



University of Guilan with collaboration of Iranian
Aquaculture Society



Aquatic Animals Nutrition

Vol. 11, No. 3, 2025, pages: 81-93
DOI: 10.22124/janb.2026.33853.1309

RESEARCH PAPER

OPEN ACCESS

Assessment of the Zn, Pb, Cd and Hg concentrations in muscle of wild common carp (*Cyprinus carpio*) in Guilan Province, North Iran

Mehdi Taheri¹, Babak Shoaibi Omrani^{1*}, Soheil Alinezhad²

1- Department of Aquatic Animal, Veterinary Medicine College, Ka.C., Islamic Azad University, Karaj, Alborz, Iran

2- Institute of Agricultural Education and Extension, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Tehran, Iran

Received 27 July 2025 Revised 16 September 2025 Accepted 18 September 2025 Published online 25 August 2026

KEYWORDS ABSTRACT

Pollution
Caspian Sea
Heavy metals
Wild common
carp
Muscle

Introduction: Industrial expansion and increased activity in coastal areas, coupled with the discharge of wastewater and pollutants, have caused marine pollution, particularly in enclosed environments like the Caspian Sea, where pollutants accumulate due to evaporation. Heavy metals, stable and non-biodegradable, pose significant health risks to humans and aquatic life by contaminating marine environments and fish, a key part of the human food chain. Factors such as fish age, size, sex, feeding habits, ecological needs, heavy metal concentrations in water and sediment, duration of fish residence, fishing season, and water chemistry (salinity, hardness, temperature) all influence heavy metal accumulation in fish organs. Heavy metals and other pollutants accumulate in aquatic organisms and can transfer to humans, posing health risks. The toxicity depends on the metal type and concentration; lead, arsenic, mercury, and cadmium are particularly hazardous due to low tolerance limits. This study focused on wild common carp in Guilan Province (Iran), a valuable species that feeds on bottom sediments. Carp's feeding habits make them prone to higher heavy metal accumulation compared to surface-dwelling fish, highlighting the importance of studying contamination in wild-caught fish, considering diet, habitat, and species variations.

Materials and methods: A total of 24 wild common carp weighing 1450 ± 161 g were randomly collected in April 2022 from fish markets in the cities of Astara, Hashtpar, Anzali, Rasht, Kelachay, and Kiashahr in Guilan Province. In the laboratory, after biometric measurements and recording of total and standard lengths as well as weight, a 100-gram portion of pectoral fin muscle from each specimen was separated, coded, and stored at -20°C until digestion. Heavy

metals were measured using an atomic absorption spectrometer. Descriptive statistics and Kolmogorov–Smirnov tests assessed data normality. One-Way ANOVA (SAS v9.4) compared quantitative variable means across independent groups. T-tests identified differences between independent group means. Duncan's multiple range test (95% confidence) performed group mean comparisons. Partial correlation analyzed relationships between quantitative traits and heavy metal accumulation.

Results: The findings of this study showed no significant differences in heavy metal accumulation between male and female fish, nor between heavy metal concentrations and the measured biometric characteristics of the specimens ($P > 0.05$). The mean concentrations of zinc ($24.73 \pm 14.24 \mu\text{g/g}$ dry weight), cadmium ($0.003 \pm 0.00020 \mu\text{g/g}$), lead ($0.0252 \pm 0.001 \mu\text{g/g}$) and mercury ($0.0842 \pm 0.0659 \mu\text{g/g}$) were found to be well within the permissible limits of international standards (FAO/WHO) and the Iranian national standard (Iran Veterinary Organization).

Discussion: Fish feeding habits significantly impact contaminant accumulation, with variations observed even among those in similar aquatic environments. For bottom-feeding common carp, sediment is a key source of heavy metal accumulation. This study found that common carp in the examined regions are safe, with zinc, lead, cadmium, and mercury levels below international standards. Sediment contamination can transfer to these organisms and then to the fish. The low contamination levels in this study suggest that sediments and small benthic organisms in the region also have relatively low levels of zinc, cadmium, lead, and mercury.

*Corresponding author: babak.shoaibi@iau.ac.ir





"مقاله پژوهشی"

تعیین غلظت فلزات سنگین روی، سرب، کادمیوم و جیوه در بافت عضله ماهی کپور وحشی (*Cyprinus carpio*) در استان گیلان

مهدی طاهری^۱، بابک شعبی عمرانی^{۱*}، سهیل علی نژاد^۲

۱- گروه بهداشت آبزیان، دانشکده دامپزشکی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، البرز

۲- موسسه آموزش و ترویج کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، تهران

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۶/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۵

کلمات کلیدی

چکیده

گسترش آلاینده‌های مختلف از جمله فلزات سنگین موجب شده بسیاری از اکوسیستم‌های دریایی، آب شیرین و موجودات ساکن آن‌ها تحت تأثیرات منفی قرار گیرند. فلزات سنگین جزو آلاینده‌های غیرقابل تجزیه به حساب می‌آیند و سنجش آن‌ها در آب، رسوب و ماهیان، معیاری برای سنجش آلودگی محیط و میزان تأثیر آن بر جوامع انسانی است. انتقال فلزات سنگین توسط زنجیره غذایی، عاملی تهدیدکننده برای جامعه بشری تلقی می‌شود. نظر به اینکه بافت عضله ماهی نقش مهمی در تغذیه انسان دارد، اطمینان از سلامت آن حائز اهمیت است. در این تحقیق ۲۴ عدد ماهی کپور معمولی وحشی (*Cyprinus carpio*) با میانگین وزنی 161 ± 1450 گرم در فروردین ماه سال ۱۴۰۱ به طور تصادفی از بازارهای عرضه ماهی شهرهای آستارا، هشتپر، انزلی، رشت، کلاچای و کیاشهر در استان گیلان جمع‌آوری شد و از نظر میزان چهار فلز سنگین سرب، روی، کادمیوم و جیوه بررسی شدند. ۱۰۰ گرم عضله پستی بعد از زیست‌سنجی، کدگذاری و تا زمان هضم در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. سنجش فلزات سنگین با دستگاه جذب اتمی انجام شد. بین تجمع فلزات سنگین در جنس نر و ماده و نیز بین میزان فلزات سنگین و صفات زیستی اندازه‌گیری شده بدن در نمونه‌های آزمایشی اختلاف معنی‌دار دیده نشد. مقادیر فلزات سنگین روی ($14/24 \pm 24/73$)، کادمیوم ($0/0002 \pm 0/0003$)، سرب ($0/0252 \pm 0/001$) و جیوه ($0/0659 \pm 0/0842$) برحسب میکروگرم در گرم وزن خشک و پایین‌تر از حد مجاز استانداردهای بین‌المللی (FAO/WHO) و استاندارد ملی (سازمان دامپزشکی کشور) بود. آلودگی رسوبات می‌تواند باعث آلودگی موجودات کفزی کوچک و به دنبال آن انتقال آلودگی به ماهیان کفزی و بنتوزخوار شود. بنابراین، کمتر بودن میزان آلودگی به فلزات سنگین روی، کادمیوم، سرب و جیوه در تحقیق حاضر می‌تواند نشان‌دهنده پایین بودن آلودگی در رسوبات و کفزیان کوچک در منطقه باشد.

مقدمه

در طی چند دهه اخیر توسعه صنایع و افزایش فعالیت‌های صنعتی در مناطق ساحلی و رهاسازی پساب و آلاینده‌های ناشی از این صنایع به دریا، باعث آلودگی محیط زیست دریایی شده است. آلودگی‌های ناشی از یوتریفیکاسیون، فلزات سنگین، مواد آلی، آلودگی‌های میکروبی و آلودگی‌های نفتی پیامدهای افزایش فعالیت‌های انسان در مناطق ساحلی هستند (Kesavan et al. 2013; Modheji et al. 2023).

دریای خزر بزرگترین پیکره آبی محصور دنیاست که فلزات سنگین، از مهمترین آلاینده‌های ورودی آن هستند. فاضلاب‌های خانگی و صنعتی که از طریق رودخانه‌ها وارد آبهای مناطق ساحلی می‌شوند، نقش مهمی در تخریب محیط زیست دریای خزر دارند (Farahbakhsh et al. 2019). در مقایسه، خلیج فارس از طریق تنگه هرمز به آب‌های بین‌المللی متصل می‌شود (Banat et al. 1998). زمان تعویض آب در این حوضه بین ۳-۵ سال است که در اینجا با وجود جابه‌جایی آب عنوان شده است که آلاینده‌ها برای زمان قابل ملاحظه‌ای در خلیج فارس باقی می‌مانند (Sheppard, 1993). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که شرایط در محیط‌های آبی بسته بحرانی‌تر است.

فلزات سنگین یکی از گروه‌های اصلی آلاینده بوم‌سازگان آبی بوده و به طور عمده در اثر فعالیت‌های انسانی و نیز طبیعی به محیط‌های آبی راه می‌یابند (Han et al. 2021). این فلزات به دلیل پایداری زیاد و تجزیه ناپذیری ممکن است برای سلامت انسان و آبزیان خطرناک باشند (Dalman et al. 2006; Modheji et al. 2023).

وجود این آلاینده‌ها در محیط‌های آبی، نتیجه دو منبع اصلی آلودگی شامل رسوبات طبیعی و فعالیت‌های انسانی مانند فعالیت‌های شهری، صنعتی و کشاورزی است. سن، درازا، وزن، جنسیت، عادت تغذیه‌ای، نیازهای بوم‌شناختی، غلظت فلزات سنگین در آب و رسوب، مدت زمان ماندگاری ماهی در محیط آبی، فصل صید و خواص شیمیایی آب (شوری، سختی و دما) عوامل مؤثر در تجمع فلزات سنگین در اندام‌های مختلف ماهی به حساب می‌آیند (Nasrollahzadeh Saravi et al. 2013). این گونه فلزات با ترکیبات ضروری بدن از قبیل اکسیژن، گوگرد و ازت به صورت گروه‌هایی از قبیل S-S، SH، OH، COO و COOH پیوند برقرار می‌کنند. بیشتر ترکیبات ضروری

بدن از جمله آنزیم‌ها و پروتئین‌ها دارای چنین گروه‌هایی هستند، در نتیجه فلزات سنگین موجب وقفه در فعالیت آنزیم‌ها و اختلال در ساخت ترکیبات ضروری بدن می‌شوند (Alam et al. 2000). فلزات از نظر میزان سمیت به سه دسته با سمیت کم، سمیت زیاد و سمیت شدید تقسیم می‌شوند. آلومینیوم، آهن، آرسنیک، کروم و منگنز مهم‌ترین عناصر در گروه فلزات با سمیت ملایم در سم شناسی ماهی قرار دارند. فلزات دارای سمیت زیاد شامل کادمیوم، سرب و نیکل هستند. فلزات دارای سمیت شدید شامل مس، جیوه و روی هستند که قدرت کشندگی زیادی در ماهی‌ها دارند (Guardiola et al. 2013).

مهم‌ترین فلزاتی که بیشترین تأثیر را در آلوده کردن آب‌ها دارند، روی (Zn)، مس (Cu)، نیکل (Ni)، جیوه (Hg)، کادمیوم (Cd) و سرب (Pb) هستند. برخی از فلزات نظیر نیکل، کروم، مس و روی از جمله عناصری هستند که به مقدار جزئی برای موجودات زنده ضروری بوده، اما در صورتی که غلظت آن‌ها از یک حد مجاز فراتر رود، جزء مواد سمی قرار خواهند گرفت. این در حالی است که حتی غلظت کمی از برخی عناصر مثل Cd و Pb نیز سمی است، زیرا کاربرد زیستی نداشته و برای موجودات ضروری نیستند و گاهی در اثر پاره‌ای از فعل و انفعالات، سمی‌تر نیز می‌شوند (Caussy et al. 2003; Modheji et al. 2023).

خطرات ناشی از مسمومیت با فلزات سنگین در آب‌ها و گونه‌های مختلف آبی، متفاوت بوده و سمیت آن‌ها در آب‌های شیرین و سبک نسبت به آب‌های شور و سنگین بیشتر است (Jalali Jafari and Aghazadeh 2015; Mesghi, 2007; Alinejad et al. 2015). سنگین تقریباً در همه موارد در ظاهر، طعم و بوی محصول، تغییر خاصی ایجاد نکرده و در مصرف کننده عموماً علایمی در زمان مصرف مشاهده نمی‌شود. معمولاً زمان بروز علایم با توجه به حساسیت فردی، میزان تجمع و نوع فلز نسبت به بیماری‌های دیگر طولانی‌تر است (Rauf et al. 2009; Alinejad et al. 2015).

فلزات سنگین اندام هدف خود را بر اساس میزان فعالیت سوخت و سازی آن انتخاب می‌کنند که همین موضوع می‌تواند علت تجمع اغلب این فلزات در بافت‌هایی مانند کبد، کلیه و آبشش‌ها نسبت به بافت ماهیچه‌ای (با فعالیت سوخت و سازی پایین) باشد. میزان تأثیر فلزات سنگین بر انسان و آبزیان بستگی به غلظت و نوع فلز دارد. از آنجا که

(Houston, 2007). اثرات مواجهه با کادمیوم به دلیل عدم توانایی دفع آن در بدن انسان تشدید می‌شود. در حقیقت، کادمیوم دوباره توسط کلیه جذب می‌شود و در نتیجه، دفع آن را محدود می‌کند (Engwa et al. 2019). سرب فلزی سنگین و به رنگ خاکستری مایل به آبی است. میزان کاربرد آن در مصارف جهانی بعد از آهن، مس، آلومینیوم و روی قرار دارد (Johansen et al. 2000). سرب در گیاهان و خاک به مقدار بسیار کم یافت می‌شود. آب‌ها به واسطه عبور در مسیر معادن سرب و نیز فاضلاب کارخانه‌هایی مانند صنایع باتری‌سازی، کریستال سازی، رنگ‌سازی و غیره آلوده می‌شوند. سرب از طریق پوست، دستگاه گوارش و تنفس جذب می‌شود و مهم‌ترین راه‌های ورود سرب به بدن، تنفس و پس از آن گوارش است (Burger and Gochfeld, 2004; Naseri et al. 2010; Ahmad and Shuhaimi-Othman, 2006). احتراق سوخت‌های موتور که شامل افزودنی‌های آلکیل سرب هستند، به عنوان مهم‌ترین منبع انتشار سرب به جو به شمار می‌آیند. ۸۰ الی ۹۰٪ از سرب موجود در محیط، حاصل از احتراق بنزین سرب‌دار است (Johansen et al. 2000). یکی از منابع قرار گرفتن در معرض فلز سرب، تغذیه از ماهیان آلوده به این فلز است (FAO/WHO 2019; Engwa et al. 2016). منابع عمده آلودگی جیوه شامل فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی، تخلیه فاضلاب شهری، استخراج معدن، سوزاندن و تخلیه فاضلاب صنعتی است (Chen et al. 2012). جیوه به راحتی می‌تواند با عناصر دیگر ترکیب شده و جیوه غیر آلی و آلی را تشکیل دهد (Radkhah, 2019). جیوه در آب‌های سطحی توسط ریزموجودات زنده به متیل جیوه تبدیل می‌شود. ماهی، می‌تواند روزانه مقادیر زیادی از متیل جیوه را از آب‌های سطحی جذب و در بدن انباشته کند (Chale, 2002). جیوه آلی یا همان متیل جیوه بسیار سرطان‌زا است و ماهیت لیپوفیلی دارد، به همین جهت می‌تواند به راحتی به غشای یاخته نفوذ کند (Engwa et al. 2019).

به سبب اهمیت مسئله آلودگی ماهیان صید شده از محیط‌های آبی طبیعی به فلزات سنگین و نیز تأثیر نوع تغذیه، محیط زندگی و گونه ماهی در میزان آلودگی، در این مطالعه ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) وحشی استان گیلان بررسی شد. ماهی کپور معمولی از جمله

محدوده تحمل فلزاتی مانند سرب، آرسنیک، جیوه و کادمیوم بسیار ناچیز است، این دسته از فلزات برای انسان بسیار سمی محسوب می‌شوند (Askary Sary et al. 2015; Alinejad et al. 2011).

مسمومیت با فلزات سنگین می‌تواند اثرات زیادی بر سلامتی انسان داشته باشد. فلزات سنگین می‌توانند به عملکرد اندام‌هایی مانند مغز، کلیه، ریه‌ها، کبد و خون آسیب برسانند. مواجهه طولانی مدت بدن با فلزات سنگین می‌تواند به تدریج منجر به فرآیندهای تحلیل عضلانی، جسمی و عصبی شود که شبیه بیماری‌هایی مانند پارکینسون، ام‌اس، دیستروفی عضلانی و آلزایمر است. همچنین، مواجهه طولانی مدت با برخی از فلزات سنگین ممکن است باعث ابتلا به سرطان شود (Carver and Gallicchio, 2018).

تاکنون گزارش‌های مختلفی پیرامون اثرات ناشی از مصرف انواع فلزات سنگین در بدن انسان ثبت شده است. برخی از فلزات سنگین مانند روی از عناصر ضروری برای موجود زنده هستند. با وجود این، میزان بالایی از این فلز می‌تواند برای ماهی یا آبی دیگر سمی باشد (Mehdipour et al. 2017). Plum و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که سه راه اصلی برای ورود روی به بدن انسان وجود دارد که شامل استنشاق، از طریق پوست و بلع است. با توجه به ماهیت فلز روی به عنوان یک عنصر کمیاب ضروری، جذب خوراکی مقدار کمی روی برای بقا ضروری است. بر اساس استانداردهای جهانی (FAO/WHO) سطح توصیه شده فلز روی در ماهیان ۳۰ ppm است (FAO/WHO 2016). کادمیوم نیز به عنوان یکی از فلزات سنگین و غیرضروری در رشد موجودات زنده و با غلظت کشندگی پایین یکی از سمی‌ترین آلاینده‌ها محسوب می‌شود. کادمیوم ناشی از زائدات صنعتی یا فضولات معدنی از آلوده‌کننده‌های اصلی آب است. افزایش نگرانی‌های بین‌المللی در باره تأثیرات کادمیم بر محیط موجب افزایش توجه به این فلز و تلاش برای کاهش ورود این آلاینده به محیط‌های دریایی شده است. دلیل اصلی این امر را می‌توان افزایش مقدار فلزات ورودی به مناطق ساحلی دانست که اثرات زیان‌بار این آلاینده، پس از قرار گرفتن موجودات دریایی با آن مشاهده می‌شود (Johansen et al. 2000). در انسان اندام‌های هدف کادمیوم، کبد و کلیه هستند. کمبود آهن، کلسیم و پروتئین به جذب این فلز کمک می‌کند

مقادیر سرب، جیوه، کادمیوم و روی با استفاده از دستگاه جذب اتمی انجام شد.

روش به کار گرفته شده برای آماده‌سازی نمونه‌ها، روش خاکستر خشک بوده است که معمولاً برای اندازه‌گیری بسیاری از عناصر جزئی در مواد غذایی به کار گرفته می‌شود (Alinejad et al. 2015).

هر نمونه انتخابی در بوتله چینی خشک روی اجاق سوزانده شد. سپس، ظروف حاوی نمونه به کوره سرد منتقل و درجه حرارت به آرامی تا ۴۵۰ الی ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد بالا رفت. نمونه‌های خاکستر شده از کوره خارج و به منظور عاری کردن از کربن، به آنها ۲ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ اضافه شد. پس از تبخیر اسید با حرارت ملایم، نمونه‌ها مجدداً به کوره سرد منتقل و درجه حرارت کوره به آرامی تا ۴۵۰ الی ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. این عمل آنقدر تکرار شد تا نمونه‌ها عاری از کربن شده و کاملاً سفید شدند. به نمونه‌های سفید شده ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۱ نرمال اضافه شد (روی صفحه داغ با درجه حرارت پایین به مدت ۱۰ دقیقه) تا خاکستر در اسید حل شود. محلول به بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتری منتقل و پس از سرد شدن با اسید کلریدریک ۱ نرمال به حجم رسانده شد (Mormede and Davies 2001; Alinejad et al. 2015). قبل از شروع قرائت نمونه‌ها، ابتدا استانداردهای هر فلز با غلظت‌های مشخص از قبل تهیه شده و به دستگاه تزریق و منحنی استاندارد هر فلز با ضریب رگرسیون آن به‌دست آمد (Garcia-Berthos, 1999; Alinejad et al. 2015).

سنجش آماری

ابتدا نتایج حاصل از آماره‌های توصیفی این پژوهش استخراج و سپس نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov ارزیابی شد. نتایج حاصل از این پژوهش با استفاده از روش تحلیل آماری ANOVA یک طرفه نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) برای مقایسه میانگین‌های متغیر کمی در گروه‌های مستقل از یکدیگر و استفاده از آزمون t-Test برای تعیین وجود یا عدم وجود تفاوت در میانگین گروه‌های مستقل از یکدیگر بررسی شد. مقایسه میانگین گروه‌های مستقل با آزمون چند دامنه‌ای دانکن (Duncan) و سطح اطمینان ۹۵٪ مقایسه شدند. همچنین، برای بررسی ارتباط بین صفات کمی با

گونه‌های ارزشمند شیلاتی بوده و از ارزش اقتصادی مناسب و گوشت مطلوبی برخوردار است (Coad, 1998). این ماهی هم به صورت وحشی و هم به صورت پرورشی در نقاط مختلف کشور وجود داشته و مصرف می‌شود. گونه‌هایی مانند این ماهی که از بستر تغذیه می‌کنند، به دلیل احتمال وجود مقادیر بالای این فلزات در رسوبات کف محیط آبی، در بافت‌هایشان فلزات سنگین بیشتری در مقایسه با ماهیان سطحی‌زی تجمع می‌یابد (Pazooki et al. 2012).

گونه‌های ماهی سفید، کپور و کفال بیشترین میزان صید در بین ماهیان استخوانی دریای خزر را به خود اختصاص می‌دهند. با توجه به رژیم غذایی ماهی کپور و صید بالای آن، این ماهی را می‌توان به‌عنوان شاخص در برآورد میزان آلودگی به فلزات سنگین در نظر گرفت. طبق نتایج به دست آمده از چند مطالعه انجام شده در ماهی کپور معمولی دریای خزر، از بین فلزات جیوه، مس، روی، آهن، نیکل، کبالت و منگنز، تنها غلظت جیوه در یکی از تحقیقات (Nasrollahzadeh Saravi et al. 2013) بیش از حد مجاز طبق میزان تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی بود (Nasrollahzadeh Saravi et al. 2013; Younesipour et al. 2014; Meshkini and Rasooli Aghdam, 2019). در تحقیق حاضر نیز میزان چهار فلز سنگین سرب، روی، کادمیوم و جیوه در ماهی کپور معمولی وحشی استان گیلان بررسی شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

تعداد ۲۴ ماهی کپور معمولی وحشی با میانگین وزنی $1450 \pm$ گرم از شهرهای آستارا، هشتر، انزلی، رشت، کلاچای و کیاشهر در استان گیلان و از هر شهر ۴ نمونه در فروردین ۱۴۰۱ به صورت کاملاً تصادفی از بازار ماهی جمع‌آوری شد و در جعبه‌های یونولیتی حاوی پودر یخ به آزمایشگاه انتقال داده شدند. از ۲۴ نمونه تهیه شده، ۱۳ ماهی ماده و ۱۱ ماهی نر بود.

آنالیز نمونه‌ها

در آزمایشگاه بعد از زیست‌سنجی، قسمتی از عضله پشتی هر نمونه به وزن ۱۰۰ گرم جدا، کدگذاری و تا زمان هضم در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. تعیین

میزان تجمع فلزات سنگین از آزمون همبستگی نسبی (Partial Correlation)، استفاده شد.

نتایج

اطلاعات زیست‌سنجی مربوط به ماهی‌های کپور معمولی وحشی جمع‌آوری شده، غلظت فلزات سنگین روی، کادمیوم، سرب و جیوه در بافت عضله پشتی، ضریب همبستگی غلظت فلزات با صفات زیستی و نیز مقایسه با استانداردهای ملی و بین‌المللی در جداول ۱ الی ۴ ارائه شده است.

نتایج این تحقیق نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تجمع فلزات سنگین در جنس‌های نر و ماده ($P > 0.05$)؛ جدول ۲) و نیز بین میزان فلزات سنگین و صفات زیستی اندازه‌گیری شده نمونه‌های مورد بررسی وجود نداشت ($P > 0.05$)؛ جدول ۳). اطلاعات به دست آمده نشان داد مقادیر فلزات سنگین روی، کادمیوم، سرب و جیوه در کپور ماهیان معمولی وحشی استان گیلان، پایین‌تر از حد مجاز استانداردهای بین‌المللی (FAO/WHO) و ملی (سازمان دامپزشکی کشور) است (جدول ۴).

جدول ۱ مقادیر توصیفی صفات بیومتریکی و غلظت فلزات سنگین در شهرهای مورد آزمایش

Table 1 Descriptive values of biometric characteristics and heavy metals concentration in samples of different cities

Biometric characteristics	Sampled cities					
	Anzali	Astara	Hashtpar	Kelachai	Kiashahr	Rasht
Weight (g)	1384.5 ± 167.9	1431.3 ± 213.4	1425.5 ± 197.4	1391.8 ± 100.9	1482 ± 161.2	1580 ± 125.7
Total length (cm)	46.5 ± 2.4	47 ± 2.6	47 ± 1.6	47.2 ± 2.2	47.5 ± 1.9	48.1 ± 2
Standard length (cm)	40.1 ± 2.3	39.7 ± 2.7	40.6 ± 2.7	40.1 ± 2.4	41 ± 2.9	40.4 ± 2.8
Heavy metals concentration (ppm)						
Zn	21.02 ± 4.6	25.36 ± 5.4	35.98 ± 6.8	18.02 ± 6.4	25.11 ± 4.1	22.91 ± 4.3
Cd	0.003 ± 0.0001	0.003 ± 0.0001	0.0032 ± 0.0005	0.003 ± 0.0001	0.003 ± 0.0001	0.003 ± 0.0001
Pb	0.025 ± 0.001	0.0262 ± 0.002	0.025 ± 0.001	0.025 ± 0.001	0.025 ± 0.001	0.025 ± 0.001
Hg	0.1045 ± 0.1	0.0847 ± 0.05	0.0832 ± 0.08	0.0660 ± 0.05	0.0747 ± 0.05	0.0925 ± 0.06

جدول ۲ مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در جنس نر و ماده

Table 2 Comparison of heavy metals mean concentrations in males and females

Heavy metals concentration (ppm)	Sex		
	Male	Female	P-value
Zn	21.76 ± 7.67	27.24 ± 8.13	0.38
Cd	0.0030 ± 0.0001	0.0031 ± 0.0003	0.37
Pb	0.0250 ± 0.001	0.0254 ± 0.001	0.37
Hg	0.0589 ± 0.02	0.1058 ± 0.03	0.12

P-Value: سطح معنی داری.

جدول ۳ ضریب همبستگی بین غلظت فلزات سنگین و صفات زیستی اندازه‌گیری شده

Table 3 Correlation coefficient between determined biometric characteristics and heavy metals concentrations

Heavy metals	Correlation coefficient			P-value
	Weight	Total length	Standard length	
Zn	-0.008	-0.98	3.88	0.38
Cd	-4.81	0.0001	-0.0001	0.37
Pb	-0.0001	0.0003	-0.0001	0.37
Hg	-0.0001	0.02	-0.006	0.12

P-Value: سطح معنی داری.

جدول ۴ مقایسه مقدار میانگین فلزات سنگین در این پژوهش با مقادیر آستانه استانداردهای ملی و بین المللی برحسب میکروگرم در گرم وزن خشک

Table 4 Comparison of heavy metals mean concentrations with national and international values ($\mu\text{g/g dry weight}$)

Heavy metals	Mean $\pm$ SD	International standard ¹	National standard ²
Zn	24.73 $\pm$ 14.24	1000	-
Cd	0.003 $\pm$ 0.0002	0.2	0.05
Pb	0.025 $\pm$ 0.001	0.5	0.5
Hg	0.0842 $\pm$ 0.0659	0.5	0.5

1. International standard- FAO/WHO

2. Iranian Veterinary Organization

بحث

همگام با رشد تقاضا و افزایش روند آلودگی بوم‌سازگان دریایی، احتمال بروز مشکلات کیفی در این منابع ارزشمند غذایی تشدید شده است. از نکات قابل توجه، آلودگی محصولات آبی به فلزات سنگین است. این فلزات، آلاینده-های پایداری هستند که برخلاف ترکیبات آلی از طریق فرآیندهای شیمیایی یا زیستی در طبیعت تجزیه نمی‌شوند (Khani Pour et al. 2015). به همین خاطر، امروزه تحقیقات زیادی در مورد جذب فلزات سنگین در موجودات دریایی انجام شده است که نشان‌دهنده روند رو به افزایش آنهاست (Younesipour et al. 2014). مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که فعالیت‌های انسانی می‌تواند نقش مؤثری در افزایش غلظت فلزات سنگین در بافت ماهی داشته باشد (Pakzad Toochoaei et al. 2023). سلامت بافت عضله ماهیان به عنوان اصلی‌ترین بخش مورد تغذیه انسان اهمیت زیاد دارد (Younesipour et al. 2014). به همین دلیل در این مطالعه غلظت فلزاتی مانند روی، کادمیوم، سرب و جیوه در بافت عضله ماهی کپور معمولی دریایی بررسی شد.

Evans و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که ماهیان با رژیم غذایی مختلف، تفاوت آشکاری را در میزان تجمع آلاینده‌ها نشان می‌دهند که دلیل آن را می‌توان در متغیرهای زیستی، فراسنجه‌های محیطی، فیزیولوژی و زیستگاه ماهی جستجو کرد. همچنین، در ماهیان مختلف در محیط آبی مشابه، میزان تجمع فلزات متفاوت است که دلیل این اختلافات را می‌توان در زندگی و زیستگاه آنها جست و جو کرد (Evans and Miller, 2006). رسوبات نیز در میزان تجمع فلزات سنگین در بدن این ماهی دارای اهمیت هستند. ساختار شیمیایی رسوبات بستگی به میزان

عناصر موجود در آب، مقدار رسوب‌گذاری عناصر، شرایط فیزیکی و شیمیایی عناصر و همچنین ویژگی آب از نظر pH، قلیائیت و غلظت اکسیژن دارد (Ashja et al. 2007).

دراز، وزن، جنسیت، عادت تغذیه‌ای، نیازهای بوم‌شناختی، غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات، مدت زمان ماندگاری ماهی در محیط آب، فصل صید و خواص فیزیکی و شیمیایی آب از دیگر عوامل مؤثر در تجمع فلزات سنگین در اندام‌های مختلف ماهی هستند (Meshkini and Rasooli Aghdam, 2019).

Langston و Spence (۱۹۹۵) عنوان کردند که تراکم فلزات سنگین در بدن آبزیان مورد مطالعه با نسبتی از سطح پوست بدن به حجم بدن، رفتارهای تغذیه‌ای و نیز خصوصیات شیمی منطقه مرتبط است (Bandani et al. 2011). در تحقیق حاضر الگوی تجمع فلزات سنگین در بافت عضله ماهی کپور معمولی وحشی به صورت $\text{Zn} > \text{Hg} > \text{Pb} > \text{Cd}$ به دست آمد.

روی از جمله موادی است که به عنوان ریزمغذی در غذای موجودات و آبزیان نقش دارد. طبیعتاً غلظت این عنصر در بافت‌های مشابه در گونه‌های مختلف تغییرات زیادی را نشان می‌دهد (Sadeghirad et al. 2005). Wichland (۱۹۹۰) اعلام کرد که تجمع روی به طور عمده در استخوان‌ها، پوست و ماهیچه‌ها بالاتر از بافت‌های دیگر مانند کبد، کلیه و بیضه‌هاست (Bandani et al. 2011). غذاهای دریایی منبع اصلی روی و مس برای انسان هستند (WHO, 1995; Sadeghirad et al. 2005). در خصوص فلز سرب نیز گزارش شده که در بافت کلیه و عضله ماهی‌ها تجمع یافته و اتصال آن با موکوس، نقشی مهم در تجمع و دفع آن دارد (Jalali Jafari and

اصولاً در بافت عضله ماهی و به صورت متصل به پروتئین‌ها یافت می‌شود، بخش اعظم جیوه موجود در ماهی به انسان منتقل می‌شود.

در مقالات مختلف نتایج متفاوتی از ارتباط بین فلزات تجمع یافته با شاخص‌های زیستی ماهیان ارائه شده است. به طوری که طباطبایی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که هیچ ارتباطی بین سطح غلظت فلزات در بافت با درازا، وزن و سن ماهی وجود ندارد (Cheraghi et al. 2013). با افزایش درازا، میزان جذب فلزات سنگین افزایش می‌یابد. یافته‌ها نشان داده‌اند که فلزات سنگین در دو جنس نر و ماده با هم اختلاف دارند که این تفاوت‌ها ناشی از تفاوت در کارکرد هورمون‌های گنادوتروپین در دو جنس، زادآوری و تخم‌ریزی در جنس ماده است. نتایج مطالعه دیگری نشان داد که جنسیت با تجمع میزان جیوه و روی دارای ارتباط معنی‌دار است، به طوری که میزان جیوه و روی در ماهی جنس نر با جنس ماده اختلاف معنی‌دار نشان می‌دهند (Meshkini and Rasooli Aghdam, 2019). در حالی که نتایج تحقیق حاضر نشان داد که بین تجمع فلزات سنگین در سن، وزن و درازای مختلف و نیز بین جنس نر و ماده اختلاف معنی‌دار وجود ندارد.

مساعد بودن وضعیت بهداشتی کپور دریایی می‌تواند به علت گستردگی و عمق بالای آب دریای خزر نسبت به منبع آبی دیگر و ثبات عوامل محیطی (دما، شوری، سختی، pH و غیره) و تأثیر کمتر این عوامل در تجمع فلزات سنگین باشد. از سوی دیگر وجود موجودات دیگر در دریای خزر و جذب بخشی از فلزات سنگین توسط این موجودات (انواع باکتری-ها، پلانکتون‌ها، سخت‌پوستان و دیگر ماهیان) در کاهش تجمع فلزات سنگین در ماهی کپور دریایی را می‌توان مؤثر دانست (Meshkini and Rasooli Aghdam, 2019).

فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در مطالعه اخیر با استانداردهای WHO و FAO مقایسه شدند که نتیجه حاکی از میزان مجاز این فلزات در نمونه‌های بررسی شده است. Solgi و همکاران (۲۰۱۸) غلظت فلزات سنگین Cu, Mn, Pb, Cd و Co را در عضله کپور معمولی در جنوب دریای خزر بررسی کردند و مطالعه آنها نشان داد که غلظت فلزات مذکور از استانداردهای موجود کمتر است (Pakzad Toocheai et al. 2023). نتیجه مشابه دیگری در سواحل جنوب شرقی خزر گزارش شد که در آن

Aghazadeh Mesghi, 2007; Bandani et al. 2011). سرب بدون شک بیشترین مقادیر را در بین فلزات سنگین محیط زیست به خود اختصاص داده است (Askary Sary, 2010). Van Hassel و Ney (۱۹۸۳) نشان دادند غلظت سرب و روی در ماهیان بنتوزخوار بالا بوده است. Campbell (۱۹۹۴) گزارش کرد که فلز روی در ماهیان شکارگر بیش از ماهیان بنتوزخوار بوده است (Nasrollahzadeh Saravi et al. 2013). در خصوص فلز کروم و کادمیوم در تحقیقی که توسط Rauf و همکاران (۲۰۰۹) بر روی ۳ گونه کپور انجام شد، دو عضوی که حداقل غلظت (میکروگرم در هر گرم بافت) این دو فلز را نشان دادند، بافت ماهیچه و آبشش بوده‌اند (حدود ۱/۵) و کبد بالاترین غلظت (حدود ۶) را داشته است. البته شرایط آب منطقه نیز در میزان آلودگی تأثیرگذار است. در مناطقی مانند خلیج فارس که شوری آب بالا بوده و املاح زیادی در آن محلول هستند، به دنبال ترکیب شدن این املاح با فلزات سنگین از میزان سمیت آنها کاسته می‌شود. در تحقیقی میانگین کادمیوم عضلات در گونه‌های مختلف تاسماهیان کمترین میزان را در مقایسه با کبد، آبشش و طحال نشان داد (Sadeghirad et al. 2005). تجمع کادمیم و روی در ماهیان بنتوزخوار بیشتر است (Kidwell et al. 1995; Voigt, 2004). معمولاً تجمع کادمیوم در عضله پایین‌ترین مقادیر را نشان می‌دهد (Abu Hilal and Ismail, 2008; Askary Sary et al. 2011; Velayatzadeh and Tabibzadeh, 2011).

کروم از حلالیت پایین‌تری در آب نسبت به عناصر دیگر برخوردار است (Oryan et al. 2011). یکی دیگر از عواملی که در میزان غلظت این دسته از فلزات در بدن ماهی تأثیرگذار است، تأثیر این فلزات بر یکدیگر است. مثلاً فلز روی می‌تواند از تجمع فلز مس در بافت‌ها جلوگیری کند و بنابراین، مانع از اثرات سمی آن شود (Shahab Moghadam et al. 2010). همچنین، سمیت روی نیز در مقادیر بالا و در حضور آرسنیک، سرب، کادمیوم و آنتیموان افزایش می‌یابد (Jalali Jafari and Aghazadeh Mesghi, 2007).

برخی مطالعات نشان داد که ماهیان شکارگر در مقایسه با ماهیان غیرشکارگر تمایل به تجمع جیوه دارند (Voigt, 2004; Kidwell et al. 1995; 2004). از آنجا که متیل جیوه

ماهیان کفزی به دلیل ارتباط مستقیم با رسوبات و تغذیه از موجودات ریز رسوبات در شناخت بوم سازگان به عنوان یک شاخص زیستی مفید هستند. غلظت فلزات سنگین در عضلات و اندام‌های این ماهیان نسبت به ماهیان سطح‌زی بیشتر است (Alinejad et al. 2015). ماهی کپور با درازای بیش از ۱۸ میلی‌متر از آبزیان کفزی تغذیه می‌کند. بنابراین، آلودگی رسوبات ممکن است باعث آلودگی موجودات کفزی کوچک و به دنبال آن انتقال آلودگی به ماهیان کفزی و بنتوزخوار شود (Younesipour et al. 2014). به همین جهت می‌توان از ماهی کپور معمولی به عنوان یک شاخص در تعیین آلودگی منطقه استفاده کرد. بنابراین کمتر بودن میزان آلودگی به فلزات سنگین روی، کادمیوم، سرب و جیوه در تحقیق حاضر را می‌توان نشان‌دهنده پایین بودن آلودگی در رسوبات و کفزیان کوچک در منطقه دانست.

منابع

- Abu Hilal, A.H., Ismail, N.S. 2008. Heavy metals in eleven common species of fish from the Gulf of Aqaba, Red Sea. *Jordan Journal of Biological Sciences* 1: 13-18.
- Ahmad, A.K., Shuhaimi-Othman, M. 2010. Heavy metal Concentration in Sediments and fishes from Lake Chini, Pahang, Malaysia. *Journal of Biological Sciences* 10: 93-100. DOI: 10.3923/jbs.2010.93.100.
- Alinejad, S., Shoaibi Omrani, B., Shokrzadeh, M., Ghaem Maghami, S., Yasemi, M., Amini Fard, A. 2015. Heavy metals accumulation in muscles of *Psettodes erumei* in Boushehr waters. *Aquatic Animals Nutrition* 2: 55-64. (In Persian).
- Ali, H., Khan, E., Ilahi, I. 2019. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry* 2019: 1-14. DOI: 10.1155/2019/6730305.
- Alam, M.G.M., Tanaka, A., Allison, G., Laurenson, L.G.B., Stagnitti, F., snow, E.T. 2000. A comparison of trace element concentrations in cultured and wild carp (*Cyprinus carpio*) from Lake Kasumigaura, Japan. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 53: 348-354. DOI: 10.1016/s0147-6513(02)00012-x
- Ashja Ardalan, A., Khoushkhoh, Z., Rabani, M., Moeini, S. 2007. Comparative study for heavy metal concentration (Zn, Cu, Pb, Cd and Hg) in water, sediments and soft tissue of Anzali lagoon anodont (*Anodonta cygnea*) sampled in two seasons, Autumn and Spring (1383-1384). *Pajouhesh & Sazandegi* 19: 103-113. (In Persian).
- Askary Sary, A. 2010. The study of Heavy metals (Pb, Hg and Cd) in (*Barbus grypus*) and (*Liza abu*) in Karoon and Karkheh rivers. *Scientific and research Journal of Marine Biology* 1: 95-107. (In Persian).
- Askary Sary, A., Khodadadi, M., Mohammadi, M. 2011. Concentration of heavy metal (Cd, Pb, Ni, Hg) in muscle, gill and liver tissues of *Barbus xanthopterus* in Karoon River. *Iranian*
- میزان آلودگی به سرب و روی در عضله ماهی کپور معمولی پایین‌تر از حد مجاز تعیین شده از سوی سازمان بهداشت جهانی بود و با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد (Pazooki et al. 2012). این در حالی است که در مطالعه Elsagh (۲۰۱۱) بر روی فلزات سنگین Pb, As, Cd و Hg در بافت عضله ماهی سفید و کپور معمولی در جنوب مرکزی دریای خزر نشان داده شد که غلظت Cd و Pb در عضله این ماهیان در مناطق بابلسر، فریدونکنار، محموباد، رستم‌رود نور، پارک جنگلی سیسنگان و نوشهر بالاتر از سطح استاندارد بود. این اختلاف با نتایج تحقیق حاضر می‌تواند به دلیل فاصله زمانی و وجود منبع آلودگی در آن زمان یا تفاوت محل نمونه‌برداری باشد (Pakzad Toochaei et al. 2023).
- مقایسه میزان عناصر سنگین در تحقیق حاضر با استانداردهای بین‌المللی موجود در این زمینه بیانگر سالم بودن ماهی کپور معمولی و عدم آلودگی این ماهی به عناصر روی، سرب، کادمیوم، جیوه در مناطق ذکر شده است.

- Scientific Fisheries Journal 19: 97-106. (In Persian).
- Banat, I. M., Hassan, E. S., El- Shahawi, M. S., Abu-Hilal, A.H. 1998. Post-Gulf war assessment of nutrients, heavy metal ions, hydrocarbons and bacterial pollution levels in the United Arab Emirates coastal waters. *Environment International* 24: 109-116. DOI: 10.1016/s0160-4120(97)00127-x.
- Bandani, G.A., Khoshbavar, R.H., Yelghi, S., Shokrzadeh, M., Nazari, H. 2011. Concentration of heavy metals (Cd, Cr, Zn, and Pb) in muscle and liver tissues of common carp (*Cyprinus carpio* L., 1758) from coastal waters of Golestan Province. *Iranian Scientific Fisheries Journal* 19: 1-10. (In Persian).
- Burger, J., Gochfeld, M. 2004. Mercury in canned tuna white versus light and temporal variation. *Environmental Research* 96: 239-249. DOI: 10.1016/j.envres.2003.12.001.
- Carver, A., Gallicchio, V.S. 2018. Heavy metals and cancer. *Cancer Causing Substances*. DOI: 10.5772/intechopen.70348. In book: *Cancer Causing Substances*.
- Caussy, D., Gochfeld, M., Gurzau, E., Neagu, C., Ruedel, H. 2003. Lessons from case studies of metals: investigating exposure, bioavailability, risk. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 56: 45-51. DOI: 10.1016/S0147-6513(03)00049-6.
- Chale, F.M.M. 2002. Trace metal concentrations in water, sediments and fish tissue from Lake Tanganyika. *Science of the Total Environment* 299: 115-121. DOI: 10.1016/s0048-9697(02)00252-8.
- Chen, C.W., Chen, C.F., Dong, C.D. 2012. Distribution and accumulation of mercury in sediments of Kaohsiung River Mouth, Taiwan. *APCBEE Procedia* 1: 153-158. DOI: 10.1016/j.apcbee.2012.03.025.
- Cheraghi, M., Pourkhabbaz, H., Javanmardi, S. 2013. Determination of mercury concentration in *Liza abu* from Karoon River. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences* 23: 105-112. (In Persian).
- Coad, B.W. 1998. Systematic biodiversity in the freshwater fishes of Iran. *Italian Journal of Zoology* 65: 101-108. DOI:10.1080/11250009809386802.
- Dalman, Ö., Demirak, A., Balci, A. 2006. Determination of heavy metals (Cd, Pb) and trace elements (Cu, Zn) in sediments and fish of the Southeastern Aegean Sea (Turkey) by atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry* 95: 157-162. DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.02.009.
- Engwa, G.A., Ferdinand, P.U., Nwalo, F.N., Unachukwu, M.N. 2019. Heavy metal toxicity in humans. *Poisoning in the modern world: new tricks for an old dog*. IntechOpen. Available at: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.73906>.
- Evans, R.L., Miller, M.C. 2006. Nutrients, eutrophic response, and fish anomalies in the Little Miami River, Ohio. *Ohio Journal of Science* 106: 146-155.
- FAO/WHO. 2016. Accumulation of heavy metals in fishes of freshwater. Available from: <https://www.slideshare.net>.
- Farahbakhsh, Z., Akbarzadeh, A., Naji, A. 2019. Health risk assessment of trace metals Cu, Zn, Ni via the consumption of the prevailing bony fish *Rutilus frisii kutum* (Kamansky, 1901), and *Vimba vimba persa* (Linnaeus, 1754) in Caspian Sea. *Iranian Scientific Fisheries Journal* 28: 77-88. DOI: 10.22092/isfj.2019.119236. (In Persian).
- Garcia-Berthos, E. 1999. Food of introduced mosquito fish: Ontogenic diet shift and prey selection. *Journal of Fish Biology* 55: 135-147. DOI: 10.1006/jfbi.1999.0983.
- Guardiola, F.A., Cuesta, A., Meseguer, J., Martinez, S., Sanchez, M.J., Sirvent, P. 2013. Accumulation, histopathology and immune toxicological effects of waterborne cadmium on gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Fish and*

- Shellfish Immunology 35: 792-800. DOI: 10.1016/j.fsi.2013.06.011.
- Han, J. L., Pan, X. D., Chen, Q., Huang, B. F. 2021. Health risk assessment of heavy metals in marine fish to the population in Zhejiang, China. Scientific Reports 11: 1-9. DOI: 10.1038/s41598-021-90665-x.
- Houston, M.C. 2007. The role of mercury and cadmium heavy metals in vascular disease, hypertension, coronary heart disease, and myocardial infarction. Medical Health 13: 128-133.
- Jalali Jafari, B., Aghazadeh Mesghi, M. 2007. Fish poisoning due to heavy metals in water and its importance in public health. Mann Book Publication, Tehran, 138 p. (In Persian).
- Johansen, P., Pars, T., Bjerregaard, P. 2000. Lead, cadmium, mercury and selenium intake by Greenlanders from local marine food. Science of the Total Environment 245: 187-194. DOI: 10.1016/s0048-9697(99)00443-x.
- Kesavan, K., Murugan, A., Venkatesan, V., Kumar, V. 2013. Heavy metal accumulation in mollusks and sediment from Uppanar estuary, southeast coast of India. Thalassas 29: 15-21.
- Khani Pour, A.A., Ahmadi, M., Zare Gashti, G., Zolfi Nejad, K. 2015. Evaluation of Bioaccumulation of heavy metals (cadmium, lead and zinc) in edible muscle tissue of crucian carp (*Carassius auratus*) from the international wetland of Anzali. Journal of Food Science and Technology 13:155-163. (In Persian).
- Kidwell, J.M., Phillips, L.J., Birchard, G.F. 1995. Comparative analyses of contaminant levels in bottom-feeding and predatory fish using the national contaminant biomonitoring program data. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 54: 919-23. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf00197979>
- Mehdipour, N., Hedayati, A., Imanpour, M. 2017. Study on gill tissue lesions in Kutum (*Rutilus kutum*) fry during exposure to heavy metals, iron and zinc. Journal of Plasma & Biomarkers 10: 1-12. (In Persian).
- Meshkini, S., Rasooli Aghdam, H. 2019. Comparing accumulation of some heavy metals (mercury, copper, zinc) in liver and muscle tissues of grown carp and sea carp. Veterinary Research & Biological Products 32: 75-83. DOI: <https://doi.org/10.22092/vj.2018.120174> .1418
- Modheji, A., Nikppour Ghanavati, Y., Larki, A., Buazar, F. 2023. Measurement of heavy metals (Pb, Cd, Ni, Fe, Zn and Cu) concentration in Snappers, *Pampus argenteus*, Tonguefishes, *Tigertooth croaker*, *Euryglossa orientalis* and Shrimp *Metapenaeus affinis*. Journal of Marine Science and Technology 22: 27-39.
- Mona, T., Heba, M.A., Eman, S., Khadiga, S.I., Safaa, E. 2018. Impact of occupational cadmium exposure on bone in sewage workers. International Journal of Occupational and Environmental Health 24: 101-08. DOI: 10.1080/10773525.2018.1518745
- Mormede, S., Davies, I.M. 2001. Heavy metal concentrations in commercial deep-sea fish from Rockall trough. Continental Shelf Research 21: 899-916. DOI: 10.1016/s0278-4343(00)00118-7.
- Nasrollahzadeh Saravi, H., Pourgholam, R., Pourang, N., Rezaei, M., Makhloogh, A., Unesipour, H. 2013. Heavy metal concentrations in edible tissue of *Cyprinus carpio* and its target hazard quotients in the Southern Iranian Caspian Sea Coast (2010). Journal of Mazandaran University of Medical Sciences 23: 33-44. (In Persian).
- Naseri, M., Rezaei, M., Abedi, A., Afshar, N.A. 2006. Evaluation of heavy metals (iron, copper, zinc, magnesium, manganese, mercury, lead and cadmium) concentration in edible and inedible tissues of greenback mullet (*Liza dussumieri*) of Boushehr coast. Journal of Marine Sciences and Technology 4: 59-67. (In Persian).

- Oryan, S., Tatina, M., Gharibkhani, M. 2011. The impact of oil pollution on the accumulation of heavy metals (Ni, Pb, Cd & V) in muscle tissue of *Pampus argenteus* from the northern part of the Persian Gulf. Journal of Oceanography 1: 61-68. (In Persian).
- Pakzad Toocheai, S., Rahdari, A., Khosravanizadeh, A. 2023. Survey of heavy metal concentration in the muscle of common carp (*Cyprinus carpio*) from Hamoun international wetland after twenty years of drought. Aquatic Physiology and Biotechnology 11: 1-20. (In Persian). DOI: 10.22124/japb.2022.22829.1478
- Pazooki, J., Ghaffar Haddadi, F., Abtahi, B. 2012. A comparison of heavy metal concentrations in skin and muscle tissues of wild and cultured carp (*Cyprinus carpio*) in the southeastern Caspian Sea area of Iran. Advanced Environmental Sciences 9: 51-58.
- Plum, L.M., Rink, L., Haase, H. 2010. The essential toxin: impact of zinc on human health. International Journal of Environmental Research and Public Health 7: 1342-1365. DOI: 10.3390/ijerph7041342.
- Radkhah, A.R. 2019. Prevalence of parasitic diseases as a serious threat to the ornamental fish industry: A study on the prevalence of Argulus parasites in ornamental fishes of Iran. Journal of Ornamental Aquatics 6: 13-22. (In Persian).
- Rauf, A., Javed, M., Ubaidullah, M. 2009. Heavy metal levels in three major carps from the river Ravi, Pakistan. Pakistan Veterinary Journal 29: 24-26.
- Sadeghirad, M., Arshad, A., Joushideh, H., Amini, R.G. 2005. Assessing heavy metal content of muscle tissue and caviar of *Acipenser persicus* and *Acipenser stellatus* in southern Caspian Sea. Iranian Scientific Fisheries Journal 14: 79-100. DOI: 10.22092/isfj.2005.113852. (In Persian).
- Shahab Moghadam, F., Esmaeili Sari, A., Valinassab, T., Karimabadi, M. 2010. Comparison of muscular tissue concentration of heavy metals in Sharpnose stinger (*Himantura gerrardi*) and Bigeye scad (*Selar crumenophthalmus*) of the Persian Gulf. Iranian Scientific Fisheries Journal 19: 85-94. DOI: 10.22092/ISFJ.2017.109944. (In Persian).
- Sheppard, C. 1993. Physical environment of the Gulf relevant to marine pollution: An overview, Marine Pollution Bulletin 27: 3-8. DOI: 10.1016/0025-326x(93)90003-3.
- Velayatzadeh, M., Tabibzadeh, M. 2011. Comparing of heavy metal accumulation Hg, Cd and Pb in the muscle and liver of *Cyprinion macrostomus* in Karoon River. Journal of Innovation in Food Science and Technology 3: 27-33. (In Persian).
- Voigt, H.R. 2004. Concentrations of mercury (Hg) and cadmium (Cd), and the condition of some coastal Baltic fishes. Environmentalica Fennica 21: 8-13.
- World Health Organization (WHO). 1995. Health Risks from Marine Pollution in the Mediterranean. Part I Implications for Policy Makers, p. 255.
- Younesipour, H., Nasrollahzadeh, S.H., Sadateapour, S. 2014. Study on Bioaccumulation of essential (Fe, Cu, Zn) and semi-essential (Ni, Co, Mn) heavy metals in the edible tissue of *Cyprinus carpio* of Caspian Sea. Journal of Aquaculture Development 8: 95-106. DOI: 10.22124/japb.2022.22829.1478. (In Persian).