



MADEN HAVZASI BALIKLARINDA VÜCUT AĞIRLIĞI İLE AĞIR METAL BİYOAKÜMÜLASYON İLİŞKİLERİ: EMET ÇAYI HAVZASI

Cem TOKATLI ^{1*}, Özgür EMİROĞLU ², Naime ARSLAN ², Esengül KÖSE ³,
Arzu ÇİÇEK ⁴, Hayri DAYIOĞLU ⁵, Sercan BAŞKURT ²

Özet

Bildirildiği gibi, farklı fizyolojik yapıları sahip değişik balık türleri, ağır metallere maruz kalma sürelerine ve maruz kalınan metalin çeşidine göre, ağır metalleri farklı dokularda farklı miktarlarda biriktirmektedirler. Balıkların yaşı, dolayısıyla yaşa paralel artış gösteren ağırlıkları, dokulardaki toksik element biyoakümülyasyonlarında önemli bir faktördür. Bu çalışmada, ülkemizin en önemli maden yataklarının yer aldığı Emet Çayı üzerinde tespit edilen üç ve yine Emet Çayı Havzası'nda yer alan Dursunbey Çayı üzerinde tespit edilen bir istasyondan mevsimsel olarak, havza için en büyük önem arz eden *Squalius cii*, *Capoeta tinca* ve *Barbus oligolepis* türleri, gerekli miktarlarda toplanmıştır. Yakalanan balıkların kas, solungaç, karaciğer ve böbrek dokularında tespit edilen nikel, çinko, arsenik, bor, kadmiyum, bakır, mangan, kurşun, gümüş ve krom biyoakümülyasyon seviyelerinin balık ağırlıkları ile ilişkileri araştırılmıştır. Elde edilen verilere, Pearson Korelasyon Analizi uygulanmış, yüksek korelasyon gösteren değişkenlerin üç boyutlu regresyon grafikleri çizilmiş ve regresyon katsayıları hesaplanmıştır. Çalışmamız sonucunda, özellikle nikel ve krom başta olmak üzere incelenen her 3 balık türünün de dokularında tespit edilen toksik element biyoakümülyasyonları ile balıkların total ağırlık verileri arasında, $p<0,05$ ve $p<0,01$ düzeylerinde, istatistiki olarak anlamlı ilişkiler kaydedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toksik element, Biyoakümülyasyon, *Squalius cii*, *Capoeta tinca*, *Barbus oligolepis*.

RELATIONSHIPS BETWEEN BODY WEIGHT AND HEAVY METAL BIOACCUMULATION IN MINING BASIN FISHES: EMET STREAM BASIN

Abstract

As it is known that various fish species with different physiological structures accumulate the heavy metals in different amounts of them in different tissues according to types of heavy metals and the exposure times. Age and weight of the fishes are important factors in the bioaccumulation of toxic elements in the tissues. In this study, the required amounts *Squalius cii*, *Capoeta tinca* and *Barbus oligolepis* species were collected seasonally from four stations selected on the Emet Stream Basin (three of them were on the Emet Stream and one of them was on the Dursunbey Stream), where the most important mining deposits of Turkey are located on. Relations of nickel, zinc, arsenic, boron, cadmium, copper, manganese, lead, silver and chromium bioaccumulation levels in muscle, gills, liver and kidney tissues of captured fishes with the total weight of fishes were investigated. Pearson Correlation Index was applied to detected data, regression coefficients of high correlated variables were calculated and three – dimensional regression plots were drawn. As a result of the present study, statistically significant relations at the $p<0.05$ and $p<0.01$ levels were recorded between the bioaccumulation levels of toxic elements mainly nickel and chromium detected in tissues of investigated 3 fish species with the total weights of fishes.

Keywords: Toxic elements, Bioaccumulation, *Squalius cii*, *Capoeta tinca*, *Barbus oligolepis*

¹ *Sorumlu Yazar: Trakya Üniversitesi, İpsala Meslek Yüksekokulu, Laboratuvar Teknolojisi Programı, İpsala/Edirne, E-posta: tokatlicem@gmail.com

² Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Eskişehir, E-posta: narслан@ogu.edu.tr, emiroglu@ogu.edu.tr, sercanbaskurt@gmail.com

³ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Osmangazi Meslek Yüksekokulu, Çevre Koruma ve Kontrol Programı, Eskişehir, E-posta: esen_kose@yahoo.com

⁴ Anadolu Üniversitesi, Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi, Eskişehir, E-posta: acicek@anadolu.edu.tr

⁵ Dumlupınar Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kütahya, E-posta: hayridayioglu@gmail.com

1. GİRİŞ

1.1. Ağır Metaller

Özellikle endüstriyel atıklar ve bazı pestisitler içerisinde bulunan ve suları kirleten en önemli inorganik faktörler olan 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. Sucul ortamlarda normal şartlarda belli derişimlerde denge halinde bulunan ağır metaller, kentsel ve endüstriyel bölgelerde daha yoğun olmak üzere ya sedimentte birikirler ya da biota tarafından absorbe edilirler ve sedimentlerin çoğu bu kirleticileri uzun süre bünyesinde muhafaza ederler [1, 2].

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 [3]. Sucul ekosistemlerde ağır metallerle kirlenmiş sedimentler ekosistem sağlığını tehdit eden büyük bir stres kaynağıdır ve sedimentin içinde ve üzerinde yer alan su canlıları için büyük bir risk faktörü oluşturmaktadır [4]. Bu nedenle kirlenmiş ekosistemlerde yaşayan ve dokularında ağır metalleri biriktiren sucul canlılar, buldukları ortamın kirlilik derecesini ve kontaminantların etkilerini belirlemek için biyoindikatör olarak kullanılmaktadır ve son yıllarda kirlilik araştırmalarında biyoindikatör türlerle ilgili çalışmalar artış göstermiştir [5 – 8].

Sucul ortamlarda sedimentte birikmiş ağır metal konsantrasyonu da özellikle bentik canlılara besin zinciri yoluyla da diğer canlılara zarar vermektedir. Tüm ekosistemlerde olduğu gibi sucul ekosistemlerde de canlılar arasındaki madde ve enerji geçişleri besin zinciriyle yoluyla sağlanır. Besin piramidinin üst basamaklarındaki türler, dokularında kirleticileri biriktirmiş olan alt basamaklardaki türlerle beslendiklerinden, pek çok kirleticiyi daha fazla biriktirme eğilimindedirler [9]. Dolayısıyla ağır metal kirliliği sadece sucul canlılar değil, insan sağlığını da tehdit etmektedir. Demir, bakır, çinko ve mangan gibi metaller esansiyel elementlerdir ve canlılarda önemli rol oynarlar. Ancak civa, kurşun ve kadmiyum gibi metaller esansiyel elementlerden değildir ve iz miktarlarda bile

canlılarda toksik etkiler meydana getirebilirler. Ayrıca esansiyel elementler de aşırı olarak alındığında toksik etki oluşturabilmektedir [10].

Son yıllarda balık dokularında ağır metal birikimlerinin araştırılması hız kazanmıştır. Balıkların, sağlıklı ve dengeli beslenme için insan diyetindeki yeri göz önüne alındığında, sucul ortamlarda artan ağır metal kirliliklerinin balıklarda ne derecede birikim gösterdiğinin ve birikime etki eden faktörlerin araştırılması çalışmalarının, hem balık biyolojisi hem de insan sağlığı açısından ne derece önemli olduğu açıkça görülmektedir.

1.2. Emet Çayı Havzası ve Maden Ocakları

Türkiye Dünya Bor rezervinin %72'sini karşılamaktadır ve Kütahya Emet-Hisarçık bölgesinde önemli bor yatakları bulunmaktadır [11, 12]. Bor, son yıllarda önemli bir kirletici unsur haline gelmiştir ve Emet'teki bor zonu incelendiğinde bor minerallerinin dışında arseniğin başka minerallerinin de olduğu görülmektedir [13]. İşletmelerde yılda 400.000 ton kolemanit cevheri çıkarılmakta ve cevher zenginleştirme işlemleri yapılmaktadır. Türkiye'deki belli başlı bor yatakları bulunan dört bölgeden birini oluşturan Emet bölgesinde bor yatakları kalınlığı 10 – 20 m arasında değişmektedir ve minerallerin çıkarıldığı alan 50 km²'dir. Açık ve kapalı olarak çalışan işletmelerde başlıca atık su kaynağı cevherin yıkanması sonucunda ortaya çıkmakta ve Emet Çayına verilmektedir. Bölgede çıkarılan kolemanitle birlikte aynı zamanda arsenik minerallerine de rastlanmaktadır. Emet Çayı kenarına yığılan pasaların ve yıkama suyunu tekrar kullanmak amacıyla yapılmış basit göletlerin taşkın suları ile sürüklenmesi sonucunda zaman zaman arsenik de suya karışmaktadır [14]. Ayrıca bor, nehir havzalarında toprakta da bulunduğundan yağışlar ve erozyonla Emet Çayı'na taşınmaktadır.

Yine Emet Çayı yakınlarında bulunan Harmancık Krom Madenleri, atık sularının yoğunlaştırılmış bir kısmı, pek çok suspense materyalinden arındırılmak için dinlenme havuzuna Kınık Çayı aracılığıyla boşaltıldığı ve bu atıkların yine Kınık Çayı aracılığıyla Emet Çayı'na ulaştığı bilinmektedir [15]. 1827 yılında Amerika Birleşik Devletleri, Baltimor yakınlarında bulunan krom madenlerine kadar, Rusya dünya kromunun başlıca kaynağını teşkil etmekteydi. 1848'de Türkiye, Harmancık krom

madenleri bulunana kadar ise, ABD dünyanın en büyük krom üreticisi durumuna yükselmiştir [16]. Bu nedenle dünyanın en eski krom madenlerinden olan Harmancık Krom Madenleri sadece Türkiye'nin değil tüm dünyanın en önemli krom madenlerindedir. Bölgede 704055 ton reserve ve 20000 ton yıllık üretim kapasitesine sahip dokuz maden bulunmaktadır ve dünyanın krom üretiminde önemli bir yere sahiptir [17].

Kütahya'da yer alan gümüş madenleri de Emet Çayı Havzası üzerinde önemli bir baskı kaynağıdır. Madenden direkt olarak gümüş üretiminin yapıldığı ülkemizdeki tek tesisi olan gümüş madenleri, dünyanın %1 ve Türkiye'nin %45 gümüş üretim potansiyeline sahiptir ve Kütahya'ya yaklaşık 33 km, Emet Çayına ise yaklaşık 50 km uzaklıkta yer almaktadır [18, 19].

1.3. Havza Balıkları

Ilıman bölgeleri seven ve bentopelajik bir tatlı su balığı olan *Squalius cii* (Richardson, 1857) türü, taşların, çakılların altında ya da siltlerin üzerinde yaşarlar ve yaz mevsiminin sonlarına doğru nehir üzerinde buldukları izole havuzcukları tercih ederler. Sadece Midilli ve Türkiye'nin kuzey ege bölgesinde yer alan *S. cii* türü, önemli ölçüde bölgesel kirlilik, avlanma ve tarımsal faaliyet amaçlı akarsulardan su çekilmesi baskılarına maruz kalmaktadır. *S. cii* türü, özellikle ağır metal kirliliği nedeni ile sadece birkaç kısıtlı sucul ekosistemde, sınırlı populasyonlarda hayatları sürdürmektedirler ve sayıları günden güne azalmaktadır [20, 21].

Türkiye için endemik bir tür olan *Capoeta tinca* (Heckel, 1843) türü, subtropikal iklim özelliği gösteren bölge tatlı sularında bentopelajik olarak yaşamlarını sürdürürler. Genellikle taşların ve kayaların altlarında bulunurlar ve hızlı akan suları tercih ederler [22 – 24].

Barbus oligolepis Battalgiç, 1941 türü Asya ve Türkiye'nin subtropikal iklimin hâkim olduğu tatlı sularda bentopelajik olarak hayatlarını sürdürürler. *C. tinca* türünde olduğu gibi taş ve kayaların altları ile suların dip kısımlarında yaşarlar ve hızlı akan suları tercih ederler [24, 25].

Birçok çalışmada bildirildiği gibi, farklı fizyolojik yapılara sahip değişik balık türleri; ağır metallerle maruz kalma sürelerine ve maruz

kalınan metalin çeşidine göre ağır metalleri farklı dokularda farklı miktarlarda biriktirmektedirler. Balıkların yaşı, dolayısıyla yaşa paralel artış gösteren ağırlıkları, dokulardaki toksik metal biyoakümüülasyonlarının seviyelerinde önemli bir faktördür.

Çalışmamızda, Emet Çayı Havzası'nda Kasım 2010 – Ağustos 2011 tarihleri arasında mevsimlik periyotlarla yapılan arazi çalışmaları ile kirlilik kaynakları ve akarsu yatağının balık temini için uygunluğu göz önüne alınarak belirlenen dört istasyondan balık örnekleri alınmış ve Pearson Korelasyon Analizi kullanılarak kas, solungaç, karaciğer ve böbrek dokularında bazı toksik element biyoakümüülasyon seviyeleri ile balıkların total ağırlıkları arasındaki ilişkiler tespit edilmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Arazi Çalışmaları ve Analizler

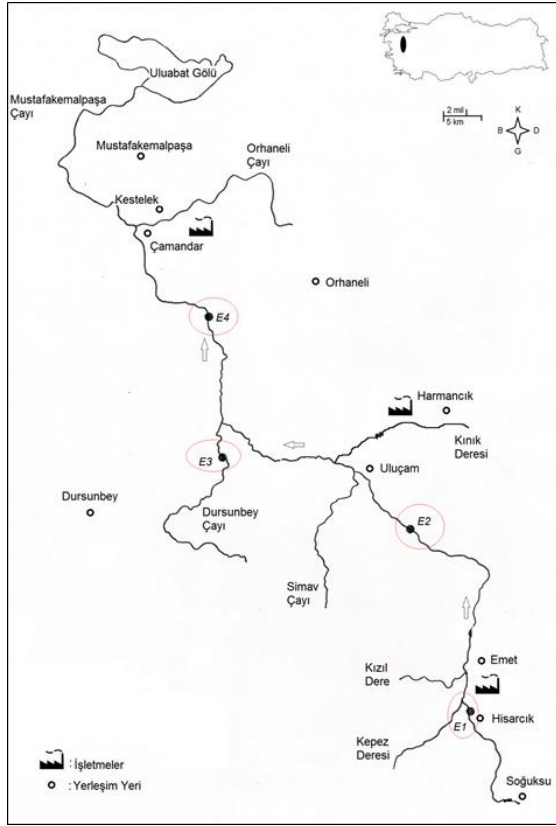
Çalışmamızda daha objektif verilerin temin edilebilmesi ve araştırılan biyoakümüülasyon – total ağırlık ilişkilerinin daha iyi ortaya konulabilmesi için, tüm istasyonlardan, yerel halkın diyetinde önemli yer tutan ve genel olarak tüm havzada rastlanan, aynı tür balıkların temin edilmesine (*S. cii*, *C. tinca* ve *B. oligolepis*) dikkat edilmiştir. Başta karaciğer ve böbrek dokuları olmak üzere ağır metal analizleri için yeterli miktarda örnek temini temel alınarak, tüm istasyonlardan her üç balık türünden de ortalama 7 – 8 adet balık yakalanmıştır. İlkbahar ve sonbahar mevsimlerinde havzadan yeteri kadar *B. oligolepis* örneği temin edilemediği için metal analizlerinde bunlar değerlendirmeye alınmamıştır. Çalışmamızda, farklı mevsimde ve 4 farklı lokaliteden yakalanarak kullanılan toplam balık sayısı 441 adettir (*S. cii*: 164; *C. tinca*: 188; *B. oligolepis*: 89).

Kasım 2010 – Ağustos 2011 tarihleri arasında mevsimlik periyotlarla yapılan arazi çalışmalarında, balık örnekleri Honda marka modifiye jeneratör ile temin edilmiştir. Balık örnekleri naylon poşetler içerisinde ve buz kalıpları arasında muhafaza edilerek laboratuvara getirilmiştir ve gerekli metrik karakterleri kaydedilmiştir. Elde edilen bireylerin boy – ağırlık ilişkisinin belirlenmesi için ağırlıkları (gr) ve total boyları (cm) ölçülerek Lagler [26]'in $W = a \times TL^b$ allometrik büyüme denklemi (a: öncü kondüsyon faktörü; b: boy – ağırlık ilişki katsayısı) hesaplanmıştır.

Emet Çayı Havzası üzerinde yer alan ve balıkların temin edildiği istasyonlar Şekil 1'de verilmiştir.

2.2. Balık Dokularında Element Analizleri

Tüm numunelerden üçlü tekrar şeklinde yapılan toksik element analizlerinde kullanılan dalga boyları Tablo 1'de verilmiştir. Balık dokularında yapılan tüm element analizleri, Türkiye Akreditasyon Kurumu (TURKAK) Akreditasyon Belgesine sahip, Anadolu Üniversitesi Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezinde yapılmıştır.



Şekil 1. Balıkların yakalandığı istasyonlar

Tablo 1. Araştırılan toksik elementlerin dalga boyları.

Element	Dalga boyu (nm)
Nikel (Ni)	231,604
Çinko (Zn)	213,856
Arsenik (As)	193,759
Bor (B)	249,678
Kadmiyum (Cd)	226,502
Bakır (Cu)	324,754
Mangan (Mn)	257,610
Kurşun (Pb)	220,353
Gümüş (Ag)	328,068
Krom (Cr)	205,552

Balık örnekleri buz kalıplar içerisinde muhafaza edilerek laboratuvara getirilmiştir. Tür, cinsiyet, boy ve ağırlık değerleri belirlendikten sonra kas, solungaç, karaciğer ve böbrek 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. Cıva analizleri için örnekler 40 °C'den düşük sıcaklıklarda kurutulmuştur. Etüvde tamamen nemi giderilen numuneler porselen havanda öğütülerek iyice homojen haline getirilmiş ve öğütülmüş materyaller kuru ağırlık çalışması 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 ± 0,1 mL konsantre nitrik asit ve 3 ± 0,1 mL konsantre perklorik asit ilave edilerek karıştırılmış ve CEM Mars Xpress markalı mikrodalga yakma ünitesinde digestion (sindirme) işlemine tabi tutulmuştur. Organik yıkımları biten örnekler soğutulup, santrifüjlendikten sonra filtre kâğıdından süzülerek, hacimleri 100 mL'ye tamamlanmış ve Varian marka ICP-OES 720 ES ile element konsantrasyonları saptanmıştır. Tüm işlemler kör numunelerde de aynı şekilde uygulanmıştır [27, 28].

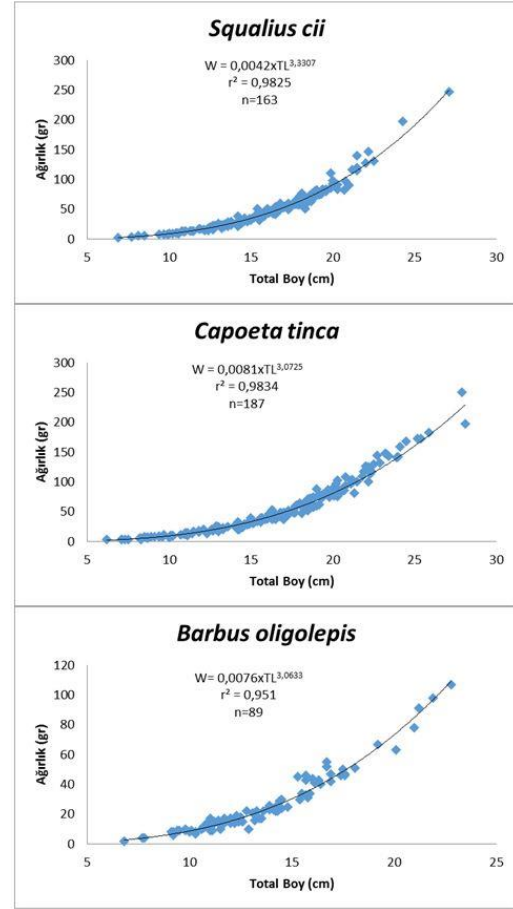
2.3. İstatistiksel Analizler

Elde edilen veriler arasındaki anlamlı ilişkilerin tespiti için kullanılan Pearson Korelasyon Analizleri ve yüksek korelasyonlu verilere uygulanan üç değişkenli ve üç boyutlu regresyon grafikleri, “SPSS 17” istatistik programı kullanılarak, iki boyutlu ve iki değişkenli regresyon grafikleri ise “Microsoft Exel” ofis programı kullanılarak yapılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Metrik Veriler

Tüm araştırma periyodu boyunca, yakalanan balık türlerine ait ortalama boy (standart, çatal, total) ve ağırlık verileri Tablo 2, 3, 4 ve 5’te, Lagler’in boy – ağırlık formülündeki sabitler Tablo 6’da, Emet Çayı Havzası’ndan temin edilen tüm balık türlerinin ağırlık – total boy regresyon hatları ise Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Emet Çayı Havzası balıkları boy – ağırlık regresyon grafikleri

Tablo 2. Emet Çayı Havzasından sonbahar mevsiminde elde edilen balıkların boy – ağırlık verileri

	1. İstasyon				2. İstasyon				3. İstasyon				4. İstasyon			
	Ağırlık (gr)	Boy (cm)			Ağırlık (gr)	Boy (cm)			Ağırlık (gr)	Boy (cm)			Ağırlık (gr)	Boy (cm)		
	Standart	Çatal	Total	Standart	Çatal	Total	Standart	Çatal	Total	Standart	Çatal	Total	Standart	Çatal	Total	
	<i>S. cii</i> (n = 12)				<i>S. cii</i> (n = 9)				<i>S. cii</i> (n = 11)				<i>S. cii</i> (n = 9)			
min	6,00	70,00	78,00	85,00	26,00	107,00	120,00	130,00	9,00	86,00	14,00	102,00	28,00	114,00	126,00	136,00
mak	73,00	155,00	176,00	190,00	78,00	160,00	178,00	188,00	77,00	159,00	178,00	191,00	120,00	182,00	201,00	215,00
ort	23,92	104,25	117,67	127,42	50,00	138,33	154,56	165,11	28,64	113,00	114,55	136,36	61,22	144,22	160,00	172,11
SD	19,85	25,55	28,54	30,66	16,75	16,19	17,64	18,26	19,15	20,21	39,84	24,17	28,20	22,16	24,08	25,45
	<i>C. tinca</i> (n = 11)				<i>C. tinca</i> (n = 12)				<i>C. tinca</i> (n = 10)				<i>C. tinca</i> (n = 12)			
min	15,00	89,00	99,00	110,00	10,00	81,00	91,00	101,00	13,00	87,00	100,00	109,00	9,00	105,00	114,00	127,00
mak	103,00	170,00	187,00	207,00	143,00	193,00	214,00	234,00	130,00	186,00	203,00	225,00	173,00	216,00	234,00	254,00
ort	45,18	133,73	146,82	162,00	58,67	139,67	154,75	171,00	48,00	131,20	145,40	160,60	57,92	142,17	156,17	172,17
SD	28,39	25,07	27,55	29,95	42,02	35,07	38,37	41,13	34,89	26,54	27,84	31,02	52,25	35,73	38,93	41,53

n: örnek sayısı; min: minimum; mak: maksimum; ort: ortalama; SD: standart sapma

Tablo 3. Emet Çayı Havzasından kış mevsiminde elde edilen balıkların boy – ağırlık verileri

	1. İstasyon				2. İstasyon				3. İstasyon				4. İstasyon			
	Ağırlık (gr)	Boy (cm)			Ağırlık (gr)	Boy (cm)			Ağırlık (gr)	Boy (cm)			Ağırlık (gr)	Boy (cm)		
	Standart	Çatal	Total	Standart	Çatal	Total	Standart	Çatal	Total	Standart	Çatal	Total	Standart	Çatal	Total	
	<i>S. cii</i> (n = 9)				<i>S. cii</i> (n = 9)				<i>S. cii</i> (n = 8)				<i>S. cii</i> (n = 10)			
min	16,00	99,00	112,00	121,00	14,00	93,00	105,00	113,00	14,00	93,00	103,00	114,00	34,00	123,00	137,00	149,00
mak	84,00	166,00	184,00	196,00	115,00	183,00	201,00	215,00	76,00	161,00	179,00	193,00	131,00	193,00	210,00	225,00
ort	48,00	136,00	151,00	161,33	58,78	143,11	159,22	170,78	41,63	126,50	140,75	153,50	69,80	151,20	167,00	180,00
SD	19,68	19,61	21,18	22,02	31,18	28,30	30,36	32,31	23,47	25,38	27,41	29,09	28,63	19,44	20,48	21,41
	<i>C. tinca</i> (n = 9)				<i>C. tinca</i> (n = 9)				<i>C. tinca</i> (n = 9)				<i>C. tinca</i> (n = 8)			
min	14,00	97,00	110,00	118,00	10,00	83,00	94,00	102,00	20,00	101,00	111,00	121,00	14,00	92,00	102,00	114,00
mak	114,00	185,00	202,00	223,00	168,00	210,00	225,00	245,00	72,00	159,00	175,00	193,00	132,00	188,00	210,00	229,00
ort	51,56	135,89	150,33	165,44	62,67	139,89	154,67	170,00	37,89	127,56	141,33	155,56	52,00	136,25	150,13	166,88
SD	34,30	30,84	33,12	36,71	49,26	38,53	40,97	44,74	15,95	17,66	20,75	23,42	39,08	30,63	34,93	36,74
	<i>B. oligolepis</i> (n = 5)				<i>B. oligolepis</i> (n = 5)				<i>B. oligolepis</i> (n = 5)				<i>B. oligolepis</i> (n = 6)			
min	9,00	76,00	85,00	94,00	9,00	80,00	90,00	98,00	8,00	77,00	87,00	95,00	8,00	82,00	92,00	103,00
mak	42,00	140,00	154,00	169,00	91,00	175,00	194,00	212,00	51,00	147,00	161,00	181,00	45,00	130,00	143,00	159,00
ort	18,40	99,80	111,00	123,00	36,40	117,60	130,40	142,40	20,20	103,40	113,20	129,20	22,17	103,50	115,00	128,17
SD	13,72	24,15	25,96	28,13	33,22	36,81	40,36	45,11	18,27	29,35	31,71	34,80	14,19	20,97	18,63	22,66

n: örnek sayısı; min: minimum; mak: maksimum; ort: ortalama; SD: standart sapma

Tablo 4. Emet Çayı Havzasından ilkbahar mevsiminde elde edilen balıkların boy – ağırlık verileri

	1. İstasyon				2. İstasyon				3. İstasyon				4. İstasyon			
	Ağırlık (gr)	Boy (cm)			Ağırlık (gr)	Boy (cm)			Ağırlık (gr)	Boy (cm)			Ağırlık (gr)	Boy (cm)		
	Standart	Çatal	Total	Standart	Çatal	Total	Standart	Çatal	Total	Standart	Çatal	Total	Standart	Çatal	Total	
	<i>S. ciü</i> (n = 9)				<i>S. ciü</i> (n = 8)				<i>S. ciü</i> (n = 7)				<i>S. ciü</i> (n = 10)			
min	6,00	65,00	73,00	81,00	13,00	19,00	100,00	109,00	8,00	77,00	85,00	94,00	14,00	92,00	103,00	110,00
mak	73,00	156,00	171,00	186,00	116,00	152,00	195,00	212,00	48,00	136,00	151,00	160,00	111,00	167,00	184,00	199,00
ort	22,33	100,44	112,33	122,67	43,88	108,50	142,00	153,38	22,86	105,29	117,86	127,14	52,30	136,30	151,10	162,70
SD	22,10	29,10	31,60	33,46	33,89	42,35	32,07	34,08	14,84	24,04	26,79	26,80	21,96	21,24	22,67	24,80
	<i>C. tinca</i> (n = 9)				<i>C. tinca</i> (n = 10)				<i>C. tinca</i> (n = 9)				<i>C. tinca</i> (n = 9)			
min	20,00	102,00	114,00	126,00	15,00	90,00	99,00	111,00	9,00	83,00	92,00	102,00	20,00	114,00	128,00	142,00
mak	148,00	191,00	212,00	232,00	250,00	230,00	250,00	279,00	81,00	174,00	190,00	213,00	159,00	200,00	223,00	241,00
ort	50,56	132,11	146,67	161,78	72,60	149,30	165,10	181,80	50,67	137,11	150,89	166,67	69,44	149,67	166,00	182,67
SD	40,25	28,33	31,46	34,04	27,42	27,10	30,20	32,11	26,31	31,39	34,06	37,72	44,63	28,97	32,02	33,60

n: örnek sayısı; min: minimum; mak: maksimum; ort: ortalama; SD: standart sapma

Tablo 5. Emet Çayı Havzasından yaz mevsiminde elde edilen balıkların boy – ağırlık verileri

	1. İstasyon				2. İstasyon				3. İstasyon				4. İstasyon			
	Ağırlık (gr)	Boy (cm)			Ağırlık (gr)	Boy (cm)			Ağırlık (gr)	Boy (cm)			Ağırlık (gr)	Boy (cm)		
	Standart	Çatal	Total	Standart	Çatal	Total	Standart	Çatal	Total	Standart	Çatal	Total	Standart	Çatal	Total	
	<i>S. ciü</i> (n = 13)				<i>S. ciü</i> (n = 12)				<i>S. ciü</i> (n = 11)				<i>S. ciü</i> (n = 15)			
min	22,00	104,00	121,00	133,00	23,00	104,00	116,00	127,00	29,00	120,00	134,00	145,00	31,00	118,00	133,00	144,00
mak	90,00	176,00	194,00	210,00	147,00	194,00	212,00	257,00	83,00	160,00	175,00	190,00	247,00	237,00	259,00	271,00
ort	45,46	133,23	149,54	161,23	67,33	144,83	159,50	175,42	52,82	141,73	156,82	169,36	91,53	162,87	180,40	193,27
SD	21,97	23,26	23,79	25,33	42,13	29,23	31,49	38,15	15,85	12,66	13,57	14,24	61,40	31,10	33,29	33,87
	<i>C. tinca</i> (n = 14)				<i>C. tinca</i> (n = 13)				<i>C. tinca</i> (n = 12)				<i>C. tinca</i> (n = 14)			
min	9,00	75,00	84,00	94,00	24,00	117,00	128,00	142,00	11,00	80,00	88,00	97,00	10,00	92,00	104,00	111,00
mak	141,00	198,00	222,00	239,00	147,00	194,00	213,00	233,00	198,00	233,00	257,00	281,00	183,00	215,00	235,00	259,00
ort	58,29	141,64	157,00	172,29	69,46	150,46	166,46	182,23	82,75	155,33	171,50	189,00	76,00	153,57	169,86	187,36
SD	34,85	33,07	36,59	39,04	41,28	25,48	27,78	29,65	58,46	43,60	47,30	51,44	44,68	31,69	34,20	38,45
	<i>B. oligolepis</i> (n = 7)				<i>B. oligolepis</i> (n = 6)				<i>B. oligolepis</i> (n = 5)				<i>B. oligolepis</i> (n = 7)			
min	14,00	97,00	109,00	117,00	7,00	83,00	93,00	103,00	8,00	74,00	84,00	92,00	10,00	78,00	89,00	98,00
mak	63,00	170,00	185,00	201,00	47,00	139,00	152,00	169,00	22,00	114,00	125,00	133,00	107,00	187,00	206,00	228,00
ort	26,86	119,86	132,29	145,29	21,50	109,67	116,33	128,83	13,60	93,20	103,40	112,60	35,86	116,86	129,14	142,14
SD	16,85	24,83	25,62	28,16	14,77	19,89	22,72	25,57	5,55	15,61	15,63	16,35	35,37	38,55	41,27	46,10

n: örnek sayısı; min: minimum; mak: maksimum; ort: ortalama; SD: standart sapma

Tablo 6. Allometrik büyüme denklemi sabitleri

Tür	a	sh	b	sh
<i>Squalius cii</i>	0,004211	±0,041744	3,330738 Pozitif Allometrik Büyüme	±0,035010
<i>Capoeta tinca</i>	0,008122	±0,035354	3,072501 Pozitif Allometrik Büyüme	±0,029364
<i>Barbus oligolepis</i>	0,007576	±0,083683	3,063344 İzometrik Büyüme	±0,074557

n: ağır metal analizi yapılan örnek sayısı

Elde edilen bireylerin boy-ağırlık ilişkisinin belirlenmesi için ağırlıkları (gr) ve total boyları (cm) ölçülerek Lagler (1966)'in $W = a \times TL^b$ allometrik büyüme denklemi hesaplanmıştır.

Çizilen regresyon hattı üstel eğri formüllerine göre, *S. cii* ve *C. tinca* türlerinin bölgede pozitif allometrik büyüme gösterdiği, *B. oligolepis* türlerinin ise izometrik büyüme gösterdiği tespit edilmiştir. Buna göre, havza balıklarının büyüme tipi, beslenme ve yem değerlendirilme sıralamalarının $S. cii > C. tinca > B. oligolepis$ şeklinde olduğu söylenebilir.

3.2. İstatistiki Veriler – Korelasyon

Araştırma sonucu elde edilen toksik element verileri ile balıkların total ağırlık verileri arasında istatistiki olarak anlamlı ilişkiler olup olmadığını tespit edebilmek için ($p < 0,05$ ya da $p < 0,01$), verilere Pearson Korelasyon Analizi uygulanmış ve veriler arası ilişkilerin daha güvenilir bir biçimde ortaya konulabilmesi amacıyla, tüm mevsim ve istasyonlarda belirlenen sonuçların ortalama değerleri alınarak tamamı analizlerde kullanılmıştır (*S. cii* ve *C. tinca* için $n=16$; *B. oligolepis* için $n=8$). Balık dokularında tespit edilen element seviyeleri ile balıkların ortalama ağırlıkları arasındaki ilişkiler ve tespit edilen tüm anlamlı korelasyon katsayıları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Tespit edilen ilişkiler ve korelasyon katsayıları

Dokular	Elementler									
	Ni	Zn	As	B	Cd	Cu	Mn	Pb	Ag	Cr
<i>S. cii</i> (n = 16)										
kas	,853**	-	,738**	-	,824**	,572*	-	,859**	,837**	,918**
solungaç	,853**	-	,674**	-	,891**	,781**	-	,593*	,823**	,925**
karaciğer	,900**	,604*	,598*	-	,884**	,625**	-	,782**	,908**	,920**
böbrek	,899**	,539*	,595*	-	,893**	,510*	-	,715**	,900**	,914**
<i>C. tinca</i> (n = 16)										
kas	,716**	-	,578*	,517*	-	-	,519*	-	,597*	-
solungaç	,817**	-	,688**	,541*	,627**	-	,673**	,592*	-	,640**
karaciğer	,777**	-	,611*	,709**	-	-	,617*	,686**	,777**	-
böbrek	,753**	-	,594*	,698**	-	,523*	,616*	,693**	,767**	-
<i>B. oligolepis</i> (n = 8)										
kas	,759*	-	-	-	-	,785*	-	-	-	-
solungaç	,753*	-	-	-	-	-	-	-	-	,714*
karaciğer	,792*	-	-	-	-	,722*	-	-	,778*	,849**
böbrek	,810*	-	-	-	-	-	-	,808*	,756*	,846**

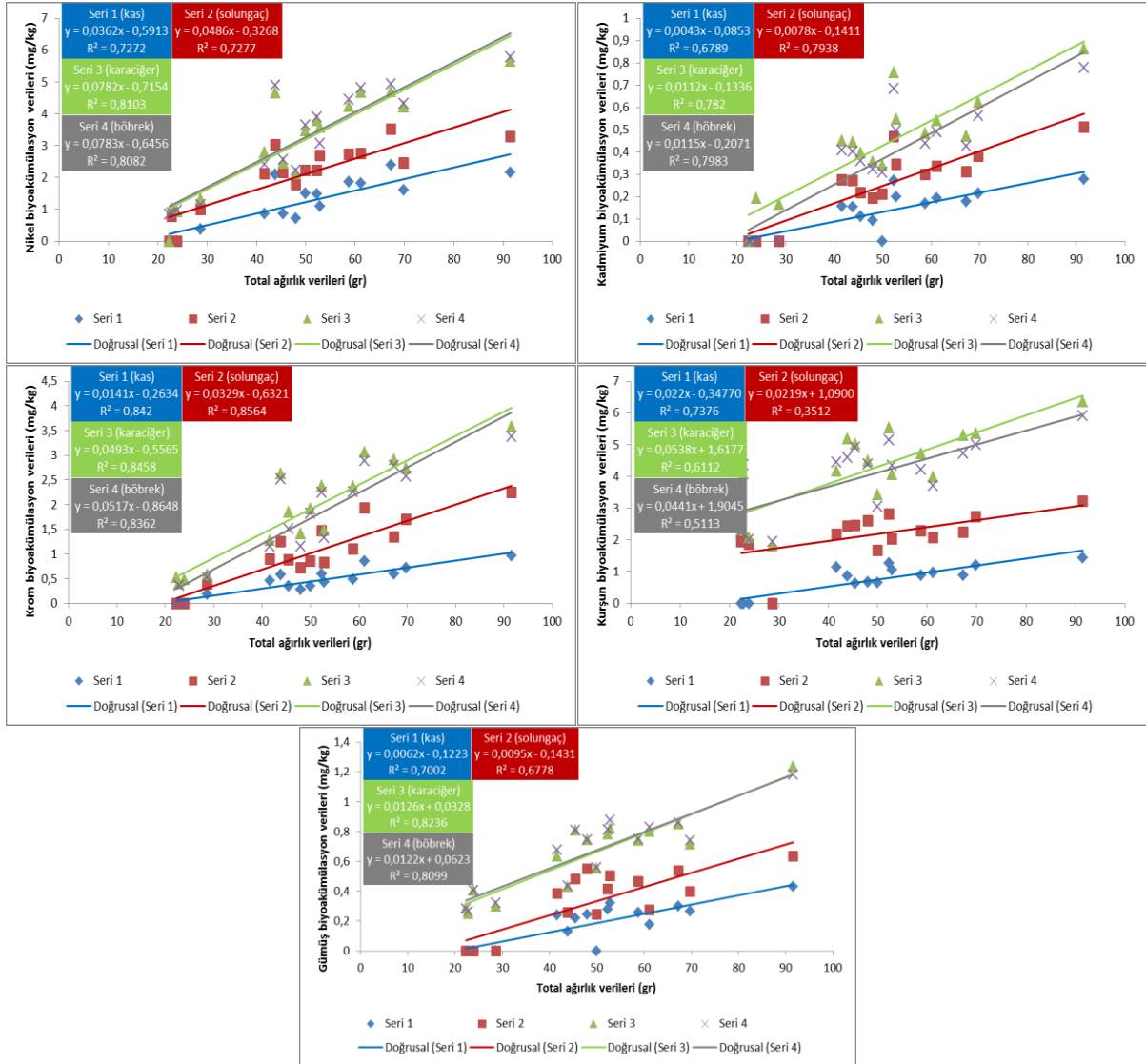
*: korelasyon 0,05 seviyesinde önemli ($p < 0,05$); **: korelasyon 0,01 seviyesinde önemli ($p < 0,01$); -: istatistiki olarak anlamlı ilişki tespit edilemedi; n: örnek sayısı

Elde edilen verilere göre, *S. cii* türünün ağırlıkları ile kas dokularında tespit edilen nikel, arsenik, kadmiyum, kurşun, gümüş ve krom arasında, solungaç dokularında tespit edilen nikel, arsenik, kadmiyum, bakır, gümüş ve krom arasında, karaciğer dokularında tespit edilen nikel, kadmiyum, bakır, kurşun, gümüş ve krom arasında, böbrek dokularında tespit edilen nikel, kadmiyum, kurşun, gümüş ve krom arasında; *C. tinca* türünün ağırlıkları ile kas dokularında tespit edilen nikel arasında, solungaç dokularında tespit edilen nikel, arsenik, kadmiyum, mangan ve krom arasında, karaciğer ve böbrek dokularında tespit edilen nikel, kadmiyum, gümüş ve krom arasında; *B. oligolepis* türünün ağırlıkları ile kas dokularında tespit edilen nikel arasında, karaciğer ve böbrek dokularında tespit edilen krom arasında pozitif olmak üzere 0,01 seviyesinde önemli korelasyonlar kaydedilmiştir.

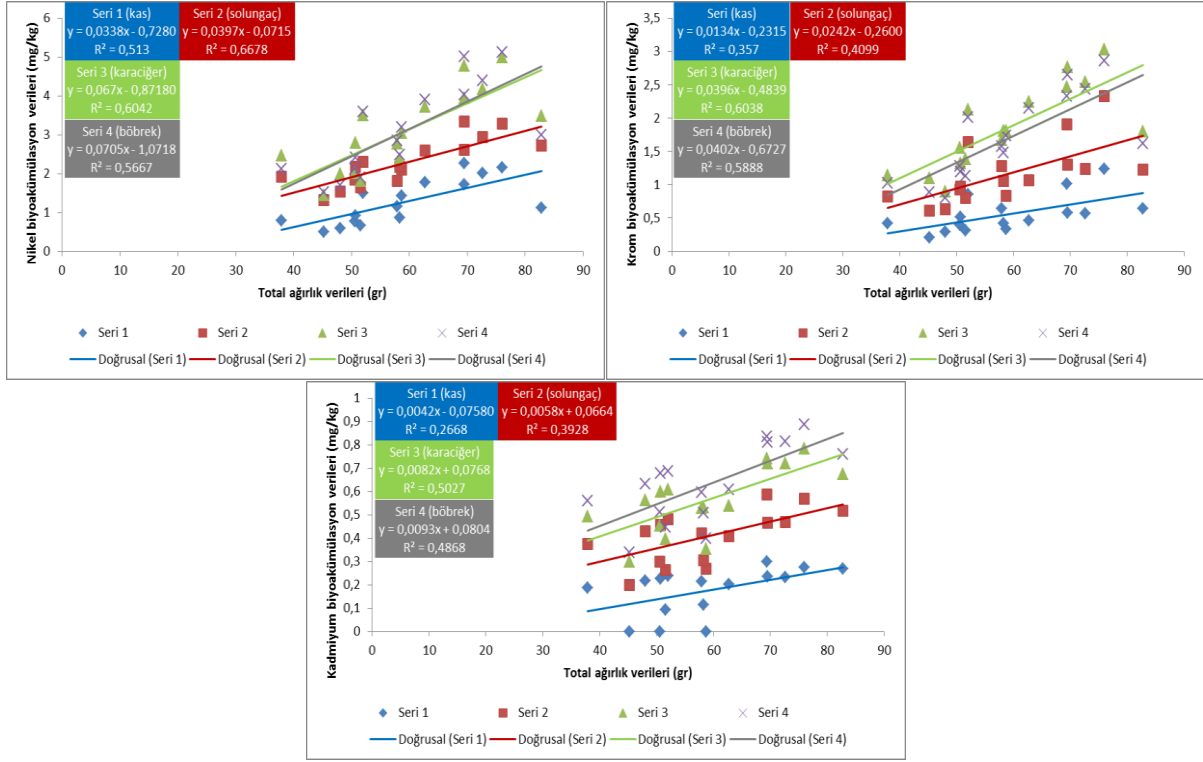
3.3. İstatistikî Veriler – Regresyon

3.3.1. İki değişkenli regresyonlar

Yüksek korelasyon gösteren parametrelerin iki boyutlu ve iki değişkenli regresyon hattı grafikleri çizilmiş ve elde edilen doğrusal ilişkilerin formülleri her bir diyagramda ayrı ayrı belirtilmiştir. Buna göre, *S. cii* türünün dokularında tespit edilen nikel, krom, kadmiyum, kurşun ve gümüş biyoakümülyasyon seviyeleri ile total ağırlıkları arasındaki regresyon hattı grafikleri Şekil 3'te, *C. tinca* türünün dokularında tespit edilen nikel, krom ve kadmiyum biyoakümülyasyon seviyeleri ile total ağırlıkları arasındaki regresyon hattı grafiği ise Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. *S. cii* türü dokularındaki bazı metal seviyeleri ile total ağırlıkları arasındaki regresyonlar



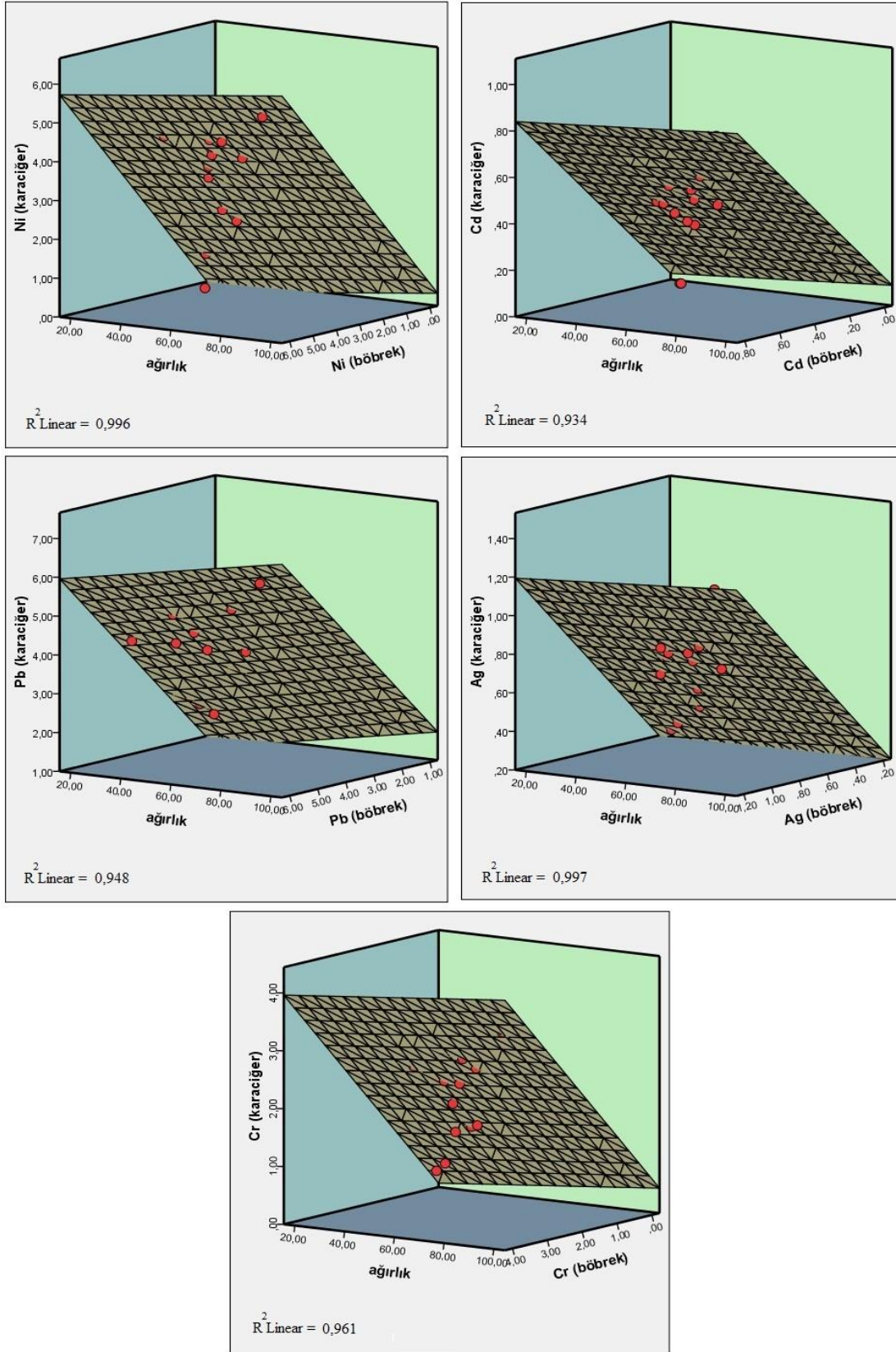
Şekil 4. *C. tinca* türü dokularındaki bazı metal seviyeleri ile total ağırlıkları arasındaki regresyonlar

3.3.2. Üç değişkenli regresyonlar

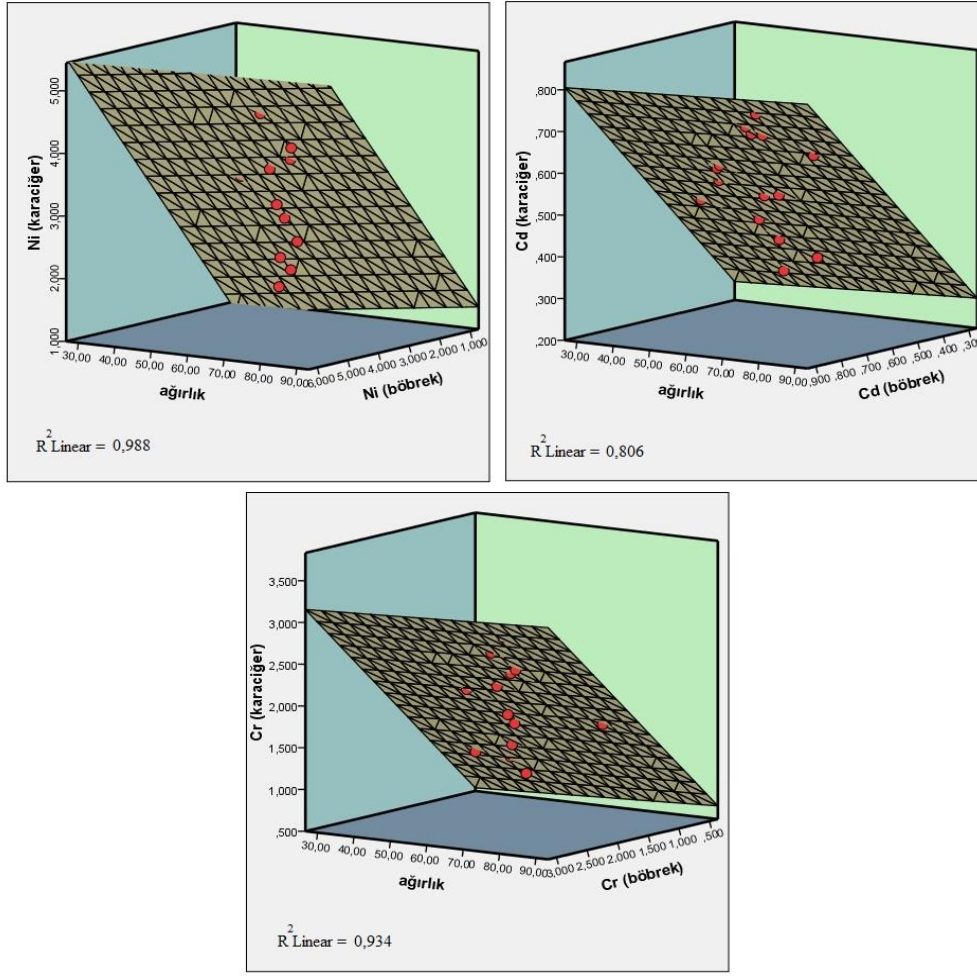
Balık dokularında tespit edilen element biyoakümülasyonları ile balık ağırlıkları arasında kaydedilen bazı yüksek korelasyonlu ilişkiler temel alınarak üç boyutlu ve üçer değişkenli regresyon hattı grafikleri dizayn edilmiştir. Diyagram değişkenlerinden, balık türlerinin ağırlık verileri bağımsız değişken, karaciğer ve böbrek dokularında tespit edilen element biyoakümülasyonları ise bağımlı değişkenler olarak kabul edilerek *S. cii* türünde beş element, *C. tinca* türünde ise üç element ile ağırlık verileri arasında çok yüksek regresyon katsayılarına sahip kuvvetli ilişkiler kaydedilmiştir. *S. cii* türünün ağırlık verileri ile karaciğer ve böbrek dokuları arasında tespit edilen ilişkiler Şekil 5'te, *C. tinca* türünün ağırlık verileri ile karaciğer ve böbrek dokuları arasında tespit edilen ilişkiler ise Şekil 6'da verilmiştir.

S. cii örneklerinde belirlenen ağırlık verileri ile karaciğer ve böbrek dokularındaki krom, nikel, kadmiyum, kurşun ve gümüş biyoakümülasyonları arasında, her birinin regresyon katsayısı 0,9'dan büyük olmakla birlikte kuvvetli linear ilişkiler tespit edilmiştir. *S. cii* türü karaciğer ve böbrek dokularındaki element birikimleri ile ağırlık verileri arasında tespit edilen en yüksek ilişkiler ise nikel ve gümüş elementleri için kaydedilmiştir ($R^2=0,99$).

C. tinca örneklerinde belirlenen ağırlık verileri ile karaciğer ve böbrek dokularındaki nikel, krom ve kadmiyum biyoakümülasyonları arasında kuvvetli linear ilişkiler tespit edilmiştir. *C. tinca* türü karaciğer ve böbrek dokularındaki element birikimleri ile ağırlık verileri arasında tespit edilen en yüksek ilişki, 0,98 regresyon katsayısı ile nikel elementi için kaydedilmiştir.



Şekil 5. *S. cii* türünde ağırlık – karaciğer ve böbrek dokuları element birikim ilişkileri



Şekil 6. *C. tinca* türünde ağırlık – karaciğer ve böbrek dokuları element birikim ilişkileri

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

B. oligolepis türlerinin kas dokularındaki krom akümülyasyonları hariç üç balık türünün de tüm dokularındaki nikel ve krom akümülyasyonlarının, *C. tinca* türlerinin solungaç ve böbrek dokularındaki mangan akümülyasyonlarının, *S. cii* türlerinin tüm dokularındaki ve *B. oligolepis* türlerinin kas ve karaciğer dokularındaki bakır akümülyasyonlarının ve *S. cii* türlerinin karaciğer ve böbrek dokularındaki çinko akümülyasyonlarının ağırlık verileri ile anlamlı pozitif ilişkiye sahip olduğu; *C. tinca* türlerinin kas dokularındaki çinko akümülyasyonlarının ise ağırlık verileri ile anlamlı negatif ilişkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca iki bağımlı ve bir bağımsız değişken kullanılarak yapılan üç boyutlu regresyon grafiklerine göre *S. cii* ve *C. tinca* türlerinin karaciğer ve böbrek dokularında tespit edilen Cr ve Ni verileri ile ağırlık verileri arasında kuvvetli linear ilişkiler tespit edilmiştir ($R^2 > 0,9$).

Balıklarda yenebilen doku kas olduğu için kaslarda biriken metaller kolayca insana geçebilmektedir. Bu yüzden çeşitli kuruluşlar (FAO, WHO, EPA gibi) ve ülkelerin gıda işlerinden sorumlu kuruluşları (TGK gibi) metallerin bazılarının balık kaslarında bulunması gereken limit değerleri belirlemişlerdir. Yapılan çalışmalara ve mevcut literatür bilgilerine göre, kas dokusunun metalleri bağlamada aktif bir yapısının olmadığı bilinmektedir [29 – 33]. 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 sedimentteki 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.

İnsani tüketim amaçlı kullanılan balıklarda, genellikle türün büyük bireylerinin tercih edildiği düşünülürse, toksik metallerin yaşa göre sergilediği biyoakümülyasyon oranlarının bilinmesi daha büyük önem arz etmektedir.

Çalışmamızda kas dokularında kaydedilen, ağır metal birikimleri ile balık ağırlıkları arasındaki önemli pozitif korelasyonlar, insan diyetinde önemli yere sahip olan balıkların, ağır metaller açısından insan sağlığı üzerindeki risklerini bir kez daha ortaya koymaktadır. Su ile tam temas halinde olan solungaçlar, balıkların gaz değişim organlarıdır ve bu değişim sırasında solungaç filamentleri ağır metaller ile etkileşim haline geçerler. Bu nedenle, suda ve solungaç dokularında tespit edilen ağır metal konsantrasyonları arasında yakın bir ilişki vardır ve solungaçlar ekotoksikoloji çalışmalarında yaygın olarak kullanılırlar [34 – 37].

Metaller (letal olmayan konsantrasyonlarda) özellikle de balıklar ağır metallere uzun süre maruz kaldıklarında metabolik olarak aktif dokularda akümüle olurlar. Detoksifikasyon mekanizmaları genel olarak balıklarda aynıdır ve metaller vücuda girdiğinde, öncelikle ağır metal iyonları ile kompleksler meydana getiren metallothionein proteinlerine bağlanır. Balıkların detoksifikasyon organları olan karaciğer, çok sayıda metallothionein proteini içermektedir. Bu nedenle karaciğer dokusu özellikle toksik metalleri diğer dokulardan çok daha fazla akümüle eder. Böbrekler, ağır metal detoksifikasyonunda ikinci çıkış yoludur ve metallerin toksik etkilerini azaltırlar [38 – 41]. Karaciğer ve böbrek dokularında tespit edilen yüksek toksik metal biyoakümülyasyonları, bu dokulardaki bazı hayati önem taşıyan biyokimyasal parametrelerin düşüşüne neden olabilir. Buda, önemli karaciğer ve böbrek hasarlarına ve dolayısıyla balık sağlığının olumsuz etkilenmesine neden olabilir [42, 43].

Birçok çalışmada görüldüğü gibi, farklı balık türleri, farklı fizyolojik yapıları ve ağır metallere maruz kalma sürelerindeki farklılıklar, ağır metallerin farklı dokularda farklı miktarlarda akümüle olmalarına neden olabilir [44 – 50]. Çalışmamızda incelenen 3 balık türünün de kas, solungaç, karaciğer ve böbrek dokularında toksik metal birikimleri ile ağırlıkları arasında, farklı seviyelerde önemli ilişkiler tespit edilmiştir. Genel olarak 3 balık türünde de, farklı dokularında tespit

edilen ağırlığa bağlı metal biyoakümülyasyonları karaciğer > böbrek > kas > solungaç şeklindedir. Bu durum, yukarıda bildirilen literatür bilgilerine göre, Emet Çayı Havzası balıklarında incelenen ağır metallerin, ağırlığa bağlı birikim seviyelerinin en büyük olumsuz etkisinin, balık sağlığı üzerine olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca kas dokularında tespit edilen toksik metal birikimleri ile balık ağırlıkları arasındaki önemli pozitif ilişkiler, balık yaşına bağlı birikim seviyelerinin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini de ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada metal birikimi tespit edilen türler ticari balıkçılıkta kullanılan türler değildir. Ülkemiz de akarsularda ki balıkların avlanarak ticari gelir elde edilmesi de yasaktır. Bu sebeple çalışmada ki türlerin ticari avcılığı yapılamamaktadır. Ülkemizde ve Dünyadaki herhangi bir kuruluşta bu türlerin yenilebilir dokularında ki metal birikim seviyeleri ile ilgili bir sınır değer belirlenmemiştir. Ancak bu çalışma konusu olan türler bölgede sportif balıkçılar tarafından yakalanarak ticari amaç olmaksızın insan gıdası olarak kullanılmaktadır. Bu türler hakkında metal birikimleri hakkında literatürde bir sınır değer olmasa da bölge halkı tarafından gıda olarak kullanılarak Emet çayındaki metal kirliliğinin bölge insanına ulaşmasına sebep olmaktadır. Bu çalışma ile bu türlerin metal birikimleri açısından insan sağlığı için potansiyel riskler taşıdığı gösterilmiştir. Yapılan analizler sonucu yenilebilir dokudaki metal birikiminin boy ve ağırlıkça büyümeye bağlı olarak arttığı tespit edilerek büyük boylu balıkların insan sağlığı açısından daha fazla olumsuz etkiye sahip olabileceği belirtilmiştir. Balıklar metalleri ya sudan (suya temas eden solungaç, deri gibi dokularıyla) ya da besin yoluyla almaktadırlar. Boyca ve ağırlıkça büyük balıkların hem zamansal olarak hem de besin yoluyla metal alımına daha çok maruz kaldıkları için bu beklenen bir durumdur. Ancak bu çalışma ile bu durum metal bazında ve doku karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Yenilebilir balıklardaki metal birikimleri insan sağlığı açısından önemli olduğu kadar; bölgenin ekolojik sağlığı ve biyoçeşitlilik açısından da önemlidir. Yapılan bu çalışma ile bölgenin ekolojik dengesinde ve ihtiyoçeşitliliğinde önemli yeri olan türlerde ki metal birikimleri doku bazında ortaya konmuştur. Bu veriler ileriki yıllarda yapılacak ekolojik ve biyoçeşitlilik izleme çalışmalarındaki izlenmesi gereken riskleri

ortaya konması açısından da önem arz etmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Cem TOKATLI'nın "Emet Çayı Su, Sediment ve Bazı Balık Türlerinde Ağır Metal Birikimlerinin Araştırılması" isimli doktora çalışmasından üretilmiştir.

5. KAYNAKÇA

[1] Wildi W, Domink J, Thomas, R. L., Favarger, P, Haller, L., Perroud, A. ve Peytreman, C. River, Reservoir and Lake Sediment Contamination by Heavy Metals Downstream from Urban Areas of Switzerland. Lakes & Reservoirs: Research and Management, 9: 75-87, 2004.

[2] 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.

[3] 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.

[4] 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.

[5] Özmen H, Külahçı F, Çukurovalı A ve Doğru M. Concentrations of heavy metal and Radioactivity in Surface Water and Sediment of Hazar Lake (Elazığ, Turkey) Chemosphere 55, 401-408, 2004.

[6] Atıcı T, Ahiska S, Altındağ S and Aydın D. Ecological effects of some heavy metals (Cd, Pb, Hg, Cr) Pollution of phytoplanktonic algae and zooplanktonic Organisms in Sarıyar Dam Reservoir in Turkey. African Journal of Biotechnology Vol. 7 (12), pp. 1972-1977, 2008.

[7] Hongyi, N., Wenjing, D., Qunhe, W. ve Xingeng, C., Potential Toxic Risk of Heavy Metals from Sediment of the Pearl River in South China, Journal of Environmental Sciences 21(2009) 1053-1058, 2009.

[8] Mendil, D. and Uluözlü, Ö. D. Determination of Heavy Metals in Sediment and Fish Species from Lakes in Tokat, Turkey. Food Chem. 101, 739-745, 2007.

[9] Arslan, N., Koç, B., Çiçek, A., Emiroğlu, Ö. and Malkoç, S. Uluabat Gölü Bazı Biyotik ve Abiyotik Ögelerinde Gümüş Birikimi. Türkiye Sulak Alanlar Kongresi, Eski Karaağaç Köyü, Bursa, 22-23 Mayıs 2009, 2009.

[10] Türkmen, M. and Ciminli C. Determination of Metals in Fish and Mussel Species by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry. Food Chemistry, 103: 670-675, 2007.

[11] <http://www.etimaden.gov.tr>

[12] Çöl M, Çöl C. Environmental Boron Concentration Inwaters of Hisarcik Area in the Kütahya Province of Turkey. Food Chem. Toxicol., 41, 1417, 2003.

[13] Helvacı C. Batı Anadolu'da Arsenik ve Bor Mineralleri İlişkisi ve İnsan Sağlığına Etkileri. 1. Tıbbi Jeoloji Sempozyumu Kitabı, MTA Kültür Sitesi, Ankara, 74-92 s, 2005.

[14] Bebek MT. Uluabat Gölü ve Gölü Besleyen Su Kaynaklarında Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, 2001.

[15] Anonim. Uluabat Gölü ve Havzasında Çevre Etkileri, Projelerimiz ve Ramsar Uygulamaları. DSİ. 1. Bölge Müdürlüğü Çalışma Raporu, Bursa, 1-7, 1999.

[16] National Research Council (U.S.). Drinking Water and Health. Washington, DC, National Academy of Sciences, 1977.

[17] Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Metal Madenler Alt Komisyonu Krom Çalışma Grubu Raporu. DPT: 2626-ÖİK: 637, Ankara, 2001.

[18] <http://www.etigumus.com.tr/>

[19] <http://www.mta.gov.tr/>

[20] Freyhof J and Kottelat M. Squalius cii. In: IUCN 2011. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.2. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 18 May 2012, 2008.

- [21] <http://www.iucnredlist.org>
- [22] Berg LS. Freshwater fishes of the U.S.S.R. and Adjacent Countries. Volume 2, 4th Edition. Israel Program for Scientific Translations Ltd, Jerusalem. (Russian Version Published 1949), 1964.
- [23] Turan D, Kottelat M, Ekmekçi FG and Imamoglu HO. A review of *Capoeta tinca*, with Descriptions of Two New Species from Turkey (Teleostei: Cyprinidae). Rev. Suisse de Zoologie 113 (2):421-436, 2006.
- [24] <http://www.fishbase.org>
- [25] Turan D, Kottelat M and Ekmekçi FG. *Barbus niluferensis*, a new species of barbel (Teleostei: Cyprinidae) from Nilüfer River, Turkey, with Re-Description of *B. oligolepis*. Zootaxa 1981:15-28, 2009.
- [26] Lagler KF. Freshwater Fishery Biology. W. M. C. Brown Company, Iowa, 421 pp, 1966.
- [27] ASTM. Preparation of Biological Samples for Inorganic Chemical Analysis 1. Annual Book of ASTM Standards, D-19, pp. 740- 747, 1985.
- [28] 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.
- [29] Kayhan F. E., Muşlu MN, Koç ND. Bazı Ağır Metallerin Sucul Organizmalar Üzerinde Tarattığı Stres ve Biyolojik Yanıtlar. J. Fish. Sci., 3(2): 153-162, 2009.
- [30] 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.
- [31] Tokatlı C, Köse E, Çiçek A, Arslan N, Emiroğlu Ö. Evaluation of Water Quality and the Determination of Trace Elements on Biotic and Abiotic Components of Felent Stream (Sakarya River Basin/Turkey). Biological Diversity and Conservation, 5 (2): 73-80, 2012.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] Canlı 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.
- [36] Altındağ A and Yiğit S. Assessment of Heavy Metal Concentrations in the Food Web of Lake Beyşehir, Turkey. Chemosphere 60, 552–556, 2005.
- [37] 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.
- [38] Kargın E ve Erdem C. Bakır-Çinko Etkileşiminde *Tilapia nilotica*'nın Karaciğer, Kas ve Solungaç Dokularındaki Metal Birikimi. Doğa Tr. Journal of Zoology, 16, 343-348, 1992.
- [39] Kalay M ve Erdem C. Bakırın *Tilapia nilotica*'da Karaciğer, Böbrek, Solungaç, Kas, Beyin ve Kan Dokularındaki Birikimi ile Bazı Kan Parametreleri Üzerine Etkileri. Turkish Journal of Zoology, 19, 27-33, 1995.
- [40] 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 Bulletin, 5, 107-112, 1996.
- [41] Vinodhini R and Narayanan M. Bioaccumulation of Heavy Metals in Organs of Fresh Water Fish *Cyprinus carpio* (Common carp). International Journal of Environmental Science and Technology 5 (2), 179-182, 2008.

[42] Mayers TR and Hendricks JD. Histopathology. In GM Rand, S.R. Petrocelli, Eds. *Fundamental of Aquatic Toxicology*, Washington DC. Hemisphere, 1984.

[43] Ferguson HW. *Systematic Pathology of Fish*. Ames. IA: Iowa State University, Press, 1989.

[44] Canli M, Ay Ö and Kalay M. Levels of Heavy Metals (Cd, Pb, Cu, Cr and Ni) in Tissues of *Cyprinus carpio*, *Barbus capito* and *Chondrostoma Regium* from the Seyhan River, Turkey. *Turkish Journal of Zoology* 22: 149-157, 1998.

[45] Cid BP, Boia C, Pombo L and Rebelo E. Determination of Trace Metals in Fish Species of the Ria de Aveiro (Portugal) by Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry. *Food Chemistry*. 75, 93–100, 2001.

[46] Karadede H, Oymak SA and Ünlü E. Heavy Metals in Mullet, Liza abu, and Catfish, *Silurus triostegus*, from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey. *Environment International*., 183–188, 2004.

[47] Mendil D, Ünal FO, Tüzen F ve Soylak M. Determination of trace metals in different fish species and sediments from the River Yesilirmak in Tokat, Turkey. *Food and Chemical Toxicology* 48 (2010) 1383–1392, 2010.

[48] Al-Weher SM. Levels of Heavy Metal Cd, Cu and Zn in Three Fish Species Collected from the Northern Jordan Valley, Jordan. *Jordan Journal of Biological Sciences*, Volume 1, Number 1, Pages 41-46, 2008.

[49] Sen I, Shandil A and Shrivastava VS. Study for Determination of Heavy Metals in Fish Species of the River Yamuna (Delhi) by Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES). *Advances in Applied Science Research*, 2 (2): 161-166, 2011.

[50] 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.