

COMU Journal of Marine Sciences and Fisheries

Journal Home-Page: <http://jmsf.dergi.comu.edu.tr> Online Submission: <http://dergipark.org.tr/jmsf>



RESEARCH ARTICLE

Determination of Heavy Metal Concentrations in Some Fish Species Consumed in Karaman Province, Türkiye

Numan Emre Gümüş¹, Fuat Gökbel^{2*}, Ziya Aydın³

¹ Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Kazım Karabekir Meslek Yüksekokulu, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü

² Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

³ Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

<https://orcid.org/0000-0001-8275-3871>

<https://orcid.org/0000-0002-0265-1881>

<https://orcid.org/0000-0001-8074-9510>

Received: 26.06.2024 / Accepted: 07.10.2024 / Published online: 25.12.2024

Key words:

Karaman
Heavy metal
Fish consumption
Health risk assessment
ICP-OES.

Abstract: Heavy metals, with their ability to accumulate in the environment, can be transported to the aquatic ecosystem and to humans through fish consumption. Since they are not biodegradable, heavy metals have the potential to cause serious harm to human health. The insufficient aquaculture production of Karaman province has led to aquaculture products coming from different regions. No previous study has been conducted on the metal levels of fish species from different ecological regions in Karaman province. In 2023, the muscle metal bioaccumulations and the possible health effects of consumption of eight fish species (bogue (*Boops boops*), European seabass (*Dicentrarchus labrax*), European anchovy (*Engraulis encrasicolus*), red mullet (*Mullus barbatus*), rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), red porgy (*Pagrus pagrus*), gilt-head seabream (*Sparus aurata*) and Mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus*)) purchased from the local market were investigated in Karaman province. Metal concentrations (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni and Zn) were determined by Inductively Coupled Plasma - Optical Emission spectroscopy (ICP-OES) and their levels were compared with the maximum permissible limits of national and international regulations. It was found that the mean concentrations of cadmium (Cd) in the Mediterranean horse mackerel (0.060 mg/kg), bogue (0.063 mg/kg) and red porgy (0.171 mg/kg), and the mean concentration of inorganic arsenic (iAs) in red porgy (0.233 mg/kg) exceeded the maximum permissible limits of the regulations. Health risk assessment methods (Estimated Daily Intake, Target Hazard Ratio, Hazard Index) have shown that the fish species examined are safe to consume.

Anahtar kelimeler:

Karaman
Ağır metal
Balık tüketim
Sağlık risk değerlendirme
ICP-OES.

Karaman İlinde Tüketilen Balıklarda Ağır Metal Birikimi ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Öz: Ağır metaller, çevrede birikebilme yetenekleri ile su ekosistemine ve balık tüketimi yoluyla da insanlara taşınabilirler. Biyolojik olarak parçalanamadıkları için ağır metallerin insan sağlığına ciddi zarar verme potansiyeli bulunmaktadır. Karaman ilinin su ürünleri üretimi potansiyelinin yetersiz olması su ürünlerinin farklı bölgelerden gelmesine yol açmıştır. Farklı ekolojik bölgelerden gelen balık türlerinin metal seviyeleri ile ilgili Karaman ilinde daha önce bir çalışma yapılmamıştır. Karaman ilinde 2023 yılında yerel pazardan alınan halkın çok tükettiği sekiz balık türünün (gökkuşaklı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*), barbun (*Mullus barbatus*), çipura (*Sparus aurata*), hamsi (*Engraulis encrasicolus*), istavrit (*Trachurus mediterraneus*), kupes (*Boops boops*), levrek (*Dicentrarchus labrax*) ve mercan (*Pagrus pagrus*)) kas metal biyobirikimleri ve tüketiminin insan sağlığı üzerindeki olası etkileri araştırılmıştır. Metal konsantrasyonları (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn) İndüktif Eşleşmiş Plazma - Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) cihazıyla belirlenmiştir. Tespit edilen metal konsantrasyonları ulusal ve uluslararası yönetmeliklerin maksimum izin verilebilir limitleri ile kıyaslanmıştır. İnorganik arsenik (iAs) ortalama konsantrasyonun mercan (0,233 mg/kg) balığında, kadmiyum (Cd) ortalama konsantrasyonlarının ise istavrit (0,060 mg/kg), kupes (0,063 mg/kg) ve mercan (0,171 mg/kg) balıklarında yönetmeliklerin maksimum izin verilebilir limitlerini aştığı bulunmuştur. Sağlık riski değerlendirme yöntemleri (Tahmini Günlük Alım, Hedef Tehlike Oranı, Tehlike İndeksi), incelenen balık türlerinin tüketiminin güvenli olduğunu göstermiştir.

*Corresponding author: fgkbel@kmu.edu.tr

Giriş

Artan dünya nüfusunun ihtiyaçları endüstrileşmedeki büyüme ile karşılanmaya çalışılmakta, ancak aşırı endüstrileşmenin çevreye ciddi zararlar verdiği bilinmektedir (Tarley vd., 2001; Tokatlı ve Ustaoglu, 2021). Sanayi devrimi boyunca kirlilik giderek artmış ve çevrenin kendini yenileme imkanı kalmamıştır (Gümüş ve Buluş, 2020). Evsel atıklar, endüstriyel ve tarım faaliyetleri sonucu çevrede birikime neden olan metaller inorganik kirleticilerdir (Durmaz vd., 2017). Akuatik ekosistemde bulunan metaller su, yem ve sedimentlerden balıklara geçebilmektedir (Bosch vd., 2016; Dadar vd., 2016; Tokatlı ve Ustaoglu, 2021). Bu transfer süreci sebebiyle sucul besin zincirinin en tepesinde bulunan balık çevresel kirliliğin kontrolü amacıyla birçok çalışmada kullanılmıştır (Durmaz vd., 2017; Loghmani vd., 2022; Morgano vd., 2011; Zerizghi vd., 2020).

Balık insanlar tarafından sıklıkla tüketilmekte ve yüksek kalitede protein, omega-3 yağ asidi, çeşitli vitamin ve mineraller içermesi sebebiyle beslenmede önemli bir rol üstlenmektedir (Bosch vd., 2016; Loghmani vd., 2022; Tuzen, 2009). Ancak endüstrileşmeyle birlikte artan çevre kirliliği, balık tüketiminin yararlarının yanında bazı sorunları da beraberinde getirmektedir. Balıkların buldukları ekosistemdeki kirlilik sebebiyle taşıdıkları ağır metaller, tüketim ile insan vücuduna transfer olarak insan sağlığını olumsuz etkileyebilmektedir (Cui vd., 2011; Bosch vd., 2016; Türkmen vd., 2016). Bakır (Cu) ve çinko (Zn) gibi bazı ağır metaller canlıların varlığını sürdürebilmesi için esansiyel kabul edilse de belli bir konsantrasyonun üzerinde toksik etkiye sebep olabilirler. Arsenik (As), kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb) gibi ağır metallerin ise düşük dozları dahi insanlar için toksik etkiye sahiptir (Bosch vd., 2016; Varol ve Sümbül, 2017; Yin vd., 2020). Ağır metal zehirlenmesi insanlarda kanser, nörolojik bozukluklar, çeşitli hastalıklar ve hatta ölüme sebep olabilmektedir (Loghmani vd., 2022). Bu sebeple; balıkların içerdiği ağır metal konsantrasyonlarının bilinmesi insan sağlığına olumsuz etkilerinin ortaya konması açısından önemlidir (Qin vd., 2015; Tuzen, 2009; Yin vd., 2020).

Dünya genelinde, hem denizlerde hem de tatlı sularda ağır metal düzeyini belirleyebilmek için insanların en çok tükettiği canlılar tercih edilmektedir (Gümüş vd., 2024). Balıkların yenilebilir kısımlarındaki ağır metallerin konsantrasyonlarının belirlenmesi insan sağlığı açısından önemlidir, çünkü kirlenmiş balıkların tüketimi ağır metallerin insanlara aktarılmasının başlıca yoludur (Rajeshkumar ve Li, 2018). Yüksek ağır metal konsantrasyonları içeren balıkların insan sağlığı için ciddi riskler oluşturabileceği iyi bilinmektedir. Sağlık riskleri, insan sağlığı risk değerlendirme yöntemleri kullanılarak ölçülebilir ve değerlendirilebilir. Bu değerlendirmeler, ağır metal maruziyetinin potansiyel sağlık etkilerini belirlemek için balık tüketiminin miktarı ve sıklığı gibi faktörleri dikkate alır (USEPA, 2021). Bu nedenle, son yıllarda ağır metallere maruz kalan balıkların tüketiminden kaynaklanan potansiyel sağlık risklerini değerlendirmek için birçok çalışma yapılmıştır (Almafrachi vd., 2024;

Prabakaran vd., 2024; Varol vd., 2022b; Varol ve Kaçar, 2023)

Beslenme ve gıda güvenliği açısından, gıdalarda bulunan eser elementler ve ağır metallerin tespit edilmesi büyük bir öneme sahiptir. Atomik absorpsiyon spektrometrisi (AAS), atomik floresans spektrometrisi (AFS) ve ICP-OES gibi analitik teknikler gıdalardaki elementlerin tayininde yaygın kullanılan yöntemlerdendir. AAS ve AFS'den farklı olarak aynı anda birçok elementin tayin edilebilmesi ve ölçümlerin yüksek doğruluğa sahip olması ICP-OES'in öne çıkan avantajlarından (Hongxing ve Yu-Kui, 2011).

Türkiye'de yapılan çalışmaların birçoğu birkaç balık türüne odaklanmıştır. Farklı balık türlerinde ağır metal birikimi kapsamlı bir şekilde araştırılmamıştır. Tüketimle ilgili risklerin daha iyi değerlendirilmesi için çeşitli balık türlerinin analiz edilmesi önemlidir. Hem sahil kentlerine yakın olması hem de il bazında önemli bir su ürünleri yetiştiriciliği faaliyetlerinin bulunması sebebiyle Karaman'da ciddi bir balık tüketimi olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, Karaman ilinde satışı sunulmuş halkın beslenme alışkanlıklarında en çok tercih ettiği çeşitli tatlı su, avcılık ve çiftlik balıklarından gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*), barbun (*Mullus barbatus*), çipura (*Sparus aurata*), mercan (*Pagrus pagrus*), kupes (*Boops boops*), levrek (*Dicentrarchus labrax*), hamsi (*Engraulis encrasicolus*) ve istavrit (*Trachurus mediterraneus*) türlerinin kas dokularında ağır metal (arsenik (As), bakır (Cu), çinko (Zn), demir (Fe), kadmiyum (Cd), krom (Cr), mangan (Mn) ve nikel (Ni)) içeriklerinin belirlenmesi hedeflenmiş ve insan sağlığı risk değerlendirilmesi yapılarak ilimizde tüketilen balıkların insan sağlığına olumsuz etkilerinin var olup olmadığının tespit edilmesi amaçlanmıştır (Akturfan ve Dağcı, 2024; Kavak ve Pekerşen, 2022; Orhan, 2023).

Materyal ve Yöntem

Örneklerin toplanması ve analizi

2023 yılında Karaman il merkezindeki balıkçılardan, belirlenmiş her türden 5 adet balık örneği satın alınmış ve buz aküleri içerisinde laboratuvara getirilmiştir. Araştırmada kullanılan her bir balığın toplam boyu ± 1 mm hatalı ölçme tahtasında, ağırlıkları ise disekte edilmeden önce analitik terazide (GR 200, AND, Japonya) ölçülerek balık bilgi formuna kaydedilmiştir. Balıkların isimleri, ekolojik koşulları, boy ve ağırlık bilgileri Tablo 1'de verilmiştir. Yanal çizginin üst kısmında bulunan pullar temizlendikten sonra balıkların dorsal kısmından kas örneği alınmıştır. Balık örnekleri analize kadar $+4^{\circ}\text{C}$ 'de buzdolabında saklanmıştır. Elemental analiz için, balık örneklerinden 50 ml'lik falcon tüplerine (ISOLAB, Almanya) yaklaşık 0,5 g tartılmıştır. Daha sonra tüpler üzerine % 65'lik 5 mL HNO₃ (Merck, Almanya), 2 mL H₂O₂ (Sigma-Aldrich, Almanya) ve 3 mL ultra saf su ilave edilmiş ve örnekler mikrodalga (Mars 6, CEM, ABD) ile çözündürme işlemine tabi tutulmuştur. Mikrodalgadan çıkan örnekler oda sıcaklığına soğutulduktan sonra, 110

mm mavi bant filtre kağıdından (ISOLAB, Almanya) süzülerek falcon tüplerine (ISOLAB, Almanya) aktarılmıştır. Süzüntü son hacmi ultra saf su ile 20 mL'ye tamamlanmıştır (Gümüş ve Akköz, 2021; UNEP, 1984).

Çözündürülmüş balık örneklerinin içerdiği element konsantrasyonları (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn) ICP-OES cihazı (Model 720, Agilent Technologies, ABD) ile ölçülmüştür. Analiz üç tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir (DIN EN ISO 11885, 2009). Cihazda

elementler için sırasıyla As 228,812 nm, Cd 228,802 nm, Cr 205,560 nm, Cu 327,395 nm, Fe 239,563 nm, Mn 260,568 nm, Ni 216,555 nm ve Zn 213,857 nm dalgaboylarında ölçüm alınmıştır. ICP-OES cihazı; RF gücü 1,00 kW, dedektör CCD, nebulizer gaz akış hızı 0,75 L/dk, Auxiliary gaz akış hızı 1,5 L/dk, Plazma gaz akışı (Argon) 15 ml L/dk ve Nebulizer gaz akışı 0,75 L/dk koşullarında çalıştırılmıştır.

Tablo 1. Karaman ilinde incelenen balık türlerinin isimleri ve genel özellikleri

Balık İsmi	Menşei	Yaşam alanı	Yetişme Şekli	Çevre	Tam boy (cm)	Ağırlık (g)
Alabalık Gökkuşuğı (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Konya-Ereğli	Tatlı su	Kültür	Ađ kafesler	30,2-33,8	290-430
Barbun (<i>Mullus barbatus</i>)	Akdeniz	Deniz	Yabani	Demersal	13,5-15,0	29,1-37,2
Çipura (<i>Sparus aurata</i>)	Ege	Deniz	Kültür	Ađ kafesler	29,9-31,2	450-520
Hamsi (<i>Engraulis encrasicolus</i>)	Karadeniz	Deniz	Yabani	Pelajik-neritik	9,2-9,7	4,68-5,98
İstavrit (<i>Trachurus mediterraneus</i>)	Karadeniz	Deniz	Yabani	Pelajik-oseanik	11,7-14,2	11,9-26,3
Küpes (<i>Boops boops</i>)	Akdeniz	Deniz	Yabani	Yarı pelajik	17-20,3	47,8-75,3
Levrek (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	Karadeniz	Deniz	Kültür	Ađ kafesler	33,1-34,7	470-550
Mercan (<i>Pagrus pagrus</i>)	Akdeniz	Deniz	Yabani	Bentopelajik	13,4-16	38,3-62,7

Analiz yapılan cihazın doğruluğunu kontrol etmek için balık referans maddesi olan TORT-2 (Kanada Ulusal Araştırma Konseyi referans materyali) ile test çalışmaları yapılmıştır. Her metal konsantrasyonundaki geri kazanım değerinin % 80-110 aralığında olması gerekir (AOAC, 2016). Analiz edilen referans madde değerleri, sertifika değerleri ile yakın bulunmuştur. Hassasiyet dereceleri %95,1 ile %106,3 arasında farklılık göstermiştir. En yüksek hassasiyet derecesi Ni'de, en düşük hassasiyet derecesi Cu'da tespit edilmiştir.

Çalışmada balık numunelerinden elde edilen ölçüm sonuçları; Avrupa Komisyonu (EC, 2023), Avustralya ve Yeni Zelanda Gıda Standartları (FSANZ, 2024), Çin Halk Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı (MHPRC, 2022) ve Türk Gıda Kodeksi (TGK) Bulaşanlar Yönetmeliği (2023) tarafından belirlenen maksimum izin verilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

İnsan sağlığı risk değerlendirmesi

Yetişkinler için balık tüketimi risk değerlendirmesi tahmini günlük alım (EDI) (Copat vd., 2013; Varol vd., 2019), hedef tehlike oranı (THQ) ve tehlike indeksi (HI)

hesaplamaları (USEPA, 2019) aşağdaki eşitlikler kullanılarak yapılmıştır.

EDI: Tahmini günlük alım (Estimated Daily Intake)

MC: Balık dokularındaki metal konsantrasyonu (mg/kg yaş ağırlık),

IR: Tüketicinin günlük balık tüketim oranı (g/gün),

BW: Yetişkin tüketicinin ortalama vücut ağırlığı (70 kg).

$$EDI = \frac{MC * IRd}{BW}$$

THQ: Hedef tehlike katsayısı (target hazard quotient)

EF: Maruz kalma sıklığı (350 gün/yıl) (USEPA, 1991),

ED: Maruz kalma süresi (26 yıl) (USEPA, 2011),

RfD: Metallerin oral referans dozu mg/kg/bw/day (iAs:0,3, Cu:40, Cd:1, Cr:1500, Fe:700, Mn:140, Ni:20, Zn:300) (USEPA, 2021),

AT: Ortalama maruz kalma süresi (365 gün/yıl x 26) (USEPA, 1989),

IRd: Türkiye’de kişi başına düşen günlük balık tüketim miktarı (18,4 g/kişi/gün) (TOB, 2021)

$$THQ = \frac{EF \cdot ED \cdot IRd \cdot MC}{RfD \cdot BW \cdot AT} * 10^{-3}$$

Toplam THQ ya da HI (tehlike indeksi) olarak ifade edilen değer çalışılmış metallerin HI değerleri ile hesaplanır.

$$HI = (THQ1 + THQ2 + \dots + THQn)$$

Arsenik formları arasında, sadece inorganik arsenik formunun toksik olduğu ve toplam arseniğin %1-10’unu oluşturduğu belirtilmektedir (Kalantzi vd., 2019). Bu nedenle, arseniğin inorganik formu dikkate alınmış ve balık kasında belirlenen toplam As'nin %3’ünü inorganik As’i oluşturduğu varsayılmıştır (Copat vd., 2013; Varol vd., 2022a).

İstatistiksel analiz

Analize hazır olan tüm numuneler 3 kez okutulup ortalamaları alındıktan sonra metaller arasındaki ilişkileri tespit etmek için Spearman korelasyon analizi, varyanslar arasındaki farklılığın önem kontrolü için ise tek yönlü ANOVA kullanılmıştır. Spearman sıralama korelasyon katsayıları 0,3’ten küçük ise çok zayıf ilişki yada korelasyon yok; 0,3-0,5 arasında ise zayıf korelasyon; 0,5-0,7 arasında ise orta düzeyde korelasyon; 0,7-0,9 arasında ise güçlü korelasyon; 0,9’dan büyük ise çok yüksek korelasyon olduğu kabul edilmiştir (Mukaka, 2012). Varyans çözümleme sonuçları, Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılarak p<0,05 önemlilik düzeyinde değerlendirilmiştir. Bu testler, SPSS 22 paket programı kullanılarak yapılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada en yüksek Arsenik (As) konsantrasyonu 9,366 mg/kg olarak mercan balığında en düşük As konsantrasyonu 0,001 mg/kg ile alabalıkta belirlenmiştir. Ortalama As konsantrasyonları 0,337-7,769 mg/kg arasında, ortalama inorganik arsenik değerleri ise 0,010-0,233 mg/kg arasında değişim göstermiştir. Ortalama inorganik As konsantrasyonları balık türlerine göre yüksekten düşüğe şu şekilde sıralanmıştır: mercan (0,233 mg/kg), kupes (0,074 mg/kg), hamsi (0,067 mg/kg), barbun (0,023 mg/kg), istavrit (0,016 mg/kg), çipura (0,011 mg/kg), levrek ve alabalık (0,010 mg/kg) (Tablo 2). İnorganik As içerikleri bakımından alabalık, barbun, çipura, istavrit ve levrek örnekleri arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır (p>0,05). Hamsi ve kupes örneklerinin inorganik As konsantrasyonları da benzer bulunmuştur (p>0,05). Mercan balığının ortalama inorganik As konsantrasyonları istatistiksel olarak diğer balıklardan ayrılmış ve inorganik As miktarı MHPRC (2022) sınır değerinin (0,1 mg/kg) üzerinde bulunmuştur. Ancak mercan balığının inorganik As miktarı (0,233 mg/kg), FSANZ (2024) sınır değerinin (2,0 mg/kg) altındadır. Varol vd. (2019) barbun ve hamside ortalama

inorganik arsenik değerlerini MHPRC (2013) sınır değerinin (0,1 mg/kg) üzerinde tespit ettiğini bildirmiştir.

Kadmiyum (Cd) suda çözünme yeteneği fazla olan Cd⁺² iyonu halinde canlıların bünyesine girebilen bir elementtir. Cd canlılar için ihtiyaç duyulan bir element olmamakla beraber düşük konsantrasyonlarında bile toksik etki gösterebilmektedir (Aktop ve Çağatay, 2020). Çalışmada, ortalama Cd konsantrasyonları 0,024-0,171 mg/kg aralığında bulunmuştur (Tablo 2). Bu çalışmada en yüksek Cd konsantrasyonu 0,198 mg/kg olarak mercan balığında en düşük Cd konsantrasyonu 0,010 mg/kg ile barbun balığında tespit edilmiştir. Mercan balığında tespit edilen Cd miktarının istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı olduğu belirlenmiştir (p<0,05). Ziyadah ve Chouikhi (1999) mercan balığında ortalama Cd değerini 0,2 mg/kg bulmuştur. Gültürk (2021) barbunda Cd konsantrasyonunu 0,022 mg/kg bulmuştur. Varol vd. (2019) istavrit balığında Cd değerini 0,0093 mg/kg bulmuşlardır. Mercan balığında ortalama Cd konsantrasyonları EC (2023) sınır değeri (0,05 mg/kg), MHPRC (2022) sınır değeri (0,1 mg/kg) ve Türk Gıda Kodeksi (TGK) Bulaşanlar Yönetmeliği (2023) sınır değerinin (0,05 mg/kg) üzerinde bulunmuştur. İstavrit ve kupes balıklarının ortalama Cd miktarları ise EC (2023) sınır değeri (0,05 mg/kg) ve TGK (2023) sınır değerinin (0,05 mg/kg) üzerinde bulunmuş iken MHPRC (2022) sınır değerini (0,1 mg/kg) aşmamıştır.

Krom (Cr) toksik ağır metallerden biri olarak kabul edilmekte ve su girişinin çeşitli hastalık etkilerine neden olduğu bilinmektedir (Aşıkutlu vd., 2021; Sai Bhavya vd., 2019). Ortalama Cr konsantrasyonları 0,163-0,860 mg/kg arasında değişim göstermiştir (Tablo 2). En yüksek ortalama Cr miktarı (0,860 mg/kg) istavrit balığında tespit edilmiş olup, bu değer diğer balıklardaki Cr konsantrasyonundan anlamlı bir farklılık gösterdiği görülmüştür (p<0,05). Guérin vd. (2011), Fransa’daki marketlerden temin edilen 32 farklı balık türüyle yaptıkları çalışmada ortalama krom seviyesini 0,06-0,57 mg/kg arasında bulmuşlardır. Fallah vd., (2011) gökkuşuğu alabalığında ortalama Cr değerini 0,14 mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Varol vd. (2019) gökkuşuğu alabalığında balığında Cr değerini 0,033 mg/kg olarak belirlemişlerdir. Türkmen vd. (2009) istavrit balığında Cr değerini 0,5 mg/kg bulmuşlardır. Çalışmada analiz edilen balıkların ortalama Cr konsantrasyonları MHPRC (2022) sınır değerinin (2,0 mg/kg) altında bulunmuştur.

Bakır (Cu) karasal ortamlarda ve yüzey sularında bulunabilmektedir. Belirli miktarlarda bulunan bakır zehirli değildir. Aşırı alınması durumunda sağlığa zararlı olabilmektedir (Güler ve Çobanoğlu, 1997). Balık örneklerinin ortalama Cu konsantrasyonları 0,115-0,959 mg/kg arasında değişim göstermiştir (Tablo 2). Hamsi ve istavrit örneklerinin ortalama Cu miktarlarında diğer türlerden anlamlı derecede farklılık tespit edilmiştir (p<0,05). Alabalık, barbun, çipura, levrek ve mercan balıkları düşük Cu içeren grupta (0,115 – 0,386 mg/kg) yer alırken, hamsi ve istavrit ise yüksek Cu içeren grupta (0,834-0,959 mg/kg) yer almıştır. Kalyoncu vd. (2012) Karacaören Baraj Gölü’nde ve Gümüş ve Akköz (2021) Eber Gölü’nde yaptıkları çalışmada Cu

konsantrasyonlarını en yüksek 1 mg/kg bulmuşlardır. Korkmaz vd. (2019) Kuzeydoğu Akdeniz bölgesinde yaptıkları çalışmada balık türlerinde ortalama Cu konsantrasyonları 0,006–0,74 mg/kg arasında bulunmuştur.

Çoğunlukla hayvansal gıdalardan elde edilen demir (Fe) insan sağlığı için gerekli bir metaldir. Bazı durumlarda antropojenik etkilerden dolayı toksisiteye rastlanır (Çiftçi vd., 2021). Ortalama Fe konsantrasyonları 3,346-12,791 mg/kg arasında değişim göstermiştir (Tablo 2). Barbun ve hamsi örneklerinde Fe konsantrasyonları anlamlı derecede yüksek tespit edilmiştir ($p<0,05$). Çiftçi vd. (2021) Kırıkkale’de bazı balık türlerinde Fe konsantrasyonlarını 3,64-14,95 mg/kg arasında bulmuştur. Gültürk (2021) Bingöl’de bazı balık türlerinde Fe konsantrasyonlarını 2,75-21,43 mg/kg arasında bulmuştur. Varol vd. (2019) Kahramanmaraş’ta bazı balık türlerinde Fe konsantrasyonlarını 2,68-21,36 mg/kg arasında tespit edilmiştir.

Mangan (Mn) birçok enzim için kofaktör olarak gereklidir. Mangana aşırı maruz kalma nörotoksositeye ve Alzheimer hastalığı ile Parkinson hastalığına neden olabilir (Aşıkutlu vd., 2021; Martins vd., 2019). Ortalama Mn konsantrasyonları 0,475-0,102 mg/kg arasında değişim göstermiştir (Tablo 2). Hamsi balığı örneklerinde tespit edilen Mn konsantrasyonunun anlamlı derecede yüksek olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Çiftçi vd. (2021) Kırıkkale’de bazı balık türlerinde Mn konsantrasyonlarını 1,99-3,54 mg/kg arasında bulmuştur. Korkmaz vd. (2019) Akdeniz kıyılarında bazı balık türlerinde Mn konsantrasyonlarını 0,002-0,39 mg/kg arasında tespit etmiştir. Varol vd. (2019) Kahramanmaraş’ta bazı balık türlerinde Fe konsantrasyonlarını 0,093-2,023 mg/kg arasında belirlemiştir.

Çoğu sucul canlının gerekli bir eser element olarak nikel (Ni) ihtiyacı olmasına rağmen, yüksek miktarları balıklar, amfibiler ve omurgasızlar için tehlikeli olabilir (Brix vd., 2017; Naz vd., 2023). Ortalama Ni konsantrasyonları 0,121-0,445 mg/kg arasında değişim göstermiştir (Tablo 2). Varol vd. (2020) Dicle Nehri’ndeki balık türlerinde ortalama Ni konsantrasyonlarını 0,66-0,79 mg/kg arasında bulmuşlardır. Gültürk (2021), Bingöl’de bazı balık türlerinde Ni konsantrasyonlarını 0,018-0,256 mg/kg arasında bulmuştur. Varol vd. (2019) Kahramanmaraş’ta bazı balık türlerinde Ni konsantrasyonlarını 0,16-0,254 mg/kg arasında bulmuştur.

Çinkonun (Zn) suya ve toprağa aşırı deşarjı su kirliliğine yol açarak septisemi, menenjit, demir eksikliği anemisi gibi ciddi sağlık sorunlarına neden olur (Aşıkutlu vd., 2021; Li vd., 2018). Ortalama Zn konsantrasyonları 2,272-18,011 mg/kg arasında değişim göstermiştir (Tablo 2). Hamsi balığı örneklerinde tespit edilen Zn miktarı anlamlı derecede yüksektir ($p<0,05$). Gültürk (2021) Bingöl’de bazı balık türlerinde Zn konsantrasyonlarını 2,52-39,56 mg/kg arasında bulmuştur. Çiftçi vd. (2021) Kırıkkale’de bazı balık türlerinde Mn konsantrasyonlarını 4,13-20,72 mg/kg arasında tespit etmiştir. Bat vd. (2019)

balık kaslarında tespit edilen ortalama Zn konsantrasyonlarını 8,4-12,3 mg/kg arasında belirlemiştir.

Karaman ilinde balık tüketen yetişkin insanların maruz kaldığı sekiz metalin EDI, THQ ve HI değerleri Tablo 3’te gösterilmiştir. Alabalık, barbun ve istavrit örneklerinde Fe elementinin EDI değerleri diğer elementlerin EDI değerlerinden yüksekken; hamsi, mercan ve kupes örneklerinde Cr elementi, çipura örneğinde As, levrek örneğinde ise Zn elementlerinin EDI değerleri diğer elementlerin EDI değerlerinden yüksek bulunmuştur. İncelenen balık türlerinde her bir metalin EDI değerleri RfD değerlerinin çok altındadır, HI’nin 1’den büyük olması, tüketici bakımından kanserojen olmayan sağlık risklerinin olduğunu göstergesidir. Tüm balık türlerinde, bütün metallerin THQ’ları 1’in altında bulunmuştur (Tablo 3). Tüketicilerin balık türlerinin tüketimi yoluyla bireysel metallerin alımından dolayı, kanserojen olmayan sağlık etkileri yaşama ihtimalinin düşük olduğu görülmüştür. Balıklarda en yüksek tehlike indeksi değeri (HI) mercan balığında (0,2) tespit edilmiştir. Diğer balıklarda HI değeri yüksekten düşüğe doğru sırasıyla; hamsi (0,08), kupes (0,06), barbun (0,027), istavrit (0,02), alabalık (0,014), levrek (0,013) ve çipura (0,012) şeklindedir. Tüm balık türlerinin HI değerleri 1’in altında olması tüketiciler için balık türlerindeki birleşik metallerin alımından kaynaklanan kanserojen olmayan sağlık etkilerinin ortaya çıkmasının muhtemel olmadığını göstermektedir.

En yüksek THQ değerine sahip metaller tüm balıklarda inorganik As olmuştur. Balıkların yenilebilir dokularında analiz edilen metallerin tüketiciler için sağlık sorunlarına yol açmayacağı sonucuna varılabilir. Benzer sonuçlar birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Loghmani vd., 2022; Gültürk, 2021; Tokatlı ve Ustaoglu, 2021; Varol vd., 2022a)

Karaman ilinde toplanan balık örneklerinin ağır metal parametreleri arasındaki ilişkisi Spearman korelasyon analizi ile belirlenmiş ve Tablo 4’te belirtilmiştir. Balık örneklerinde ağır metaller arasında 0,01 anlam seviyesinde ($p<0,01$) Cu metali ile Ni metali arasında güçlü pozitif korelasyon görülmüştür. Ayrıca, 0,01 anlam seviyesinde ($p<0,01$) As metali ile Cd ve Ni metalleri arasında, Cr metali ile Ni metali arasında, Cu metali ile Fe ve Zn metali arasında ve Fe metali ile Mn metali arasında orta düzeyde pozitif korelasyon belirlenmiştir.

Tablo 2. Balıklarda bulunmasına izin verilen maksimum metal konsantrasyonları ile bu çalışmada belirlenen metallerin ortalama değerleri (mg/kg yaş ağırlık)

	iAs*	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
	ort±ss	ort±ss	ort±ss	ort±ss	ort±ss	ort±ss	ort±ss	ort±ss
Alabalık	0,010±0,007 ^a	0,035±0,025 ^{ab}	0,165±0,027 ^a	0,154±0,032 ^a	3,706±0,625 ^a	0,109±0,038 ^a	0,124±0,026 ^a	3,361±0,182 ^{abc}
Barbun	0,023±0,012 ^a	0,035±0,024 ^{ab}	0,292±0,159 ^a	0,234±0,131 ^a	12,458±8,816 ^{bc}	0,176±0,107 ^a	0,156±0,032 ^a	4,177±1,471 ^{bc}
Çipura	0,011±0,006 ^a	0,040±0,019 ^{ab}	0,163±0,021 ^a	0,115±0,055 ^a	3,564±1,804 ^a	0,105±0,049 ^a	0,121±0,035 ^a	3,115±0,226 ^{ab}
Hamsi	0,067±0,006 ^b	0,061±0,019 ^b	0,230±0,063 ^a	0,959±0,243 ^c	12,791±2,246 ^c	0,475±0,268 ^b	0,249±0,052 ^{ab}	18,011±2,387 ^d
İstavrit	0,016±0,010 ^a	0,060±0,031 ^{ab}	0,860±0,574 ^b	0,834±0,959 ^{bc}	7,912±2,608 ^{ab}	0,152±0,016 ^a	0,316±0,183 ^{ab}	4,997±1,150 ^c
Kupes	0,074±0,023 ^b	0,063±0,018 ^b	0,476±0,313 ^a	0,386±0,177 ^{ab}	6,306±1,522 ^a	0,102±0,080 ^a	0,445±0,334 ^b	3,310±1,172 ^{abc}
Levrek	0,010±0,004 ^a	0,024±0,016 ^a	0,220±0,077 ^a	0,175±0,063 ^a	3,346±0,785 ^a	0,156±0,032 ^a	0,204±0,109 ^a	4,607±0,809 ^{bc}
Mercan	0,233±0,065 ^c	0,171±0,041 ^c	0,336±0,078 ^a	0,205±0,036 ^a	6,220±2,018 ^a	0,162±0,063 ^a	0,279±0,063 ^{ab}	2,272±0,358 ^a
Maksimum izin verilen değerler								
TGK (2023)		0,05-0,25 ^{**}						
EC (2023)		0,05-0,25 ^{**}						
MHPRC (2022)	0,1	0,1	2,0					
FSANZ (2024)	2,0							

*iAs: İnorganik arsenik.

**Hamsi (*Engraulis* türleri) için 0,25 mg/kg yaş ağırlık, diğer türler için ise 0,05 mg/kg yaş ağırlık. Türk Gıda Kodeksi (TGK) Bulaşanlar Yönetmeliği'nde hamsi için bu değer 31/12/2024 tarihinden itibaren uygulanmaya başlanacaktır.

Farklı üst simge harflere sahip aynı sütundaki ortalamalar önemli ölçüde farklıdır (p<0,05).

Tablo 3. Karaman İlinde balık tüketimi yoluyla tahmini günlük alım (EDI), tolere edilebilir günlük alım(TDI), hedef tehlike katsayıları (THQ'lar) ve tehlike indeksi (HI)

	iAs*	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	
	THQ								HI
Alabalık	8,47E-03	8,57E-06	2,77E-08	9,70E-07	3,56E-03	1,96E-07	1,56E-06	2,82E-03	1,49E-02
Hamsi	5,63E-02	1,54E-05	3,86E-08	6,04E-06	4,61E-03	8,55E-07	3,14E-06	1,51E-02	7,60E-02
Barbun	1,93E-02	8,82E-06	4,91E-08	1,47E-06	4,48E-03	3,17E-07	1,97E-06	3,51E-03	2,73E-02
Çipura	8,85E-03	1,01E-05	2,74E-08	7,25E-07	1,28E-03	1,89E-07	1,52E-06	2,62E-03	1,28E-02
İstavrit	1,34E-02	1,51E-05	1,45E-07	5,26E-06	2,85E-03	2,74E-07	3,98E-06	4,20E-03	2,05E-02
Levrek	8,52E-03	6,05E-06	3,70E-08	1,10E-06	1,20E-03	2,81E-07	2,57E-06	3,87E-03	1,36E-02
Kupes	6,19E-02	1,59E-05	8,00E-08	2,43E-06	2,27E-03	1,84E-07	5,61E-06	2,78E-03	6,70E-02
Mercan	1,96E-01	4,28E-05	5,65E-08	1,29E-06	2,24E-03	2,92E-07	3,52E-06	1,91E-03	2,00E-01
	EDI								
Alabalık	8,83E-02	8,94E-03	4,00E-01	4,05E-02	9,74E-01	2,87E-02	3,26E-02	8,83E-01	
Hamsi	5,87E-01	1,60E-02	9,23E+00	2,52E-01	3,36E+00	1,25E-01	6,55E-02	4,73E+00	
Barbun	2,01E-01	9,20E-03	1,35E+00	6,15E-02	3,27E+00	4,63E-02	4,10E-02	1,10E+00	
Çipura	9,23E-02	1,05E-02	2,65E-01	3,02E-02	9,37E-01	2,76E-02	3,18E-02	8,19E-01	
İstavrit	1,40E-01	1,58E-02	1,94E+00	2,19E-01	2,08E+00	4,00E-02	8,31E-02	1,31E+00	
Levrek	8,88E-02	6,31E-03	6,48E-01	4,60E-02	8,80E-01	4,10E-02	5,36E-02	1,21E+00	
Kupes	6,46E-01	1,66E-02	3,96E+00	1,01E-01	1,66E+00	2,68E-02	1,17E-01	8,70E-01	
Mercan	2,04E+00	4,47E-02	2,46E+00	5,39E-02	1,63E+00	4,26E-02	7,33E-02	5,97E-01	
RfD	0,3	1	1500	40	700	140	20	300	

*iAs: İnorganik arsenik

Tablo 4. Karaman’da toplanan balık örneklerinde tespit edilen ağır metallerin birbirleri arasındaki ilişkiler ve Spearman sıralama korelasyon katsayıları

	iAs [†]	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
iAs	1							
Cd	,594**	1						
Cr	,369*	,401*	1					
Cu	,451**	,260	,473**	1				
Fe	,390*	,218	,444**	,569**	1			
Mn	,276	,085	,195	,389*	,501**	1		
Ni	,645**	,356*	,564**	,710**	,402*	,301	1	
Zn	-,162	-,192	,083	,519**	,384*	,467**	,075	1

*korelasyon 0,05 seviyesinde önemli (p<0,05); **korelasyon 0,01 seviyesinde önemli (p<0,01). iAs: İnorganik arsenik

Sonuç

Sağlık riski değerlendirme yöntemleri, balık tüketicileri için kanserojen olmayan sağlık etkilerinin beklenmediğini ortaya koymuştur. Mercan balığında ortalama inorganik As konsantrasyonu MHPRC (2022) sınır değerinin (0,1 mg/kg) üzerinde, ortalama Cd konsantrasyonu EC (2023) sınır değeri (0,05 mg/kg), MHPRC (2022) sınır değeri (0,1 mg/kg) ve TGK (2023) sınır değerinin (0,05 mg/kg) üzerinde; istavrit ve kupes balıklarında ise ortalama Cd konsantrasyonları EC (2023) sınır değeri (0,05 mg/kg) ve TGK (2023) sınır değerinin (0,05 mg/kg) üzerinde bulunmuştur. İzin verilen limit değerlerin üzerinde metal içeriği tespit edilen istavrit, kupes ve mercan balıkları yabani deniz türleridir. Tüm balıkların ortalama Cr konsantrasyonları MHPRC (2022) sınır değerine (2,0 mg/kg) göre uygun bulunmuştur. İnsan vücudunda birikerek sağlık riski oluşturma ihtimali bulunan ağır metalleri içeren besin öğeleri, yetkili otoritelerce denetlenmeli ve bu besinlerin düzenli bir şekilde takibi yapılmalıdır.

Teşekkür

Bu çalışma; Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca kabul edilen “10-M-22 numaralı” proje kapsamında desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkıları

N. E. Gümüş, F. Gökbil ve Z. Aydın, çalışmayı planladı ve tasarladı. Tüm yazarlar veri toplama ve analiz etmede, sonuçları tartışmada ve makalenin son şeklini almasında katkıda bulundular.

Etik Onay

Bu çalışma için etik kurul iznine gerek yoktur.

Kaynaklar

- Aktop, Y., & Çağatay, İ. T. (2020). Ağır metallerin balıklarda birikimi ve etkileri. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 6(1), 37-44.
- Almafrachi, H. A. A., Gümüş, N. E., & Çorak Öcal, İ. (2024). Heavy metal bioaccumulation in fish: implications for human health risk assessment in ten commercial fish species from Konya, Türkiye. *International Journal of Environmental Science and Technology*. doi: 10.1007/s13762-024-05875-3
- AOAC. (2016). *Appendix F: Guidelines for standard method performance requirements*. Erişim tarihi: 13 Mart 2024, https://www.aoac.org/wp-content/uploads/2019/08/app_f.pdf
- Akturfan, M., & Dağcı, T. (2024). Ramazan Yemeklerinde Sosyo-Kültürel Değişim: Karaman İli Örneği. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(1), 13-31. doi: 10.18506/anemon.1239749
- Aşıkutlu, B., Gümüş, N. E., & Akköz, C. (2021). Water quality properties of Acı Lake and Meke Lake (Konya, Turkey). *LimnoFish-Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, 7(3), 260-270. doi: 10.17216/limnofish.799091
- Bat, L., Şahin, F., Öztekin, A., Arici, E., & Yardim Ö. (2019). Assessment of Cd, Hg, Pb, Cu and Zn amounts in muscles of *Cyprinus carpio* from Karasu Stream, Sinop. *Current Agriculture Research Journal*, 7(2), 171-180. doi: 10.12944/carj.7.2.05
- Brix, K. V., Schlekat, C. E., & Garman, E. R. (2017). The mechanisms of nickel toxicity in aquatic environments: An adverse outcome pathway analysis. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 36, 1128-1137. doi: 10.1002/etc.3706

- Bosch, A. C., O'Neill, B., Sigge, G. O., Kerwath, S. E., & Hoffman, L.C. (2016) Heavy metals in marine fish meat and consumer health: a review. *Agricultural and Food Sciences, Environmental Science*, 96(1), 32–48. doi: 10.1002/jsfa.7360
- Çiftçi, H., Er Çalışkan, Ç., & Öztürk, K. (2021). Bazı balık türlerinde iz ve toksik metal düzeylerinin belirlenmesi ve insan sağlığı riskinin değerlendirilmesi. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 7(2), 219-233. doi: 10.28979/jarnas.883611
- Copat, C., Arena, G., Fiore, M., Ledda, C., Fallico, R., Sciacca, S., & Ferrante, M. (2013). Heavy metals concentrations in fish and shellfish from eastern Mediterranean Sea: consumption advisories. *Food and Chemical Toxicology*, 53, 33-37. doi: 10.1016/j.fct.2012.11.038
- Cui, B. S., Zhang, Q. J., Zhang, K. J., Liu, X. H., & Zhang, H. G. (2011). Analyzing trophic transfer of heavy metals for food webs in the newly-formed wetlands of the Yellow River Delta, China. *Environmental Pollution*, 159(5), 1297-1306. doi: 10.1016/j.envpol.2011.01.024
- Dadar, M., Adel, M., Ferrante, M., Saravi, H. N., Copat, C., & Conti, G. O. (2016). Potential risk assessment of trace metals accumulation in food, water and edible tissue of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farmed in Haraz River, Northern Iran. *Toxin Reviews*, 35, 141–146. doi: 10.1080/15569543.2016.1217023
- DIN EN ISO 11885. (2009). *Water quality Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) (ISO 11885: 2007); German version EN ISO, 2009, 11885.*
- Durmaz, E., Kocagöz, R., Bilacan, E., & Orhan, H. (2017). Metal pollution in biotic and abiotic samples of the Büyük Menderes River, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 4274-4283. doi: 10.1007/s11356-016-6417-7
- EC. (2023). *Commission Regulation (EC) No 2023/915 of 25 April 2023: on maximum levels for certain contaminants in food and repealing Regulation (EC) No 1881/2006. Official Journal of the European Union, L 119/103.* Erişim tarihi: 01 Haziran 2024, <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/915/oj>
- Fallah, A. A., Saei-Dehkordi, S. S., Nematollahi, A., & Jafari, T. (2011). Comparative study of heavy metal and trace element accumulation in edible tissues of farmed and wild rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) using ICP-OES technique. *Microchemical Journal*, 98, 275–279. doi: 10.1016/j.microc.2011.02.007
- FSANZ. (2024). *Australia New Zealand Food Standards Code, Schedule 19 – Maximum levels of contaminants and natural toxicants.* Erişim tarihi: 01 Haziran 2024, <https://www.legislation.gov.au/F2015L00454/latest/text>
- 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 Chemistry*, 127(3), 934-942. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.01.061
- Güler, Ç., & Çobanoğlu, Z. (1997). *Su kalitesi (1. Baskı)*. Ankara: T.C. Sağlık Bakanlığı.
- Gültürk, M. (2021). Bingöl'de tüketilen bazı balıklarda ağır metal düzeylerinin araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi), Munzur Üniversitesi, Tunceli.
- Gümüş, N. E., & Akköz, C. (2021). Bioaccumulation of heavy metals in the water, sediment and the tissues of *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) from Eber Lake. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(4), 507-514. doi: 10.12714/egejfas.38.4.12
- Gümüş, B., & Buluş, A. (2020). Uluslararası çevre sorunları ve William Nordhaus'un çevre ekonomisine katkıları. *Alanya Akademik Bakış Dergisi*, 4(3), 1015-1031. doi: 10.29023/alanyaakademik.686110
- Gümüş, N. E., Keskinaya, H. B., Okudan, E. Ş. & Akköz, C. (2024). Akdeniz Bölgesi (Antalya/Türkiye) makroalg türlerinin makro ve iz element seviyelerinin belirlenmesi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), 1-9. doi: 10.47112/neufmbd.2024.28
- Hongxing, Z., & Yu-Kui, R. (2011). Determination of trace elements, heavy metals and rare earth elements in corn seeds from Beijing by ICP-MS simultaneously. *E-Journal of Chemistry*, 8(2), 782-786.
- Kalantzi, I., Mylona, K., Pergantis, S. A., Coli, A., Panopoulos, S., & Tsapakis, M. (2019). Elemental distribution in the different issues of brood stock from Greek hatcheries. *Aquaculture*, 503, 175–185. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.01.004
- Kalyoncu, L., Kalyoncu, H., & Arslan, G. (2012). Determination of heavy metals and metals levels in five fish species from Işıklı Dam Lake and Karacaören Dam Lake (Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment*, 184, 2231–2235. doi: 10.1007/s10661-011-2112-9
- Kavak, S., & Pekerşen, Y. (2022). Yöresel mutfak kültürünün turizme kazandırılmasında yerel halkın tutumu: Karaman İlinde bir araştırma. *Seyahat ve Otel İşletmeciliği Dergisi*, 19(1), 59-80. doi: 10.24010/soid.1019182
- Korkmaz, C., Ay, Ö., Ersoysal, Y., Köroğlu, M. A., & Erdem, C. (2019). Heavy metal levels in muscle tissues of some fish species caught from north-east Mediterranean: evaluation of their effects on human health. *Journal of Food Composition and Analysis*, 81, 1-9. doi: 10.1007/s11270-017-3503-5
- Li, Y., Wang, X., Xu, H., Xia, P., Wang, H., Jing, H., Li, J., & Zhao, J. (2018). High zinc removal from water and soil using struvite-supported diatomite obtained by nitrogen and phosphate recovery from wastewater.

- Environmental Chemistry Letters*, 16(2), 569-573. doi: 10.1007/s10311-017-0694-3
- Loghmani, M., Tootooni, M. M., & Sharifian, S. (2022). Risk assessment of trace element accumulation in two species of edible commercial fish *Scomberoides commersonianus* and *Cynoglossus arel* from the northern waters of the Oman Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 174, 113201. doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.113201
- Martins, A. C., Morcillo, P., Ijomone, O. M., Venkataramani, V., Harrison, F. E., Lee, E., Bowman, A. B., & Aschner, M. (2019). New insights on the role of manganese in Alzheimer's Disease and Parkinson's Disease. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(19), 3546. doi: 10.3390/ijerph16193546
- MHPRC. (2013) *National Food Safety Standard, maximum levels of contaminants in foods (GB2762-2012)*.
- MHPRC. (2022). *National Food Safety Standard, Maximum Levels of Contaminants in Foods (GB2762-2022)*. Erişim tarihi: 01 Haziran 2024, <https://fas.usda.gov/data/china-china-releases-standard-maximum-levels-contaminants-foods-0>
- Morgano, M. A., Rabonato, L. C., Milani, R. F., Miyagasku, L., & Balian, S. C. (2011). Assessment of trace elements in fishes of Japanese foods marketed in São Paulo (Brazil). *Food Control*, 22(5), 778-785. doi: 10.1016/j.foodcont.2010.11.016
- Mukaka, M. M. (2012). Statistics corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. *Malawi Medical Journal*, 24(3), 69-71.
- Naz, S., Chatha, A. M. M., & Danabas, D. (2023). Effects of cadmium and nickel on embryonic development of fish: a review. *Menba Journal of Fisheries Faculty*, 9(2), 40-51. doi: 10.58626/menba.1266952
- Orhan, M. A. (2023). "Çeşit Çok Ama Karaman Halkı Hamsi Diyor". KGRt, Erişim tarihi: 01 Ekim 2024, <https://www.kgrthaber.com/cesit-cok-ama-karaman-halki-hamsi-diyor>
- Prabakaran, K., Sompongchaiyakul, P., Bureekul, S., Wang, X., & Charoenpong, C. (2024). Heavy metal bioaccumulation and risk assessment in fishery resources from the Gulf of Thailand. *Marine Pollution Bulletin*, 198, 115864. doi: 10.1016/j.marpolbul.2023.115864
- Rajeshkumar, S., & Li, X. (2018). Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. *Toxicology Reports*, 5, 288-295. doi: 10.1016/j.toxrep.2018.01.007
- Sai Bhavya, K., Selvaran, A., Samrot, A. V., Javad, P. T. M., & Appalaraju, V. V. S. S. (2019). Leather processing, its effects on environment and alternatives of chrome tanning. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)*, 10(6), 69-79. doi: 10.34218/IJARET.10.6.2019.009
- Qin, D., Jiang, H., Bai, S., Tang, S., & Mou, Z. (2015). Determination of 28 trace elements in three farmed cyprinid fish species from Northeast China. *Food Control*, 50, 1-8. doi: 10.1016/j.foodcont.2014.08.016
- Tarley, C. R. T., Coltro, W. K. T., Matsushita, M., & de Souza, N. E. (2001). Characteristic levels of some heavy metals from Brazilian canned sardines (*Sardinella brasiliensis*). *Journal of Food Composition and Analysis*, 14, 611-617. doi: 10.1006/jfca.2001.1028
- TGK. (2023). Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği. (2023, 05 Kasım) *Resmi Gazete* (Sayı: 32360). Erişim tarihi: 01 Haziran 2024, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2023/11/20231105-1.htm>
- TOB. (2021). *Su Ürünleri İstatistikleri*. Erişim tarihi: 20 Haziran 2023, <https://www.tarimorman.gov.tr/sgb/Belgeler/SagMenuVeriler/BSGM.pdf>
- Tokatlı, C., & Ustaoglu, F. (2021). Meriç Delta balıklarında toksik metal birikimlerinin değerlendirilmesi: muhtemel insan sağlığı riskleri. *Acta Aquatica Turcica*, 17(1), 136-145. doi: 10.22392/actaquat.769656
- Türkmen, A., Tepe, Y., & Türkmen, M. (2016). Determination of metals in tissues of fish species from Hurmabogazı Lagoon. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 45(2), February 2016, 277-282.
- 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, 233-237. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.06.071
- Tuzen, M. (2009). Toxic and essential trace elemental contents in fish species from the Black Sea, Turkey. *Food and Chemical Toxicology*, 47(8), 1785-1790. doi: 10.1016/j.fct.2009.04.029
- UNEP. (1984). *Determination of total cadmium, zinc, lead and copper in selected marine organisms by flameless atomic absorption spectrophotometry. Reference Methods for Marine Pollution Studies No. 11 Rev. 1*. Erişim tarihi: 20 Haziran 2023, <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/28494>
- USEPA. (1989) *Risk Assessment Guidance For Superfund. Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part A). Interim Final EPA/540/1-89/002*. Erişim tarihi: 20 Haziran 2023, https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/rags_a.pdf
- USEPA. (1991) *Risk Assessment Guidance For Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual, Supplemental Guidance Standard Default Exposure Factors Interim Final OSWER Directive 9285.6-03* Erişim tarihi: 20 Haziran 2023,

- <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-11/documents/OSWERdirective9285.6-03.pdf>
- USEPA. (2011) *Exposure Factors Handbook 2011 edition EPA/600/R-09/052F*. Erişim tarihi: 20 Haziran 2023, <https://www.regulations.gov/document/EPA-HQ-OAR-2022-0730-0049>
- USEPA. (2019). *Regional Screening Levels (RSLs)–Equations*. Erişim tarihi: 20 Haziran 2023, <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-equations>
- USEPA. (2021). *Regional Screening Level (RSL) Summary Table (TR=1E-06 THQ=1.0)*. Erişim tarihi: 20 Haziran 2023 <https://semspub.epa.gov/work/HQ/401635.pdf>
- Varol, M., & Sünbül, M. R. (2017). Comparison of heavy metal levels of farmed and escaped farmed rainbow trout and health risk assessment associated with their consumption. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 23114-23124. doi: 10.1007/s11356-017-9958-5
- 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*, 26(32), 33311-33320. doi: 10.1007/s11356-019-06450-x
- Varol, M., Kaçar, E., & Akın, H. K. (2020). Accumulation of trace elements in muscle, gill and liver of fish species (*Capoeta umbla* and *Luciobarbus mystaceus*) in the Tigris River (Turkey), and health risk assessment. *Environmental Research*, 186, 109570. doi: 10.1016/j.envres.2020.109570
- Varol, M., Kaçar, E., Sünbül, M. R., & Islam, A. R. M. T. (2022a). Levels of metals and elements in tissues of fish species in the Kızılırmak River (Turkey) and assessment of health risks and nutritional benefits. *Environmental Research*, 214, 113791. doi: 10.1016/j.envres.2022.113791
- Varol, M., Kaçar, E., Sünbül, M. R., & Islam, A. R. M. T. (2022b). Species, tissue and gender-related metal and element accumulation in fish species in a large reservoir (Turkey) and health risks and nutritional benefits for consumers. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 94, 103929. doi: 10.1016/j.etap.2022.103929
- 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(3), 327-337. doi: 10.1007/s40726-023-00263-w
- Yin, J., Wang, L., Liu, Q., Li, S., Li, J., & Zhang, X. (2020). Metal concentrations in fish from nine lakes of Anhui Province and the health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 20117–20124. doi: 10.1007/s11356-020-08368-1
- Zerizghi, T., Yang, Y., Wang, W., Zhou, Y., Zhang, J., & Yi, Y. (2020). Ecological risk assessment of heavy metal concentrations in sediment and fish of a Shallow Lake: a case study of Baiyangdian Lake, North China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(2), 154. doi: 10.1007/s10661-020-8078-8
- Zyadah, M., & Chouikhi, A. (1999). Heavy metal accumulation in mullus barbatus, merluccius and boops fish from the Aegean Sea, Turkey. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 50, 429–434. doi: 10.1080/09637489910099