerinde ağır metal birikiminin araştırılması, Yüksek lisans tezi, ***T.C. Dicle Üniv. Fen Bilm. Ens. Biyoloji Anabilim Dalı***, 72 (1997)
- [13] Canli, M. and Atli, G., “The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species”, ***Environmental Pollution***, 121: 129-136 (2003)
- [14] Chattopadhyay, B., Chatterjee, A. and Mukhopadhyay, S.K., “Bioaccumulation of metals in the East Calcutta wetland ecosystem”. ***Aquatic Ecosyst. Health Manage***, 5: 191-203 (2002)
- [15] Clearwater, S., “Metals in the aquatic food web: bioavailability and toxicity to fish”. ***Fact Sheet on Environmental Risk Assessment. Int. Council Mining Met.***, 6: 1-7 (2002)
- [16] Fernandes, C., Fernandes -F, A., Peixoto, F. and Salgado, A.M., “Bioaccumulation of heavy metals in *Liza saliens* from the Esmoriz-Paramos coastal lagoon, Portugal”, ***Ecotoxicology and Environmental Safety***, 66, 3: 426-431 (2007)

- [17] Ünlü, E., Cengiz, İ. E., Akba, O. ve Gümgüm, B., Dicle Nehri'ndeki *Capoeta trutta* Heckel, 1843'da ağır metal birikimi, **II. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi Bildirileri**, 639- 649 (1995)
- [18] Qiao-qiao, C., Guang-wei and Langdon, A., “ Bioaccumulation of heavy metals in fishes from Taihu Lake, China”, **Journal of Environmental Sciences**, 19:1500-1504 (2007)
- [19] Koyun, M., Enne Baraj Gölü'ndeki (Kütahya) bazı balık türlerinin Helminth Faunası, Doktora Tezi, **Uludağ Ün. Fen Bilim. Ens. Biyoloji Anabilim Dalı**, 119 (2001)
- [20] Alam, M.G.M., Tanaka, A., Allinson, G., Laurenson, L, J, B., Stagnitti, F. and Snow, E, T., A comparison of trace element concentrations in cultured and wild carp (*Cyprinus carpio*) of Lake Kasumigaura, Japan, **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 53, 348-354 (2002)
- [21] Işıklı, B., Demir, A. T., Akar, T., Berber,T., Ürer, M. S., Kalyoncu, C. and Canbek, M., Cadmium exposure from the cement dust emission: A field study in a rural residence, **Chemosphere** 63: 1546-1552 (2006)
- [22] Rashed, M, N., Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake, **Environment international** 27: 27-33 (2001)
- [23] Özdamar, K., “SPSS ile Biyoistatistik”. Kaan Kitapevi, Yayın No: 3-4, Baskı, ISBN: 975-6787-03-1: 452 (2001)
- [24] <http://www.maden.org.tr /yayinlar/raporlar/borraporu.htm> (Türkiye Mühendis ve Mimarlar Odaları Birliği-TMMOB Bor Raporu)
- [25] Uysal, K., Emre, Y. and Köse, E., “The determination of heavy metal accumulation ratios in muscle , skin and gills of some migratory fish species by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES) in Beymelek Lagoon (Antalya/Turkey)”, **Microchemical Journal** 90:67-70 (2008)
- [26] Özkurt, Ş., “Çatören ve Kunduzlar (Kırka-Eskişehir) Baraj Göletlerindeki sazanların (*Cyprinus carpio* L., 1758) dokularında bor birikimi“, **Turk J. Biol** 24 (2000): 663-676 (2000)
- [27] Butterwick, L., De Oude, D. and Raymond, K., Safety assesment of boron aquatic and terrestrial environments. **Ekotoxicology and Environmental Safety**, 17 (3): 339-371 (1989)
- [28] Canbek, M., Yetim, M., Uyanoğlu, M., Emiroğlu, Ö. ve Bayramoğlu G., “Porsuk Çayındaki bazı canlılarda ağır metal birikimleri ve bunların toksik etkilerinin araştırılması”, T.C.Osmangazi Üniversitesi Araştırma Fonu Başkanlığı, **Fen Bilimleri Proje** No: 2000/28, 67 (2002)
- [29] Belgemen, T. ve Akar, N., “Çinkonun yaşamsal fonksiyonları ve çinko metabolizması İle ilişkili genler”, **Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Mecmuası**, 57 (3): 161-166 (2004)
- [30] Öztürk, M., Bat, L. ve Öztürk M., Altınkaya Barajı'nda (Samsun) yaşayan *Cyprinus carpio* L., 1758 türünün çeşitli organ ve dokularındaki bazı ağır metallerin birikimi, **II. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi Bildirileri**, 650- 667 (1995)
- [31] Uysal, H., Tunçer, S. ve Yaramaz, Ö., “Gölcük ve Göl marmara Göllerinde yaşayan *C. carpio*, *S. glanis*, *A. anguilla*'da bazı ağır metal düzeylerinin araştırılması”, **VIII. Ulusal Biyoloji Kongresi Tebliğleri**, İzmir, 2: 444-453 (1986)