زیست‌شناسی جانوری، سال شانزدهم، ویژه‌نامه ۱۴۰۲، صفحات ۲۵- ۱

مقاله مروری

پتانسیل خطر غذایی فلزات سنگین در ماهیان سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان: مرور سیستماتیک و متاآنالیز

محمد حسین سینکاکرمی[۱]، نوشین گشمردی[۲*]

۱- گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم دریایی و محیطی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

۲- گروه آموزش زیست شناسی، دانشگاه فرهنگیان، صندوق پستی ۸۸۹-۱۴۶۶۵ تهران، ایران

[*]مسئول مکاتبات: m.gashmardi@cfu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۴

DOI: 10.22034/ascij.2024.2003497.1571

چکیده

خلیج فارس و دریای عمان محل زیست گونه‌های مختلفی از آبزیان به‌ویژه ماهیان می‌باشند. فلزات سنگین به‌عنوان مهمترین آلاینده‌های این اکوسیستم‌های آبی محسوب می‌شوند که می‌توانند عوامل مهم تهدیدکننده سلامت مصرف‌کنندگان باشند. هدف این پژوهش، مرور نظام‌مند مطالعاتی است که به تعیین غلظت فلزات سنگین در بافت عضله برخی از ماهیان این آب‌ها از تاریخ ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۷ پرداخته‌اند. این پژوهش متاآنالیز روی بافت عضله ۱۱۸۲ قطعه از ماهیان حلواسفید، شوریده، زمین‌کن، سرخو، سنگسر، شبه‌شوریده، شیر، قباد و هامور صید شده از خلیج فارس و دریای عمان به‌منظور بررسی میزان این فلزات انجام گرفت. میزان مجازمصرف، خطر مصرف غذایی و مقایسه با استانداردها بررسی شد. میزان شاخص‌های THQ و HI در همه‌ی گونه‌های ماهیان مورد مطالعه برای بالغین کم‌تر از یک، اما برای کودکان فقط در ماهی شیر در شاخص HI بالاتر از یک به‌دست آمد. میزان فلزات جیوه، روی و سرب در تمامی ماهی‌ها، کادمیوم در سرخو و سنگسر و نیکل در سنگسر، قباد و هامور از تمامی استانداردها پایین‌تر بود. میزان جذب روزانه و هفتگی برای تمامی فلزات مورد مطالعه در اثر مصرف ماهیان مورد بررسی پایین‌تر از میزان مجاز کمیته JECFA به‌دست آمد. همچنین کم‌ترین میزان وعده‌های مجاز مصرف از نظر فلزات مورد مطالعه مربوط به ماهی‌های **شیر**؛ فلز جیوه، شبه‌شوریده؛ فلز سرب و زمین‌کن؛ سایر فلزات بود. به‌نظر می‌رسد مصرف زیاد ماهی زمین‌کن از نظر فلزات مورد بررسی احتمالا می‌تواند با خطراتی به‌ویژه برای کودکان به‌همراه باشد. از این‌رو حفاظت از محیط زیست که در ایجاد مشکلات بهداشت تغذیه تاثیرگذار است، یک ضرورت تلقی می‌گردد.

کلمات کلیدی: ماهی، خطر غذایی، فلزات سنگین، خلیج فارس، دریای عمان.

مقدمه

پدیدار شدن ابعاد توسعه‌ی صنعتی و تکنولوژیکی و بی‌توجهی انسان‌ها نسبت به پیامدهای مخرب توسعه‌ی گسترده‌ی بدون توجه به برنامه‌های توسعه پایدار؛ زمینه‌ساز ایجاد مخاطرات محیط زیستی در جهان گردیده است (۳۶)، یکی از پیامدهای سوء توسعه ناپایدار، ورود فلزات سنگین در یک مقیاس وسیع به محیط زیست و طبیعت می‌باشد (۱۰۶، ۱۰۹). قابل ذکر است که فلزات سنگین یک گروه بسیار ناهمگن

از عناصر را تشکیل می‌دهند که به علت اثرات سمی-شان روی گیاهان، حیوانات و انسان‌ها از آلاینده‌های زیست محیطی محسوب می‌شوند (۷۰) و می‌توانند به صورت حاد و مزمن از طریق اختلال در فرآیندهای طبیعی سلول‌ها و انباشت زیستی (۱۲۷)، سلامت انسان‌ها را به‌خطر انداخته و مشکلات جدی را برای آن‌ها به‌همراه داشته باشند (۱۰۷). از دیدگاه تغذیه‌ای؛ این عناصر را می‌توان به دو گروه فلزات ضروری ازجمله: کروم، کبالت، روی، مس، منگنز، آهن، نیکل و غیره و غیرضروری ازجمله: سرب، کادمیوم، جیوه و غیره طبقه‌بندی نمود (۱۵). ذکر این مطلب بسیار مهم است که افزایش غلظت هر دو دسته از فلزات یعنی افزایش بیشتر از محدوده تعیین شده توسط استانداردهای بین‌المللی، می‌تواند برای مصرف-کنندگان اثرات سمی و سوءای در پی داشته باشد. برخی از این فلزات می‌توانند در طول زمان در بدن تجمع یافته و باعث ایجاد عوارضی همچون؛ سرطان، اختلالات عصبی و تولیدمثلی، اختلالات رشد و نمو، بیماری‌های قلبی-عروقی، بیماری‌های کلیوی، آسیب-های ریوی، درماتیت تماسی و شکنندگی و ریزش مو شوند. همچنین از دیگر علایم مسمومیت با این‌گونه فلزات می‌توان به سرگیجه، تهوع، استفراغ، اسهال، اختلالات خواب، از دست دادن اشتها و کاهش میزان درک اشاره نمود. حضور فلزات غیرضروری، حتی در مقادیر کم هم می‌تواند منجر به اختلالات متابولیک با عواقب بسیار جدی شود (۸، ۱۲، ۷۴). این مواد معدنی سمی، آلاینده‌های ماندگاری هستند که تغییرات قابل توجهی را در چرخه‌های بیوژئوشیمیایی ایجاد می‌کنند (۲) و می‌توانند اثرات سمی روی موجودات زنده، تعادل اکولوژیکی و تنوع زیستی اکوسیستم‌ها، به ویژه اکوسیستم‌های آبی داشته باشند (۴۳، ۱۲۸). محیط‌های آبی به‌طور مداوم توسط آلاینده‌های معدنی سمی و آلاینده‌های آلی با منشا انسانی و زمین‌شناسی تهدید می‌شوند (۲۲، ۲۴، ۴۵)؛ به‌گونه‌ای که در سال‌های اخیر، آلودگی آب‌ها با طیف گسترده‌ای از آلاینده‌ها به یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های جهانی محیط زیست تبدیل شده است (۱۳۴)، در معرض قرار گرفتن مداوم موجودات دریایی با غلظت این دسته از فلزات، ممکن است باعث تجمع زیستی و سپس انتقال به انسان از طریق زنجیره غذایی شود (۹۹). مضافا این‌که عوامل محیطی مانند pH، شوری آب، اکسیژن محلول در آب، درجه حرارت و نیز عوامل اکولوژیکی مانند جنسیت، اندازه و عادت غذایی، نقش‌های مهمی در تجمع این فلزات سنگین در موجودات زنده آبی دارند (۱۴، ۲۹، ۳۰، ۱۲۲). از آن‌جا که محصولات دریایی نقش اساسی در امنیت غذایی و تغذیه میلیاردها نفر دارند و سنگ بنای معیشت، اقتصاد و فرهنگ بسیاری از جوامع ساحلی و فرا ساحلی محسوب می‌گردند (۱۲۱)، لذا آلودگی غذاهای دریایی به فلزات سنگین به‌علت پایداری آن‌ها، عدم تجزیه‌پذیری و ماندگاری طولانی مدت در زنجیره غذایی، تجمع زیستی در بافت‌های آلی و خطر آلودگی غیر مستقیم به فلز از طریق تغذیه؛ یک نگرانی جدی جهانی قلمداد می‌شود (۶۶، ۷۵). اما از بین آبزیان گوناگون، ماهی‌ها نقش مهم‌تری در تامین پروتئین مصرفی انسانی دارند، این آبزیان سرشار از اسیدهای چرب غیراشباع امگا ۳، مواد معدنی ضروری و عناصر کمیاب و همچنین منبع غنی‌تری از ویتامین‌های ضروری نسبت به اکثر گوشت‌های جانوران خشکی‌زی می‌باشند (۱۱۵). این گونه‌های دریایی اغلب در حلقه‌های بالای زنجیره غذایی هستند و ممکن است مقدار زیادی از این فلزات را از محیط دریافت کنند. این فلزات از طریق اندام‌های مختلف ماهی جذب می‌شوند و تجمع می‌یابند. تجمع فلزات سنگین توسط ماهیان می‌تواند منجر به جذب مقادیر بالایی از فلزات توسط مصرف-کنندگان انسانی شود که در نهایت منجر به صدمات

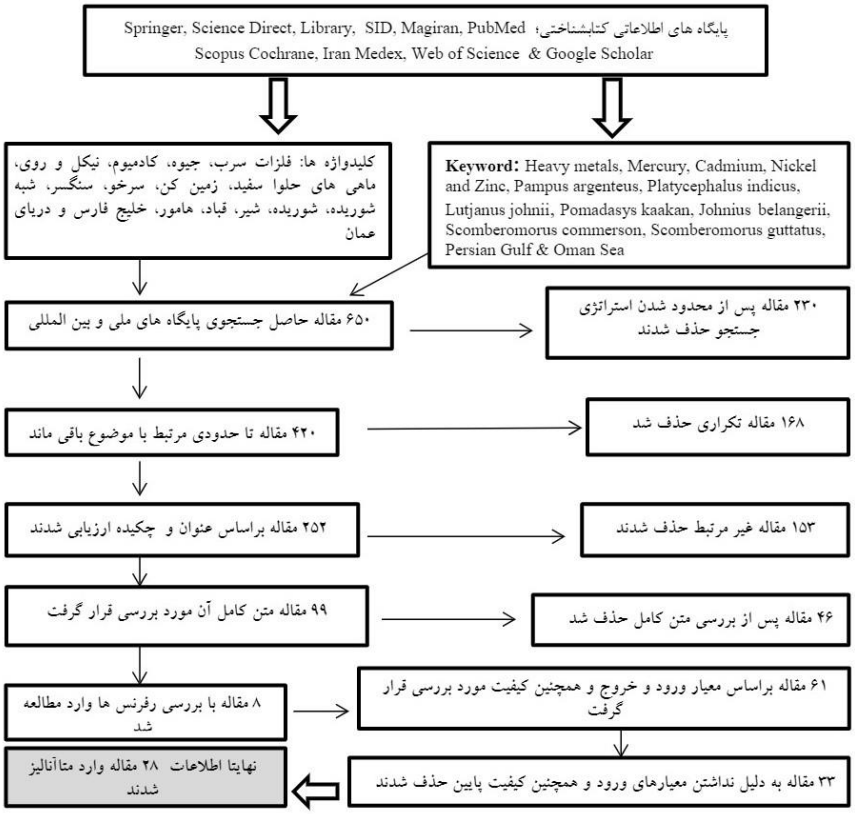
متعددی گردد (۳٤، ۸٤). از سویی دیگر خلیج فارس نیز که یک دریای نیمه بسته و کم عمق می‌باشد؛ وضعیت گردش و چرخش کند آب در آن از یک طرف و قرار گرفتن در معرض آلودگی‌های با منشا انسانی مانند تخلیه شدید فاضلاب و پسماندهای صنعتی و غیره از طرفی دیگر؛ محیط زیست آن را به یک مخزن طبیعی برای آلاینده‌ها تبدیل کرده است. به همین دلیل خلیج فارس به‌عنوان یک اکوسیستم دریایی تحت فشار و یک زیست‌بوم نادر تلقی می‌گردد که این آلاینده‌ها باعث رسوب انواع مختلف فلزات سنگین در عضلات حیوانات دریایی به‌ویژه گونه‌های مختلف ماهیان شده است. همچنین خلیج‌فارس به‌شدت تحت تأثیر تغییرات دمایی بوده و از این نقطه نظر با بسیاری از دریاهای حاره‌ای متفاوت است (۲، ۵، ۳۵، ۵۹، ۸٦، ۱۳٦). مضافا این‌که دریای عمان نیز از این قاعده مستثنی نبوده و همواره در معرض آلودگی‌های ناشی از فلزات سنگین، مواد شیمیایی، میکروپلاستیک‌ها، عوامل انسانی و ... قرار دارد (۳). با توجه به مطالب بیان شده و با توجه به اثرات مضر تجمع فلزات سنگین در آبزیان و افزایش مصرف آن‌ها در رژیم غذایی مردم؛ بررسی آلاینده‌های موجود در آن‌ها و شناسایی آلوده‌ترین گونه‌ها، علاوه بر ارزیابی خطر، برای ارتقای سلامت عمومی مصرف‌کنندگان هم موضوعی اساسی، ضروری و مهم تلقی می‌گردد. همچنین انجام این‌گونه مطالعات می‌تواند کمک شایانی به نهادهای نظارتی حوزه غذا و دارو در جهت مدیریت و اتخاذ تصمیمات مناسب غذایی و بهداشتی نماید. علاوه بر این، می‌تواند به‌عنوان راهنمای عملی برای سازمان‌های حفاظت محیط زیست دریایی در جهت برنامه‌ریزی مکفی‌تر به‌منظور نظارت، پایش و کنترل آلودگی‌ها قلمداد شود. البته در این زمینه مطالعات متعددی درباره اکوسیستم‌های آبی و به‌ویژه خلیج فارس و دریای عمان، به‌لحاظ توجه به اهمیت بوم شناختی آنها، به‌منظور بررسی تقسیم‌بندی عناصر، انباشت فلزات سنگین و نیز چگونگی تغییر و جذب این فلزات بر روی موجودات زنده مختلف آبزی و به‌خصوص ماهیان صورت پذیرفته است (جدول شماره ۱)؛ اما از آنجایی‌که تاکنون مطالعه‌ی جامع و مدونی در زمینه پتانسیل خطر مصرف ماهی‌های صید شده در حاشیه شمالی خلیج‌فارس و دریای عمان در راستای تجزیه و تحلیل داده‌های این مطالعات انجام نشده است؛ بنابراین هدف از انجام این پژوهش تجزیه و تحلیل و جمع‌بندی نتایج داده‌های این مطالعات در جهت بررسی میزان فلزات سنگین جیوه، روی، سرب، کادمیوم و نیکل جذب شده در گونه‌های ماهیان حلوا سفید، زمین‌کن، سرخو، سنگسر، شبه شوریده، شوریده، شیر، قباد، هامور صید شده در حاشیه شمالی خلیج فارس و دریای عمان به‌منظور ارزیابی خطر سلامتی مصرف این گونه از ماهیان، تعیین حد مجاز مصرف، مقایسه میزان وجود این فلزات در گونه‌های مورد مطالعه با استانداردهای جهانی و همچنین تخمین خطرات غیر سرطانی در مصرف کنندگان کودک و بزرگسال به روش مرور نظام مند و فراتحلیل بوده است. انتخاب فلزات مورد مطالعه به‌علت پراکنش زیاد در منطقه مورد مطالعه و نیز اهمیت و خطراتی که از نظر تغذیه‌ای برای انسان‌ها دارند، بود.

روش گردآوری اطلاعات

این تحقیق یک مطالعه مروری فراتحلیل می‌باشد که به تعیین ارزیابی خطرات و حد مجاز مصرف ماهی‌های حلوا سفید، زمین‌کن، سرخو، سنگسر، شبه‌شوریده، شوریده، شیر، قباد و هامور صید شده در سواحل شمالی خلیج‌فارس و دریای عمان از نظر عناصر جیوه، روی، سرب، کادمیوم و نیکل می‌پردازد. جستجوی پایگاه‌های اطلاعاتی در محدوده زمانی سال ۱۳۸٤ تا ۱۳۹۷ (۲۰۰٦ تا ۲۰۱۸ میلادی) انجام گرفت. زبان

مدنظر مقالات نگارش شده؛ فارسی و انگلیسی بود. برای جستجو با استفاده از اینترنت، پایگاه‌های اطلاعاتی Magiran، SID، Springer، Science Direct، Iran Medex، Web of Science، Cochrane Library، PubMed و Scopus و موتور جستجوگر Google Scholar با استفاده از کلید واژه‌های فارسی؛ فلزات سنگین، جیوه، روی، سرب، کادمیوم، نیکل، ماهی حلوا سفید، ماهی زمین‌کن، ماهی سرخو، ماهی سنگسر، ماهی شبه‌شوریده، ماهی شوریده، ماهی شیر، ماهی قباد و ماهی هامور، خلیج فارس و دریای عمان و کلید واژه‌های انگلیسی heavy metals، mercury، zinc، lead، cadmium، nickel، White pomfret، Flathead، *Blacrskspot snapper*، *Stripped piggy*، *Tigertooth croaker*، *Belanger's croaker*، *Narrowbarred longat mackerel*، *Indo-Pacific king mackerel*، *Pampus argenteus*، *Platycephalus indicus*، *Lutjanus johnii*، *Pomadasys kaakan*، *Johnius belangerii*، *Scomberomorus commerson*، *Scomberomorus guttatus* و Persian Gulf and Oman Sea بررسی شدند. برای افزایش حساسیت در دسترسی به سایر مطالعات مرتبط، رفرنس‌های مقالات مرتبط نیز مورد ارزیابی قرار گرفت (نمودار ۱).

بررسی و انتخاب مطالعات: چکیده و سپس متن کامل مقالات حاصل از جستجوی پایگاه‌های اطلاعاتی و موتور جستجوگر استخراج شدند. جهت بررسی بیشتر مطالعات جمع‌آوری شده، اطلاعات کلیه مقالات وارد نرم افزار Endnote ویرایش X5 گردید. همچنین جدولی در نرم‌افزار اکسل از مجموعه آفیس ۲۰۱۰ طراحی گردید و اطلاعات مقالات نیز وارد نمونبرگ مذکور شد. با استفاده از این فرم موارد تکراری حذف گردید. سپس با بررسی عنوان، چکیده و متن کامل مقالات غیر مرتبط حذف و مقالات مرتبط انتخاب شدند. در این مطالعه، به‌منظور پیشگیری از تورش ناشی از چاپ مجدد، بررسی یافته‌ها برای شناسایی و حذف پژوهش‌های تکراری انجام پذیرفت. پس از تعیین مطالعات مرتبط، به‌منظور ارزیابی کیفیت مطالعات یادشده؛ بر اساس دستورالعمل پریزما و محتوای سیاهه‌ی آن اقدام گردید (۷، ٤١، ٨٨).



نمودار ۱- فرآیند مراحل جمع‌آوری اطلاعات مربوط به عناصر جیوه، روی، سرب، کادمیوم و نیکل در ماهیان مورد مطالعه

معیارهای ورود و خروج به مطالعه: مطالعاتی که به بررسی وضعیت عناصر جیوه، روی، سرب، کادمیوم و نیکل در ماهیان حلوا سفید، زمین‌کن، سرخو، سنگسر، شبه‌شوریده، شوریده، شیر، قباد و هامور صیدشده در حاشیه شمالی خلیج فارس و دریای عمان پرداختند، پس از مراحل ارزیابی و کسب امتیاز لازم وارد مطالعه فراتحلیل شدند. همچنین در این بررسی، مطالعاتی که از نوع گزارش موردی بودند، مطالعات مروری، خلاصه مقالات ارائه شده در کنگره‌ها، مطالعاتی که براساس چک لیست ارزیابی کیفیت نمره کمتر از ۸ را کسب نموده بودند، مطالعاتی که چکیده و متن کامل آن دردسترس نبود، مطالعات با مکان نمونه‌برداری نامعلوم، مطالعاتی که نمونه‌برداری در یک زمان و در یک مکان انجام شده بود و مطالعاتی که داده‌ها در آن به روشنی بیان نشده بودند، از فهرست یافته‌ها حذف شدند.

استخراج داده‌ها: داده‌های مطالعات دارای معیارهای ورود، براساس عنوان مقاله، نام نویسنده نفر اول، سال انتشار، زبان انتشار مطالعه، روش مطالعه، محل نمونه-برداری، نام گونه مورد مطالعه، معیار اندازه‌گیری، حجم نمونه، میانگین و انحراف معیار فلزات سنگین جیوه، روی، سرب، کادمیوم و نیکل در عضله؛ استخراج و در جدولی در محیط نرم‌افزاری اکسلی که از پیش طراحی شده بود، وارد گردید. سپس داده‌ها طبقه‌بندی و تحلیل کمی -کیفی شدند (جدول شماره ۱). در ضمن برای یکی از مطالعات که فاقد انحراف معیار بود، انحراف معیار به‌دست آورده شد. تمام اندازه‌ها بر اساس وزن تر یکسان‌سازی و محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری: برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، از روش‌های استاندارد توصیه شده برای متاآنالیز ادغام میانگین استفاده گردید. جهت انجام فراتحلیل از نرم-افزار CMA (Comprehensive meta-analysis)

ویرایش ۲ استفاده شد (۳۹، ۷۹). برای هر مطالعه، یک فاصله اطمینان ۹۵ درصد محاسبه گردید و از یک مدل با تأثیرات تصادفی برای برآورد میانگین کل و دیگر پارامترها استفاده شد. جهت بررسی گزارش نتایج از نمودار Forest plot ، همچنین با توجه به اهمیت سوگیری در انتشار مطالعات متاآنالیز، ارزیابی سوگیری با کمک آزمون Egger صورت پذیرفت. جهت بررسی وضعیت سوگیری انتشار از نمودار قیفی plot Funnel استفاده شد. برای بررسی همگنی اندازه تأثیر به‌دست آمده از مطالعات گوناگون از آزمون‌های Q و I^2 استفاده شد. پس از آنالیز آماری داده‌ها، Random model جهت گزارش نتایج نهایی به‌کار برده شد. در این پژوهش همچنین از نرم افزار spss ویرایش ۲۵ نیز استفاده گردیده است.

روش انجام آزمایش‌ها: روش انجام آزمایش‌ها جهت تعیین میزان عناصر جیوه، روی، سرب، کادمیوم و نیکل در مطالعات انجام شده، به‌طور خلاصه به‌صورتی که در ادامه آمده است، بود: ابتدا ماهی‌ها با آب دیونیزه شستشو داده شدند. بافت عضله ماهی‌ها پس از جداسازی، خشک شده و به صورت پودر در آمدند. سپس نمونه‌های پودر شده با استفاده از اسید نیتریک غلیظ هضم اسیدی شدند. سوسپانسیون حاصل با کاغذ صافی، صاف و به‌وسیله آب دیونیزه به حجم مورد نیاز رسانده شدند. در نهایت مقدار فلزات موجود در بافت عضله ماهی‌ها با دستگاه جذب اتمی تعیین شد.

روش تبدیل وزن خشک به وزن تر: از آن جایی که ماهی به صورت وزن تر مورد استفاده قرار می‌گیرد و همچنین مطابق مطالعات FAO، حدود ۸۰ درصد وزن بدن ماهی‌ها را رطوبت تشکیل می‌دهد؛ بدین‌منظور در مطالعاتی که میزان فلز مورد مطالعه در عضله ماهی براساس وزن خشک گزارش شده بود، برای محاسبه فاکتور تصحیح وزن خشک به وزن تر از رابطه فاکتور تصحیح (۰/۲) استفاده شد (رابطه ۱) (۸۰، ۱۲۵).

رابطه ۱: CF = ۱- (۱۰۰/ میزان رطوبت عضله ماهی)

برآورد سیبل خطر هدف (THQ): روش به‌کار رفته برای محاسبه THQ (۱۲٤)؛ بر اساس روش پیشنهادی آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا بود و براساس رابطه ۲ انجام گرفت. برای این منظور مواردی که در ادامه آورده شده است، به‌عنوان پیش فرض در نظر گرفته شد: میزان فلز وارد شده، برابر با میزان جذب شده آن در بدن می‌باشد (۱۲۵)؛ پخت و پز اثری را روی آلاینده‌ها ندارد (۲۳)؛ متوسط عمر ایرانیان ۷۲ سال و متوسط وزن افراد بالغ ۷۰ کیلوگرم در نظر گرفته شد (٦٥). به‌دلیل تعریف نشدن RfDo برای فلز توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، از میزان PTDI (میزان موقت جذب روزانه قابل قبول) پیشنهاد شده برای فلز سرب توسط متخصصان افزودنی‌های مواد غذایی کمیته مشترک سازمان بهداشت جهانی و سازمان خوار و بار جهانی (JECFA) استفاده شد (۱۳۰). رابطه ۲:

$$THQ = (EF \times ED \times MS \times C)/(RfDo \times BW \times AT) \times 10^{-3}$$

که در این رابطه EF بسامد در معرض قرارگیری (۳٦٥ روز در سال)؛ ED میزان در معرض قرارگیری (۷۲ سال)؛ MS نرخ مصرف روزانه ماهی (۳۲/۵۷ گرم در روز بر اساس استاندارد EPA) (۱۱۱)؛ C میزان فلز در ماده غذایی مورد مطالعه (میکروگرم/گرم)؛ RfDo دوز مرجع از راه دهان (به ترتیب میزان‌های؛ ۰/۰۰۰۱، ۰/۳، ۰/۰۰٤، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۲ میکروگرم/گرم برای فلزات جیوه، روی، سرب، کادمیوم و نیکل) (۱۸، ۷۳، ۱۱۱)؛ BW میانگین وزن افراد بالغ (۷۰ کیلوگرم)؛ AT زمان در معرض قرارگیری در برابر فلزات (۳٦٥ روز در سال × تعداد سال‌های در معرض قرارگیری) است (۱۱۱). همچنین در این مطالعه شاخص خطرپذیری کل (HI) از رابطه ۳ به‌دست آمد (۲۱):

$$\text{Hazard Index (HI)} = \sum_{N=1}^{n} THQ_n$$

محاسبه جذب روزانه و هفتگی: برای محاسبه برآورد میزان جذب روزانه و هفتگی فلزات توسط افراد مصرف‌کننده از رابطه‌های ٤ و ٥ استفاده گردید:

$EDI = C \times MSD / BW$, $EWI = C \times MSW / BW$

در این رابطه نیز EDI میزان جذب روزانه فلزات توسط بدن؛ EWI میزان جذب هفتگی فلزات توسط بدن؛ C میزان غلظت فلز مورد مطالعه در بافت ماهی؛ MSD میزان مصرف ماهی برحسب گرم در روز؛ BW وزن بدن مصرف‌کننده برحسب کیلوگرم (معمولا برای افراد بزرگسال ۷۰ کیلوگرم و برای کودکان ١٤/٥ کیلوگرم در نظر گرفته می‌شود)؛ MSW میزان مصرف غذا برحسب گرم در هفته است (۱۲، ٤٤، ٤٩، ۷۱، ۱۱۰، ١٢٤).

تعیین حد مجاز مصرف ماهی: برای محاسبه تعیین حدمجاز مصرف ماهی در روز از رابطه ۶ استفاده شد:

$CRl_{im} = RfDo \times BW / C_m$

CRl_{im} = حد مجاز مصرف ماهی بر حسب کیلوگرم در روز بر اساس روش پیشنهادی آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا؛ RfDo = دز مرجع (میکروگرم بر گرم وزن بدن در روز) و C_m = میزان فلز در بافت ماهی برحسب میکروگرم/گرم. برای محاسبه تعیین حد مجاز مصرف ماهی در ماه از رابطه (۷) استفاده گردید:

$CR_{mm} = CRl_{im} \times T_{ap} / MS$ که CR_{mm} = حداکثر میزان مجاز مصرف ماهی (وعده در ماه)؛ CRl_{im} = حد مجاز مصرف ماهی (کیلوگرم در روز)؛ MS = میزان مصرف ماهی در هر وعده (۰/۲۲۷ کیلوگرم) و T_{ap} = تعداد روزهای هر ماه ۳۰/٤٤ روز (در ماه) (١٢٦).

جدول ۱- مقالات مورد استفاده برای تعیین غلظت عناصر جیوه، روی، سرب، کادمیوم و نیکل در ماهیان مورد مطالعه در سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان

گونه ماهی	عنصر	محل نمونه‌برداری	حجم مورد مطالعه	سال انتشار	منبع
سرخو و شوریده	سرب، کادمیوم، نیکل و جیوه	خلیج فارس	۷۰	۲۰۱۰	(۸۳)
شوریده	کادمیوم، سرب و روی	دریای عمان	۸۰	۲۰۱۳	(۱۰۲)
شوریده و حلوا سفید	سرب، کادمیوم و نیکل	خلیج فارس	٦٠	۲۰۱۳	(٥٥)
شوریده	جیوه، سرب و کادمیوم	خلیج فارس	٤٢	۲۰۱۲	(۹)
شوریده	جیوه، سرب و کادمیوم	خلیج فارس	٤٢	۲۰۱٦	(٦٠)
قباد	نیکل، کادمیوم و سرب	خلیج فارس	۲۰	۲۰۱۲	(۹٤)
شیر	سرب، روی و کادمیوم	خلیج فارس	۲٥	۲۰۱٥	(۹۲)
سنگسر	سرب و کادمیوم	خلیج فارس	۳۰	۲۰۱۷	(۹۳)
شیر و قباد	سرب و روی	خلیج فارس	٤٠	۲۰۱۰	(۸۲)
هامور	نیکل، سرب و کادمیوم	خلیج فارس	۳۰	۲۰۰۹	(٤٢)
شوریده و سرخو	سرب، کادمیوم و نیکل	خلیج فارس	٦٠	۲۰۰٦	(۱۰۱)
شوریده	جیوه، کادمیوم و سرب	خلیج فارس	۱۸	۲۰۱۱	(٥٤)
شوریده	سرب، نیکل و جیوه	خلیج فارس	۳۰	۲۰۱٦	(۲٥)
قباد و شوریده	سرب، روی، کادمیوم و نیکل	خلیج فارس	١٤	۲۰۱٥	(۸٥)
شوریده	جیوه، کادمیوم و سرب	خلیج فارس	۳٦	۲۰۱۱	(۹۸)
شیر و شوریده	سرب، کادمیوم و جیوه	خلیج فارس	۲۰	۲۰۱٤	(٤۸)
شیر، حلوا سفید و شوریده	کادمیوم، سرب و روی	خلیج فارس	۹۰	۲۰۱۸	(٤۷)
حلوا سفید و زمین‌کن	نیکل، کادمیوم و سرب	خلیج فارس	۱۰۸	۲۰۱٤	(٦۷)
شبه شوریده	کادمیوم، نیکل، سرب و روی	خلیج فارس	۲۰	۲۰۱۳	(۱)
شوریده	سرب، کادمیوم و نیکل	خلیج فارس	۳۰	۲۰۱٥	(۹٦)
سنگسر	نیکل و کادمیوم	خلیج فارس	۲۰	۲۰۱۷	(۸۱)
زمین‌کن، هامور و شیر	سرب، کادمیوم و روی	خلیج فارس	۱۸	۲۰۱۱	(۱۰۳)
سنگسر	روی	خلیج فارس	٤٠	۲۰۱۸	(۳۸)
شوریده	کادمیوم، سرب و جیوه	خلیج فارس	۱۸	۲۰۱۱	(۸۷)
شبه شوریده	کادمیوم، نیکل و سرب	خلیج فارس	۱۰۰	۲۰۱۱	(۹۷)

شوریده	کادمیوم، سرب، روی و نیکل	خلیج فارس	۳۰	۲۰۱۳	(۵۶)
شوریده	سرب، نیکل، جیوه و کادمیوم	خلیج فارس	۳۱	۲۰۱۴	(۷۶)
حلوا سفید، سنگسر، سرخو و هامور، زمین‌کن	سرب، کادمیوم و روی	خلیج فارس	۶۰	۲۰۱۷	(۲۷)

جدول ۲- میزان‌های مجاز جذب قابل تحمل روزانه و هفتگی ارائه شده توسط JECFA و EPA

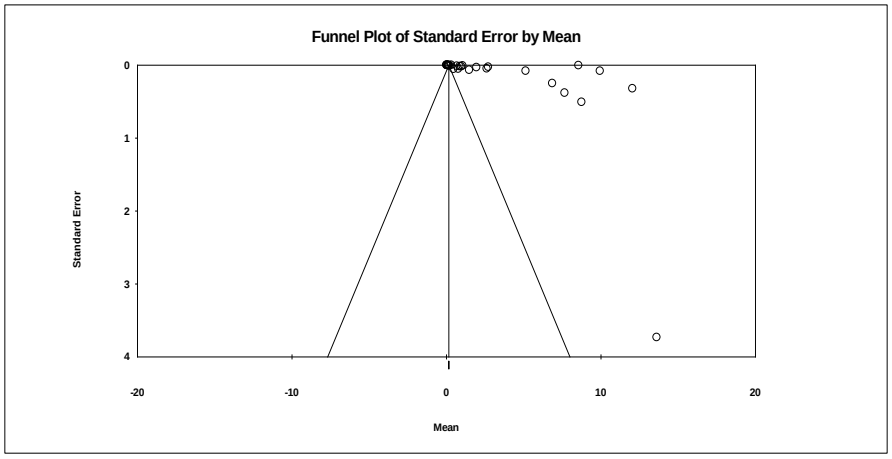
فلز	PTWI[a]	PTWI[b]	PTDI[c]
سرب	۲۵	۱۷۵۰	۲۵۰
جیوه	۵	۳۵۰	۵۰
کادمیوم	۷	۴۹۰	۷۰
نیکل	۳۵	۲۴۵۰	۳۵۰
روی	۷۰۰۰	۴۹۰۰۰۰	۷۰۰۰۰

a. میزان جذب مجاز قابل تحمل موقت هفتگی (PTWI) برحسب میکروگرم در هفته به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن.
b. PTWI میزان جذب مجاز قابل تحمل موقت هفتگی برحسب میکروگرم در هفته برای افراد بالغ با وزن متوسط ۷۰ کیلوگرم
c. میزان جذب مجاز قابل تحمل روزانه موقت (PTDI) برحسب میکروگرم در روز برای یک فرد ۷۰ کیلوگرمی.

نتایج

در مراحل جستجوی مطالعات ۶۵۰ مطالعه به‌دست آمد که از این میان تعداد ۶۲۲ مقاله پس از بررسی‌های لازم از مطالعه حاضر حذف و در نهایت ۲۸ پژوهش با حجم نمونه ۱۱۸۲ قطعه ماهی مورد ارزیابی قرار گرفتند. داده‌های استخراج شده وارد نرم‌افزار آماری CMA2 گردید، در ابتدا برای بررسی از نظر سوگیری انتشار برای کلیه داده‌ها، نمودار قیفی ترسیم گردید. با توجه به نمای نمودار قیفی، سوگیری انتشار در مراحل جستجو و گزینش مطالعات در حد قابل قبول بود (نمودار ۲). نمودار ۲ نشان می‌دهد که مطالعات در سراسر آن پراکنده شده است و حتی در قسمت پایین قیف نیز توزیع شده‌اند که نمایانگر این موضوع است که مطالعات با اندازه کوچک نیز مورد غفلت قرار نگرفته است. همچنین برای مشخص نمودن میزان اندازه اثرات مطالعات گمشده، از روش چینش و تکمیل دووال و توئیدی استفاده شد (جدول ۳). جدول ۳ بیان می‌کند که در بررسی مدل اثرات ثابت در قسمت چپ نمودار، ۱۲ مطالعه و در بررسی مدل اثرات تصادفی، ۰ مطالعه در سمت راست نمودار، مورد غفلت قرار گرفته است. همچنین در این مطالعه از نتایج آزمون همبستگی رتبه‌ای بگ و مزومدر که همبستگی رتبه‌ای (تاو کندال) بین اندازه اثر استاندارد و خطای استاندارد را گزارش می‌کند، استفاده شد؛ در این مطالعه، تاو کندال بی برابر با ۰/۲۴۱ با مقدار p یک دامنه ۰/۰۶ و یا دو دامنه ۰/۰۷ بود. در این‌جا، تاو مثبت گزارش شده است که نشان دهنده اندازه اثرات بزرگ‌تر و خطای استاندارد کمتر می‌باشد و از طرفی هم مقدار p معنی‌دار نمی‌باشد. با توجه به اطلاعات مذکور، می‌توان نتیجه گرفت که در نمودار قیفی یادشده، تقارن و عدم سوگیری انتشار وجود دارد. همچنین روش خطی اِگر می‌تواند سوگیری موجود در نمودار قیفی را بررسی نماید. نتایج آزمون اِگر، برش (B0) برابر با ۸۷/۰۶، فاصله اطمینان ۹۵٪ برابر با (۲۲۲/۶۵، ۴۸/۵۳-)، T= ۱/۳۲، df = ۲۶، مقدار p یک دامنه ۰/۱ و دو دامنه برابر با ۰/۲ است. در این آزمون نیز به علت این که مقدار p معنی‌دار نمی‌باشد؛ نمایانگر عدم وجود سوگیری در انتشار است. همچنین نتایج فراتحلیل برای آزمون‌های ناهمگونی، نشان می‌دهد که مقدار Q = ۲۸۲۶۳۲۰/۰۷ با درجه آزادی ۲۷ در سطح معنی‌داری قرار دارد. هر زمان نتیجه آزمون Q معنی‌دار شد، فرض ناهمگونی مطالعات در فراتحلیل تایید می‌شود. در ضمن برای غلبه بر ضعف‌های آزمون Q از آزمون I^2 استفاده گردید. در اینجا مقدار آزمون مذکور معادل ۹۹/۹۹۹

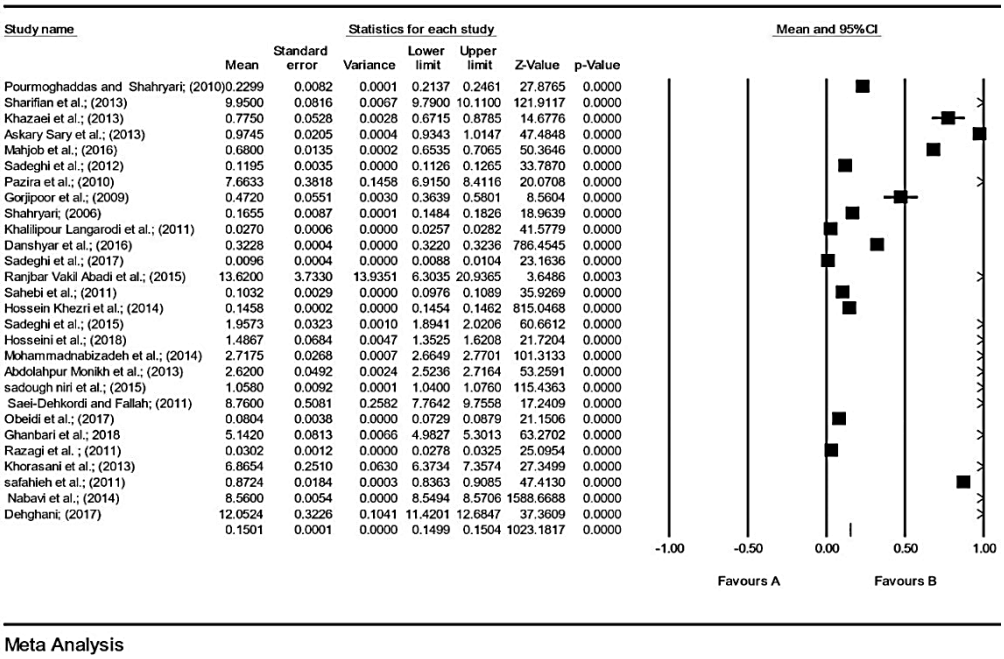
است و با توجه به معیار تفسیر هیگینز و تامپسون ناهمگونی این مطالعات در حد زیاد می‌باشد؛ هنگامی که مطالعات موجود در فراتحلیل از نظر ویژگی‌های مختلف ناهمگون باشند، می‌بایست از مدل اثرات تصادفی برای تفسیر اندازه اثر ترکیبی استفاده گردد. در مطالعه حاضر نیز می‌توان نتیجه گرفت که اندازه اثرات تصادفی میزان فلزات سنگین در ماهیان مورد مطالعه معادل ۲/۲۱ و با ۹۵ درصد اطمینان در بازده ۲/۰۸ تا ۲/۳۵ قرار دارد (جدول ٤). تفسیر این اندازه اثر با توجه جدول توزیع طبقات اندازه اثر کوهن بر مبنای برآورد آماره‌ها، شدت آن در حد متوسط قرار دارد. همچنین، نمودار جنگلی برازش مدل با تأثیرات تصادفی در نمودار ٤ آورده شده است، در این نمودار، فاصله اطمینان نشان‌دهنده دقت برآورد است. اضافه می‌گردد که در این مطالعه، بیشترین تجمع (برحسب میکروگرم بر گرم) جیوه در ماهی شوریده صید شده در سواحل بندر ماهشهر (۰/۰۳٦ ± ۰/٤٦) و کمترین آن در ماهی شوریده صید شده در منطقه خورموسی (۰/۰۰۰٦ ± ۰/۰۰۹۹)، بیشترین تجمع روی در ماهی زمین‌کن صید شده در تالاب بین‌المللی خورخوان (۳۷/۷۱ ± ۱۷٦/۵) و کمترین آن در ماهی حلوا سفید صید شده در سواحل بوشهر (۰/۹۸ ± ۲/۵)، بیشترین تجمع سرب در ماهی شوریده صید شده در سواحل بندر جاسک (۰/۰۹ ± ۱/۲۵) و کمترین آن در ماهی شوریده در سواحل بندرعباس (۰/۰۰۲ ± ۰/۰۱۱)، بیشترین تجمع کادمیوم در ماهی شبه‌شوریده صید شده در خورموسی (۰/۷ ± ۳/۹۹) و کمترین آن در ماهی شوریده صید شده در سواحل بندرعباس (۰/۰۰۱ ± ۰/۰۰٤) و همچنین بیشترین تجمع نیکل در ماهی شوریده صید شده در سواحل خوزستان (٤۱/٤۳±۰/۰۸) و کمترین آن در ماهی قباد صید شده در سواحل بندرعباس (۰/۰٤۹ ± ۰/۲٦۷) مشاهده شد. در مطالعه حاضر، تخمین THQ و HI برای بالغین از نظر فلزات جیوه، روی، سرب، کادمیوم و نیکل در همه گونه‌های ماهی مورد مطالعه کمتر از یک به‌دست آمد. همچنین فقط شاخص HI برای کودکان در ماهی شیر بالاتر از یک و برای سایر گونه‌های ماهی در شاخص‌های THQ وHI کمتر از یک گزارش گردید (جدول ۵). جدول ٦ محاسبات مربوط به میزان جذب روزانه و هفتگی فلزات جیوه، روی، سرب، کادمیوم و نیکل، برای کودکان و یک انسان بالغ به‌منظور ارزیابی وجود خطر در مصرف ماهی‌های حلوا سفید، زمین‌کن، سرخو، سنگسر، شبه شوریده، شوریده، شیر، قباد و هامور را نشان می‌دهد. حداکثر میزان حد مجاز (کیلوگرم در روز) و نرخ مجاز (وعده در ماه) برای کودکان و بالغین نیز در جدول ۷ نشان داده شده است. در نهایت میانگین میزان فلزات جیوه، روی، سرب، کادمیوم و نیکل در ماهیان مورد مطالعه با استانداردهای جهانی و نیز استاندارد کشورهای مختلف مورد مقایسه قرار گرفت (جدول ۸).



نمودار ۲- نمودار قیفی نتایج مربوط به برآورد میانگین میزان وجود فلزات مورد مطالعه در گونه‌های مورد بررسی صید شده در سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان با استفاده از مدل تصادفی

جدول ۳- خروجی روش چینش و تکمیل دووال و توئیدی اندازه اثرات برای بررسی میزان مطالعات گمشده

سمت	مدل اثرات	تعداد مطالعات مورد غفلت قرارگرفته	اندازه اثر مشاهده شده	اندازه اثر محاسبه شده
چپ	ثابت	۱۲	۰/۱۵	۰/۱٤
راست		۰	۰/۱۵	۰/۱۵
چپ	تصادفی	۰	۰/۱۵	۰/۱۵
راست		۰	۰/۱۵	۰/۱۵



نمودار ۳- نمودار Forest plot برآورد میانگین میزان فلزات سنگین در گونه‌های مورد بررسی صید شده در سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان با استفاده از مدل اثرات تصادفی؛ در این نمودار برآورد نقطه‌ای در وسط پاره خطی است که یک فاصله اطمینان ۹۵ درصد را برای میانگین نشان می‌دهد؛ علامت لوزی انتهای نمودار نیز، نشان‌دهنده میانگین ادغام شده می‌باشد.

جدول ٤- بررسی میزان برخی از فلزات سنگین در برخی از ماهی‌های مورد مطالعه برای تحلیل متغیرهای تعدیل‌گر

آماره/متغیر مستقل	تعداد مطالعه	حجم نمونه	مدل اثرات	اثرات ترکیبی	خطای استاندارد	واریانس اثرات	فاصله اطمینان اثرات	نمره استاندارد شده اثرات	p
میزان فلزات	۲۸	۱۱۸۲	ثابت	۰/۱۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	(۰/۱۵ —۰/۱۵)	۱۰۲۳/۱۸	۰/۰۰۰
			تصادفی	۲/۲۱٤	۰/۰٦۹	۰/۰۰۵	(۲/۰۸ —۲/۳۵)	۳۱/۹۵	۰/۰۰۰

جدول ۵- جدول تخمین پتانسیل خطرپذیری (THQ) و مجموع خطرات (HI) فلزات سنگین در بافت گونه‌های مورد مطالعه

فلز	خطرپذیری غیر سرطانی (THQ)										مجموع خطرات (HI)	
	جیوه		روی		سرب		کادمیوم		نیکل			
گونه	بالغین	کودکان	بالغین	کودکان	بالغین	کودکان	بالغین	کودکان	بالغین	کودکان	بالغین	کودکان
حلوا سفید	–	–	۰/۰۰۵	۰/۰۱۲	۰/۰۲۵	۰/۰٦۲	۰/۰۹۱	۰/۲۰۲	۰/۰۲۷	۰/۰۵۹	۰/۱۵	۰/۳٤
زمین کن	–	–	۰/۰۳٤	۰/۰۸۳	۰/۰٤٦	۰/۱۱۲	۰/۰۱٤٤	۰/۳٤۷	۰/۰٦۲	۰/۱۵۱	۰/۲۹	۰/٦۹
سرخو	۰/۲۰۸	۰/۵۰۳	۰/۰۰٦	۰/۰۱۵	۰/۰۰۹	۰/۰۲۳	۰/۰۱٤	۰/۰۳٤	۰/۰۱۵	۰/۰۳٦	۰/۲۵	۰/٦۱
سنگسر	–	–	۰/۰۰۸	۰/۰۱۹	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۵	۰/۰۱۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۲	۰/۰٤
شبه شوریده	–	–	۰/۰۰۲	۰/۰۰٤	۰/۰۴۹	۰/۱۱۸	۰/۰۹۸	۰/۲٤	۰/۰۰۹	۰/۰۲۳	۰/۱٦	۰/۳۸
شوریده	۰/۱۸۲	۰/٤٤۱	۰/۰۰۹	۰/۰۲۱	۰/۰۲۵	۰/۰٦	۰/۰۲۳	۰/۰۵٦	۰/۰۳	۰/۰۷۳	۰/۲۷	۰/٦۵
شیر	۰/۳۸۵	۰/۹۳۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰٦	۰/۰۳۹	۰/۰۹۵	۰/۰۳۷	۰/۰۸۹	–	–	۰/٤٦	۱/۱۲
قباد	–	–	۰/۰۱۵	۰/۰۳٦	۰/۰۰۸	۰/۰۱۹	۰/۰۵۱	۰/۱۲۲	۰/۰۰۵	۰/۰۱۱	۰/۰۸	۰/۱۹
هامور	–	–	۰/۰۱۱	۰/۰۲۷	۰/۰۲۸	۰/۰٦۷	۰/۰۸	۰/۱۹۲	۰/۰۰٤	۰/۰۱۱	۰/۱۲	۰/۳

جدول ٦- تخمین جذب روزانه و هفتگی فلزات سنگین در اثر مصرف ماهیان مورد مطالعه توسط افراد مصرف‌کننده بر حسب میکروگرم

فلز	سن	جیوه		روی		سرب		کادمیوم		نیکل	
گونه		روزانه	هفتگی	روزانه	هفتگی	روزانه	هفتگی	روزانه	هفتگی	روزانه	هفتگی
حلوا سفید	بالغین	–	–	۱/۵	۱۰/۵۰۳	۰/۱۰۲	۰/۷۱۷	۰/۰۸٤	۰/۵۸٦	۰/٤۸۹	۳/٤۲٦
	کودکان	–	–	۳/٦۲۳	۲۵/۳٦۲	۰/۲٤۷	۱/۷۳	۰/۲۰۲	۱/٤۱٦	۱/۱۸۲	۸/۲۷۳
زمین کن	بالغین	–	–	۱۰/۲۹۲	۷۲/۰٤۵	۰/۱۸۵	۱/۲۹۵	۰/۱٤٤	۱/۰۰۷	۱/۲٤۹	۸/۷٤۵
	کودکان	–	–	۲٤/۸۵۱	۱۷۳/۹٦	۰/٤٤۷	۳/۱۲٦	۰/۳٤۷	۲/٤۳۲	۳/۰۱٦	۲۱/۱۱٦
سرخو	بالغین	۰/۰۲۱	۰/۱٤٦	۱/۹۰۸	۱۳/۳۵٤	۰/۰۳۸	۰/۲٦۸	۰/۰۱٤	۰/۰۹۸	۰/۰۳	۰/۲۱
	کودکان	۰/۰۵	۰/۳۵۲	٤/٦۰٦	۳۲/۲٤۳	۰/۰۹۲	۰/٦٤۷	۰/۰۳٤	۰/۲۳٦	۰/۰۷۲	۰/۵۰٦
سنگسر	بالغین	–	–	۲/۳۳۲	۱٦/۳۲۷	۰/۰۱٤	۰/۰۹۸	۰/۰۰۵	۰/۰۳۳	۰/۰۲٦	۰/۱۸۵
	کودکان	–	–	۵/٦۳۲	۳۹/٤۲۳	۰/۰۳٤	۰/۲۳٦	۰/۰۱۱	۰/۰۷۸	۰/۰٦٤	۰/٤٤۷
شبه‌شوریده	بالغین	–	–	۰/۵۱۲	۳/۵۸۳	۰/۱۹۵	۱/۳٦٦	۰/۰۹۸	۰/٦۸٤	۰/۱۸۹	۱/۳۲۵
	کودکان	–	–	۱/۲۳٦	۸/٦۵۱	۰/٤۷۱	۳/۲۹۸	۰/۲۳٦	۱/٦۵۱	۰/٤۵۷	۳/۱۹۹
شوریده	بالغین	۰/۰۱۸	۰/۱۲۸	۲/٦۲٤	۱۸/۳٦۹	۰/۰۱	۰/۷۰۳	۰/۰۲۳	۰/۱٦۳	۰/٦۰٤	٤/۲۳۲
	کودکان	۰/۰٤٤	۰/۳۰۸	٦/۳۳٦	٤٤/۳۵٤	۰/۲٤۲	۱/٦۹۷	۰/۰۵٦	۰/۳۹۳	۱/٤٦۰	۱۰/۲۱۹
شیر	بالغین	۰/۰۳۹	۰/۲۷	۰/۷۷۷	۵/٤۳۹	۰/۱۵۸	۱/۱۰۷	۰/۰۳۷	۰/۲٦۱	–	–
	کودکان	۰/۰۹۳	۰/٦۵۱	۱/۸۷٦	۱۳/۱۳۳	۰/۳۸۲	۲/٦۷۳	۰/۰۸۹	۰/٦۲۹	–	–
قباد	بالغین	–	–	٤/٤۵۳	۳۱/۱٦۹	۰/۰۷۳	۰/۵۰۹	۰/۰۵۱	۰/۳۵٤	۰/۰۹٤	۰/٦۵۷
	کودکان	–	–	۱۰/۷۵۱	۷۵/۲۵۹	۰/۱۷٦	۱/۲۳	۰/۱۲۲	۰/۸۵۵	۰/۲۲۷	۱/۵۸٦
هامور	بالغین	–	–	۳/۳۷۷	۲۳/٦۳٦	۰/۱۱۱	۰/۷۷۸	۰/۰۸	۰/۵۵۸	۰/۰۰۹	۰/۰٦۱
	کودکان	–	–	۸/۱۵۳	۵۷/۰۷	۰/۲٦۹	۱/۸۸	۰/۱۹۲	۱/۳٤۷	۰/۰۲۱	۰/۱٤۸

جدول ۷- میزان حد مجاز (کیلوگرم در روز) و نرخ مجاز (وعده در ماه) مصرف ماهیان مورد مطالعه برای بالغین و کودکان

فلز	سن	جیوه		روی		سرب		کادمیوم		نیکل	
گونه		حدمجاز	نرخ‌مجاز	حدمجاز	نرخ‌مجاز	حدمجاز	نرخ‌مجاز	حدمجاز	نرخ‌مجاز	حدمجاز	نرخ‌مجاز
حلوا سفید	بالغین	–	–	٦/٥١	٨٧٣/٢	١/٢٧	١٧٠/٧	٠/٣٩	٥٢/١	١/٣٣	١٧٨/٥
	کودکان	–	–	١/٣٥	٣٦٠/٢	٠/٢٦	٧٠/٤	٠/٠٨	٢١/٥	٠/٢٨	٧٣/٦
زمین کن	بالغین	–	–	٠/٩٥	١٢٧/٣	٠/٧	٩٤/٥	٠/٢٣	٣٠/٤	٠/٥٢	٦٩/٩
	کودکان	–	–	٠/٢	٥٢/٥١	٠/١٥	٣٨/٩	٠/٠٥	١٢/٥	٠/١١	٢٨/٨
سرخو	بالغین	٠/١٦	٢٠/٩	٥/١٢	٦٨٦/٨	٣/٤	٤٥٦/٤	٢/٣٣	٣١٢/٩	٢/١٧	٢٩١/٥
	کودکان	٠/٠٣	٨/٦	١/٠٦	٢٨٣/٣	٠/٧١	١٨٨/٣	٠/٤٨	١٢٩/١	٠/٤٥	١٢٠/٢
سنگسر	بالغین	–	–	٤/١٩	٥٦١/٧	٩/٣٣	١٢٥١/٦	٧/٠	٩٣٨/٧	٢٤/٦٥	٣٣٠٥/٢
	کودکان	–	–	٠/٨٧	٢٣١/٧	١/٩٣	٥١٦/٢	١/٤٥	٣٨٧/٢	٥/١١	١٣٦٣/٣
شبه‌شوریده	بالغین	–	–	١٩/٩	٢٥٦٠/١	٠/٦٧	٨٩/٥	٠/٣٣	٤٤/٧	٣/٤٤	٤٦١/٤
	کودکان	–	–	٣/٩٥	١٠٥٥/٩	٠/١٤	٣٦/٩	٠/٠٧	١٨/٤	٠/٧١	١٩٠/٣
شوریده	بالغین	٠/١٨	٢٣/٩	٣/٧٢	٤٩٩/٣	١/٣	١٧٤/١	١/٤	١٨٧/٧	١/٠٨	١٤٤/٥
	کودکان	٠/٠٤	٩/٩	٠/٧٧	٢٠٥/٩	٠/٢٧	٧١/٨	٠/٢٩	٧٧/٤	٠/٢٢	٥٩/٦
شیر	بالغین	٠/٠٨	١١/٣	١٢/٥٧	١٦٨٦/٢	٠/٨٢	١١٠/٤	٠/٨٨	١١٧/٣	–	–
	کودکان	٠/٠٢	٤/٧	٢/٦	٦٩٥/٥	٠/١٧	٤٥/٦	٠/١٨	٤٨/٤	–	–
قباد	بالغین	–	–	٢/١٩	٢٩٤/٣	٤/٠	٥٣٦/٤	٠/٦٤	٨٦/٣	٦/٩٤	٩٣٠/٩
	کودکان	–	–	٠/٤٥	١٢١/٤	٠/٨٣	٢٢١/٢	٠/١٣	٣٥/٦	١/٤٤	٣٨٣/٩
هامور	بالغین	–	–	٢/٩	٣٨٨/١	١/١٧	١٥٧/١	٠/٤١	٥٤/٨	٧/٤٥	٩٩٨/٦
	کودکان	–	–	٠/٦	١٦٠/١	٠/٢٤	٦٤/٨	٠/٠٨	٢٢/٦	١/٥٤	٤١١/٩

جدول ۸- مقایسه میزان فلزات جیوه، روی، سرب، کادمیوم و نیکل در بافت ماهیان مورد مطالعه با استانداردهای جهانی بر حسب میکروگرم/گرم وزن تر

استانداردها/ فلز	جیوه	روی	سرب	کادمیوم	نیکل
	غلظت	غلظت	غلظت	غلظت	غلظت
سازمان بهداشت جهانی[1]	٠/٥ (٩١)	١٥٠ (٦١)	٠/٥ (٧٦)	٠/٢ (٤٤)	٠/٤ (١١٧)
کمیسیون اروپا[2]	١- ٠/٥ (٧٦)	–	١ (٧٦)	٠/٥ (٧٦)	٤٠ (٧٦)
انجمن ملی تحقیقات پزشکی و بهداشت استرالیا[3]	١ (٩١)	١٥٠ (٤٤)	١/٥ (٤٤)	٠/٠٥ (٥٦)	–
وزارت کشاورزی، شیلات و غذای انگلستان[4]	١ (٧٧)	٥٠ (٧٧)	٢ (٧٧)	٠/٢ (٧٧)	–
سازمان غذا و داروی آمریکا[5]	٠/٥ (٧٦)	٤٠ (٥١)	٥ (٧٧)	١ (٧٧)	٧٠ (٧٦)
سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد[6]	٠/٥ (٧٦)	٥٠ (٧٨)	٢ (٧٨)	٠/٥ (٧٦)	٥٥ (٧٦)
آلمان	١ (٥٦)	–	٠/٥ (٥٦)	٠/٥ (٥٦)	١ (٥٦)
نیوزیلند	–	٤٠ (٥٦)	٢ (٥٦)	١ (٥٦)	١ (٥٦)
سازمان حفاظت از محیط‌زیست آمریکا[7]	٠/٥ (٥٦)	١٥٠ (٥٦)	٤ (٥٦)	٠/٢ (٥٦)	١ (٥٦)
کنوانسیون راپمی (۱۹۹۹)[8]	١ (٧٦)	–	١/٢٨- ٠/٠١ (٧٦)	٠/٠٠١-٠/٠٧٥ (٧٦)	٠/٠١-٠/٧٥ (٧٦)
اداره ملی اقیانوسی و جوی آمریکا[9]	٠/٥ (٤٤)	١٥٠ (٧٨)	١٢٨ (٧٦)	٤ (٧٦)	٥٢ (٧٦)
حلوا سفید*	–	٣/٢٣	٠/٢٢	٠/١٨	١/٠٥
زمین کن*	–	٢٢/١٢	٠/٣٩	٠/٣١	٢/٦٩
سرخو*	٠/٠٥	٤/١	٠/٠٨	٠/٠٣	٠/٦٤
سنگسر*	–	٥/٠١	٠/٠٣	.٠/٠١	٠/٠٦
شبه شوریده*	–	١/١	٠/٤٢	٠/٢١	٠/٤١
شوریده*	٠/٠٤	٥/٦٤	٠/٢٢	٠/٠٥	١/٣
شیر*	٠/٠٨	١/٦٧	٠/٣٤	٠/٠٨	–
قباد*	–	٩/٥٧	٠/٠٧	٠/١١	٠/٢
هامور*	–	٧/٢٦	٠/٢٤	٠/١٧	٠/١٩

1. WHO, 2. EC, 3. NHMRC, 4. U.K(MAFF), 5. FDA, 6. FAO, 7. EPA, 8. ROPME (1999), 9. NOAA (2009)

*میانگین‌ها در مطالعه حاضر، با استفاده از نرم‌افزار CMA2 محاسبه شده است.

بحث

با توجه به نقش مهمی که محصولات دریایی، به‌ویژه ماهیان در سبد غذایی مردم دارند (۱۶)؛ لذا در این مطالعه به بررسی تجمع فلزات جیوه، روی، سرب، کادمیوم و نیکل در بافت عضله ماهیان حلوا سفید، زمین‌کن، سرخو، سنگسر، شبه‌شوریده، شوریده، شیر، قباد و هامور در سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان و مقایسه این میزان‌ها با استانداردهای جهانی پرداخته شده است. در این پژوهش، ۲۸ مطالعه و با حجم نمونه ۱۱۸۲ قطعه ماهی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در همین زمینه جهت به‌دست آوردن خطر ناشی از جذب و تجمع فلزات سنگین در اثر مصرف محصولات دریایی از فاکتورهای THQ وHI استفاده گردید؛ سیبل خطر هدف و شاخص خطرپذیری کل، نسبت غلظت عناصر به حداکثر غلظتی از آن عنصر و یا عناصر است که در بدن ایجاد مشکل نمی‌کنند و هنگامی که این شاخص‌ها به یک و بالاتر از یک برسند، نشان‌دهنده بالابودن احتمال خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی می‌باشد (۷۳، ۱۱۱). در این مطالعه، تخمین THQ وHI برای فلزات جیوه، روی، سرب، کادمیوم و نیکل در تمامی گونه-های مورد مطالعه (حلوا سفید، زمین‌کن، سرخو، سنگسر، شبه‌شوریده، شوریده، شیر، قباد و هامور) برای بالغین کمتر از یک به‌دست آمد که احتمالاً نشان-دهنده آن است که مصرف این آبزیان اثر مضری بر سلامت مصرف‌کنندگان آن ندارد. همچنین میزان HI برای کودکان فقط در ماهی شیر بالاتر از یک به‌دست آمد و در سایر ماهیان متوسط نسبت خطر و شاخص خطرپذیری کل، پایین‌تر از یک و سطح ایمن قابل قبول خطر گزارش گردید. در همین رابطه جیا و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای بیان داشته‌اند که مقدار THQ برای برخی از فلزات سنگین مورد مطالعه، بالاتر از حد قابل قبول در ماهیان صید شده از رودخانه شیانگ (واقع در کشور چین) بوده است (۵۰)، یا این‌که در مطالعه‌ی رومیانی و همکاران (۲۰۱۶) در محدوده‌ی رودخانه حله بوشهر، آمده است که شاخص متوسط نسبت خطر فلزات سنگین جیوه، سرب، کادمیوم در اثر مصرف ماهی توسط افراد بالغ کمتر از یک و برای کودکان بالاتر از یک محاسبه شده است که می‌تواند برای کودکان با پتانسیل خطر همراه باشد (۹۱). مقادیر THQ وHI در مطالعات کوسیج و همکاران (۲۰۱۷) (منطقه مورد مطالعه؛ استان هرمزگان) (۵۷)، فخری و همکاران (۲۰۱۸) (منطقه مورد مطالعه؛ سواحل خلیج‌فارس) (۳۲)، صادقی‌باجگیران (۲۰۱۶) (منطقه مورد مطالعه؛ جنوب شرق دریای مازندران) (۹۵) و چراغی و همکاران (۲۰۱۲) (منطقه مورد مطالعه؛ رودخانه اروند) کمتر از یک گزارش گردیده است (۱۹). در ضمن یانگ و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای به بررسی غلظت فلزات سنگین (کادمیوم، سرب، نیکل و روی) در گونه‌هایی از ماهیان پرداختند؛ مقادیر THQ و HI کمتر از یک بود و علاوه بر این مصرف روزانه تخمینی تمام فلزات نیز در محدوده قابل قبول قرار داشت (۱۳۲). قابل ذکر است که ارزش عددی به دست آمده از پتانسیل خطرپذیری نباید مستقیما برای تخمین ریسک مورد استفاده قرار گیرد. به عبارت دیگر دوز مبنا، یک خط شاهد تیزبین مصرف امن و نا امن نیست. با توجه به وجود فلزات سنگین در ماهیان مورد مطالعه، ممکن است مصرف‌کنندگان با مصرف سطح وسیع از آلودگی، به عوارض نامطلوب بهداشتی گرفتار شوند (۷۳). بنابراین حد و نرخ مجاز مصرف قابل قبول روزانه و ماهانه، بیان کننده مصرف در این ایام است که افراد می‌توانند با خاطری آسوده‌تر از این ماهیان استفاده نمایند؛ زیرا این حد و نرخ مجاز برای جلوگیری از عوارض جانبی و تاثیر بر سلامت

مصرف‌کنندگان برآورد می‌گردد. این شاخص نشان-دهنده حداکثر میزان مصرف یک فرد بالغ و کودک است که می‌تواند بدون این‌که برای وی خطراتی غیرسرطانی در پی داشته باشد، مصرف نماید. از این-رو در بخشی از مطالعه حاضر به محاسبه میزان مجاز مصرف روزانه (CR_{lim}) بر حسب کیلوگرم در روز و تعداد وعده‌های مجاز مصرف (CR_{mm}) در ماه پرداخته شده است (جدول ۷). نتایج به‌دست آمده از این مطالعه نشان داد که از نظر فلزات جیوه، روی، سرب، کادمیوم و نیکل؛ کم‌ترین میزان و وعده‌های مجاز مصرف به‌ترتیب مربوط به ماهی شیر (۰/۰۸ کیلوگرم در روز و ۱۱/۳ وعده در ماه برای بالغین و ۰/۰۲ کیلوگرم در روز و ٤/۷ وعده در ماه برای کودکان)، ماهی زمین‌کن (۰/۹۵ کیلوگرم در روز و ۱۲۷/۳ وعده در ماه برای بالغین و ۰/۲ کیلوگرم در روز و ۵۲/۵ وعده در ماه برای کودکان)، ماهی شبه-شوریده (۰/٦۷ کیلوگرم در روز و ۸۹/۵ وعده در ماه برای بالغین و ۰/۱٤ کیلوگرم در روز و ۳٦/۹ وعده در ماه برای کودکان)؛ ماهی زمین‌کن (۰/۲۳ کیلوگرم در روز و ۳۰/٤ وعده در روز برای بالغین و ۰/۰۵ کیلوگرم در روز و ۱۲/۵ وعده در ماه برای کودکان) و ماهی زمین‌کن (۰/۵۲ کیلوگرم در روز و ٦۹/۹ وعده در ماه برای بالغین و ۰/۱۱ کیلوگرم در روز و ۲۸/۸ وعده در ماه برای کودکان) بود. با توجه به موارد ذکرشده می‌توان بیان داشت، مصرف مجاز ماهی در وعده‌های غذایی به‌صورت عمومی، تفریحی و دائمی خطری را از نظر سلامتی برای انسان به‌وجود نمی-آورد. نکته بعدی این‌که برخی از فلزات سنگین می-توانند از طرق مختلف دیگری مانند؛ آب‌های آشامیدنی، استنشاق، پوست و غیرو وارد بدن شوند، لذا بهتر است مصرف این ماهی‌ها کمتر از میزان تعیین شده، در برنامه غذایی افراد قرار گیرد. از آن‌جایی که فلزات سنگین تمایل زیادی به تجمع در اندام‌های مختلف موجودات دریایی مخصوصا ماهیان دارند؛ بنابراین، این فلزات می‌توانند از طریق مصرف آبزیان وارد بدن مصرف‌کنندگان شوند و مشکلات بهداشتی را برای آنها ایجاد نمایند (۱۰۵، ۱۲٤)، در همین زمینه یکی از موارد بسیار مهم در ارزیابی خطر بالقوه مصرف، بررسی میزان جذب روزانه و هفتگی ناشی از مصرف جهت تعیین محدوده امن مصرف می‌باشد (۱۰۸) در مطالعه حاضر برای برآورد میزان خطر ناشی از مصرف روزانه و هفتگی، از روش توسعه داده شده توسط کمیته مشترک متخصصان سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد و سازمان بهداشت جهانی WHO/EPA برای مکمل‌های غذایی (JECFA) در سال ۱۹۹۳ استفاده گردید. این کمیته توصیه‌ها و استانداردهایی در زمینه حد مجاز آلاینده‌های مختلف در مواد غذایی را ارائه داده است. در واقع میزان جذب مجاز قابل تحمل موقت روزانه/ هفتگی (PTDI/ PTWI)، مقدار مرجعی می‌باشد که توسط JECFA در خصوص افزودنی‌های خوراکی تعیین شده است. این نشان‌دهنده میزان دریافت روزانه و هفتگی ایمن آلاینده‌ها می‌باشد و تخمینی از مقدار یک فلز یا آلودگی است که می‌تواند طی دوره زندگی وارد بدن مصرف‌کننده گردد و بدون ایجاد خطر در بدن وی توسط سیستم گوارش هضم شود (۱۲، ۱۰۲، ۱۱٤، ۱۳۱). اضافه می‌گردد میزان تخمینی جذب روزانه و هفتگی فلزات مورد مطالعه در اثر مصرف ماهیان مورد مطالعه در پژوهش حاضر پایین‌تر از میزان اجازه داده شده توسط متخصصان افزودنی‌های مواد غذایی کمیته مذکور بوده است. در همین رابطه مطالعات مختلفی در جهان صورت پذیرفته است که ازجمله‌ی آن‌ها می‌توان به مطالعه‌ی فالکو و همکاران (۲۰۰٦) در زمینه ورود روزانه فلزات سنگین جیوه، سرب و کادمیوم ناشی از مصرف گونه‌های دریایی خوراکی در اسپانیا به بدن گروه‌های مختلف مصرف‌کننده بزرگسال

و خردسال اشاره کرد؛ نتایج آن‌ها نشان داد که میزان ورود فلزات در تمام گروه‌ها به غیر از متیل جیوه در پسران پایین‌تر از حد مجاز تعیین شده توسط کمیته JECFA بود (۳۳)، مضافا در مطالعه دیگری میزان وجود فلزات سنگین در ماهیان با غلظت قابل قبول برای فلزات روی، نیکل و جیوه و با غلظت بالاتر از حداکثر مجاز برای فلز سرب گزارش گردید (٤). سهیمی و همکاران (۲۰۰۵) نیز به بررسی میزان ورود فلزات سنگین در برخی از آبزیان مصرفی در کشور سنگاپور پرداختند و ابراز داشتند که میزان فلزات سنگین مورد بررسی تهدیدی برای مصرف‌کنندگان در پی نخواهد داشت (۱۱۲). همچنین در تحقیق سلگی و اسفندی (۲۰۱۵) گزارش گردید که میزان جذب سرب و کادمیوم موجود در مطالعه‌ی آن‌ها، زیر حد مجاز قابل تحمل تعیین شده توسط استانداردهای جهانی می‌باشد (۱۱۱). سینکاکریمی و همکاران (۲۰۱۵) و تحسینی و همکاران (۲۰۱۸) هم میزان جذب روزانه و هفتگی فلزات مورد مطالعه در اثر مصرف آبزیان دریای خزر را پایین‌تر از میزان اجازه داده شده توسط سازمان‌های مربوطه، برای هر دو گروه سنی بالغین و کودکان گزارش نموده‌اند (۱۰٤، ۱۱٦). با توجه به این‌که غلظت فلزات سنگین در عضلات ماهی ممکن است از محدوده مجاز برای مصرف انسان تجاوز کرده و تهدیدی بسیار جدی را برای سلامتی ایجاد نماید؛ لذا نهادهای نظارتی در سراسر جهان، حدود قابل قبولی از این آلاینده‌ها را بررسی و مشخص کرده‌اند. در این پژوهش نیز به‌منظور ارزیابی خطر بهداشتی ناشی از مصرف ماهی‌های مورد مطالعه، سطوح فلزات در عضله این ماهیان با حداکثر محدوده مجاز پیشنهاد شده برای مصرف انسان توسط تعدادی از سازمان‌های جهانی و کشورهای مختلف مورد مقایسه قرار گرفت. در این مطالعه، مقایسه میانگین فلزات سنگین جیوه، روی، سرب، کادمیوم و نیکل در ماهی‌های حلوا سفید، زمین‌کن، سرخو، سنگسر، شبه‌شوریده، شوریده، شیر، قباد و هامور نشان داد که میزان فلزات جیوه، روی و سرب در تمامی گونه‌ها از استانداردهای جهانی و کشورهای مورد مطالعه پایین‌تر بود. فلز کادمیوم در ماهی سرخو و سنگسر از کلیه استانداردهای جهانی پایین‌تر بود. همچنین میزان این فلز در سایر ماهیان نسبت به انجمن ملی تحقیقات پزشکی و بهداشت استرالیا و کنوانسیون راپمی؛ ۱۹۹۹ و در ماهی زمین‌کن و شبه‌شوریده نسبت به سازمان بهداشت جهانی، وزارت کشاورزی، شیلات و غذای انگلستان و سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا بالاتر گزارش گردید؛ اما نسبت به سایر استانداردها پایین‌تر بودند. میزان فلز نیکل در ماهیان سنگسر، قباد و هامور از تمامی استانداردهای مورد مطالعه پایین‌تر بودند، سرخو و شبه شوریده از تمامی استانداردها بجز سازمان بهداشت جهانی پایین‌تر بودند. حلوا سفید، زمین‌کن و شوریده نیز نسبت به استانداردهای سازمان بهداشت جهانی، نیوزیلند، سازمان‌های حفاظت از محیط زیست آمریکا و کنوانسیون راپمی؛ ۱۹۹۹ بالاتر بوده؛ اما میزان این فلز در مقایسه با سایر استانداردها پایین‌تر گزارش گردید. در رابطه با مقایسه حضور فلزات سنگین در عضله ماهیان با استانداردهای جهانی؛ پور مقدس و شهریاری (۱۳۸۹) بیان داشته‌اند که مقدار فلز سرب، کادمیوم، کروم و نیکل به ترتیب در ۲۷، ۸، ۳ و ۲۵ درصد از نمونه‌های مورد مطالعه بیشتر از حداکثر مجاز سازمان بهداشت جهانی بوده است (۸۳)، همچنین صادقی‌باجگیران و همکاران (۲۰۱٦) گزارش نموده‌اند که میزان نیکل در عضله ماهیان مورد مطالعه بالاتر از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی بوده است (۹۵)، کریمی‌ایرج و همکاران (۲۰۱٤) نیز در پژوهشی بیان می‌دارند که میزان فلز نیکل در گونه‌های ماهیان مورد مطالعه از

میزان مجاز ارائه شده توسط سازمان بهداشت جهانی تجاوز کرده است (۵۲). اما مرتضوی و همکاران (۲۰۱۶) اذعان دارند که میانگین غلظت سرب، جیوه و کادمیوم در ماهی‌های مورد مطالعه کمتر از حداکثر میزان مجاز در دستورالعمل WHO، EC و FDA نشان داده شده است (۷۲). همچنین حسینی و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی فلزات سنگین نیکل، مس، سرب، کبالت و کادمیوم در بافت‌های کفشک ماهی در استان بوشهر گزارش نمودند که غلظت فلز کادمیوم و سرب از استانداردهای سازمان‌های بهداشت جهانی، خواربار و کشاورزی ملل متحد و اداره‌ی ملی اقیانوسی و جوی ایالات متحده آمریکا بیشتر بوده است، ولی دیگر فلزات غلظت کمتری داشته‌اند (٤٦). در مطالعه تاتینا و همکاران (۱۳۸۸) بر روی تجمع فلزات نیکل، سرب، کادمیوم و وانادیوم در عضله ماهی یلی خلیج فارس؛ میانگین غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم و وانادیوم در بافت عضله ماهیان پایین‌تر از حد مجاز استاندارد برای مصارف انسانی تشخیص داده شد (۱۱۸). لازم به ذکر است که عنصر نیکل در بسیاری از اندام‌ها و بافت‌های بدن جانوران دریایی یافت می‌شود و بسیاری از فاکتورهای فیزیکوشیمیایی آب نیز بر میزان سمیت آن می‌تواند، اثرگذار باشد. جذب نیکل که معمولا تنها از طریق غذا صورت می‌گیرد و ممکن است، موجب ایجاد التهابات آلرژیکی، مرگ جنین، کاهش قدرت سیستم ایمنی بدن، مشکلات ریوی و سینوس‌های بینی، عقب ماندگی رشد داخل رحمی، اختلالات روانی، سوء تغدیه و مشکلات حاد قسمت فوقانی دستگاه گوارش، کلیه و مسمومیت‌های ایاتروژنیک شود. فلز نیکل ایمونوتوکسیک و سمیت عصبی را موجب می‌شود و ممکن است، سرطان‌زا هم باشد (۲٦، ٦۳). جیوه اغلب به‌صورت متیل جیوه در بافت‌های ماهی تجمع می‌یابد (٤۰). متیل جیوه از طریق زنجیره‌های غذایی یک اکوسیستم، برای انسان تهدید کننده می‌باشد. پس از انتقال جیوه به بدن انسان، عمده‌ترین عوارض ناشی از مسمومیت با جیوه؛ تضعیف حواس شنوایی، لامسه و بینایی و همچنین بیماری مزمن کلیوی و اختلالات عصبی است (۵۸، ۱۱۳). فلز روی که به طبقه میکرو المان‌ها تعلق دارد و بدن برای فعالیت مناسب خود، بدان نیازمند است (۱۳۵)، اما تجمع زیاد آن می‌تواند بر روی فعالیت غده‌ی تیروئید اثر داشته و از طرفی نیز این فلز می‌تواند، باعث افزایش آنزیم‌های AST وALT کبدی و همچنین آسیب به بافت کبد گردد (۳۷، ٦۹). از آنجا که مسیر جذب سرب در ماهیان، از طریق خوردن غذا و آبشش می‌باشد (٦٤، ۱۱۹)، به‌همین لحاظ معمولا بررسی این فلز در ماهیان، از اهیمت بیشتری برخوردار است. سرب از جمله فلزات سنگینی است که می‌تواند باعث کاهش بقا و نرخ رشد و نیز میزان یادگیری گردد (۱۱). همچنین این فلز اثر سمی بر روی فعالیت غده‌ی تیروئید و آنزیم‌ها و بافت کبدی در پی دارد (۳۷، ٦۸). کادمیوم جزء فرآیندهای بیوشیمیایی طبیعی نیست و به علت مسمومیت اندام و سرطان‌زایی انسان‌ها بسیار خطرناک است (۸۹). کادمیوم می‌تواند سمیت کبد، اختلال در متابولیسم کلسیم، سمیت قلبی، هماتوتوکسی، ایمونوتوکسی، اختلال غدد درون‌ریز، سمیت باروری، درد استخوان، بیماری‌های قلبی – عروقی، ایجاد اختلال در عملکرد کلیه، آسیب اسکلتی و نقص‌های باروری را به‌همراه داشته باشد (۱۳، ۳۱، ۱۲۳). نکته آخر این‌که تفاوت در میزان غلظت فلزات سنگین در ماهیان می‌تواند ناشی از تفاوت ظرفیت پروتئین‌هایی مثل متالوتیونین در اتصال به این فلزات باشد (۱٤) و همچنین هرگونه تغییر در روند جذب و تجمع این عناصر سنگین در این آبزیان می‌تواند، به‌دلیل تاثیرگذاری عوامل مختلفی از جمله؛ نوع عنصر، نوع آبزی، عادات غذایی (۲۰، ۱۲۹)، حالات فیزیولوژیکی موجودات مورد بررسی،

ویژگی‌های اکولوژیکی منطقه مورد مطالعه، نیازهای محیط زیستی و فصل ماهیگیری، متابولیسم، سن، اندازه، طول، وزن آبزی، جنسیت آن (٦٢، ١٣٣)، فعالیت‌های هومئوستازی تنظیمی در ماهی (٢٨)، مهاجرت در یک منطقه (٦) و سطوح تروفیک و ویژگی‌های شیمیایی آلاینده‌ها (١٢٠) باشد. به‌طور کلی نتایج حاصل از مطالعات برخی از محققان نشان داده است که گونه‌های کف‌زی نسبت به پلاژی‌ها، فلزات سنگین بیشتری را جمع‌آوری می‌کنند (٥٣)، یا این که عناصر سنگین می‌توانند با غلظت‌های خیلی بالا در بدن لارو سخت‌پوستان و نرم‌تنان جمع شوند و بعد ماهی تغذیه‌کننده از این موجودات، سطوح بالایی از فلزات سنگین را دریافت نماید (١٧). از طرفی دیگر، زیستگاه نیز یکی از عوامل اصلی تأثیرگذار بر میزان فلزات سنگین در موجودات دریایی است (٩٠). تحقیقات نشان داده است‌که به‌علت افزایش تبخیر، افزایش فعالیت‌های استخراج نفت و گاز و سایر صنایع، تخلیه فاضلاب و زباله‌های صنعتی و خانگی، فرسایش طبیعی خاک و کودهای شیمیایی، آلودگی‌ها را در این زیستگاه‌ها در طول زمان افزایش داده است (١٠٠).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده از این مطالعه و اهمیت فلزات سنگین در غذاها و تأثیر آنها بر سلامت انسان-ها؛ بررسی و نظارت مداوم بر میزان وجود فلزات سنگین در انواع غذاها و انطباق آن با استانداردهای بین‌المللی به‌منظور فراهم‌آوری زمینه سلامت افراد جامعه و امنیت غذایی ضروری است. پیشنهاد می‌شود پایش پیوسته و مداوام آب‌راه‌های کشور، از نظر - محیط‌زیستی در جهت رعایت استانداردهای مربوط به توسعه پایدار در راستای حفظ سلامت اکوسیستم‌های حیاتی مد نظر قرار گیرد. مهمتر این‌که همسایگانی که مرزهای مشترک آبی با ایران دارند؛ نیز می‌بایست با این پایش‌های زیست‌محیطی در راستای مقابله با ورود بی‌رویه آلاینده‌ها به این آب‌ها همراه شوند.

منابع

1. Abdolahpur Monikh F., Maryamabadi A., Savari A., Ghanemi K. 2013. Heavy metals' concentration in sediment, shrimp and two fish species from the northwest Persian Gulf. *Toxicology and Industrial Health*, 31(6):554-565.

2. Ahmad A.K., Shuhaimi-Othman M. 2010. Heavy Metal Concentrations in Sediments and Fishes from Lake Chini, Pahang, Malaysia. *Journal of Biological Sciences*, 10(2):93-100.

3. Ahrariroudi M., 2021. An overview of the pollutants in the sea of Oman and its effects on the marine ecosystem. *Journal of Shipping and Maritime Technology*, 5(4):21-30 [In Persian].

4. Albuquerque K.F.D.M., Silva M.H.L., Azevedo J.W.D.J., Soares L.S., Bandeira A.M., Soares L.A., Castro A.C.L. 2023. Assessment of water quality and concentration of heavy metals in fishes in the estuary of the Perizes River, Gulf of Maranhão, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 186:114420.

5. Al-Saleh I., Shinwari N. 2002. Preliminary report on the levels of elements in four fish species from the Persian gulf of Saudi Arabia. *Chemosphere*, 48(7):749-755.

6. Andres S., Ribeyre F., Tourencq J.N., Boudou A. 2000. Interspecific comparison of cadmium and zinc contamination in the organs of four fish species along a polymetallic pollution gradient (Lot River, France). *Science of The Total Environment*, 248(1):11-25.

7. Asar S., Jalalpour S., Ayoubi F., Rahmani M., Rezaeian M. 2016. PRISMA; Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*, 15(1):63-80 [In Persian].

8. Asgari Rad H., Saeedi M., AzadBakht N., 2016. Heavy Metals (Cadmium, Zinc, Nickel, Chrome, Lead, and Copper) Contamination in Kohl Available in Iran's Market. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 26(133):295-304 [In Persian].

9. Askary Sary A., Javahery Baboli M., Mahjob S., Velayatzadeh M., 2012. The comparison of heavy metals (Hg, Cd, Pb) in the muscle of

10. Askary Sary A., Velayatzadeh M. 2011. The measure and comparison of heavy metals concentration of Lead and Zinc in Liver and Muscle of Otolithes ruber, Scomberomorus guttatus and Scomberomorus commerson Persian Gulf. *New Technologies in Aquaculture Development*, 2(5):39-46 [In Persian].

11. ATSDR. 2007. Toxicologi guide for lead Pb. U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service, *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*.

12. Baseri E., Alimohammadi M., Nabizadeh Nodehi R., Nazmara S., khanikiGh J., Mahmoodi B. 2017. Estimation of Weekly Human Intake of Heavy Metals (Lead, Cadmium, Chromium, Copper, Iron, Tin, Zinc, and Nickel) through Cheese Consumption in Iran. *Journal of Health*, 8(2):160-169 [In Persian].

13. Bhattacharjee T., Goswami M. 2018. Heavy Metals (As, Cd and Pb) Toxicity and Detection of These Metals in Ground Water Sample: A Review on Different Techniques. *International Journal of Engineering Science Invention*, 7(1):12-21.

14. Canli M., Atli G. 2003. The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environmental Pollution*, 121(1):129-36.

15. Çelik U., Oehlenschläger J. 2007. High contents of cadmium, lead, zinc and copper in popular fishery products sold in Turkish supermarkets. *Food control*, 18(3):258-261.

16. Celik U., Oehlenschläger J. 2004. Determination of zinc and copper in fish samples collected from Northeast Atlantic by DPSAV. *Food Chemistry*, 87(3):343-347.

17. Chen C.W., Kao C.M., Chen C.F., Dong C.D. 2007. Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan. *Chemosphere*, 66(8):1431-1440.

18. Cheraghi M., Pourkhabbaz H., Javanmardi S. 2013. Determination of mercury concentration in Liza abu from Karoon river. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 23(103): 105-113 [In Persian].

19. Cheraghi M., Spurgem O., Noorayee M.H. 2012. Evaluation of Cadmium Risk Caused by Gripus Barbus, Arvand River. *Journal of Wetland Ecobiology*, 4(13):75-82.

20. Chi Q., Zhu G.W., Langdon A. 2007. Bioaccumulation of heavy metals in fishes from Taihu Lake, China. *Journal of Environmental Sciences*, 19(12):1500-1504.

21. Chien L.C., Hung T.C., Choang K.Y., Yeh C.Y., Meng P.J., Shieh M.J., Ha B.C. 2002. Daily intake of TBT, Cu, Zn, Cd and As for fishermen in Taiwan. *Science of The Total Environment*, 285(1-3):177-185.

22. Conte F., Copat C., Longo S., Conti G.O., Grasso A., Arena G., Dimartino A., Brundo M.V., Ferrante M. 2016. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Haliotis tuberculata (Linnaeus, 1758)(Mollusca, Gastropoda): Considerations on food safety and source investigation. *Food and Chemical Toxicology*, 94:57-63.

23. Cooper C.B., Doyle M.E., Kipp K. 1991. Risks of consumption of contaminated seafood: the Quincy Bay case study. *Environmental Health Perspectives*, 90(1):133-140.

24. Dadar M., Adel M., Ferrante M., Nasrollahzadeh Saravi H., Copat C., Oliveri Conti G. 2016. Potential risk assessment of trace metals accumulation in food, water and edible tissue of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) farmed in Haraz River, northern Iran. *Toxin Reviews*, 35(3-4):141-146.

25. Daneshyar H., panahpour E., Ghanavati N. 2016. Assessment of the Lead, Nickel and Mercury Concentrations in Effluent and Muscle of Three Species of Boleophthalmus Dussumieri, Sardinella Melanura and Otolithes Ruber in KhorMusa. *Journal of Wetland Ecobiology*, 8(3):59-68 [In Persian].

26. Das K.K., Buchner V. 2007. Effect of nickel exposure on peripheral tissues: role of oxidative stress in toxicity and possible protection by ascorbic acid. *Reviews on Environmental Health*, 22(2):157-173.

27. Dehghani M. 2017. Bioaccumulation of heavy metals in eight fish species of the Khur-e Khuran International Wetland in the Persian Gulf, Iran. *Journal of Aquatic Biology*, 5(1):33-39 [In Persian].

28. Demirezen D., Uruç K. 2006. Comparative study of trace elements in certain fish, meat and meat products. *Meat Science*, 74(2):255-260.

29. Dural M., Göksu M.Z.L., Özak A.A. 2007. Investigation of heavy metal levels in Otolithes ruber in Abadan and Bandar Abbas Ports, the Persian Gulf. *Iranian Fisheries Science Research Institute*, 21(3):99-106 [In Persian].

38. Ghanbari F., Pazira A., Obeidi R., Foruzani S. 2018. Investigating heavy metals (Cu, Zn, Fe and Se) bioaccumulation in muscle, liver and gill tissues of Pomadasys kaakan from the Bushehr port. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 26(6):171-178 [In Persian].

39. Ghorbanizadeh V., Hasan Nanjir S.T. 2015. Application Meta-analysis application with software CMA2. 1rd ed. sociologists.

40. Giblin F., Massaro E.J. 1973. Pharmacodynamics of methyl mercury in the rainbow trout (Salmo gairdneri): tissue uptake, distribution and excretion. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 24(1):81-91.

41. Glass G.V. 1976. Primary, secondary, and meta-analysis of research. *Educational Researcher*, 5(10):3-8.

42. Gorjipour E., adough Niris A., Hossin A.R., Bita s., 2009. Accumulatin of heavy metals in the muscle, liver and gill tissuse of Epinephelus coioiedes. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 18(1):101-108. [In Persian].

43. Gupta V. 2013. Mammalian feces as bio-indicator of heavy metal contamination in Bikaner Zoological Garden, Rajasthan, India. *Research Journal of Animal, Veterinary and Fishery Sciences*, 1(5):10-15.

44. Hassanpour M., Rajaei G., SinkaKarimi M.H., Ferdosian F., Maghsoudloorad R. 2014. Determination of heavy metals (Pb, Cd, Zn and Cu) in Caspian kutum (Rutilus frisii kutum) from Miankaleh international wetland and human health risk. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*. 24(113):163-170. [In Persian].

45. He Z.L., Yang X.E., Stoffella P.J. 2005. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 19(2-3):125-140.

46. Hosseini M., Nabavi S.B., Golshani R., Nabavi S.N., Raeesi sarasiab A. 2015. The heavy metals pollution (Cd, Co, Pb, Cu and Ni) in sediment, liver and muscles tissues of flounder Psettodes erumei from Busheher Province, Persian Gulf. *Journal of Animal Research (Iranian Journal of Biology)*, 28(4):441-449 [In Persian].

47. Hosseini M., Naderi M., Gholami S., Hadipour M. 2018. Toxic metals in the muscle and liver of five main commercially-important fishes from the Persian Gulf, Southern Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 16(2):191-198 [In Persian].

economically important fish species captured from the Tuzla lagoon. *Food Chemistry*. 102(1): 415-421.

30. Eastwood S., Couture P. 2002. Seasonal variations in condition and liver metal concentrations of yellow perch (Perca flavescens) from a metal-contaminated environment. *Aquatic Toxicology*, 58(1-2):43-56.

31. Fagerberg B., Borné Y., Barregard L., Sallsten G., Forsgard N., Hedblad B., Persson M., Engström G. 2017. Cadmium exposure is associated with soluble urokinase plasminogen activator receptor, a circulating marker of inflammation and future cardiovascular disease. *Environmental Research*, 152:185-191.

32. Fakhri Y., Saha N., Miri A., Baghaei M., Roomiani L., Ghaderpoori M., Taghavi M., Keramati H., Bahmani Z., Moradi B., Bay A., Pouya R.H. 2018. Metal concentrations in fillet and gill of parrotfish (Scarus ghobban) from the Persian Gulf and implications for human health. *Food and Chemical Toxicology*, 118:348-354.

33. Falcó G., Llobet J.M., Bocio A., Domingo J.L. 2006. Daily intake of arsenic, cadmium, mercury, and lead by consumption of edible marine species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(16):6106-6112.

34. Farkas A., Salanki J., Specziar A. 2002. Relation between growth and the heavy metal concentration in organs of bream Abramis brama L. populating Lake Balaton. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 43(2):236-243.

35. Ganjavi M., Ezzatpanah H., Givianrad M.H., Shams A. 2010. Effect of canned tuna fish processing steps on lead and cadmium contents of Iranian tuna fish. *Food Chemistry*, 118(3):525-528.

36. Gashmardi N. 2015. Education and strengthening of community environmental culture; Optimal water use strategy. Optimization of water consumtion in industry challenges and solutions 2015: *Conference on university of Isfahan – Isfahan - Iran* [In Persian].

37. Gashmardi N., Farzadinia P., Mohammadi M., Siyanat F. 2016. Zinc and lead poisoning effects on hepatic tissue in male rats. *International Conference on researches in Science and Engineering*, At: Istanbul University, Turkey.

57. Koosej N., Jafariyan H., Rahmani A., Patimar A., Gholipoor H. 2017. Study on Trace Metals Levels and Health Risk Assessment of Silago Sihama in Hormozgan Province. *Nutrition and Food Sciences Research*, 4(1):41-6.

58. Lohren H., Blagojevic L., Fitkau R., Ebert F., Schildknecht S., Leist M., Schwerdtle T. 2015. Toxicity of organic and inorganic mercury species in differentiated human neurons and human astrocytes. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 32:200-208.

59. Lotfi H., Baghaei H., mousavi S., Khayambhashi S., 2012. The environment of the Persian Gulf and its conservation. *Quariterly Journal of Human Geography*, 3(1):1-9 [In Persian].

60. Mahjob S., Askary Sary A., Javahery Baboli M., Velayatzadeh M. 2016. The comparison of heavy metals Hg, Cd and Pb in the muscle of Otolithes ruber in Boshehr and Bandar-e-Emam Khomeini Sea Ports, Persian Gulf. *Journal of Animal Environment*, 7(4):232-240 [In Persian].

61. Mansouri B., Maleki A., Davari B., Karimi J., Momeneh V. 2016. Bioaccumulation of cadmium, lead, chromium, copper, and zinc in freshwater fish species in Gharasou river in Kermanshah province, Iran, 2014. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 26(137):150-158 [In Persian].

62. Marijić V.F., Raspor B. 2007. Metal exposure assessment in native fish, Mullus barbatus L., from the Eastern Adriatic Sea. *Toxicology Letters*, 168(3):292-301.

63. Mashroofeh A., Riyahi Bakhtiari A., Pourkazemi M. 2013. Evaluation of cadmium, vanadium, nickel and zink concentrations in different tissues of beluga and stellate sturgeon and risk assessment regarding consuming their muscle tissue in south Caspian Sea. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 22(96):89-96 [In Persian].

64. Meng Z.R., Li L., Wu Y.Q. 2014. Evaluate of Heavy Metal Content of some Edible Fish and Bivalve in Markets of Dandong, China. *Applied Mechanics and Materials*, 522-524:92-95.

65. Ministry of Health and Medical Education of Iran (MHMEI). [Online], 2015. Average lifetime of Iranian. Available from http://www.behdasht.gov.ir.

66. Miri M., Akbari E., Amrane A., Jafari S.J., Eslami H., Hoseinzadeh E., Zarrabi M., Salimi 48. Hossein Khezri P., Takhsha M., Aein Jamshid K., Aghshenas A. 2014. Assessment level of heavy metals (Pb, Cd, Hg) in four fish species of Persian Gulf (Bushehr-Iran). *International Journal of Advanced Technology and Engineering Research*, 4(2):7-11 [In Persian].

49. IRIS (Integrated Risk Information System). 2018. *online database*. Environmental Protection Agency. Available at: https://semspub.epa.gov/work/HQ/197414.pdf.

50. Jia Y., Wang L., Qu Z., Wang C., Yang Z. 2017. Effects on heavy metal accumulation in freshwater fishes: species, tissues, and sizes. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(10):9379-9386.

51. Junianto A., Hasan Z., Mahdiana Apriliani I. 2017. Evaluation of heavy metal contamination invarious fish meat from Cirata Dam, West Java,Indonesia. *ProQuest*, 10(2):241-246.

52. Karimi Iraj Z., Pourkhabbaz A.R., Hassanpour M., SinkaKarimi M.H. 2014. Bioaccumulation of Heavy Metals in Tissues of Clupeonella Cultiventris Caspia and Alosa Caspia and their Consumption Risk Assessment in the Southern Coast of Caspian Sea. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 24(118):99-110 [In Persian].

53. Kesavan K., Murugan A., Venkatesan V., Kumar V. 2013. Heavy metal accumulation in molluscs and sediment from Uppanar estuary, southeast coast of India. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*, 29(2):15-21.

54. Khalili Poor S., Shafiee M., Emtiazjoo M. 2011. Determination of mercury, cadmium and lead in Muscle Tissue of Otolithes Rubuer in Bushehr Bandargah. *Journal of Marine Science and Technology Research*, 5(4):48-59 [In Persian].

55. Khazaei S.H., Ahmadi Alkoei Z., Shahriari M. 2013. A Survey of Lead, Nickel and Cadmium Concentration on Consumable Fish in Khorramshahr City. *Jundishapur Scientific Medical Journal*, 12(4):409-418 [In Persian].

56. Khorasani N., Hosseini S.M., Poorbagher H., Hosseini S.V., Aflaki F. 2013. Determination of heavy metal content in the tiger-toothed croaker (Otolithes ruber): a case study in Bandar-e Mahshahr. *Journal of Natural Environment (Iranian Journal of Natural Recources)*, 66(2):181-190 [In Persian].

downstream Ogun coastal water, Nigeria. *Journal of Agricultural Science*, 4(11):51-59.

76. Nabavi S.M.B., Hosseini M., Parsa Y., Asfaram A., Ravanpaykar A. 2014. Assessment of PCBs, heavy metals (Cd, Co, Ni, Pb), mercury and methyl mercury content in four fish commonly consumed in Iran. *Toxicology and Environmental Health Sciences*, 6(2):119-126.

77. Nasrollahzadeh Saravi H., Pourgholam R., Pourang N., Rezaei M., Makhlough A., Unesipour H. 2013. Heavy metal concentrations in edible tissue of Cyprinus carpio and its target hazard quotients in the Southern Iranian Caspian Sea Coast,(2010). *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 23(103):33-44 [In Persian].

78. NOAA; Export Requirements by Country and Jurisdiction (A-F). 2023. *https://www.fisheries.noaa.gov/seafood-commerce-trade/export-requirements-country-and-juri*..

79. Noghani Dokht Bahmani M, Mirmohammad Tabar S., 2017. Meta-analaysis Basic and Application (Uses of CMA.2 Software).1rd ed. Mashhad Ferdowsi University.

80. Norouzi M., Bagheri Tavani M. 2019. Assessment of the Consumption Risk of Fifteen Heavy Metals in Liza aurata in the Caspian Sea. *Journal of Aquatic Ecology*, 8 (3):96-107 [In Persian].

81. Obeidi R., Pazira A, Ghanbari F., Moghdani S. 2017. Determination of heavy metal (Nickel and Cadmium) concentrations in muscle and liver tissues of (Pomadasys kaakan) in Bushehr seaport. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 26(1):55-66 [In Persian].

82. Pazira A., Khosravifard O., Ghanbari F. 2010. A comparison of bioaccumulation Lead and Zinc in muscle tissues of Scomberomorus commerson and Scomberomorus guttatus in Bushehr seaport. *Journal of Wetland Ecobiology*, 8(3):5-14 [In Persian].

83. Pourmoghaddas H., Shahryaari A. 2010. The concentration of lead, chromium, cadmium, nickel and mercury in three species of consuming fishes of Isfahan city. *Journal of Health System Research*, 6(1):30-6 [In Persian].

84. Rahman M.S., Molla A.H., Saha N., Rahman A. 2012. Study on heavy metals levels and its risk assessment in some edible fishes from Bangshi River, Savar, Dhaka, Bangladesh. *Food Chemistry*, 134(4):1847-1854.

J., Sayyad-Arbabi M., Taghavi M. 2017. Health risk assessment of heavy metal intake due to fish consumption in the Sistan region, Iran. *Environmental monitoring and assessment*, 189(11):583.

67. Mohammadnabizadeh S., Pourkhabbaz A., Afshari R. 2014. Analysis and determination of trace metals (nickel, cadmium, chromium, and lead) in tissues of Pampus argenteus and Platycephalus indicus in the Hara Reserve, Iran. *Journal of Toxicology*, 576496(6):167-172.

68. Mokhtari M., Shariati M., Gashmardi N. 2007. Effect of lead on thyroid hormones and liver enzymes in adult male rats. *Journal of Hormozgan University of Medical Sciences*, 11(2):115-120 [In Persian].

69. Mokhtari M., Shariati M., Gashmardi N. 2005. The Effect of Zinc on Thyroid Hormones and Liver Enzyme Concentration in Adult Male Rats. *Journal of Advances in Medical and Biomedical Research*, 13(51):7-12 [In Persian].

70. Momodu M., Anyakora C., 2010. Heavy metal contamination of ground water: The Surulere case study. *Research Journal Environmental and Earth Sciences*, 2(1):39-43.

71. Monsefrad F., Imanpour Namin J., Heidary S. 2012. Concentration of heavy and toxic metals Cu, Zn, Cd, Pb and Hg in liver and muscles of Rutilus frisii kutum during spawning season with respect to growth parameters. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 11(4):825-839.

72. Mortazavi A., Hatamikia M., Bahmani M., Hassanzadazar H. 2016. Heavy metals (mercury, lead and cadmium) determination in 17 species of fish marketed in Khorramabad city, West of Iran. *Journal of Chemical Health Risks*, 6(1):41-48.

73. Moshtaghzadeh G., Naji A., koosej N. 2018. Risk assessment of some potentially toxic elements pollution in the muscle and liver of Longtail tuna (Thunnus tonggol) and Abu mullet (Liza abu) for human consumption in the Hormozgan Province. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 26(6):71-96 [In Persian].

74. Mudgal V., Madaan N., Mudgal A., Singh R., Mishra S. 2010. Effect of toxic metals on human health. *The Open Nutraceuticals Journal*, 3(1):94-99.

75. Murtala B.A., Abdul W.O., Akinyemi A.A. 2012. Bioaccumulation of heavy metals in fish (Hydrocynus forskahlii, Hyperopisus bebe occidentalis and Clarias gariepinus) organs in

Persian Gulf. *Journal of Marine Biology*, 3(12):65-71 [In Persian].

95. Sadeghi Bajgiran S., Pourkhabbaz A., Hasanpour M., SinkaKarimi M.H. 2016. A study on zinc, nickel, and vanadium in fish muscle of Alosa caspia and Sander lucioperca and food risk assessment of its consumption in the southeast of the Caspian Sea. *Iranian Journal of Health and Environment*, 8(4):423-432 [In Persian].

96. Sadough Niri A., Sharifian S., Ahmadi R. 2015. Assessment of metal accumulation in two fish species (Tenualosa ilisha and Otolithes ruber), captured from the north of Persian Gulf. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 94(1):71-76.

97. Safahieh A., Monikh F.A., Taghi Ronagh M., Savari A., Doraghi A. 2011. Determination of heavy metals (Cd, Co, Cu, Ni and Pb) in croacker fish (Johnius belangerii) from Musa estuary in the Persian Gulf. *International Journal of Environmental Science and Development*, 2(6):460-464.

98. Sahebi Z., Mohamad Shafiee M.R., Emtyazjoo M. 2011. Permissible consumption limits of mercury, cadmium and lead existed in Otolithes rubber. *Advances in Environmental Biology*, 5(5):920-928.

99. Salami Asl S., Savari A. 2017. Measuring the Amount of Heavy Metals Concentration (Nickel, Vanadium, Lead, Cobalt and Cadmium) in the Ballast Tanks of Commercial Ships Entering Bandar-e Imam Khomeini. *Journal of Marine Biology*, 6(3):61-70 [In Persian].

100. Schmitt C.J., Brumbaugh W.G. 1990. National contaminant biomonitoring program: concentrations of arsenic, cadmium, copper, lead, mercury, selenium, and zinc in US freshwater fish, 1976–1984. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 19(5):731-747.

101. Shahriari A. 2006. Determination of heavy metals (Cd, Cr, Pb, Ni) in edible tissues of Lutjans Coccineus and Tigeratooh Croaker In the persian Gulf-2003. *Journal of Gorgan University of Medical Sciences*, 7(2):65-67 [In Persian].

102. Sharifian S., Sadoogh Nayeri A., Khaleghi M., Sharifian S. 2013. Estimation of the daily and weekly inflow of heavy metals in different groups of Otolithes rubber fish in southern provinces of Iran. *The First National Congress*

85. Ranjbar Vakil Abadi D., Dobaradaran S., Nabipour I., Lamani X., Ravanipour M., Tahmasebi R., Nazmara S. 2015. Comparative investigation of heavy metal, trace, and macro element contents in commercially valuable fish species harvested off from the Persian Gulf. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(9):6670-6678 [In Persian].

86. Rashidi Ebrahim Hesari A., Hoseini S.M. 2017. Evaluating the Sensitivity of Tidal Dynamics to Spatial Variation of Bottom Friction Coefficient in the Hormuz Strait. *Hydrophysics*, 3(1-4): 21-32 [In Persian].

87. Razzaghi F., Mohammad shafie M., Emtiazjoo M., 2011. Determination of concentration of Cd ,Pb ,Hg ,Fe in Muscle of Otolithes ruber in Northern part of Persian Gulf, Bandar Abbas. *Journal of Marine Science and Technology Research*, 6(5):67-77 [In Persian].

88. Rezaeian M. 2013. How to report systematic reviews and meta-analyses. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*, 12(2):87-88 [In Persian].

89. Robards K., Worsfold P., 1991. Cadmium: toxicology and analysis. A review. *Analyst*, 116(6): 549-568.

90. Romeo M., Siau Y., Sidoumou Z.n., Gnassia-Barelli M. 1999. Heavy metal distribution in different fish species from the Mauritania coast. *Science of The Total Environment*, 232(3):169-175.

91. Roomiani l., velayatzadeh M., Mashayekhi F. 2016. Risk assessment of the heavy metals mercury, cadmium, lead and arsenic in the two species fish Tor grypus and Capoeta capoeta in Helle River from Bushehr. *Journal of Developmental Biology*, 8(4):45-58 [In Persian].

92. Sadeghi E., Mohammadi M., Sharafi K., Bohlouli S. 2015. Determination and assessment of three heavy metal content (Cd, Pb and Zn) in Scomberomorous commerson fish caught from the Persian Gulf. *Bulgarian Chemical Communications*, 47:222-225.

93. Sadeghi M.S., Emtiazju M., Daghighi Rohi R. 2017. Heavy metal (Pb,Cd) levels in muscle and liver of Pomadasys kakaan in Hormozgan province (Bandar abbas). *Journal of Marine Science and Technology Research*, 11(4):23-35 [In Persian].

94. Sadeghi M.S., Moraky N., Ebdaly S., Farzadmehr M. 2012. Heavy metal concentrations (Pb,Cd) in certain tissues (Liver and muscle) of Scomberomorus guttatus in

111. Solgi E., Esfandi Sarafraz J. 2015. Determination of lead and cadmium in the edible tissue of (Liza aurata) in Bandar Anzali coast: Accumulation and risk consumption. *Journal of Aquatic Ecology*, 5(1):34-43 [In Persian].

112. Suhaimi F., Wong S., Lee V., Low L. 2005. Heavy metals in fish and shellfish found in local wet markets. *Singapore journal of primary industries*, 32(4):1-8.

113. Sweet L.I., Zelikoff J.T., 2001. Toxicology and immunotoxicology of mercury: a comparative review in fish and humans. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part B*, 4(2):161-205.

114. Tabari S., Saravi S.S.S., Bandany G.A., Dehghan A., Shokrzadeh M. 2010. Heavy metals (Zn, Pb, Cd and Cr) in fish, water and sediments sampled form Southern Caspian Sea, Iran. *Toxicology and Industrial Health*, 26(10):649-656.

115. Tacon A.G.J. 2023. Contribution of Fish and Seafood to Global Food and Feed Supply: An Analysis of the FAO Food Balance Sheet for 2019. *Fisheries Science and Aquaculture*, 31(2):274-283.

116. Tahsini H., Ahmadpour M., Sinkakarimi M.H. 2018. Assessment of cadmium and lead concentration in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) and calculation the food consumption risk. *Iranian Journal of Health and Environment*, 11(2):215-224 [In Persian].

117. Tahsini H., Alizadeh M., gavilian H. 2018. Evaluation of Heavy Metals Concentration and Its Consumption Risk in Trout Fish (Oncorhynchus Mykiss). *Journal of Environmental Health Engineering*, 6(2):187-198 [In Persian].

118. Tatina M., Oryan S., Gharibkhani M. 2009. Surveying the amount of heavy metals (Ni, Pb, Cd and V) accumulation derived from oil pollution on the muscle tissue of Pelates quadrilineatus from the Persian Gulf. *Journal of Marine Biology*, 1(3):28-39 [In Persian].

119. Taweel A., Shuhaimi-Othman M., Ahmad A.K. 2013. Assessment of heavy metals in tilapia fish (Oreochromis niloticus) from the Langat River and Engineering Lake in Bangi, Malaysia, and evaluation of the health risk from tilapia consumption. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 93(32):45-51.

120. Teffer A.K., Staudinger M.D., Taylor D.L., Juanes F. 2014. Trophic influences on mercury *of Iran for the development of the Makran coast and the maritime authority* [In Persian].

103. Saei-Dehkordi S.S., Fallah A.A. 2011. Determination of copper, lead, cadmium and zinc content in commercially valuable fish species from the Persian Gulf using derivative potentiometric stripping analysis. *Microchemical Journal*, 98(1):156-165.

104. SinkaKarimi M.H., Donyavi R., Sadeghi Bajgiran S. 2015. Consumption limit for Caspian with fish in stand of Cadmium and Lead from Southeastern coast of Caspian Sea. *Zanko Journal of Medical Sciences*, 16(49):32-43 [In Persian].

105. Sinkakarimi M.H., Gorjian Arabi M.H., Ahmadpour M., Hassanpour M. 2020. A survey of cadmium and zinc in Sand smelt (Atherina boyeri caspia) from Anzali International Wetland. *Journal of Animal Environment*, 12(3):167-174 [In Persian].

106. SinkaKarimi M.H., Hassanpour M., Ahmadpour M. 2015. Concentration of selenium and vanadium in Clupeonella cultiventris caspia and Alosa caspia and their consumption risk assessment from southern coast Caspian Sea. *Zanko Journal of Medical Sciences*, 15(47):1-9 [In Persian].

107. Sinkakarimi M.H., Mansouri B., Azadi N.A., Maleki A., Davari B. 2017. Assessment of Heavy Metals in Chicken Meat Distributed in Sanandaj, Iran, and Calculating the Food Consumption Risk. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 26(146):128-138 [In Persian].

108. SinkaKarimi M.H., Pourkhabbaz A.R., Hassanpour M., Ghasempour S.M. 2014. Determination of metals in tissues of mallard (Anas platyrhynchos) and risk assessment of food consumption in the southeastern Caspian Sea. *Journal of Wetland Ecobiology*, 5(18):79-90 [In Persian].

109. Sinkakarimi M.H., Solgi E., Hosseinzadeh Colagar A. 2017. Cadmium and Lead Effects on Viability, Lipid Peroxidation and Total Antioxidant Capacity Levels in Eisenia fetida. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 27(149):28-39 [In Persian].

110. Solgi E. 2015. Estimation of Daily Intake and Potential Risk of Cadmium and Lead in Consumers of Liza salines in the Eastern Coast of the Caspian Sea. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 25(122):382-388 [In Persian].

accumulation in top pelagic predators from offshore New England waters of the northwest Atlantic Ocean. *Marine Environmental Research*, 101:124-134.

121. Tigchelaar M., Leape J., Micheli F., Allison E.H., Basurto X., Bennett A., Bush S.R., Cao L., Cheung W.W.L., Crona B., DeClerck F., Fanzo J., Gelcich S., Gephart J.A., Golden C.D., Halpern B.S., Hicks C.C., Jonell M., Kishore A., Koehn J.Z., Little D.C., Naylor R.L., Phillips M.J., Selig E.R., Short R.E., Sumaila U.R., Thilsted S.H., Troell M., Wabnitz C.C.C. 2022. The vital roles of blue foods in the global food system. *Global Food Security*, 33(100637):1-11.

122. Türkmen A., Türkmen M., Tepe Y., Akyurt I. 2005. Heavy metals in three commercially valuable fish species from Iskenderun Bay, Northern East Mediterranean Sea, Turkey. *Food Chemistry*, 91(1):167-172.

123. Uluozlu O.D., Tuzen M., Mendil D., Soylak M. 2007. Trace metal content in nine species of fish from the Black and Aegean Seas, Turkey. *Food Chemistry*, 104(2):835-840.

124. United States Environmental Protection Agency (USEPA). 2000. Risk-based Concentration Table. Philadelphia, PA; Washington DC.

125. United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1989. Guidance manual for assessing human health risks from chemically contaminated, fish and shellfish. EPA-503/8-89-002, USEPA, Office of Marine and Estuarine Protection, Washington, DC.

126. United States Environmental Protection Agency. 2000. Guidance for assessing chemical contaminant data for use advisories, volume 2: Risk assessment and fish consumption limites. Third Edition. USEPA, Office of Science and Technology Office of Water, Washington, DC. Available from: http://www.epa.gov/ waterscience/fish/guidance.html.

127. Vilizzi L., Tarkan A.S. 2016. Bioaccumulation of metals in common carp (Cyprinus carpio L.) from water bodies of Anatolia (Turkey): a review with implications for fisheries and human food consumption. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(4):243.

128. Vinodhini R., Narayanan M. 2008. Bioaccumulation of heavy metals in organs of fresh water fish Cyprinus carpio (Common carp). *International journal of Environmental Science and Technology*, 5(2):179-182.

129. Watanabe K.H., Desimone F.W., Thiyagarajah A., Hartley W.R., Hindrichs A.E. 2003. Fish tissue quality in the lower Mississippi River and health risks from fish consumption. *Science of The Total Environment*, 302(1-3):109-126.

130. World Health Organization. 2013. Evaluation of certain food additives and contaminants: seventy-seventh report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives.

131. Yaghobzadeh Y., Hossein-Nezhad M., Asadi-Shiran G., Pourali M. 2014. An investigation of lead concentration in Rutilus frisii kutum form Caspian Sea case study of Bandar Anzali and Roodsar, Iran. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 23(110):102-108 [In Persian].

132. Yang F., Zhang H., Xie S., Wei C., Xiao X. 2023. Concentrations of heavy metals in water, sediments and aquatic organisms from a closed realgar mine. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(2):4959-4971.

133. Yi Y.J., Zhang S.H. 2012. The relationships between fish heavy metal concentrations and fish size in the upper and middle reach of Yangtze River. *Procedia Environmental Sciences*, 13:1699-1707.

134. Yılmaz F., Özdemir N., Demirak A., Tuna A.L. 2007. Heavy metal levels in two fish species Leuciscus cephalus and Lepomis gibbosus. *Food Chemistry*, 100(2):830-835.

135. Yousefi Jourdehi A., Abdali S., Hallajian A., Kazemi R., Sudagar M., Shokohi S., Shakoori M., Moradinasab A.A. 2012. Behavioral and morphopathological responses of Sliver Carp (Hypophthalmichthys molitrix) to acute toxicity of copper and zinc. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 1(3):15-27 [In Persian].

136. Zargar A., Nouruzi Z. 2016. The Persian Gulf Countries' Responsibilities and Their Roles in Environmental Protection. *Studies of International Relations Journal*, 9(33):251-281 [In Persian].

The Food Safety Risk Potential of Heavy Metals in Northern Persian Gulf and Sea of Oman Fish: A Systematic and Meta-Analysis Review

Mohammad Hosein Sinkakarimi[1], Nooshin Gashmardi[2*]

1- Department of Environmental Sciences, Faculty of Marine and Environmental Science, University of Mazandaran, Babolsar, Iran
2- Department of Biology Education, Farhangian University, P.O. Box 14665-889Tehran, Iran

Abstract

The Persian Gulf and the Oman Sea are habitats for a variety of aquatic species, especially fish. Heavy metals are crucial pollutants in aquatic ecosystems and can be among the major factors influencing the health of consumers. The purpose of this essay is to conduct a systematic review of studies that have assessed the concentration of heavy metals in the muscle tissue of certain fish species in these waters, spanning from the year 2006 to 2018. This meta-analysis study was performed on 1182 muscle tissues of *Pampus argenteus*, *Platycephalus indicus*, *Lutjanus johnii*, *javelin grunter*, *Johnius belangerii*, *Otolithes ruber*, *Scomberomorus commerson*, *Scomberomorus guttatus*, *Epinephelus coioides*, caught from the Persian Gulf and the Oman Sea, in order to investigate the amount of these metals. Also, the safety of food intake and the comparison with the standards were investigated. The THQ and HI indices were found to be less than 1 in the all species of fish for adults, but for children only in *Scomberomorus commerson* in HI index is more than one. The amount of *mercury*, *zinc* and *lead* in the all pecies of fish, *cadmium* in *Lutjanus johnii* and *javelin grunter* and *nickel* in *Scomberomorus guttatus* and *Epinephelus coioides* were lower than all standards. The daily and weekly absorption rates for all studied metals were lower than the authorized JECFA Committee due to fish consumption. Also, the lowest amount of allowance for studied metals was found *mercury* in *Scomberomorus commerson*, *lead* in *Johnius belangerii* and *cadmium* in *Platycephalus indicus*. It seems that high use of the *Platycephalus indicus* in terms of the studied metals has led to health risks in children. Therefore, environmental protection, which it has been influential in creating nutritional health problems, is considered a necessity.

Keywords: Fish, Food risk, Heavy metal, Persian Gulf, Oman Sea.