

Sert ve Yumuşak Su Koşullarında Karadeniz Alabalığı (*Salmo coruhensis*) Dokularında Ağır Metal (Civa: Hg) Birikiminin Belirlenmesi**Bülent VEREP^{1*} Tanju MUTLU² Turan YÜKSEK³ Aydın Aytaç GÜRDAL¹**¹ Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Rize, Türkiye.² Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Su Ürünleri Bölümü, Rize, Türkiye.³ Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Böl., Rize, Türkiye

Öz: İnsanların sağlıklı beslenmesinde balıkların çok büyük bir önemi vardır. Ancak, artan çevre kirliliğine bağlı olarak bir yandan balıkların yaşam alanları tahrip olurken; diğer yandan balık sağlığı da önemli seviyede bozulmaktadır. Bu çalışmanın amacı yumuşak ve sert su koşullarında 30 gün boyunca Civa-II-klorüre (HgCl₂) maruz bırakılan Karadeniz alabalığı (*Salmo coruhensis*)'nın çeşitli dokularında ağır metal olarak civa birikiminin tespit edilmesidir. Ağır metal içeren sucul ortamın oluşturulduğu akvaryumlarda HgCl₂ konsantrasyonları 0,05 ve 0,5 mg/L olarak alabalıklar için akut konsantrasyonların altında (96h-LC₅₀:0,81 mg/L) olacak şekilde ayarlanmıştır. 30 gün boyunca yumuşak ve sert su koşullarında her iki konsantrasyondaki Civa-II-klorür konsantrasyonlarına maruz bırakılan balık bireylerinin solungaç, kas, karaciğer ve içorganlarını içeren çeşitli doku örnekleri alınmış ve bu doku örneklerinde biriken metal seviyeleri ICP-OES sistemiyle hidrür metodu kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde, düşük konsantrasyonda Civa-II-klorüre (0,05 mg/L) maruz bırakılan balık bireylerinin dokularında yumuşak su ortamında ortalama 0,105 mg/kg civa birikimi söz konusu iken; sert su koşullarında 0,062 mg/kg civarında birikim olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan yüksek konsantrasyonda (0,5 mg/L) ise balık doku örneklerinde civa birikiminin düşük konsantrasyona göre yüksek düzeyde yumuşak su koşullarında 0,628 mg/kg iken; sert su koşullarında 0,193 mg/kg düzeyinde birikim olduğu görülmüştür. Dolayısıyla Doğu Karadeniz tatlı su kaynakları ve belirli dönemlerde deniz kıyılarında yaşayan, bölge açısından endemik bir tür olarak bilinen Karadeniz alabalığının civa kirliliği durumunda dokularında ağır metal birikiminin yumuşak su koşullarında sert sulara nazaran çok daha fazla olacağı belirlenmiştir. Doğu Karadeniz tatlı su kaynaklarının çok yumuşak su karakterinde olması bu açıdan oldukça önemlidir. Diğer yandan doku örneklerinde oluşan metal birikiminin en çoktan aza doğru karaciğer>içorganlar>solungaç>kas şeklinde sıralanmış olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, yüksek konsantrasyonda (0,5 mg/L) Civa-II-klorüre maruz bırakılan bireylerdeki ağır metal birikiminin yumuşak su koşullarında Türk Gıda Kodeksi ve Su Ürünleri Kanuna göre belirlenen sınır değeri (0,5 mg/kg) aştığı halde sert su koşullarında sınır değeri altında kaldığı belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Karadeniz alabalığı, Ağır metal, biyoakümülyasyon, civa, ICP-OES, yumuşak ve sert su

The Heavy Metal Accumulation (Mercury: Hg) In The Sea Trout (*Salmo coruhensis*) Tissues In The Hard and Soft Water Medium

Abstract: In this study, it has been investigated that the heavy metal accumulation in the tissues of Black Sea trout treated to mercuric chloride during 30 days in the soft and hard water medium. Soft water and hard water in the aquarium medium have 50-60 and 120 mg CaCO₃/L, respectively. The fishes were kept in ten aquariums during tests. Mercuric chloride concentrations in the aquarium were 0.05 and 0.5 mg/L. After mercuric chloride treatment during 30 days in the soft and hard water medium, the fish tissues were separated to muscle, gills, liver and internal organs. Accumulated metal levels in the tissues of the fish has been analyzed by ICP-OES system. According to results, mercury accumulation in the tissues of the fish treated mercuric chloride at low concentration (0.05 mg/L) were as 0.105 mg/kg in the soft water, while as 0.062 mg/kg in the hard water medium. On the other hand, mercury accumulation in the tissues of the fish treated mercuric chloride at high concentration (0.5 mg/L) were as 0.628 mg/kg in the soft water while as 0.193 mg/kg in the hard water medium. Heavy metal accumulation in the tissues were more in the soft water than the hard water medium and the mercury accumulation in the fish tissues at the high level concentrations of mercuric chloride (0.5 mg/L) in soft water medium exceed to the maximum acceptable mercury value according to Turkish Food Regulations.

Keywords: Blacksea trout, heavy metal, bio-accumulation, mercury, ICP-OES, soft and hard water medium

GİRİŞ

Ağır metallerin neden olduğu su kirliliği, sucul ortamlar, çevresindeki ve içerdikleri tüm canlılar için en ciddi sorunlardan biridir. Sucul ortamlarda bakteri gibi mikroorganizmalardan balıklara kadar hemen hemen tüm canlı gruplarında ağır metallerin zararlı etkileri, bu ciddi

sorunların güncel kalmasına neden olmaktadır (Matyar vd., 2010; Akkan vd., 2013; Yılmaz vd., 2016). Bugün endüstride 40'dan fazla metal ve metal alaşımı bulunmaktadır (Güley ve Vural, 1987). Civa (Hg) zararlı ağır metaller arasında büyük önem taşır (Sorensen, 1991). Civa klorür tarımda fungusit olarak, tıpta topik bir antiseptik

ve dezenfektan olarak kullanılabilir. Civa klorür hem dünyada hem de Türkiye'de endüstriyel, bilimsel ve tarım amaçlı yaygın olarak kullanılmaktadır (Başer vd., 2003; Svobodova vd., 2003).

Civa çoğunlukla inorganik civa bileşikleri veya suda yaşayan ortamda metil civa (CH_3Hg^+) olarak bulunur (Driscoll vd., 1994). Suda yaşayan organizmalarda civanın biyolojik olarak birikimi için iki farklı yol vardır. Bunlar direkt olarak (suyun içinde bulunan metal tarafından) veya trofik maruziyetlerin (gıdanın metali tarafından) sonucudur (Boudou ve Ribeyre, 1983). Civa ağırlıklı olarak balıkların solungaçlarında birikmekte ve aynı zamanda kas, karaciğer ve mukusta az miktarda birikmektedir (Handy ve Penrice, 1993). Civa esas olarak balıkların çeşitli dokularına sülfidril proteinleri ekler (Olson vd., 1978). Bu yolla civa, balıkların ölümüne veya gecikmesine neden olabilir (Snarski ve Olson, 1982; Klaverkamp vd., 1983; Perry vd., 1988).

Özellikle civa bileşikleriyle ilgili olarak ağır metallerin toksik etkilerinin belirlenmesi için birçok araştırma yapılmıştır (Terzi ve Verep, 2011; Gül vd., 2008; Verep vd., 2007; Beşli, 2006; Pardey vd., 2005). Farklı salinitede (Thongra-ar vd., 2003) levrek türleri üzerinde $HgCl_2$ 'nin akut toksisitesini belirlemek için de bir çalışma yapılmıştır, ancak Karadeniz alabalığıyla ilgili herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışma farklı iki konsantrasyonda civa klorür ortamında 30 gün boyunca beslenmiş Karadeniz alabalığı türlerinin sert ve yumuşak su koşullarında farklı dokularında birikmiş başlıca civa ve diğer metallerin belirlenmesini amaçlamıştır.

MATERYAL VE METOD

Deneyde kullanılan Alabalıkların özellikleri ve temin edilmesi: Bu çalışmada kullanılan balık türü Karadeniz alabalığının (*Salmo coruhensis*) sistematik durumu Tablo 1'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Turan vd. (2009), Karadeniz alabalığı olarak bilinen *Salmo labrax* türünün Türkiye'nin Doğu ve Orta Karadeniz bölgelerindeki popülasyonlarını *Salmo coruhensis* ve *Salmo rizeensis* olmak üzere dünya faunası için iki yeni tür olarak tanımlamışlardır (Tablo 1).

Tablo 1. *Salmo coruhensis* türünün sistematigi (Turan vd., 2009).

Şube	Chordata
Altşube	Vertebrata
Sınıf	Actinopterygii
Takım	Salmoniformes
Aile	Salmonidae
Cins	Salmo
Tür	<i>Salmo coruhensis</i>

Bu türlerden *S. coruhensis*, göçücü bir tür olup akarsu sistemi içerisinde, akarsudan denize ve denizden akarsuya göç ettikleri rapor edilmiştir. Deniz suyunu ısınmaya başladığı Nisan-Haziran ayları arasında denizden

veya akarsuyun aşağı kısımlarından akarsuların orta kısımlarına; üreme periyodundan (Kasım-Aralık) sonra ise akarsuların aşağı kısımlarına veya denize doğru besin göçü yaparlar. Bu tür Doğu ve Orta Karadeniz bölgesindeki birçok akarsuda dağılım gösterir. Ekolojik toleransları oldukça yüksektir. Aşağı yukarı Sazanlara yakın bir ekolojik toleransa sahiptirler ki, nispeten hızlı akıntılı sularda yaşayan bazı sazan türleri ile akarsu sisteminde aynı bölgeyi paylaşırlar (Çelikkale, 1994).

Bu türün, Doğu Karadeniz bölgesindeki nispeten büyük akarsuların (Çoruh Nehri, Çağlayan Deresi, Fırtına Deresi, İyidere, Solaklı Deresi, Sürmene Deresi, Yağlıdere, Aksu Çayı) aşağı ve orta kısımlarında ve uzunluğu aşağı yukarı 5-10 km olan bazı küçük akarsularda (Bozukkale Deresi, Gündoğdu Deresi, Sarayköy Deresi, Söğütlü Deresi vb.) dağılım gösterdiği rapor edilmiştir (Verep vd., 2016). Testlerde kullanılan çoruh alabalıkları (ort; 118,2 g; 18 cm) Rize ili, İyidere ilçesinde bulunan RTE Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Araştırma Merkezinden temin edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Karadeniz alabalığı (*Salmo coruhensis*; Syn. *Salmo labrax*)

METOT

Havalandırma sistemli bir tankta RTE Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Akvatik Toksikoloji laboratuvarına getirilen balıklar, toksikolojik testlere başlamadan önce laboratuvar koşullarına uyum sağlamaları için, 10-15 °C'de 15 gün süre ile biyolojik filtreye sahip, 500 L hacimli akvaryum sistemlerinde muhafaza edilmiştir (Tablo 2). Uyum süresince her bir sistemin suyu % 20 oranında tazelenmiş olup, adaptasyon ve test esnasında balıklar 12 saat karanlık ve 12 saat aydınlıktan oluşan foto periyot uygulamasına tabi tutulmuştur. Balıklar laboratuvar koşullarına adaptasyon ve test esnasında yemlenmemiştir. Ayrıca test öncesinde balıklarda bakteriyel ve paraziter hastalık etkeni olup olmadığı kontrol edilmiştir. Balıklara uygulanan kontrol işleminden sonra hiçbir etkenin olmadığı tespit edilmiş ve daha sonra denemelere başlanmıştır.

Karadeniz alabalığının $HgCl_2$ (Civa-2-klorür) koşullarında sert ve yumuşak sularda balık dokularında civa birikim değerinin belirlendiği bu biyoakümülyasyon çalışmasında 81 adet kırmızı benekli alabalık (*Salmo coruhensis*) kullanılmıştır (Şekil 1). Kullanılan balıkların ortalama ağırlığı 118,2 gr, ortalama toplam boyu 18 cm olarak ölçülmüştür. Balıkların boyları arasında en fazla % 10 fark olmasına özen gösterilmiştir.

Test ortamı olarak 40L'lik cam akvaryumlar kullanılmış olup 10 farklı akvaryum test için kullanılmıştır. Bu akvaryumlardan 6 tanesine 0,5 mg/L oranda HgCl₂ eklenmiş 3 tanesi sert su ve 3 tanesi yumuşak su olarak ayarlanmıştır. Geriye kalan 4 akvaryum 0,05 mg/L düzeyinde HgCl₂ eklenmiş bu akvaryumların 2'si sert su ve 2'si yumuşak su olarak ayarlanmıştır. Balıklar deney akvaryumlarında 30 gün bekletilmiştir. Deney akvaryumlarına katılmayan balıklar kontrol gurubu olarak kabul edilmiştir. Sert su koşullarını sağlamak için akvaryum suyuna 44 mg CaSO₄ ve 44 mg MgSO₄ eklenmiş, yumuşak su koşulları ise doğrudan toplam sertliği 50-60 mgCaCO₃/L olan Rize şehri musluk suyu kullanılarak sağlanmıştır. Deney akvaryumlarında sert su koşulları 120 mg CaCO₃/L

ve yumuşak su koşulları ise 50-60 mg CaCO₃/L olarak tespit edilmiştir (Tablo 2).

Bu aşamadan sonra balıklar kas, solungaç, karaciğer ve iç organlar olmak üzere ayrılmış ve alınan numunelerin yaş ağırlıkları ölçülmüştür. Numunelerin yaş ağırlıkları Tablo 3'de sunulmuştur. Daha sonra numuneler 110 °C'de 1 gün kurutularak hafif toz haline getirilmiş ve 1 gr veya 0,5 gr'lık numuneler alınmıştır. Numuneler 5 ml (% 65'lik) nitrik asitte 1 gün boyunca oda sıcaklığında bekletildikten sonra 60-80 °C'de 3 saat asitle yakılarak berrak sıvı hale getirilmiştir. Daha sonra saf su ile 25 ml'ye tamamlanarak ICP-OES cihazında okunmaya hazır hale getirilmiştir (APHA, 1985; Zhang vd., 2007).

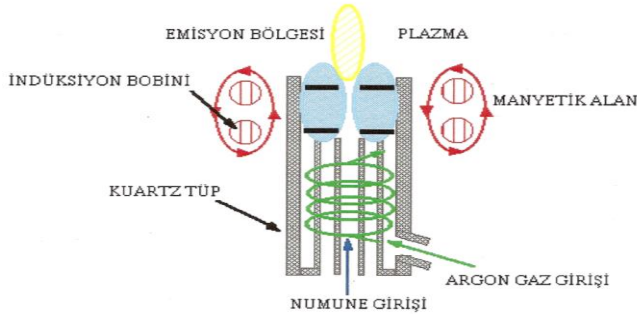
Tablo 2. Deneme süresince akvaryumlardaki çevresel parametrelerin değişimleri.

Çevresel Parametre	Yüksek Konsantrasyon (H) 0.5 mg/L Hg ₂ Cl						Düşük Konsantrasyon (L) 0.05 mg/L Hg ₂ Cl			
	Yumuşak Su			Sert Su			Yumuşak Su		Sert Su	
Ç. Oksijen (mg/L)	H1	H2	H3	H4	H5	H6	L1	L2	L3	L4
En yüksek	11,06	11	10,93	10,99	10,98	10,95	10,01	9,88	9,81	9,91
En düşük	9,21	8,87	8,75	9,63	9,15	9,42	9,25	5,21	8,74	9,09
Ortalama	10,02	9,91	9,84	9,72	9,92	10,15	9,63	9,29	9,49	9,57
Sıcaklık (°C)	H1	H2	H3	H4	H5	H6	L1	L2	L3	L4
En yüksek	15,90	15,70	15,70	15,70	15,70	15,60	17,10	16,10	15,80	15,70
En düşük	9,60	9,50	9,30	9,30	9,40	9,40	15,20	15,00	15,20	15,20
Ortalama	13,48	13,41	13,19	13,68	13,48	12,81	15,5	15,3	15,35	15,44
O ₂ (%)	H1	H2	H3	H4	H5	H6	L1	L2	L3	L4
En yüksek	99,00	98,00	95,90	95,70	95,80	96,10	98,70	98,40	97,00	98,40
En düşük	92,20	88,80	89,40	86,40	90,30	93,20	93,50	51,60	86,60	89,50
Ortalama	95,25	93,88	92,92	92,62	94,13	94,92	96,15	92,38	94,24	95,18
Elek. İletkenlik (µS/cm)	H1	H2	H3	H4	H5	H6	L1	L2	L3	L4
En yüksek	374	337	346	459	448	465	299	217	434	423
En düşük	115	121	124	270	216	252	89,40	90,60	215	207
Ortalama	233	214	218	349	324	365	182	143	316	288
Tuzluluk (ppt)	H1	H2	H3	H4	H5	H6	L1	L2	L3	L4
En yüksek	0,18	0,16	0,17	0,22	0,22	0,22	0,14	0,10	0,21	0,20
En düşük	0,05	0,06	0,06	0,13	0,11	0,12	0,04	0,04	0,10	0,10
Ortalama	0,11	0,10	0,10	0,17	0,15	0,17	0,09	0,07	0,15	0,14
TDS (mg/L)	H1	H2	H3	H4	H5	H6	L1	L2	L3	L4
En yüksek	115	159	166	221	216	224	143	102	209	204
En düşük	62	57	59	131	102	119	47	43	102	98
Ortalama	180	100	104	170	155	175	89	68	151	141
pH	H1	H2	H3	H4	H5	H6	L1	L2	L3	L4
En yüksek	7,93	7,92	7,86	8,0	8,19	8,22	8,09	7,89	8,17	8,09
En düşük	7,25	7,41	7,47	7,42	7,52	7,55	7,18	7,15	7,34	7,32
Ortalama	7,69	7,75	7,71	7,72	7,83	7,88	7,66	7,62	7,72	7,46

Tablo 3. Çalışmada kullanılan balık dokusu numunelerinin yaş ağırlıkları (gr).

	Kontrol			
	0.05 mg/l Civa 2 klorür		0.5 mg/l Civa 2 klorür	
	Sert su	Yumuşak su	Sert su	Yumuşak su
Kas				
Solungaç				
Karaciğer				
İçorganlar				
Kas	134,70	152,52	168,467	167,29
Solungaç	21,68	22,53	28,834	40,50
Karaciğer	8,53	9,05	14,545	19,62
İçorganlar	27,31	26,98	22,756	20,17

İndüksiyonla Birleştirilmiş Plazma (ICP): ICP numunedeki elementlerin atomlaştırılıp uyarıldığı manyetik alanla desteklenmiş 7000-8000 K gibi yüksek sıcaklıktaki plazma tekniğidir. Plazma gaz halindeki iyon akımı olarak adlandırılmaktadır. ICP tekniğinde plazma hem inert olması hem de kolay iyonlaşabildiğinden dolayı argon gazının radyofrekans jeneratörü tarafından oluşturulan manyetik alanla etkileştirilmesiyle oluşturulur. ICP'nin temel kısımları Şekil 2'de verilmiştir (Gürler, 2007).



Şekil 2. ICP kaynağının temel kısımları (Gürler, 2007).

ICP-Optik Emisyon Spektroskopisi (ICP-OES): ICP-OES atomların uyarılması için, indüksiyonla birleştirilmiş plazmanın kullanıldığı optik emisyon spektroskopisi tekniğidir. ICP-OES tekniğinin yüksek sıcaklıklara ulaşabilmesi numune elementlerinin plazma içerisindeki alıkonma süresinin uzun olması ve atomlaştırma ve uyarma işlemlerinin inert bir ortamda yapılabilmesi gibi özelliklerinden dolayı diğer optik emisyon spektroskopisi tekniklerine nazaran daha üstün olduğu düşünülmektedir (Gürler, 2007; Anonim, 2009).

Numunelerin ICP-OES'te Ölçümü: Birinci adım numune hazırlama işleminden oluşmaktadır. İkinci adımda çözelti halindeki numune nebulizer yardımıyla aerosollere dönüştürülür. Üçüncü adımda ise plazmaya gelen numunenin çözücüsü uzaklaştırılır ve maddeler gaz fazına geçirilir. Dördüncü adımda gaz fazındaki maddeler atomlarına ayrıştırılarak gaz fazında serbest haldeki atomlar

elde edilir. Beşinci adımda gaz halindeki atomlar plazmada uyarılmış hale geçerler ve kısa bir süre sonra da rezonans ışını yayarak temel hale geri dönerler. Son adımda ise oluşan rezonans ışını detektörler vasıtasıyla tespit edilerek ölçüm gerçekleştirilmiş olur. ICP-OES sistemi son yıllarda çeşitli avantajlarından dolayı sıklıkla metal analizlerinde tercih edilebilmektedir. Bu avantajlar; Yüksek sıcaklıklara çıkılabilmesi, numune elementlerinin plazma içerisindeki alıkonma süresinin uzun olması, atomlaştırma ve uyarma işlemlerinin inert bir ortamda yapılabilmesi ve çok kararlı bileşikler bile plazma içerisinde elde edilen yüksek sıcaklık sayesinde atomlarına ayrıştırılabilmektedir (Gürler, 2007; Anonim, 2009; Sarojam, 2012).

Bu çalışmada RTE Üniversitesi Merkez Laboratuvarında bulunan Perkin Elmer marka DV-2100 model ICP-OES cihazı kullanılmıştır (Krampitz, 2004). Ölçümlerde genel ağır metal elementleri (Cr, Cd, Pb, Mn, Cu, Zn, Ni, Co., vb) için karışık standart kullanılmaktadır. Civa analizinde ise Hidrür sistem kullanılarak analiz ve ölçümler gerçekleştirilmiştir (Anonim, 2004).

BULGULAR

ICP-OES Cihazında Okutulan Numunelerdeki Analiz Sonuçları: Bu çalışmada öncelikle Rize'de alabalık çiftliklerinde yetiştiriciliği yapılabilen alabalık türlerinden *Salmo coruhensis* üzerinde durulmuştur. Öncelikle bu türlerden alınan numunelerden Kontrol grubu olarak akuatik toksikoloji laboratuvarında bulundurulmuş balıklarda genel olarak 9 farklı element varlığının araştırılması yapılmıştır. Bu elementler Cr, Cd, Pb, Mn, Cu, Zn, Ni, Co metalleridir. Bu metallerin *Salmo coruhensis* türlerindeki alabalık örneklerinin çeşitli dokularındaki miktarları aşağıda Tablo 4'de sunulmuştur.

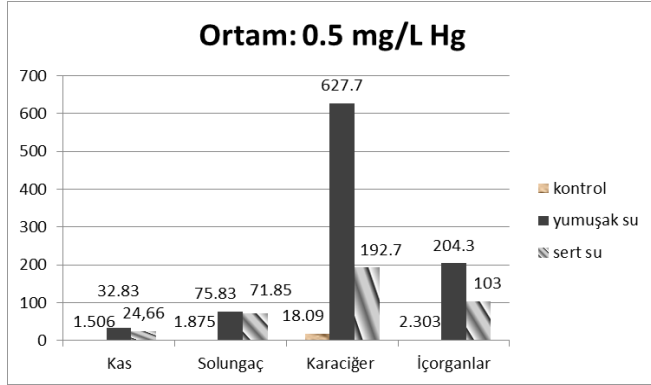
Tablo 4. Kontrol grubunda bulunan balıkların çeşitli dokularındaki ağır metal değerleri.

Metal	Doku							
	Kas		Solungaç		Karaciğer		Tüm Balık	
	(mg/L)	Std. Dev	(mg/L)	Std. Dev	(mg/L)	Std. Dev	(mg/L)	Std. Dev
Krom (Cr)	0,0062	0,0003	0,0207	0,0008	0,0150	0,0006	0,0057	0,0004
Manganez (Mn)	0,0063	0,0002	0,0381	0,0003	0,0338	0,0001	0,0210	0,0028
Demir (Fe)	0,1368	0,0138	0,4493	0,0037	1,4251	0,0085	0,6774	0,0109
Bakır (Cu)	0,0354	0,0015	0,0857	0,0136	1,1676	0,0160	0,2999	0,0176
Çinko (Zn)	0,1279	0,0106	0,5829	0,0071	0,5193	0,0014	0,9460	0,0362
Kadmiyum (Cd)	0,0017	0,0002	0,0051	0,0003	0,0008	0,0003	0,0017	0,0001
Kurşun (Pb)	0,0126	0,0055	0,0238	0,0045	0,0445	0,0050	0,0052	0,0029
Nikel (Ni)	0,0094	0,0046	0,0200	0,0006	0,0300	0,0014	0,0064	0,0005
Civa (Hg)	0,0015	0,0035	0,0018	0,0114	0,0018	0,0057	0,0023	0,0016

Daha sonra 0,5 ve 0,05 mg/L Civa-II klorür konsantrasyonlarında sert ve yumuşak su koşullarındaki akvaryumlarda bekletilen bireylerin dokularında bulunan metallerin değerlerinin konsantrasyon farkına veya ortam

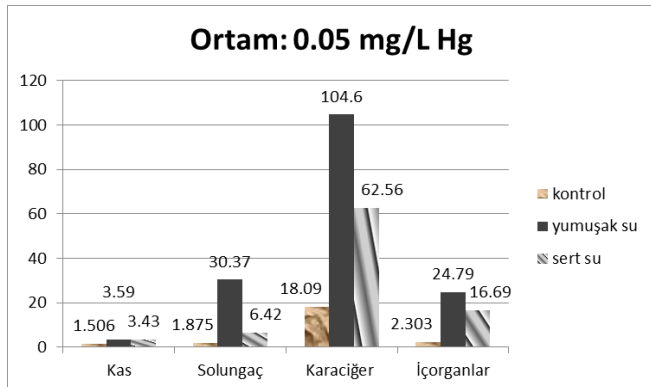
farklılığına göre karşılaştırması Şekil 3 ve 4'te verilmiştir. Balık dokularında civa ağır metalinin birikiminin test ortamı konsantrasyonu arttıkça birikim miktarının da arttığı görülmüştür (Şekil 3 ve 4). Çalışmada alabalıklar (*Salmo coruhensis*) sert ve yumuşak su koşullarında 0,5 ve 0,05

mg/L konsantrasyonlarında Civa-II klorürlü koşullarda 30 gün bekletilerek balık dokularında biriken Civa ağır metali üzerine yapılan çalışma sonuçları da Şekil 5 ve 6'da verilmiştir. Yumuşak su ortamında bekletilen bireylerin dokularında sert su ortamında tutulan balıkların dokularına nispeten daha yüksek miktarda metal birikimin olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5 ve 6).



Şekil 3. Deney ortamı civa miktarına göre balık dokularında civa birikimi (yüksek).

Sert ve yumuşak su koşullarındaki akvaryumlarda 0,5 mg/L konsantrasyonunda civa klorür ortamında (yüksek konsantrasyon) bekletilen alabalık bireylerinin farklı dokularındaki civa birikimi Şekil 3'de sunulmuştur. Sonuçlara göre en fazla birikim yumuşak sular ve karaciğer dokusunda olmuştur. Daha sonra iç organlar ve solungaçlar gelmektedir. Karaciğer dokusunda yumuşak suda civa birikimi 627,7 µg/l iken sert suda 192,7 µg/l olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla Ca konsantrasyonunun fazla olduğu sert suların Ca koruyucu özelliğinden dolayı daha az civa'nın dokularda biriktiği söylenebilir.

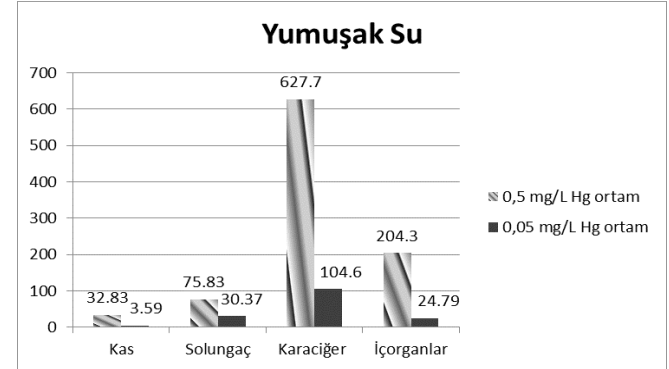


Şekil 4. Deney ortamı civa miktarına göre balık dokularında civa birikimi (düşük).

Sert ve yumuşak su koşullarındaki akvaryumlarda 0,05 mg/L konsantrasyonunda civa klorür ortamında (düşük konsantrasyon) bekletilen alabalık bireylerinin farklı dokularındaki civa birikimi Şekil 4'de görülmektedir. Sonuçlara göre en fazla yumuşak sular ve karaciğer dokusunda olmuş ve bunu sırasıyla iç organlar ve solungaçlar takip etmiştir. Karaciğer dokusunda yumuşak suda civa birikimi 104,6 µg/l iken sert suda 62,56 µg/l

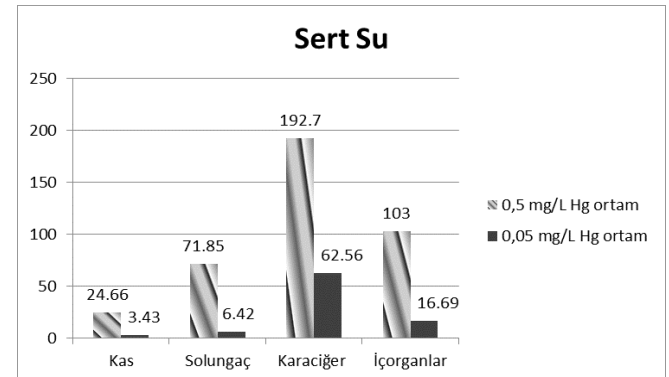
olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla Ca konsantrasyonunun fazla olduğu sert suların Ca koruyucu özelliğinden dolayı daha az civa'nın dokularda biriktiği söylenebilir.

Sert ve Yumuşak Su Koşullarında Civa Birikimi:
0,05 ve 0,5 mg/L Hg yumuşak su koşullarındaki akvaryumlarda bekletilen alabalık bireylerinin farklı dokularındaki civa birikimi Şekil 5'de sunulmuştur. Sonuçlara göre en fazla birikim karaciğer dokusunda ve 0,5 mg/L Hg konsantrasyonuna sahip sular da olmuştur. Karaciğer dokusunda 0,5 mg/L Hg konsantrasyonuna sahip suda civa birikimi 627,7 µg/l iken 0,05 mg/L Hg konsantrasyonuna sahip suda 104,6 µg/l olarak ölçülmüştür.



Şekil 5. Alabalıklarda 0,05 ve 0,5 mg/L Hg konsantrasyonunda yumuşak suda civa birikimi.

0,5 ve 0,5 mg/L Hg konsantrasyonlarında sert su koşullarındaki akvaryumlarda bekletilen alabalık bireylerinin farklı dokularındaki civa birikimi Şekil 6'da verilmiştir. Sonuçlara göre en fazla birikim karaciğer dokusunda ve 0,5 mg/L Hg konsantrasyonuna sahip sular da olmuştur. Karaciğer dokusunda 0,5 mg/L Hg konsantrasyonuna sahip suda civa birikimi 192,7 µg/l iken 0,05 mg/L Hg konsantrasyonuna sahip suda 62,56 µg/l olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. Alabalıklarda 0,05 ve 0,5 mg/L Hg konsantrasyonunda sert suda civa birikimi.

SONUÇLAR

Bu çalışmada ülkemizde de olduğu gibi Doğu Karadeniz bölgesinde de önemli düzeyde yetiştiriciliği yapılan alabalıklar üzerinde durulmuştur. Ülkemizde iç sular da 2010 yılı alabalık üretimi 78.165 ton olup Doğu Karadeniz bölgesinde 6.258 ton ve Rize ilinde ise 907 ton dur (Anonim, 2012a). Dolayısıyla üretimi oldukça yaygın

olan alabalıklardan Doğu Karadeniz bölgesinde ve özellikle Rize çiftliklerinde yetiştirilen *Salmo coruhensis* yani Çoruh alabalığı bireyleri kullanılarak çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada bireylerin sert ve yumuşak su koşullarında 0,5 ve 0,05 mg/l civa klorürlü ortamlarda 30 günlük süre sonunda balıkların dokularında biriken civa miktarları araştırılmıştır. Deney sonrasında ayrıca diğer ağır metal düzeylerine de dokularda bakılmıştır.

Çoruh alabalıklarında ICP-OES sisteminde civa denemesine tabi tutulmamış kontrol grubu balık bireylerinde ağır metal düzeyleri araştırılmıştır. Sonuçlara göre balık dokularında Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, Co, Ni ve Hg elementleri bulunmuştur. Ölçüm sonuçlarına göre balık dokularında: Cr, 0,0207 mg/L solungaçlarda, Mn 0,0381 mg/L solungaçlarda, Fe 1,4251 mg/L karaciğerde, Cu 1,1676 mg/L karaciğerde, Zn 0,946 mg/L tüm balıkta, Cd 0,051 mg/l solungaçlarda, Pb 0,045 mg/L karaciğerde, Ni 0,03 mg/L karaciğerde ve Hg ise 18,09 µg/L olarak en çok karaciğer dokusunda tespit edilmiştir. Kontrol grubu olarak belirlenen civa denemesine tabi tutulmamış bireylerin dokularındaki ağır metal düzeyleri incelendiğinde en çok karaciğer, solungaç, tüm balık ve kas dokusu sırasıyla gelmektedir.

Civa klorürlü ortamda bekletilen alabalık bireylerinde civa birikimi denemesi sonrası balık dokularındaki civa birikimi ICP-OES cihazında Hidrörlü sistem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde genel olarak sert su koşullarında balık dokularında yumuşak sulara nazaran daha düşük civa biriktiği belirlenmiştir. Örneğin 0,5 mg/L civa koşullarında yumuşak suda karaciğer dokusunda 627,7 µg/L civa birikimi olurken; sert sularda 192,7 µg/L civa biriktiği, 0,05 mg/L Hg koşullarında karaciğer dokusunda yumuşak sularda 104,6 µg/L birikirken; sert sularda 62,56 µg/L biriktiği tespit edilmiştir.

Doku gruplarıyla ilgili karşılaştırma yapılırsa genel olarak karaciğer dokusunda ağır metal birikimi daha fazladır. Karaciğer dokusunu sırasıyla tüm balık veya iç organlar, solungaçlar ve kas dokusu takip etmektedir.

Nitekim civa birikimi denemesinde dokulardaki birikime bakıldığında 0,5 mg/L civa koşullarında sert sularda Karaciğerde 192,7 µg/L, iç organlarda 103 µg/L, solungaçlarda 71,85 µg/L ve kas dokusunda 24,76 µg/L civa biriktiği; yumuşak sularda ise karaciğerde 627,7 µg/L, iç organlarda 204,3 µg/L, solungaçlarda 75,83 µg/L ve kas dokusunda ise 32,83 µg/L biriktiği tespit edilmiştir.

Ayrıca bu çalışmada civa birikimi denemesinde iki farklı civa klorür konsantrasyonu denenmiştir. İlk ve sonraki konsantrasyon sırasıyla 0,05 ve 0,5 mg/L civa klorür konsantrasyonları olup bu konsantrasyon alabalıklar için akut konsantrasyonun altında seçilmiştir. Alabalıklarda akut konsantrasyon 0,814 mg/L'dir (Verap vd., 2007). Deneme ortamı alabalık bireylerinin ölmediği yüksek ve düşük konsantrasyonlar olarak düzenlenmiştir. Deneme sürecinin 30 günlük süresi sonrasında sonuçlar karşılaştırıldığında yüksek konsantrasyonlu ortamdaki (0,5 mg/L) birikimlerin düşük konsantrasyonlu ortamdaki (0,05 mg/L) birikime göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. 0,5 mg/L civa konsantrasyonlarındaki yumuşak su ortamında civa birikimi iç organlarda 204,3 µg/L, solungaçlarda 75,83 µg/L iken; 0,05 mg/L civa konsantrasyonu yumuşak su koşullarında iç organlarda 24,79 µg/L, solungaçlarda 30,37 µg/L olacak şekilde daha düşük civa birikimleri elde edilmiştir. Sert sularda da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Dolayısıyla yüksek konsantrasyonlu ortamlarda daha fazla civa birikimi olabileceği söylenebilir.

Ülkemizde üretimi ve tüketimi oldukça yaygın ve fazla olan alabalıkların dokularındaki metal değerlerinin sağlık açısından uygun olup olmadığı ve belirli metal kirliliğine sahip koşullarda bulunan balıkların dokularında biriken civa metali miktarlarının tüketim için uygun olup olmadığı ilgili mevzuatlarla kontrol edilmektedir. Bu mevzuatlar Su ürünleri ve Türk Gıda Kodeksi kanunudur. Her iki mevzuatta da benzer sınır değerler verilmektedir. Bu çalışma sonuçları mevzuata göre değerlendirilmiş ve sonuçlar Tablo 5 de sunulmuştur.

Tablo 5. Balıkta müsaade edilebilir ağır metal miktarlarına göre sonuçlar (Anonim, 2012b).

Ağır Metal	Çalışma sonuçları				Kabul Edilebilir Değer (mg/kg)	Mevzuata Uygun (U+). Uygun Değil (UD-)
	0.05 mg/L Civa klorür Düşük Konsantrasyon		0.5 mg/L Civa klorür Yüksek Konsantrasyon			
	Sert su	Yumuşak su	Sert su	Yumuşak su		
Cd	-	-	0,023	0,010	00,05	U+.U+
Cu	-	-	2,280	1,910	20,00	U+.U+
Hg	0,062	0,105	0,193	0,628	00,50	U+. UD-
Zn	-	-	1.220	1,240	50,00	U+.U+
As	-	-	-	-	01,00	-
Pb	-	-	0,008	0,120	00,30	U+.U+

Bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçların Türk Gıda Kodeksine (Anonim, 2012b) ve 1380 sayılı Su Ürünleri Kanununa (Anonim, 1995) göre değerlendirmesine çalışmada ölçülen en yüksek değerler Tablo 5'deki kabul edilebilir sınır değerlerle değerlendirildiğinde Cd, Cu, Zn ve Pb açısından bölgede yetiştirilen balıklarda herhangi bir uygunsuzluk söz konusu değildir. Ancak yüksek konsantrasyonlarda 0,5 mg/L civa klorür ihtiva eden sularda

balıklar en az 30 gün kalmışlarsa karaciğer dokularında yumuşak su koşullarında biriken civa miktarları gıda mevzuatına göre uygun olmayan düzeylere ulaşabildiği görülmektedir. 0,05 mg/L koşullarında ise hem yumuşak sularda ve hem de sert su koşullarında 30 günlük muamele sonucunda balık dokularındaki birikim gıda mevzuatına göre kabul edilebilir sınırların altında olduğu görülmektedir. Buna göre 0,5 mg/L üstünde civa klorür metal kirliliği olan

sularda üretilen veya avlanıp tüketilen balıkların karaciğer dokuları tüketilemez durumdadır. Ancak insani tüketim açısından önemli olan kas dokuları olduğundan mevcut şartlar altında sadece kas dokusunun tüketilmesi koşuluyla kırmızı benekli alabalıklarının tüketilmesi açısından gıda mevzuatına göre hiç bir problem söz konusu değildir.

KAYNAKLAR

- Akkan, T., Kaya, A. & Dinçer, S. (2013).** Antibiotic levels and heavy metal resistance in Gram-negative bacteria isolated from seawater, Iskenderun organized industrial zone. *Journal of Applied Biological Sciences*, **1**,10-14.
- Anonim. (2004).** Expanding laboratory productivity and capabilities, www.perkinelmer.com.
- Anonim. (2012a).** Su ürünleri istatistikleri (2012 yılı), www.tuik.gov.tr.
- Anonim. (2012b).** Türk Gıda Kodeksi bulaşanlar yönetmeliği. 19.12.2012 tarih ve 28502 nolu Resmi Gazete. Türk Gıda Kodeksi bulaşanlar yönetmeliğinde değişiklik yapılmasına dair yönetmelik. Gıda. Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. Ankara.
- Anonim. (1995).** Su ürünleri yönetmeliği. 1380 Sayılı Su ürünleri kanununa dayalı olarak 10.03.1995 tarih ve 22223 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan yönetmelik. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı. Ankara.
- Anonim. (2009).** Optima 7000 DV ICP-OES, ICP-Optical emission spectrometry, product note, www.perkinelmer.com.
- APHA., AWWA. & WEF. (1985).** Standart methods for the examination of water and wastewater. 16. Ed. APHA. Washington. DC.
- Başer, S., Erkoç, F., Selvi, M. & Koçak, O. (2003).** Investigation of acute toxicity of permethin on guppies *Poecilia reticulata*. *Chemosphere*, **51**, 469-474.
- Beşli, E.S. (2006).** Civa II klorür ($HgCl_2$)'ün farklı tuzluluk konsantrasyonlarında gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*. Walbaum 1792) üzerindeki akut toksisitesinin belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Gaziosmanpaşa Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Tokat.
- Çelikkale, M.S. (1994).** İç su balıkları yetiştiriciliği. KTÜ Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi. KTÜ Basımevi, genel yay. no: 124. Fakülte yay. no: 2. Cilt I-II. 2. Baskı. Trabzon. 419s.
- Driscoll, C.,T., Yan, C., Schofiel, L., Munson, R. & Holsapple, J. (1994).** The mercury cycle and fish in the adirondak lakes. *Environmental Science and Technology*, **28**, 136-143.
- Güley, M. & Vural, N. (1987).** Toksikoloji. Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi. Yayın no: 48, Ankara.
- Gül, A., Yılmaz, M. & Uzel, N. (2008).** Sakarya nehri Kirmir çayında yaşayan *Capoeta tinca* (Heckel. 1843)'da civa II klorür'ün akut toksik etkisi. *Kastamonu Educational Journal*, **16**, 199-206.
- Gürler, B. (2007).** Lyon değiştirici membranlar kullanılarak sulu ortamdan Bor'un uzaklaştırılması, (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya A.B.D., Isparta.
- Handy, R.D. & Penrice, W.S. (1993).** The influence of high oral doses mercuric chloride on organ oxidant concentrations and histopathology in rainbow trout. *Oncorhynchus mykiss*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, **106C**, 717-724.
- Klaverkamp, J.F., MacDonald, W.A., Lillie, W.R. & Lutz, A. (1983).** Joint toxicity of mercury and selenium in salmonid eggs. *Archives of Environmental. Contamination and Toxicology*, **12**, 415-419.
- Krampitz, P.D. (2004).** Environmental analysis using the optima 2100 DV ICP system, ICP-OES. Field Application Report. www.perkinelmer.com.
- Matyar, F., Akkan, T., Uçak, Y. & Eraslan, B. (2010).** Aeromonas and Pseudomonas: antibiotic and heavy metal resistance species from Iskenderun Bay, Turkey (Northeast Mediterranean Sea). *Environmental Monitoring and Assessment*, **167**(1-4), 309-320.
- Olson, K., Squibb, K.S. & Cousins, R.J. (1978).** Tissue uptake. subcellular distribution and metabolism of $^{14}CH_3HgCl$ and $^{203}CH_3HgCl$ by rainbow trout. *Salmo gairdneri*. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. **35**(4), 381-390.
- Pardey. S., Kumar, R. & Sharma, S. (2005).** Acute toxicity bioassays of mercuric chloride and malathion on air-breathing fish *Channa punctatus* (Bloch). *Ecotoxicology and Environmental Safety*. **61**(1), 114-120.
- Perry, D.M., Weis, J.S. & Weis, P. (1988).** Cytogenetic effects of methylmercury in embryos of the killifish. *Fundulus heteroclitus*. *Archives of Environmental. Contamination and Toxicology*, **17**, 569-574.
- Sarojam, P. (2012).** Analysis of trace metals in drinking water with the optima 7000 DV ICP-OES. Application Note. www.perkinelmer.com.
- Snarski, W.M. & Olson, G.F. (1982).** Chronic toxicity and bioaccumulation of mercuric chloride in the fathead minnow (*Pimephales promelas*). *Aquatic Toxicology*, **2**, 143-156.
- Sorensen, E.M. (1991).** *Metal Poisoning in Fish*. CRC Press., 285-328.
- Svobodova, Z., Luskova, V., Drastichova, J., Svobodova, M. & Zlabek, V. (2003).** Effect of delta methrin on haematological indices of common carp (*Cyprinus carpio*). *Acta Veterinaria Brno*, **72**, 79-85.
- Thongra-ar, W., Parkpian, P. & Tang, A. (2003)** Toxicity of mercury to growth and survival of seabass

- larvae. Lates carcarifer. and the modifying of effects of salinity. *ScienceAsia*, **29**, 209-219.
- Terzi, E. & Verep, B. (2011).** Effects of water hardness and temperature on the acute toxicity of mercuric chloride on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Toxicology and Industrial Health*, **28**(6), 499-504.
- Turan, D., Kottelat, M. & Engin, S (2009).** "Two new species of trouts. resident and migratory. sympatric in streams of northern Anatolia (Salmoniformes: Salmonidae)". *Ichthyological Exploration of Freshwaters*, **20**, 333-364.
- Verep, B., Beşli, E.S. Altinok, I. & Mutlu, C. (2007).** Assesment of mercuric chloride toxicity on rainbow trouts (*Oncorhynchus mykiss*) and chub (*Alburnoides bipunctatus*). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, **10**(2), 1098-1102.
- Verep, B., Turan, D., Bilgin, S., Terzi E., Kaya, C. & Mutlu, T. (2016).** Abundance of natural trout stocks. interaction of antropogenic processes and hyro power plants in the river basin of Rize city". *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, **1**(2), 56-63.

- Yılmaz, M., Teber, Ç., Akkan, T., Er, Ç., Kariptas, E. & Çiftçi, H. (2016).** Determination of heavy metal levels in different tissues of tench (*Tinca tinca* L., 1758) from Sidikli Kucukbogaz Dam Lake (Kirsehir), Turkey, *Fresenius Environmental Bulletin*, **25**(6), 1972-1977.
- Zhang, Z., He, L., Li, J. & Wu, Z. (2007).** Analysis of heavy metals of muscle and intestine tissue in fish - in Banan section of chongqing from three gorges reservoir, China. *Polish Journal of Environmental Studies*, **16**(6), 949-958.

Received date: 31.01.2018

Accepted date: 28.02.2018

***Corresponding author's:**

Prof.Dr. Bülent VEREP

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Deniz Biyolojisi ABD. Zihni Derin Yerleşkesi, Fener Mah. 53100/Rize, Turkey.

E-mail: bulent.verep@erdogan.edu.tr