ORIGINAL ARTICLE

Presence and Concentration of Heavy Elements in Highly Consumed Marine and Farmed Fish Species in Mazandaran Province, Iran

Mohammad Ali Zazouli[1,2],
Habib Nejati[3]
Reza Dehbandi[4,5]
Ali Asghar Nadi Ghara[6]

[1] Professor, Department of Environmental Health Engineering, Health Sciences research center, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
[2] The Health of Plant and Livestock Products Research Center, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
[3] MSc Student in Environmental Health Engineerin, Student Research Committee, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
[4] Researcher, School of Geography, Earth and Environmental Sciences, University of Birmingham, Edgbaston, B15 2TT Birmingham, United Kingdom
[5] Assistant Professor, Environmental Technologies Research Center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran
[6] Ph.D. in Statistics, Health Sciences Research Center, Addiction Institute, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

(Received September 20, 2023; Accepted November 4, 2023)

Abstract

Background and purpose: Heavy metals are among the pollutants that can cause destructive and fatal effects on marine organisms, including fish, in aquatic environments. This study aimed to determine and compare the concentration of heavy metals in the edible tissue of highly consumed farmed fishes (trout and carp) and marine fishes (carp, mullet, and whitefish) in Mazandaran province, Iran.

Materials and methods: In this study, 10 farmed fishes of Rainbow trout and Carp and 20 marine fishes of Carp, Leaping mullet, and Rutilus kutum were purchased from several cities of Mazandaran province, including Sari, Farahabad, Babolsar, Fereydoun Kanar, and Mahmoud Abad from the fishmongers market in two seasons (spring and summer). In this study, the edible tissues were completely separated and homogenized by a meat grinder; then, the freeze-dried tissues were analyzed by an ICP-MS to identify heavy metal contents.

Results: The average length and weight of the sampled marine fish species were 33.05±6.24 cm and 354.65±230.54 gr, respectively. Also, the length and weight of the farmed fish species were 33.45±10.30 cm and 586.45±501.32 gr, respectively. The results showed that the average concentration of most heavy metals in both farmed and marine species was within the permissible ranges, and only the average amount of zinc and manganese in both groups was reported higher than the maximum allowed permissible ranges. Spearman's statistical analysis showed no significant relationship between the metal concentration and the fish's length and weight ($P<0.05$, $n=30$ and $rs=-0.219$).

Conclusion: This study revealed that although the concentrations of studied elements in sampled farmed and marine fishes were within the permissible range compared to Food and Drug Administration (FDA), World Health Organization (WHO), and Food and Agriculture Organization (FAO) standards, the average concentrations of Mn and Zn were higher than the mentioned standards.

Keywords: Cultured fish, Heavy metals, ICP-MS, Marine Fish

J Mazandaran Univ Med Sci 2023; 33 (Supple 1): 248-257 (Persian).

Corresponding Author: Habib Nejati- Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran (E-mail: habib.nejati01@gmail.com)

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-07-18]

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره سی و سوم شماره ویژه نامه ۱ آبان سال ۱۴۰۲ (۲۵۷-۲۴۸)

بررسی حضور و غلظت فلزات سنگین در گونه‌ی ماهی‌های پرورشی و دریایی پرمصرف استان مازندران

محمد علی زرولی [۱و۲]
حبیب نجاتی [۳]
رضا دهبندی [۴و۵]
علی اصغر نادی قرا [۶]

چکیده

سابقه و هدف: فلزات سنگین جزو آلاینده‌هایی هستند که در محیط‌های آبی، می‌توانند آسیب‌های مخرب و کشنده‌ای به موجودات دریایی، از جمله ماهی‌ها وارد کنند. این مطالعه با هدف تعیین و مقایسه‌ی غلظت فلزات سنگین موجود در بافت خوراکی ماهی‌های پرمصرف پرورشی (قزل‌آلا و کپور) و دریایی (کپور، کفال و سفید) در استان مازندران انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، ۱۰ قطعه ماهی پرورشی از گونه‌های قزل‌آلا و کپور و ۲۰ قطعه ماهی دریایی از گونه‌های کپور، کفال و سفید از بازار ماهی‌فروشان، در چندین شهرستان استان مازندران، شامل شهرستان ساری، فرح‌آباد، بابلسر، فریدون‌کنار و محمودآباد، در دو فصل بهار و تابستان خریداری شد. ابتدا، بافت خوراکی ماهی جدا و خرد و همگن شد. سپس، با فریزدرایر، رطوبت بافت خشک شد و پس از هضم، غلظت فلزات سنگین با دستگاه ICP-MS اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: میانگین طول و وزن ماهی‌های دریایی نمونه‌برداری‌شده به‌ترتیب، ۶/۲۴±۳۳/۰۵ سانتی‌متر و ۲۳۰/۵۴±۳۵۴/۶۵ گرم بود. همچنین، طول و وزن ماهی‌های پرورشی نمونه‌برداری‌شده به‌ترتیب، ۱۰/۳۰±۳۳/۴۵ سانتی‌متر و ۵۰۱/۳۲±۵۸۶/۴۵ گرم بود. نتایج نشان داد که مقدار میانگین غلظت اغلب فلزات سنگین در هر دو گونه‌ی پرورشی و دریایی در محدوده‌ی مجاز بود و فقط مقدار میانگین عناصر روی و منگنز در هر دو گونه بیش‌تر از حداکثر مجاز گزارش شد. آنالیز آماری اسپیرمن نشان داد که هیچ ارتباط معناداری بین مقدار فلزات و طول ماهی و وزن ماهی ($P<0/05$ و $n=30$ و $r_s=-0/219$) وجود ندارد.

استنتاج: این مطالعه نشان داد که هرچند فلزات سنگین در ماهی وجود دارد، غلظت عناصر مطالعه‌شده در ماهی‌های پرورشی و دریایی نمونه‌برداری‌شده در مقایسه با استانداردهای FAO، WHO و FDA در محدوده‌ی مجاز است. میانگین غلظت منگنز و روی بیش‌تر از حد استانداردهای ذکرشده بود.

واژه های کلیدی: فلزات سنگین، ICP-MS، ماهی پرورشی، ماهی دریایی

مقدمه

عناصر سنگین شامل آرسنیک، کادمیم، کبالت، کروم، مس، آهن، منگنز، سرب، روی و نیکل، از آلودگی‌های جدی زیست‌محیطی هستند که از نظر سمیت، فراوانی و سهولت انباشته شدن در بافت‌های

مولف مسئول: حبیب نجاتی- ساری: دانشگاه علوم پزشکی مازندران، دانشکده‌ی بهداشت E-mail: habib.nejati01@gmail.com
۱. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۲. مرکز تحقیقات سلامت فراورده های گیاهی و دامی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، کمیته‌ی تحقیقات دانشجویی، دانشکده‌ی بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۴. پژوهشگر، دانشکده‌ی جغرافیا، علوم زمین و محیط‌زیست، دانشگاه بیرمنگهام، بیرمنگهام، انگلستان
۵. استادیار، مرکز تحقیقات فناوری‌های زیست‌محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران
۶. دکترای آمار، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، پژوهشکده‌ی اعتیاد، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۲۹ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۴۰۲/۸/۶ تاریخ تصویب: ۱۴۰۲/۸/۱۳

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-07-18]

حیوانات و گیاهان، متغیر هستند این عناصر از آلاینده‌های مهم اکوسیستم آبی هستند و از فعالیت‌های مختلف، مانند فعالیت‌های خانگی، صنعتی و کشاورزی وارد این محیط‌ها می‌شوند(۳-۱). آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی ازعناصر سمی در محیط‌های دریایی، در دهه‌های گذشته، سبب نگرانی‌های بهداشتی و زیست‌محیطی زیادی شده است. انتقال عناصر سنگین از رسوبات به محیط‌های دریایی و انتقال به آبزیان اثرهای مضری بر سلامت تمام موجودات دریایی می‌گذارد(۴)؛ بنابراین، غذاهای دریایی و ماهی‌های موجود در اکوسیستم‌های دریایی ممکن است در معرض آلایندگی ناشی از این عناصر بالقوه سمی قرار گیرند(۵). در ارزیابی‌های زیست‌محیطی آلودگی عناصر بالقوه سمی آب دریا، کسر زیست دسترس‌پذیر عناصر اهمیت بیش‌تری دارد؛ زیرا سمیت آن‌ها به مقدار جذب‌شده توسط جاندار بستگی دارد(۶). فلزات سنگین اثرهای مضر زیادی بر ماهی‌ها می‌گذارند و این به‌دلیل سمیت، مقاومت و تجمع‌پذیری آن‌ها در بافت‌های مختلف ماهی‌ها است. به‌عنوان مثال، این فلزات در بافت ماهیچه و کبد ماهی ذخیره می‌شوند و از طریق مصرف این ماهی‌ها به‌عنوان ماده‌ی غذایی، باعث ایجاد مسمومیت در انسان می‌شوند. به همین دلیل، مطالعات زیادی درباره‌ی فلزات سنگین در ماهی‌ها و بافت‌های هدف آن‌ها انجام شده است(۸،۷،۵). سرب فلزی بسیار سمی است که کاربرد آن در جهان باعث به وجود آمدن مشکلات بسیار زیادی شده است(۹). طبق استانداردهای جهانی (سازمان بهداشت جهانی و فائو)، حداکثر مقدار مجاز سرب در ماهیان ppm ۰/۵ است. کادمیم فلزی غیرضروری است که برای سلامت جانداران خطرناک است. این فلز از آلاینده‌های صنعتی و کشاورزی وارد محیط‌زیست می‌شود(۱۰). حداکثر مقدار مجاز کادمیم بر اساس استانداردهای WHO و FAO، ۰/۰۵ppm است(۹). قرارگرفتن درمعرض آرسنیک ممکن است باعث مسمومیت‌های حاد یا مزمن شود و اثرهای زیادی بر بافت و دستگاه گوارش ماهی بگذارد. حداکثر مقدار مجاز آرسنیک براساس استاندارد WHO، ۱/۴ppm است(۹). کروم فلزی مغذی است که بیش‌تر از طریق تنفس و کم‌تر از طریق پوست جذب می‌شود. حداکثر مقدار مجاز فلز کروم در بافت ماهی براساس استاندارد WHO و FAO، ppm ۱ است(۱۱). روی فلزی کمیاب و ضروری است و مقدار کمی از آن را که بدن نیاز دارد، به‌شکل خوراکی جذب می‌کند(۱۲). حداکثر مقدار مجاز فلز روی در بافت ماهی براساس استاندارد WHO و FAO، ppm ۳۰ است(۹). مس عنصری کمیاب است که در غلظت‌های پایین، مشکلی برای جانداران ایجاد نمی‌کند؛ اما اگر مقدار این فلز از حداکثر مجاز بیش‌تر شود، مسمومیت‌های جدی به دنبال می‌آورد. حداکثر مقدار مجاز فلز مس براساس استانداردهای بین‌المللی، ppm ۳۰ است(۹). آهن فلزی سنگین و مفید برای بدن است که در فعالیت‌های فیزیولوژیکی بدن نقش دارد. حداکثر مقدار مجاز فلز آهن در بافت خوراکی ماهی براساس استاندارد WHO و FAO، ppm ۱۰۰ است(۹). نیکل عنصری است که به‌طور مداوم، در هوا، آب و خاک توزیع می‌شود. این فلز از فعالیت‌های انسانی و منابع طبیعی ناشی می‌شود(۱۳). حداکثر مقدار مجاز فلز نیکل در بافت خوراکی ماهی بر اساس استاندارد WHO و FAO، ppm ۰/۵۰ تا ۵/۵ است(۹). منگنز عنصری اساسی در رژیم غذایی انسان است؛ ولی مصرف بیش از حد این فلز به مسمومیت عصبی منجر می‌شود(۱۴). حداکثر مقدار مجاز فلز منگنز در بافت خوراکی ماهی براساس استاندارد WHO و FAO، ppm ۱ است(۹). دریای خزر (دریای مازندران یا دریای کاسپین) پهنه‌ای آبی است که حدود ۱۰۰ گونه ماهی در آن شناسایی شده است و حدود ۹۰ درصد از خاویار جهان نیز از این دریا حاصل می‌شود(۱۵، ۱۶). تاکنون، مطالعات محدودی درباره‌ی غلظت فلزات سنگین موجود در برخی از ماهی‌های مصرفی دریای خزر و استان مازندران صورت گرفته است. در مطالعه‌ای که رحمانی و همکاران در سال ۱۳۹۹، با عنوان

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-07-18]

بررسی غلظت فلزات سنگین سرب، نیکل و روی در بافت‌های عضله، کبد، آبشش و کلیه‌ی ماهی سفید (Rutilus frisii kutum)، در استان‌های گیلان و مازندران انجام دادند، نشان داده شد که میانگین غلظت نیکل در اکثر نمونه‌ها بالاتر از حد استاندارد است(۱۷). در مطالعه‌ی دیگری که رنجبر و همکاران در سال ۱۳۸۳، با عنوان تجمع فلزات سنگین در بافت عضله‌ی ماهی کفال طلایی در دریای خزر انجام دادند، مشخص شد که غلظت سرب (۲/۳۳۷) و کادمیم (۰/۳۲۱) برحسب ppm وزن خشک در عضله ماهی کفال طلایی، در مقایسه با استانداردهای جهانی، بیشتر از حد مجاز بود(۱۸). در تحقیق دیگری که تقوی و همکاران با عنوان سنجش غلظت فلزات سنگین (سرب،کادمیم و جیوه) درعضله‌ی ماهی کفال پوزه‌باریک و ارزیابی خطر ناشی از مصرف آن در دریای خزر انجام دادند، مشخص شد که مقدار فلز سرب (۱/۳۰±۵/۳۱۳) و جیوه (۵۵/۳۵۵±۳۳/۶۲۵) در این گونه، در مقایسه با استانداردهای جهانی، بیشتر از حد مجاز بود(۱۹). در پژوهشی که بخشعلی‌زاده و همکاران در سال ۲۰۲۲، درباره دو گونه‌ی ماهی کفال دریای خزر انجام دادند، نشان داده شد که غلظت فلزات کادمیم، مس، سرب و روی در عضله دمی، بالاتر بود و مقدار جیوه، کادمیم و سرب بیش‌تر از حد مجاز تعیین‌شده گزارش شد(۲۰). پایش مداوم و به‌روز این عناصر در محیط‌های دریایی، به‌خصوص در ماهی‌های پرمصرف، نقش بسیار مهمی در ارزیابی ریسک ناشی از مصرف آن‌ها برای سلامت مصرف‌کنندگان دارد. علی‌رغم وجود چنین مطالعاتی، تاکنون مطالعه‌ی جدیدی درباره‌ی غلظت این عناصر در ماهی‌های دریایی و هم‌چنین، ماهی‌های پرورشی پرمصرف در استان مازندران و مقایسه این دو گروه با یکدیگر صورت نگرفته است. این مطالعه به‌منظور بررسی وجود فلزات سنگین (آرسنیک، کادمیم، کبالت، کروم، مس، جیوه، منگنز، نیکل، سرب و روی) در تعدادی از گونه‌های ماهی دریایی (کپور، کفال و سفید) و گونه‌های ماهی پرورشی (قزل آلا و کپور) و مقایسه مقدار فلزات در این دو گونه از ماهی‌ها در استان مازندران انجام شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

با بررسی‌های به‌عمل‌آمده در اداره‌ی کل شیلات مازندران و صنف ماهی‌فروشان استان، گونه‌های پرمصرف ماهی‌کپور دریایی و پرورشی (Cyprinus carpio)، ماهی سفید (Rutilus kutum)، ماهی قزل‌آلا (Rainbow trout) و کفال (Leaping mullet) گونه‌های پرمصرف ماهی در استان، شناسایی شدند. گفتنی است که ماهی‌های سفید و کفال دارای گونه‌ی پرورشی نیستند. نمونه‌ها از بازار ماهی‌فروشان در شهرهای ساری، فرح آباد، محمودآباد، قائمشهر (نمونه‌ی ماهی قزل‌آلا)، هراز (ماهی قزل‌آلا) و بابلسر، فریدون‌کنار به‌طور تصادفی خریداری شدند. با توجه به امکانات آزمایشگاهی و اعتبار تحقیق، در مجموع، ۳۰ نمونه شامل ۲۰ نمونه ماهی دریایی و ۱۰ نمونه ماهی پرورشی خریداری شد. نمونه‌ها پس از خریداری، در جعبه‌ی ایزوله‌ی حاوی یخ نگهداری شدند و در پایان هر روز، به آزمایشگاه منتقل و در یخچال با دمای ۵ درجه زیر صفر، نگهداری شدند.

آماده‌سازی نمونه‌ها و اندازه‌گیری غلظت عناصر

ماهی‌ها ابتدا از یخچال خارج شدند و اجازه داده شد که از حالت منجمد درآیند. سپس، با آب معمولی و بعد از آن، با آب‌مقطر شسته شدند و مشخصات زیستی (طول و وزن) آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس، بافت خوراکی ماهی‌ها، شامل ماهیچه‌ی آن‌ها، جداسازی و دوباره با آب‌مقطر، دو مرتبه، شسته شد. سپس، این بافت در دستگاه خردکن گوشت از جنس استیل ضدزنگ، خرد و همگن شد. مخلوط همگن ماهیچه به‌وسیله‌ی دستگاه فریزدرایر (Freeze-drying) مدل (Germany Zirbus Technology GmbH VaCo)، به

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-07-18]

مدت ۴۸ ساعت، در دمای منفی ۵۰ درجه، خشک شد. آنگاه، ۰/۵ گرم از بافت خشک‌شده انتخاب شد و با ۲/۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک، ۴ میلی‌لیتر اسیدنیتریک ۶۹ درصد و ۱/۵ میلی‌لیتر هیدروژن‌پراکسید مخلوط شد و محلول حاصل به مدت ۱۰ تا ۲۰ دقیقه، در آون با دمای ۳۰ تا ۹۰ درجه‌ی سانتیگراد، نگهداری و هضم شد(۲۱). سپس، نمونه‌ها با اضافه کردن آب‌مقطر به حجم نهایی ۵۰ میلی‌لیتر رسید و غلظت فلزات سنگین با استفاده از دستگاه ICP-MS شرکت زرآزمای تهران، اندازه‌گیری شد. در تمام مدت آماده‌سازی نمونه‌ها، برای جلوگیری از ایجاد هرگونه آلودگی از روپوش نخی، ماسک و دستکش لاتکس استفاده شد. برای تعیین دقت و صحت اندازه‌گیری، دو نمونه‌ی تکراری از بافت‌های دو نمونه ماهی دریایی و پرورشی نیز همراه نمونه‌ها به آزمایشگاه ارسال شد که نتایج حاصل نشان داد دقت اندازه‌گیری در آزمایشگاه مناسب بود. بنا به گزارش آزمایشگاه، صحت داده‌ها با استفاده از محلول‌های استاندارد داخلی و همچنین، یک نمونه ماده‌ی مرجع بین‌المللی بررسی شد و نرخ بازیابی (recovery) داده‌ها بین ۹۲ تا ۱۰۸ درصد برای همه عناصر اندازه‌گیری‌شده گزارش شد.

آنالیز و تحلیل

در ابتدا، از آمار توصیفی نظیر میانگین، میانه، مد، انحراف از معیار، کمترین مقدار و بیش‌ترین مقدار برای متغیرهای کمی و در بخش آمار استنباطی، از آزمون کولمگروف‌اسمیرنف برای بررسی نرمال بودن داده‌ها استفاده شد و با توجه به نرمال بودن هریک از متغیرها، از آزمون‌های تحلیل واریانس یک‌طرفه (One Way ANOVA)، آزمون تی مستقل و ضریب هم‌بستگی پیرسون استفاده شد. در پژوهش حاضر، از مقادیر حد مجاز پیشنهادی سازمان بهداشت جهانی (WHO)، سازمان غذا و داروی امریکا (FDA) و صندوق غذا و کشاورزی ملل متحد (FAO) برای مقایسه‌ی داده‌ها استفاده شد. داده‌های جمع‌آوری‌شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS-27 آنالیز شدند.

یافته‌ها

زیست‌سنجی ماهی‌ها

نتایج زیست‌سنجی ماهی‌های نمونه‌برداری‌شده در جدول شماره ۱ آمده است. همان‌طور که در جدول دیده می‌شود، میانگین طول (سانتی‌متر) و وزن (گرم) ماهی‌های دریایی به‌ترتیب، ۶/۲۴±۳۳/۰۵ سانتی‌متر و ۲۳۰/۵۴±۳۵۴/۶۵ گرم بود. هم‌چنین، میانگین طول (سانتی‌متر) و وزن (گرم) ماهی‌های پرورشی به‌ترتیب، ۱۰/۳۰±۳۳/۴۵ سانتی‌متر و ۵۰۱/۳۲±۵۸۶/۴۵ گرم بود.

غلظت عناصر بالقوه سمی در ماهی‌های دریایی

غلظت متوسط عناصر آرسنیک، کادمیم، کبالت، کروم، مس، آهن، منگنز، سرب، روی و نیکل در ماهی‌های دریایی در جدول شماره ۲ آمده ست. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود، میانگین مقدار آرسنیک، کادمیم، کبالت، کروم، مس، آهن، منگنز، سرب، روی و نیکل در سه گونه ماهی دریایی مطالعه‌شده به‌ترتیب، ۰/۳۱۵±۰/۴۲، ۰/۰۳۳±۰/۰۳۳۳، ۰/۰۴۲±۰/۰۵۷، ۰/۶۶۴±۰/۴۱۹، ۱/۷۳۱±۲/۵۵، ۳۲/۶۷±۲۲،۰/۶۷۳±۱/۱۸، ۰/۶۷۸±۰/۳۳۳، ۱۷/۳۹۹±۳۶/۷۰ و ۰/۰۸۷±۰/۱۲۱ میکروگرم بر گرم بود. به‌طور کلی، میانگین بیش‌تر غلظت عناصر بالقوه سمی در ماهی‌های دریایی در محدوده مجاز بود، به‌جز منگنز و روی که به‌ترتیب، با میانگین ۰/۶۷۳±۱/۱۸ و ۱۷/۳۹۹±۳۶/۷ میکروگرم بر وزن خشک، بیش‌تر از حد مجاز به دست آمد.

غلظت عناصر بالقوه سمی در ماهی‌های پرورشی

نتایج اندازه‌گیری غلظت عناصر آرسنیک، کادمیم، کبالت، کروم، مس، آهن، منگنز، سرب، روی و نیکل در ماهی‌های پرورشی در جدول شماره ۳ گزارش شده است. بر این اساس، میانگین مقدار آرسنیک، کادمیم،

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-07-18]

کبالت، کروم، مس، آهن، منگنز، سرب، روی و نیکل در دو گونه ماهی پرورشی مطالعه‌شده به‌ترتیب، ۰/۲۸۷±۰/۱۸۹، ۰/۰۱۷۵±۰/۰۱۱، ۰/۰۲۲±۰/۰۰۸، ۰/۱۴۷±۰/۱۷۵، ۱/۹±۱/۱، ۲۲/۲±۲۱/۳۱۶، ۱/۲±۰/۶۳۳، ۰/۱۸۸±۰/۲۰۹، ۳۰/۶۱±۱۰/۴۴۲ و ۰/۱۱۲±۰/۱۸۲ میکروگرم بر گرم وزن خشک بود. به‌طورکلی، میانگین فلزات روی و منگنز نیز در این گونه‌ها، همانند گونه‌های دریایی، بیش‌تر از حدود مجاز تعیین‌شده بین‌المللی بود و میانگین سایر عناصر در محدوده مجاز بود.

تحلیل‌های آماری

آزمون تی مستقل نشان داد که تفاوت معنی‌داری در میزان غلظت آرسنیک (P=۰/۰۱۰ و df=۲۸ و t=-۲/۷۶۴)، کادمیم (P=۰/۰۱۴ و df=۲۶/۲۷۰ و t=-۲/۶۲۱)، کبالت (P=۰/۰۰۳ و df=۲۵/۲۸۹ و t=-۳/۲۸۲) و نیکل (P=۰/۰۴۱ و df=۲۸ و t=-۲/۱۴۱) در بین گونه‌های پرورشی و دریایی وجود داشت؛ اما تفاوت معنی‌داری در میزان غلظت سایر عناصر بین گونه‌های پرورشی و دریایی وجود نداشت. بر اساس آزمون تحلیل واریانس یک‌راهه و سطح معنی‌داری P< ۰/۰۵، در بین گونه‌های مختلف ماهی، از نظر فلزات سنگین، فقط برای کبالت هم‌بستگی معنی‌دار (P=۰/۰۴۸ و F =۳/۰۴۰) مشاهده شد و در بقیه فلزات، هم‌بستگی معنی‌داری مشاهده نشد.

ارتباط و هم‌بستگی بین عناصر

نتایج آنالیز هم‌بستگی پیرسون در میان فلزات سنگین آنالیزشده نشان داد که هیچ ارتباط معناداری بین فلزات و طول ماهی و وزن ماهی وجود ندارد. یافته‌ها

جدول شماره ۱: زیست‌سنجی ماهی‌های انتخاب‌شده برای آنالیز فلزات سنگین

نوع ماهی	نام گونه‌ی ماهی	نام علمی	تعداد نمونه	وزن (گرم)			طول (سانتی‌متر)		
				حداقل	حداکثر	میانگین ± انحراف معیار	حداقل	حداکثر	میانگین ± انحراف معیار
دریایی	سفید	Rutilus frisii kutum kanesky (Rutilus kutum)	۷	۱۴۰	۵۳۹	۳۷۲/۸۵±۱۶۸/۵۱	۲۵/۵	۴۱	۳۴/۷۸±۵/۹۶۴
	کپور	Cyprinus carpio (Common carp)	۷	۲۶۶	۱۱۳۲	۴۶۵/۵±۲۹۹/۹۳	۲۸	۴۷	۳۳/۵۷±۶/۱۸۷
	کفال	Chelon saliens (Leaping mullet)	۶	۱۱۴	۴۴۴/۵	۲۰۴/۰۸±۱۲۲/۷۹	۲۵/۵	۴۴	۳۰/۴۱±۶/۸۲۲
پرورشی	کپور	Cyprinus carpio (Common carp)	۶	۳۶۶	۱۹۱۶	۶۸۵/۱۶±۶۰۶/۴۶۹	۳۰/۵	۵۷	۳۶/۲۵±۱۰/۲۴۵
	قزل‌آلا	Oncorhynchus mykiss (rainbow trout)	۴	۱۹۸	۸۷۸/۵	۴۳۸/۳۷±۳۰۳/۷۱۳	۲۱	۴۳	۲۹/۲۵±۱۰/۲۱۰

جدول شماره ۲: مقدار فلزات سنگین در ماهی‌های دریایی استان مازندران (میکروگرم بر گرم)

نوع ماهی	تعداد نمونه	پارامتر	آرسنیک	کادمیم	کبالت	کروم	مس	منگنز	نیکل	سرب	روی	آهن
سفید	۷	حداقل	۰/۰۴۱	۰/۰۰۷	۰/۰۱۳	۰/۰۱۴	۱	۰/۷۵	۰/۰۱۹	۰/۰۰۷	۱۴/۳۳	۲
		حداکثر	۰/۵۱۷	۰/۰۶۳	۰/۱۱۸	۲/۳۸	۲	۲	۰/۱۳۴	۰/۳۴	۴۷/۱۹	۳۲
		میانگین ±SD	۰/۱۶۰±۰/۲۵۳	۰/۰۲±۰/۰۲۱	۰/۰۳۶±۰/۰۳۷۷	۰/۰۸۴۱±۰/۴۹۷	۰/۵۳۴±۱/۴۲۸	۰/۴۲۶±۱/۰۷۱	۰/۰۴۴±۰/۰۸۳	۰/۱۲۰±۰/۱۹۷	۱۱/۶۵۱±۳۱/۳۵۲	۱۲/۴۰±۱۲/۱۴۲
کپور	۷	حداقل	۰/۱۸۱	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۲۲	۱	۰/۷۵	۰/۰۴۲	۰/۰۵۹	۱۹/۱۲۴	۱
		حداکثر	۱/۰۹۸	۰/۰۷۴	۰/۱۰۸	۰/۶۰۶	۸	۳	۰/۳۴۱	۰/۲۲۴	۷۷/۸۳	۴۰
		میانگین ±SD	۰/۳۵۱±۰/۵۰۶	۰/۰۱۹±۰/۰۲۹	۰/۰۳۰۱±۰/۰۵۴۶	۰/۲۰۵±۰/۱۵۹	۲/۴۱±۲/۸۵۷	۰/۷۷۷±۱/۲۵	۰/۱۲۵±۰/۱۶۲	۰/۰۵۶±۰/۱۱۰	۲۰/۰۵۴±۴۰/۵۰۷	۱۴/۶۱۵±۱۲/۵۷۱
کفال	۶	حداقل	۰/۱۴۲	۰/۰۰۷	۰/۰۳۴	۰/۱۱۸	۲	۰/۷۵	۰/۰۳۲	۰/۰۸۸	۱۸/۹۴	۴
		حداکثر	۱/۱۷۲	۰/۱۴۲	۰/۱۴۴	۲/۲۰۵	۲	۳	۰/۱۸	۳/۱۷۵	۷۷/۲۵	۱۴۳
		میانگین ±SD	۰/۳۷۰±۰/۵۱۷	۰/۰۵۰±۰/۰۵۳	۰/۰۴۹±۰/۰۸۳	۰/۷۸۵±۰/۹۳۳	۱/۰۴۸±۳/۵	۰/۸۶۶±۱/۲۵۱	۰/۰۶۰±۰/۱۱۹	۱/۱۹۳±۰/۷۵۲	۲۰/۹۹۰±۳۸/۵۲۲	۵۲/۴۳۱±۴۴/۵۵۲
		میانگین ±SD	۰/۳۱۵±۰/۴۲۱	۰/۰۳۳±۰/۰۳۳۳	۰/۰۴۲±۰/۰۵۷	۰/۶۶۴±۰/۴۱۹	۱/۷۳۱±۲/۵۵	۰/۶۷۳±۱/۱۸	۰/۰۸۷±۰/۱۲۱	۰/۶۷۸±۰/۳۳۳	۱۷/۳۹۹±۳۶/۷۰	۳۲/۶۷±۲۲

جدول شماره ۳: مقدار فلزات سنگین (میکروگرم بر گرم وزن خشک) در ماهی‌های کپور و قزل‌آلای پرورشی استان مازندران

نوع ماهی	تعداد نمونه	پارامتر	آرسنیک	کادمیم	کبالت	کروم	مس	منگنز	نیکل	سرب	روی	آهن
کپور پرورشی	۶	حداقل	۰/۰۳۸	۰/۰۰۷	۰/۰۱۴	۰/۰۲۲	۱	۱	۰/۰۱۷	۰/۰۴۸	۲۰/۱۹	۱
		حداکثر	۰/۴۷۸	۰/۰۲۴	۰/۰۳۳	۰/۴۸۴	۴	۳	۰/۰۷۳	۰/۲۶۷	۴۳/۳۷	۵۷
		میانگین ±SD	۰/۰۲۰±۰/۲۱۲	۰/۰۰۷±۰/۰۱۴۶	۰/۰۰۸±۰/۰۲۲	۰/۱۷۷±۰/۱۵۷	۱/۲۶۴±۲	۰/۸۱۶±۱/۳۳	۰/۰۲۶±۰/۰۴۷	۰/۰۷۷±۰/۱۴۰	۱۰/۳۱۳±۳۵/۱۱	۲۴/۳۴۴±۲۹/۳
قزل‌آلای	۴	حداقل	۰/۲۶۷	۰/۰۰۷	۰/۰۱۳	۰/۰۱۱	۱	۱	۰/۰۴۴	۰/۰۰۷	۱۵/۴۱	۲
پرورشی		حداکثر	۰/۴۸۲	۰/۰۴۶	۰/۰۳۴	۰/۴۲۷	۳	۱	۰/۶۲۸	۰/۷۳۹	۳۰/۰۰۴	۲۲
		میانگین ±SD	۰/۱۰۲±۰/۳۹۹	۰/۰۱۶±۰/۰۲۱	۰/۰۰۸±۰/۰۲۲	۰/۱۹۸±۰/۱۳۲	۰/۹۵۷±۱/۷۵	۰±۱	۰/۲۷۸±۰/۲۱۱	۰/۳۳۳±۰/۲۵۹	۶/۹۶۴±۲۳/۸۶	۱۱±۱۱/۵

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-07-18]

نشان داد که بین فلزات نیکل و آرسنیک (r =۰/۴۶۳، P<۰/۰۱)، کادمیم و کبالت (r =۰/۵۷۹، P<۰/۰۱)، مس و کادمیم (r =۰/۶۰۵، P<۰/۰۱)، نیکل و کادمیم (r =۰/۵۰۹ ، P<۰/۰۱)، کروم و کبالت (r=۰/۶۰۵، P<۰/۰۱)، کروم و مس (r =۰/۳۷۴، P<۰/۰۵)، کبالت و مس (r =۰/۶۰۵، P<۰/۰۱)، مس و سرب (r=۰/۴۱۱، P<۰/۰۵)، منگنز و روی (r=۰/۴۴۹، P<۰/۰۵)، نیکل و کبالت (r =۰/۴۶۳، P<۰/۰۱) و نیکل و مس (r=۰/۳۶۴، P<۰/۰۵) هم‌بستگی مثبت وجود داشت. همچنین، یافته‌ها نشان داد که بین منگنز و آرسنیک هم‌بستگی منفی وجود داشت (r=-۰/۴۱۰، P<۰/۰۵).

بحث

مقایسه با استانداردها و مقادیر مجاز جهانی

میانگین فلزات سنگین در ماهی‌های پرورشی و دریایی مطالعه‌شده با استانداردهای موجود در جدول ۴ مقایسه شد. به‌طور کلی، غلظت متوسط عناصر روی و منگنز در هر دو گروه ماهی‌های پرورشی و دریایی بیشتر از حد مجاز تعیین‌شده توسط FAO و WHO بود و غلظت سایر فلزات در محدوده‌ی مجاز بود(۲۲). غلظت سرب تنها در ماهی‌های کفال دریایی خریداری شده از منطقه‌ی ساری، فرح‌آباد (۳/۱ میکروگرم بر گرم) بیش‌تر از حد مجاز FAO، WHO و FDA بود. دلیل احتمالی افزایش سرب در بافت این نوع ماهی کف‌زی ممکن است زیستگاه این گونه از ماهی باشد. زیستگاه این ماهی در بستر دریا است و از گل‌ولای بستر دریا که ممکن است حاوی این عنصر باشد، تغذیه می‌کند(۲۴،۲۳). سرب از نظر انتشار، یکی از عناصر سمی موجود در محیط‌زیست و محیط‌های آبی است که قابلیت تجمع زیستی در بدن ماهی‌ها را دارد و از طریق مصرف ماهی‌های آلوده توسط انسان، وارد بدن انسان می‌شود(۲۶،۲۵). از جمله منابع ورود سرب به دریای خزر می‌توان به صنعت نفت، ورود فاضلاب شهری و صنعتی به دریا و وجود سرب در بنزین و انتشار آن در هوا پس از احتراق اشاره کرد(۲۹-۲۷). میانگین غلظت روی و منگنز نیز در همه‌ی ماهی‌های دریایی از حداکثر مجاز گزارش‌شده توسط سازمان‌های تأییدشده (FDA، WHO و FAO)، بیش‌تر بود. بیش‌ترین غلظت عنصر منگنز در ماهی کپور دریایی خریداری‌شده از منطقه محمودآباد مشاهده شد که غلظت آن ۳ میکروگرم بر گرم بود. در پژوهشی که بندانی و همکاران در سال ۲۰۱۱ در استان گلستان انجام دادند، مقدار فلز کروم در عضله و کبد ماهی کپور دریایی را ۶۲/۹ و ۵۲/۴ میکروگرم بر وزن بدن گزارش کردند(۳۰) که نسبت به داده‌های این تحقیق، بسیار بیش‌تر بود. در پژوهشی که Varol و همکاران در رودخانه‌ی تیگریز ترکیه درباره‌ی دو گونه ماهی Capoeta umbla و Luciobarbus mystaceus در قسمت‌های عضله، آبشش و کبد انجام داد، تفاوت معنی‌داری بین گونه‌های ماهی از نظر غلظت عنصر کمیاب در ماهیچه، برای منگنز؛ در کبد، برای مس، کادمیم و منگنز؛ در آبشش، برای آرسنیک، کبالت، مس و کادمیم؛ وجود داشت (P<۰/۰۵)(۳۱). در مطالعه‌ی دیگری که Ancora و همکارانش در سال ۲۰۲۰، درباره‌ی ماهیچه و کبد نیزه‌ماهی مدیترانه‌ای انجام دادند، وجود عناصر مختلف در ماهی نمونه به این شرح بود: جیوه (۳/۴۰۱±۱/۹۰۸) > سلنیم (۱/۷۲۷±۰/۲۳۲) > سرب (۰/۵۳۲±۰/۳۲۲) > کادمیم (۰/۰۱۹±۰/۰۱۹) در ماهیچه و سلنیم (۶/۵۷۷±۱/۷۸۹) > کادمیم (۵/۸۱۵±۳/۰۳۸) > جیوه (۲/۶۹۸±۲/۲۱۴) > سرب (۰/۶۶۱±۱/۳۳۴) در کبد(۳۲). مقادیر به‌دست‌آمده در مطالعه ایشان نسبت به مقادیر حاصل از مطالعه‌ی حاضر که درباره‌ی گونه‌های دیگر ماهی انجام شده است، بیش‌تر بود. در تحقیق دیگری که Anan و همکاران در سال ۲۰۱۵ انجام دادند، نشان داده شد که غلظت روی و جیوه در ماهی‌های جمع‌آوری شده از آب‌های ساحلی دریای خزر (قزاقستان، آذربایجان، ترکمنستان و ایران)، از حد استانداردهای جهانی بالاتر بود که با نتایج به‌دست آمده از مطالعه‌ی حاضر درباره‌ی

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-07-18]

عنصر روی همخوانی دارد(۳۳).

جدول شماره ۴: مقایسه میانگین فلزات سنگین در ماهی‌های دریایی و پرورشی در مطالعه‌ی حاضر با استانداردهای موجود، مقادیر به (µg/g)

نام عنصر	رهنمود FAO	رهنمود WHO	رهنمود FDA	ماهی دریایی	ماهی پرورشی
آرسنیک	۱	۱	-	۰/۳۱۵±۰/۴۲۱	۰/۱۸۹±۰/۲۸۷
کادمیم	۰/۵	۰/۵	۴	۰/۰۳۳±۰/۰۳۳۳	۰/۰۱۱±۰/۰۱۷۵
سرب	۰/۳	۰/۳	۱/۷	۰/۶۷۸±۰/۳۳۳	۰/۲۰۹±۰/۱۸۸
نیکل	۵۵	۳۰	۷۰	۰/۰۸۷±۰/۱۲۱	۰/۱۸۲±۰/۱۱۲
روی	۳۰	-	-	۱۷/۳۹۹±۳۶/۷۰	۱۰/۴۴۲±۳۰/۶۱
مس	۳۰	۳۰	-	۱/۷۳۱±۲/۵۵	۱/۱±۱/۹
منگنز	۱	۱	-	۰//۶۷۳±۱/۱۸	۰/۶۳۲±۱/۲
کبالت	۰/۵	۰/۵	۲	۰/۰۴۲±۰/۰۵۷	۰/۰۰۸±۰/۰۲۲
آهن	۱۸۰	۱۰۹	-	۳۲/۶۷±۲۲	۲۱/۳۱۶±۲۲/۲
کروم	-	۱۰	۱۰	۰/۶۶۴±۰/۴۱۹	۰/۱۷۵±۰/۱۴۷

در تحقیقی که طبری و همکاران در سال ۲۰۰۸، با عنوان فلزات سنگین (روی، سرب، کادمیم و کروم) در ماهی، آب و رسوبات نمونه‌برداری‌شده از جنوب دریای خزر ایران انجام دادند، میانگین غلظت کروم، کادمیم و سرب در ماهی سفید به‌ترتیب، ۰/۱۲۳±۰/۲۲۷، ۰/۰۶۱±۰/۱۵۵ و ۰/۱۶۴±۰/۴۸۵ میکروگرم برگرم گزارش شد(۲۹) که مقادیر این سه عنصر با داده‌های پژوهش حاضر همخوانی دارد. در تحقیقی که Kaya و همکاران در سال ۲۰۱۸، در منطقه‌ی Keban، درباره‌ی گونه‌ی ماهی کپور انجام دادند، مقدار آرسنیک موجود در نمونه برابر با ۲۷۵ µg/kg، مقدار کادمیم برابر با ۴ µg/kg و مقدار سرب برابر با ۱۷۲ µg/kg گزارش شد که با نتایج مطالعه‌ی حاضر مطابقت دارد(۳۱). راهکارهای پیشنهادی برای مهار میزان فلزات سنگین در دریای خزر می‌تواند شامل کنترل ورود فاضلاب‌های صنعتی و شهری به رودخانه‌ها که منتهی به دریا می‌شود، دادن آموزش‌های لازم به کشاورزان درباره‌ی استفاده از کودهای شیمیایی کمتر، جلوگیری از رها کردن تور و وسایل دیگر از طرف صیادان به دریا باشد.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی به شماره‌ی ۵۹۱۹، مصوب معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی مازندران با کد اخلاق IR.MAZUMS.REC.1398.844 است. بدین‌وسیله، از معاونت تحقیقات و فناوری و معاونت بهداشتی دانشگاه و کارشناسان آزمایشگاه گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده‌ی بهداشت قدردانی می‌شود.

References

1. Idris AM, Eltayeb M, Potgieter-Vermaak SS, Van Grieken R, Potgieter J. Assessment of heavy metals pollution in Sudanese harbours along the Red Sea Coast. Microchemical Journal 2007; 87(2): 104-112.
2. Ali Zazouli M, Yousefi ZA, Taghavi M, Akbari-Adergani B, Cherati JY. Cadmium removal from aqueous solutions using L-Cysteine functionalized Single-Walled carbon nanotubes. J Mazandaran Univ Med Sci 2013; 23(98): 37-47 (Persian).
3. Bazrafshan E, Mahvi AH, Zazouli MA. Removal of zinc and copper from aqueous solutions by electrocoagulation technology using iron electrodes. Asian Journal of Chemistry 2021; 23(12): 5506-5510.
4. Chapman PM, Wang F, Janssen C, Persoone G, Allen HE. Ecotoxicology of metals in aquatic sediments: binding and release, bioavailability, risk assessment, and remediation. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 1998; 55(10): 2221-2243.
5. Ikem A, Egiebor NO. Assessment of trace elements in canned fishes (mackerel, tuna, salmon, sardines and herrings) marketed in Georgia and Alabama (United States of America). Journal of food composition and analysis 2005; 18(8): 771-787.
6. Rejomon G, Nair M, Joseph T. Trace metal dynamics in fishes from the southwest coast

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-07-18]

of India. Environ Monit Assess 2010; 167(1-4): 243-255.

7. Mendil D, Demirci Z, Tuzen M, Soylak M. Seasonal investigation of trace element contents in commercially valuable fish species from the Black sea, Turkey. Food Chem Toxicol 2010; 48(3): 865-870.
8. Tuzen M, Soylak M. Determination of trace metals in canned fish marketed in Turkey. Food Chemistry 2007; 101(4): 1378-1382.
9. Jaishankar M, Tseten T, Anbalagan N, Mathew BB, Beeregowda KN. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. Interdiscip Toxicol 2014; 7(2): 60-72.
10. Genchi G, Carocci A, Lauria G, Sinicropi MS, Catalano A. Nickel: Human health and environmental toxicology. Int J Environ Res Public Health 2020; 17(3): 679.
11. Sivaperumal P, Sankar T, Nair PV. Heavy metal concentrations in fish, shellfish and fish products from internal markets of India vis-a-vis international standards. Food chemistry 2007; 102(3): 612-20.
12. Taha MM, Mahdy-Abdallah H, Shahy EM, Ibrahim KS, Elserougy S. Impact of occupational cadmium exposure on bone in sewage workers. Int J Occup Environ Health 2018; 24(3-4): 101-108.
13. Hadi F, Ahmad A, Ullah R. Cadmium phytoextraction potential of Ricinus communis significantly increased with exogenous application of growth regulators and macronutrients. Soil and Sediment Contamination: An International Journal 2021; 30(6): 663-685.
14. Kapoor D, Singh MP. Heavy metal contamination in water and its possible sources. Heavy Metals in the Environment 2021: 179-189.
15. Klige R, Myagkov M. Changes in the water regime of the Caspian Sea. Geojournal 1992; 27(3): 299-307.
16. Povinec PP, Froehlich K, Gastaud J, Oregioni B, Pagava SV, Pham MK, et al. Distribution of 90Sr, 137Cs and 239,240 Pu in Caspian Sea water and biota. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography 2003; 50(17-21): 2835-2846.
17. Hamidvand F, Rahmani M, Shirdam R, Joveini MN. Study of lead, nickel and zinc heavy metals concentration in muscle, liver, gill, and kidney of Caspian kutum (Rutilus frisii kutum) in Guilan and Mazandaran provinces. Journal of Environmental Science Studies 2020; 5(3): 2741-2747 (Persian).
18. Amini Ranjbar G, Sotodehnia F. Investigation of heavy metals accumulation in muscle tissue of Mugil auratus in relation to standard length, weight, age and sex. Iranian Scientific Fisheries Journal 2005; 14(3): 1-8 (Persian).
19. Mehri Asiabar Z, Taghavi L, Valinassab T, Pourgholam R. Measuring Concentration of Heavy Metals (Pb, Cd, Hg) in Tissue of Liza Saliens and Risk Assessment Associated with its Use (Case Study: Coastal Waters of the Caspian Sea). Journal of Environmental Science and Technology 2016; 18(3): 225-239 (Persian).
20. Bakhshalizadeh S, Mora-Medina R, Fazio F, Parrino V, Ayala-Soldado N. Determination of the heavy metal bioaccumulation patterns in muscles of two species of mullets from the Southern Caspian Sea. Animals 2022; 12(20): 2819.
21. Bilandžić N, Sedak M, Čalopek B, Đokić M, Varenina I, Kolanović BS, et al. Element contents in commercial fish species from the Croatian market. Journal of Food Composition and Analysis 2018; 71: 77-86.
22. Heshmati A, Karami-Momtaz J, Nili-

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-07-18]

Ahmadabadi A, Ghadimi S. Dietary exposure to toxic and essential trace elements by consumption of wild and farmed carp (Cyprinus carpio) and Caspian kutum (Rutilus frisii kutum) in Iran. Chemosphere 2017; 173: 207-215.

23. Ebrahimzadeh MA, Eslami S, Nabavi SF, Nabavi SM. Determination of trace element level in different tissues of the leaping mullet (Liza saliens, Mugilidae) collected from Caspian Sea. Biol Trace Elem Res 2011; 144(1-3): 804-811.
24. Hosseini SM, Vajdi R, Rad SFM, Behrooz RD, Chamanara V, Hosseini SV. Risk assessment of trace elements bioaccumulated in golden gray mullet (Liza aurata) harvested from the southern Caspian Sea. Journal of Great Lakes Research 2022; 48(4): 1079-1086.
25. Cardwell RD, DeForest DK, Brix KV, Adams WJ. Do Cd, Cu, Ni, Pb, and Zn biomagnify in aquatic ecosystems? Rev Environ Contam Toxicol 2013; 226: 101-122.
26. Li D, Pan B, Wang Y, Han X, Lu Y. Bioaccumulation and health risks of multiple trace metals in fish species from the heavily sediment-laden Yellow River. Mar Pollut Bull 2023; 188: 114664.
27. Najm M, Shokrzadeh M, Fakhar M, Sharif M, Hosseini SM, RahimiEsboei B, et al. Concentration of Heavy Metals (Cd, Cr and Pb) in the Tissues of Clupeonella Cultriventris and Gasterosteus Aculeatus from Babolsar Coastal Waters of Mazandaran Province, Caspian Sea J Mazandaran Univ Med Sci 2014, 24(113): 185-192 (Persian).
28. Mehdinia A, Dehbandi R, Hamzehpour A, Rahnama R. Identification of microplastics in the sediments of southern coasts of the Caspian Sea, north of Iran. Environ Pollut 2020; 258: 113738.
29. Tabari S, Saravi SSS, Bandany GA, Dehghan A, Shokrzadeh M. Heavy metals (Zn, Pb, Cd and Cr) in fish, water and sediments sampled form Southern Caspian Sea, Iran. Toxicol Ind Health 2010; 26(10): 649-656.
30. Bandani GA, Khoshbavar Rostami H, Yelghi S, Shokrzadeh M, Nazari H. 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. isfj 2011; 19(4): 1-10 (Persian).
31. Varol M, Kaçar E, Akın HK. 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. Environ Res 2020; 186: 109570.
32. Ancora S, Mariotti G, Ponchia R, Fossi MC, Leonzio C, Bianchi N. Trace elements levels in muscle and liver of a rarely investigated large pelagic fish: The Mediterranean spearfish Tetrapturus belone (Rafinesque, 1810). Mar Pollut Bull 2020; 151: 110878.
33. Anan Y, Kunito T, Tanabe S, Mitrofanov I, Aubrey DG. Trace element accumulation in fishes collected from coastal waters of the Caspian Sea. Mar Pollut Bull 2005; 51(8-12): 882-888.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-07-18]