مجله ایمنی زیستی

دوره ۱۶، شماره ۳، پائیز ۱۴۰۲

ISSN 2716-9804 الکترونیکی، ISSN 2717-0632 چاپی

تغذیه انسان از ماهیان آلوده به فلزات سنگین: یک چالش جدی در راستای امنیت غذایی بشر

نوع مقاله: مروری

علیرضا رادخواه[۱]، سهیل ایگدری*[۲]، هادی پورباقر[۲]، اسماعیل صادقی‌نژاد ماسوله[۳]

۱- دانش‌آموخته دکتری، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج ، ایران

۲- دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج ، ایران

۳- پژوهشکده آبزی‌پروری آب‌های داخلی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندر انزلی، ایران

soheil.eagderi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۰

صفحه ۷۴-۵۱

چکیده

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثرات منفی ناشی از انباشت فلزات سنگین در ماهیان و همچنین بدن انسان که به‌واسطه مصرف طولانی‌مدت انسان از ماهیان آلوده حادث می‌شود، انجام شد. فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی سهم عمده‌ای در حضور فلزات مختلف از قبیل کادمیوم (Cd)، نیکل (Ni)، سرب (Pb)، آرسنیک (As) و جیوه (Hg) در محیط‌های آبی دارند. با ورود مستمر این مواد سمی به اکوسیستم‌های آبی، امکان تجمع زیستی فلزات سنگین در بدن آبزیان مختلف به‌ویژه ماهیان فراهم می‌شود. تجمع زیستی فلزات سنگین توسط ماهیان و توزیع متعاقب آنها در اندام‌های بدن در بین گونه‌های مختلف، متفاوت است. عوامل متعددی از قبیل جنس، سن، اندازه، چرخه تولیدمثل، الگوی شنا، رفتار تغذیه‌ای و موقعیت جغرافیایی می‌توانند بر جذب فلزات سنگین و تجمع زیستی آنها در بدن ماهیان تأثیر بگذارند. بررسی‌ها نشان داد که بیشتر فلزات سنگین در سطح بسیار اندک برای بدن انسان سمی هستند. در بین فلزات مختلف، جیوه، سرب و کادمیوم دارای درجه سمیت بالاتری هستند. از جمله مکانیسم‌های سمیت این فلزات می‌توان به تولید رادیکال‌های آزاد اشاره کرد که به‌منظور ایجاد استرس اکسیداتیو انجام می‌شود. علاوه‌بر این، آسیب به مولکول‌های زیستی مانند پروتئین‌ها، لیپیدها، آنزیم‌ها و اسیدهای نوکلئیک و همچنین، آسیب دی.ان.اِ نیز بخش مهمی از مکانیسم سمیت فلزات سنگین را نشان می‌دهد. بر طبق یافته‌های به‌دست آمده، افزایش میزان غلظت جیوه (Hg)، سرب (Pb) و کادمیوم (Cd) در بافت ماهیان در مقایسه با سایر فلزات سنگین می‌تواند تبعات منفی به مراتب زیان بارتری بر بهداشت و سلامت جامعه داشته باشد. از اینرو، لزوم توجه بیشتر به اثرات ناشی از تجمع زیستی این فلزات در بدن ماهیان و امکان انتقال آنها به بدن انسان به‌واسطه زنجیره غذایی احساس می‌شود.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، تجمع زیستی، ماهیان، سمیت، سلامت انسان.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

مقدمه

رشد سریع صنایع، افزایش تقاضای انرژی و تخریب بی‌رویه منابع طبیعی در چند دهه اخیر منجر به افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی در سطح جهان شده است به‌طوری‌که مواد سمی مختلف با منشا آلی و معدنی به‌طور مداوم از منابع طبیعی و انسانی به درون خاک و اکوسیستم‌های آبی رها می‌شوند (Osobajo et al. 2020; Radkhah and Eagderi, 2022a, 2022b). در این میان، فلزات سنگین نه تنها به‌دلیل ماهیت سمی خود، بلکه به‌دلیل داشتن پتانسیل تجمع زیستی در زنجیره غذایی، نقش عمده‌ای در آلودگی محیط زیست ایفا می‌کنند (Anani et al. 2020). فلزات سنگین به‌طور عمده از ضایعات خانگی و کشاورزی، مواد زائد صنعتی، احتراق سوخت‌های فسیلی، معادن و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به اکوسیستم‌های طبیعی رها می‌شوند (Aziz et al. 2023). از آنجایی‌که فلزات سنگین در اکوسیستم طبیعی پایدار هستند، پس از ورود به سیستم‌های آبی، می‌توانند در بدن موجودات زنده انباشته شوند. تجمع زیستی فلزات سنگین در بافت‌های مختلف موجودات زنده می‌تواند سلامت آنها را به خطر بیاندازد و باعث آسیب به فرآیندهای فیزیولوژیکی آن‌ها شود (Briffa et al. 2020; Radkhah and Sadeghinejad Masouleh, 2021; Radkhah and Eagderi, 2023). سمیت فلزات سنگین به شدت بر میزان بقا و ظرفیت تولیدمثلی ارگانیسم‌ها تأثیر می‌گذارد. برخی از این فلزات بسته به گونه، غلظت و زمان تماس بسیار سرطان‌زا و جهش‌زا گزارش شده‌اند (Elnabi et al. 2023).

امروزه انتقال فلزات سنگین به بدن انسان به‌واسطه زنجیره غذایی و همچنین مصرف انسان از محصولات شیلاتی افزایش یافته است. تماس مستمر و طولانی‌مدت انسان با فلزات سنگین می‌تواند زمینه‌ساز بروز مشکلات مختلف و همچنین ظهور و شیوع بیماری‌های متعدد باشد (Radkhah and Eagderi, 2019, 2020; Radkhah et al. 2023). در این پژوهش، اثرات منفی ناشی از انباشت فلزات سنگین در بدن انسان که می‌تواند به‌واسطه مصرف طولانی‌مدت انسان از ماهیان آلوده باشد، مورد بررسی قرار می‌گیرد. مقاله مروری حاضر به انواعی از فلزات سنگین که در بدن آبزیان ذخیره و انباشت می‌شوند، اشاره دارد که در صورت مصرف انسان از آبزیان آلوده به فلزات سنگین، تاثیرات فیزیولوژیکی قابل توجهی روی بدن انسان خواهند داشت.

۱- اهمیت زیستی فلزات سنگین

فلزات به‌طور کلی به دسته‌های بسیار سمی، کمی سمی، ضروری و غیرضروری طبقه‌بندی می‌شوند. فلزات ضروری مانند آهن، روی، منگنز و کبالت به مقدار کمی برای تنظیم عملکردهای

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

فیزیولوژیکی مختلف مانند سنتز هورمون، حمل و نقل اکسیژن و الکترون، باروری، دفاع آنتی اکسیدانی و ایمنی در موجودات زنده مورد نیاز هستند (Li et al. 2021). با این حال، حضور آنها فراتر از یک حد معین در سیستم بیولوژیک، سمیت را تشدید می‌کند. فلزات بسیار سمی مانند آرسنیک، مس، جیوه، کادمیوم و سرب حتی در غلظت‌های پایین می‌توانند اثرات نامطلوبی در موجودات زنده ایجاد کنند (López-Alonso, 2012). فلزات سمی با تقلید از نقش فلزات ضروری، عملکرد اولیه سلول را مختل می‌کنند و این امر منجر به تجمع زیستی آنها می‌شود. ماهیت عنصری فلزات بر روند سوخت و ساز و سم‌زدایی آنها از طریق مسیرهای متابولیکی تأثیر می‌گذارد که منجر به تجزیه گونه‌های سمی به گونه‌های کمتر سمی یا غیرسمی می‌شود. علاوه‌بر این، ماهیت غیرقابل تجزیه این فلزات، سمیت آنها را تشدید می‌کند (Florea et al. 2005; Afzal and Mahreen, 2024).

بر طبق پژوهش‌های انجام شده، فلزات سنگین بر انواع اندامک‌ها و اجزای سلولی از جمله غشای سلولی، میتوکندری، لیزوزوم، شبکه آندوپلاسمی، هسته‌ها و آنزیم‌های دخیل در متابولیسم، سم‌زدایی و ترمیم آسیب تأثیر می‌گذارند. مواجهه بیش از حد با این عناصر در غلظت‌های بالا می‌تواند با مشکلات سلولی یا سیستمیک همراه باشد (Sun et al. 2022). تولید کلروفیل، تغییرات پروتئین، سنتز دی.ان.اِ، فتوسنتز، واکنش‌های ردوکس (redox reactions) در کلروپلاست و میتوکندری، تثبیت نیتروژن و متابولیسم قند همگی تحت تأثیر فلزات سنگین قرار دارند (Alberts et al. 2002).

۲- منابع فلزات سنگین

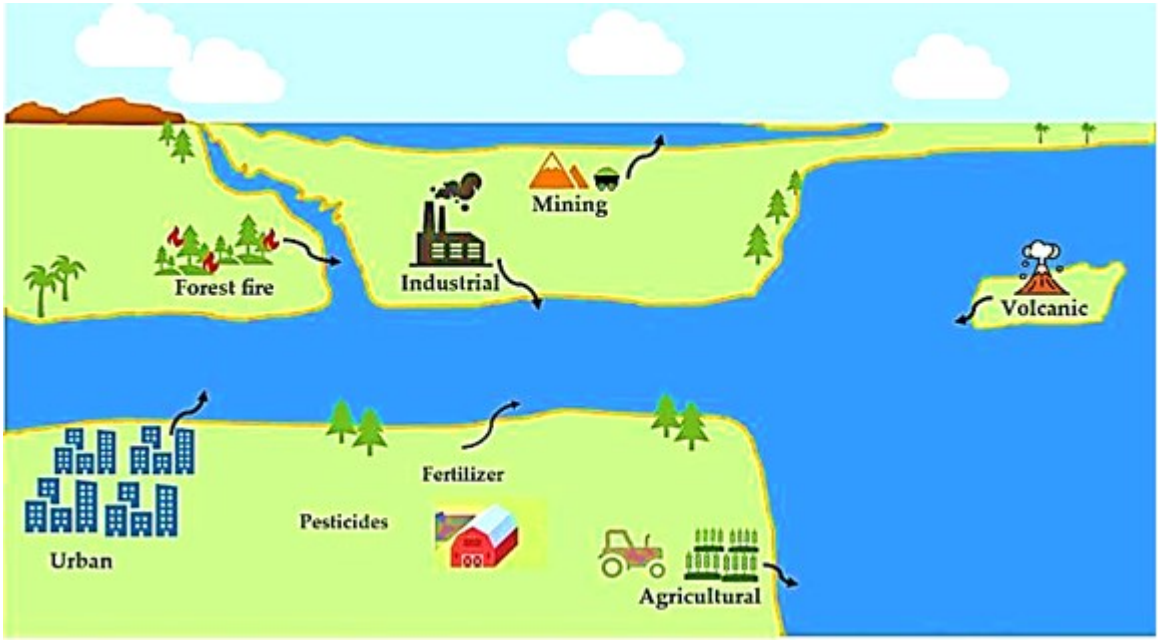
منبع اصلی آلودگی فلزات سنگین در محیط زیست افزایش تصاعدی جمعیت انسانی، توسعه صنعتی و گسترش فعالیت‌های کشاورزی است. فلزات سنگین گروهی از عناصر با چگالی و وزن اتمی بالا هستند که می‌توانند هم برای سلامت انسان و هم برای محیط زیست مضر باشند. فلزات سنگین در زمان‌های اخیر به یک معضل مهم برای آلودگی آب تبدیل شده‌اند و نگرانی عمومی را نسبت به محیط زیست و سلامت انسان برانگیخته‌اند (Jyothi. 2020; Yang et al. 2022). ورود فلزات سنگین به محیط زیست را می‌توان به دلایل انسانی و طبیعی نسبت داد. فعالیت‌های انسانی مانند عملیات صنعتی، استخراج معادن، آبیاری مزارع کشاورزی با آب صنعتی و شیوه‌های کشاورزی به‌طور قابل توجهی در آلودگی با فلزات سنگین نقش دارند؛ این در حالی است که پدیده‌های طبیعی مانند فوران‌های آتشفشانی، هوازدگی سنگ‌ها، فرآیندهای بیوژنیک و آتش‌سوزی جنگل‌ها نیز به ورود فلزات سنگین به

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

محیط کمک می‌کنند (شکل ۱) (Aziz et al. 2023). انتشار مقادیر قابل توجهی از پساب‌های حاوی فلزات سنگین در محیط زیست می‌تواند به‌طور عمده ناشی از فرآیندهای صنعتی مُدرن مانند آبکاری الکتریکی، تولید دستگاه‌های الکترونیکی، معدن‌کاری، متالورژی، تولید کود، سوخت هسته‌ای، تولید کاغذ و انتشار گازهای گلخانه‌ای و مواد شیمیایی باشد (Briffa et al. 2020). در طی فعالیت‌های صنعتی، پساب آلوده به فلزات سنگین از طریق تخلیه مستقیم به پیکره‌های آبی وارد می‌شود. پژوهش‌ها نشان داده است که فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی که منبع شناسایی واحدی ندارند و به‌عنوان آلودگی منبع غیرنقطه‌ای شناخته می‌شوند، سهم عمده‌ای در حضور کادمیوم، نیکل، سرب، روی، آرسنیک و جیوه در محیط دارند (Tchounwou et al. 2012; Malik et al. 2023). علاوه‌بر این، مقادیر قابل توجهی از فلزات سنگین نیز می‌توانند از منابع طبیعی مانند رسوبات جوی نشات گرفته باشند که از طریق بارش به سطح زمین منتقل می‌شوند. منابع ذکر شده از عوامل اصلی آلودگی محیط‌های آبی توسط فلزات سنگین هستند. تا زمانی‌که اقدامات مناسب برای کنترل فلزات سنگین اتخاذ نشود، خطر انتشار این مواد سمی در منابع آبی با پیامدهای بالقوه جدی برای سلامت انسان و زندگی آبزیان وجود دارد (Herrera et al. 2019).

پژوهش‌های پیشین نشان داده است که سطح آلودگی با فلزات سنگین در سیستم های آبی به صورت فصلی به دلیل تغییر در بارش و رفتار انسان در نوسان است. به‌عنوان مثال، سازمان جهانی بهداشت (WHO) حد مجاز برای آرسنیک در آب آشامیدنی را حداکثر ۱۰ میکروگرم در لیتر تعیین کرده است. با این حال، بسیاری از کشورها از جمله بنگلادش، ایران، پاکستان، مکزیک، عربستان سعودی، چین، آمریکای لاتین، ایالات متحده آمریکا و اتیوپی، غلظت آرسنیک را فراتر از این گزارش کرده‌اند (Dilpazeer et al. 2023). لازم به ذکر است که بیشترین میزان خطر برای آب آشامیدنی آلوده به آرسنیک در منطقه آسیا به ثبت رسیده است که حائز اهمیت است. از اینرو، انجام پژوهش‌های عمیق پیرامون منابع آلودگی فلزات سنگین، به‌ویژه در مناطقی که کیفیت آب آشامیدنی به خطر افتاده است، امری ضروری تلقی می‌شود. این نوع پژوهش‌ها می‌تواند به شناسایی عوامل اصلی آلودگی فلزات سنگین و درک بهتر اثرات زیست‌محیطی آنها کمک کند. علاوه‌بر این، اجرای این پژوهش‌ها می‌تواند توسعه راهکارها و سیاست‌های مؤثر برای مدیریت و کاهش اثرات نامطلوب آلودگی فلزات سنگین بر اکوسیستم‌های آبی و سلامت عمومی را تسهیل کند.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]



شکل ۱- منابع آلودگی آب با فلزات سنگین (Aziz et al. 2023)

۳- تجمع زیستی فلزات سنگین در بدن ماهیان

ارزیابی تجمع زیستی یکی از شاخص‌های مهم برای پایش چرخه ژئوشیمیایی فلزات سنگین در اکوسیستم آبی است. اثرات سمی و اکسیداسیون فلزات سنگین به‌ترتیب با شکل و نوع فلز متفاوت است. کروم (Cr) به‌طور کلی در شش شکل اکسیداتیو (یک ظرفیتی تا شش ظرفیتی) وجود دارد که در میان آنها کروم شش ظرفیتی اثرات مخربی روی ماهیان دارد. ماهیان در سیستم‌های آبی آلوده به فلزات سنگین، تهدیدی جدی هستند چراکه این موجودات زنده فلزات سنگین را از طریق چندین بافت مهم (آبشش، کبد، کلیه، پوست و عضله) در بدن خود انباشت می‌کنند (Ali et al. 2019). در این شرایط استرس‌زا، ماهیان به انرژی بیشتری نیاز دارند، از اینرو، از مواد مغذی ذخیره شده از جمله پروتئین، چربی و کربوهیدرات‌ها برای سازگاری با شرایط نامساعد استفاده می‌کنند (Herrera et al. 2019).

برخی از فلزات (مانند کادمیوم، کروم، مس، آهن، جیوه، نیکل، سرب، روی) دارای پتانسیل ردوکس هستند و برای تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS: reactive oxygen species) که نقش مهمی در حفظ فیزیولوژی ماهی دارند، واکنش نشان می‌دهند (Tchounwou et al. 2012). گونه‌های اکسیژن فعال به‌عنوان یک شاخص استرس اکسیداتیو عمل می‌کنند که فعالیت سلول‌ها را از طریق تجزیه پروتئین، لیپیدها و دی.ان.اِ محدود می‌کنند. فلزات سنگین از طریق چرخه غذایی در موجودات آبزی مختلف تجمع می‌یابند. با مصرف ماهی‌های آلوده به فلزات

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

سنگین مشکلات جدی در رابطه با سلامت انسان ایجاد می‌شود (Afzal et al. 2023).

تجمع زیستی فلزات توسط ماهیان و توزیع متعاقب آنها در اندام‌های بدن در بین گونه‌های مختلف، متفاوت است. علاوه‌بر این، عوامل زیادی مانند جنس، سن، اندازه، چرخه تولیدمثل، الگوی شنا، رفتار تغذیه‌ای و موقعیت جغرافیایی می‌توانند بر جذب فلزات تأثیر بگذارند (Bawuro et al. 2018). در جدول ۱ حد مجاز برخی از فلزات سنگین در محیط‌های مختلف شامل آب شیرین و دریا به‌منظور سلامت ماهیان ارائه شده است (Mehana et al. 2020). بر اساس این جدول، حد مجاز سرب در آب شیرین و دریا برای سلامت ماهیان به‌ترتیب در بازه‌های ۱/۰۰-۰/۱۸ و ۰/۰۵-۰/۰۲ میکروگرم بر لیتر تعیین شده است. بر طبق این یافته‌ها، حد مجاز فلز سرب در آب شیرین بیشتر از دریا است، این در حالی است که حد مجاز جیوه در آب شیرین و آب دریا برابر با مقدار یکسانی (۰/۰۲ میکروگرم بر لیتر) بود. حد مجاز کادمیوم در آب شیرین و آب دریا برای سلامت ماهیان به‌ترتیب ۰/۰۵ و ۱/۰۰ میکروگرم بر لیتر تعیین شده است که بیانگر بالا بودن حد مجاز کادمیوم در آب دریا در مقایسه با آب شیرین است. با این حال، حد مجاز فلز کروم در آب شیرین و آب دریا همانند جیوه، مقدار یکسانی (۵ میکروگرم بر لیتر) به خود اختصاص داد. حد مجاز مس و نیکل در آب شیرین و آب دریا مقادیر یکسانی داشت که به‌ترتیب ۰/۱ و ۲ میکروگرم بر لیتر تعیین شد. مقایسه حد مجاز فلزات سنگین در محیط‌های آب شیرین و آب دریا نشان می‌دهد که جیوه و کروم به‌ترتیب کمترین و بیشترین مقدار مجاز غلظت فلزات سنگین در محیط‌های آبی را داشتند. این نتایج گواه این مطلب است که میزان اندکی از فلز جیوه می‌تواند سلامت ماهیان در آب شیرین و آب دریا را به‌مخاطره بیاندازد (Mehana et al. 2020; Radkhah et al. 2022).

جدول ۱- حد مجاز برخی از فلزات سنگین در محیط‌های آبی برای سلامت ماهیان (Mehana et al. 2020).

فلزات سنگین	آب شیرین (µg/L)	آب دریا (µg/L)	مراجع
سرب	۰/۱۸-۱/۰۰	۰/۰۲-۰/۰۵	(International Lead Association)
جیوه	۰/۰۲	۰/۰۲	(Anzecc. 2000)
کادمیوم	۰/۰۵	۱	(NWQMS. 2023)
کروم	۵	۵	(EPA. 2000)
مس	۰/۱	۲	(EPA. 2000)
نیکل	۰/۱	۲	(NSW. 2022)

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

تجمع زیستی فلزات سنگین در اندام های مختلف ماهی در جدول ۲ ارائه شده است. علاوه‌بر این، اثرات ناشی از سمیت فلزات سنگین در ماهیان در جدول ۳ نشان داده شده است.

۳-۱- آرسنیک (As)

آرسنیک یکی از سمی‌ترین فلزات سنگین است که پیکره‌های آبی را به‌واسطه فعالیت‌های مختلف طبیعی و انسانی آلوده می‌سازد. گزارش‌های علمی نشان داده است که آرسنیک غیرآلی سمی‌تر از اشکال آلی است (Tchounwou et al. 2012). این فلز سمی در اندام‌های مختلف ماهی با نرخ‌های مختلف انباشته می‌شود (جدول ۲). در مطالعه Wiszniewska و همکاران (۲۰۱۶) مشخص شد که بیشترین میزان آرسنیک در کبد ماهی تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*) انباشته شده است، در حالی‌که کمترین مقدار آن در عضله ماهی پس از ۲۰ روز تماس مشاهده شد. چندین مطالعه گزارش کردند که قرار گرفتن در معرض آرسنیک (As) اثرات منفی مختلفی روی ماهیان مانند کاهش رشد و تولیدمثل، تغییرات خونی-بیوشیمیایی، اختلالات هورمونی، ناهنجاری‌های هیستوپاتولوژیک، تأخیر در رشد جنین و لاروها و سایر بیماری‌ها ایجاد می‌کند (Malik et al. 2023; Radkhah. 2017, 2019). علاوه‌بر این، سمیت آرسنیک به‌طور قابل توجهی بر شاخص‌های خونی و ایمنی در چندین گونه از ماهیان تأثیر گذاشته است. غلظت بالای آرسنیک منجر به ترشح مخاط زیاد، شنای غیرطبیعی و از دست دادن تعادل در گونه‌های گورامی (*Anabas testudineus*) و گورخرماهی (*Danio rerio*) شد (Kumar and Banerjee, 2016). آرسنیک تشکیل آپوپتوز، میکرونوکلئوس و چندین ناهنجاری سلولی و هسته‌ای در گلبول‌های قرمز ماهی را تحریک کرد. همچنین، این فلز سمی چندین سمیت سلولی و سمیت ژنی را در ماهی مِداکا (*Oryzias latipes*) ایجاد کرد (Sayed et al. 2019). علاوه‌بر این، آلودگی آرسنیک فعالیت‌های تولیدمثلی ماهی‌ها را با مهار فرآیند گامتوژنز مختل کرد و در نتیجه بر کیفیت و کمیت اسپرم و تخمک و همچنین لقاح و موفقیت تفریخ (جدول ۳) تأثیر منفی گذاشت (Kumari et al. 2017; Taslima et al. 2022).

۳-۲- کادمیوم (Cd)

کادمیوم برای انسان و بسیاری از موجودات زنده از جمله ماهیان بسیار سمی و سرطان‌زا است. بر طبق گزارش حاصل از آژانس مواد سمی و بیماری‌های ایالات متحده، این فلز در رتبه هفتم خطرناک‌ترین مواد سمی قرار دارد (IARC. 2023). مطالعات متعدد گزارش کردند که بسیاری از اکوسیستم‌های آبی در نقاط مختلف جهان به‌طور قابل توجهی با کادمیوم آلوده شده‌اند، از اینرو، جذب و تجمع زیستی این فلز سمی در طیف وسیعی از گونه‌های آبزی رخ داده است

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

(جدول ۲) (Emon et al. 2023). سمیت کادمیوم منجر به اختلال در عملکرد چندین اندام مهم ماهی مانند کبد، کلیه و آبشش شده است که بر فیزیولوژی ماهی تأثیر می‌گذارد و رشد آنها را مختل می‌کند. علاوه‌بر این، کادمیوم با ایجاد اختلال در متابولیسم آهن و شرایط کم خونی، شاخص‌های خونی را تغییر می‌دهد (Radkhah et al. 2020). این فلز سمی باعث مهار آنزیم‌های آنتی اکسیدانی و ایجاد پراکسیداسیون لیپیدی در موجودات زنده می‌شود. علاوه‌بر این، سمیت کادمیوم با کوچک کردن لوبول‌های اسپرم، ایجاد فیبروز در بیضه و کاهش تحرک و بقای اسپرم بر عملکرد تولیدمثل ماهی تأثیر منفی می‌گذارد (Liu et al. 2022; Emon et al. 2023).

۳-۳-کروم (Cr)

چندین مطالعه تجمع زیستی کروم را در اندام‌های مختلف گونه‌های ماهی از قبیل کپور معمولی (*Cyprinus carpio*)، گلدفیش (*Carassius auratus*)، مریگال (*Cirrhinus mrigala*) و تیلاپیای آبی (*O. aureus*) گزارش کردند (جدول ۲). سمیت کروم عملکرد فیزیولوژیکی ماهی را مختل می‌کند و منجر به نارسایی آلرژیک در اندام می‌شود. علاوه‌بر این، سمیت کروم به طور قابل توجهی محتوای پروتئین، لیپید و گلیکوژن در عضله، کبد و آبشش ماهی روهو (*Labeo rohita*) و مریگال (*C. mrigala*) را تغییر می‌دهد و باعث استرس کبدی در ماهی گلدفیش (*Carassius auratus*) می‌شود. Shaukat و Javed (۲۰۱۳) اظهار داشتند که کروم عملکرد اندام‌های مهم (کبد و کلیه) در کپور علفخوار (*Ctenopharyngodon idella*) را مختل می‌کند و باعث عملکرد غیرطبیعی سیستم غدد درون‌ریز در چندین گونه ماهی آب شیرین شده است. Islam و همکاران (۲۰۲۰) نیز دریافتند که کروم شاخص‌های خونی ماهیان را تغییر می‌دهد و منجر به ناهنجاری‌های سلولی و هسته‌ای در گربه‌ماهی رنگین‌کمان (*Pangasianodon hypophthalmus*) می‌شود. چندین مطالعه گزارش کردند که سطوح بالای کروم در رژیم غذایی ماهی به‌طور قابل توجهی رشد و مصرف خوراک گونه‌های مختلف ماهی را کاهش می‌دهد (Emon et al. 2023). علاوه‌بر این، تماس ماهیان با کروم موجب کاهش موفقیت تخم‌ریزی، تغییر شکل بیضه، کاهش تحرک اسپرم و ممانعت از تشکیل تخمک می‌شود که در نهایت به پیچیدگی در تولیدمثل ماهی می‌انجامد.

۳-۴- مس (Cu)

مس یکی از آلاینده‌های اصلی در سیستم‌های آبی است که منجر به شرایط استرس‌زا برای موجودات آبزی می‌شود و به‌طور قابل توجهی رشد و فیزیولوژی ماهیان را مختل می‌کند (Paul. 2017). تجمع زیستی مس در اندام‌های مختلف

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

گونه‌های ماهی در جدول ۲ نشان داده شده است. مطالعات متعدد نشان داد که کبد محل اصلی تجمع مس در مقایسه با سایر اندام‌ها است (Subathra and Karuppasamy, 2008). مس اضافی در جیره غذایی، اشتهای ماهی را کاهش می‌دهد و در نتیجه بر مصرف خوراک و رشد ماهی تأثیرات منفی برجای می‌گذارد. علاوه‌بر این، مسمومیت مس نه تنها منجر به تغییر شکل اندام‌های تولیدمثلی می‌شود، بلکه میزان باروری، لقاح و تفریخ را در چندین گونه از ماهیان کاهش می‌دهد (Alsop et al. 2007).

۳-۵- منگنز (Mn)

منگنز به‌طور معمول در طیف وسیعی از محیط‌ها یافت می‌شود. این فلز سنگین از طریق فعالیت‌های مختلف انسانی در آب حل می‌شود. عوامل متعددی از جمله گونه ماهی، سن و کیفیت آب می‌توانند سمیت منگنز را در بدن ماهی تغییر دهند. پژوهش‌های مختلف نشان داده است که سمیت منگنز با افزایش سختی آب کاهش می‌یابد (Mustafa et al. 2024).

Partridge و Lymbery (۲۰۰۹) اظهار داشتند که تجمع زیستی منگنز در کبد، آبشش‌ها و عضله های میش ماهی ژاپنی (*Argyrosomus japonica*) فرآیند متابولیک کربوهیدرات‌ها را مختل کرد و مشخصات یونی پلاسمای خون را تغییر داد. منگنز بر فیزیولوژی ماهی تأثیر می‌گذارد و گاهی اوقات اثرات کشنده از خود نشان می‌دهد. Vieira و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند که قرار گرفتن در معرض منگنز منجر به استرس اکسیداتیو در ماهی گلدفیش (*C. auratus*) می‌شود. Wang و همکاران (۲۰۲۲) نیز دریافتند که منگنز با القای تشکیل رادیکال‌های آزاد و غیرفعال شدن چندین آنزیم مرتبط با ظرفیت آنتی اکسیدانی منجر به بسیاری از اختلالات عصبی-ژنتیکی می‌شود. علاوه‌بر این، منگنز به کبد آسیب می‌رساند و باعث آپوپتوز سلولی در ماهی هامور (*Epinephelus lanceolatus*) می‌شود (Wang et al. 2022).

۳-۶- نیکل (Ni)

نیکل و ترکیبات نیکل به‌طور گسترده کاربردهای صنعتی و تجاری زیادی دارند، از اینرو، به‌عنوان یک آلاینده غالب در سیستم‌های آبی مورد توجه قرار گرفته‌اند. اساساً، نیکل در اکوسیستم‌های آبی با سایر ترکیبات شیمیایی ترکیب می‌شود و نمک‌های محلول را تشکیل می‌دهد که توانایی جذب مواد دیگر را دارند و چندین اثر هم‌افزایی ایجاد می‌کنند (Genchi et al. 2020a, 2020b). شدت سمیت نیکل به عوامل مختلفی مانند غلظت نیکل، کیفیت آب و وضعیت فیزیولوژیکی موجودات بستگی دارد (Radkhah et al. 2022). چندین مطالعه نشان داد که نیکل در اندام‌های مختلف ماهی، به‌ویژه در آبشش‌ها انباشته می‌شود

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

و منجر به پیچیدگی در عملکردهای تنفسی می‌شود. علاوه‌بر این، نیکل در روده ماهیان انباشته شده و عملکرد روده را مختل می‌کند. بر طبق پژوهش‌های انجام شده، نیکل فیزیولوژی طبیعی بدن ماهیان را تغییر می‌دهد و باعث مرگ چندین گونه ماهی آب شیرین شده است (Pane et al. 2003; Blewett et al. 2016). آلودگی نیکل باعث ایجاد تغییرات شکلی در آبشش‌ها می‌شود که از جمله آنها می‌توان به هیپرپلازی، هیپرتروفی و هم جوشی تیغه‌های آبشش در ماهی تیلاپیای نیل (*O. niloticus*) اشاره کرد (Al-Attar. 2007). علاوه‌بر این، سمیت نیکل فرآیند تنظیم یون در بدن ماهی را مختل می‌کند و باعث ایجاد استرس اکسیداتیو می‌شود (Blewett and Leonard, 2007).

۳-۷- سرب (Pb)

سرب یک عنصر بسیار خطرناک است که از طریق آب و تغذیه در موجودات آبزی انباشته می‌شود. این فلز سنگین در اندام‌های مختلف ماهی از جمله کبد، کلیه، آبشش، طحال و حتی دستگاه گوارش تجمع می‌یابد (Radkhah et al. 2022). سرب به‌طور قابل توجهی پارامترهای خون ماهی را تغییر می‌دهد. علاوه‌بر این، سمیت سرب منجر به تغییرات قابل توجه در فعالیت‌های آنزیمی درون پلاسمای خون و کبد ماهی می‌شود که باعث آسیب‌های متعدد در غشای سلولی و سلول کبد می‌شود (Olojo et al. 2012). فلز سرب با کاهش وزن، نرخ رشد ویژه و مصرف خوراک بر رشد ماهی تأثیر منفی می‌گذارد (جدول ۳). علاوه‌بر این، این فلز سنگین منجر به عملکرد تولیدمثلی ضعیف مانند اسپرم و تخمک با کیفیت پایین، کاهش نرخ لقاح و تفریخ، بقای پایین جنین و لارو می‌شود (Emon et al. 2023).

۳-۸- روی (Zn)

روی (Zn) یک ریز مغذی ضروری است که نقش مهمی در رشد و تولیدمثل ماهیان ایفا می‌کند. با این حال، مقدار اضافی این فلز تاثیرات خطرناکی روی ماهیان دارد. در بسیاری از پژوهش‌ها، آلودگی اکوسیستم‌های آبی با فلز روی به اثبات رسیده است. در این پژوهش‌ها، کبد و کلیه به‌عنوان بافت‌های اصلی تجمع زیستی روی (Zn) در بدن ماهیان ذکر شده‌اند (Abdel-Tawwab et al. 2016). سمیت روی بر رشد، تولیدمثل، هموستازی، مصرف خوراک و تشکیل استخوان ماهی تأثیر منفی می‌گذارد. سمیت روی باعث دفع آمونیاک توسط ماهی می‌شود که منجر به کیفیت پایین آب و شرایط استرس‌زا برای ماهی می‌شود. علاوه‌بر این، سمیت روی (Zn) با افزایش فعالیت آنزیم‌های آلانین آمینوترانسفراز (ALT: alanine aminotransferase) و آسپارتات ترانس‌آمیناز (AST: aspartate transferase) به کبد ماهی آسیب می‌رساند (Wei et al. 2021).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

همچنین، سطوح بالای روی (Zn) می‌تواند گونه‌های اکسیژن فعال زیادی (ROS) را در ماهی تولید کند (Zheng et al. 2011). این امر منجر به استرس اکسیداتیو و آسیب مولکول‌های بیولوژیکی و در نتیجه اُکسیداسیون لیپیدها و پروتئین‌ها می‌شود (Yu et al. 2021).

جدول ۲- تجمع زیستی فلزات سنگین در بافت‌های مختلف ماهیان (Emon et al. 2023)

گونه‌ها	فلز (غلظت)	زمان تماس (روزها)	اندام‌ها	میزان تجمع زیستی
Oreochromis niloticus	آرسنیک (۸۰۶/۵ و ۷۷۲ میکروگرم بر گرم از جیره غذایی ماهی)	۲۰	آبشش کبد عضله	۴/۹۴ میکروگرم بر گرم ۱۰/۰۵ میکروگرم بر گرم ۳/۷۴ میکروگرم بر گرم
Oreochromis niloticus	کادمیوم (۰، ۰/۱ و ۱/۰ میلی‌گرم بر لیتر از آب مخزن پرورش ماهی)	۳۰	آبشش کبد عضله	۲۷/۳۰ میکروگرم بر گرم ۱۹۴/۷۰ میکروگرم بر گرم ۲/۲۶ میکروگرم بر گرم
Cyprinus carpio	کادمیوم (۵ میلی‌گرم بر لیتر از آب مخزن پرورش ماهی)	۳۲	آبشش کبد عضله	۶/۵۸ میکروگرم بر گرم ۵/۲۳ میکروگرم بر گرم ۴/۸۰ میکروگرم بر گرم
Cyprinus carpio	کروم (۳/۴۱ میلی‌گرم بر لیتر از آب مخزن پرورش ماهی)	۴	آبشش روده عضله پوست استخوان	۰/۷۲ میکروگرم بر گرم ۰/۵۵ میکروگرم بر گرم ۰/۴۲ میکروگرم بر گرم ۰/۳۲ میکروگرم بر گرم ۰/۶۰ میکروگرم بر گرم
Carassius auratus	کروم (۴ میلی‌گرم بر لیتر از آب مخزن پرورش ماهی)	۱	آبشش روده پوست	۵/۴۳ میکروگرم بر گرم ۳/۹۰ میکروگرم بر گرم ۳/۲۱ میکروگرم بر گرم
Oreochromis sp.	مس (۱، ۰/۵۰، ۱/۰، ۳/۰ و ۵/۰ میلی‌گرم بر لیتر از آب مخزن پرورش ماهی)	۴	آبشش کبد عضله	۲۵/۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم ۷۸/۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ۲/۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم
Oreochromis sp.	روی (۱، ۰/۵۰، ۱/۰، ۳/۰ و ۵/۰ میلی‌گرم بر لیتر از آب مخزن پرورش ماهی)	۴	آبشش کبد عضله	۷۳/۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ۲۶۳/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم ۲۲/۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم
Channa punctatus	روی (۳/۶۲ و ۱۳/۲۴ میلی‌گرم بر لیتر از آب مخزن پرورش ماهی)	۴۵	عضله	۵/۱۲ میکروگرم بر گرم
Oncorhynchus mykiss	سرب (۷/۷۷ و ۵۲۰ میکروگرم بر گرم از جیره غذایی ماهی)	۲۱	آبشش روده کبد کلیه لاشه	۸ میکروگرم بر گرم ۱۷/۸ میکروگرم بر گرم ۱/۹ میکروگرم بر گرم ۲/۴ میکروگرم بر گرم

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

Cyprinus carpio	سرب (۵ میلی‌گرم بر لیتر از آب مخزن پرورش ماهی)	۳۲	آبشش کبد کلیه	۴/۵۰ میکروگرم بر گرم ۷/۳۳ میکروگرم بر گرم ۶/۳۳ میکروگرم بر گرم
Cyprinus carpio	منگنز (۰، ۱/۱۲ و ۳/۴۱ میلی‌گرم بر لیتر از آب مخزن پرورش ماهی)	۴	آبشش روده عضله پوست استخوان	۰/۴۶ میکروگرم بر گرم ۰/۴۴ میکروگرم بر گرم ۰/۱۰ میکروگرم بر گرم ۰/۰۷ میکروگرم بر گرم ۰/۰۵ میکروگرم بر گرم
Cyprinus carpio	نیکل (۵ میلی‌گرم بر لیتر از آب مخزن پرورش ماهی)	۳۲	آبشش کبد کلیه	۳/۵۵ میکروگرم بر گرم ۴/۴۲ میکروگرم بر گرم ۰/۹۰ میکروگرم بر گرم
Siganus fuscescens	آرسنیک (۴۰۰ و ۱۵۰۰ میکروگرم بر گرم از جیره غذایی ماهی)	۲۱	کبد عضله	۷۷/۳۰ درصد ۸۷/۲۲ درصد
Mystus vittatus	مس (۰ و ۵/۹۸ میلی‌گرم بر لیتر از آب مخزن پرورش ماهی)	۲۸	آبشش کبد کلیه عضله	۴۰/۷۶ میکروگرم بر گرم ۴۰/۶۴ میکروگرم بر گرم ۳۱/۳۸ میکروگرم بر گرم ۰/۶۰ میکروگرم بر گرم

جدول ۳- سمیت فلزات سنگین در گونه‌های مختلف ماهی (Emon et al. 2023)

گونه‌ها	نوع فلز سنگین/ اندام، بافت یا شاخص مورد مطالعه: سمیت
Clarias batrachus	آرسنیک/ شاخص‌های خونی: سطح پروتئین سُرم به‌طور قابل توجهی کاهش یافت
Tilapia mossambica	آرسنیک/ شاخص‌های خونی-بیوشیمیایی: سطح گلبول‌های سفید و میانگین غلظت هموگلوبین گلبول‌های قرمز افزایش یافت در حالی‌که سطح گلبول‌های قرمز خون و هموگلوبین به‌طور قابل توجهی کاهش یافت.
Oreochromis mossambicus	آرسنیک/ آبشش: لاملاهای به‌هم پیوسته، مشاهده هیپرپلازی و نکروز در سلول‌های اپیتلیال آرسنیک/ کبد: سلول‌های کبدی کوچک و متراکم شده، هیپرتروفی و واکوئلاسیون (Vacuolation) سلول‌های کبد
Danio rerio	آرسنیک/ تولید مثل: تعداد تخم‌ها و میزان تخم‌ریزی و تفریخ به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت.
Chanos chanos	سرب/ رشد با افزایش غلظت سرب به‌طور قابل توجهی کاهش یافت.
Cyprinus carpio	سرب/ آبشش: تیغه‌های ثانویه تحلیل رفته و اپیتلیوم تغییر شکل یافت.
Carassius gibelio	سرب/ عملکرد تولیدمثلی ضعیف
Labeo rohita	سرب/ هماتو-بیوشیمیایی: سطح گلبول‌های قرمز کاهش یافت در حالی‌که میزان گلبول‌های سفید افزایش یافت.
Oryzias melastigma	مس/ ساختارهای اسکلتی نامناسب، ناهنجاری در سیستم عروقی
Cyprinus carpio	مس/ شاخص‌های رشد و مصرف غذا به‌طور قابل توجهی کاهش یافت
Channa gachua	مس/ کبد: واکوئل در سیتوپلاسم و استروما، هسته‌های تحلیل رفته
Anabas testudineus	کروم/ آبشش: لاملاهای آبشش در هم‌تنیده شده و خونریزی در ناحیه آبشش مشاهده شد. کروم/ کلیه؛ اِدم (تجمع مقادیر غیرطبیعی از مایعات در فضای بین سلولی)، خونریزی بینابینی و دژنره شدن (تحلیل رفتن) لوله های کلیوی
Channa punctatus	کروم/ شاخص‌های خونی-بیوشیمیایی: سطح آلبومین و تری‌گلیسرید در سرم خون کاهش یافت.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

Oryzias latipes	کروم/ تولیدمثل: میزان باروری و تفریخ به‌طور قابل توجهی کاهش یافت. فراوانی تخمک‌های نابالغ و اسپرم در غدد جنسی افزایش یافت.
Catla catla	آرسنیک/ آبشش: آتروفی، تلانژکتازی (Telangiectasia) و نکروز آرسنیک/ کبد: هپاتوسیت‌های تحلیل رفته، احتقان و خونریزی در ناحیه کبد آرسنیک/ کلیه: آتروفی گلومرول کلیه، لوله‌های کلیوی دژنره شده (تحلیل رفته)
Mystus seenghala	آرسنیک/ رشد ضعیف
Pelteobagrus fulvidraco	آرسنیک/ وزن ماهی و نرخ رشد ویژه آن به‌طور قابل توجهی کاهش یافت.

۴- تاثیر فلزات سنگین بر سلامت انسان

اگرچه فلزات سنگین به‌طور عمده از منابع مصنوعی و طبیعی حاصل می‌شوند، اما با این حال، روش‌های مختلفی وجود دارد که این مواد از طریق آن‌ها به زنجیره غذایی منتقل می‌شوند (Gall et al. 2015).

گیاهان برای این فرآیند انتقال ضروری هستند زیرا از مکانیسم‌های خاصی برای جذب فلزات سنگین از درون محیط خاک استفاده می‌کنند (Angon et al. 2024). گیاهانی که قادر به تجمع زیستی فلزات سنگین در پیکره خود هستند، می‌توانند تغییراتی را در فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تجربه کنند که به توانایی آنها برای رشد و نمو آسیب می‌رساند. علاوه‌بر این، گیاهانی که در خاک های آلوده به فلزات سنگین رشد می کنند، ممکن است به دلیل تأثیر فلزات سنگین بر تغذیه گیاه دچار کمبود مواد مغذی شوند (Rashid et al. 2023).

از آنجایی‌که فلزات سنگین قادر به تجمع در مواد غذایی مانند گیاهان و جانوران هستند، این آلودگی خطرات عمده‌ای در رابطه با سلامتی انسان به دنبال خواهد شد (Ray and Vashishth, 2024). ماهیان از جمله منابع غذایی هستند که به‌واسطه انباشت فلزات سنگین در پیکره خود امکان انتقال این مواد سمی را به بدن انسان فراهم می‌کنند (Radkhah et al. 2022).

مسمومیت با فلزات سنگین می‌تواند اثرات زیانباری بر سلامتِ انسان داشته باشد. فلزات سنگین می‌توانند به عملکرد اندام‌هایی مانند مغز، کلیه، ریه‌ها، کبد و خون آسیب برسانند. سمیت فلزات سنگین می‌تواند اثرات حاد یا مزمن داشته باشد. مواجهه طولانی‌مدت بدن با فلزات سنگین می‌تواند به‌تدریج منجر به فرآیندهای دژنراتیو عضلانی، جسمی و عصبی شود که شبیه بیماری هایی مانند بیماری پارکینسون، مولتیپل اسکلروزیس (multiple sclerosis)، دیستروفی عضلانی و بیماری آلزایمر است. همچنین، پژوهشگران بیان داشتند که مواجهه طولانی‌مدت با برخی از فلزات سنگین ممکن است باعث ابتلا به سرطان شود (Carver and Gallicchio, 2018).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

تاکنون گزارش‌های مختلفی پیرامون اثرات ناشی از مصرف انواع فلزات سنگین در بدن انسان ثبت شده است که در اینجا به برخی از آنها اشاره می‌شود.

۴-۱- آرسنیک (As)

آرسنیک یک سم پروتوپلاستیک است، زیرا در درجه اول بر گروه سولفیدریل سلول‌ها تأثیر می‌گذارد که باعث اختلال در عملکرد تنفس سلولی، آنزیم‌های سلولی و میتوز می‌شود (Ali et al. 2022; Kuivenhoven and Mason, 2022). سطوح پایین مواجهه در معرض آرسنیک می‌تواند باعث تهوع و استفراغ، کاهش تولید گلبول‌های قرمز و لکوسیت‌ها، ضربان غیرطبیعی قلب، احساس سوزش در دست‌ها و پاها و آسیب به رگ‌های خونی شود (Obasi and Akudinobi, 2020). مواجهه طولانی‌مدت با این فلز می‌تواند منجر به ایجاد ضایعات پوستی، سرطان‌های داخلی، مشکلات عصبی، بیماری‌های ریوی، فشار خون بالا و بیماری‌های قلبی- عروقی و دیابت شود. آرسنیکوز مزمن منجر به تغییرات غیرقابل برگشت بسیاری در اندام‌های حیاتی می‌شود و میزان مرگ و میر را افزایش می‌دهد (Dastgiri et al. 2010; Majumdar et al. 2014).

اکثر پژوهشگران بر این عقیده‌اند که در حال حاضر، حد قابل تحمل آرسنیک در آب آشامیدنی یا غذا کاهش یافته است (Radkhah et al. 2022). بر اساس استاندارد سازمان جهانی بهداشت (WHO) و سازمان فائو (FAO) که حداکثر مقدار مجاز فلزات سنگین در ماهیان را گزارش کرده است، حداکثر مقدار مجاز آرسنیک در بدن ماهیان ۱/۴ ppm به‌ازای یک کیلوگرم از وزن تَر بدن است (WHO, 2004; FAO/WHO, 2016).

۴-۲- کادمیوم (Cd)

یکی از اثرات مهم قرار گرفتن در معرض کادمیوم، پوکی استخوان (آسیب اسکلتی) همراه با اختلال در متابولیسم کلسیم، تشکیل سنگ‌های کلیوی و هیپرکلسیوری است. استنشاق سطوح بالاتر کادمیوم می‌تواند باعث آسیب شدید به ریه‌ها شود (Kazantzis. 2004). اگر کادمیوم در مقادیر بالاتر مصرف شود، می‌تواند منجر به تحریک معده و استفراغ و اسهال شود. این فلز در زمان تماس طولانی‌مدت در غلظت‌های پایین‌تر می‌تواند در کلیه رسوب کند و در نهایت منجر به بیماری‌های کلیوی و آسیب ریه شود (Bernard. 2008). کادمیوم و ترکیبات آن در مقایسه با سایر فلزات، بسیار محلول در آب هستند. فراهمیِ زیستی (bioavailability) کادمیوم بسیار بالا است و از اینرو، تمایل به تجمع زیستی در بدن آبزیان و انسان دارد (Kubier et al. 2019). مواجهه طولانی‌مدت با این فلز سنگین می‌تواند منجر به تغییرات مورفوپاتولوژیک در کلیه‌ها شود.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

انسان از طریق غذا و برخی مسیرهای دیگر در معرض کادمیوم قرار می‌گیرد (Richter et al. 2017). با این حال جذب کادمیوم از طریق مسیرهای دیگر بسیار کمتر صورت می‌گیرد. پژوهش‌های مختلف نشان داده است که ۵۰ درصد کادمیوم در ریه‌ها و کمترین مقدار آن، در دستگاه گوارش جذب می‌شود (Rahimzadeh et al. 2017; Genchi et al. 2020b). تولد زودرس و کاهش وزن در هنگام تولد مشکلاتی هستند که در صورت تماس با کادمیوم در دوران بارداریِ انسان، به‌وجود می‌آیند (Genchi et al. 2020b). همچنین، کارشناسان بیان کردند که کادمیوم می‌تواند باعث تحلیل رفتن بیضه و عامل خطر بالقوه برای سرطان پروستات باشد (Chen et al. 2012). بر اساس استانداردهای بین‌المللی شامل WHO و FAO، حداکثر مقدار مجاز برای فلز کادمیوم در بدن ماهیان ppm ۰/۰۵ به‌ازای یک کیلوگرم از وزن تَر بدن است (FAO/WHO, 2016). اگر چنانچه مقدار کادمیوم در بدن ماهی بیشتر از مقدار ذکر شده باشد، در صورت مصرف ماهی توسط انسان و انتقال این فلز سنگین به بدن انسان، تاثیرات جدی در رابطه با سلامت انسان ایجاد می‌شود که پیش از این توضیح داده شد.

۴-۳- آهن (Fe)

جذب بیش از حد آهن یک مشکل جدی در کشورهای توسعه یافته و گوشت خوار است و خطر ابتلا به سرطان را افزایش می دهد. کارگرانی که به شدت در معرض آزبست حاوی تقریباً ۳۰ درصد آهن هستند، در معرض خطر بالای آزبستوز هستند که دومین عامل مهم سرطان ریه است (Bhandari et al. 2022). اغلب پژوهشگران بر این باور هستند که سرطان مرتبط با آزبست با رادیکال‌های آزاد مرتبط است. آهن داخل سلولی نیز می‌تواند باعث آسیب دی.ان.اِ شود. آهن می‌تواند سرطان را به‌طور عمده با فرآیند اکسیداسیون مولکول‌های دی.ان.اِ آغاز کند (Torti and Torti, 2020). تشکیل رادیکال‌های آزاد نتیجه مسمومیت با آهن است (Yuen and Becker, 2023). در طی فعالیت‌های سلولی و پاتولوژیک، محصولات جانبی مانند سوپراکسید و پراکسید هیدروژن تشکیل می‌شود که رادیکال‌های آزاد در نظر گرفته می‌شوند (Phaniendra et al. 2015). این رادیکال‌های آزاد می‌توانند خطرناک باشند (Lipinski. 2011)، چراکه می‌توانند آنزیم‌های خاصی را غیرفعال کنند، پراکسیداسیون لیپیدی را آغاز کنند، پلی‌ساکاریدها را پلیمریزه کنند و باعث شکستن رشته‌های دی.ان.اِ شوند. این امر گاهی اوقات می‌تواند منجر به مرگ سلولی شود (Lobo et al. 2010). پژوهشگران در مورد این موضوع اظهار داشتند که آهن، رادیکال‌های آزاد تولید می‌کند که مسئول سرطان‌های مرتبط با آزبست است. رادیکال‌های آزاد ناشی از آهن می‌توانند

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

به‌واسطه فرآیند اکسیداسیون باعث آسیب دی.ان.اِ و آغاز روند بیماری سرطان شوند (Engwa et al. 2019). بر طبق استانداردهای بین‌المللی سازمان جهانی بهداشت (WHO) و فائو (FAO)، سطح مجاز و توصیه شده آهن در بخش خوراکی ماهیان ppm ۱۰۰ به‌ازای یک کیلوگرم از وزن تَر بدن تعیین شده است (FAO/WHO, 2016). اگر چنانچه مقدار آهن در بافت خوراکی ماهیان به فراتر از حد مجاز برسد، مشکلات و معضلات عدیده‌ای در ارتباط با سلامت افراد جامعه ایجاد خواهد شد.

۴-۴- کروم (Cr)

مواجهه با ترکیبات کروم می‌تواند منجر به تشکیل زخمی شود که برای ماه‌ها باقی می‌ماند و به کندی بهبود می‌یابد. زخم در تیغه بینی در مورد کارگرانی که در معرض کرومات قرار می‌گیرند، بسیار شایع است (Wilbur et al. 2012). مواجهه در معرض مقادیر بسیاری از ترکیبات کروم در انسان می‌تواند منجر به مهار گلوتاتیون ردوکتاز گلبول قرمز شود که به نوبه خود ظرفیت کاهش مت‌هموگلوبین به هموگلوبین را کاهش می‌دهد (Ray. 2016). نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌های مختلف نشان داده‌اند که ترکیبات کرومات می‌توانند به روش‌های مختلف منجر به آسیب دی.ان.اِ، ناهنجاری‌های کروموزومی، تبادل کروماتید خواهر، تغییر در همانندسازی و رونویسی دی.ان.اِ شوند (Engwa et al. 2019). در حال حاضر شواهد قابل توجهی از اثرات کروم بر افزایش نرخ سرطان در انسان وجود دارد. در تحقیقات مختلف، افزایش تومورهای معده در افراد و جانورانی که از آب آشامیدنی آلوده به کروم (VI) استفاده می‌کنند، مشاهده شده است (Ahmed et al. 2016). این نتایج بیانگر این است که مصرف مواد غذایی مانند ماهیانی که مدت زیادی در معرض آلودگی کروم قرار داشتند، می‌تواند امکان ابتلای افراد مصرف‌کننده به بیماری سرطان را افزایش دهد. شایان ذکر است که حداکثر مقدار مجاز فلز کروم در بدن ماهیان بر طبق استانداردهای بین‌المللی سازمان جهانی بهداشت (WHO) و فائو (FAO) برابر با ppm ۱ به‌ازای یک کیلوگرم از وزن تَر بدن است (FAO/WHO, 2016).

۴-۵- سرب (Pb)

مسمومیت با سرب می‌تواند حاد یا مزمن باشد. اثرات حاد این فلز می‌تواند باعث کاهش اشتها، سردرد، فشار خون بالا، درد شکم، اختلال عملکرد کلیه، خستگی، بی‌خوابی، آرتریت، توهم و سرگیجه شود. مواجهه حاد به‌طور عمده در محل کار و در برخی از صنایع تولیدی که از سرب استفاده می‌کنند، رخ می‌دهد (Bhasin et al. 2023). مواجهه مزمن در معرض سرب می‌تواند منجر به عقب‌ماندگی ذهنی، نقایص مادرزادی،

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

روان پریشی، اوتیسم، آلرژی، نارساخوانی، کاهش وزن، بیش فعالی، فلج، ضعف عضلانی، آسیب مغزی، آسیب کلیوی و حتی مرگ شود (Obasi and Akudinobi, 2020). اگرچه مسمومیت با سرب قابل پیشگیری است، اما همچنان یک بیماری خطرناک است که می‌تواند بیشتر اندام‌ها را تحت تاثیر قرار دهد. هنگامی‌که سد خونی مغز در معرض سطوح بالای غلظت سرب قرار می‌گیرد (Radkhah et al. 2021, 2022)، غشای پلاسمایی به‌سمت فضاهای بینابینی مغز حرکت می‌کند و در نتیجه، وضعیتی به نام اِدم ایجاد می‌شود (Wani et al. 2015). این امر سیستم‌های پیام‌رسان درون سلولی را مختل می‌کند و عملکرد سیستم عصبی مرکزی را تغییر می‌دهد. Jyothi (۲۰۲۰) اظهار داشت فلز سرب اثرات گسترده‌ای روی سیستم عصبی مرکزی ایجاد می‌کند که منجر به سرطان مغز و ریه می‌شود.

بر اساس استانداردهای سازمان جهانی بهداشت (WHO) و فائو (FAO)، حداکثر مقدار مجاز فلز سرب در ماهیان ppm ۰/۵ به‌ازای یک کیلوگرم از وزن تَر بدن است. البته، با توجه به پیامدهای مصرف سرب، حداکثر میزان سرب در ماهیان ۰/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تَر بدن تعیین شده است (WHO. 2004; FAO/WHO, 2016). اگر مقدار سرب در بافت خوراکی ماهیان افزایش یابد، می‌تواند مشکلات و معضلات زیادی را در بخش‌های مختلف مرتبط با بهداشت و سلامت جامعه ایجاد کند.

۴-۶- جیوه (Hg)

قرار گرفتن در معرض سطوح بالای جیوه، آلی و معدنی می‌تواند به مغز، کلیه‌ها و جنین در حال رشد آسیب برساند (Park and Zheng, 2012). جیوه در بیشتر غذاها و نوشیدنی‌ها، در محدوده کمتر از ۱ تا ۵۰ میکروگرم بر کیلوگرم وجود دارد و در غذاهای دریایی، اغلب در سطوح بالاتر مشاهده می‌شود (IARC, 2012, 2023). گزارش‌ها نشان داده‌اند که جیوه به‌طور عمده از طریق مصرف ماهی‌های دریایی، آب‌های شیرین و ستاره‌های دریایی جذب می‌شود (Moriarity et al. 2020). جیوه آلی می‌تواند به راحتی در سراسر غشاهای زیستی نفوذ کند و از آنجایی‌که این فلز ماهیتی چربی‌دوست دارد، جیوه در غلظت‌های بالا در کبد ماهیان تجمع می‌یابد (Azevedo et al. 2012). این فلز سمی می‌تواند با افزایش سن ماهی و همچنین، با افزایش سطوح تغذیه‌ای، انباشته شود. افزایش تماس با جیوه می‌تواند عملکرد مغز را تغییر دهد و منجر به لرزش، مشکلات حافظه، تحریک‌پذیری و تغییر در حس‌های بینایی یا شنوایی شود (Al-Sulaiti et al. 2022). مواجهه با بخارات جیوه در سطوح بالاتر برای دوره‌های زمانی کوتاه‌تر می‌تواند منجر به

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

آسیب ریه، استفراغ، اسهال، حالت تهوع، بثورات پوستی، افزایش ضربان قلب یا فشار خون شود. علائم مسمومیت با جیوه آلی شامل افسردگی، مشکلات حافظه، لرزش، خستگی، سردرد و ریزش مو است (Jaishankar et al. 2014; Zaynab et al. 2022).

در پژوهش‌های اخیر که روی زنان باردار در معرض جیوه از طریق رژیم غذایی گوشت ماهی انجام شد، علائمی از جمله اختلال در عملکرد نورون‌های حرکتی و همچنین، از دست دادن حافظه و اختلال گفتاری در فرزندان مشاهده شد (WHO. 2023). با توجه به اثرات منفی جیوه بر سلامت انسان، کارشناسان حداکثر غلظت مجاز این فلز در بدن ماهی برای مصارف انسانی را در بین محدوده ۰/۵ تا ۱ میکروگرم بر گرم بر حسب وزن تَر بدن تعیین کردند (Lacerda et al. 2000). میکروارگانیسم‌ها جیوه موجود در خاک و آب را به متیل جیوه (MeHg) تبدیل می‌کنند (Al-Sulaiti et al. 2022). پژوهشگران حداکثر میزان مجاز متیل جیوه در محصولات شیلاتی و گوشت ماهی را ۰/۵ میکروگرم بر گرم وزن بدن عنوان کردند، البته در مورد ماهیان شکارچی، حداکثر مقدار مجاز این ماده سمی یک میکروگرم بر گرم وزن بدن تعیین شد (WHO. 2004; FAO/WHO, 2016). در صورتی‌که مقدار جیوه در بافت خوراکی ماهیان به فراتر از حد مجاز برسد، مشکلات جدی در ارتباط با سلامت افراد جامعه ایجاد خواهد شد.

نتیجه‌گیری و چشم‌انداز آتی

پژوهش حاضر با هدف مطالعه اثرات ناشی از تجمع زیستی فلزات سنگین در ماهیان و همچنین انتقال این مواد به بدن انسان که به‌واسطه مصرف طولانی‌مدت انسان از محصولات شیلاتی آلوده حادث می‌شود، انجام گرفت. بررسی منابع فلزات سنگین نشان داد که فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی سهم عمده‌ای در حضور کادمیوم، نیکل، سرب، روی، آرسنیک و جیوه در محیط دارند. با ورود مستمر این مواد سمی به اکوسیستم‌های آبی، امکان تجمع زیستی فلزات سنگین در بدن آبزیان مختلف به‌ویژه ماهیان فراهم می‌شود. تجمع زیستی فلزات توسط ماهیان و توزیع متعاقب آنها در اندام‌های بدن در بین گونه‌های مختلف، متفاوت است. عوامل متعددی از قبیل جنس، سن، اندازه، چرخه تولیدمثل، الگوی شنا، رفتار تغذیه‌ای و موقعیت جغرافیایی می‌توانند بر جذب فلزات سنگین و تجمع آنها در بدن ماهیان تأثیر بگذارند.

مرور مستندات علمی مختلف نشان داد که بیشتر فلزات سنگین در سطح بسیار کم برای بدن سمی هستند، اما با این حال، در میان فلزات مختلف، جیوه، سرب و کادمیوم دارای درجه سمیت بالاتری هستند. بنابراین، افزایش غلظت

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

این فلزات در بافت ماهیان به بیش‌تر از حد مجاز با مخاطرات زیادی همراه است. مکانیسم اصلی سمیت فلزات سنگین شامل تولید رادیکال‌های آزاد برای ایجاد استرس اکسیداتیو، آسیب به مولکول‌های زیستی مانند آنزیم‌ها، پروتئین‌ها، لیپیدها، اسیدهای نوکلئیک و آسیب دی.ان.اِ است که کلید سرطان و همچنین، مسمومیت عصبی است. سمیت فلزات سنگین می‌تواند حاد یا مزمن باشد. بنابراین، مواجهه طولانی‌مدت در معرض این مواد سمی می‌تواند منجر به آسیب‌های بافتی در بدن مانند مغز، ریه‌ها، کبد و کلیه شود. در پژوهش حاضر، سمیت بالای برخی از فلزات سنگین مانند جیوه، سرب و کادمیوم در ماهیان مشخص شد. بنابراین، اگر چنانچه مقدار مجاز این فلزات در بافت خوراکی ماهیان افزایش یابد، می‌تواند مشکلات و معضلات زیادی در بخش‌های مرتبط با بهداشت و سلامت جامعه ایجاد کند.

فهرست منابع

References

Abdel-Tawwab M, El-Sayed GO, Shady SH. 2016. Growth, biochemical variables, and zinc bioaccumulation in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) as affected by water-born zinc toxicity and exposure period. International Aquatic Research. 8: 197-206.

Afzal A and Mahreen N. 2024. Emerging insights into the impacts of heavy metals exposure on health, reproductive and productive performance of livestock. Frontiers in Pharmacology. 15:1375137.

Afzal S, Abdul Manap AS, Attiq A, Albokhadaim I, Kandeel M, Alhojaily SM. 2023. From imbalance to impairment: the central role of reactive oxygen species in oxidative stress-induced disorders and therapeutic exploration. Front Pharmacol. 14:1269581.

Ahmed A, Baki M, Kundu MA, G.K. 2016. Human health risks from heavy metals in fish of Buriganga River, Bangladesh. SpringerPlus. 5: 1697.

Al-Attar AM. 2007. The influences of nickel exposure on selected physiological parameters and gill structure in the teleost fish, *Oreochromis niloticus*. J. Biol. Sci. 7: 77-85.

Alberts B, Johnson A, Lewis J. 2002. Molecular biology of the cell. 4th edition. New York: Garland Science; 2002. Chloroplasts and Photosynthesis. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK26819. Accessed on 10 August 2023.

Alengebawy A, Abdelkhalek ST, Qureshi SR, Wang MQ. 2021. Heavy Metals and Pesticides Toxicity in Agricultural Soil and Plants: Ecological Risks and Human Health Implications. Toxics. 9(3): 42.

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.

Ali Z, Ullah R, Mustafa Tuzen, Saif Ullah, Abdur Rahim, Tawfik A. Saleh. 2022. Colorimetric sensing of heavy metals on metal doped metal oxide nanocomposites: A review. Trends in Environmental Analytical Chemistry. 37: e00187/. DOI: 10.1016/j.teac.2022.e00187

Alsop D, Brown S, Van Der Kraak G. 2007. The Effects of copper and benzo[a]pyrene on retinoids and reproduction in zebrafish. Aquat. Toxicol. 82: 281-295.

Al-Sulaiti MM, Soubra L, Al-Ghouti MA. 2022. The causes and effects of mercury and methylmercury contamination in the marine environment: A review. Curr Pollution Rep. 8: 249-272.

Anani OA, Mishra RR, Mishra P, Olomukoro JO, Imoobe TOT, Adetunji CO. 2020. Influence of heavy metal on food security: Recent Advances. In: Mishra, P., Mishra, R.R., Adetunji, C.O. (Eds.) Innovations in Food Technology. Springer, Singapore. DOI: 10.1007/978-981-15-6121-4_18

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

Angon PB, Islam MS, Kc S, Das A, Anjum N, Poudel A, Suchi SA. 2024. Sources, effects and present perspectives of heavy metals contamination: Soil, plants and human food chain. Heliyon. 10(7):e28357.
Anzecc A. 2000. Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality. Aust. N. Z. Environ. Conserv. Counc. Agric. Resour. Manag. Counc. Aust. N. Z. Canberra 2000, 1: 1-103.
Azevedo BF, Barros Furieri L, Peçanha FM, Wiggers GA, Frizera Vassallo P, Ronacher Simões M, Fiorim J, Rossi de Batista P, Fioresi M, Rossoni L, Stefanon I, Alonso MJ, Salaices M, Valentim Vassallo D. 2012. Toxic effects of mercury on the cardiovascular and central nervous systems. J Biomed Biotechnol. 2012: 949048.
Aziz KH, Mustafa FS, Omer KM, Hama S, Hamarawf RF, Rahman KO. 2023. Heavy metal pollution in the aquatic environment: efficient and low-cost removal approaches to eliminate their toxicity: a review. RSC Adv. 13(26):17595-17610.
Bawuro AA, Voegborlo RB, Adimado AA. 2018. Bioaccumulation of heavy metals in some tissues of fish in lake Geriyo, Adamawa State, Nigeria. Journal of Environmental and Public Health. 2018:1854892.
Bhasin T, Lamture Y, Kumar M, Dhamecha R. 2023. Unveiling the health ramifications of lead poisoning: A narrative review. Cureus. 15(10):e46727.
Blewett T and Leonard EM. 2017. Mechanisms of nickel toxicity to fish and invertebrates in marine and estuarine waters. Environmental Pollution. 223: 311-322.
Blewett TA, Wood CM, Glover CN. 2016. Salinity-Dependent nickel accumulation and effects on respiration, ion regulation and oxidative stress in the galaxiid fish, *Galaxias maculatus*. Environ. Pollut. 214: 132-141.
Bernard A. 2008. Cadmium and its adverse effects on humans. Indian Journal of Medical Research. 128(4):557-564.
Bhandari J, Thada PK, Sedhai YR. 2022. Asbestosis. [Updated 2022 Sep 19]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK555985. Accessed on 18 January 2024.
Briffa J, Sinagra E, Blundell R. 2020. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. Heliyon. 6(9): e04691. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04691
Carver A and Gallicchio VS. 2018. Heavy metals and cancer. In book: Cancer Causing Substances. 2018. DOI: 10.5772/intechopen.70348
Chen CW, Chen CF, Dong CD. 2012. Distribution and accumulation of mercury in sediments of Kaohsiung River mouth, Taiwan. APCBEE Procedia. 1: 153-158.
Dastgiri S, Mosaferi M, Fizi MA, Olfati N, Zolali S, Pouladi N, Azarfam P. 2010. Arsenic exposure, dermatological lesions, hypertension, and chromosomal abnormalities among people in a rural community of northwest Iran. J Health Popul Nutr. 28(1):14-22. DOI:
Dilpazeer F, Munir M, Baloch MYJ, Shafiq I, Iqbal J, Saeed M, Abbas MM, Shafique S, Aziz KHH, Mustafa A. 2023. A Comprehensive review of the latest advancements in controlling arsenic contaminants in groundwater. Water. 15(3):478.
Emon JF, Rohani MF, Sumaiya N, Tuj Jannat MF, Akter Y, Shahjahan M, Abdul Kari Z, Tahiluddin AB, Goh KW. 2023. Bioaccumulation and Bioremediation of Heavy Metals in Fishes-A Review. Toxics. 11(6):510.
Engwa GA, Ferdinand PU, Nwalo FN. Unachukwu, MN. 2019. Mechanism and health effects of heavy metal toxicity in humans, poisoning in the modern world - New tricks for an old dog? Ozgur Karcioglu and Banu Arslan, IntechOpen, 2019. Available from: https://www.intechopen.com. Accessed on 23 May 2021.
EPA. 2000. State of the Environment 2000. Syd. Environ. Prot. Auth. NSW Aust. 2000, 4, 45–96. Available online: https://www.epa.nsw.gov.au. Accessed on 18 December 2023.
FAO/WHO. 2016. Accumulation of heavy metals in fishes of freshwater. Available from: https://www.slideshare.net. Accessed on 10 May 2024.
Florea AM, Yamoah EN, Dopp E. 2005. Intracellular calcium disturbances induced by arsenic and its methylated derivatives in relation to genomic damage and apoptosis induction. Environ. Health Perspect. 113(6): 659-664.
Genchi G, Carocci A, Lauria G, Sinicropi MS, Catalano A. 2020a. Nickel: Human Health and Environmental Toxicology. Int J Environ Res Public Health. 17(3):679.
Genchi G, Sinicropi MS, Lauria G, Carocci A, Catalano A. 2020b. The Effects of Cadmium Toxicity. Int J Environ Res Public Health. 17(11):3782.
Gall JE, Boyd RS, Rajakaruna N. 2015. Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: A review. Environ Monit Assess 187: 201.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

Herrera M, Mancera JM, Costas B. 2019. The Use of Dietary Additives in Fish Stress Mitigation: Comparative Endocrine and Physiological Responses. Front Endocrinol (Lausanne). 10:447.
IARC. 2012. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Arsenic, Metals, Fibres and Dusts. Lyon (FR): International Agency for Research on Cancer; 2012. (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, No. 100C.) Arsenic and arsenic compounds. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK304380. Accessed on 23 December 2013.
IARC. 2023. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Arsenic, Metals, Fibres and Dusts. Lyon (FR): International Agency for Research on Cancer; 2012. International Agency for Research on Cancer (IARC). (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, No. 100C.) Cadmium and cadmium compounds. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK304372. Accessed on 23 December 2023.
International Lead Association. 2017. Association, I.L. Lead in Aquatic Environments. Understanding the Science; The International Lead Association: London, UK, 2017.
Islam SMM, Rohani MF, Zabed SA, Islam MT, Jannat R, Akter Y, Shahjahan M. 2020. Acute effects of chromium on hemato-biochemical parameters and morphology of erythrocytes in striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus*. Toxicol. Rep. 7: 664-670.
Jaishankar M, Tseten T, Anbalagan N, Mathew BB, Beeregowda KN. 2014. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. Interdiscip Toxicol. 7(2):60-72.
Jyothi NR. 2020. Heavy metal sources and their effects on human health. IntechOpen. 1: 1-30.
Kazantzis G. 2004. Cadmium, osteoporosis and calcium metabolism. Biometals. 17(5):493-498.
Kubier A, Wilkin RT, Pichler T. 2019. Cadmium in soils and groundwater: A review. Appl Geochem. 108:1-16.
Kumar R and Banerjee TK. 2016. Arsenic induced hematological and biochemical responses in nutritionally important catfish *Clarias batrachus* (L.). Toxicol Rep. 3:148-152.
Kumari B, Kumar V, Sinha AK. 2017. Toxicology of arsenic in fish and aquatic systems. Environ Chem Lett. 15: 43-64.
Kuivenhoven M and Mason K. 2022. Arsenic toxicity. [Updated 2023 Jun 12]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK541125. A ccessed on 25 December 2023.
Li H, Shen D, Lu H, Wu F, Chen X, Pleixats R. 2021. The synthetic approaches, properties, classification and heavy metal adsorption applications of periodic mesoporous organosilicas. Sep. Purif. Technol. 277 (15): 119453.
Lipinski B. 2011. Hydroxyl radical and its scavengers in health and disease. Oxid Med Cell Longev. 2011:809696.
Liu Y, Chen Q, Li Y, Bi L, Jin L, Peng R. 2022. Toxic effects of cadmium on fish. Toxics. 10(10):622.
Lobo V, Patil A, Phatak A, Chandra N. 2010. Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. Pharmacogn Rev. 4(8):118-126.
López-Alonso M. 2012. Trace minerals and livestock: not too much not too little. ISRN Vet Sci. 2012:704825.
Majumdar KK, Ghose A, Ghose N, Biswas A, Mazumder DN. 2014. Effect of Safe Water on Arsenicosis: A Follow-up Study. J Family Med Prim Care. 3(2):124-128.
Malik A, Khalid F, Hidait N, Mehmood Anjum K, Mahad S, Razaq A, Bilal Bin Majeed M. 2023. Arsenic Toxicity in Fish: Sources and Impacts. IntechOpen. 1: 1-42.
Mehana E-SE, Khafaga AF, Elblehi SS, Abd El-Hack ME, Naiel MAE, Bin-Jumah M, Othman SI, Allam AA. 2020. Biomonitoring of Heavy Metal Pollution Using Acanthocephalans Parasite in Ecosystem: An Updated Overview. Animals. 10(5):811.
Moriarity RJ, Liberda EN, Tsuji LJS. 2020. Subsistence fishing in the Eeyou Istchee (James Bay, Quebec, Canada): A regional investigation of fish consumption as a route of exposure to methylmercury. Chemosphere. 258:127413.
Mustafa SA, Al-Rudainy AJ, Salman NM. 2024. Effect of environmental pollutants on fish health: An overview. Egyptian Journal of Aquatic Research. 13: 1-20. DOI: 10.1016/j.ejar.2024.02.006.
NSW. 2022. State of the environment report. NSW Environ. Prot. Auth. 2000, 1, 1–19. Available from: https://www.ga.gov.au/__data/assets/pdf_file/0012/72030/Environmental-Legislation-Guidelines-v1.0.pdf. Accessed on 21 January 2020.
NWQMS. 2023. National Water Quality Management Strategy. Aquatic Ecosystems Rationale and Background Information (Chapter 8). Available online:

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

https://www.waterquality.gov.au/sites/default/files/documents/anzecc-armcanz-2000-guidelines-vol2.pdf. Accessed on 18 April 2023.

Obasi PN and Akudinobi BB. 2020. Potential health risk and levels of heavy metals in water resources of lead–zinc mining communities of Abakaliki, southeast Nigeria. Appl Water Sci. 10: 184. DOI: 10.1007/s13201-020-01233-z

Olojo EAA, Abass AA, Olurin KB, Mbaka G. 2012. The potential use of certain protein metabolism parameters as biomarkers of heavy metal (lead) stress in the African catfish, *Clarias gariepinus*. Agric. J. 7: 316-322.

Osobajo OA, Otitoju A, Otitoju MA, Oke A. 2020. The Impact of Energy Consumption and Economic Growth on Carbon Dioxide Emissions. Sustainability. 12(19):7965. DOI: 10.3390/su12197965

Pane EF, Richards JG, Wood CM. 2003. Acute waterborne nickel toxicity in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) occurs by a respiratory rather than ionoregulatory mechanism. Aquat. Toxicol. 63: 65-82.

Park JD and Zheng W. 2012. Human exposure and health effects of inorganic and elemental mercury. J Prev Med Public Health. 45(6): 344-352. DOI: 10.3961/jpmph.2012.45.6.344

Partridge GJ and Lymbery AJ. 2009. Effects of Manganese on Juvenile Mulloway (*Argyrosomus Japonicus*) Cultured in Water with Varying Salinity-Implications for Inland Mariculture. Aquaculture. 290: 311-316.

Paul D. 2017. Research on heavy metal pollution of river Ganga: A Review. Ann. Agrar. Sci. 15: 278-286.

Phaniendra A, Jestadi DB, Periyasamy L. 2015. Free radicals: properties, sources, targets, and their implication in various diseases. Indian Journal of Clinical Biochemistry. 30(1):11-26.

Radkhah AR. 2017. Introduction to some species of *Argulus* (Crustacea: Branchiura), parasitic infections in the freshwater fishes. Journal of Applied Sciences and Environmental Management. 21(7):1268.

Radkhah AR. 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(3): 13-22.

Radkhah AR and Eagderi S. 2019. Investigation of biological characteristics and breeding potentials of some species of surgeonfish (Family: Acanthuridae) inhabiting the Persian Gulf for exploitation in the ornamental fish breeding industry. Journal of Ornamental Aquatics. 6(4): 1-11.

Radkhah A, Eagderi S, Sadeghinejad Masouleh E. 2020. Investigation of antimicrobial properties of silver nanoparticles (AgNPs) to control diseases and health management in aquaculture systems. Journal of Ornamental Aquatics. 7(1): 7-15.

Radkhah A and Eagderi S. 2020. Book Review: Fish Protection Technologies and Fish Ways for Downstream MigrationU.Schwevers & B.Adam, Springer, Switzerland, 2020. ISBN: 9783030192426." Fish and Disheries. 2020: 1-2. DOI: 101111/faf.12492

Radkhah AR, Eagderi S, Mousavi-Sabet H. 2021. Review on the benefits and disadvantages of nanotechnology in the aquaculture. Journal of Ornamental Aquatics. 8(2): 43-58.

Radkhah AR and Eagderi S. 2022a. Biosecurity in aquaculture systems as one of the requirements for sustainable development. Journal of Biosafety. 15(2): 97-118.

Radkhah AR and Eagderi S. 2022b. Prevalence of fish lice, Argulus (Crustacea: Branchiura) in freshwater and two ornamental fishes of Iran. Journal of Fisheries 10(3):103301. DOI:10.17017/j.fish.383

Radkhah AR, Eagderi S, Sadeghinejad Masouleh E. 2022. Accumulation of heavy metals in fish: A serious threat to food security and public health. Journal of Marine Medicine. 3(4): 236-245.

Radkhah AR, Sadeghinejad Masouleh E. 2021. Investigation of the effect of physicochemical factors of water on bioavailability, toxicity and the level of effectiveness of metal nanoparticles in aquatic ecosystems. Journal of Water and Sustainable Development. 8(2): 71-90. DOI: 10.22067/jwsd.v8i2.1019.

Radkhah AR, Eagderi S. 2023. The Use of Silver Nanoparticles (Ag-NPs) in Water Disinfection in Aquaculture Systems and the Effects of Its Release in the Environment. Journal of Water and Sustainable Development. 10(2): 109-126. DOI: 10.22067/jwsd.v10i2.2301-1209.

Radkhah AR, Eagderi S, Poorbagher H. 2023. Investigating Some Common bacterial pathogens between humans and aquatic organisms: Maintaining the biosecurity of workers in aquaculture centers: A Review. Journal of Biosafety. 16(1): 73-92.

Rashid A, Schutte BJ, Ulery A, Deyholos MK, Sanogo S, Lehnhoff EA, Beck L. 2023. Heavy metal contamination in agricultural soil: Environmental pollutants affecting crop health. AGRONOMY. 13(6):1521. DOI: 10.3390/agronomy13061521

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

Ray RR. 2016. Adverse hematological effects of hexavalent chromium: an overview. Interdiscip Toxicol. 9(2):55-65. DOI: 10.1515/intox-2016-0007

Ray S and Vashishth R. 2024. From water to plate: Reviewing the bioaccumulation of heavy metals in fish and unraveling human health risks in the food chain. Emerging Contaminants. 10(4): 100358.

Richter P, Faroon O, Pappas RS. 2017. Cadmium and Cadmium/Zinc Ratios and Tobacco-Related Morbidities. Int J Environ Res Public Health. 14(10):1154. DOI: 10.3390/ijerph14101154

Sayed AH, Kitamura D, Oda S, Kashiwada S, Mitani H. 2019. Cytotoxic and Genotoxic Effects of Arsenic on Erythrocytes of Oryzias latipes: Bioremediation Using Spirulina Platensis. J. Trace Elem. Med. Biol. 55: 82-88.

Shaukat T and Javed M. 2013. Acute Toxicity of Chromium for *Ctenopharyngodon idella*, *Cyprinus carpio* and *Tilapia nilotica*. Int. J. Agric. Biol. 15: 590-594.

Subathra S and Karuppasamy R. 2008. Bioaccumulation and Depuration Pattern of Copper in Different Tissues of Mystus vittatus, Related to Various Size Groups. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 54: 236-244.

Sun Q, Li Y, Shi L, Hussain R, Mehmood K, Tang Z, Zhang H. 2022. Heavy metals induced mitochondrial dysfunction in animals: Molecular mechanism of toxicity. Toxicology. 469: 153136.

Taslima K, Al-Emran M, Rahman MS, Hasan J, Ferdous Z, Rohani MF, Shahjahan M. 2022. Impacts of heavy metals on early development, growth and reproduction of fish - A review. Toxicol Rep. 9:858-868. DOI: 10.1016/j.toxrep.2022.04.013

Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ. 2012. Heavy metal toxicity and the environment. Exp Suppl. 101:133-164. DOI: 10.1007/978-3-7643-8340-4_6

Torti SV and Torti FM. 2020. Iron: The cancer connection. Mol Aspects Med. 75:100860.

Vieira MC, Torronteras R, Córdoba F, Canalejo A. 2012. Acute toxicity of manganese in goldfish Carassius auratus is associated with oxidative stress and organ specific antioxidant responses. Ecotoxicol. Environ. Saf. 78: 212-217.

Wang X, Liu BL, Gao XQ, Fang YY, Zhang XH, Cao SQ, Zhao KF, Wang, F. 2022. Effect of Long-Term Manganese Exposure on Oxidative Stress, Liver Damage and Apoptosis in Grouper *Epinephelus moara* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂. Front. Mar. Sci. 9: 1-11.

Wani AL, Ara A, Usmani JA. 2015. Lead toxicity: a review. Interdiscip Toxicol. 8(2):55-64.

Wei H, Li R, Yang Q, Tan B, Ray GW, Dong X, Chi S, Liu H, Zhang S. 2021. Effects of Zn on growth performance, immune enzyme activities, resistance to disease and intestinal flora for juvenile pearl gentian grouper (*Epinephelus lanceolatus*♂ × *Epinephelus fuscoguttatus*♀) under low fishmeal diet. Aquaculture Reports. 21: 100880. DOI: 10.1016/j.aqrep.2021.100880

WHO. 2004. Guidelines for drinking-water quality. Sixty-first meeting; 10–19 June 2003; Rome. 2004. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, Avaible from http://ftp.fao.org/es/esn/jecfa/jecfa61sc.pdf. Accessed on 18 December 2004.

WHO. 2023. World Health Organization (WHO). Mercury and health. Available from: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health. Accessed on 23 December 2023.

Wilbur S, Abadin H, Fay M, 2012. Toxicological profile for chromium. Atlanta (GA): Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US); 2012 Sep. 3, HEALTH EFFECTS. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK158851. Accessed on 20 January 2022.

Wiszniewska A, Hanus-Fajerska E, MuszyŃska E, Ciarkowska K. 2016. Natural organic amendments for improved phytoremediation of polluted soils: A Review of recent progress. Pedosphere. 26: 1-12.

Yang HJ, Kang T-W, Choi B, Hwang SH, Shin D, Park W-P. 2022. Potential sources of heavy metals in sediments of an urban–agricultural watershed and relationship with land use using a statistical approach. sustainability. 14(15):9444. DOI: 10.3390/su14159444

Yu HR, Li LY, Shan LL, Gao J, Ma CY, Li X. 2021. Effect of supplemental dietary zinc on the growth, body composition and anti-oxidant enzymes of coho salmon (Oncorhynchus kisutch) alevins. Aquaculture Reports. 20: 100744. DOI: 10.1016/j.aqrep.2021.100744

Yuen HW and Becker W. 2023. Iron Toxicity. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK459224. Accessed on 25 January 2024.

Zaynab M, Al-Yahyai R, Ameen A, Sharif Y, Ali L, Fatima M, Ali Khan K, Li S. 2022. Health and environmental effects of heavy metals. Journal of King Saud University-Science. 34(1): 101653.

Zheng JL, Luo Z, Chen QL, Liu X, Liu CX, Zhao YH, Gong Y. 2011. Effect of waterborne zinc exposure on metal accumulation, enzymatic activities and histology of Synechogobius hasta. Ecotoxicology and Environmental Safety. 74(7):1864-73. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2011.06.018

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]

Human Feeding of Fish Contaminated with Heavy Metals: A Serious Challenge for Human Food Security

Ali Reza Radkhah[1], Soheil Eagderi[*2], Hadi Poorbagher[2], Esmaeil Sadeghinejad Masouleh[3]

1- Ph.D Graduate, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

2- Associate Professor, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

3- Research Instructor, Inland Waters Aquaculture Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agriculture Research Education and Extension Organization (AREEO), Bandar-e Anzali, Iran.

soheil.eagderi@ut.ac.ir

Abstract

The present research was conducted in order to investigate the negative effects caused by the accumulation of heavy metals (HMs) in fish as well as the human body, which occurs due to the long-term consumption of contaminated fish. The investigation of various sources of HMs showed that agricultural and industrial activities have a major contribution to the presence of various metals such as cadmium (Cd), nickel (Ni), lead (Pb), arsenic (As) and mercury (Hg) in water environments. With the continuous entry of these toxic substances into aquatic ecosystems, the possibility of bioaccumulation of heavy metals in the body of various aquatic animals, especially fish, is provided. Bioaccumulation of HMs by fish and their subsequent distribution in body organs among different species is significant. Several factors such as sex, age, size, reproduction cycle, swimming pattern, feeding behavior and geographical location can affect the absorption of HMs and their bioaccumulation in the body of fish. A literature review showed that most heavy metals are toxic to the body at very low levels. However, among different metals, Hg, Pb and Cd have a higher degree of toxicity. Among the toxicity mechanisms of these metals, we can mention the production of free radicals, which is done in order to create oxidative stress. In addition, damage to biological molecules such as proteins, lipids, enzymes and nucleic acids, as well as DNA damage, also show an important part of the toxicity mechanism of HMs. According to the findings, an increase in the concentration of Hg, Pb and Cd in fish tissue compared to other HMs can have much more harmful consequences on the health of society. Therefore, it is necessary to pay more attention to the effects caused by bioaccumulation of these metals in the fish body and the possibility of their transfer to the human body through the food chain.

Keywords: Heavy Metals, Bioaccumulation, Fish, Toxicity, Human Health.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-07-01]