

MERİÇ NEHRİ DELTASI (EDİRNE) BALIKLARINDA TOKSİK METALLERİN BİYOLOJİK BİRİKİMLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Cem TOKATLI^{1*}, Özgür EMİROĞLU², Arzu ÇİÇEK³, Esengül KÖSE⁴, Sercan BAŞKURT²,
Sadi AKSU², Alper UĞURLUOĞLU³, Merve ŞAHİN³, Yasin BAŞATLI⁵

¹ Laboratuvar Teknolojisi Bölümü, İpsala Meslek Yüksek Okulu, Trakya Üniversitesi, EDİRNE

² Biyoloji Bölümü, Fen Fakültesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, ESKİŞEHİR

³ Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi, Anadolu Üniversitesi, ESKİŞEHİR

⁴ Çevre Koruma Kontrol Bölümü Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, ESKİŞEHİR

⁵ Biyoloji Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dumlupınar Üniversitesi, KÜTAHYA

ÖZET

Meriç Nehri Deltası, ülkemizin Trakya Bölgesi'nin en önemli sucul ekosistemidir ve havzada yürütülen yoğun tarımsal faaliyetlerden ve özellikle Ergene Nehri'nden kaynaklanan önemli derecede organik ve inorganik kirliliğe maruz kalmaktadır. Bu çalışmanın amacı, sistemin en önemli biyotik öğeleri olan balıkların içerdiği toksik metal seviyelerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesidir. Bu amaç için, Gala Gölü ve Meriç Nehri'nden yakalanan *Cyprinus carpio*, *Silurus glanis*, *Scardinius erythrophthalmus*, *Esox lucius*, *Carassius gibelio*, *Perca fluviatilis*, *Sander lucioperca*, *Squalius orpheus* balık türlerinin kas, solungaç ve karaciğer dokularında kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), arsenik (As), bor (B), krom (Cr), nikel (Ni), çinko (Zn) ve bakır (Cu) biyobirikimlerinin tespit edilmiş ve elde edilen sonuçlar balık ve insan sağlığı açısından değerlendirilmiştir. Çalışmamız sonucunda elde edilen verilere göre, Gala Gölü ve Meriç Nehri balıklarının kas, solungaç ve karaciğer dokularında tespit edilen toksik element biyobirikimlerinin oldukça yüksek olduğu ve genel olarak kas dokularında tespit edilen kadmiyum, kurşun, nikel ve krom seviyelerinin insani tüketim sınırlarının oldukça üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gala Gölü, Meriç Nehri, Toksik metaller, Biyobirikim, İnsan sağlığı

INVESTIGATION OF TOXIC METAL BIOACCUMULATIONS IN FISHES OF MERİÇ RIVER DELTA (EDİRNE)

ABSTRACT

Meriç River Delta is the most important wetland ecosystem for Thrace Region of Turkey and it is under effect of an intensive organic and inorganic pollution originated from agricultural activities conducted around its basin and from industrial discharges by means of especially Ergene River. The aim of this study was to determine and assess the toxic metal bioaccumulations in fishes of the system. For this purpose, cadmium (Cd), lead (Pb), arsenic (As), boron (B), chromium (Cr), nickel (Ni), zinc (Zn) and copper (Cu) levels in muscle, gill and liver tissues of *Cyprinus carpio*, *Silurus glanis*, *Scardinius erythrophthalmus*, *Esox lucius*, *Carassius gibelio*, *Perca fluviatilis*, *Sander lucioperca*, *Squalius orpheus* species caught from Gala lake and Meriç river were determined and the results were evaluated in terms of fish and human health. According to results of the present study, bioaccumulation of toxic elements in fish tissues were found in quite high levels and cadmium, lead, nickel and chromium levels detected in muscle tissue of fishes have been found to be above the limits for human consumption in general.

Keywords: Gala lake, Meriç river, Toxic elements, Bioaccumulation, Human health

1. GİRİŞ

Özellikle endüstriyel atıklar ve bazı pestisitler içerisinde bulunan ve suları kirleten en önemli inorganik faktörler olan ağır metalleri de kapsayan toksik metallerin önemli bir kısmı, deşarj edildikleri ortamda uzun süre kalabilmeleri, sucul canlılarda toksik etkiler meydana getirmeleri ve besin zincirinde birikerek insan sağlığını tehdit etmeleri nedeniyle büyük önem taşırlar.

* Sorumlu Yazar: tokatlicem@gmail.com

Ağır metaller çoğu organik kirleticiler gibi biyolojik olarak indirgenemezler. Bu nedenle organik ve inorganik maddelerle kimyasal bileşikler, kompleks yapılar şeklinde absorbe olarak zamanla sedimentte birikmekte ve uzun yıllar sedimente bağlı kalmaktadırlar [1, 2]. Sucul ekosistemlerde toksik metallere kirlenmiş sedimentler ekosistem sağlığını tehdit eden büyük stres kaynaklarından biridir ve sedimentin içinde ve üzerinde yer alan su canlıları için büyük bir risk oluşturmaktadır [3, 4].

Balıklar, sağlıklı ve dengeli beslenme için büyük önem taşımaktadır. Özellikle vücutta sentezlenemeyen ve dışarıdan alınması zorunlu olan amino asitleri ve yağ asitlerini bol miktarda içermeleri insan sağlığı için önemlerini açıkça göstermektedir. Bu nedenle sucul ortamlarda artan toksik metal kirliliğinin balıklarda ne derecede birikim gösterdiğinin araştırılması hem balık biyolojisi hem de insan sağlığı açısından önemli bir konudur [5].

Çalışmamızda, bölge halkının diyetlerinde önemli yer alan, halk sağlığı açısından büyük önem teşkil eden sistemin en önemli biyotik öğelerinden olan balıklarda toksik element seviyeleri tespit edilmiştir. Bunun için, Gala Gölü ve Meriç Nehri'nden yakalanan, farklı habitat özelliklerine sahip, toplam sekiz farklı balık türünün çeşitli dokularında toksik metal biyobirikim konsantrasyonları tespit edilmiştir ve elde edilen veriler insan sağlığı ve balık sağlığı açısından değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL ve METOD

2.1. Çalışma Alanı ve Örneklerin Toplanması

Meriç Deltası'nın (Şekil 1) en önemli elemanları olan Gala Gölü ve Meriç Nehri aşağı havzasından alınan balık örneklerinin bir kısmı, Karpuzlu Balık Kooperatifinden hizmet alımı şeklinde, bir kısmı kayık kiralayarak göle tarafımızdan atılan ağlar ile, bir kısmı da modifiye bir jeneratör (Honda) kullanılarak temin edilmiştir. Bölgede yaşayan ve özellikle insani tüketim amacı ile kullanılan tüm balık türlerinden temin edilmeye özen gösterilmiş ve özellikle başta karaciğer dokusu olmak üzere toksik metal analizleri için kullanılacak dokuların yeterli miktarda olabilecek kadar balık alınmıştır. Balık örnekleri naylon poşetler içerisinde ve buz kalıpları arasında muhafaza edilerek laboratuvara getirilmiştir. Gala Gölü ve Meriç Nehri'nden temin edilen balıkların kas, solungaç ve karaciğer dokuları, Trakya Üniversitesi, İpsala Meslek Yüksekokulu, Biyoloji – Kimya Laboratuvarında çıkarılarak, kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), arsenik (As), bor (B), krom (Cr), nikel (Ni), çinko (Zn) ve bakır (Cu) konsantrasyonlarının tespit edilmesi için Anadolu Üniversitesi, Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarına götürülmüş ve toksik metal analizlerinden önce yapılacak laboratuvar işlemlerine kadar derin dondurucuda (-20 °C) koruma altına alınmıştır.



Şekil 1. Meriç Deltası

2.2. Kimyasal Analizler

Balık doku numunelerindeki Cd, Pb, As, B, Cr, Ni, Zn ve Cu seviyeleri, Anadolu Üniversitesi, Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde bulunan, Atomik Absorbsiyon Spektrometresi (AAS, Analytic Jena) cihazı ile belirlenmiştir.

Balık örnekleri buz kalıplar içerisinde muhafaza edilerek laboratuvara getirilmiştir. Tür, cinsiyet, boy ve ağırlık değerleri belirlendikten sonra kas, solungaç ve karaciğer dokuları dikkatli bir biçimde alınarak -20 °C'de derin donduruculu bir buzdolabında analiz işlemine kadar muhafaza edilmiştir. Numunelerden homojen bir karışım şeklinde saat camına alınarak tamamen kuruyana kadar 105 ± 5 °C'de etüvde tutulmuştur. Etüvde tamamen nemi giderilen numuneler porselen havanda öğütülerek homojen haline getirilmiş ve öğütülmüş materyaller kuru ağırlık çalışılması nedeni ile 2 saat kadar tekrar etüvde bekletilmiştir. Kuru ve homojen numunelerden analitik terazi ile tartım yapılarak her numuneden 0,5 g alınmıştır. Numunelere $9 \pm 0,1$ mL konsantre nitrik asit ve $3 \pm 0,1$ mL konsantre perklorik asit ilave edilerek karıştırılmış ve mikrodalga yakma ünitesinde (CEM Mars Xpress) sindirme (digestion) işlemine tabi tutulmuştur. Organik yıkımları biten örnekler soğutulup, santrifüjlendikten sonra filtre kağıdından süzülerek, hacimleri 100 mL'ye tamamlanmış ve element konsantrasyonları saptanmıştır. Tüm işlemler kör numunelerde de aynı şekilde uygulanmıştır [6, 7].

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. İncelenen Balık Türleri ve Bazı Metrik Karakterleri

Bu çalışma kapsamında, Gala Gölü'nden toplam sekiz, Meriç Nehri'nden ise toplam üç balık türünde incelemeler yapılmıştır. Çalışmamızda kullanılan, Meriç Nehri ve Gala Gölü'nden temin edilen ve kas, solungaç ve karaciğer dokularında toksik element birikimlerinin araştırıldığı tüm balık türleri Tablo 1'de verilmiştir. Ayrıca tüm araştırma periyodu boyunca, yakalanan ve alınan balık türlerine ait ortalama boy (standart, çatal, total) ve ağırlık verileri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmamızda kullanılan balık türleri

Gala Gölü'nden Temin Edilen Balık Türleri
<i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1758
<i>Silurus glanis</i> Linnaeus, 1758
<i>Scardinius erythrophthalmus</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Esox lucius</i> Linnaeus, 1758
<i>Carassius gibelio</i> (Bloch, 1782)
<i>Perca fluviatilis</i> Linnaeus, 1758
<i>Sander lucioperca</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Squalius orpheus</i> Kottelat & Economidis, 2006
Meriç Nehri'nden Temin Edilen Balık Türleri
<i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1758
<i>Silurus glanis</i> Linnaeus, 1758
<i>Sander lucioperca</i> (Linnaeus, 1758)

3.2. Balıklarda Toksik Element Biyobirikimleri

Gala Gölü ve Meriç Nehri'nde, 2013 yılı Sonbahar mevsiminde yapılan arazi çalışmaları sonucu yakalanan balık türlerinin kas, solungaç ve karaciğer dokularında Cd, Pb, As, B, Cr, Ni, Zn ve Cu elementleri biyobirikim seviyeleri tespit edilmiştir. Gala Gölü ve Meriç Nehri balıklarında tespit edilen element seviyeleri, minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri ile birlikte Tablo 3 ve 4'te verilmiştir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan balıklara ait bazı metrik karakterler

Balıklar	Ağırlık (gr)	Uzunluk (mm)		
		Standart	Çatal	Total
C. carpio (Gala Gölü) (n=12)				
minimum	6	60	70	78
maksimum	2451	485	520	565
ortalama	826,75	272,58	296,25	326,33
SS	760,86	163,36	173,62	191
S. glanis (Gala Gölü) (n=6)				
minimum	782	487	-	515
maksimum	1958	660	-	693
ortalama	1324,7	553,16	-	594,66
SS	523,91	68,54	-	72,59
S. erythrophthalmus (Gala Gölü) (n=9)				
minimum	3	56	62	71
maksimum	243,5	208	233	255
ortalama	90,44	129,44	144,33	161,66
SS	102,53	64,69	70,93	78,375
E. lucius (Gala Gölü) (n=3)				
minimum	2077	575	620	650
maksimum	2440	590	627	660
ortalama	2289,7	583,33	624	655,66
SS	189,36	7,63	3,60	5,13
C. gibelio (Gala Gölü) (n=13)				
minimum	109	150	170	185
maksimum	422,5	235	268	288
ortalama	270	198,07	224,69	243,92
SS	110,58	29,2	32,37	34,39
P. fluviatilis (Gala Gölü) (n=13)				
minimum	161,5	197	220	230
maksimum	181,5	212	231	239
ortalama	171,5	204,5	225,5	234,5
SS	14,142	10,6	7,77	6,36

Balıklar	Ağırlık (gr)	Uzunluk (mm)		
		Standart	Çatal	Total
S. lucioperca (Gala Gölü) (n=8)				
minimum	360	325	352	376
maksimum	2670	585	630	663
ortalama	1049,9	411,25	444,62	468,12
SS	838,25	93,42	100,98	99,98
S. orpheus (Gala Gölü) (n=3)				
minimum	349	296	318	358
maksimum	607,5	351	378	425
ortalama	639,6	265,52	290,29	309,92
SS	134,31	28,29	30,27	33,94
C. carpio (Meriç Nehri) (n=4)				
minimum	980	350	384	421
maksimum	1273	384	417	447
ortalama	1075,4	361	393	430,5
SS	134,31	15,513	16,06	11,35
S. glanis (Meriç Nehri) (n=5)				
minimum	452	420	-	453
maksimum	1717,5	598	-	639
ortalama	1133,3	512,8	-	550,6
SS	577,34	72,33	-	77,08
S. lucioperca (Meriç Nehri) (n=5)				
minimum	399	306	331	349
maksimum	1254,5	454	494	515
ortalama	992,7	407,4	443,6	465,4
SS	351,43	58,12	64,49	66,15

SS: Standart sapma

Tablo 3. Gala Gölü balıklarında toksik element biyobirikimleri

Balık Türleri	Dokular		Elementler (mg/kg) *							As
			Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	B	
<i>C. carpio</i>	Kas	min	0,294118	18,68	2,588235	1,411765	0,436	33,39286	4,714286	DSA
		mak	0,84	54,24	3,764706	5,676471	0,52	49,20588	39,71429	
		ort	0,507451	38,39058	3,036275	2,946078	0,477333	37,61852	13,64286	
		SS	0,149332	12,58393	0,398616	1,631228	0,035831	6,261064	14,6196	
	Solungaç	min	0,6	34,57143	2,428571	1,12	0,36	441,4286	10,10714	DSA
		mak	0,88	70,6	5,92	3,88	0,624	662,8	34,64	
		ort	0,733333	49,16695	3,843333	2,880381	0,51981	546,819	25,71524	
		SS	0,118723	12,8175	1,10866	0,85706	0,106616	68,74299	11,00493	
	Karaciğer	min	0,34	18,24	5,642857	1,12	0,75	216,7857	15,71429	DSA
		mak	1,62	51,16	6,36	4,6	1,392857	255,7143	21,42857	
		ort	0,815667	42,23845	6,16369	2,506667	1,088571	237,9583	17,96429	
		SS	0,496752	11,13503	0,307495	0,992676	0,239905	17,38386	2,59638	
<i>S. glanis</i>	Kas	min	0,14	11,6	0,825	0,655172	0,28885	21,05	4,925	DSA
		mak	0,26	36,17241	1,975	1,9	0,6216	25,82759	24,55	
		ort	0,18	22,54416	1,360345	1,323525	0,388421	23,07136	12,08937	
		SS	0,06	9,678612	0,446408	0,457578	0,116616	1,916025	9,380417	
	Solungaç	min	0,16	13,81481	2,115385	0,16	0,228571	73,03704	9,840741	DSA
		mak	0,4	44,65385	4,962963	3,96	0,441704	183,7692	26,61111	
		ort	0,293333	30,14492	3,252137	1,767913	0,308886	108,0907	17,74345	
		SS	0,066189	8,343114	0,785507	1,023244	0,067616	41,69723	6,899941	
	Karaciğer	min	0,16	22,15385	8,384615	1,038462	0,730769	66,61538	DSA	DSA
		mak	0,262	72,15385	10,73077	2,461538	0,961538	78,88462		
		ort	0,214	39,61966	9,700855	1,901709	0,812821	73,53846		
		SS	0,044396	19,68541	0,934184	0,652745	0,111737	4,438393		
<i>S. eryth.</i>	Kas	min	DSA	21,7	1,066667	0,566667	0,392857	40,5	8,8	DSA
		mak		49,83333	2,733333	2,166667	0,6	58,5	22,13333	
		ort		33,68889	1,866667	1,655556	0,470952	49,32778	14,35556	
		SS		10,86652	0,768548	0,55324	0,087973	9,388253	6,206329	
	Solungaç	min	DSA	12,42857	1,964286	1,08	0,431071	381,7857	44,57143	DSA
		mak		48	2,84	2,68	0,828	690,7143	66,5	
		ort		25,82143	2,352619	1,74	0,61446	534,2262	55,45238	
		SS		13,11048	0,387862	0,523832	0,149946	163,1683	9,807605	
	Karaciğer	min	DSA	10,21429	15,64286	0,24	0,6028	565,3571	33,02857	DSA
		mak		23,39286	16,89286	1,04	1,145357	593,5714	41	
		ort		18,46429	16,2381	0,773333	0,829148	583,6905	37,15238	
		SS		7,189757	0,627122	0,46188	0,282221	15,89319	3,992885	
<i>E. lucius</i>	Kas	min	DSA	11,75	1,48	1,12	0,428	28,85714	2,3	DSA
		mak		53,82143	1,964286	3,68	0,596	31,71429	3,84	
		ort		29,02381	1,739762	2,2	0,518714	30,23214	3,07	
		SS		19,47722	0,188758	1,081037	0,075849	0,968838	0,843493	
	Solungaç	min	DSA	13,78571	2,6	0,56	0,428	503,9286	26,39286	DSA
		mak		29,72	3,52	2,28	0,636	822	34,28	
		ort		20,45548	3,16	1,186667	0,553333	668,2619	29,46548	
		SS		6,346031	0,381156	0,848025	0,098717	165,0143	2,945603	
	Karaciğer	min	DSA	17,35714	9,8	0,2	0,535714	66,5	9,5	DSA
		mak		25,71429	15,14286	1,16	0,844	92,32143	16,82143	
		ort		22,04167	12,59714	0,786667	0,708881	79,94048	13,16071	
		SS		4,173068	2,693497	0,460029	0,116037	13,37197	4,010112	
<i>C. gibelio</i>	Kas	min	DSA	28,14286	2,107143	0,32	0,346429	84,03571	DSA	DSA
		mak		39,07143	2,72	0,96	0,74	91,92857		
		ort		33,60714	2,388571	0,586667	0,564667	88,10714		
		SS		5,985825	0,247784	0,25129	0,169415	3,015436		
	Solungaç	min	DSA	11,82143	2,6	1,52	0,832	211,6071	DSA	DSA
		mak		42,85714	3,857143	3,16	1,36	220,4286		
		ort		29,41667	3,063333	2,606667	1,019333	216,5595		
		SS		11,96949	0,555534	0,596747	0,220386	2,834434		

	Karaciğer	min	0,16	26,07143	3,357143	3	0,912	184,4286	DSA	DSA
		mak	0,4	49,28571	6,32	3,48	1,232	209,5714		
		ort	0,293333	34,04762	4,719524	3,213333	1,076286	197,1071		
		SS	0,109301	11,8077	1,126757	0,218602	0,140284	11,24545		
<i>P. fluvia.</i>	Kas	min	DSA	37,07143	1	1,56	0,478571	35,78571	DSA	DSA
		mak		59,17857	1,88	3	0,616	51,42857		
		ort		46,34524	1,53381	2,293333	0,551095	43,44643		
		SS		10,26388	0,370153	0,58606	0,057624	7,92718		
	Solungaç	min	DSA	11,03571	1,035714	1,32	0,5	68,07143	7,971429	DSA
		mak		44,42857	2,8	3,36	0,68	86,89286	14,39286	
		ort		28,08333	2,025476	2,36	0,601857	77,52976	12,23214	
		SS		13,44262	0,67415	0,786282	0,063369	9,664933	3,300447	
	Karaciğer	min	0,2	21,10714	7,535714	0,8	0,535714	95,35714	6,607143	DSA
		mak	0,844	39,25	9	2,72	0,752	124,3571	19,35714	
		ort	0,42072	29,58929	8,215	1,586667	0,659524	109,4881	10,85714	
		SS	0,327972	7,945405	0,565049	0,899659	0,088042	15,10409	6,584072	
<i>S. lucio.</i>	Kas	min	0,34	16,39286	3,142857	1,08	0,621429	31,89286	DSA	DSA
		mak	0,82	43,60714	3,285714	2,56	0,754071	33,14286		
		ort	0,6	28,33333	3,22619	1,826667	0,703833	32,42857		
		SS	0,242487	13,90998	0,074345	0,74009	0,071934	0,643848		
	Solungaç	min	0,42	46,57143	1,821429	1	0,657143	92,60714	DSA	DSA
		mak	1	50	2,035714	2,8	0,816	93,96429		
		ort	0,62	48,20238	1,892857	1,88	0,7305	93,27381		
		SS	0,329242	1,720351	0,123718	0,900666	0,080122	0,678885		
	Karaciğer	min	0,52	23,75	8,571429	1,12	0,612	70,89286	DSA	DSA
		mak	0,84	51,07143	9,84	2,88	1,156	83,46429		
		ort	0,706667	34,76786	9,211905	2,073333	0,834826	77,19048		
		SS	0,148952	8,896593	0,580517	0,627588	0,222768	6,706404		
<i>S. orphe.</i>	Kas	min	DSA	7,392857	2,571429	1	DSA	34,78571	60,8834	DSA
		mak		8,107143	3,528571	1,56		40,67857	66,908	
		ort		7,75	2,970238	1,28		37,41667	63,65847	
		SS		0,319438	0,445526	0,25044		2,622573	2,719234	
	Solungaç	min	0,2	18,53571	3,107143	1,16	DSA	78,78571	108,7204	DSA
		mak	0,56	21,46429	3,285714	1,96		80,46429	119,4786	
		ort	0,373333	19,5119	3,178571	1,6		79,72619	113,6758	
		SS	0,18037	1,690812	0,094491	0,405956		0,857391	5,428921	
	Karaciğer	min	0,76	18,17857	0,388571	1,276	0,772	72,78571	72,66214	DSA
		mak	1,2	22,53571	6,071429	2,168	1,035714	76,89286	90,86321	
		ort	0,92	20,14167	3,227143	1,8	0,934714	74,41667	80,21321	
		SS	0,243311	2,210308	2,841433	0,466013	0,142277	2,180132	9,488007	

min: minimum; mak: maksimum; ort: ortalama; SS: standart sapma; DSA: Dedeksiyon sınırının altında.

*Element analizleri üçer tekrarlı yapılmıştır.

Tablo 4. Meriç Nehri balıklarında toksik element biyobirikimleri

Balık Türleri	Dokular	Elementler (mg/kg)*								
		Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	B	As	
<i>C. carpio</i>	Kas	min	0,4	12,82143	3,029412	1,058824	DSA	39,41176	15,92857	DSA
		mak	1,56	36,04	4,84	2,558824		53,53571	27,46429	
		ort	0,924444	23,70548	3,885229	1,720355		45,73179	22,3373	
		SS	0,488444	7,395817	0,735662	0,486294		5,540295	6,079855	
	Solungaç	min	0,8	15,47059	3,588235	1,035714	DSA	752,6471	19,57143	DSA
		mak	2,8	53,48	5,48	2,882353		1181,429	33,25	
		ort	1,422222	28,54314	4,40549	1,668768		1031,485	27,45238	
		SS	0,801776	14,56488	0,753357	0,607721		200,0959	6,125625	
	Karaciğer	min	1,4	32,64286	29,70588	0,882353	0,76	470,3571	11,92857	DSA
		mak	3,76	51,03571	49,20588	2,735294	3,88	1123,529	56,96429	
		ort	2,28	41,28776	37,46366	1,683473	1,835556	905,9104	38,64286	
		SS	1,029757	7,116917	8,667055	0,552828	1,122576	324,0828	20,49178	
<i>S. glanis</i>	Kas	min	0,2	13,76471	1,441176	1,382353	DSA	24,70588	11,5	DSA
		mak	0,44	37,97059	2,48	2,735294		26,52941	39,07143	
		ort	0,32	21,62045	1,894118	1,769374		25,71335	31,61905	
		SS	0,103923	7,248269	0,443602	0,449262		0,618905	10,03419	
	Solungaç	min	0,36	12,44118	2,117647	0,794118	DSA	80,70588	47,53571	DSA
		mak	0,8	37,52941	2,76	2,852941		82,73529	64,75	
		ort	0,644444	22,90803	2,47098	1,653361		81,69328	60,10317	
		SS	0,164249	8,155614	0,240972	0,820036		0,674981	7,21582	
	Karaciğer	min	0,52	16,61765	8,92	0,735294	DSA	49,17857	11,83571	DSA
		mak	1,56	39,57143	17,5	1,785714		69,14706	54,25	
		ort	0,96	22,67577	12,39242	1,271008		60,9902	30,14841	
		SS	0,278568	9,545039	3,658828	0,389433		8,822892	16,34182	
<i>S. lucio.</i>	Kas	min	0,32	14,32353	1,764706	1,107143	DSA	24,05882	40,21429	DSA
		mak	1,04	56,52	3,058824	2,970588		27,57143	56,42857	
		ort	0,613333	32,09682	2,54183	2,088469		25,51727	50,29762	
		SS	0,306594	15,4313	0,502116	0,760277		1,348678	7,62111	
	Solungaç	min	0,804528	19,46429	3,294118	0,678571	DSA	67,73529	56,42857	DSA
		mak	1,08	53,56	4,64	3,411765		107,9643	63,53571	
		ort	0,913109	29,98371	3,794771	2,397292		84,45145	59,31667	
		SS	0,127047	10,49648	0,609361	0,861867		17,66212	3,235326	
	Karaciğer	min	0,512	19,97059	4,588235	1,617647	DSA	43,14706	54,25	DSA
		mak	2,44	53,08	9,28	3,857143		56,17857	57,98571	
		ort	1,129333	31,68772	6,210588	2,228291		51,22129	56,22143	
		SS	0,672009	10,80676	2,14349	0,731126		5,510224	1,625055	

min: minimum; mak: maksimum; ort: ortalama; SS: standart sapma; DSA: Dedeksiyon sınırının altında.

*Element analizleri üçer tekrarlı yapılmıştır

Balıkların yenilebilir kısmı kas doku olduğu için bu dokuda biriken toksik metaller kolaylıkla insanlara geçebilmektedir. Bu nedenle Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO), Çevre Koruma Ajansı (EPA) gibi çeşitli kuruluşlar ve Türk Gıda Kodeksi (TGK) gibi ülkelerin gıda işlerinden sorumlu kuruluşları bazı toksik metallerin balık kaslarında bulunması gereken sınır değerleri belirlemişlerdir. Yapılan çalışmalara ve mevcut literatür bilgilerine göre, kas dokusunun metalleri bağlamada aktif bir yapısının olmadığı bilinmektedir [8]. Bu nedenle ekosistem kirliliği belirleme çalışmalarında bu dokunun tek başına kullanılması yanıltıcı sonuçlar elde edilmesine neden olabilir. Ancak balıkların kas dokusunun insanlar tarafından tüketilen doku olması, balıkların sucul sistemlerde besin zincirinin en üst basamağında yer alması nedeni ile sudaki ve sedimantteki element miktarının balık dokularında giderek artması ve yine besin zinciri yoluyla bunların insana kadar taşınabilmesi, kas dokusunu insan sağlığı açısından en önemli doku haline getirmektedir.

TGK'nin gıda maddelerinde belirli bulaşanların maksimum seviyelerinin belirlenmesi hakkındaki tebliğine göre, Gala Gölü ve Meriç Nehri'nden yakalanan sekiz balık türüne ait bireylerin kas dokularında tespit edilen Cu seviyelerinin sınır değerden düşük olduğu (20 mg/kg); Zn seviyelerinin ise oldukça yüksek olmasına ve sınır değere (50 mg/kg) oldukça yakın birikim göstermesine rağmen, Gala

Gölü'nden yakalanan *C. gibelio* türü hariç sınır değerden düşük olduğu tespit edilmiştir [9, 10]. Ancak bölge halkının diyetinde önemli yer tutan, hem Gala Gölü'nden hem de Meriç Nehri'nden yakalanan *C. carpio*, *S. glanis* ve *S. lucioperca* türlerinin kas dokularında tespit edilen Cd biyobirikimleri ve *S. orpheus* türü hariç Gala Gölü'nden yakalanan tüm balık türlerinin kas dokularında tespit edilen Pb biyobirikimlerinin sınır değerlerin oldukça üzerinde olduğu kaydedilmiştir (Cd sınırı: 0,05 mg/kg; Pb sınırı: 0,3 mg/kg) [9, 10]. Ayrıca iki farklı sucul sistemden temin edilen temin edilen tüm balık türlerinin kas dokularında tespit edilen Cr ve Ni birikimlerinin, FAO tarafından bildirilen sınır değerlerden oldukça yüksek olduğu (Cr: 0,15 mg/kg; Ni: 0,4 mg/kg) belirlenmiştir [11].

Dökmeci (2005) tarafından Gala Gölü ve gölü besleyen kurutma kanallarında yapılan bir çalışmada, su ve sediment örneklerinde ağır metal içerikleri tespit edilmiştir. Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre, sediment örneklerinde kadmiyum ve kurşun değerlerinin oldukça yüksek olduğu, özellikle kurutma kanallarının Cd ve Pb elementleri açısından III. – IV. Sınıf su kalitesine sahip olduğu ve bu durumun temel nedeninin Gala Gölü çevresinde yürütülen tarımsal faaliyetler olduğu bildirilmiştir [12]. Tokatlı ve ark. [13] tarafından, aynı bölgede yapılan başka bir çalışmada, bölgenin yüzey sularında azotlu ve fosforlu bileşiklerin oldukça yüksek olduğu ve Gala Gölü ve Sulama Kanalı sularında en riskli parametrenin, tarımsal faaliyetlerden kaynaklandığı düşünülen nitrit azotu olduğu tespit edilmiştir. Meriç Havzası'nda yer alan ve bölge için büyük önem teşkil eden Altinyazı Barajı'nda yapılan bir çalışmada ise, balık dokularında bazı toksik metal derişimleri araştırılmış ve Cr, Zn, Cu, Fe, Mn değerlerinin kabul edilebilir sınırlarda olduğu, ancak Cd ve Pb değerlerinin insan sağlığı açısından kabul edilebilir sınır değerlerin üzerinde olduğu bildirilmiştir [14]. Kütahya ili katı atık depolama sahası yakınlarında yer alan ve tarımsal ve kentsel atık baskısına maruz kalan Yedigöller Bölgesi'nde yapılan bir çalışmada, incelenen balık türlerinin kas dokularında tespit edilen As, Cd ve Pb konsantrasyonlarının, çalışmamızda tespit edilen verilere benzer olarak, TGK [9, 10] sınır değerlerinden oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir [15].

Solungaçlar, balıkların gaz değişim organlarıdır ve ekotoksikoloji çalışmalarında yaygın olarak kullanılırlar [16 – 18]. Çalışmamızda tespit edilen B ve Zn elementlerinin, genel olarak en fazla solungaç dokusunda birikim gösterdiği tespit edilmiştir. Çiçek ve ark. [19 – 21] Yukarı Sakarya Nehir Havzası, Çarören ve Kunduzlar Baraj Göllerinde, Köse ve ark. [22] ise Porsuk Çayı Havzası'nda yapmış oldukları çalışmalarında, genel olarak B elementinin balıkların solungaç dokularında daha fazla birikim gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Metaller, letal olmayan konsantrasyonlarda ve balıklar uzun süre maruz kaldıklarında, metabolik olarak aktif dokularda daha fazla birikim gösterirler. Balıkların detoksifikasyon organları olan karaciğer dokusu, özellikle toksik elementleri diğer dokulardan çok daha fazla biriktirirler [23 – 29]. Çalışmamız sonucunda elde edilen verilere göre, Cd, Pb, Cu, Ni ve Cr elementlerinin, genel olarak en fazla karaciğer dokularında birikim gösterdiği tespit edilmiştir.

Gala Gölü balıklarından, omnivor beslenme gösteren *C. carpio* türünün dokularındaki toksik metal birikiminin daha fazla olduğu görülmüştür. Cd açısından değerlendirme yapıldığında ise sazangiller grubuna ait balıklarda (*S. erythrophthalmus* hariç) ve *S. glanis*'de görece olarak daha fazla birikim olduğu görülmektedir. İncelemeye tabi tutulan sazangiller çoğunlukla bitkisel ağırlıklı ve tabandan beslenmektedirler. *S. glanis* ise etçil olmasına rağmen zaman zaman bentozdan beslenmektedir. Bu durum bize Cd birikiminde beslenme tipinin önem arz ettiğini göstermektedir. Cu birikimlerinin, tüm balıkların karaciğer dokularında diğer incelenen dokulara göre ciddi miktarda yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum, Gala gölü ve Meriç Nehri için, balıkların sağlığı açısından Cu birikiminin tehlikeli olduğunu göstermektedir. Farklı şekilde beslenmelerine rağmen incelenen tüm balıklarda benzer oranlarda birikim görülmesi, Cr ve Ni birikimlerinde beslenme tipi ve şeklinin önemli derece etkin olmadığını göstermektedir. Pb birikimleri açısından Gala Gölü'ndeki tüm balıklar benzer birikim seviyeleri sergilemesine rağmen, Meriç Nehri'ndeki Pb birikimlerinin sadece *C. carpio* türünün karaciğer dokusunda olması ve diğer balıklarda birikim olmaması, Meriç Nehri'nin Gala görüne göre

Pb açısından daha temiz olduğunu düşündürmektedir. Zn birikiminin solungaç dokularında daha çok olması, solungaçlarda CO ve CO₂ gazlarına bağlı solunum mekanizmasında, yükseltgenme elamanı olarak, solungaçlar aracılığıyla vücuda önemli derece Zn alındığını göstermektedir. B birikiminin Gala Gölü'nden yakalanan *S. orpheus* türünde anlamlı derecede yüksek olması, bu türün B elementine hassasiyetinin diğer türlerden yüksek olduğunun göstergesi olabilir. Bölgede yabancı ve istilacı bir tür olan *C. gibelio* türünün diğer balıklara göre birçok metal açısından görece olarak düşük birikim göstermesi, ağır metal birikimine karşı daha dayanıklı olduğunu göstermektedir.

4. SONUÇLAR

Çalışmamız sonucunda, balık dokularında tespit edilen toksik element biyobirikimlerinin oldukça yüksek olduğu ve genel olarak kas dokularında tespit edilen Cd, Pb, Ni ve Cr seviyelerinin insani tüketim sınırlarının oldukça üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

İpsala İlçesi ve çevre köylerindeki monokültür yaklaşımlı tarımsal uygulamalar toprağı bazı mineraller açısından fakirleştirmektedir. Mineral açığını gidermek için ise tüm tarımsal üretim yapılan sahalarda inorganik ve fosfatlı gübreler yoğun şekilde kullanılmaktadır. Bölge balıklarında tespit edilen oldukça yüksek Cd ve Pb değerlerinin en önemli kaynaklarının tarımsal faaliyetlerde kullanılan fosforlu gübreler ve pestisitler olduğu düşünülmektedir. Bilindiğı gibi nikel ve kromun en önemli kaynağı endüstriyel atıklardır ve çalışmamızda balıklarında tespit edilen yüksek Ni ve Cr değerlerinin en önemli kaynağının ise sistemi dolaylı olarak etkileyen Ergene Nehri olduğu düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Shrivastava P, Saxena A, Swarup A. Heavy metal pollution in a sewage-fed lake of Bhopal. Lakes & Reservoirs: Research and Management, 8:1-4, 2003.
- [2] Tokatlı C, Çiçek A, Emiroğlu Ö, Arslan N, Köse E, Dayıoğlu H. Statistical Approaches to Evaluate the Aquatic Ecosystem Qualities of a Significant Mining Area: Emet Stream Basin (Turkey). Environmental Earth Sciences, 71 (5): 2185-2197, 2014.
- [3] Del Valls TA, Blasco J, Sarasquete MC, Forja JM ve Gomez-Parra A. Evaluation of heavy metal sediment toxicity in littoral ecosystems using juveniles of the fish Sparus aurata. Ecotoxicology and Environmental Safety, 41: 157-167, 1998.
- [4] Türkoğlu M. Van Gölü'nden alınan su, sediment ve inci kefalı (*Chalcalburnus tarichi*, PALLAS 1811) örneklerinde bazı ağır metal düzeylerinin araştırılması. T.C. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 2008.
- [5] Köse E, Çiçek A, Uysal K, Tokatlı C, Emiroğlu Ö, Arslan N. Heavy Metal Accumulations in Water, Sediment and Some Cyprinidae Fish Species From Porsuk Stream (Turkey). Water Environment Research, 87 (3): 195-204, 2015.
- [6] ASTM. Preparation of biological samples for inorganic chemical analysis 1, Annual Book of ASTM Standards, D-19, pp. 740- 747, 1985
- [7] APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater, in A.E. Greenberg, L.S.Clesceri, A.D. Eato (eds.), American Public Health Association, 18th ed., Washington, U.S.A, 1992.
- [8] Kayhan FE, Muşlu MN, Koç ND. Bazı Ağır Metallerin Sucul Organizmalar Üzerinde Tarattığı Stres ve Biyolojik Yanıtlar. J. Fish. Sci., 3(2): 153-162, 2009.

- [9] TKG. Türk Gıda Kodeksi - Türk Gıda Kodeksi Gıda Maddelerinde Belirli Bulaşanların Maksimum Seviyelerinin Belirlenmesi Hakkında Tebliğ. Tebliğ No:2002/63, 2002.
- [10] TKG. Türk Gıda Kodeksi. Türk Gıda Kodeksi Gıda Maddelerinde Belirli Bulaşanların Maksimum Seviyelerinin Belirlenmesi Hakkında Tebliğ. No: 2008/26, 2008.
- [11] FAO. Compilation of Legal Limits For Hazardous Substances in Fish and Fishery Products. FAO Fish Circ., 464, 5-100, 1983.
- [12] Dökmeçi AH. Gala Gölü ve Gölü Besleyen Su Kaynaklarında Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2005.
- [13] Tokatlı C, Köse E, Uğurluoğlu A, Çiçek A, Emiroğlu Ö. Gala Gölü (Edirne) Su Kalitesinin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Kullanılarak Değerlendirilmesi. Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 32: 490-501, 2014.
- [14] Çetin E. Altınyazı Baraj Gölü'nde (Edirne) Yaşayan Balık Türlerinde Ağır Metal Birikimlerinin İncelenmesi. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2003.
- [15] Arslan N, Köse E, Tokatlı C, Emiroğlu Ö, Çiçek A. Katı Atık Depolama Sahalarının Sucul Sistemlere Etkileri: Yedigöller-Kütahya Örneği. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 2 (1): 20-26, 2012.
- [16] Amundsen PA, Staldvik FJ, Lukin AA, Kashulin NA, Popova OA and Reshetnikov YS. Heavy Metal Contamination in Freshwater Fish From the Border Region Between Norway and Russia. Science of The Total Environment, Volume 201, Issue 3, Pages 211-224, 1997.
- [17] Canlı M and Atlı G. The Relationships Between Heavy Metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) Levels and the size of Six Mediterranean Fish Species. Environmental Pollution, 121, 129–136, 2003.
- [18] Altındağ A and Yiğit S. Assessment of Heavy Metal Concentrations in the Food Web of Lake Beyşehir, Turkey. Chemosphere 60, 552–556, 2005.
- [19] Çiçek A, Tokatlı C, Emiroğlu Ö, Köse E. Toxic Element Bioaccumulations in Exotic Fishes of Upstream of Sakarya River Basin (Turkey): Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) And African Catfish (*Clarias gariepinus*). Journal of Research in Ecology, 2 (1): 083-090, 2013.
- [20] Çiçek A, Tokatlı C, Emiroğlu Ö, Köse E, Başkurt S, Sülün Ş. Macro and Micro Element Concentrations in Water, Sediment and Commercial Fishes of Çatören Dam Lake (Eskişehir). Journal of Research in Ecology, 2 (2): 091-099, 2013.
- [21] Çiçek A, Köse E, Emiroğlu Ö, Tokatlı C, Başkurt S, Sülün Ş. Boron and Arsenic Levels in Water, Sediment and Tissues of *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) in a Dam Lake. Polish Journal of Environmental Studies, 23 (5): 1843-1848, 2014.
- [22] Köse E, Uysal K, Tokatlı C, Çiçek A, Emiroğlu Ö, Arslan N. Assessment of Boron in Water, Sediment and Fish Tissues of Porsuk Stream, TURKEY. Pakistan Journal of Zoology, 44 (5): 1446-1449, 2012.
- [23] Kargın E ve Erdem C. Bakır-Çinko Etkileşiminde *Tilapia nilotica*'nın Karaciğer, Kas ve Solungaç Dokularındaki Metal Birikimi. Doğa Tr. J. of Zoology. 16, 343-348, 1992.

[24] Kalay M ve Erdem C. Bakırın *Tilapia nilotica*'da Karaciğer, Böbrek, Solungaç, Kas, Beyin ve Kan Dokularındaki Birikimi ile Bazı Kan Parametreleri Üzerine Etkileri. Tr. J. Zoology, 19, 27-33, 1995.

[25] Ünlü E, Akba O, Sevim S and Gümgüm B. Heavy Metal Levels in Mullet, (*Liza abu*, Heckel, 1843) (Mugilidae) from the Tigris River. Turkey. Fresenius Environmental Bulltein, 5, 107-112, 1996.

[26] Vinodhini R and Narayanan M. Bioaccumulation of Heavy Metals in Organs of Fresh Water Fish *Cyprinus carpio* (Common carp). Int. J. Environ. Sci. Tech., 5 (2), 179-182, 2008.

[27] Tokatlı C, Köse E, Çiçek A, Emiroğlu Ö, Arslan N, Dayıoğlu H. Lead Accumulations in Biotic and Abiotic Components of Emet Stream (Uluabat Lake Basin, Turkey). Pakistan Journal of Zoology, 44 (6): 1587-1592, 2012.

[28] Tokatlı C, Arslan N, Çiçek A, Köse E, Emiroğlu Ö, Dayıoğlu H. Effect of Silver on Aquatic Ecosystems of Emet Stream Basin, Turkey. Pakistan Journal of Zoology, 45 (2): 521-529, 2013.

[29] Tokatlı C, Çiçek A, Köse E, Emiroğlu Ö. Uptake of Silver From Large Silver Deposits on Biotic and Abiotic Components of the Closest Lothic System: Felent Stream, Turkey. Pakistan Journal of Zoology, 45 (3): 701-707, 2013.