



Original Research Paper

Health risk assessment and bioaccumulation of heavy metals in the Persian Gulf fishes (Bandar Lenge Coasts)

Farzad Salehi¹, Mohsen Nowrouzi^{2,3*}¹ Department of Fisheries, Faculty of Nano and Bio Science and Technology, Persian Gulf University, Bushehr, Iran² Department of Science and Biotechnology, Faculty of Nano and Bio Science and Technology, Persian Gulf University, Bushehr, Iran³ Department of Natural Resources and Environmental Engineering, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

Key Words

Heavy metals
Persian Gulf
Health risk assessment
Fish
Bioaccumulation

Abstract

Introduction: The Persian Gulf is one of the most important water ecosystems in the world, which has faced serious environmental threats in recent years. Due to their non-biodegradability, heavy metals represent a potential danger through accumulation in aquatic tissues and impact on human health as the final consumer. Therefore, investigating the accumulation of metals in the bodies of aquatic organisms and their entry into the body of consumers is considered the first step in monitoring the health of consumers.

Materials & methods: The present study investigated the bioaccumulation of three metals Pb, Cd, and Cr in different organs of *Pampus argenteus* and *Lutjanus johnii* caught off the shores of Bandar Lenge in the north of the Persian Gulf. Subsequently, the estimated daily and weekly intakes (EDI and EWI) for children and adults were calculated, along with the permissible consumption limits (CR_{Lim} and CR_{mm}), and the potential risk of consuming these fish in relation to non-carcinogenic diseases (THQ). For this purpose, 30 specimens of each type of fish were prepared and chemically digested according to standard protocols.

Results: The results indicated that the highest concentration of metals was found in the liver tissue of *L. johnii*, whereas the lowest concentration was in the muscle tissue of *P. argenteus*. The trend of metal accumulation in both species followed the order: Cr > Cd > Pb, noted consistently in the liver, gill, and muscle tissues. The study also found that the concentration of metals was higher in female fish than in males for both species. The bioaccumulation factor (BAF) for all metals were higher in *L. johnii* than in *P. argenteus*, which can be attributed to the greater reliance of *L. johnii* on bed sediments for their nutritional needs.

Conclusion: A comparison of the metal concentrations in fish tissues with World Health Organization (WHO) standard suggested that the consumption of these two species does not pose a threat to consumer health. The EDI and EWI for metals in both adults and children, across both fish types, were significantly lower than the reference values. In addition, the THQ for individuals consuming these fish types is very low, indicating no significant danger to the consumers of these fishes. The results of the present study will provide a framework for wider studies on the effect of seafood consumption on the health of consumers.

* Corresponding Author's email: mohsennorouzi@pgu.ac.ir, mohsen.nowrouzi@saadi.shirazu.ac.ir

Received: 8 December 2023; Reviewed: 10 January 2024; Revised: 15 March 2024; Accepted: 15 April 2024

(DOI): 10.70102/AEJ.2025.17.1.16

مقاله پژوهشی

ارزیابی ریسک سلامت و انباشت زیستی فلزات سنگین در ماهیان خلیج فارس (سواحل بندر لنگه)

فرزاد صالحی^۱، محسن نوروزی^{۲*}^۱ گروه علوم و مهندسی شیلات، دانشکده علوم و فناوری نانو و زیستی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران^۲ گروه علوم و فناوری زیستی، دانشکده علوم و فناوری نانو و زیستی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران^۲ گروه منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

کلمات کلیدی

فلزات سنگین
خلیج فارس
ارزیابی ریسک سلامت
ماهی
انباشت زیستی

چکیده

مقدمه: خلیج فارس از مهم ترین بوم سازگان های آبی جهان محسوب می گردد که در سالیان اخیر با تهدیدات محیط زیستی جدی روبرو گردیده است. فلزات سنگین به دلیل عدم قابلیت تجزیه پذیری زیستی خود، خطر بالقوه ای را از طریق انباشت در بافت های آبزیان و تأثیر بر سلامت انسان به عنوان مصرف کننده نهایی از خود نشان می دهند. از این رو، بررسی انباشت فلزات در پیکر موجودات آبی و میزان ورود آن ها به بدن مصرف کنندگان، اولین اقدام در راستای پایش سلامت مصرف کنندگان محسوب می گردد.

مواد و روش ها: مطالعه حاضر، انباشت زیستی سه فلز سرب، کادمیوم و کروم در اندام های مختلف ماهی حلوا سفید (*Pampus argenteus*) و سرخو (*Lutjanus johnii*) صید شده از سواحل بندر لنگه در شمال خلیج فارس را بررسی نمود. سپس میزان جذب روزانه و هفتگی (EDI و EWI) در کودکان و بزرگسالان و حد مجاز مصرف برای آنان (CR_{mm} و CR_{lim}) و ریسک احتمال خطر مصرف این ماهی نسبت به بیماری های غیر سرطانی (THQ) محاسبه شد. به همین منظور ۳۰ قطعه از هر گونه ماهی، مطابق با دستورالعمل استاندارد، آماده سازی و هضم شیمیایی گردید.

نتایج: بر مبنای نتایج، بیش ترین غلظت فلزات در بافت کبد ماهی سرخو و کم ترین آن در بافت عضله ماهی حلواسفید به دست آمد. روند نزولی انباشت فلزات در هر دو گونه به صورت کروم < کادمیوم < سرب و به ترتیب در بافت های کبد، آبشش و عضله بود. در این مطالعه غلظت فلزات در هر دو گونه ماهی در ماده ها بیش تر از نرها بود. شاخص انباشت زیستی (BAF) در مورد همه فلزات در ماهی سرخو نسبت به حلوا سفید بیش تر است که این امر ناشی از وابستگی بیش تر نیازهای تغذیه ای ماهی سرخو به رسوبات بستر است.

بحث و نتیجه گیری: مقایسه غلظت فلزات در بافت های ماهیان با استاندارد سازمان جهانی (WHO) نشان داد که مصرف این دو گونه، سلامت عمومی مصرف کنندگان آن ها را تهدید نمی نماید. EDI و EWI فلزات در هر دو رده سنی بزرگسالان و کودکان و در هر دو گونه ماهی خوراکی از مقادیر مرجع به مراتب پایین تر بود. هم چنین میزان THQ در افراد مصرف کننده این دو گونه ماهی بسیار کم بوده و خطری مصرف کنندگان این ماهی ها را تهدید نمی نماید. نتایج حاصل از مطالعه حاضر، چارچوبی را برای مطالعات گسترده تر در زمینه تأثیر مصرف رژیم غذایی دریایی بر سلامت مصرف کنندگان فراهم خواهد آورد.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mohsen.nowrouzi@saadi.shirazu.ac.ir, mohsennorouzi@pgu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۷ آذر ۱۴۰۲ ؛ تاریخ داوری: ۵ دی ۱۴۰۲؛ تاریخ اصلاح: ۲۵ اسفند ۱۴۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۲۷ فروردین ۱۴۰۳

(DOI):10.70102/AEJ.2025.17.1.16

مقدمه

رشد روزافزون فعالیت‌های صنعتی، آلودگی بوم‌سازگان‌ها را تشدید نموده است. در میان این آلاینده‌ها، فلزات سنگین به دلیل قابلیت انباشت زیستی و عدم تجزیه‌پذیری، از جایگاه ویژه‌ای برخوردارند و سنجش مستمر بوم‌سازگان از منظر این آلاینده‌ها، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. از سویی بوم‌سازگان‌های آبی مخزن نهایی این فلزات محسوب می‌گردند. در بوم‌سازگان‌ها، فلزات سنگین می‌توانند با تأثیر بر روی عملکردهای ضروری آنزیمی و ایجاد استرس اکسیداتیو، فرآیندهای زیستی را مختل کنند که این امر منجر به کاهش تنوع زیستی و تغییرات در پویایی سطوح تغذیه‌ای می‌شود (۱). تجمع زیاد فلزات سنگین از طریق زنجیره‌های غذایی خطر قابل توجهی برای موجودات ایجاد نموده و تأثیرات مخربی را بر سلامت آنان بر جای می‌گذارد (۲). پایش آلودگی به فلزات سنگین به‌ویژه در مورد بوم‌سازگان خلیج فارس، به‌عنوان کانون انرژی جهانی و فعالیت‌های مرتبط با استخراج و استحصال نفت اهمیتی دو چندان می‌یابد. این فعالیت‌ها، بوم‌سازگان خلیج فارس و موجودات زنده آن را با تهدیدات متعددی روبرو نموده است که فلزات سنگین حاصل از این فعالیت‌ها بخش مهمی از این تهدیدات محسوب می‌گردند (۳). از سوئی بوم‌سازگان خلیج فارس نقش به‌سزایی در تأمین غذایی کشورهای پیرامون خود برعهده دارد. ماهی‌های صیدشده از خلیج فارس با ارزش تجاری بالای خود، اقتصاد این کشورها را متأثر ساخته و جز لاینفک رژیم غذایی ساکنان این منطقه محسوب می‌گردد (۴). از این‌رو، بررسی شاخص‌های مرتبط با انباشت فلزات سنگین در این موجودات، نه تنها بازتابی از شرایط آلودگی محیطی در این منطقه خواهد بود، بلکه گامی مؤثر در زمینه تضمین سلامت غذایی مصرف‌کنندگان آنان به‌شمار می‌آید. گوشت ماهی به‌علت دارا بودن اسیدهای چرب و اسید آمینه فراوان، دارای ارزش غذایی بالایی در مقایسه با سایر غذاهای جانوری است (۶). قرارگرفتن در معرض فلزات سمی، سبب جذب این فلزات توسط ماهی از راه‌های تغذیه‌ای و یا آبشش آن‌ها شده و انباشت این فلزات در بافت‌های عضلانی و خوراکی آنان را منجر می‌گردد. در چند دهه گذشته گزارش‌های متعددی از آلودگی به فلزات سنگین، در اثر مصرف ماهی‌های آلوده به این فلزات گزارش شده است (۷). بر مبنای شواهد موجود، قرار گرفتن مزمن در معرض فلزات سنگین، آثار بسیار ناخوشایندی را بر سلامت انسان بر جای خواهد گذاشت (۸، ۹). قرار گرفتن در معرض سرب سبب ایجاد اختلالات عصبی و ناتوانی‌های فکری در کودکان خواهد شد (۱۰). کادمیوم نیز به‌عنوان ماده‌ای سرطان‌زا شناخته شده است (۱۱). تماس مزمن با این فلز سنگین، در گذر زمان منجر به

آسیب کلیوی و تخریب استخوان می‌شود (۹، ۱۲). کروم، به‌ویژه کروم شش ظرفیتی، با بیماری‌های پوستی، مشکلات تنفسی، و افزایش خطر سرطان ریه مرتبط است (۱۳، ۱۴). چنین تأثیراتی اهمیت نظارت و تنظیم آلودگی‌های فلزات سنگین برای حفاظت از یکپارچگی بوم شناختی و سلامت عمومی را برجسته می‌نماید. این فلزات پس از مصرف ماهی آلوده و ورود به بدن، می‌توانند به‌صورت ترکیب با آنزیم‌ها و پروتئین‌ها بر عملکرد سلول‌های بدن اثر نامطلوبی را ایجاد نمایند، از سویی به دلیل شباهت ساختاری خود با برخی از یون‌های مورد نیاز بدن، می‌توانند جایگزین دیگر املاح و مواد معدنی مورد نیاز بدن گردند (۱۵، ۱۶). با توجه به اهمیت سلامت غذایی حاصل از خلیج فارس در سال‌های اخیر، مطالعاتی پراکنده در این زمینه صورت گرفته است. در این زمینه Sharifian و همکاران، غلظت فلزات را در دو گونه ماهی تجاری (*Crenimugil seheli*, *Pseudorhombus elevates*) و میگوی *Metapenaeus affinis* صیدشده از منطقه شهرک صنعتی غرب بندرعباس مورد بررسی قرار دادند (۵). و همکاران، در یک مطالعه مروری، اطلاعات حاصل از پایگاه‌های داده متفاوت در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ در ارتباط با غلظت عناصر سمی بالقوه خطرناک (Potentially Toxic Elements) را در ماهیان صیدشده از خلیج فارس مورد بررسی قرار دادند (۱۷). علاوه بر این، مطالعه مذکور به‌مطالعه دوز دریافتی روزانه و دوز مرجع برای این فلزات پرداخت. هم چنین در مطالعه‌ای دیگر Ravanbakhsh و همکاران، اثرات بهداشتی احتمالی حاصل از مصرف ماهی بنتوپلاژیک *Johnius belangerii* و ماهی کفزی *Cynoglossus arel* صیدشده از خورموسی در خلیج فارس را مورد بررسی قرار دادند. آنان در این مطالعه به محاسبه شاخص‌هایی از قبیل (FFQ, MPLs (permissible levels maximum), bioaccumulation), THQ (target hazard quotient) پرداختند (۱۸). اگر چه در زمینه سلامت غذایی خلیج فارس اقداماتی صورت گرفته است، اما به دلیل ماهیت و ویژگی‌های خاص این منطقه و نیز در معرض قرارگرفتن این بوم‌سازگان با آلاینده‌های روزافزون، پایش مستمر آلاینده‌های و سلامت غذایی حاصل از آن می‌بایست به‌صورت پیوسته مورد آنالیز قرار گیرد. از این‌رو در پژوهش حاضر، میزان انباشت فلزات سنگین در بافت‌های مختلف دو گونه عمده ماهی خوراکی یعنی حلواسفید و سرخو صیدشده از خلیج فارس مورد بررسی قرار گرفت. بر این مبنا فاکتور انباشت زیستی تعیین شد. در ادامه میزان جذب روزانه و هفتگی فلزات سنگین از طریق مصرف این ماهیان در کودکان و بزرگسالان و حد مجاز مصرف برای آنان مشخص گردید. هم‌چنین ریسک احتمال خطر مصرف این ماهی نسبت به بیماری‌های غیرسرطانی نیز محاسبه و با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

نمونه برداری: در مطالعه حاضر ۳۰ ماهی از گونه *Pampus*

argenteus و ۳۰ ماهی نیز از گونه *Lutjanus johnii* به ترتیب با نام‌های فارسی حلوا سفید و سرخو معمولی صید شده از سواحل بندرلنگه به وسیله تورهای گوشگیر و به دلیل جایگاه ویژه آنان در رژیم غذایی مردم جنوب کشور، جهت بررسی انباشت فلزات سنگین در پیکر آن‌ها و ارزیابی ریسک سلامت حاصل از مصرف آن‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. ماهی‌ها پس از برچسب‌گذاری، در یخ نگه‌داری و برای تجزیه و تحلیل بیش‌تر به آزمایشگاه منتقل گردیدند.

آنالیز نمونه‌ها: نمونه‌های آب از عمق ۳۰ سانتی‌متری از سواحل

بندرلنگه برداشت شده و در ظروف ۲۵۰ میلی‌لیتری پلی‌اتیلنی که از قبل به وسیله محلول ۱۰ درصد اسیدنیتریک (مرک، آلمان) و سپس آب دوبار تقطیر شستشو داده شده بودند، ریخته شدند. همه نمونه‌های آب بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند و توسط فیلترهای نیتروسلولزی ۰/۴۵ میکرون (آلمان) فیلتر شدند. سپس تا هنگام آنالیز، نمونه‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند. نمونه‌های ماهی نیز پس از انتقال به آزمایشگاه براساس گونه دسته‌بندی شدند. حدود ۱ گرم از هر اندام (وزن مرطوب) در ارلن مایر ریخته و ۸ میلی‌لیتر اسید نیتریک (۶۵ درصد، مرک آلمان) به آن اضافه شد و سپس نمونه‌ها به مدت یک شب به حال خود رها شدند. پس از آن، ۳ میلی لیتر اسید پرکلریک (۷۰ درصد، مرک، آلمان) به هر نمونه اضافه شد. جهت هضم اسیدی، نمونه‌ها در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد روی صفحه داغ (Hot plate) قرار گرفتند تا محلول‌ها شفاف شوند. پس از سرد شدن، مخلوط‌ها با آب دیونیزه تا حجم ۲۵ میلی‌لیتر رقیق شدند. سپس از طریق فیلترهای غشایی نیتروسلولزی ۰/۴۵ میکرونی فیلتر شده و در ظروف پلاستیکی ۲۵ میلی‌لیتری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند (۸، ۱۴). آنالیز فلزات با استفاده از یک طیف‌سنج جذب اتمی (مدل AA3030 Perkin Elmer، آلمان) انجام شد. حدود تشخیص دستگاه برای فلزات کادمیوم (۰/۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم)، سرب (۰/۰۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) و کروم (۰/۰۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود. تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) برای تشخیص تفاوت در غلظت فلز بین بافت‌ها استفاده شد. سپس از آزمون تعقیبی توکی برای تشخیص معنی‌داری تفاوت بین بافت‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) انجام شد.

محاسبه جذب فلزات برحسب وزن تر: ماهی‌ها عمدتاً به

صورت وزن تر مورد استفاده قرار می‌گیرند. از این‌رو در محاسبات حد مجاز مصرف روزانه و تأثیر آن بر سلامت انسان می‌بایست بر

مبنای وزن تر مصرف ماهی استفاده نمود. براساس مطالعات FAO، حدود ۸۰ درصد وزن بدن ماهی را رطوبت تشکیل می‌دهد. از این‌رو، از فرمول ۱، برای محاسبه وزن تر استفاده شد (۶).

$$CF = 1 - (100 / \text{میزان رطوبت ماهیچه ماهی}) \quad (۱)$$

شاخص انباشت زیستی (BAF: Bioaccumulation Factor) در اندام‌های گونه‌های مورد بررسی نسبت به آب نیز از رابطه زیر محاسبه گردید (فرمول ۲):

$$BAF = (\text{Concentration in organism } (\mu\text{g/g}) / \text{Concentration in water } (\mu\text{g/L})) \times 100$$

محاسبه جذب روزانه و هفتگی: محاسبات مربوط به میزان

جذب روزانه فلزات سنگین به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن در روز، در سواحل جنوبی خلیج فارس (شهرستان بندرلنگه) از روش توسعه داده شده توسط کمیته مشترک متخصصان سازمان خواربار (FAO: Food and Agriculture Organization) و سازمان بهداشت جهانی (WHO: World Health Organization) محاسبه گردید:

$$EDI = (C_m \times FIR_d) / BW \quad (۳)$$

$$EWI = (C_m \times FIR_w) / BW \quad (۴)$$

در این رابطه، EDI (Estimated Daily Intake) و EWI (Estimated Weekly Intake) به ترتیب میزان جذب روزانه یا هفتگی فلزات توسط بدن از طریق مصرف ماهی (میکروگرم/کیلوگرم وزن بدن/روز یا هفته)، C_m (Concentration means): میزان غلظت فلز در بافت ماهیچه ماهی (میکروگرم/گرم بر حسب وزن تر)، FIR_d (Intake Range) و FIR_w به ترتیب میزان مصرف ماهی در مناطق مورد مطالعه برحسب گرم در روز یا هفته است. براساس گزارش FAO سرانه مصرف ماهی در ایران ۲۴ گرم به ازای هر فرد در روز برآورد شده است که برابر با ۱۶۸ گرم برای هر فرد در هفته می‌باشد. BW (Body weight): میانگین وزن بدن مصرف‌کننده (۷۰ کیلوگرم برای بزرگسالان و ۱۴/۵ کیلوگرم برای کودکان) می‌باشد (۶).

محاسبه حد و تعداد وعده مجاز مصرف ماهی: حد مجاز

مصرف ماهی به منظور ایجاد تعادل بین فواید مصرف ماهی و حفظ سلامت عمومی ناشی از مصرف ماهی می‌باشد و یکی از مهم‌ترین روش‌های تعیین حد مجاز مصرف ماهی، روشی است که توسط EPA ارائه شده است (۱۹) و از رابطه زیر برآورد می‌گردد:

$$CRL_{lim} = RfD \times BW / C_m \quad (۵)$$

$$CRL_{mm} = CRL_{lim} \times T / MS \quad (۶)$$

CRL_{lim} : حداکثر مصرف قابل قبول مصرف روزانه ماهی (کیلوگرم در روز)، CRL_{mm} : حداکثر مصرف قابل قبول مصرف ماهیانه ماهی (وعده در ماه)، RfD : دور مرجع (میکروگرم بر گرم وزن بدن در روز)، BW : میانگین وزن بدن مصرف‌کننده، C_m : میزان غلظت فلزات سنگین سرب، کروم و کادمیوم در بافت عضله ماهی (میکروگرم بر گرم)،

نتایج

بررسی غلظت فلزات سنگین در اندام دو گونه ماهی: دو

گونه ماهی پرمصرف خوراکی حلواسفید و سرخو صیدشده از سواحل بندرلنگه در تحقیق حاضر مورد بررسی قرار گرفتند. غلظت‌های فلزات (سرب، کادمیوم و کروم) در این دو گونه، در **Error! Reference source not found.**

جدول ۱ آورده شده‌اند. بر مبنای نتایج به‌دست آمده می‌توان بیان نمود که بیش‌ترین میانگین غلظت انباشت فلزات سرب، کادمیوم و کروم در بافت کبد ماهی سرخو و به‌ترتیب برابر با برابر با ۰/۷۵، ۰/۶۶ و ۰/۵۰ میکروگرم بر گرم مشاهده شد؛ درحالی‌که کم‌ترین میانگین غلظت‌های سرب، کادمیوم و کروم در ماهیچه ماهی حلوا سفید و به‌ترتیب برابر با ۰/۱۶، ۰/۲۳ و ۰/۳۱ میکروگرم بر گرم یافت شد. نتایج نشان داد که غلظت فلزات در هر دو گونه ماهی به ترتیب نزولی سرب < کادمیوم < کروم بود. هم‌چنین، الگوی تجمع فلزات در بافت‌های دو گونه ماهی به‌ترتیب نزولی کبد < آبشش < ماهیچه بود. غلظت‌های فلزات سرب، کادمیوم و کروم در کبد ماهی حلوا سفید نسبت به ماهیچه آن به‌ترتیب ۳/۶، ۱/۷ و ۱/۸ و در ماهی سرخو به‌ترتیب برابر با ۳/۱۳، ۲/۲ و ۱/۱۴ برآورد گردید. بر این مبنا می‌توان دریافت که بافت ماهیچه در این دو گونه ماهی، بافت فعالی در انباشت فلزات نیست. از سویی در مطالعه حاضر، کبد مهم‌ترین اندام انباشت فلزات سنگین مورد بررسی در هر دو گونه بود. نتایج به‌دست آمده هم‌چنین نشان داد که غلظت فلزات در هر دو گونه ماهی در ماده‌ها بیش‌تر از نرها بود.

جدول ۱: میانگین ($\pm$ انحراف معیار) غلظت فلزات (میکروگرم بر گرم) در کبد ماهیان حلواسفید و سرخو صیدشده از سواحل بندرلنگه، خلیج فارس

گونه	جنسیت	تعداد	کادمیوم	سرب	کروم
		۳۰			
حلوا سفید	نر	۱۵	۰/۳۳ $\pm$ ۰/۰۲	۰/۵۴ $\pm$ ۰/۰۳	۰/۴۹ $\pm$ ۰/۰۳
	ماده	۱۵	۰/۴۲ $\pm$ ۰/۰۱	۰/۵۹ $\pm$ ۰/۰۱	۰/۶۲ $\pm$ ۰/۰۳
	میانگین کل		۰/۳۸ $\pm$ ۰/۰۱	۰/۵۷ $\pm$ ۰/۰۲	۰/۵۵ $\pm$ ۰/۰۳
	مقادیر *p		NS	NS	NS
		۳۰			
سرخو	نر	۱۵	۰/۶۲ $\pm$ ۰/۰۲	۰/۷۱ $\pm$ ۰/۰۳	۰/۴۶ $\pm$ ۰/۰۱
	ماده	۱۵	۰/۷۰ $\pm$ ۰/۰۲	۰/۷۸ $\pm$ ۰/۰۱	۰/۵۳ $\pm$ ۰/۰۳
	میانگین کل		۰/۶۶ $\pm$ ۰/۰۲	۰/۷۵ $\pm$ ۰/۰۲	۰/۵۰ $\pm$ ۰/۰۲
	مقادیر *p		NS	NS	NS

*مقدار p به‌دست آمده از آزمون t NS عدم معنی‌داری

MS: میزان مصرف ماهی در هر وعده (۲۲۸ گرم)، T: تعداد روزهای هر ماه (۳۰/۴۴ روز در ماه) می‌باشد.

محاسبه ریسک خطرپذیری - شاخص خطر (THQ): برای

محاسبه احتمال خطرپذیری افراد به بیماری‌های غیرسرطانی (THQ: Target Hazard Quotient) مصرف ماهی برای انسان، از رابطه اراده شده توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا (USEPA: United State Environmental Protection Agency) استفاده شد (۲۰).

$$THQ = [(EF \times ED \times FIR C_m) / (Rf_d \times BW \times AT)] \times 10^{-3} \quad (7)$$

میزان THQ به عنوان یکی از پارامترهای معقول برای ارزیابی خطر ابتلا به فلزات در ارتباط با مصرف ماهی آلوده به رسمیت شناخته شده است. THQ: نسبت خطر (بدون واحد)، EF: فرکانس مواجهه (۳۶۵ روز در سال)، ED: کل مدت زمان در معرض قرارگیری (۷۲ سال)، FIR_w و FIR_d بیانگر میزان مصرف ماهی (گرم در روز یا هفته)، C_m: میزان غلظت فلزات سنگین (میکروگرم بر گرم)، Rf_d: دوز مرجع با مصرف دهانی (میکروگرم بر گرم در روز) برای فلز سرب، کادمیوم و کروم به‌ترتیب ۰/۰۰۳۵، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۵ میکروگرم بر گرم وزن بدن در روز ارائه‌شده توسط EPA، BW: میانگین وزن بدن مصرف‌کننده (۷۰ کیلوگرم برای بزرگسالان و ۱۴/۵ کیلوگرم برای کودکان (۲۱)، متوسط زمان در معرض قرارگیری برای ترکیبات غیر سرطان‌زا ۳۶۵ روز در سال $\times$ تعداد سال‌های در معرض قرارگیری، ۷۲ سال است) که از رابطه $ED \times DF$ به‌دست می‌آید. با توجه به این که پتانسیل خطر، نسبت غلظت عناصر به حداکثر غلظتی از آن عنصر است که در بدن ایجاد مشکل نمی‌کند، اگر THQ کم‌تر از یک برآورد گردد، بیانگر آن است که هیچ خطر محسوسی قابل ارزیابی از نظر بهداشتی بر روی سلامتی در نتیجه مصرف ماهی رخ نمی‌دهد. اما در صورتی که این نسبت برابر یا بزرگ‌تر از یک باشد، نشان‌دهنده احتمال بالای خطرپذیری است و هم‌چنین نشان می‌دهد که قرار گرفتن در معرض یک ماده شیمیایی به احتمال زیاد، اثر سوء بهداشتی خواهد داشت و خطراتی را برای مصرف‌کنندگان به‌دنبال دارد (۲۲). به‌منظور ارزیابی ریسک سلامتی در ارتباط با مصرف ماهی، خطرپذیری کل یا شاخص خطر (Hazard Index)، از فرمول زیر محاسبه گردید (۲۰):

$$HI = \sum THQ = THQ_{pb} + THQ_{cd} + THQ_{cr} \quad (8)$$

هنگامی که عدد شاخص خطرپذیری بیماری‌های غیرسرطانی به یک برسد، نشان‌دهنده بالا بودن احتمال خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی است. اگر نتیجه حاصل از این فرمول کم‌تر از یک باشد ($HI < 1$)، نشان‌دهنده آن است که هیچ خطری از یک ماده شیمیایی به تنهایی یا در ترکیب با دیگر آلاینده‌ها وجود ندارد و هم‌چنین مصرف آبی اثر حاد مضر بر روی سلامتی انسان ندارد (۲۲).

می‌شود در هر دو گونه بالاترین میزان انباشت فلزات در بافت کبد و پس از آن در آبشش و ماهیچه به‌دست آمد. از سویی بالاترین میزان انباشت زیستی از بین سه فلز مربوط به کادمیوم بود. هم‌چنین بر مبنای نتایج ذکر شده در

می‌توان دریافت که غلظت‌های فلزات بین بافت‌های مختلف ماهی متفاوت بودند (آنالیز واریانس یک‌طرفه، $p > 0.001$)، اما اختلاف معنی‌داری در انباشت فلزات بین دو جنس یک گونه مشاهده نشد.

جدول ۲: شاخص انباشت زیستی فلزات در بافت‌های ماهیان

حلواسفید و سرخو صیدشده از سواحل بندرلنگه، خلیج فارس

گونه	بافت	کادمیوم	سرب	کروم
حلو سفید	کبد	۷/۶	۳/۶	۲/۲
	آبشش	۶/۶	۱/۷	۲/۰
	ماهیچه	۴/۶	۱/۰	۱/۲۴
سرخو	کبد	۱۳/۲	۴/۷	۲/۰
	آبشش	۶/۸	۱/۶	۲/۰۸
	ماهیچه	۶/۰	۱/۵	۱/۷۶

مقایسه غلظت انباشت فلزات در دو گونه ماهی با استاندارد

جهانی: در مطالعه حاضر دو گونه با بالاترین میزان مصرف در میان ساکنان بومی انتخاب شد. در این مطالعه، غلظت‌های فلزات در بافت ماهیچه هر دو گونه ماهی تجزیه و تحلیل شدند، زیرا این غلظت‌ها اطلاعاتی در مورد خطر بالقوه برای خود ماهی‌ها یا شکارچیان و مصرف‌کنندگان آن‌ها (به‌ویژه انسان‌ها) فراهم می‌کند. بر مبنای اطلاعات حاصل از FAO، حداکثر غلظت‌های مجاز ۰/۵ میکروگرم بر گرم وزن تر برای سرب (در این مطالعه به ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۲۴ میکروگرم بر گرم برای ماهی حلواسفید و سرخو)، ۰/۵ میکروگرم بر گرم وزن تر برای کادمیوم (در این مطالعه به ترتیب ۰/۲۳ و ۰/۳۰ میکروگرم بر گرم برای ماهی حلواسفید و سرخو) و ۱ میکروگرم بر گرم وزن تر برای کروم (در این مطالعه به ترتیب ۰/۳۱ و ۰/۴۴ میکروگرم بر گرم برای ماهی حلواسفید و سرخو) بود (۸، ۲۳). هم‌چنین غلظت استاندارد فلزات در بافت ماهیچه ماهی با استاندارد جهانی سازمان بهداشت جهانی (WHO) نیز مقایسه گردیدند و نتایج به‌دست آمده در جدول ۴ بیان شده است.

جدول ۲: میانگین ($\pm$ انحراف معیار) غلظت فلزات (میکروگرم بر گرم) در آبشش ماهیان حلواسفید و سرخو صیدشده از سواحل بندرلنگه، خلیج فارس

گونه	جنسیت	تعداد	فلزات		
			کادمیوم	سرب	کروم
حلوا سفید		۳۰			
	نر	۱۵	۰/۲۵±۰/۰۳	۰/۱۸±۰/۰۴	۰/۴۳±۰/۰۲
	ماده	۱۵	۰/۴۰±۰/۰۱	۰/۳۶±۰/۰۲	۰/۵۴±۰/۰۳
	میانگین کل		۰/۳۳±۰/۰۲	۰/۲۷±۰/۰۳	۰/۴۹±۰/۰۳
	مقادیر <i>p</i> *		NS	NS	NS
سرخو		۳۰			
	نر	۱۵	۰/۳۱±۰/۰۲	۰/۲۲±۰/۰۱	۰/۴۸±۰/۰۳
	ماده	۱۵	۰/۳۶±۰/۰۳	۰/۲۷±۰/۰۲	۰/۵۵±۰/۰۱
	میانگین کل		۰/۳۴±۰/۰۳	۰/۲۵±۰/۰۲	۰/۵۲±۰/۰۲
	مقادیر <i>p</i>		NS	NS	NS

* مقدار p به‌دست آمده از آزمون t ، NS عدم معنی‌داری

جدول ۱: میانگین ($\pm$ انحراف معیار) غلظت فلزات (میکروگرم بر گرم) در ماهیچه ماهیان حلواسفید و سرخو صیدشده از سواحل بندرلنگه، خلیج فارس

گونه	جنسیت	تعداد	فلزات		
			کادمیوم	سرب	کروم
حلو سفید		۳۰			
	نر	۱۵	۰/۱۸±۰/۰۲	۰/۱۳±۰/۰۲	۰/۲۷±۰/۰۱
	ماده	۱۵	۰/۲۷±۰/۰۱	۰/۱۹±۰/۰۲	۰/۳۴±۰/۰۳
	میانگین کل		۰/۲۳±۰/۰۱	۰/۱۶±۰/۰۲	۰/۳۱±۰/۰۲
	مقادیر <i>p</i> *		NS	NS	NS
سرخو		۳۰			
	نر	۱۵	۰/۲۷±۰/۰۲	۰/۲۱±۰/۰۱	۰/۴۲±۰/۰۲
	ماده	۱۵	۰/۳۳±۰/۰۲	۰/۲۶±۰/۰۲	۰/۴۶±۰/۰۱
	میانگین کل		۰/۳۰±۰/۰۲	۰/۲۴±۰/۰۱	۰/۴۴±۰/۰۱
	مقادیر <i>p</i>		NS	NS	NS

* مقدار p به‌دست آمده از آزمون t ، NS عدم معنی‌داری

نتایج انباشت زیستی فلزات در آب و اندام ماهی: در آب،

میانگین غلظت‌های سرب، کادمیوم و کروم به ترتیب برابر با ۰/۱۶،

۰/۰۵ و ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر بود. نتایج حاصل از بررسی انباشت

زیستی فلزات در جدول ۲ بیان شده است. همان‌گونه که مشاهده

جدول ۳: آنالیز آماری غلظت فلزات سرب، کادمیوم و کروم در آبشش، کبد و ماهیچه ماهیان حلواسفید و سرخو

گونه ماهی	کادمیوم	سرب	کروم
حلو سفید	آنالیز یک‌طرفه (مقدار F)	آنالیز یک‌طرفه (مقدار F)	آنالیز یک‌طرفه (مقدار F)
	آنالیز واریانس (مقدار p)	آنالیز واریانس (مقدار p)	آنالیز واریانس (مقدار p)
سرخو	آنالیز یک‌طرفه (مقدار F)	آنالیز یک‌طرفه (مقدار F)	آنالیز یک‌طرفه (مقدار F)
	آنالیز واریانس (مقدار p)	آنالیز واریانس (مقدار p)	آنالیز واریانس (مقدار p)

سطح اطمینان (p)

جدول ۴: مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین (میکروگرم بر گرم) در بافت ماهیچه ماهی حلواسفید و سرخو صیدشده از خلیج فارس با استاندارد WHO

فلز	سرب	کادمیوم	کروم
حلو سفید	0.32 ± 0.04	0.46 ± 0.02	0.62 ± 0.04
سرخو	0.48 ± 0.02	0.6 ± 0.04	0.88 ± 0.02
استاندارد			
WHO	۰/۴	۰/۲	۱/۳

تعیین دوز مرجع استفاده روزانه و هفتگی ماهیان بر مبنای

غلظت فلزات سنگین در بافت آنان: ارزیابی مواد غذایی مصرفی به منظور تعیین مقدار عناصر موجود در آنها و هم چنین میزان جذب این مواد شیمیایی مضر توسط بدن از جمله راهبردهایی تضمین کننده در سلامت غذایی عموم جامعه محسوب می گردد. در این زمینه کمیته مشترک سازمان بهداشت جهانی و سازمان خواروبار جهانی (JECFA: Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) شاخص (Provisional Tolerable Weekly Intake) PTWI را تعیین نموده اند. هم چنین دو معیار EDI و EWI توسط USEPA تعریف شده است. در این زمینه، میزان دریافت روزانه و هفتگی عناصر برای یک انسان بالغ (با وزن تقریبی ۷۰ کیلوگرم) و کودکان (با وزن ۱۴/۵ کیلوگرم) تعیین و با دوز مرجع معرفی شده مقایسه می شود. نتایج به دست آمده از این تحقیق در جدول ۵ ذکر شده است.

جدول ۵: محاسبه میزان جذب روزانه و هفتگی فلزات سنگین در بافت ماهیچه ماهی حلواسفید و سرخو توسط افراد مصرف کننده در سواحل شمالی خلیج فارس

ماهی	فلز	سرب	کادمیوم	کروم
حلو	EDI ¹ (A ²)	۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۲۱
	EDI (C ³)	۰/۵۳	۰/۷۶	۰/۱۰۳
	EWI (A)	۰/۷۷	۰/۱۱	۰/۱۴۹
سفید	EWI (C)	۰/۳۷۱	۰/۵۳۳	۰/۷۱۸
	EDI ¹ (A ²)	۰/۱۶	۰/۲۱	۰/۳۰
	EDI (C ³)	۰/۷۹	۰/۹۹	۰/۱۴۶
سرخو	EWI (A)	۰/۱۱۵	۰/۱۴۴	۰/۲۱۱
	EWI (C)	۰/۵۵۶	۰/۶۹۵	۰/۲۰
مراجعه	RFD ⁴ (EPA)	۳/۵	۱	۵
	PTWI ⁵	۲۵	۷	۲۳/۳

^۱ میکروگرم کیلوگرم در روز، ^۲ بزرگسالان، ^۳ کودکان، ^۴ میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز، ^۵ میزان جذب مجاز قابل تحمل موقت هفتگی (بر حسب میکروگرم در هفته به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن)

حدمجاز روزانه و نیز حداکثر وعده های مجاز مصرف ماهی

سفید و سرخو: به منظور مطالعه حد مجاز روزانه و نیز حداکثر وعده های مجاز مصرف ماهی ها مورد بررسی در این مطالعه (یعنی ماهی حلواسفید و سرخو) در طی یک ماه، از نظر میزان دریافت سه فلز سرب، کادمیوم و کروم، در بزرگسالان با وزن ۷۰ کیلوگرم و برای کودکان با وزن ۱۴/۵ کیلوگرم به ترتیب از شاخص CR_{Lim} و CR_{mm} استفاده شد و نتایج در جدول ۶ خلاصه شده است.

جدول ۶: محاسبه حداکثر مصرف قابل قبول برای فلزات سنگین ماهی حلواسفید و سرخو صیدشده از خلیج فارس برای بزرگسالان و کودکان

ماهی	فلز	سرب	کادمیوم	کروم	
حلو	روزانه	CR _{Lim} (A ^۱)	۷/۶۵۶	۱/۵۲۲	۵/۶۴۵
		CR _{lim} (C ^۲)	۱/۵۸۶	۰/۳۱۵	۱/۱۶۹
	سفید	هفتگی	CR _{mm} (A)	۱/۰۲۲	۰/۲۰۳
		CR _{mm} (C)	۰/۲۱۲	۰/۰۴۲	۰/۱۵۶
سرخو		روزانه	CR _{Lim} (A)	۵/۱۰۴	۱/۱۶۷
	هفتگی	CR _{lim} (C)	۱/۰۵۷	۰/۲۴۲	۰/۸۲۴
	روزانه	CR _{mm} (A)	۰/۶۸۱	۰/۱۵۶	۰/۵۳۱
هفتگی	CR _{mm} (C)	۰/۱۴۱	۰/۰۳۲	۰/۱۱۰	

^۱ کیلوگرم در روز، ^۲ وعده در ماه

ارزیابی ریسک خطرپذیری مصرف غذاهای دریایی: شاخص

THQ، جهت ارزیابی ریسک خطرپذیری مصرف غذاهای دریایی ناشی از تجمع فلزات سنگین در پیکر آنان و احتمال انتقال به انسان مورد بررسی قرار می گیرد (۱۸، ۲۰). از این رو در مطالعه حاضر مقادیر پتانسیل خطرپذیری THQ برای هر یک از فلزات سرب، کادمیوم و کروم در ماهی های حلواسفید و سرخو صیدشده از سواحل بندرلنگه مورد بررسی قرار گرفت. از سویی با توجه به این که قرار گرفتن در معرض بیش از یک آلاینده ممکن است اثرات همبیشی (Synergistic effect) را بروز نماید، در این پژوهش شاخص کل فلزات HI در نمونه بافت ماهیچه ماهی از طریق جمع شاخص خطرپذیری (THQ) حاصل از هر یک از فلزات محاسبه گردید. شاخص بدون واحد THQ در واقع بیانگر نسبت دوز محاسبه شده در معرض قرارگرفتن فلزات به RfD است. با توجه به دوز مینا جهت تعیین شاخص THQ، در تمامی موارد مقدار THQ محاسبه شده برای هر سه فلز مورد مطالعه و برای هر دو ماهی کم تر از یک به دست آمد (جدول ۷). این بدان ۱۳۴

نیز عضوی است که تبادلات فعال و غیرفعال بین موجود و محیط آبی پیرامون صورت می‌گیرد. بنابراین، غلظت بالایی از فلزات با جذب و جذب سطحی در بافت‌های آبشش تجمع می‌یابد (۲۵). هم‌چنین غلظت فلزات در عضله ماهی نیز به‌عنوان مهم‌ترین اندام خوراکی این موجودات که نقش به‌سزایی در انتقال آلودگی حاصل از فلزات سنگین به پیکر انسان دارند بسیار حائز اهمیت است (۲۶). از سویی نتایج حاصل از تحقیقات مختلف نشان داده است که فلزات سنگین تمایل بالایی برای انباشت در بافت‌های موجودات زنده دارند (۲۷). در این میان در مطالعه حاضر، فلز کادمیوم نسبت به دو فلز دیگر، از قابلیت انباشت زیستی بسیار بالاتری برخوردار بود که این امر به وضوح در نتایج مطالعه حاضر نمود پیدا کرده است (۹). همان‌گونه که مشاهده می‌شود شاخص انباشت زیستی در مورد همه فلزات در ماهی سرخو نسبت به حلوا سفید بیش تر است. این امر را می‌توان به‌عادات تغذیه‌ای ماهی سرخو نسبت داد. ماهی سرخو بخش عمده نیازهای غذایی خود را از بخش‌های عمقی آب که در تماس بیش‌تری با رسوبات بستر قرار دارند و احتمال آلودگی به فلزات سنگین در آن‌ها بیش‌تر است تأمین می‌کند درحالی‌که ماهی حلوا سفید از نظر تغذیه‌ای بیش‌تر به ستون‌های آب مناطق دور از ساحل وابسته است (۱۴، ۲۸). در این ارتباط هیچ تفاوت آشکاری بین غلظت ۱۷ عنصر مورد بررسی بین نرها و ماده‌ها در گونه *Squalius* و *Capoeta tinca* و *pursakensis* مشاهده نشد (۲۹). بر مبنای مقایسه غلظت فلزات در دو گونه ماهی سفید و سرخو با مقادیر استاندارد FAO، می‌توان اظهار داشت که مصرف ماهیچه ماهیان صید شده از سواحل بندر لنگه، از منظر انباشت فلزات سرب، کادمیوم و کروم فاقد خطر بر سلامت ساکنان بومی این منطقه می‌باشد. میزان غلظت این فلزات در سایر مطالعات با مطالعه حاضر قابل مقایسه است. غلظت فلزات سرب و کروم در کانال Kutubdia در کشور بنگلادش و در ماهی گونه *Oreochromis niloticus* به‌ترتیب برابر با ۳/۲۲۶ و ۱/۷۴ میکروگرم بر گرم برآورد شد (۳۰). در این مطالعه، غلظت‌های به‌دست آمده برای هر سه فلز بیش‌تر از مقدار گزارش شده در مطالعه پیشین بود (۵). هم‌چنین، غلظت سه فلز سرب، کادمیوم و کروم را در سواحل شمال شرق آسیا در گونه *Crenimugil seheli* برابر با ۰/۰۲، ۰/۰۳ و ۰/۵ میکروگرم بر گرم وزن خشک گزارش شد (۳۱). هم‌چنین غلظت این سه فلز در بخش‌های شمالی خلیج فارس در گونه *Metapenaeus affinis* به‌ترتیب برابر با ۰/۰۲، ۰/۱ و ۰/۰۹ میکروگرم بر گرم وزن خشک بیان شده است (۵). هم‌چنین نتایج آنالیز آماری ($p < 0/01$) نشان داد که در هر دو گونه رابطه منفی معنی‌داری بین این فلزات با وزن، طول و سن دو گونه ماهی به‌دست آمد. در مطالعات مختلف، روابط منفی بین اندازه ماهی، سن و

معنی است که احتمال بروز بیماری‌های غیرسرطانی در افراد مصرف‌کننده این نوع ماهی بسیار کم بوده و خطری مصرف‌کنندگان این ماهی‌ها را تهدید نمی‌نماید. هم‌چنین شاخص خطرپذیری کل (HI) نیز در همه موارد، به استثنای شاخص خطر کل هفتگی در کودکان (۱/۰۵۸) که اندکی فراتر از یک بود، کم‌تر از یک به‌دست آمد.

جدول ۷: تخمین خطر بالقوه (THQ) و کل شاخص خطر (HI) فلزات سنگین در بافت ماهیچه ماهی حلواسفید و سرخو صیدشده از خلیج فارس

ماهی	فلز	سرب	کادمیوم	کروم
حلوا	روزانه	THQ (A)	۰/۰۰۳	۰/۰۱۶
		THQ (C)	۰/۰۱۵	۰/۰۲۱
	هفتگی	THQ (A)	۰/۰۲۲	۰/۰۳۰
		THQ (C)	۰/۱۰۶	۰/۱۴۴
سفید	روزانه	HI (A)	۰/۰۲۳	
		HI (C)	۰/۱۱۲	
	هفتگی	HI (A)	۰/۱۶۲	
		HI (C)	۰/۷۸۳	
سرخو	روزانه	THQ (A)	۰/۰۰۵	۰/۰۲۱
		THQ (C)	۰/۰۲۳	۰/۰۲۹
	هفتگی	THQ (A)	۰/۰۳۳	۰/۰۴۲
		THQ (C)	۰/۱۵۹	۰/۲۰۴
	روزانه	HI (A)	۰/۰۳۱	
		HI (C)	۰/۱۵۱	
	هفتگی	HI (A)	۰/۲۱۹	
		HI (C)	۱/۰۵۸	

بحث

کبد به‌عنوان مهم‌ترین اندام سم‌زدا در پیکر موجودات شناخته شده است. تحقیقات نشان داده است که اندام کبد قادر است غلظت‌های بالایی از فلزات را در خود انباشت نماید. در ماهیان نیز اندام کبد به‌عنوان اصلی‌ترین مکان سم‌زدایی فلزات محسوب می‌شود. از این‌رو، فلزات سنگین می‌توانند در غلظت‌های بسیار فراتر از غلظت‌ها موجود در محیط در این اندام انباشت گردند. مطالعات پیشین نشان داده است که در بسیاری از موارد، کبد نقش بسیار مهمی را در ذخیره‌سازی، توزیع مجدد، سم‌زدایی و یا تبدیل آلاینده‌ها دارد و می‌تواند به‌عنوان ارگان انباشت و شاخص سمیت محیطی مورد توجه قرار گیرد (۲۴). بر این مبنای می‌توان استنتاج نمود که بافت‌های کبد در ماهی‌ها، بیش از سایر اعضا ماهی برای نشان دادن آلودگی محیط‌های آب می‌توانند مورد توجه قرار گیرند. از سویی، اندام آبشش

غلظت‌های فلزات به دلیل نرخ‌های بالاتر متابولیک، رشد سریع تر نسبت به تجمع فلزات و زمان اقامت کوتاه این فلزات در درون ماهی گزارش شده است (۱۴). نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که غلظت فلزات مورد نظر در بافت ماهیچه ماهیان صیدشده از سواحل بندر لنگه از استاندارد WHO بسیار پایین‌تر بوده و سلامت عمومی مصرف کنندگان را تهدید نمی‌نماید. بررسی دوز مجاز مصرف ماهیان به صورت روزانه و هفتگی نشان داد که جذب روزانه و هفتگی فلزات سنگین سرب، کادمیوم و کروم در هر دو رده سنی بزرگسالان و کودکان در هر دو ماهی خوراکی از مقادیر مرجع RfD و PTWI به مراتب پایین‌تر بوده و خطری مصرف کنندگان را تهدید نمی‌کند. در این زمینه و به دلیل اهمیت موضوع، مطالعات دیگری نیز بر روی سایر انواع ماهی‌ها در دیگر بخش‌های جهان صورت پذیرفته است. برای مثال غلظت‌های عناصر سرب، آرسنیک، کادمیوم، کروم، نیکل و انادیم و منگنز در بافت ماهیچه چند گونه ماهی و صدف صید شده از خلیج کاتانیا را مورد بررسی قرار گرفت (۱۹). نتایج این تحقیق نشان داد که مصرف روزانه فلزات انتخاب شده، کم تر از مصرف جذب روزانه قابل قبول (OTDI) و مقادیر اظهار شده توسط FAO و نیز WHO بود. هم چنین، پتانسیل خطر ناشی از مصرف کوسه (*Carcharhinus dussumieri*) صیدشده از خلیج فارس در مورد فلزات سرب، روی، مس، جیوه و کادمیوم مورد بررسی قرار گرفت (۳۲). نتایج آنان نشان داد که EDI در همه موارد کم تر از PTDI توصیه شده توسط WHO بود. هم چنین THQ در همه موارد کم تر از یک به دست آمد، از این رو می‌توان استنتاج نمود که در اثر مصرف این گونه خطری سلامت مصرف کنندگان را تهدید نمی‌کند. بر اساس نتایج ذکر شده در حد مجاز روزانه و نیز حداکثر وعده-های مجاز مصرف ماهی سفید و سرخو: به منظور مطالعه حد مجاز روزانه و نیز حداکثر وعده‌های مجاز مصرف ماهی‌ها مورد بررسی در این مطالعه (یعنی ماهی حلواسفید و سرخو) در طی یک ماه، از نظر میزان دریافت سه فلز سرب، کادمیوم و کروم، در بزرگسالان با وزن ۷۰ کیلوگرم و برای کودکان با وزن ۱۴/۵ کیلوگرم به ترتیب از شاخص CR_{Lim} و CR_{mm} استفاده شد و نتایج در خلاصه شده است.

جدول ۶ می‌توان اظهار داشت که حد مجاز مصرف دو ماهی حلواسفید و سرخوی مورد مطالعه در این تحقیق، برای کودکان تقریباً ۴/۸۳ برابر کم تر از حد مجاز مصرف برای بزرگسالان بود. این اختلاف را می‌توان به تفاوت وزن افراد و نیز مکانیسم پیکری بزرگسالان در مقایسه با خردسالان نسبت داد. نتایج تحقیق حاضر کاملاً منطبق بر نتایج به دست آمده از مطالعه پیشین است (۲۰).

مقادیر CR_{mm} و CR_{Lim} به دست آمده در تحقیق حاضر نسبت به این مقادیر در مطالعه پیشین پایین‌تر بود (۲۰). این امر را می‌توان به کیفیت بالاتر ماهیان صیدشده از سواحل بندرلنگه در قیاس با مناطق مطالعاتی Baluchi و همکاران در سواحل شمالی خلیج فارس نسبت داد (۲۰). در مطالعه‌ای دیگر، از میان ۱۵ فلز مورد بررسی، بیش‌ترین خطرپذیری بیماری‌های غیرسرطان‌زا در فلزات سمی مربوط به جیوه و در فلزات غیر سمی مربوط به منگنز بود (۶). بر مبنای نتایج ذکر شده در جدول ۷ می‌توان بیان داشت که مصرف ماهی سرخوی صیدشده از سواحل بندرلنگه در کودکان باید با احتیاط بیش‌تری برای کودکان صورت پذیرد. در سایر موارد ممانعتی از نظر مصرف ماهی‌های مورد بررسی وجود ندارد. به عبارت دیگر باید بیان نمود که اگرچه مصرف این ماهی‌ها با نرخ کنونی خطر حادی را برای مصرف کنندگان به همراه ندارد، ولی افزایش نرخ مصرف آن باید با پایش‌های مداوم همراه باشد. در مطالعه‌ای، ارزیابی ریسک خطر فلزات مس و روی در بافت عضله ماهی طلال (*Rastrelliger Kanagurta*) صیدشده از سواحل خلیج فارس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که شاخص THQ در ماهی طلال برای هر دو فلز کم تر از یک بود. از این رو خطری مصرف کنندگان این ماهی‌ها را تهدید نمی‌نمود (۲۰). Norouz در یک مطالعه، ارزیابی ریسک خطر ۱۵ فلز سنگین را در ماهی کفال طلایی (*Liza aurata*) دریای خزر مورد بررسی قرار دادند (۶). در این مطالعه مشخص شد که تجمع فلزات مورد بررسی، از محدوده مجاز پیشنهاد شده برای مصرف انسان توسط WHO، پایین‌تر بود. در این مطالعه ریسک خطرپذیری برای همه فلزات کم تر از یک و مقدار HI نیز برابر با ۰/۰۶۵ محاسبه گردید. به عنوان یک نتیجه کلی در تحقیق حاضر می‌توان بیان داشت که گونه سرخو به دلیل ویژگی‌های زیستی و تغذیه خود که وابسته به رسوبات بستر می‌باشد، غلظت‌های بالاتر از سه فلز را در بافت‌های خود انباشت نموده بودند. هم چنین غلظت فلزات در هر دو گونه، در جنس ماده بیش‌تر از جنس نر بود که احتمالاً ناشی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی و رفتاری این ماهیان می‌باشد. از سویی در هر دو گونه، کبد و ماهیچه به ترتیب بالاترین و کم‌ترین غلظت فلزات را در خود انباشت نموده بودند. از این رو می‌توان استنباط نمود که کبد بافت فعالی در جذب فلزات سنگین خواهد بود. اما غلظت فلزات در سطح اطمینان ۹۹ درصد بین بافت‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌دار آماری نشان نداد. بالاترین شاخص انباشت زیستی در هر دو گونه مربوط به بافت کبد و از بین فلزات متعلق به فلز کادمیوم بود که این امر به دلیل دسترسی زیستی بالاتر فلز کادمیوم در مقایسه با دو فلز دیگر است. بررسی شاخص‌های مرتبط با سلامت ماهیان نیز نشان داد که جذب روزانه و هفتگی سه

8. **Norouzi, M., Mansouri, B., Hamidian, A.H., Zarei, I. and Mansouri, A., 2012.** Metal concentrations in tissues of two fish species from Qeshm Island, Iran. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 89: 1004-1008.
9. **Nowrouzi, M. and Pourkhabbaz, A., 2014.** Application of geoaccumulation index and enrichment factor for assessing metal contamination in the sediments of Hara Biosphere Reserve, Iran. *Environmental Pollutants & Bioavailability*. 26(2): 99.
10. **Norouzi, M., Mansouri, B., Hamidian, A.H., Ebrahimi, T. and Kardoni, F., 2012.** Comparison of the metal concentrations in the feathers of three bird species from southern Iran. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. 89: 1082-1086.
11. **Abyar, H., Safahieh, A., Zolgharnein, H. and Zamani, I., 2012.** Isolation and identification of *Achromobacter* denitrificans and evaluation of its capacity in cadmium removal. *Polish Journal of Environmental Studies*. 21(6): 1523-1527.
12. **Zhao, D., Wang, P. and Zhao, F.J., 2023.** Dietary cadmium exposure, risks to human health and mitigation strategies. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 53(8): 939-963.
13. **Chakraborty, R., Renu, K., Eladl, M.A., El-Sherbiny, M., Elsherbini, D.M.A. and Mirza, A.K., 2022.** Mechanism of chromium-induced toxicity in lungs, liver, and kidney and their ameliorative agents. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 151: 113119.
14. **Mohammadnabizadeh, S., Pourkhabbaz, A., Afshari, R. and Nowrouzi, M., 2012.** Concentrations of Cd, Ni, Pb, and Cr in the two edible fish species *Liza klunzingeri* and *Sillago sihama* collected from Hara biosphere in Iran. *Toxicological & Environmental Chemistry*. 94(6): 1144-1151.
15. **Mitra, S., Chakraborty, A.J., Tareq, A.M., Emran, T.B., Nainu, F. and Khusro, A., 2022.** Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity. *Journal of King Saud University-Science*. 34(3): 101865.
16. **Nowrouzi, M., Pourkhabbaz, A. and Rezaei, M., 2012.** Bioaccumulation and distribution of metals in sediments and *Avicenna marina* tissues in the Hara Biosphere Reserve, Iran. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. 89: 799-804.
17. **Raissy, M., Ansari, M., Chaleshtori, R.S., Mahdavi, V., Hadian, Z. and Lorenzo, J.M., 2022.** A systematic review of the concentration of potentially toxic elements in fish from the Persian Gulf: A health risk assessment study. *Food and Chemical Toxicology*. 163: 112968.
18. **Ravanbakhsh, M., Javid, A.Z., Hadi, M. and Fard, N.J.H., 2020.** Heavy metals risk assessment in fish species (*Johnius belangerii* (C) and *Cynoglossus arel*) in Musa Estuary, Persian Gulf. *Environmental Research*. 188: 109560.
19. **Copat, C., Arena, G., Fiore, M., Ledda, C., Fallico, R., Sciacca, S. and Ferrante, M., 2013.** Heavy metals concentrations in fish and shellfish from eastern Mediterranean Sea: consumption advisories. *Food and chemical toxicology*. 53: 33-37.
20. **Baluchi, L., Rahmani, A. and Samari, F., 2020.** Assessment of health risks of copper and Zinc on the muscle tissue of Indian mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) in three areas of Persian, Assalouyeh and Minab, the Persian Gulf. *Journal of Aquatic Ecology*. 10(1): 67-77. (In Persian)

فلز مورد بررسی در هر دو رده سنی کودکان و بزرگسالان منطبق با استاندارد WHO بود. حد مجاز مصرف هر دو گونه ماهی برای کودکان تقریباً ۴/۸۳ برابر کم‌تر از حد مجاز آن برای بزرگسالان بود. مکانیسم‌های پیکری و سیستم دفاعی قوی‌تر بزرگسالان این یافته را توجیه می‌نماید. از سویی محاسبه شاخص THQ در بزرگسالان و کودکان نیز اثبات نمود که هیچ خطری در زمینه ابتلا به بیماری‌های غیرسرطانی در اثر مصرف این دو گونه ماهی، مصرف‌کنندگان آن‌ها را تهدید نمی‌کند. در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که ماهیان مورد بررسی هیچ‌گونه خطری از منظر آلودگی به فلزات سنگین، سرب، کادمیوم و کروم در مقایسه با استانداردهای جهانی از خود بروز نداده و سلامت مصرف‌کنندگان آن‌ان را تهدید نمی‌سازد. هم‌چنین با توجه به بوم‌سازگان شکننده خلیج فارس و حجم عظیم آلاینده‌های ورودی، پایش مستمر آلاینده در اجزای مختلف این بوم‌سازگان و نیز بررسی پیوسته سلامت غذایی حاصل از این بوم‌سازگان، موکداً پیشنهاد می‌گردد.

منابع

1. **Vaezi, A. and Lak, R., 2023.** Sediment Texture, Geochemical Variation, and Ecological Risk Assessment of Major Elements and Trace Metals in the Sediments of the Northeast Persian Gulf. *Minerals*. 13(7): 850.
2. **Ahmadi, A., Moore, F., Keshavarzi, B., Soltani, N. and Sorooshian, A., 2022.** Potentially toxic elements and microplastics in muscle tissues of different marine species from the Persian Gulf: Levels, associated risks, and trophic transfer. *Marine Pollution Bulletin*. 175: 113283.
3. **Ghattavi, S., Naji, A. and Yap, CK., 2023.** Chemical fractionations and mobilization potentials for some trace metals in reef sediments and corals of Qeshm Island, the Persian Gulf. *Regional Studies in Marine Science*. 63: 103038.
4. **Keshavarzi, B., Hassanaghaei, M., Moore, F., Mehr, M.R., Soltanian, S., Lahijanzadeh, A.R. and Sorooshian, A., 2018.** Heavy metal contamination and health risk assessment in three commercial fish species in the Persian Gulf. *Marine pollution bulletin*. 129(1): 245-252.
5. **Sharifian, S., Mortazavi, M.S. and Nozar, S.L.M., 2022.** Health risk assessment of commercial fish and shrimp from the North Persian Gulf. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 72: 127000.
6. **Norouzi, M. and 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.
7. **Long, S., Dong, X., Tan, B., Zhang, S., Chi, S. and Yang, Q., 2022.** The antioxidant ability, histology, proximate, amino acid and fatty acid compositions, and transcriptome analysis of muscle in juvenile hybrid grouper (♀ *Epinephelus fuscoguttatus* × ♂ *Epinephelus lanceolatus*) fed with oxidized fish oil. *Aquaculture*. 547: 737510.

21. **Mashroofeh, A., Riyahi Bakhtiari, A. and Pourkazemi, M., 2012.** 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).
22. **Bogdanović, T., Ujević, I., Sedak, M., Listeš, E., Šimat, V., Petričević, S. and Poljak, V., 2014.** As, Cd, Hg and Pb in four edible shellfish species from breeding and harvesting areas along the eastern Adriatic Coast, Croatia. *Food chemistry*. 146: 197-203.
23. **Sadeghi, M., Emtiazju, M. and Shahbazi, A., 2018.** Determination of Heavy metals (Co, Cr) in Muscle, Skin and Gillof Tissues *Chalcalburnus chalcoides* in South of Caspian sea (Anzali lagoon and shirud). *Journal of Animal Environment*. 10(3): 289-296. (In Persian)
24. **Habib, S.S., Batool, A.I., Rehman, M.F.U. and Naz, S., 2023.** Assessment and bioaccumulation of heavy metals in fish feeds, water, and some tissues of *Cyprinus carpio* cultured in different environments (Biofloc Technology and Earthen Pond System). *Biological Trace Element Research*. 201(7): 3474-3486.
25. **El-Agri, A.M., Emam, M.A., Gaber, H.S., Hassan, E.A. and Hamdy, S.M., 2022.** Integrated use of biomarkers to assess the impact of heavy metal pollution on *Solea aegyptiaca* fish in Lake Qarun. *Environmental Sciences Europe*. 34(1): 74.
26. **Barani, H.K., Alavi-Yeganeh, M.S. and Bakhtiari, A.R., 2023.** Metals bioaccumulation, possible sources and consumption risk assessment in five Sillaginid species, a case study: Bandar Abbas (Persian Gulf) and Chabahar Bay (Oman Sea), Iran. *Marine Pollution Bulletin*. 187: 114551.
27. **Chamani, A., Kazemi, M. and Mohammadi, H., 2018.** Hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*) contamination to heavy metal (Lead, Cadmium) in Kish Island. *Journal of Animal Environment*. 10(3): 133-140. (In Persian)
28. **Naccari, C., Cicero, N., Ferrantelli, V., Giangrosso, G., Vella, A. and Macaluso, A., 2015.** Toxic Metals in Pelagic, Benthic and Demersal Fish Species from Mediterranean FAO Zone 37. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 95(5): 567-573.
29. **Varol, M. and Kaçar, E., 2023.** Bioaccumulation of Metals in Various Tissues of Fish Species in Relation to Fish Size and Gender and Health Risk Assessment. *Current Pollution Reports*. 9: 327-337.
30. **Goutam, K., Mohammad, A., Mosammat, S., Mohammad, S., Md, M. and Gouri, M., 2017.** Metal contamination of commercial fish feed and quality aspects of farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Bangladesh. *Bioresearch Communications*. 3(1): 345-353.
31. **Agusa, T., Kunito, T., Sudaryanto, A., Monirith, I., Kan-Atireklap, S. and Iwata, H., 2007.** Exposure assessment for trace elements from consumption of marine fish in Southeast Asia. *Environmental pollution*. 145(3): 766-777.
32. **Adel, M., Conti, G.O., Dadar, M., Mahjoub, M., Copat, C. and Ferrante, M., 2016.** Heavy metal concentrations in edible muscle of whitecheek shark, *Carcharhinus dussumieri* (elasmobranchii, chondrichthyes) from the Persian Gulf: a food safety issue. *Food and Chemical Toxicology*. 97: 135-140.