


Türkiye'nin Karadeniz Kıyılarında Ekonomik Öneme Sahip Bazı Balık Türleri için Balık Ağırlığı ile Ağır Metal Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyonların Belirlenmesi

Evrım Sibel ÖNEL^{1*}, Mustafa TÜRKMEN², Erkan KALIPCI³

Öz

Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi'nde 8 İl'de yürütülen bu çalışmada, ekonomik önemi olan 7 tür balığın kas dokularında tespit edilen mineral madde ve ağır metal derişimleri induktif eşleşmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS) ile ölçülmüştür. Balık ağırlığı ile konsantrasyonlar arasındaki korelasyonlar Pearson Korelasyon Analizi ile $p<0.05$ ve $p<0.01$ düzeylerinde, istatistiki olarak anlamlı ilişkiler belirlenerek, daha önce yapılan çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Genel olarak tür ve istasyonlar dikkate alınmadan yapılan korelasyon analizlerinde balığın ağır metal yükü, absorpsiyon verileri ile balığın biyolojik ağırlığı arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Balık ağırlığı ile K, Mg, P, Cu, Se pozitif yönlü ve anlamlı ($p<0.01$); Ca, Na, Al, B, Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Si, Zn negatif yönlü ve anlamlı ($p<0.01$); ve balık ağırlığı-As arasında ise negatif yönlü ve anlamlı ($p<0.05$) korelasyonlar bulunmuştur. Ağırlık ile Hg arasında pozitif; Fe arasında ise negatif yönlü olan korelasyonun önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($p>0.05$).

Anahtar Kelimeler: Ağır metaller, Balık ağırlığı, Korelasyon, Karadeniz.

Determination of Correlations Between Fish Weight and Heavy Metal Concentrations for Some Fish Species of Economic Importance in the Black Sea Coast of Türkiye

Abstract

In this study conducted in 8 cities in the Black Sea Region of Turkey, mineral substance and heavy metal concentrations detected in the muscle tissues of 7 species of economically important fish were measured by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Correlations between fish weight and concentrations were determined by Pearson Correlation Analysis at $p<0.05$ and $p<0.01$ levels, and statistically significant relationships were determined and compared with the results of previous studies. In general, in the correlation analyses carried out without considering the species and stations, the heavy metal load of the fish was evaluated in terms of the relationship between the absorption data and the biological weight of the fish. The heavy metal concentrations showed a positive and significant correlation between fish weight and K, Mg, P, Cu, Se ($p<0.01$); a negative and significant correlation between fish weight and Ca, Na, Al, B, Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Si, Zn ($p<0.01$); a negative and significant correlation between fish weight and As. It was determined that both the positive correlation between weight and Hg and the negative correlation between weight and Fe were insignificant ($p>0.05$).

Keywords: Heavy metals, Fish weight, Correlation, Black Sea.

¹Giresun Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Giresun, Türkiye, sibel.onel@giresun.edu.tr

²Giresun Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Giresun, Türkiye, mustafa.turkmen@giresun.edu.tr

³Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Giresun, Türkiye, erkankalipci@gmail.com

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 26.12.2023

Kabul/Accepted: 29.04.2024

Yayın/Published: 15.09.2024

1. Giriş

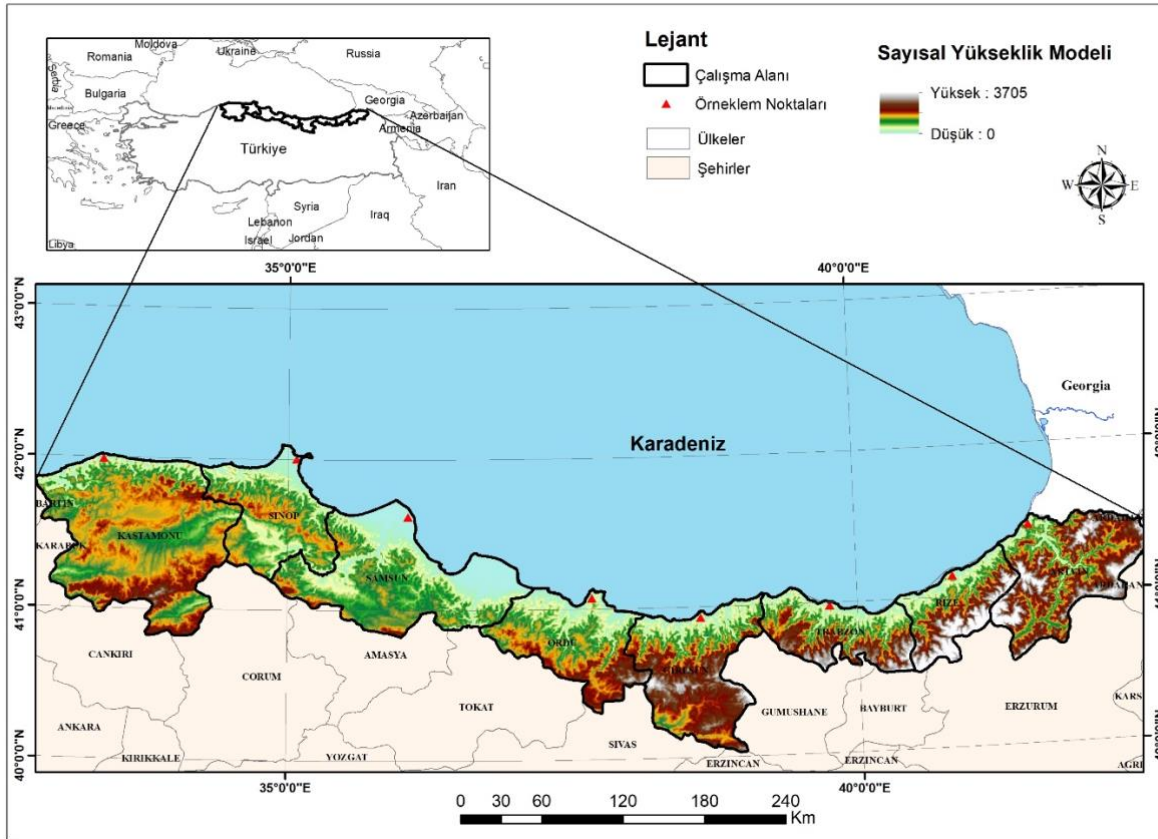
Endüstriyel gelişme ile birlikte metal kullanımındaki artış, ağır metal kirliliğini önemli bir çevre sorunu olarak ortaya koymaktadır. Günümüzde ağır metaller, çevrenin başlıca kirleticileridir ve endüstrinin yoğun olduğu bölgelerde okyanuslar, göller ve nehirler gibi su sistemleri için hızla büyüyen bir sorun haline gelmiştir. (Aras ve ark., 2017; Kalıpcı ve Namal, 2018). Ağır metaller uzun süre bozulmadıkları için suda, sedimentte ve sucul organizmaların bünyesinde depolanırlar. Vücuttaki birikim ve besin zincirine katılım sonucu uzun süre aktif kalır ve tolerasyon sınırını geçtiğinde ise toksik etki yaparlar (Kahvecioğlu ve ark., 2003; Özbolat ve Tuli, 2016). Çevresel kalıcılığı olan ağır metaller biyolojik olarak sucul biyota ve besin zincirinde solunum, adsorpsiyon ve yutma yoluyla birikebilmektedir. Bu nedenle ağır metaller, tüm canlı organizmalar için yüksek toksisiteye sahiptir ve biyolojik olarak parçalanamadıkları için de önemli sağlık sorunlarına neden olmaktadır (Türkmen ve Öğütçü, 2020; Ustaoglu ve Islam, 2020; Cüce ve ark., 2022a; Cüce ve ark., 2022b).

Balıklar, yüksek protein ve doymamış omega yağ asitleri içermesi nedeniyle yaygın olarak tüketilen deniz ürünlerinden biri haline gelmiştir (Töre ve ark., 2021; Burger ve Gochfeld, 2005; Türkmen ve ark., 2009). Protein kaynağı olarak bol miktarda deniz ürünlerinin tüketimi, özellikle kıyı sakinleri için potansiyel sağlık risklerine yol açabilmektedir (Guérin ve ark., 2011; Raknuzzaman ve ark., 2016; Türkmen ve ark., 2018; Liu ve ark., 2018; Liu ve ark., 2019; Kalıpcı ve ark., 2023). Balıkların eser metallere uzun süre maruz kalması balıkta toksik etkiye ve bu balıkların insanlar tarafından tüketilmesi üreme ve hematolojik etkilere, kardiyovasküler hastalıklara, sinir sistemi bozukluklarına, gelişimsel anomalilere, karaciğer ve böbrek hasarına ve kansere neden olabilmektedir (Singh ve Kumar, 2017; Türkmen ve Öğütçü, 2020; Qu ve ark., 2018). TEPGE'nin 2022 Su Ürünleri Ürün Raporu'na göre; 2019 yılında hayvansal protein ihtiyacının %17'sinin balıktan karşılandığı tespit edilmiştir (Çöteli, 2022). Türkiye balık üretiminin %76'sı ise bu çalışmada araştırma alanı olarak seçilen Karadeniz'den karşılanmaktadır (Sirkecioğlu, 2002). Protein kaynağı olan balıkların insanlar tarafından gıda olarak tüketilmesi ve tüketiminin sağlık açısından risk oluşturması nedeniyle kas dokusunun analizi oldukça önemlidir. Ağır metallerin sucul organizmalardaki biyolojik birikimi bu metallerin mevcut ekosistemdeki konsantrasyonuna, maruz kalma sürelerine, metal çeşidine, organizmanın büyüklüğüne, yaşına, beslenme alışkanlıklarına, metalleri sindirme yeteneklerine bağlıdır (Tokatlı ve ark., 2016; Bat ve ark., 2017). Balıkların yaşı ile paralel artış gösteren ağırlıkları, dokulardaki toksik element biyoakümüülasyonlarında önemli bir faktördür. Balıklar; metalin çeşidine göre ağır metalleri farklı dokularda farklı miktarlarda biriktirdiğinden balık ağırlığı ve absorpsiyon arasındaki korelasyon ilişkisi büyük önem arz etmektedir (Tokatlı ve ark., 2016; Düşükcan ve ark., 2017). Bu nedenle yapılan bu çalışmada; Türkiye'de balıkçılık sektörünün en önemli kaynağı olan

Karadeniz'de yaygın olarak tüketilen balık türlerinin ağırlığı ile mineral madde ve ağır metallerin kas dokudaki birikimi arasındaki korelasyon ilişkisi belirlenerek, risk seviyeleri değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma alanı olarak seçilen Karadeniz Bölgesi'nde; Artvin, Rize, Trabzon, Giresun, Ordu, Samsun, Sinop ve Kastamonu olmak üzere toplamda 8 il'de örnekleme çalışmaları yapılmıştır (Şekil 1). Türkiye genelinde yoğun olarak tüketilen ve ekonomik değere sahip olan; barbun (*Mullus barbatus*), çinekop (*Pomatomus saltatrix*), hamsi (*Engraulis encrasicolus*), istavrit (*Trachurus trachurus*), kefal (*Mugil cephalus*), mezigit (*Merlangius merlangus*) ve palamut (*Sarda sarda*) balık örneklemeleri 2021 yılı Eylül ve Ekim ayları içerisinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın objektif veriler ortaya koyabilmesi ve güvenilirliği için tüm istasyonlarda, kefal ve palamut için 5'er adet, diğer balık türlerinden ise 10'ar adet örnekleme yapılmış olup 7 tür ve 8 il için toplamda 480 adet balık ile çalışmalar yürütülmüştür.



Şekil 1. Çalışma alanı ve örnekleme istasyonları haritası.

Çalışmada kullanılan balık türlerinin ortalama boy ve ağırlıkları Tablo 1'de gösterilmiştir. Örneklerin soğuk zincir ile laboratuvara getirilmesinin ardından total boy ve ağırlık ölçümleri yapılarak kaydedilmiştir. Laboratuvara getirilen balık türlerinden 5 gr kas örneği alınarak distile su ile yıkanmış ve etiketli numune torbalarına yerleştirilmiştir. Kimyasal analizleri yapılmaya kadar -20°C'de polietilen kaplarda saklanılmıştır. Örneklerden hazırlanan kompozit numunelerin ekstraksiyon ve analiz işlemleri ICP-MS (Agilent 7700x) cihazı ile yapılmıştır. Analiz sonucu boron, kalsiyum, potasyum, sodyum, fosfor, magnezyum, alüminyum, arsenik, kadmiyum, kobalt, krom, bakır, demir, cıva, mangan, nikel, kurşun, selenyum, silisyum, çinko birikim seviyeleri tespit edilmiştir.

Balık doku örneklerinde mineral madde ve ağır metal içeriklerinin minimum ve maksimum değerleri arasında istatistiksel bir fark olup olmadığı ve standart sapmalar tek yönlü varyans analizi (ANOVA) kullanılarak hesaplanmıştır ($p < 0.05$). Balıklardaki konsantrasyonların kendi aralarındaki ilişkileri belirlemek için Pearson korelasyon katsayıları (PCC) kullanılmıştır. Ayrıca, balıkların ortalama ağırlıkları ile tespit edilen konsantrasyon verileri arasındaki ilişkinin istatistiki olarak anlamlı olup olmadığını tespit etmek için SPSS 24 istatistik programı ile Pearson Korelasyon Analizi uygulanmıştır ($r < 0.05$ ve $r < 0.01$). Analizlerde kullanılan verilerin güvenilirliğini arttırmak amacıyla balık örneklerinin tamamının ağırlık ortalamaları ve metal konsantrasyonları ele alınmıştır (Tablo 2).

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma kapsamında 8'ilde örneklenen 7 balık türüne ait ortalama boy ve ağırlık verileri Tablo 1'de verilmiştir. Barbun (*M. barbatus*) ve çinekop (*P. Saltatrix*) hariç tüm türlerde boy ve ağırlık ortalamalarının maksimum değerleri Sinop ilinde örneklenen balıklarda tespit edilmiştir. Bu değerler hamsi (*E. encrasicolus*) için 12.3 cm, 9.42 g, istavrit (*T. trachurus*) için 13 cm, 25.51 g, kefal (*M. cephalus*) için 34 cm, 340.11 g, mezgit (*M. merlangus*) için 18.3 cm, 34.03 g, palamut (*S. sarda*) için 38 cm, 710 g olarak tespit edilmiştir. Barbun (*M. barbatus*) 13.3 cm boy ortalamasının maksimum değeri Ordu'da, 24.56 g ağırlık ortalamasının maksimum değeri Kastamonu'da, çinekop (*P. saltatrix*) için 19 cm ortalama boy ve 79.58 g ortalama ağırlığın maksimum değeri ise Kastamonu'daki örneklerde tespit edilmiştir (Tablo 1). Çalışmanın güvenilirliği için, balık türlerinde belirlenen ağırlık değerleri ve kompozit numunelerden yapılan her 3 okuma için alınan mineral madde ve ağır metal değerlerinin tümü analizlerde kullanılmıştır (N=168 → 7 tür, 8 il, 3 okuma).

Tablo 1. Örneklenen balıkların istasyonlara bağlı olarak; ortalama uzunluk (OU) (cm) ve ortalama ağırlıkları (OA) (gr) (Ortalama \pm SE).

		ART	RZE	TRB	GRS	ORD	SMS	SNP	KST
1. Barbun <i>M. barbatus</i>	OU (cm)	13.2 ± 1.3	12.5 ± 0.5	<u>10.8</u> ± 0.7	13 ± 1	13.3 ± 1.2	12 ± 1	13 ± 0.5	13 ± 0.3
	OA (g)	19.5 ± 0.51	17.23 ± 0.54	<u>14.40</u> ± 0.92	17.67 ± 1.21	22.28 ± 1.55	17.86 ± 1.13	22.52 ± 2.01	24.56 ± 2.24
2. Çinekop <i>P.saltatrix</i>	OU (cm)	15.8 ± 1.8	<u>14.5</u> ± 0.5	17 ± 2	15 ± 1	15.5 ± 1.5	16.5 ± 1.5	17.5 ± 2.5	19 ± 2
	OA (g)	40.38 ± 1.43	<u>33.68</u> ± 1.16	48.70 ± 1.51	36.60 ± 3.96	48.74 ± 1.2	50.10 ± 2.08	62.40 ± 3.9	79.58 ± 4.59
3. Hamsi <i>E. encrasicolus</i>	OU (cm)	11 ± 0.5	10.5 ± 0.5	11 ± 1	<u>10.3</u> ± 0.7	10.8 ± 0.3	11.8 ± 0.7	12.3 ± 0.2	11.3 ± 0.4
	OA (g)	8.28 ± 0.9	7.85 ± 0.9	8.27 ± 0.5	<u>6.84</u> ± 0.45	7.31 ± 0.4	8.87 ± 1	9.42 ± 1.2	8.47 ± 1
4. İstavrit <i>T. trachurus</i>	OU (cm)	<u>11</u> ± 0.7	<u>11</u> ± 0.9	12 ± 0.9	<u>11</u> ± 1	12 ± 0.8	<u>11</u> ± 0.7	13 ± 0.6	<u>11</u> ± 0.9
	OA (g)	13.37 ± 1.7	13.62 ± 0.7	15.54 ± 2	12.86 ± 0.6	14.21 ± 0.5	<u>10.99</u> ± 1.3	25.51 ± 0.4	13.65 ± 0.8
5. Kefal <i>M. cephalus</i>	OU (cm)	<u>22</u> ± 2	24 ± 1	28.5 ± 5	23 ± 1	32 ± 6	24 ± 3	34 ± 5	24 ± 2
	OA (g)	<u>89.92</u> ± 8.3	128.21 ± 10.1	263.67 ± 10.4	125.68 ± 4	298.74 ± 14.9	106.08 ± 6.7	340.11 ± 22.9	137.04 ± 7.4
6. Mezgit <i>M. merlangus</i>	OU (cm)	15.5 ± 0.5	16.3 ± 0.8	16 ± 1	<u>13.3</u> ± 0.8	16.5 ± 0.5	16.5 ± 0.9	18.3 ± 0.3	16 ± 0.5
	OA (g)	30.28 ± 1.1	27.66 ± 2.5	31.00 ± 0.9	<u>18.87</u> ± 2.6	30.13 ± 3.6	28.54 ± 2.9	34.03 ± 3.6	30.36 ± 1.7
7. Palamut <i>S. sarda</i>	OU (cm)	35 ± 2.9	35.5 ± 2.7	33 ± 1.9	36 ± 3.2	<u>30</u> ± 2.9	36 ± 3.9	38 ± 4.2	35 ± 2.1
	OA (g)	653.9 ± 58	505.8 ± 33	416.1 ± 31	559.9 ± 21	<u>285.5</u> ± 32	605.4 ± 67	710.0 ± 86	573.4 ± 35

*Kalın yazılı değerler maksimum veriyi, altı çizili olan değerler ise minimum veriyi göstermektedir.

Korelasyon; iki ya da daha çok değişken arasında ilişki olup olmadığını, varsa bu ilişkinin yönünü ve gücünü inceleyen istatistiksel bir yöntemdir. İki değişken %100 oranında ilişkili ise korelasyon maksimum (1) değeri ile mükemmel ilişkiyi yansıtır. +1 veya -1'e yakın değerler ise güçlü bir ilişkiyi işaret ederken, hiç ilişki yoksa korelasyon katsayısı sıfır ya da sıfıra yakın bulunur. Pozitif doğrusal ilişkide bir değişkenin değeri diğeri ile birlikte artış gösterir; oysaki negatif doğrusal ilişkide ise ters orantı söz konusudur ve bir değişkenin miktarındaki artışın diğeri değişkenin değerinde azalmaya yol açtığı anlamına gelir (URL -1; 2). Buna göre; balık dokularında tespit edilen mineral madde ve ağır metal konsantrasyonları ile balıkların ortalama ağırlıkları arasındaki korelasyon ilişkileri Tablo 2 ve Şekil 2'de, tespit edilen anlamlı korelasyon verileri ise Tablo 3'te verilmiştir. Korelasyon analizi sonuçlarına göre; balık ağırlığı ile kas dokuda tespit edilen potasyum, magnezyum, fosfor, bakır, selenyum arasındaki ilişkilerin pozitif yönde; kalsiyum, sodyum, alüminyum, bor, kadmiyum, kobalt, krom, mangan, nikel, kurşun, silisyum, çinko arasındaki ilişkilerin ise negatif yönde ve 0.01 düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir. Ağırlık ile As arasında ise negatif yönlü ve önemli olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$). Ağırlık ile Hg arasında pozitif; Fe arasında ise negatif yönlü olan korelasyonun önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($p > 0.05$) (Tablo 2, Tablo 3 ve Şekil 2).

Tablo 2. Balık ağırlığı ile kas dokudaki element birikimi arasındaki ilişkinin korelasyonu.

	W	Ca	K	Mg	Na	P	Al	As	B	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	Si	Zn	
W	r	1																				
	p																					
Ca	r		1																			
	p																					
K	r			1																		
	p																					
Mg	r				1																	
	p																					
Na	r					1																
	p																					
P	r						1															
	p																					
Al	r							1														
	p																					
As	r								1													
	p																					
B	r									1												
	p																					
Cd	r										1											
	p																					
Co	r											1										
	p																					
Cr	r												1									
	p																					
Cu	r													1								
	p																					
Fe	r														1							
	p																					
Hg	r															1						
	p																					
Mn	r																1					
	p																					
Ni	r																	1				
	p																					
Pb	r																		1			
	p																					
Se	r																			1		
	p																					
Si	r																				1	
	p																					
Zn	r																					1
	p																					

*. Korelasyon 0,05 düzeyinde anlamlıdır.

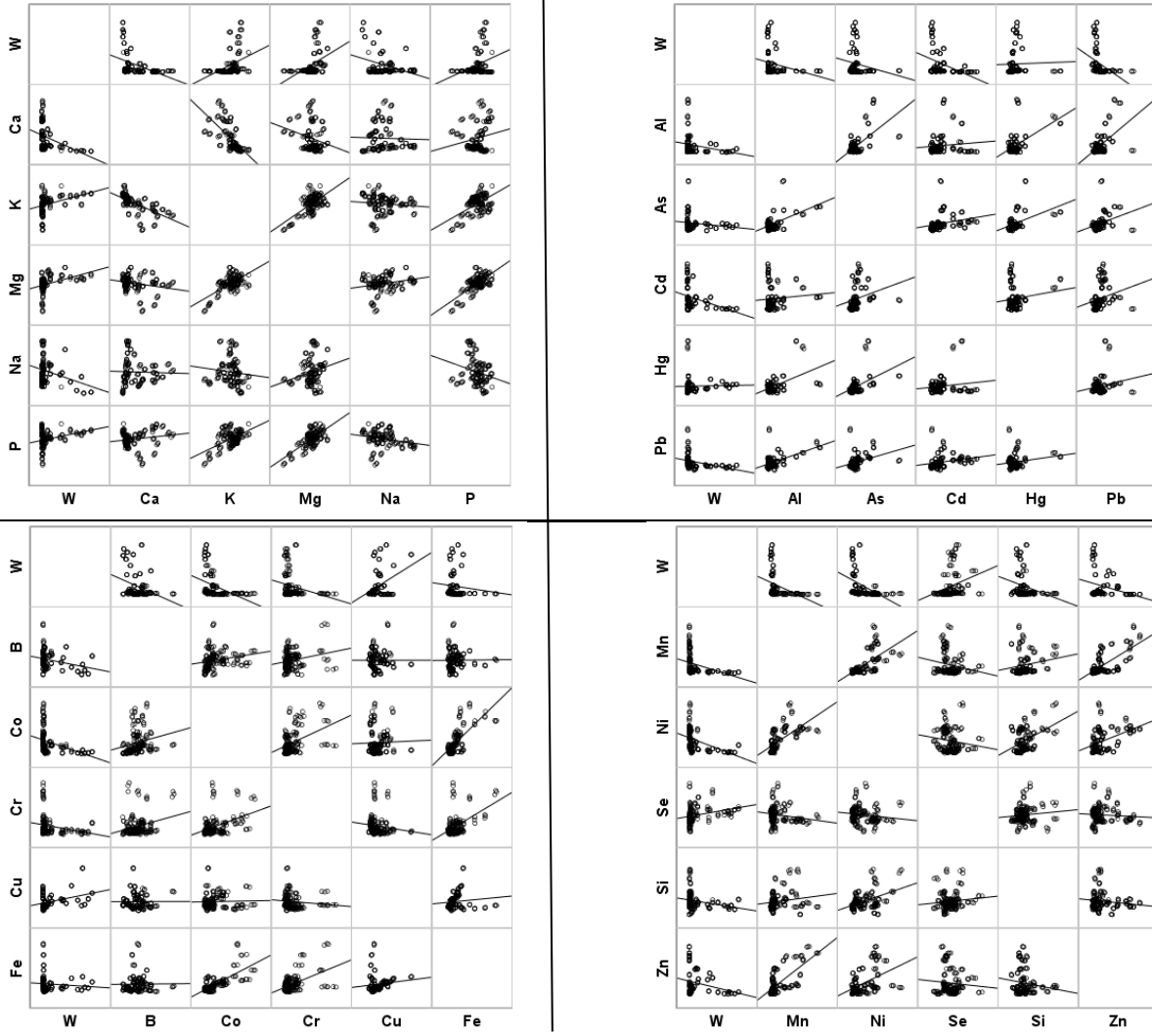
**. Korelasyon 0,01 seviyesinde anlamlıdır.

– (eksi) değerler negatif korelasyon ilişkisini ifade etmektedir.

N (eleman sayısı) 168'dir. (K için 145).

Tablo 3. Balık ağırlığı ile kas dokudaki element birikimi arasında tespit edilen anlamlı korelasyon verileri.

0,01	0,01	0,05	0,05
Pozitif	Negatif	Pozitif	Negatif
<u>Ağırlık ile K, Mg, P, Cu, Se</u> Ca <u>ile</u> Al, As, B, Cd, Co, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Si, Zn Al <u>ile</u> As, Co, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Si As <u>ile</u> Cd, Co, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Si Cd <u>ile</u> Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn Co <u>ile</u> Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Si, Zn B <u>ile</u> Cd, Co, Cr, Ni, Zn Cr <u>ile</u> Fe, Hg, Ni, Pb, Si Fe <u>ile</u> Hg, Mn, Ni, Pb, Si Mg <u>ile</u> P, Cu, Se P <u>ile</u> Cd, Cu, Zn Hg <u>ile</u> Ni, Se, Si Mn <u>ile</u> Ni, Pb, Zn Ni <u>ile</u> Pb, Si, Zn K <u>ile</u> Mg, P Na <u>ile</u> B, Se Cu <u>ile</u> Zn Pb <u>ile</u> Si	<u>Ağırlık ile Ca, Na, Al, B, Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Si, Zn</u> K <u>ile</u> Al, As, B, Cd, Co, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Si Mg <u>ile</u> Al, As, Co, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Si P <u>ile</u> Al, As, B, Co, Cr, Fe, Hg, Pb, Si Ca <u>ile</u> K, Mg Na <u>ile</u> P, Fe Al <u>ile</u> Cu Cu <u>ile</u> Si Pb <u>ile</u> Se	As <u>ile</u> B, Se B <u>ile</u> Hg, Se, Si Na <u>ile</u> Si Cd <u>ile</u> Cr Cr <u>ile</u> Se Cu <u>ile</u> Mn Hg <u>ile</u> Pb	<u>Ağırlık ile As</u> Cu <u>ile</u> Hg, Pb K <u>ile</u> Zn Hg <u>ile</u> Zn Mn <u>ile</u> Se



Şekil 2. Balık ağırlığı ile kas dokudaki element birikimi arasındaki ilişkinin korelasyonu.

Yapılan analizler sonucu mineral madde ve ağır metal konsantrasyonlarının çoğunlukla küçük balıklarda daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Yenilebilir kas dokudaki potasyum, magnezyum, fosfor, bakır, selenyum birikiminin ağırlıkça büyümeye bağlı olarak arttığı; kalsiyum, sodyum, alüminyum, bor, kadmiyum, kobalt, krom, mangan, nikel, kurşun, silisyum, çinko birikiminin ise ağırlıkça büyümeye bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Nitekim Alkan ve ark.'da (2016) yapılan çalışmaya benzer şekilde literatürde balık dokularındaki metal konsantrasyonları ile balık boyutları arasında negatif korelasyon olduğunu bildirmiştir. Doğu Karadeniz'de ekonomik açıdan en önemli iki demersal balık türü olan barbun (*Mullus barbatus*) ve mezgit balıklarının (*Merlangius merlangus*) kas dokularındaki ağır metal birikim seviyeleri ve balık büyüklüğü gruplarının ağır metal birikim düzeyleri üzerindeki etkilerini değerlendirdiği çalışmalarında; Mezgit balığının boy grupları arasında; Mn, Co, Cu, Zn ve Cd birikim düzeyleri arasındaki; barbun balığı boy gruplarında ise Mn ve Cd birikimindeki farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Küçük boy mezgitlerin Cu ve Zn konsantrasyonları; küçük boy barbun grubunun ise Cd konsantrasyonları daha yüksek bulunmuş, küçük ve orta boy barbu'nun Mn konsantrasyonlarının büyük boy barbun balıklarına göre

anlamli derecede yuksek olduğu rapor edilmiştir. Yine bir başka çalışmada; İznik Gölü Havzası'ndaki 11 balık türü arasında benzer şekilde bazı ağır metallerin birikimi değerlendirilmiş olup *S. cii* ve *R. frisii* dokularındaki demir, çinko ve bakırın balık büyüklüğü ile arasında negatif korelasyon gösterdiği bildirilmiştir ($p<0.01$) (Köker, 2022). Varol ve ark. (2020) ise yapmış olduğu çalışmada; Dicle Nehri'nden toplanan *Capoeta umbla* ve *Luciobarbus mystaceus* balık örneklerinin uzunluk ve ağırlığı ile dokulardaki ağır metal konsantrasyonları arasında önemli negatif korelasyonlar kaydetmişlerdir. *C. umbla* için kastaki Cd uzunlukla; *L. mystaceus* için ise kastaki Cr dışındaki tüm metallerin ise ağırlıkla anlamlı negatif korelasyon gösterdiğini belirtmişlerdir ($p<0.05$). Yine Varol ve Kaçar (2023), yapmış olduğu benzer bir çalışmada da balık büyüklüğü (uzunluk ve ağırlık) ile *Capoeta tinca* ve *Squalius pursakensis* dokularındaki 17 elementin biyolojik birikimi arasındaki ilişkiyi gözlemlemişlerdir. *C. tinca* dikkate alındığında kastaki K ağırlıkla, mevcut çalışmada elde edilen sonuçları destekler şekilde pozitif ilişki göstermiştir ($p<0.05$). *S. pursakensis* dikkate alındığında ise kasta Mn ve Co balık büyüklüğü ile negatif ilişki göstermiştir ($p<0.05$). Canlı ve Atlı (2023) tarafından yapılan araştırmada; Kuzeydoğu Akdeniz'deki altı balık türünün dokularındaki ağır metal konsantrasyonları ölçülmüş ve birkaç durum dışında, metal konsantrasyonları ile balık büyüklüğü arasındaki anlamlı ilişkilerin negatif olduğunu belirlemişlerdir. Başkaya ve ark.'nin (2023) yürüttüğü çalışmada ise Kozan Baraj Gölü'nde ağ kafeslerde yetiştirilen Gökkuşuğu alabalığının (*Oncorhynchus*) mineral madde ve ağır metal içeriklerini araştırmış ve ağır metal içeriklerinin balığın büyüklüğüne göre değişiklik gösterdiğini tespit etmişlerdir ($p<0.05$). Balık boyu ve ağırlığının artışına paralel olarak Mg ve K değerlerinin arttığını, Na ve Ca değerlerinin ise azaldığını gözlemlemişlerdir. Tespit edilen bu sonuçlar bizim çalışmamız ile paralellik göstermektedir. Baraj gölündeki büyük boy balıklarda Se konsantrasyonunun balığın boy ve ağırlık artışına paralel olarak arttığını rapor etmişlerdir (Başkaya ve ark., 2023). Dicle Nehri'nin Ilısu bölgesinden toplanan *Carassius gibelio*'nun kas dokularındaki bazı ağır metallere ile balığın boy ve ağırlığı arasındaki ilişkiler belirlenmiş, kas dokusundaki As miktarı ile ağırlık arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır ($p>0.05$). Ayrıca kastaki Ni miktarının hem uzunluk hem de ağırlık açısından anlamlı negatif korelasyona sahip olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$) (Kaçar, 2022). Tokatlıoğlu ve ark.'nın (2023), Kayseri bölgesindeki yenilebilir tatlı su balıklarının kaslarındaki ağır metal birikimlerini araştırdığı çalışmasında Hg içeriği ile balık boyutları (uzunluk ve ağırlık) arasında anlamlı bir korelasyon bulunmamıştır ($p>0.05$). Tüm bu örnek çalışmalar mevcut çalışmanın bulgularını desteklemektedir.

Öte yandan; Ege Denizi, Çandarlı Körfezi'nde *Mullus barbatus*'un farklı organ dokularında ağır metal (Cu, Zn, Pb, Cr, Fe) birikimi ile bireysel ağırlıkları arasında anlamlı bir ilişki bulunmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$) (Taş ve ark., 2011). Dicle Nehri'nin Ilısu bölgesinden toplanan *Carassius gibelio*'nun kas dokularındaki bazı ağır metallere miktarları ile balığın boy ve ağırlığı arasındaki ilişkiler belirlenmiş, kas dokusundaki Cr, Mn, Co, Cu ve Cd konsantrasyonları ağırlık açısından

değerlendirildiğinde anlamlı bir korelasyon olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$) (Kaçar, 2022). Damsa Baraj Gölü'nde *S. pursakensis* için kasta sadece Co ile uzunluk arasında pozitif bir korelasyon olduğu ($p<0.05$), *C. carpio*'da ise kastaki konsantrasyonu ile boy ve ağırlık arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık görülmediği belirlenmiştir ($p>0.05$) (Kaçar, 2024). Erzincan Karasu Nehri'nden toplanan dört balık türünün (*Acanthobrama marmid*, *Capoeta umbla*, *Capoeta trutta* ve *Chondrostoma regium*) dokularındaki ağır metal konsantrasyonları ile balık büyüklüğü (uzunluk ve ağırlık) arasındaki ilişkiler araştırılmış, 3 balık türü için de balık ağırlığı ile tüm ağır metaller arasında önemli pozitif korelasyonlar bulunmuştur ($p<0.01$, $p<0.05$). *C. trutta*'da benzer şekilde balık ağırlığı ile tüm ağır metaller ($p>0.05$ 'teki Cr ve Cu hariç) arasında anlamlı pozitif korelasyonlar bulunmuştur (Tanır, 2021). Türkiye'de sıklıkla tüketilen 10 farklı balık türünde 11 ağır metal düzeyi belirlenmiş, metal düzeyleri ile balık boy ve ağırlıkları arasındaki ilişkiler araştırılmış, metal konsantrasyonlarının genellikle balık boy veya ağırlığına bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Sazan balıklarında As, Cr ve Ni konsantrasyonlarında boy ile; barbun balıklarında As ve Ni konsantrasyonlarının hem boy hem de ağırlık ile pozitif korelasyon gösterdiği bildirilmiştir. Ancak Avrupa levreği, çipura ve Avrupa barakudasının uzunluk ve ağırlıkları arasında herhangi bir ilişki belirlenmemiştir. 11 metal arasında yalnızca Pb'nin balık türünün uzunluğu veya ağırlığı ile ilişki olmadığı belirtilmiştir (Varol ve ark., 2019). Emet Çayı ve Dursunbey Çayı üzerindeki istasyonlardan mevsimsel olarak, *Squalius cii*, *Capoeta tinca* ve *Barbus oligolepis* dokularında tespit edilen ağır metal seviyelerinin balık ağırlıkları ile korelasyon ilişkileri araştırılmış, balık kas dokularında tespit edilen Ni ile her 3 balığın total ağırlık verileri arasında; ayrıca *S. cii* türünün ağırlıkları ile kas dokularında tespit edilen As, Cd, Pb, Ag ve Cr arasında pozitif olmak üzere istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler kaydedilmiştir ($p<0.01$) (Tokatlı ve ark., 2016). Sinop ilinde yakalanan *Sarda sarda* (Bloch, 1793) balıklarının yenilebilir dokularındaki metal birikiminin boyuta bağlı olduğu, tüm konsantrasyonların hem uzunluk hem de ağırlık açısından pozitif korelasyon gösterdiği rapor edilmiştir ($p<0.05$) (Bat ve ark., 2022). Keban Baraj Gölü, Örencik mevkiinden yakalanan *Capoeta trutta* örneklerinin kas dokusunda tespit edilen bazı ağır metallerin konsantrasyonları ile balığın bazı biyolojik özellikleri (ağırlık, uzunluk, cinsiyet) arasındaki ilişki belirlenmiş, ağır metal konsantrasyonlarının balığın ağırlığı ve uzunluğuna bağlı olarak artış gösterdiği; Cr, Cu, Zn için istatistiksel olarak önemsiz olduğu ($p>0.05$) fakat pozitif yönlü ilişkinin Fe ve Cd için önemli olduğu bildirilmiştir (Canpolat ve Çalta, 2021).

Yapılan çalışmaya göre balıkların kas dokusunda tespit edilen mineral madde ve ağır metal korelasyonları arasında belirgin bir fark olduğu tespit edilmiştir. Özellikle ağır metaller arasında gözlenen istatistiksel olarak önemli korelasyonlar kirliliği göstermektedir. Örneğin mevcut çalışmada; alüminyum ile arsenik, kadmiyum, cıva, kurşun arasında; arsenik ile kadmiyum, cıva, kurşun arasında; kadmiyum ile kurşun arasında pozitif yönde ve 0.01 düzeyinde önemli; cıva ile kurşun arasında pozitif yönde ve 0.05 düzeyinde önemli; kadmiyum ve cıva arasında pozitif yönde

fakat 0,05 düzeyinde önemsiz korelasyon ilişkileri bulunmuştur (Tablo 2, Tablo 3 ve Şekil 2). Benzer şekilde; Sinop kıyılarında yaşayan *Trachurus trachurus*, *Engraulis encrasicolus*, *Merlangius merlangius euxinus* ve *Mullus barbatus*'un kas dokusunda bulunan konsantrasyonlar arasındaki korelasyonun istatistiksel anlamı belirlenmiş ve yapmış olduğumuz çalışmaya benzer sonuçlar elde edilmiştir. Al ve Fe arasındaki korelasyon pozitif; Al ile Zn arasındaki ilişki negatif olarak tespit edilmiş ancak bu ilişkiler mevcut çalışmadan farklı olarak istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0.05$). Cd'nin Pb ve Ni ile ilişkisi; Cu ile Zn arasındaki korelasyon pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı olarak bildirilmiştir ($p\leq 0.05$). Ayrıca; Fe, Ni ile güçlü ve pozitif bir ilişki içinde olduğu rapor edilmiştir ($p<0.01$) (Gündoğdu ve ark., 2020). Doğu Karadeniz'de yapılan çalışmada mezgitte Mn ile Co arasında; barbunda Cr ile Ni ve Cu ile Cd metalleri arasında pozitif ve önemli düzeyde korelasyon katsayıları elde edilmiştir ($p<0.01$) (Alkan, 2016). Tokatlıoğlu ve ark. (2023), Kayseri bölgesindeki yenilebilir tatlı su balıklarının kaslarındaki ağır metal birikimlerini araştırdığı çalışmada; metal çiftlerinin çoğunun birbirleriyle önemli ölçüde pozitif korelasyon gösterdiğini; Cr-As, Cr-Co, As-Se ve Al-Cr çiftlerinin dikkat çekici pozitif korelasyon sonuçları verdiğini bildirmişlerdir. Gökova Körfezi'nde yaşayan dört balık türünün (*Mugil cephalus*, *Sparus auratus*, *Pagellus erythrinus*, *Epinephelus costae*) dokularındaki metaller arasında güçlü pozitif korelasyon katsayıları belirlenmiş, en yüksek pozitif korelasyon katsayısı Cd ve Pb ile *P. erythrinus* ve *E. costae* arasında analiz edilmiştir (Genç, 2021).

4. Sonuç ve Öneriler

Su ekosistemlerinin ağır metallerle kirlenmesi dünya çapında ciddi şekilde artırmıştır. Ağır metal kirliliği hem sudaki organizmaları hem de besin zincirindeki birikim sebebi ile insan sağlığını etkilemektedir. Balıkların insani tüketim amacıyla kullanılan kısmı olan kas dokusunda biriken metaller insan sağlığı açısından önemlidir. Tüketimdeki tercih önceliği sebebiyle artan balık ağırlığı ve element absorpsiyonu arasındaki korelasyon ilişkisi büyük önem arz etmektedir. Karadeniz Bölgesi'nde 8 ilde ekonomik öneme sahip 7 balık türünde gerçekleştirilen bu çalışmada; balık ağırlığı ile kas dokuda tespit edilen mineraller, eser ve toksik elementlerin birikimleri arasındaki önemli korelasyonlar tespit edilmiştir. Balık ağırlığı potasyum, magnezyum, fosfor, bakır, selenyum arasındaki ilişkilerin pozitif yönde; kalsiyum, sodyum, alüminyum, bor, kadmiyum, kobalt, krom, mangan, nikel, kurşun, silisyum, çinko arasındaki ilişkilerin ise negatif yönde ve 0.01 düzeyinde; As ile arasındaki korelasyonun ise 0.05 düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir. Ağırlık ve cıva arasında pozitif yönlü; demir arasında ise negatif yönlü olan korelasyonun ise 0.05 düzeyinde önemsiz olduğu belirlenmiştir (Tablo 2, 3 ve Şekil 1).

Yapılan analizler sonucu bazı elementlerin, balık büyüklüğü ile orantılı olarak arttığı, diğerlerinin ise küçük balıklarda daha yüksek konsantrasyonlarda olduğu gözlenmiştir. Yenilebilir kas dokudaki potasyum, magnezyum, fosfor, bakır, selenyum birikiminin ağırlıkça büyümeye bağlı olarak arttığı; kalsiyum, sodyum, alüminyum, bor, kadmiyum, kobalt, krom, mangan, nikel, kurşun, silisyum, çinko birikiminin ise ağırlıkça büyümeye bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Metal konsantrasyonları ile balık büyüklüğü arasındaki negatif ilişkiyi küçük balıkların metabolizmalarının daha hızlı olması nedeniyle vücutlarında daha fazla metal biriktiği, bağışıklık sistemlerinin gelişmemiş olması ve beslenme konusunda daha aktif olmaları ile açıklanabilir. Genç balıklar daha aktif enerji sağladığı için daha yüksek düzeyde oksijene ihtiyaç duyarlar. Aynı zamanda büyük balıkların besin zincirinde daha fazla besine ve besin çeşidine ihtiyaç duymaları ve tüketmelerinden dolayı bazı metaller dokularda daha fazla akümüle olabilir. Ayrıca küçük balıkların solungaçlarındaki yüksek metal birikimi, küçük balıkların büyük balıklara göre daha fazla oksijene ihtiyaç duyması ve dolayısıyla solunum için solungaçlarından daha fazla su geçmesiyle açıklanabilir (Kaçar, 2022; Varol ve Kaçar, 2023; Köse ve Uysal, 2008; Canlı ve Atlı, 2003; Canpolat ve Çalta, 2003).

Yapılan bu çalışmanın sonucu; balıkların kas dokusundaki element konsantrasyonları arasında önemli korelasyonlar olduğunu göstermiştir. Özellikle ağır metaller arasında gözlenen istatistiksel olarak önemli korelasyonlar kirliliği göstermektedir. Alüminyum ile arsenik, kadmiyum, cıva, kurşun arasında; arsenik ile kadmiyum, cıva, kurşun arasında; kadmiyum ile kurşun arasında pozitif yönde ve 0.01 düzeyinde önemli; cıva ile kurşun arasında pozitif yönde ve 0.05 düzeyinde önemli; kadmiyum ve cıva arasında pozitif yönde fakat 0.05 düzeyinde önemsiz bir korelasyon ilişkisi bulunmuştur (Tablo 2, 3 ve Şekil 1).

Sonuç olarak, çalışmamızda tespit edilen anlamlı korelasyonlar, tüketimde önemli yere sahip olan balıkların insan sağlığı üzerindeki risklerini ortaya koymakla birlikte, Karadeniz'deki kirlilik kaynaklarının değerlendirilmesi, ağır metal konsantrasyonlarının sürekli izlenmesi ve gerekli önlemlerin alınmasının önemine dikkat çekmektedir. Ayrıca ileride yapılacak çalışmalar için de veri kaynağı oluşturması açısından önem arz etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde tamamlanan "Karadeniz Sahil Sularında Bazı Denizel Organizmalarda ve Sedimentte Ağır Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi" başlıklı Doktora Tezi esas alınarak hazırlanmıştır.

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde FEN-BAP-C-301221-09 proje numarası ile maddi destek sağlayan Giresun Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (BAP) teşekkürlerini sunar.

Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Alkan, A., Alkan, N., Akbaş, U. (2016). The factors heavy metal levels in the muscle tissues of whiting (*Merlangius merlangus*) and red mullet (*Mullus barbatus*). *Journal of Agricultural Sciences*, 22(3), 349-359.
- Aras, S., Findik, O., Kalıpcı, E., & Sahinkaya, S. (2017). Assessment of concentration physicochemical parameters and heavy metals in Kızılırmak river, Turkey. *Desalination and Water Treatment*, 72, 328-334.
- Başkaya, B., Çelik, M., Kadak, A.E., Küçükgülmez, A. (2023). Comparison of nutritional composition, mineral and heavy metal content of rainbow trout from different aquaculture systems, *Journal of Anatolian Enviromental and Animal Sciences*, 547-553.
- Bat, L., Arıcı, E., Ürkmez, D. (2017). Heavy metal levels in the Black Sea Sprat (*Sprattus sprattus*), *International Journal of Research in Agriculture and Forestry*, (4), 1-8.
- Bat, L., Öztekin, A., Arıcı, E., Şahin, F., Bhuyan, Md.S. (2022). Trace element risk assessment fort he consumption of *Sarda sarda* (Bloch, 1973) from the mid-South Black Sea Coastline. *Water Air Soil Pollut*, 233:441.
- Burger, J., Gochfeld, M. (2005). Heavy metals in commercial fish in New Jersey. *Environmental Research*, 99(3), 403-412.
- Canlı, M., Atlı, G. (2003). The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Enviromental Pollution*, 121(1), 129-136.
- Canpolat, Ö., Çalta, M. (2003). Heavymetalsin some tissues and organs of *Capoeta capoeta umbla* (Heckel, 1843) fish species in relation to body size, age, sex and seasons, *Fresenius Environmental Bulletin*, 12, 961-966.
- Canpolat, Ö., Çalta, M. (2021). Comparison of some heavy metal levels in the muscle tissue of *Capoeta trutta* captured from Örencik Region of Keban Dam Lake (Elazığ). *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 1250-1257.
- Cüce, H., Kalıpcı, E., Ustaoglu, F., Baser, V., & Türkmen, M. (2022a). Ecotoxicological health risk analysis of potential toxic elements accumulation in the sediments of Kızılırmak River, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-14.
- Cüce, H., Kalıpcı, E., Ustaoglu, F., Dereli, M.A., & Türkmen, M. (2022b). Multivariate statistical and spatial assessment of water quality from a dam threatened by drought at the mid-Anatolia, Cappadocia/ Turkey, *Arabian Journal of Geosciences* (2022) 15: 441.
- Çötel, F.T. (2022). Su Ürünleri Ürün Raporu. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü, TEPGE-355, 1-23.

- Düşükcan, M., Canpolat, Ö., Eroğlu, M. (2017). Some heavy metals in *Luciobarbus esocinus* for public consumption and consumer protection, *Cellular and Molecular Biology*, (63); 24-28.
- Genç, T.O. (2021). Analyses of metal concentration and health risk assessment for consumption of four economically important fish species from Gökova Bay (Turkey). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, (16/2), 329-340.
- Gündoğdu, A., Çulha, S.T., Koçbaş, F. (2020). Trace elements concentrations and human health risk evaluation for four common fish species in Sinop Coasts (Black Sea). *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 1854-1862.
- Guérin, T., Chekri, R., Vastel, C., Sirot, V., Volatier, J.L., Leblanc, J.C., Noël, L. (2011). Determination of 20 trace elements in fish and other seafood from the French market. *Food Chem.*, 127, 934-942.
- Kaçar, E. (2022). Relationship of concentrations of some heavy metals with fish size in muscle tissue of *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) from the Tigris River (Turkey). *Erzincan University Journal of Science Technology*, 475-484.
- Kaçar, E. (2024). Heavy metal concentrations in various tissues of two fish from Damsa Dam Lake (Turkey) and associated health risk assessment. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 1-8.
- Kalıpcı, E., Namal, O. O. (2018). Removal of Cr (VI) using a novel adsorbent modification. Ultrasonic method with apricot kernel shells. *Environment Protection Engineering*, 44(3), 79-93.
- Kalıpcı, E., Cüce, H., Ustaoglu, F., Dereli, M. A., & Türkmen, M. (2023). Toxicological health risk analysis of hazardous trace elements accumulation in the edible fish species of the Black Sea in Türkiye using multivariate statistical and spatial assessment. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 97, 104028.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S. (2003). Metallerin çevresel etkileri - I . İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 1-12.
- Köker, L. (2022). Health risk assessment of heavy metal concentrations in selected fish species from İznik Lake Basin, Turkey. *Environ. Monit. Assess.*, 194:372, 1-11.
- Köse, E., Uysal, K. (2008). Cinsi olgunluğa erişmemiş pullu sazanların (*Cyprinus carpio* L., 1758) kas, deri ve solungaçlarındaki ağır metal akümülyasyon oranlarının karşılaştırılması, *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17: 19-26.
- Liu, Q., Liao, Y., Shou, L. (2018). Concentration and potential health risk of heavy metals in seafoods collected from Sanmen Bay and its adjacent areas, China. *Mar. Pollut. Bull.*, 131, 356-364.
- Liu, Q., Xu, X., Zeng, J., Shi, X., Liao, Y., Du, P., ... & Shou, L. (2019). Heavy metal concentrations in commercial marine organisms from Xiangshan Bay, China, and the potential health risks. *Marine Pollution Bulletin*, 141, 215-226.
- Özbolat, G., Tuli, A. (2016). Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 25(4), 502-521.
- Qu, L., Huang, H., Xia, F., Liu, Y., Dahlgren, R.A., Zhang, M. (2018). Risk analysis of heavy metal concentration in surface waters across the rural-urban interface of the Wen-Rui Tang River, China. *Environ. Pollut.*, 237, 639-649.
- Raknuzzaman, M., Ahmed, M.K., Islam, M.S., Habibullah-Al-Mamun, M., Tokumura, M., Sekine, M., Masunaga, S. (2016). Trace metal contamination in commercial fish and crustaceans collected from coastal area of Bangladesh and health risk assessment. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 23, 17298-17310.
- Singh, U.K., Kumar, B. (2017). Pathways of heavy metals contamination and associated human health risk in Ajay River basin, India. *Chemosphere*, 174, 183-199.
- Sirkecioğlu, A.N., Bayır, A., Aras, N.M., Haliloğlu, H.İ. (2002). Türkiye'deki doğal ve kültür balıkçılığının mevcut durumu (1990-2000), dünyadaki yeri, problemleri ve çözüm önerileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33(3), 337-343.
- Tanır, Ö.Z. (2021). Determination of heavy metals in some tissues of four fish species from the Karasu River (Erzincan, Turkey) for public consumption. *International Journal of Oceanography and Hydrobiology*, 232-246.
- Taş, E.Ç., Filipoğlu, I., Türker, Ç.D., Beyaztaş, S., Sunlu, U., Toğulga, M., Özyayın, O., Arslan, O. (2011). Heavy metal concentrations in tissues of edible fish (*Mullus barbatus*, L., 1758) from the Çandarlı Bay (Turkey). *Fresenius Environmental Bulletin*, 2834-2839.
- Türkmen, M., Mutlu, E., Zebel, S., & Türkmen, A. (2018). Doğu Karadeniz sahili Batlama Deresi'nde dağılım gösteren bazı balık türlerinde ağır metal birikiminin değerlendirilmesi. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji dergisi*, 6(7), 858-862.
- Türkmen, M., Ögütçü, B. (2020). Assessment of Heavy Metals in Selected Fish Species from Markets in the Black Sea Region of Turkey. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 5(4), 636-639.

- Türkmen, M., Türkmen, A., Tepe, Y., Töre, Y., & Ateş, A. (2009). Determination of metals in fish species from Aegean and Mediterranean seas. *Food chemistry*, 113(1), 233-237.
- Töre, Y., Ustaoglu, F., Tepe, Y., & Kalipci, E. (2021). Levels of toxic metals in edible fish species of the Tigris River (Turkey); threat to public health. *Ecological Indicators*, 123, 107361.
- Tokaloğlu, Ş., Gönülalan, Z., Şimşek, E., Onmaz, N.E., Yılmaz, E. (2023). Bioaccumulation of heavy metals in freshwater fish species reared in Kayseri Region: Potential public health hazard of toxic metals. *Bozok Veterinary Sciences*, 4(1): 27-36.
- Tokatlı, C., Emiroğlu, Ö., Arslan, N., Köse, E., Çiçek, A., Dayıoğlu, H., Başkurt, S. (2016). Relationship between body weight and heavy metal bioaccumulation in mining basin fishes: Emet Stream Basin. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi C-Yaşam Bilimleri ve Biyoteknoloji*, 57-72.
- URL-1: <https://sedatsen.files.wordpress.com/2016/11/7-sunum.pdf>, (Erişim Tarihi: 01.12.2023).
- URL-2: https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/2154/mod_resource/content/2/konu8a.pdf, (Erişim tarihi: 01.12.2023).
- Ustaoglu F., Islam M.S. (2020). Potential toxic elements in sediment of some rivers at Giresun, Northeast Turkey: a preliminary assessment for ecotoxicological status and health risk. *Ecol Indic.*, 113:106237
- Varol, M., Kaya, G.K., Sünbül, M.R. (2019). Evaluation of health risks from exposure to arsenic and heavy metals through consumption of ten fish species. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-10.
- Varol, M., Kaçar, E., Akın, H.K. (2020). Accumulation of trace elements in muscle, gill and liver of fish (*Capoeta umbla* and *Licibarbus mystaceus*) in the Tigris River (Turkey), and health risk assessment. *Environmental Research*, (186) 109570.
- Varol, M., Kaçar, E. (2023). Bioaccumulation of metals in various tissues of fish species in relation to fish size and gender and health risk assessment. *Current Pollution Reports*, (9), 327-337.