Journal of Marine Medicine
Winter 2022, Volume 3, Issue 4
Pages: 236-245
10.30491/3.4.236

Accumulation of Heavy Metals in Fish: A Serious Threat to Food Security and Public Health

Alireza Radkhah [1 *], Soheil Eagderi [1], Esmaeil Sadeghinejad Masouleh [2]

[1] Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
[2] Inland Waters Aquaculture Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agriculture Research Education and Extension Organization (AREEO), Bandar-e Anzali, Iran

Received: 23 May 2021 **Accepted:** 9 December 2021

Abstract

The spread of pollutants, including heavy metals, in water resources, has negatively affected many marine and freshwater ecosystems and, consequently, their habitats, especially fish. Since the fisheries industry provides part of the food needs of society, the transfer of pollutants such as heavy metals through the food chain to the human body can be considered a threat to the health of human society. Therefore, the need to study this issue is felt like one of the research needs at the national and international levels.

This narrative review examines the subject by reviewing library resources, articles, books, as well as reputable scientific databases. In this review, first, a perspective of the fisheries and aquaculture industry was presented and then, the accumulation of heavy metals in the tissues of fish and their transfer to the human food chain was considered. Also, the major effects of heavy metals on human health were investigated.

In general, most heavy metals are toxic to the body at very low levels. However, among the studied metals, mercury, lead and cadmium have a higher degree of toxicity, therefore, increasing these heavy metals in fish tissue to more than the allowable level is associated with many risks. The main mechanism of toxicity of heavy metals involves the production of free radicals to cause oxidative stress, which causes damage to biological molecules such as enzymes, proteins, nucleic acids and DNA.

Based on the results, increasing the levels of mercury, lead and cadmium in fish tissue compared to other metals can have more harmful effects on public health. Therefore, it is necessary to closely monitor the quality of consumables, especially fish sold in wholesale markets and retailers.

Keywords: Heavy Metals, Fish Tissue, Food Security, Mercury, Lead.

[*]**Corresponding author:** Alireza Radkhah, **Email**: alirezaradkhah@ut.ac.ir
Address: Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

[Downloaded from mail.jmarmed.ir on 2026-09-19]

[DOI: 10.30491/3.4.236]

مجله طب دریا
دوره ۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰
صفحات: ۲۴۵-۲۳۶
10.30491/3.4.236

تجمع فلزات سنگین در ماهیان: تهدیدی جدی برای امنیت غذایی و سلامت جامعه

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

[۱] گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۲] پژوهشکده آبزی‌پروری آبهای داخلی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندر انزلی، ایران

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۰۲ **پذیرش مقاله:** ۱۴۰۰/۰۹/۱۸

چکیده

گسترش انواع آلودگی‌ها از جمله فلزات سنگین در منابع آبی باعث شده که بسیاری از اکوسیستم‌های دریایی و آب شیرین و موجودات ساکن آنها به‌ویژه ماهیان تحت تاثیرات منفی قرار گیرند. از آنجایی که صنعت شیلات تامین کننده بخشی از نیاز غذایی جامعه است، انتقال انواع آلاینده‌ها مانند فلزات سنگین از طریق زنجیره غذایی به بدن انسان می‌تواند به عنوان یک عامل تهدیدکننده برای سلامت جامعه بشری تلقی گردد. از این‌رو، لزوم بررسی این مسئله به عنوان یکی از ضرورت‌های تحقیقاتی در سطح ملی و بین‌المللی احساس می‌شود.

این مطالعه مروری روایتی با بررسی منابع کتابخانه‌ای، مقالات، کتب و همچنین، تارنماهای علمی معتبر به بررسی موضوع پرداخته است. در این مطالعه، در ابتدا، دورنمایی از صنعت شیلات و آبزی‌پروری ارائه شد و سپس، تجمع فلزات سنگین در بافت ماهیان و انتقال آنها به زنجیره غذایی انسان مورد تمرکز قرار گرفت. در این مطالعه، تاثیرات عمده انواع فلزات سنگین روی سلامت انسان مورد بررسی قرار گرفت.

به طور کلی، بیشتر فلزات سنگین در سطح بسیار کم برای بدن سمی هستند. اما با این حال، در بین فلزات مورد بررسی، جیوه، سرب و کادمیوم دارای درجه سمیت بالاتری هستند، لذا، افزایش 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 بیولوژیکی مانند آنزیم‌ها، پروتئین‌ها، لیپیدها، اسیدهای نوکلئیک و آسیب DNA می‌باشد.

با توجه به یافته‌های این مطالعه مروری، افزایش سطح جیوه، سرب و کادمیوم در بافت ماهیان در مقایسه با سایر فلزات می‌تواند اثرات زیان‌بار بیشتری بر سلامت جامعه داشته باشد. از این‌رو، ضروری است که نظارت و کنترل دقیقی روی کیفیت مواد مصرفی به ویژه ماهیانی که در بازارهای عمده و خرده‌فروش‌ها به فروش می‌رسد، اتخاذ شود.

کلیدواژه‌ها: فلزات سنگین، بافت ماهیان، امنیت غذایی، جیوه، سرب.

*نویسنده مسئول: **علیرضا رادخواه**. پست الکترونیک: alirezaradkhah@ut.ac.ir
آدرس: گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

[Downloaded from mail.jmarmed.ir on 2026-09-19]

[DOI: 10.30491/3.4.236]

مقدمه

آلودگی محیط زیست یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در جامعه بشری مدرن است. آلودگی محیط زیست توسط فلزات سنگین تهدیدی جدی و نگران‌کننده برای محیط زیست است (۱،۲). صنعتی شدن و شهرنشینی گسترده باعث آلودگی محیط توسط فلزات سنگین شده و از سال ۱۹۴۰ سرعت حرکت و انتقال آنها در محیط بسیار شتاب گرفته است (۳). یکی از انواع مهم آلودگی در اکوسیستم‌های دریایی فلزات سنگین هستند که هر ساله سهم قابل‌توجهی از میزان کل آلاینده‌ها را به خود اختصاص می‌دهند و از طرف دیگر، دارای طیف گسترده‌ای از اثرات منفی در اکوسیستم‌های آبزی هستند که منجر به مرگ تعداد قابل توجهی از موجودات آبزی از جمله ماهیان می‌شوند.

فلزات سنگین دسته عمده‌ای از آلاینده‌ها به شمار می‌روند که در جهان امروز نگرانی‌های زیست محیطی قابل توجهی ایجاد کرده‌اند. دانشمندان بیان می‌کنند که وجود این فلزات در محیط‌های آبی، نتیجه دو منبع اصلی آلودگی است که شامل رسوبات طبیعی و فعالیت‌های انسانی مانند فعالیت‌های شهری، صنعتی و کشاورزی است (۱). فلزات سنگین به‌طور طبیعی در غلظت‌های بسیار کم در محیط آب یافت می‌شوند، اما غلظت آنها به دلیل فعالیت‌های انسانی افزایش یافته است. این مواد آلاینده‌هایی هستند که می‌توانند به مدت طولانی بدون تجزیه در محیط‌های آبی باقی بمانند و باعث آسیب به جانوران آبزی شوند. افزایش سطح فلزات سنگین که در سال‌های اخیر به محیط‌های آبی از قبیل دریاها ورود پیدا کرده‌اند، منجر به تحقیقات گسترده در مورد آلودگی آنها شده است (۳-۱).

مصرف ماهی یکی از راه‌های اصلی تماس انسان با آلودگی فلزات سنگین تلقی می‌شود (۴). تاکنون گزارش‌های مختلفی از بیماری‌های ناشی از تجمع فلزات سنگین در ماهیان و اثرات این آلاینده‌ها بر میزان تولیدات آبزی‌پروری ارائه شده است. به‌عنوان مثال، García-Lestón و همکاران، بیان کردند که سرب باعث نارسایی کلیوی، آسیب کبدی، کُما، عقب‌ماندگی ذهنی و حتی مرگ می‌شود (۵). در گزارشی دیگر بیان شد که کادمیوم به کلیه‌ها آسیب می‌رساند و باعث هیپوکلسمی حاد و کاهش رشد می‌شود (۶). اگرچه مس، آهن، منگنز و روی عناصر ضروری برای متابولیسم هستند، اما هنگامی که غلظت‌ها آنها در آستانه‌های خاصی تجمع یابند، خطرات قابل توجهی برای سلامتی ایجاد خواهند کرد. سطوح نسبتاً بالای مس و روی باعث نفریت، آنوری و ضایعات گسترده در کلیه می‌شود (۷). در مطالعه‌ای دیگر، Isangedighi و David بیان کردند که جیوه به‌دلیل تأثیرات آن بر دفاع سلولی و تولید انرژی، می‌تواند باعث ایجاد سمیت و علائم گسترده در بسیاری از اندام‌ها مانند سیستم عصبی، سیستم قلبی-عروقی و سیستم گوارش شود (۴،۸). این علائم در سیستم عصبی شامل لرزش، اختلال در حافظه، از دست دادن هماهنگی، در سیستم قلبی-عروقی شامل افزایش فشارخون، سکته مغزی، تصلب شرایین، حملات قلبی و در دستگاه گوارش شامل التهاب‌های گوارشی مانند تهوع، اسهال و زخم معده بوده است (۴،۸).

با توجه به اهمیت صنعت شیلات در تامین غذای کشورهای مختلف و همچنین، اثرات زیان‌بار ناشی از تجمع فلزات سنگین در بافت ماهیان، مطالعه حاضر قصد دارد با استناد به منابع پیشین و گزارش‌های مستند سازمان‌های بهداشت جهانی، تأثیرات ناشی از ورود این مواد به زنجیره غذایی انسان را مورد ارزیابی قرار دهد. امید است ارائه این اطلاعات بتواند در راستای انعکاس هشدارهای ضروری به مسئولین مربوطه و همچنین، آگاهی‌بخشی به عموم افراد جامعه موثر واقع شود.

فلزات سنگین

سموم موادی هستند که اگر در مقادیر کافی جذب، استنشاق یا بلعیده شوند، به ارگانیسم‌ها آسیب می‌رسانند. سمیت درجه‌ای از یک ماده (یا سم) می‌باشد که می‌تواند به انسان یا حیوان آسیب برساند. سمیت حاد شامل اثرات مضر در یک ارگانیسم از طریق مواجهه کوتاه مدت است. سمیت مزمن توانایی یک ماده یا مخلوطی از مواد برای ایجاد اثرات مضر در یک دوره طولانی مدت (معمولاً در مواجهه مکرر یا مداوم) می‌باشد (۹). تاکنون گزارش‌های مختلفی از انواع سموم ارائه شده است که در بین این مواد، فلزات سنگین از اهمیت مطالعاتی قابل توجهی برخوردار می‌باشند.

فلزات سنگین به‌طور کلی به عنوان فلزاتی با تراکم نسبتاً زیاد وزن اتمی یا عدد اتمی تعریف می‌شوند. تاکنون معیارهای مختلفی برای فلزات سنگین تعریف شده است (۱۰). به عنوان مثال، در علم متالوژی، یک فلز سنگین ممکن است بر اساس چگالی تعریف شود، در حالی که در فیزیک معیار تمایز ممکن است عدد اتمی باشد. این در حالی است که یک شیمی‌دان احتمالاً بیشتر به رفتار شیمیایی ماده توجه می‌کند. در یک تعریف معمول که بیشتر مورد توجه قرار گرفته است، بیان می‌شود که فلزات سنگین گروهی از فلزات هستند که دارای وزن مخصوص بیش از ۶ گرم بر سانتیمتر مکعب می‌باشند (۱۱). با این حال، فلز سنگین بودن ارتباط چندانی با چگالی ندارد و بیشتر به خواص شیمیایی مربوط است. الکترونگاتیوی فلزات (قدرت عناصر برای جذب و پذیرش الکترون در یک ترکیب) با میزان تأثیرات اکولوژیکی آنها و سمیت در موجودات آبزی مرتبط است. اگر ماهیت منفی الکترون بیشتر باشد، سمیت نیز بیشتر خواهد بود (۱۲). فلزات سنگین قابل تجزیه نیستند و حتی پس از حذف منبع، برای مدت زمان طولانی در محیط باقی می‌مانند. این یافته‌ها حاکی از این است که فلزات سنگین در مطالعات سم‌شناسی جزو خطرناک‌ترین آلاینده‌ها در نظر گرفته می‌شوند (۱۳). این که فلزات نقش اساسی دارند، قابل انکار نیست، اما با این وجود، وقتی غلظت آنها در اکوسیستم‌های آبی بیش از حد آستانه باشد، به‌عنوان آلاینده عمل می‌کنند و باعث ایجاد تنش در ماهیان می‌شوند.

[Downloaded from mail.jmarmed.ir on 2026-09-19]

[DOI: 10.30491/3.4.236]

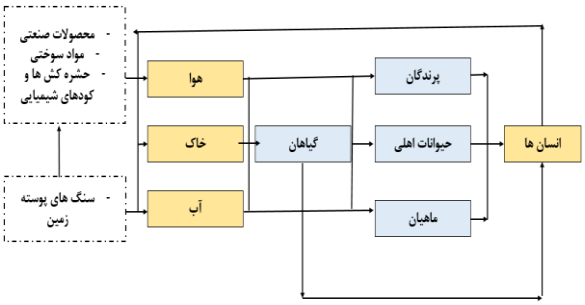
تجمع فلزات سنگین در بافت ماهیان و انتقال به زنجیره غذایی انسان

تجمع زیستی، تجمع تدریجی موادی مانند آفت کش‌ها یا سایر مواد شیمیایی در یک ارگانیسم است. تجمع زیستی زمانی اتفاق می‌افتد که یک ارگانیسم ماده‌ای را با سرعتی سریع‌تر از آن‌چه که در اثر کاتابولیسم و دفع از بین می‌رود یا دفع می‌شود، جذب می‌کند. بنابراین، هرچه نیمه عمر بیولوژیکی یک ماده سمی طولانی‌تر باشد، خطر سمیت مزمن افزایش می‌یابد، حتی اگر سطوح محیطی سم چندان زیاد نباشد (۱۴). فلزات سنگین از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست محیطی هستند که وارد زنجیره غذایی می‌شوند (شکل-۱). محققان بیان داشته‌اند که انتقال فلزات سنگین از زیرمجموعه‌های زنجیره غذایی به اجزای فوقانی باعث ایجاد خطر در اکوسیستم می‌شود، زیرا این مواد تمایل به تجمع دارند و می‌توانند از یک زنجیره غذایی به زنجیره دیگر منتقل شوند.

دو روش اصلی که فلزات سنگین از طریق آن وارد زنجیره غذایی آبزیان می‌شوند، مصرف مستقیم آب و مواد غذایی از طریق دستگاه گوارش و مسیرهای دیگر در غشاهای قابل نفوذ مانند ماهیچه و آبشش است. با توجه به این موضوع، ماهیان معمولاً میزان فلزاتی را که از رسوبات و محیط آبی گرفته می‌شود، منعکس می‌کنند. Rajeshkumar و Li بیان کردند که ماهیان قادر به جذب و تجمع فلزات سنگین در امتداد سطح آبشش و کلیه، مجاری دستگاه گوارش و کبد هستند (۱۵).

تجمع زیستی فلزات سنگین توسط ارگانیسم‌ها ممکن است غیرفعال یا انتخابی باشد. اختلاف در تجمع فلزات سنگین توسط ارگانیسم‌ها می‌تواند به عنوان نتیجه اختلاف در جذب، هضم یا هر دو باشد. بر اساس تحقیقات انجام شده، فلزات سنگین غیرضروری مانند کادمیوم (Cd)، جیوه (Hg) و سرب (Pb) هیچ نقش اساسی در موجودات زنده ندارند و تهدیدهای اساسی برای همه اشکال زندگی به خصوص سلامت انسان محسوب می‌شود. اثرات سمی این مواد وقتی رخ می‌دهد که مکانیسم‌های دفع‌کننده، متابولیک، ذخیره‌سازی و سم زدایی دیگر قادر به مقابله با جذب نیستند که در نهایت منجر به تغییرات فیزیولوژیکی و بافت‌شناسی می‌شود (۴). بررسی منابع به‌دست آمده نشان داده است که تجمع زیستی فلزات سنگین توسط ماهیان و توزیع متعاقب آنها در اندام‌ها بسیار خاص است. علاوه بر این، بسیاری از عوامل مانند جنس، سن، اندازه، چرخه تولیدمثل، الگوهای شنا، رفتار تغذیه و محیط زندگی (یعنی موقعیت جغرافیایی) می‌توانند روی جذب این فلزات تأثیر بگذارند. البته لازم به ذکر است که جذب و میزان تجمع فلزات سنگین در بدن ماهیان تابعی از برخی پارامترهای محیطی از جمله pH، دما، نوع آلاینده و محل نمونه‌برداری نیز هست (۱۵،۱۶).

تاکنون محققان تغییرات قابل توجهی در سطح فلزات سنگین غیرضروری بین اندام‌ها و گونه‌های ماهی که در آب‌های شیرین زیست می‌کردند، گزارش نمودند. بر اساس گزارش‌های به‌دست آمده، تاکنون سطح بالایی از پساب فلزات سنگین از مناطقی که در حال افزایش شهرک سازی، جاده‌سازی و فعالیت‌های کشاورزی هستند، گزارش شده است. با توجه به این موضوع، ورود این پساب‌ها به محیط‌های آبی به ویژه دریاها موجب انباشت فلزات سنگین در بافت آبزیان از قبیل ماهیان خواهد شد. از این‌رو، مصرف این موجودات زنگ خطری برای امنیت غذایی و سلامت زندگی بشری خواهد بود. با توجه به این موضوع، به‌منظور محافظت موجودات آبزی باید میزان آلودگی عناصر کمیاب از طریق زیست-سنجش شیمیایی و ارزیابی نشانگرهای زیستی که بیانگر اثرات بیولوژیکی هستند، تعیین شود (۱۶). در چرخه ارائه شده در شکل-۱ ماهیان به‌عنوان واسطه انتقال فلزات سنگین از محیط به بدن انسان مورد توجه قرار گرفته‌اند (۱۷).



شکل -۱. چرخه ورود فلزات سنگین به محیط و در نهایت به بدن انسان

تأثیر فلزات سنگین بر سلامت بشر

مسمومیت با فلزات سنگین می‌تواند اثرات زیادی بر سلامتی انسان داشته باشد. فلزات سنگین می‌توانند به عملکرد اندام‌هایی مانند مغز، کلیه، ریه‌ها، کبد و خون آسیب برسانند. سمیت فلزات سنگین می‌تواند اثرات حاد یا مزمن داشته باشد. مواجهه طولانی مدت بدن با فلزات سنگین می‌تواند به‌تدریج منجر به فرآیندهای دژنراتیو عضلانی، جسمی و عصبی شود که شبیه بیماری‌هایی مانند بیماری پارکینسون، مولتیپل اسکلروزیس (Multiple sclerosis)، دیستروفی عضلانی و بیماری آلزایمر است. همچنین، محققان بیان داشتند که مواجهه طولانی مدت با برخی از فلزات سنگین ممکن است باعث ابتلا به سرطان شود (۱۸). 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.

جیوه (Hg)

منابع عمده آلودگی جیوه شامل فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی، تخلیه فاضلاب شهری، استخراج معدن، سوزاندن و تخلیه فاضلاب صنعتی است (۱۹). جیوه عنصری است که به راحتی می‌تواند با عناصر دیگر ترکیب شده و جیوه غیرآلی و آلی را تشکیل دهد. Jaishankar و همکاران و Isangedighi و David در پژوهشی که به‌منظور مطالعه اثرات ناشی از مصرف ماهیان آلوده

[Downloaded from mail.jmarmed.ir on 2026-09-19]
[DOI: 10.30491/3.4.236]

به جیوه در انسان انجام شده بود، اظهار داشتند مواجهه با سطوح بالای جیوه فلزی، غیرآلی و آلی می‌تواند به کلیه، مغز و جنین در حال رشد آسیب برساند (۸،۲۰). این در حالی است که متیل جیوه بسیار سرطان‌زا است. جیوه آلی ماهیت لیپوفیلی دارد و بنابراین، می‌تواند به راحتی به غشای سلول نفوذ کند. جیوه و ترکیبات آن بر سیستم عصبی تأثیر می‌گذارد و از این‌رو، افزایش مواجهه با این فلز می تواند عملکردهای مغز را تغییر داده و منجر به لرزش، تحریک‌پذیری، مشکلات حافظه و تغییر شنوایی یا بینایی شود. مواجهه کوتاه مدت با بخارات جیوه فلزی، در سطوح بالاتر می‌تواند منجر به استفراغ، حالت تهوع، بثورات پوستی، اسهال، آسیب ریه، فشار خون بالا و غیره شود، در حالی‌که مواجهه و مسمومیت با جیوه می‌تواند منجر به بی‌حالی، لرزش، سردرد، خستگی، مشکلات حافظه، ریزش مو و غیره شود. از آنجا که این علائم در سایر بیماری‌ها نیز شایع است، تشخیص مسمومیت با جیوه ممکن است در چنین مواردی دشوار باشد (۲۱). در سطح مزمن، مواجهه با فلز جیوه می‌تواند منجر به اوتیسم شود. محققان اظهار کردند که قرار گرفتن در معرض فلز جیوه در زنان باردار می‌تواند جنین را تحت تأثیر قرار دهد و باعث عقب‌ماندگی ذهنی، علائم مخچه، رفلکس‌های بدوی و سایر ناهنجاری‌ها در فرزندان شود. در مطالعات 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 گردید (۱۹،۲۱). با توجه به پیامدهای جیوه بر سلامتی انسان، کارشناسان حداکثر میزان مجاز این فلز را ۰/۵ ppm تعیین نمودند. لازم به ذکر است که برخی محققان حداکثر میزان مجاز متیل جیوه (MeHg) را در محصولات شیلاتی و گوشت ماهی ۰/۵ میکروگرم بر گرم تعیین می‌کنند، به استثنای ماهیان شکارچی که حداکثر میزان مجاز برای آنها ۱ میکروگرم بر گرم است (۲۲).

سرب (Pb)

سرب یک فلز بسیار سمی است که کاربرد گسترده آن باعث آلودگی‌های زیست محیطی و مشکلات بهداشتی در بسیاری از مناطق جهان شده است (۲۰). منابع قرار گرفتن در معرض سرب عمدتاً شامل فرآیندهای صنعتی، غذا، استعمال دخانیات و آب آشامیدنی است. یکی از منابع قرار گرفتن در معرض فلز سرب، تغذیه از ماهیان آلوده به این فلز می‌باشد (۲۰،۲۱).

مسمومیت با سرب بیشتر مربوط به دستگاه گوارش و سیستم عصبی مرکزی در کودکان و بزرگسالان است (۲۳). مسمومیت با این فلز می‌تواند حاد یا مزمن باشد. Jia و همکاران و Isangedighi و David تحقیقاتی در زمینه اثرات ناشی از انتقال فلز سرب به زنجیره غذایی انسان از طریق ماهیان انجام دادند. به‌طور کلی نتایج این تحقیقات نشان داد که مواجهه حاد با سرب می‌تواند باعث سردرد، از دست دادن اشتها، شکم درد، خستگی، بی‌خوابی، توهم، سرگیجه، اختلال عملکرد کلیه، فشارخون بالا و آرتروز شود (۸)، در حالی که مواجهه مزمن می‌تواند منجر به نقص مادرزادی، عقب ماندگی ذهنی، اوتیسم، روان‌پریشی، آلرژی و فلج، از دست دادن وزن، نارساخوانی، بیش‌فعالی، ضعف عضلانی، آسیب کلیوی، آسیب مغزی، کُما و حتی ممکن است باعث مرگ شود (۱۰). اگرچه مسمومیت با سرب قابل پیشگیری است، اما همچنان بیماری خطرناکی است، زیرا می‌تواند بیشتر اعضای بدن را تحت تأثیر قرار دهد. قرار گرفتن در معرض سطوح بالای سرب می‌تواند منجر به حرکت غشای پلاسمایی سد خونی مغزی در فضای بینابینی شود که منجر به تورم می‌گردد (۲۴). همچنین، مواجهه با فلز سرب می‌تواند سیستم پیام‌رسان داخل سلولی را مختل کرده و عملکرد سیستم عصبی مرکزی را تغییر دهد. جنین و کودک در حال رشد به دلیل قرارگیری در معرض فلز سرب، تحت تأثیر اثرات نوروتوکسیک قرار دارد. مراکز کنترل بیماری در ایالات متحده میزان قابل تحمل سرب در خون کودکان را از ۲۵ به ۱۰ میکروگرم در دسی لیتر کاهش دادند و غربالگری جهانی سرب خون را برای همه کودکان توصیه کردند (۲۴). Jyothi بیان کرد که فلز سرب اثرات گسترده‌ای بر روی سیستم عصبی مرکزی ایجاد می‌کند که منجر به سرطان مغز و سرطان ریه می‌شود (۱۲).

بر طبق استانداردهای سازمان جهانی بهداشت (WHO) و فائو (FAO)، حداکثر مقدار مجاز فلز سرب برای ماهیان ppm ۰/۵ می‌باشد (۲۲). البته، با توجه به پیامدهای مصرف سرب، حداکثر میزان سرب در ماهی را ۰/۳ میلی گرم بر کیلوگرم وزن مرطوب تعیین کردند (۲۲).

کادمیوم (Cd)

کادمیوم یک فلز غیرضروری سمی است که هم برای سلامت انسان و هم سلامت جانوران خطر دارد. این فلز به‌طور طبیعی در محیط به‌عنوان یک آلاینده که از منابع کشاورزی و صنعتی ناشی می‌شود، وجود دارد (۲۵).

تاکنون محققان مختلف از جمله Isangedighi و David، اثرات ناشی از انتقال کادمیوم از ماهیان به انسان را بررسی نموده و بیان کردند که انسان ممکن است در وهله اول در اثر استنشاق و بلع در معرض این فلز قرار گیرد و دچار مسمومیت حاد و مزمن شود (۸). اثرات مواجهه با کادمیوم به دلیل عدم توانایی دفع آن در بدن انسان تشدید می‌شود. در حقیقت، کادمیوم دوباره توسط کلیه جذب می‌شود و در نتیجه دفع آن را محدود می‌کند. قرار گرفتن کوتاه مدت در معرض استنشاق کادمیوم می‌تواند صدمات شدیدی به ریه‌ها و تحریک تنفسی وارد کند در حالی که مصرف آن در دوز بالاتر باعث تحریک معده و در نتیجه استفراغ و اسهال می‌شود. قرار گرفتن طولانی مدت در معرض کادمیوم منجر به رسوب آن در استخوان‌ها و ریه‌ها می‌شود. به همین ترتیب، قرار گرفتن در معرض

[Downloaded from mail.jmarmed.ir on 2026-09-19]

[DOI: 10.30491/3.4.236]

کادمیوم می‌تواند باعث آسیب استخوان و ریه شود (۲۱). برخی از مطالعات نشان دادند که افزایش سمیت کادمیوم با افزایش خطر شکستگی استخوان در زنان و همچنین، کاهش تراکم استخوان و کوتاه شدن قد در مردان و زنان ارتباط دارد. کادمیوم برای کلیه بسیار سمی است و در غلظت‌های بالاتر در سلول‌های پروگزیمال لوله‌ای تجمع می‌یابد. بنابراین، قرار گرفتن در معرض کادمیوم می‌تواند باعث اختلال در عملکرد کلیه و بیماری کلیوی شود. همچنین، مواجهه با کادمیوم می‌تواند باعث اختلالات در متابولیسم کلسیم، تشکیل سنگ‌های کلیوی و هایپرکلسیوری (میزان بالای کلسیم در ادرار) شود. کادمیوم توسط آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان به‌عنوان یک عامل سرطان‌زا معرفی شد (۲۵،۲۶). همچنین، محققان بیان کردند که کادمیوم می‌تواند باعث تحلیل رفتن بیضه و عامل خطر بالقوه برای سرطان پروستات باشد (۱۹). شایان ذکر است که بر اساس استانداردهای بین‌المللی شامل WHO و FAO، حداکثر مقدار مجاز برای فلز کادمیوم در ماهیان ۰/۰۵ ppm می‌باشد (۲۲).

آرسنیک (As)

قرار گرفتن در معرض آرسنیک می‌تواند منجر به مسمومیت حاد یا مزمن شود. Engwa و همکاران در مورد اثرات ناشی از مصرف ماهیان آلوده به آرسنیک بر بدن انسان، اظهار داشتند مسمومیت حاد آرسنیک می‌تواند منجر به تخریب رگ‌های خونی و بافت دستگاه گوارش شده و بر قلب و مغز تأثیر بگذارد (۲۱). مسمومیت مزمن آرسنیک که اصطلاحاً به آن آرسنیکوز گفته می‌شود، معمولاً روی ظواهر پوست مانند رنگدانه و کراتوز تمرکز دارد (۱۴). مواجهه با آرسنیک در سطح پایین می‌تواند باعث حالت تهوع و استفراغ، کاهش تولید گلبول‌های قرمز و لکوسیت‌ها و آسیب رساندن به رگ‌های خونی، ضربان قلب و احساس خارش غیرطبیعی در دست‌ها و پاها شود. قرار گرفتن طولانی مدت در معرض آرسنیک می‌تواند منجر به تشکیل ضایعات پوستی، بیماری ریوی، مشکلات عصبی، بیماری عروقی محیطی (peripheral vascular disease PVD)، دیابت شیرین، فشارخون بالا و بیماری‌های قلبی–عروقی شود (۲۱). بیماری ناشی از آرسنیکِ مزمن ممکن است منجر به تغییرات غیرقابل برگشت در اندام‌های حیاتی و احتمالاً مرگ شود. همچنین، قرار گرفتن در معرض آرسنیک مزمن می‌تواند منجر به توسعه و رشد تعدادی از بیماری‌های سرطانی شود که شامل سرطان پوست، سرطان مثانه، ریه، کبد (آنژیوسارکوم Angiosarcoma) و احتمالاً سرطان روده بزرگ و کلیه می‌باشد (۱۲). اخیراً در ایالات متحده، مقدار قابل تحمل آرسنیک در آب آشامیدنی ۵۰ میکروگرم در لیتر گزارش شد. با این حال، نگرانی‌های زیادی در مورد مواجهه جمعیت انسانی با آرسنیک وجود دارد، چرا که اعتقاد بر این است که دوز موجود خطر ابتلا به سرطان را افزایش می‌دهد. اکثر دانشمندان محیط زیست که این مشکل را مورد مطالعه قرار داده‌اند، بر این عقیده‌اند که در حال حاضر، حد قابل تحمل آرسنیک در آب آشامیدنی یا غذا کاهش یافته است (۲۴). بر اساس استاندارد WHO که حداکثر مقدار مجاز فلزات سنگین در ماهیان را گزارش نموده، حداکثر مقدار مجاز آرسنیک برای ماهیان ۱/۴ ppm می‌باشد (۲۲).

کروم (Cr)

کروم از طریق ریه‌ها، دستگاه گوارش و به میزان کمتری از طریق پوست وارد بدن می شود. این فلز یک ماده مغذی ضروری است که بدن انسان به‌منظور تقویت عملکرد انسولین برای استفاده از قندها، پروتئین‌ها و چربی‌ها به آن نیاز دارد (۷). کروم به عنوان مکمل غذایی نیز استفاده شده است. محققان بیان کردند که این فلز، قند خون را در دیابت کنترل می‌کند و می‌تواند سطح کلسترول و فشارخون را کاهش دهد (۲۷).

کروم (VI) تمایل به خوردگی و همچنین ایجاد واکنش‌های آلرژیک در بدن را دارد. بنابراین، تنفس مقادیر زیاد کروم (VI) می‌تواند باعث تحریک غشای مخاطی بینی شود. همچنین، این ماده می‌تواند باعث کم خونی، تحریکات و زخم در روده کوچک و معده، صدمه به اسپرم و سیستم تولیدمثل مردان شود. واکنش‌های آلرژیک ناشی از کروم شامل قرمزی شدید و تورم پوست است. قرار گرفتن در معرض دوزهای بسیار زیاد ترکیبات کروم (VI) در انسان می‌تواند منجر به اثرات شدید قلبی عروقی، تنفسی، خون، دستگاه گوارش، کلیه، کبد، سیستم عصبی و احتمالاً مرگ شود (۲۸). قرار گرفتن در معرض ترکیبات کروم می‌تواند منجر به تشکیل زخم‌هایی مانند زخم تیغه بینی (انحراف بینی) شود که در کارگران کرومات بسیار شایع است. قرار گرفتن در معرض مقادیر بالاتر ترکیبات کروم در انسان می‌تواند منجر به مهار گلوتاتیون ردوکتاز گلبول قرمز شود، که به نوبه خود ظرفیت تبدیل مت‌هموگلوبین به هموگلوبین را کاهش می‌دهد (۲۱). آزمایش‌های انجام شده نشان داده است که ترکیبات کرومات به روش‌های مختلف می‌تواند باعث آسیب DNA شود و منجر به تشکیل ترکیب‌های اضافی DNA، انحرافات کروموزومی، تغییر در مبادله کروماتیدهای خواهری و رونویسی DNA شود (۲۱،۲۴). بنابراین، شواهد قابل توجهی از اثرات کروم بر رشد سرطان‌زایی انسان وجود دارد. در تأیید این موضوع، تحقیقات مختلف بیان کردند که افزایش تومورهای معده در حیوانات و انسان‌هایی که از آب آشامیدنی در معرض کروم (VI) استفاده می‌کنند، مشاهده شده است. این نتایج گویای این مطلب 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. لازم به ذکر است که حداکثر مقدار مجاز فلز کروم در ماهیان بر طبق استانداردهای بین‌المللی WHO و FAO برابر با ۱ ppm می‌باشد (۲۲).

[Downloaded from mail.jmarmed.ir on 2026-09-19]

[DOI: 10.30491/3.4.236]

روی (Zn)

Plum و همکاران بیان کردند که سه راه اصلی برای ورود روی به بدن انسان وجود دارد که شامل استنشاق، از طریق پوست یا بلع می‌باشد (۲۹). هر نوع مواجهه، قسمت‌های خاصی از بدن را تحت تأثیر قرار می‌دهد و امکان جذب مقادیر مختلف روی را فراهم می‌کند. با توجه به ماهیت فلز روی به‌عنوان یک عنصر کمیاب ضروری، جذب خوراکی مقدار کمی روی برای بقا ضروری است. مقدار خوراکی توصیه شده برای روی ۱۱ میلی‌گرم در روز برای مردان و ۸ میلی گرم در روز برای زنان است (۲۶). مصرف روی کمتر برای نوزادان (۳–۲ میلی‌گرم در روز) و کودکان (۹–۵ میلی‌گرم در روز) به دلیل میانگین وزن کم بدن توصیه می‌شود (۷). بر اساس استانداردهای جهانی (FAO/WHO)، سطح توصیه شده فلز روی در ماهیان شامل ppm ۳۰ می‌باشد (۲۲).

مس (Cu)

مس یک عنصر کمیاب است که برای عملکرد آنزیم‌های پروتئینی ضروری است. میزان توصیه شده این فلز در رژیم غذایی برای مردان و زنان بالغ ۹۰۰ میکروگرم در روز است. متوسط مصرف مس از طریق غذا در ایالات متحده برای مردان و زنان بالغ تقریباً ۱ تا ۱/۶ میلی‌گرم در روز گزارش شده است (۳۰). اگر چه مس به‌عنوان یک فلز ضروری شناخته می‌شود، اما در غلظت‌های بالا برای موجودات زنده سمی است. افزایش فعالیت‌های صنعتی و استفاده از $CuSO_4$ به‌عنوان یک قارچ‌کُش در روش‌های کشاورزی و همچنین، در کنترل جلبک‌ها و عوامل بیماری‌زا در استخرهای پرورش ماهی باعث افزایش غلظت مس در سیستم‌های آبزی شده است. این ماده در ترکیب با آهک و آب به‌عنوان ماده محافظ استفاده می‌شود (۳۱). مس یکی از سمی‌ترین عناصر برای گونه‌های آبزی است، در سطوح کمی بالاتر از مقدار مورد نیاز برای رشد و تولیدمثل، می‌تواند تجمع یافته و صدمات جبران ناپذیری به برخی از گونه‌ها وارد کند. در ماهیان آب شیرین مس باعث ایجاد صدمات در آبشش‌ها می‌شود و در غلظت‌های ۱۰ تا ۲۰ ppm به شدت برای ماهیان سمی است (۳۲). البته لازم به ذکر است که سمیت این فلز با توجه به نوع گونه ماهی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب متفاوت است (۳۲). حداکثر مقدار مجاز برای فلز مس در ماهیان بر اساس استانداردهای بین‌المللی ppm ۳۰ است (۲۲).

آهن (Fe)

آهن یک فلز سنگین مفید در بدن انسان است، زیرا اجزای سازنده برخی مولکول‌های بیولوژیکی مانند هموگلوبین است و در فعالیت‌های مختلف فیزیولوژیکی نقش دارد. بر اساس گزارش‌های به‌دست آمده، مقدار آهن مورد نیاز ۸/۷ میلی‌گرم در روز برای مردان بالای ۱۸ سال و ۱۴/۸ میلی‌گرم در روز برای زنان ۱۹ تا ۵۰ سال ذکر شده است (۳۳). در حالت آزاد، آهن یکی از فلزات سنگین است که به‌طور کلی برای تولید رادیکال هیدروکسیل (OH) استفاده می‌شود (۳۴). نمک‌های آهن مانند سولفات آهن، هپتاهیدرات سولفات آهن و مونوهیدرات سولفات آهن در هنگام مواجهه از طریق پوست، بلع و استنشاق، سمیت حاد کمی دارند. با این حال، اشکال دیگر آهن از نظر سلامتی دارای مشکلات جدی هستند. سمیت آهن در چهار مرحله اتفاق می‌افتد. اولین مرحله که ۶ ساعت پس از مصرف بیش از حد آهن شروع می‌شود، شامل اثرات دستگاه گوارش مانند استفراغ، اسهال و خونریزی گوارشی است. حرکت به سمت مرحله دوم، ۲۴–۶ ساعت پس از مصرف بیش از حد رخ می‌دهد و به‌عنوان یک دوره نهفته در نظر گرفته می‌شود. مرحله سوم بین ۱۲ تا ۹۶ ساعت پس از شروع علائم بالینی شروع می‌شود و با افت فشار خون، شوک، بی‌حالی، نکروز کبدی، تاکی کاردی، اسیدوز متابولیک مشخص می‌شود و ممکن است گاهی منجر به مرگ شود (۴). مرحله چهارم و نهایی معمولاً طی ۶–۲ هفته از مصرف بیش از حد آهن اتفاق می‌افتد. این مرحله با ایجاد تنگی‌ها و ایجاد زخم‌های دستگاه گوارش مشخص شده است. گوشت غنی از آهن است و بنابراین کشورهای گوشت‌خوار در معرض خطر سرطان هستند، زیرا جذب بیش از حد آهن خطر ابتلا به سرطان را افزایش می‌دهد. محققان درباره این موضوع بیان داشتند که آهن، رادیکال‌های آزاد تولید می‌کند که گفته می‌شود عامل سرطان مرتبط با آزبست می‌باشند. رادیکال‌های آزاد ناشی از آهن می‌توانند با اکسیداسیون DNA منجر به آسیب آن و آغاز روند بیماری سرطان شوند (۲۱). شایان ذکر است بر طبق استانداردهای بین‌المللی WHO و FAO، سطح توصیه شده فلز آهن در بخش خوراکی ماهیان شامل ppm ۱۰۰ می‌باشد (۲۲).

نیکل (Ni)

نیکل به دلیل مقاومت در برابر خوردگی، مقاومت و دوام بالا، ظاهر دل‌پذیر، هدایت گرمایی و الکتریکی خوب و توانایی در تشکیل آلیاژها با سایر فلزات، در بسیاری از صنایع کاربردهای بیشماری پیدا کرده است (۲۵). کاربرد گسترده این فلز در صنایع مختلف موجب شده است که حضور آن در محیط‌های خشکی و آبی نیز افزایش یابد.

نیکل یک عنصر انتقالی است که به طور گسترده در هوا، آب و خاک توزیع می‌شود (۳۵). این فلز می‌تواند از منابع طبیعی و فعالیت‌های انسانی ناشی شود. اگرچه نیکل در محیط همه‌گیر است، اما هنوز نقش عملکردی آن به‌عنوان یک عنصر کمیاب برای حیوانات و انسان شناخته نشده است. آلودگی محیط زیست ناشی از نیکل ممکن است به‌دلیل صنعت، استفاده از سوخت‌های مایع و جامد و همچنین، زباله‌های شهری و صنعتی باشد (۳۵). بیماری‌زایی فلز نیکل به دلیل تعداد زیاد اشکال شیمیایی و فیزیکی آن نسبتاً پیچیده است (۳۶). Isangedighi و David در مورد

[Downloaded from mail.jmarmed.ir on 2026-09-19]

[DOI: 10.30491/3.4.236]

اثرات ناشی از انتقال فلز نیکل به‌واسطه ماهیان به بدن انسان، اظهار داشتند تماس با نیکل می‌تواند عوارض جانبی مختلفی روی سلامتی انسان داشته باشد که از جمله آن‌ها می‌توان به آلرژی، بیماری‌های قلبی عروقی و کلیوی، فیبروز ریه (Pulmonary fibrosis)، سرطان ریه و بینی اشاره کرد (۸). اگرچه مکانیسم‌های مولکولی سمیت ناشی از نیکل هنوز مشخص نیست، اما تصور می‌شود که اختلالات عملکرد میتوکندری و استرس اکسیداتیو نقشی اساسی در سمیت این فلز دارند. اخیراً، محققان، در تلاش برای توصیف قابلیت نیکل در ایجاد سرطان، دریافتند که تغییرات اپی-ژنتیکی ناشی از قرار گرفتن در معرض فلز نیکل می‌تواند ژنوم را دگرگون کند (۲۵). شایان ذکر است که WHO و FAO سطح توصیه شده فلز نیکل در ماهیان را ۰/۰۵–۵/۵ ppm تعیین نمودند (۲۲).

منگنز (Mn)

منگنز، یک عنصر اساسی در رژیم غذایی انسان است و نقش‌های مفیدی در فیزیولوژی انسان دارد (۳۷). میزان کافی مصرف روزانه منگنز توسط آکادمی ملی علوم (NAS) برای مردان ۲/۳ میلی‌گرم و برای زنان ۱/۸ میلی گرم در روز تعیین شده است (۲۶،۳۷). منیزیم موجود در رژیم غذایی معمول، برای حفظ هموستاز کافی است و کمبود منگنز در انسان بسیار نادر است (۳۷). Shah و همکاران امکان انتقال منگنز از محیط آبزی و ماهیان به بدن انسان را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که مواجهه در معرض سطوح بالای منگنز می‌تواند منجر به مسمومیت عصبی شود (۳۶). منگانیسم Manganism یک بیماری عصبی ناشی از منگنز است که با لرزش در عمل، اختلالات در راه رفتن، برادی کینزی، اختلال در حافظه و اختلال خلقی مشخص می‌شود. علائم منگانیسم بسیار شبیه به بیماری پارکینسون است. با این حال، تفاوت‌هایی بین این دو در علائم و پیشرفت بیماری وجود دارد (۲۱،۳۶،۳۸). بر اساس استانداردهای بین‌المللی سازمان جهانی بهداشت (WHO) و فائو (FAO) سطح توصیه شده فلز منگنز در بافت خوراکی ماهیان شامل ppm ۱ می‌باشد (۲۲).

نتیجه گیری

به‌طور کلی، بیشتر فلزات سنگین در سطح بسیار کمی برای بدن سمی هستند. مکانیسم اصلی سمیت فلزات سنگین شامل تولید رادیکال‌های آزاد برای ایجاد استرس اکسیداتیو، آسیب به مولکول‌های بیولوژیکی مانند آنزیم‌ها، پروتئین‌ها، لیپیدها، اسیدهای نوکلئیک و آسیب DNA است که کلید سرطان و همچنین، مسمومیت عصبی است. برخی از سمیت فلزات سنگین ممکن است حاد باشند، در حالی که برخی دیگر ممکن است مزمن باشند. لذا، مواجهه طولانی مدت در معرض این مواد می‌تواند منجر به آسیب چندین ارگان در بدن مانند مغز، ریه‌ها، کبد و کلیه شود.

در مطالعه 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 را در بخش‌های بهداشت و سلامت جامعه ایجاد نماید. با توجه به این مسئله، توصیه می‌شود که نظارت و کنترل دقیقی روی کیفیت مواد مصرفی به ویژه ماهیانی که در بازار عمده و خرده‌فروش‌ها به فروش می‌رسد، اتخاذ شود. البته شایان ذکر است که تحقق این هدف جز با همکاری سازمان‌ها و نهادهای مرتبط مانند سازمان شیلات و محیط زیست در سطوح ملی و بین‌المللی امکان‌پذیر نیست. پژوهش حاضر هشدارهای مهم و قابل تأملی پیرامون ورود فلزات سنگین به زنجیره غذایی انسان ارائه نموده است که می‌تواند از نظر امنیت غذایی و سلامت عمومی جامعه بسیار حائز اهمیت باشد.

تشکر و قدردانی: بدین وسیله از حمایت دانشگاه تهران در انجام این تحقیق و همچنین، از همه اساتیدی که در غنای مطالب حاضر یاری‌رسان بودند، نهایت تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

نقش نویسندگان: همه نویسندگان در نگارش اولیه مقاله یا بازنگری آن سهیم بودند و همه با تأیید نهایی مقاله حاضر، مسئولیت دقت و صحت مطالب مندرج در آن را می پذیرند.

تضاد منافع: نویسندگان تصریح می کنند که هیچ گونه تضاد منافعی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

منابع

1. Radkhah AR. 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. 2019; 6(3) :13-22.
2. Radkhah AR, Eagderi S, Sadeghinejad Masouleh E. Investigation of antimicrobial properties of silver nanoparticles (AgNPs) to control diseases and health management in aquaculture systems. Journal of Ornamental Aquatics. 2020; 7(1): 7-15.
3. FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome. 2020 doi:10.4060/ca9229en
4. Jia Y, Wang L, Qu Z. Effects on heavy metal accumulation in freshwater fishes: species, tissues, and sizes. Environmental Science and Pollution Research. 2017; 24: 9379-9386. doi:10.1007/s11356-017-8606-4
5. García-Lestón J, Méndez J, Pásaro E, Laffon B. Genotoxic effects of lead: an updated review. Environment International. 2010; 36(6): 623-36. doi:10.1016/j.envint.2010.04.011

[Downloaded from mail.jmarmed.ir on 2026-09-19]
[DOI: 10.30491/3.4.236]

6. Robards K, Worsfold P. Cadmium: toxicology and analysis. A review. Analyst, 2012; 116: 549-568. doi:10.1039/an9911600549
7. Sivaperumal P, Sankar TV, Viswanathan Nair PG. Heavy metal concentrations in fish, shellfish and fish products from internal markets of India vis-a-vis international standards. Food Chemistry. 2007; 102: 612-620. doi:10.1016/j.foodchem.2006.05.041
8. Isangedighi IA, David GS. Heavy Metals Contamination in Fish: Effects on Human Health. Journal of Aquatic Science and Marine Biology. 2019: 2(4): 7-12.
9. Hashem MA, Nur-A-Tomal MS, Mondal NR, Rahman MA. Hair burning and liming in tanneries is a source of pollution by arsenic, lead, zinc, manganese and iron. Environmental Chemistry Letters. 2017; 15(3): 501-06. doi:10.1007/s10311-017-0634-2
10. Pourret O. On the Necessity of Banning the Term "Heavy Metal" from the Scientific Literature. Sustainability. 2018; 10. doi:10.3390/su10082879
11. Yousefinejad V, Mansouri B, Ramezani Z, Mohammadzadeh N, Akhlaghi M. Evaluation of heavy metals in tobacco and hookah water used in coffee houses in Sanandaj city in 2017. Scientific Journal of Kurdistan University of Medical Sciences. 2018; 22(6) :96-106
12. Jyothi NR. Heavy metal sources and their effects on human health [Online First], IntechOpen, doi: 10.5772/intechopen.95370. Available from: https://www.intechopen.com/online-first/heavy-metal-sources-and-their-effects-on-human-health, 2020.
13. Ali H, Khan E, Ilahi I. Environmental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation, Journal of Chemistry. 2019. doi:10.1155/2019/6730305
14. Martin S, Griswold W. Human health effects of heavy metals. Environmental Science and Technology Briefs for Citizens. 2009; 15:1-6
15. Rajeshkumar S, Li X. Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. Toxicol Rep. 2018; 5: 288-95. doi:10.1016/j.toxrep.2018.01.007
16. Radkhah AR. Presence of heavy metals in aquatic ecosystems: A study on environmental consequences and provide principled solutions. The second national and specialized conference on environmental research in Iran. Hegmataneh Association for Environmental Assessment, August 7; 2014. Hamedan, 8 p.
17. Masindi V, Muedi KL. Environmental Contamination by Heavy Metals, Heavy Metals, Hosam El-Din M. Saleh and Refaat F. Aglan, IntechOpen, Available from: https://www.intechopen.com/books/heavy-metals/environmental-contamination-by-heavy-metals. 2018. doi:10.5772/intechopen.76082
18. Carver A, Gallicchio VS. Heavy metals and cancer. In book: Cancer Causing Substances. 2018. doi:10.5772/intechopen.70348
19. Chen CW, Chen CF, Dong CD. Distribution and accumulation of mercury in sediments of Kaohsiung River mouth, Taiwan. APCBEE Procedia. 2012; 1: 153-58. doi:10.1016/j.apcbee.2012.03.025
20. Jaishankar M, Tseten T, Anbalagan N, Mathew BB, Beeregowda KN. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. Interdisciplinary toxicology. 2014; 7(2), 60-72. -doi:10.2478/intox-2014-0009
21. Engwa GA, Ferdinand PU, Nwalo FN. Unachukwu, MN. 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 3 August 2021.
22. FAO/WHO 2016. Accumulation of heavy metals in fishes of freshwater. Available from: https://www.slideshare.net. Accessed on 3 August 2021.
23. Markowitz M. Lead Poisoning. Pediatr Rev. 2000; 21(10): 327-35. doi:10.1542/pir.21-10-327
24. Ahmed A, Baki M, Kundu MA, G.K. Human health risks from heavy metals in fish of Buriganga river, Bangladesh. SpringerPlus. 2016;5: 1697. doi:10.1186/s40064-016-3357-0
25. Genchi G, Carocci A, Lauria G, Sinicropi MS, Catalano A. Nickel: Human Health and Environmental Toxicology. International journal of environmental research and public health. 2020; 17 (3): 679. doi:10.3390/ijerph17030679
26. Mona T, Heba MA, Eman S, Khadiga SI, Safaa E. Impact of occupational cadmium exposure on bone in sewage workers. Int. J. Occup. Environ. Health. 2018; 24:101-08. doi:10.1080/10773525.2018.1518745
27. Anderson RA. Chromium in the prevention and control of diabetes. Diabetes Metab. 2000; 26: 22-27. doi:10.2337/diaclin.26.1.22
28. Shekhawat K, Chatterjee S, Joshi B. Chromium toxicity and its health hazards. International Journal of Advanced Research. 2015; 7(3):167-72
29. Plum LM, Rink L, Haase H. The essential toxin: impact of zinc on human health. International journal of environmental research and public health. 2010; 7(4): 1342-65. doi:10.3390/ijerph7041342
30. Institute of Medicine (US) Panel on Micronutrients. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. Washington (DC): National Academies Press (US); 2001. 7, Copper. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK222312, 2021. Accessed 12 August, 2021.
31. Hayes WJ. Pesticides studied in man. Baltimore, MD: Williams and Wilkins. 2015; p 672.
32. Woody SA, O'Neal SL. Effects of Copper on Fish and Aquatic Resources. The Nature Concervancy. 2015; pp 27.
33. NHS, 2021. Vitamins and minerals - Iron - NHS. Available from: https://www.nhs.uk. Accessed on 4 August 2021.

[Downloaded from mail.jmarmed.ir on 2026-09-19]

[DOI: 10.30491/3.4.236]

34. Abbaspour N, Hurrell R, Kelishadi R. Review on iron and its importance for human health. Journal of research in medical sciences: the official journal of Isfahan University of Medical Sciences. 2014; 19(2): 164-74.
35. Nriagu JO, Pacyna JM. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. Nature. 1988; 333: 134-39. doi:10.1038/333134a0
36. Shah AI. Heavy metal impact on aquatic life and human health - an overview. IAIA 17 Conference Proceedings. IA's Contribution in Addressing Climate Change37th Annual Conference of the International Association for Impact Assessment, 4-7 April 2017. Le Centre Sheraton, Montréal, Canada, 2017; 7 p. https://conferences.iaia.org.
37. Neal AP, Guilarte TR. Mechanisms of heavy metal neurotoxicity: lead and manganese. J Drug Metab Toxicol. 2012; S5:002. doi:10.4172/2157-7609.S5-002
38. Guilarte TR. Manganese and Parkinson's disease: A critical review and new findings. Environmental Health Perspectics. 2010; 118: 1071-80. doi:10.1289/ehp.0901748

[Downloaded from mail.jmarmed.ir on 2026-09-19]

[DOI: 10.30491/3.4.236]