



Health risk assessment of selected heavy metals from the consumption of Talang Queenfish (*Scomberoides commersonnianus*) in the Dashtyaari region

Milad Johar¹ | Seraj Bitar²

1. Department of Fisheries, Faculty of Marine Sciences, Chabahar Maritime University, Chabahar, Iran. E-mail: joharm@cmu.ac.ir

2. Corresponding Author, Department of Fisheries, Faculty of Marine Sciences, Chabahar Maritime University, Chabahar, Iran. E-mail: bita@cmu.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 26 July 2025

Received in revised form 07 September 2025

Accepted 11 September 2025

Published online 21 September 2025

Keywords:

Dashtyaari,

Heavy metals,

Risk assessment,

Scomberoides commersonnianus.

ABSTRACT

Among various aquatic pollutants, heavy metals are of particular concern due to their non-biodegradable nature, potential for bioaccumulation in the food chain, and their acute and chronic adverse effects on human health. Given the increasing contamination of water resources and the importance of continuous monitoring, this study investigated the accumulation of selected heavy metals in the muscle tissue of *Talang Queenfish* (*Scomberoides commersonnianus*) and assessed the associated health risks from its consumption. Fish samples were collected from Dashtyaari coastal waters, specifically from the fish landing sites of Beris, Pasabandar, and Gowatr. The analyzed heavy metals included cadmium (Cd), lead (Pb), chromium (Cr), zinc (Zn), copper (Cu), and nickel (Ni). Samples were prepared using a single-step acid wet digestion method, and metal concentrations were measured. Human health risk assessment was performed using environmental protection indices recommended by the U.S. EPA. The results indicated that the highest heavy metal contamination occurred in fish from Beris, with a Metal Pollution Index (MPI) of 1.44. Significant differences in cadmium and lead concentrations were observed between regions ($P < 0.05$), while copper and zinc levels did not show significant variation ($P > 0.05$). The highest estimated daily and weekly intake values were related to copper and zinc, while the lowest were attributed to cadmium, chromium, and nickel. The Target Hazard Quotient (THQ) and Hazard Index (HI) values for all metals in all regions were below 1, indicating no potential non-carcinogenic health risk from consuming this species. Based on MPI values, Beris should be prioritized for pollution monitoring and management, while periodic monitoring is recommended for Pasabandar, and environmental quality in Gowatr should be preserved to maintain its favorable status.

Cite this article: Johar, M., & Bitar, S. (2025). Health risk assessment of selected heavy metals from the consumption of Talang Queenfish (*Scomberoides commersonnianus*) in the Dashtyaari region. *Journal of Natural Environment*, 78 (2), 285-297. DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.399456.2830>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.399456.2830>



ارزیابی ریسک سلامت برخی فلزات سنگین ناشی از مصرف ماهی سارم دهان بزرگ در منطقه دشتیاری

میلاد جوهر^۱ | سراج بیتا^۲✉

۱. گروه شیلات، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، چابهار، ایران. رایانامه: joharm@cmu.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه شیلات، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، چابهار، ایران. رایانامه: bita@cmu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۴	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۱۶	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۰	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۳۰	
کلیدواژه‌ها: ارزیابی ریسک، دشتیاری، فلزات سنگین، ماهی سارم دهان بزرگ.	از میان انواع آلاینده‌های منابع آبی فلزات سنگین به دلیل عدم تجزیه پذیری زیستی، قابلیت تجمع در زنجیره غذایی و اثرات سوء حاد و مزمن بر سلامت انسان بسیار نگران کننده هستند، بنابراین با توجه به آلودگی فزاینده منابع آب و اهمیت پایش مداوم آنها، در این تحقیق نسبت به بررسی تجمع برخی فلزات سنگین در عضله ماهی و ارزیابی ریسک سلامت ناشی از مصرف ماهی سارم دهان بزرگ صید شده از منطقه دشتیاری (جایگاه تخلیه صید بريس، پسابندر و گوآتر) اقدام شد. فلزات سنگین مورد بررسی در نمونه‌های صید شده شامل کادمیوم، سرب، کروم، روی، مس و نیکل بودند. برای سنجش غلظت این فلزات، نمونه‌ها با استفاده از روش هضم شیمیایی مرطوب اسیدی تک مرحله‌ای آماده سازی شدند. سپس ارزیابی وضعیت سلامت و خطر احتمالی ناشی از مصرف این فلزات با استفاده از شاخص محیط زیست (EPA) مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج بالاترین آلودگی فلزات سنگین در ماهی سارم دهان بزرگ متعلق به منطقه بريس با شاخص شاخص آلودگی فلزی برابر با ۱/۴۴ بود. غلظت کادمیوم و سرب بین ماهیان مناطق اختلاف معنی دار داشت ($P < 0.05$)، در حالی که برای مس و روی تفاوت معنی داری در ماهیان مناطق مختلف مشاهده نشد ($P > 0.05$). بیشترین مقدار جذب روزانه و هفتگی فلزات مربوط به مس و روی و کمترین به کادمیوم، کروم و نیکل اختصاص داشت. شاخص‌های خطر هدف و تجمعی در تمامی مناطق کمتر از ۱ بوده و نشان دهنده ایمن بودن مصرف این ماهی از نظر ریسک غیرسرطان زای فلزات سنگین است. با توجه به شاخص آلودگی فلزی، منطقه بريس نیازمند اولویت بندی در پایش و مدیریت آلودگی است، همچنین، پایش دوره‌ای در پسابندر و حفظ کیفیت محیط زیست در گوآتر برای پایداری وضعیت ضروری است.

استناد: جوهر، میلاد؛ و بیتا، سراج (۱۴۰۴). ارزیابی ریسک سلامت برخی فلزات سنگین ناشی از مصرف ماهی سارم دهان بزرگ در منطقه دشتیاری. محیط زیست

طبیعی، ۷۸ (۲)، ۲۸۵-۲۹۷.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.399456.2830>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

امنیت غذایی یکی از نیازهای اساسی برای بقا انسان و تضمین سلامت جامعه به شمار می‌رود. امروزه، وجود انواع آلودگی‌ها در برخی مواد غذایی، به‌ویژه آلودگی ناشی از فلزات سنگین، نگرانی‌های گسترده‌ای را به دنبال داشته است، بنابراین توجه عمومی به ایمنی مواد غذایی به‌خصوص از لحاظ آلودگی به فلزات سنگین به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است، زیرا فلزات سنگین از منابع مهم آلودگی غذایی محسوب شده و می‌توانند مخاطرات جدی، از جمله ریسک‌های غیرسرطانی برای سلامت انسان ایجاد کنند. از این‌رو، خطرات ناشی از دریافت فلزات سنگین از طریق مواد غذایی، یکی از چالش‌های مهم سلامت در سطح جهان به‌شمار می‌رود. همچنین، در سال‌های اخیر، نگرانی جهانی نسبت به آلودگی محیط‌های آبی با فلزات سنگین افزایش یافته است که این امر ناشی از ویژگی‌های پایدار و غیرقابل تجزیه این فلزات و تأثیرات زیانبار آنها بر جانداران است (Hu et al., 2019; Almafrachi et al., 2025). فلزات سنگین به عناصری اطلاق می‌شود که دارای عدد اتمی بالاتر از ۲۰ و چگالی بیشتر از ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب هستند و تمایل بالایی به تجمع زیستی در بافت موجودات زنده دارند (Singh et al., 2023). فلزاتی نظیر کادمیوم، آرسنیک، سرب، جیوه، مس، روی و نیکل از جمله مهم‌ترین فلزات سنگین با پتانسیل بالای سمیت زیستی بوده و حتی در مقادیر بسیار کم برای انسان و سایر جانداران بسیار سمی و خطرناک هستند (Younis et al., 2021; Sabala et al., 2024)، که این موضوع نیازمند افزایش اقدامات پیشگیرانه در سطح جهانی است (Almafrachi et al., 2025). ماهی به‌عنوان یک ماده غذایی ارزشمند و سالم شناخته می‌شود که سرشار از پروتئین با کیفیت بالا، متعادل و به‌راحتی قابل هضم، مواد معدنی ضروری، ویتامین‌ها و اسیدهای چرب امگا-۳ است که به سلامت قلب کمک می‌کند (Mahmoud et al., 2025). با وجود مزایای تغذیه‌ای ماهی، این ماده غذایی به‌شدت در معرض آلودگی با فلزات سنگین خطرناک، غیرضروری و غیرقابل تجزیه قرار دارد که می‌تواند یک خطر بالقوه برای سلامت انسان از طریق مصرف ماهی ایجاد کند. آلودگی ماهی به فلزات سنگین ممکن است از منابع مختلفی ناشی شود که عمدتاً به فرآیندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی مانند تخلیه پسماندهای صنعتی، رواناب‌های کشاورزی و نشت سوخت از قایق‌های ماهیگیری مرتبط است (Younis et al., 2021). ورود فلزات سنگین به بدن ماهی عمدتاً از طریق بلع، تبادل یونی در سطح آبشش‌ها یا غشاهای جذب در اندام‌های مختلف صورت می‌گیرد. تجمع فلزات سنگین در بدن انسان ممکن است منجر به آسیب‌های حاد و مزمن به اندام‌های حیاتی مانند سیستم عصبی، کلیه‌ها و کبد شود، به‌ویژه در صورتی که مصرف این فلزات از سطوح مجاز فراتر رود. علائم مسمومیت با فلزات شامل استفراغ، تشنج، فلج، اختلالات گوارشی، لرزش، افسردگی و ذات‌الریه است (Mahmoud et al., 2025). ماهی سارم دهان بزرگ (*Scomberoides commersonianus*) که در مناطق دشتیاری و چابهار با نام محلی ساروم شناخته می‌شود، یکی از گونه‌های بزرگ متعلق به خانواده گیش‌ماهیان (Carangidae) در مناطق گرمسیری است. این گونه در محدوده وسیعی از ناحیه هند و اقیانوس آرام غربی پراکنش دارد و در زیستگاه‌های متنوعی از جمله مصب رودخانه‌ها، صخره‌های مرجانی ساحلی و مناطق فراساحلی زندگی می‌کند و از طعمه‌های متنوعی تغذیه می‌کند که شامل ماهیان استخوانی، سخت‌پوستان و سرپایان می‌باشد (Barua et al., 2024). با توجه به خطرات قابل توجه فلزات سنگین برای سلامت عمومی، سازمان‌های متعددی از جمله سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (FAO) استانداردهایی برای حداکثر مقادیر مجاز این فلزات تدوین کرده‌اند و برخی کشورها نیز استانداردهای خاص خود را تعیین کرده‌اند. علاوه بر این مطالعات متعددی نیز به‌منظور بررسی میزان حضور و اثرات فلزات سنگین در محیط‌های آبی انجام شده است (Korkmaz et al., 2017; Varol and Sünbül, 2019; Ahmad et al., 2022). همچنین پژوهشگران متعددی در سراسر جهان ریسک‌های بهداشتی ناشی از فلزات سنگین را از جمله مقادیر تخمینی مصرف روزانه، شاخص‌های کل خطر هدفمند و خطر ابتلا به سرطان مرتبط با مصرف این فلزات، برآورد کرده و آنها را با آستانه‌های ایمنی تعیین شده مانند میزان مصرف روزانه قابل تحمل موقت یا سطح دوز معیار که توسط سازمان‌هایی نظیر سازمان ایمنی غذایی اروپا (EFSA) و کمیته کارشناسان مشترک FAO/WHO در زمینه افزودنی‌های غذایی تعیین شده‌اند، مقایسه نموده‌اند (Adebiyi et al., 2020; Aljohani et al., 2023; Ezez et al., 2024; Sabala et al., 2024; Taghavi et al., 2024; Ustaoglu et al., 2024; Yazman et al., 2025; Yüksel et al., 2025). در سال‌های اخیر در ایران نیز، پژوهش‌های متعددی به بررسی تجمع فلزات سنگین در بافت‌های مختلف ماهیان و ارزیابی ریسک مصرف آنها پرداخته‌اند. بخش عمده‌ای از این مطالعات در خلیج فارس و

آب‌های ساحلی استان‌های خوزستان، هرمزگان و بوشهر و در دریای عمان به‌ویژه سواحل چابهار انجام شده است. با این حال، بیشتر تحقیقات موجود بر مکان‌های محدود، عناصر خاص و گونه‌های مشخصی از ماهیان متمرکز بوده‌اند (Hashempour et al., 2023). در این میان، از مهم‌ترین پژوهش‌های انجام‌شده درباره فلزات سنگین در آب‌ها و سواحل دریای عمان استان سیستان و بلوچستان و به‌ویژه در ارتباط با رسوبات و آب دریا و نیز گیش‌ماهیان می‌توان به می‌توان به مطالعات Bazzi (۲۰۱۴)، Miri و همکاران (۲۰۱۵)، Agah و همکاران (۲۰۱۶)، Gholamhosseini و همکاران (۲۰۲۰)، Agah (۲۰۲۱) و Javanshir Khoei (۲۰۲۳) اشاره نمود. با توجه به موارد اشاره شده و مصرف گسترده ماهی سارم دهان‌بزرگ (*Scomberoides commersonnianus*) در مناطق روستایی شهرستان دشتیاری واقع در استان سیستان و بلوچستان، به‌دلیل فراوانی در بازار، دسترسی آسان و قیمت مناسب، بررسی ایمنی مصرف این گونه از منظر آلودگی به فلزات سنگین از اهمیت بالایی برخوردار است، بنابراین مطالعه حاضر با تمرکز بر یک گونه بومی پرمصرف در منطقه‌ای کمتر بررسی‌شده، با هدف اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین منتخب در بافت خوراکی ماهی سارم دهان‌بزرگ و ارزیابی ریسک‌های بهداشتی ناشی از مصرف آن، انجام شد. نتایج این پژوهش می‌تواند مبنایی علمی برای تصمیم‌گیری‌های مرتبط با ایمنی غذایی و سلامت عمومی در مناطق ساحلی جنوب شرق کشور فراهم سازد، که می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای سیاست‌گذاری‌های بهداشتی و مدیریتی در حوزه ایمنی مواد غذایی دریایی فراهم سازد.

روش‌شناسی پژوهش

تهیه ماهیان: نمونه‌های ماهیان سارم دهان بزرگ با میانگین طول کل $12/39 \pm 68/85$ سانتی‌متر و وزن $96/54 \pm 1028/15$ گرم (انحراف معیار $\pm$ وزن)، در پاییز ۱۴۰۳ از سواحل مکران در منطقه دشتیاری و از محل‌های تخلیه صید بريس، پس‌بندر و گوآتر جمع‌آوری شدند. موقعیت جغرافیایی مناطق نمونه‌برداری شده در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه در منطقه دشتیاری

موقعیت جغرافیایی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	منطقه
۶۱° ۱۲' E	۲۵° ۰۹' N	بریس	دشتیاری
۶۱° ۲۵' E	۲۵° ۰۷' N	پس‌بندر	دشتیاری
۶۱° ۳۹' E	۲۵° ۱۰' N	گوآتر	دشتیاری

این نمونه‌ها توسط صیادان محلی با استفاده از تور گوشگیر صید شده بودند. ماهیان جمع‌آوری شده از هر اسکله به‌صورت مجزا در کیسه‌های پلی‌اتیلن نفوذناپذیر قرار داده شده و برچسب‌گذاری شدند و بلافاصله در یخ‌دان حاوی یخ خرد شده به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه هر نمونه در کیسه پلی‌اتیلن تمیز مجدداً بسته‌بندی و برچسب‌گذاری شد و تا زمان آماده‌سازی برای فرآیند هضم و آنالیز فلزات سنگین، در دمای منفی ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

سنگین فلزات سنگین: فلزات سنگین موجود در عضله ماهی سارم دهان‌بزرگ با استفاده از روش هضم مرطوب و براساس روش ارائه شده توسط Abd-Elghany و همکاران (۲۰۲۰) استخراج شدند. برای این منظور در ابتدا تمام ظروف آزمایشگاهی مورد استفاده برای آماده‌سازی و نگهداری نمونه‌ها، ابتدا به‌مدت حداقل دو ساعت در محلول آب و صابون غوطه‌ور شده و سپس به‌طور مکرر با آب جاری شسته شدند. پس از آن، ظروف یک بار با آب دی‌یونیزه، یک بار با محلول ترکیبی ترندز (شامل ۲۵۰ میلی‌لیتر آب دی‌یونیزه + ۲۰۰ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک غلیظ ۳۷ درصد + ۸۰ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد)، یک بار با اسید شوینده (شامل ۹۰۰ میلی‌لیتر آب دی‌یونیزه + ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک غلیظ ۳۷ درصد) و در نهایت بار دیگر با آب دی‌یونیزه شسته شدند. در ضمن پیش از استفاده، ظروف شسته‌شده بر روی سطح ضدعفونی‌شده میز آزمایشگاهی قرار گرفتند تا به‌طور کامل خشک شوند (Mahmoud et al., 2025). برای هضم شیمیایی، نمونه‌ها از فریزر خارج و در دمای آزمایشگاه یخ‌زدایی شدند. در ادامه با استفاده از چاقو و پنس استیل استریل دو گرم از عضله پستی ماهی به‌صورت استریل جدا شد. سپس

پس از خرد کردن نمونه با چاقوی سرامیکی، در لوله‌های درپیش‌دار ۲۰ میلی‌لیتری که قبلاً شسته و تمیز شده بودند، قرار گرفت. هر لوله حاوی مخلوطی از چهار میلی‌لیتر اسید پرکلریک غلیظ (۷۰ درصد) و هشت میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ (۶۵ درصد) بود. لوله‌ها جهت اطمینان از هضم کامل، به مدت یک شب در حمام آب با دمای ۵۳ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. پس از آن، محلول‌ها تا دمای محیط سرد شده و با آب دی‌یونیزه رقیق و از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ عبور داده شدند و در بشر شیشه‌ای استریل جمع‌آوری شدند. محلول صاف‌شده با آب دی‌یونیزه به حجم نهایی ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. در ادامه غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های فیلتر شده با استفاده از دستگاه جذب اتمی مجهز به شعله اکسید شده استیلن-هوا مدل AAAnalyst 400 ساخت شرکت پرکین المر و مطابق با دستورالعمل‌های AOAC (۱۹۹۰) مورد سنجش قرار گرفت. از هر نمونه، سه تکرار آماده‌سازی و آنالیز انجام شد و میانگین نتایج حاصل به عنوان مقدار نهایی غلظت فلز مربوطه ثبت گردید. همچنین برای کنترل آلودگی‌های احتمالی ناشی از معرف‌ها یا تجهیزات، نمونه‌های شاهد نیز با همان روش هضم اما بدون نمونه ماهی آماده‌سازی و تهیه شدند تا دقت اندازه‌گیری فلزات سنگین با شناسایی و اصلاح هرگونه فلزات زمینه‌ای موجود در آب دی‌یونیزه یا اسیدهای مصرفی تضمین شود (Mahmoud et al., 2025).

ارزیابی ریسک سلامت: به منظور ارزیابی ریسک سلامت و پتانسیل خطر فلزات سنگین برای جمعیت انسانی مصرف‌کننده ماهی، پارامترهایی از جمله تخمین جذب روزانه و هفتگی فلزات سنگین از طریق مصرف ماهی، تعیین حد مجاز مصرف قابل قبول روزانه ماهی، تعداد وعده‌های مجاز مصرف ماهی در ماه و شاخص خطر (نمایانگر احتمال ابتلا به بیماری‌های غیرسرطانی) براساس رهنمودهای ارزیابی خطر سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا محاسبه شدند (USEPA, 2019). برای انجام این محاسبات، برخی پارامترها به صورت پیش‌فرض در نظر گرفته شدند که در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- پارامترهای پیش‌فرض بکار رفته در ارزیابی ریسک سلامت فلزات سنگین ناشی از مصرف ماهی

ردیف	فرض
۱	مقدار مصرف روزانه گونه مورد مطالعه براساس استاندارد EPA، ۳۲/۵۷ در نظر گرفته شد.
۲	دوز مصرف برابر با دز آلاینده است.
۳	پخت و پز هیچ تأثیری روی آلاینده ندارد.
۴	میانگین وزن بدن افراد بالغ و بزرگسال ۷۰ کیلوگرم در نظر گرفته شد.
۵	متوسط طول عمر شخص ۷۰ سال است.

در این مطالعه، میزان جذب روزانه فلزات سنگین از طریق مصرف ماهی با استفاده از معادله $EDI = (FIRd \times C) / BW$ محاسبه شد، که در آن EDI: نشان‌دهنده میزان جذب روزانه فلز (میلی‌گرم بر فرد در روز)، FIRd: میزان مصرف روزانه ماهی (گرم)، C: میانگین غلظت فلز در بافت خوراکی ماهی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) و BW: میانگین وزن بدن مصرف‌کننده (۷۰ کیلوگرم برای افراد بالغ) است. با توجه به عدم اطلاع از میزان مصرف روزانه ماهی در منطقه مورد مطالعه، مقدار FIRd براساس استاندارد EPA (۲۰۰۹) معادل ۳۲/۵۷ گرم در روز در نظر گرفته شد.

میزان جذب هفتگی فلزات نیز با معادله $EWI = (FIRw \times C) / BW$ محاسبه گردید که در آن WI: میزان جذب هفتگی فلز (میلی‌گرم بر فرد در هفته) و FIRw: میزان مصرف هفتگی ماهی است که با ضرب مقدار مصرف روزانه در تعداد روزهای هفته تعیین می‌شود.

حد مجاز قابل قبول مصرف روزانه ماهی با هدف تضمین سلامت مصرف‌کنندگان و جلوگیری از اثرات زیان‌آور فلزات سنگین تعیین شد. این شاخص از طریق معادله $CRLim = (RfD \times BW) / Cm$ محاسبه گردید، که در آن CRLim: حد مجاز مصرف ماهی (کیلوگرم در روز)، RfD: دوز مرجع یا میزان جذب مجاز روزانه فلز (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن)، BW: وزن بدن مصرف‌کننده و Cm: غلظت متوسط فلز در بافت ماهی است. مقادیر RfD برای هر فلز مطابق با مقادیر پیشنهادی EPA در نظر گرفته شد (برای مثال، کادمیوم ۰/۰۰۱ میلی‌گرم/کیلوگرم، سرب ۰/۰۰۴ میلی‌گرم/کیلوگرم و غیره). تعداد وعده‌های مجاز مصرف ماهی در هر ماه نیز با فرمول $CRmm = (CRLim \times T) / MS$ محاسبه شد که در آن T: تعداد روزهای ماه (معمولاً ۳۰/۴۴ روز) و MS: میزان مصرف ماهی در هر وعده (معادل ۰/۲۲۷ کیلوگرم) است.

شاخص خطر به منظور ارزیابی ریسک بالقوه سلامت ناشی از فلزات سنگین با مصرف ماهی، از طریق نسبت میزان فلز موجود در ماهی به دوز مرجع محاسبه شد. این شاخص با معادله $THQ = (EF \times ED \times FIR \times Cm) / (BW \times RfD \times AT) \times 10^{-3}$ تعیین شد که در آن EF: فرکانس مواجهه (۳۶۵ روز در سال)، ED: مدت زمان مواجهه (۷۰ سال برای بزرگسالان)، AT: متوسط زمان مواجهه (تعداد روزهای مواجهه)، و سایر پارامترها مشابه موارد قبل هستند. مقدار THQ برابر یا بالاتر از یک نشان دهنده وجود خطر بالقوه سلامتی است، در حالی که مقدار کمتر از یک بیانگر نبود ریسک قابل توجه ناشی از مصرف ماهی می باشد. مواجهه با فلزات سنگین مختلف ممکن است منجر به اثرات تجمعی و ترکیبی شود. از این رو ارزیابی خطر سلامت از طریق جمع مقادیر شاخص خطر هر یک از فلزات مورد بررسی انجام می گیرد که به آن شاخص خطر تجمعی (HI) می گویند و با استفاده از فرمول $HI = \sum THQ$ تعیین می شود. در این معادله، HI: شاخص خطر است که به صورت مجموع THQ مربوط به تمام فلزات بررسی شده (تعداد فلزات = n) تعریف می شود. مقدار HI کمتر از ۱ نشان دهنده مصرف ایمن، مقدار بیشتر از ۱ بیانگر خطر احتمالی برای سلامت عمومی و مقدار بالاتر از ۱۰ حاکی از بروز مخاطرات جدی برای سلامت انسان است (Reyes-Márquez et al., 2024).

شاخص آلودگی فلزی (MPI) نیز با هدف ارزیابی میزان کلی آلودگی ناشی از فلزات سنگین با استفاده از میانگین هندسی غلظت عناصر شناسایی شده در عضله ماهی محاسبه می شود. فرمول محاسبه این شاخص به صورت $MPI = (Cf1 \times Cf2 \times \dots \times Cfn)^{1/n}$ است (Shue et al., 2014)، که در آن MPI نشان دهنده میانگین هندسی غلظت فلزات سنگین است و بیانگر سطح کلی آلودگی فلزی در نمونه می باشد. همچنین $Cf1, Cf2, \dots, Cfn$ غلظت فلزات مختلف اندازه گیری شده در عضله ماهی بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم و n، تعداد کل فلزات مورد بررسی را نشان می دهد. تجزیه و تحلیل داده ها: داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای مقایسه میانگین ها و بررسی اختلاف معنی دار از تحلیل واریانس یک طرفه و آزمون توکی در سطح معنی داری ۰/۰۵ درصد استفاده شد.

یافته های پژوهش

بر اساس نتایج جدول ۳، در میان فلزات مورد بررسی غلظت فلزات مس و روی در عضله ماهی سارم دهان بزرگ در هر سه منطقه بیش از سایر فلزات بود، اگرچه تفاوت معنی داری بین مناطق مختلف از نظر این دو عنصر مشاهده نشد ($P > 0/05$). در مقابل، کمترین غلظت مربوط به فلز کادمیوم بود که در نمونه های منطقه گواتر شناسایی نشد و مقدار آن کمتر از حد تشخیص دستگاه بود. غلظت کادمیوم و سرب در ماهیان صید شده از منطقه بريس به طور معنی داری بیشتر از سایر مناطق بود ($P < 0/05$). فلز کروم نیز در ماهیان گواتر شناسایی نگردید و بیشترین مقدار آن در نمونه های منطقه بريس مشاهده شد، با این حال، این تفاوت نسبت به ماهیان منطقه پسابندر از نظر آماری معنی دار نبود ($P > 0/05$). همچنین، غلظت نیکل در ماهیان منطقه پسابندر به طور معنی داری کمتر از دو منطقه دیگر بود، در حالی که بالاترین میزان این فلز در نمونه های جمع آوری شده از منطقه گواتر ثبت شد.

جدول ۳- مقایسه غلظت فلزات سنگین در عضله ماهی سارم دهان بزرگ در نواحی مختلف مورد مطالعه در دشتیاری

نوع فلز/منطقه	بریس	پسابندر	گواتر
کادمیوم	$0/043 \pm 0/003$	$0/027 \pm 0/002$	ND
سرب	$2/01 \pm 0/13$	$1/10 \pm 0/30$	$0/82 \pm 0/18$
کروم	$0/73 \pm 0/85$	$0/67 \pm 0/36$	ND
روی	$5/66 \pm 0/75$	$3/78 \pm 0/60$	$4/28 \pm 0/45$
مس	$8/51 \pm 0/78$	$7/25 \pm 0/50$	$6/49 \pm 0/57$
نیکل	$2/72 \pm 0/33$	$0/27 \pm 0/056$	$2/91 \pm 0/67$

حروف متفاوت در هر سطر بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد است.

در میان فلزات سنگین مورد بررسی در عضله ماهی سارم دهان بزرگ صیدشده از منطقه بريس، بیشترین میزان دریافت روزانه و هفتگی فلزات برای افراد بالغ از طریق مصرف این ماهی مربوط به فلز مس بود. در همین منطقه، میزان جذب روزانه فلزات کادمیوم، سرب، کروم و نیکل به ترتیب برابر با ۰/۰۱۹۵، ۰/۹۳۵، ۰/۳۲۶ و ۱/۲۷ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در روز محاسبه شد. همچنین، میزان دریافت هفتگی این فلزات به ترتیب ۰/۰۱۳۷، ۶/۵۴۵، ۲/۲۸۲ و ۸/۸۹ میلی گرم بر کیلوگرم وزن بدن در هفته محاسبه شد. برای فلز روی نیز مقادیر ۲/۶۳ میلی گرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز و ۱۸/۴۱ میلی گرم بر کیلوگرم وزن بدن در هفته ثبت گردید (جدول ۳). براساس نتایج، محاسبه حداکثر میزان مجاز مصرف روزانه ماهی، بیشترین مقدار مجاز مصرف روزانه و همچنین بیشترین تعداد وعده مجاز مصرف در ماه برای ماهی سارم دهان بزرگ صیدشده از این منطقه، به فلز روی اختصاص داشت (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج میزان جذب روزانه، هفتگی فلزات و حداکثر مجاز مصرف ماهی سارم دهان بزرگ در بريس

نوع فلز/شاخص ریسک	جذب روزانه فلز از طریق مصرف ماهی (میلی گرم بر کیلوگرم)	جذب هفتگی فلز از طریق مصرف ماهی (میلی گرم بر کیلوگرم)	حداکثر مجاز مصرف روزانه ماهی (گرم در روز)	وعده در ماه
کادمیوم	۰/۰۱۹۵	۰/۰۱۳۷	۱/۶۷	۲۲۳/۵۰
سرب	۰/۹۳۵	۶/۵۴۵	۰/۱۴	۱۸/۶۸
کروم	۰/۳۲۶	۲/۲۸۲	۰/۴۹۷	۶۶/۷۳
روی	۲/۶۳	۱۸/۴۱	۳/۷۱	۴۹۷/۸۳
مس	۳/۹۶	۲۷/۷۲	۰/۳۳	۴۴/۱۲
نیکل	۱/۲۷	۸/۸۹	۰/۵۱	۶۹/۰۲

در منطقه پسابندر نیز بیشترین میزان دریافت روزانه و هفتگی فلزات برای افراد بالغ از طریق مصرف این ماهی مربوط به فلز مس بود. در همین منطقه، میزان جذب روزانه فلزات کادمیوم، سرب، کروم و نیکل به ترتیب برابر با ۰/۰۱۲۶، ۰/۵۱۱، ۰/۳۱۲ و ۰/۱۲۶ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در روز محاسبه شد. همچنین، میزان دریافت هفتگی این فلزات به ترتیب ۰/۰۸۸۲، ۳/۵۸، ۲/۱۸۴ و ۰/۸۸۲ میلی گرم بر کیلوگرم وزن بدن در هفته محاسبه شد. برای فلز روی نیز مقادیر ۱/۷۶ میلی گرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز و ۱۲/۳۳ میلی گرم بر کیلوگرم وزن بدن در هفته ثبت گردید (جدول ۵). براساس نتایج محاسبه حداکثر میزان مجاز مصرف روزانه ماهی، بیشترین مقدار مجاز مصرف روزانه و همچنین بیشترین تعداد وعده مجاز مصرف در ماه برای ماهی سارم دهان بزرگ صیدشده از این منطقه، به فلز روی اختصاص داشت (جدول ۵).

جدول ۵- نتایج میزان جذب روزانه، هفتگی فلزات و حداکثر مجاز مصرف ماهی سارم دهان بزرگ در پسابندر

نوع فلز/شاخص ریسک	جذب روزانه فلز از طریق مصرف ماهی (میلی گرم بر کیلوگرم)	جذب هفتگی فلز از طریق مصرف ماهی (میلی گرم بر کیلوگرم)	حداکثر مجاز مصرف روزانه ماهی (گرم در روز)	وعده در ماه
کادمیوم	۰/۰۱۲۶	۰/۰۸۸۲	۲/۵۹	۳۴۷/۶۶
سرب	۰/۵۱۱	۳/۵۸	۰/۲۵	۳۴/۰۳
کروم	۰/۳۱۲	۲/۱۸۴	۰/۵۲۲	۷۰/۰۵
روی	۱/۷۶	۱۲/۳۳	۵/۵۶	۷۴۴/۹۸
مس	۳/۳۷	۲۳/۵۹	۰/۳۹	۵۱/۷۶
نیکل	۰/۱۲۶	۰/۸۸۲	۵/۱۹	۶۹۵/۳۲

همان طور که در جدول ۵ مشاهده می کنید در ماهیان سارم دهان بزرگ جمع آوری شده از منطقه گواتر به دلیل اینکه غلظت فلزات کادمیوم و کروم در عضله ماهی کمتر از حد تشخیص دستگاه بود، بنابراین میزان جذب روزانه و هفتگی و مقدار مصرف مجاز در

ماهی براساس این دو فلز قابل اندازه‌گیری نبود. در این منطقه نیز بیشترین میزان دریافت روزانه و هفتگی فلزات برای افراد بالغ از طریق مصرف این ماهی مربوط به فلز مس بود. همچنین میزان جذب روزانه فلزات سرب، روی و نیکل به ترتیب برابر با ۰/۳۸۲، ۱/۹۹ و ۱/۳۵ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در روز محاسبه شد. میزان دریافت هفتگی این فلزات به ترتیب ۲/۶۷، ۱۳/۹۳ و ۹/۴۵ میلی گرم بر کیلوگرم وزن بدن در هفته ثبت شد (جدول ۶). براساس نتایج محاسبه حداکثر میزان مجاز مصرف روزانه ماهی، بیشترین مقدار مجاز مصرف روزانه و همچنین بیشترین تعداد وعده مجاز مصرف در ماه برای ماهی سارم دهان بزرگ صیدشده از این منطقه، به فلز روی اختصاص داشت (جدول ۶).

جدول ۶- نتایج میزان جذب روزانه، هفتگی فلزات و حداکثر مجاز مصرف ماهی سارم دهان بزرگ در پسابندر

نوع فلز/شاخص ریسک	جذب روزانه فلز از طریق مصرف ماهی (میلی گرم بر کیلوگرم)	جذب هفتگی فلز از طریق مصرف ماهی (میلی گرم بر کیلوگرم)	حداکثر مجاز مصرف روزانه ماهی (گرم در روز)	وعده در ماه
کادمیوم	-	-	-	-
سرب	۰/۳۸۲	۲/۶۷	۰/۳۴	۴۵/۷۹
کروم	-	-	-	-
روی	۱/۹۹	۱۳/۹۳	۴/۹۰	۶۵۷/۴۴
مس	۳/۰۱	۲۱/۰۷	۰/۴۳	۵۷/۸۵
نیکل	۱/۳۵	۹/۴۵	۰/۴۸	۶۴/۴۴

مقادیر میانگین شاخص خطر برای فلزات مورد بررسی به ترتیب به صورت سرب < مس < کروم < کادمیوم < روی < نیکل ثبت شد (جدول ۶). مقدار این شاخص در ماهیان هر سه منطقه مورد مطالعه کمتر از یک بود، که نشان دهنده عدم خطر بالقوه برای سلامت انسان در اثر مصرف این ماهی است. شایان ذکر است که بیشترین مقادیر THQ برای فلزات سرب و کروم در ماهیان صیدشده از منطقه بريس مشاهده شد، در حالی که کمترین مقادیر آن به منطقه گواتر اختصاص داشت. در بین فلزات مورد بررسی کمترین مقدار مربوط به فلز نیکل بود. با این حال، شاخص خطر نیکل و روی در منطقه گواتر مقادیر مشابهی را نشان دادند (جدول ۷).

جدول ۷- مقادیر شاخص خطر هدف فلزات سنگین ناشی از مصرف ماهی سارم دهان بزرگ در نواحی مختلف مورد مطالعه در دشتیاری

نوع فلز/منطقه	بریس	پسابندر	گواتر
کادمیوم	۰/۰۲	۰/۰۱۳	-
سرب	۰/۲۳۴	۰/۱۲۸	۰/۰۹۵
کروم	۰/۰۷۶	۰/۰۶۸	-
روی	۰/۰۰۹	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷
مس	۰/۰۹۹	۰/۰۸۴	۰/۰۷۵
نیکل	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷

شاخص خطر تجمعی هر چند که در ماهیان هر سه منطقه پایین تر از یک بود، اما بریس در میان مناطق مورد بررسی بالاترین و گواتر پایین ترین مقدار این شاخص را داشت (جدول ۸). مقادیر کمتر از یک نشان دهنده ایمن بودن این ماهیان برای مصرف است. بالاترین شاخص آلودگی فلزی در میان مناطق مورد مطالعه مربوط به بریس بود ($MPI \approx 1/44$)، که نشان دهنده سطح بالاتری از آلودگی فلزی در این نواحی نسبت به مناطق پسابندر و گواتر است (جدول ۷). منطقه پسابندر با شاخصی کمتر از بریس اما بالاتر از گواتر در مرتبه دوم قرار دارد. در مقابل در گواتر هر چند که کمترین مقدار MPI ثبت شد ($MPI \approx 0/38$)، اما، مس، روی و نیکل مهم ترین فلزات مؤثر در این شاخص در این منطقه بودند.

جدول ۸- مقادیر شاخص خطر تجمعی و آلودگی فلزی در نواحی مختلف مورد مطالعه در دشتیاری

شاخص ریسک/منطقه	بریس	پسابندر	گواتر
خطر تجمعی (HI)	۰/۴۳۳	۰/۲۹۴	۰/۱۸۴
آلودگی فلزی (MPI)	۱/۴۴	۰/۷۴	۰/۳۸

بحث و نتیجه گیری

آلودگی فلزات سنگین یکی از نگرانی‌های مهم محیط‌زیستی در بوم‌سازگان‌های دریایی است که تهدیدی جدی برای حیات آبریان و سلامت انسان به‌شمار می‌رود. از این‌رو، پایش غلظت فلزات سنگین در ماهیان دریایی برای اطمینان از ایمنی غذایی و حفظ سلامت عمومی، امری ضروری است (Zhang et al., 2025)، بنابراین در محیط‌های دریایی، ماهیان به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان شاخص‌های زیستی آلودگی فلزات سنگین مورد استفاده قرار گرفته‌اند، زیرا توانایی بالایی در تجمع این عناصر در بافت‌های خود دارند؛ به‌طوری‌که غلظت فلزات در بافت ماهی می‌تواند چندین برابر غلظت آنها در محیط آبی باشد (Cunningham et al., 2019). طبق نتایج به‌دست‌آمده، در میان مناطق مورد بررسی، ماهیان سارم دهان بزرگ صیدشده از منطقه بریس بیشترین میزان آلودگی فلزات سنگین، به‌ویژه سرب، روی، مس و نیکل را نشان دادند. مطالعاتی در نواحی بندرعباس و چابهار نشان داده‌اند که غلظت سرب در برخی انواع ماهیان این نواحی بالا بوده ولی مقادیر کادمیوم معمولاً پایین‌تر بوده‌اند (Pourang et al., 2005; Barani et al., 2023)، که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد، هر چند که در مطالعات این محققین برخلاف نتایج مطالعه حاضر فلزات مس و روی مقدار قابل توجهی نداشته‌اند. این تفاوت‌ها نشان‌دهنده منابع آلاینده محلی فعال، مانند پساب‌های صنعتی یا فعالیت‌های بندری است (Cunningham et al., 2019)، همچنین نوع تغذیه (مانند جلبک‌ها، فیتوپلانکتون‌ها، بی‌مهرگان و سایر ماهیان)، جایگاه اکولوژیکی گونه و عواملی مانند سن، جنسیت، مرحله تولیدمثل، فصل نمونه‌برداری، نوع بافت مورد تجزیه و اندازه بدن (طول و وزن)، نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان دریافت و انباشت فلزات سنگین در بافت‌های مختلف ماهیان دارند (Cunningham et al., 2019). به‌عنوان مثال در مطالعه‌ای توسط Wang و همکاران (۲۰۲۲) در ماهیان دریایی جمع‌آوری شده از خلیج لیادونگ چین، تفاوت‌های معنی‌داری در غلظت فلزات در بافت عضلانی ماهیان با استراتژی‌های تغذیه‌ای مختلف مشاهده شد ($P < 0.05$). براساس نتایج مطالعه حاضر ماهیان این گونه در منطقه پسابندر با وجود غلظت نسبتاً بالای سرب، مقادیر کمتری از کادمیوم و نیکل داشتند. زیرا از عوامل مؤثر بر انباشت فلزات در بدن ماهیان مناطق مختلف شامل شکل شیمیایی فلز، شدت آلودگی و وجود سایر آلاینده‌ها در محیط دریایی است. همچنین، کیفیت آب از جمله شوری، دما، میزان اکسیژن محلول، pH، مقدار جامدات معلق کل و ویژگی‌های رسوبات بستر نیز از عوامل مؤثر محسوب می‌شوند، زیرا رسوبات می‌توانند به‌عنوان مخزن جذب و بازپخش فلزات سنگین عمل کنند (Al-Darwish et al., 2010; Saei-Dehkordi et al., 2005). در منطقه گواتر نیز با وجود شناسایی نشدن کادمیوم و کروم، غلظت نیکل در ماهیان نسبتاً بالا بود که می‌تواند ناشی از منابع آلاینده محلی یا شرایط ژئوشیمیایی خاص منطقه باشد. بررسی آماری نشان داد که غلظت فلزات کادمیوم و سرب بین مناطق مختلف اختلاف معنی‌داری دارد، که این موضوع بیانگر منشأ محلی آلودگی آنهاست (Wang et al., 2022)، در حالی‌که برای فلزات مس و روی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. مطابق با نتایج حاضر یک مطالعه منطقه‌ای در خلیج فارس توسط Cunningham و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین مناطق در مورد فلزات مس و روی مشاهده نشده است.

ارزیابی ریسک‌های بالقوه سلامت مرتبط با عوامل غیرسرطان‌زا، نقش محوری در حفظ سلامت عمومی ایفا می‌کند. از نظر ارزیابی ریسک سلامت، در بررسی سه منطقه صید (بریس، پسابندر و گواتر)، بیشترین مقدار دریافت روزانه و هفتگی فلزات سنگین از طریق مصرف ماهی سارم دهان بزرگ برای افراد بالغ، در هر سه منطقه به‌ترتیب مربوط به فلزات مس و روی بود. در میان فلزات مورد بررسی، کمترین میزان جذب روزانه و هفتگی در منطقه بریس به‌ترتیب مربوط به فلزات کادمیوم و کروم و در منطقه پسابندر مربوط به کادمیوم و نیکل بود. در منطقه گواتر نیز به‌دلیل آنکه غلظت فلزات کادمیوم و کروم در عضله ماهی کمتر از حد تشخیص دستگاه بود، امکان برآورد مقدار این شاخص‌ها وجود نداشت، در این منطقه کمترین مقادیر جذب روزانه و

هفتگی مربوط به فلز سرب گزارش شد. نتایج محاسبه حداکثر میزان مجاز مصرف روزانه ماهی نیز نشان داد که در هر سه منطقه، بیشترین مقدار مجاز مصرف روزانه و تعداد وعده‌های مجاز مصرف در ماه برای ماهی سارم دهان‌بزرگ به عنصر روی اختصاص دارد. مقدار شاخص خطر هدف (THQ) و خطر تجمعی (HI) برای تمامی فلزات در هر سه منطقه مورد مطالعه کمتر از یک بود که نشان‌دهنده عدم وجود خطر بالقوه برای سلامت انسان در اثر مصرف این ماهیان است. میانگین مقادیر THQ برای فلزات بررسی‌شده به ترتیب کاهشی شامل سرب، مس، کروم، کادمیوم، روی و نیکل بود. با این حال، منطقه بريس بالاترین و منطقه گواتر پایین‌ترین مقدار شاخص خطر تجمعی را به خود اختصاص داد. به طور کلی، این نتایج نشان‌دهنده وضعیت ایمن مصرف ماهی از نظر ریسک غیرسرطان‌زای ناشی از فلزات سنگین در مناطق مورد بررسی است، اگرچه منطقه بريس در مقایسه با سایر مناطق سطح ریسک بالاتری دارد. نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های پژوهشگرانی همچون Mirmohammadvali و همکاران (۲۰۱۸)، Norouzi (۲۰۲۰) و Sadeghi و همکاران (۲۰۲۱) که به ارزیابی ریسک فلزات سنگین در ماهیان بنادر جنوبی ایران پرداخته‌اند، همراستا است. با این حال، برخلاف این نتایج، مطالعات Prabakaran و همکاران (۲۰۲۵)، Loghmani و همکاران (۲۰۲۲)، Salam و همکاران (۲۰۲۱) و Said و همکاران (۲۰۱۴) شاخص خطر بالاتر از یک را برای برخی فلزات در گونه‌هایی از جمله گیش‌ماهیان گزارش کرده‌اند که با نتایج این مطالعه در تضاد است. اختلاف نتایج مطالعه حاضر با پژوهش‌های دیگر را می‌توان به عوامل متعددی از جمله تفاوت گونه‌ای، زیستگاه‌ها و موقعیت‌های جغرافیایی نمونه‌برداری نسبت داد، زیرا هر منطقه ویژگی‌های محیط‌زیستی و میزان آلاینده‌های متفاوتی دارد (Storelli, 2008).

شاخص آلودگی فلزی (MPI) با استفاده از میانگین هندسی غلظت فلزات سنگین، معیاری کلی برای سنجش تجمع فلزات در بافت ماهی و ارزیابی خطرات بالقوه محیط‌زیستی و بهداشتی است. مقدار MPI بیشتر از ۱ نشان‌دهنده آلودگی و کمتر از ۱ بیانگر وضعیت غیربحرانی است (Almafrachi et al., 2025). در این مطالعه، ماهی‌های صید شده از بريس با MPI معادل ۱/۴۴ بیشترین آلودگی را نشان دادند که ناشی از غلظت بالای سرب، مس و نیکل و احتمالاً مرتبط با فعالیت‌های انسانی است. پس‌ابند MPI برابر ۰/۷۴ در رتبه دوم قرار گرفت و دارای تجمع متوسط فلزات، به‌ویژه سرب، مس و روی بود. پایین‌ترین شاخص مربوط به گواتر بود (۰/۳۸)، این وضعیت احتمالاً به دلیل منابع آلاینده کمتر و شرایط محیط‌زیستی مناسب‌تر است (Almafrachi et al., 2025). این تفاوت‌ها بر ضرورت پایش منطقه‌ای و کنترل منابع آلاینده برای حفظ سلامت انسان و محیط‌زیست تأکید دارند.

بر اساس شاخص MPI بیشترین آلودگی فلزات سنگین در ماهی سارم دهان‌بزرگ مربوط به منطقه بريس بود که ناشی از غلظت بالای فلزات سرب، مس و نیکل و بیانگر تأثیر احتمالی فعالیت‌های انسانی بیشتر در این منطقه است. شاخص دریافت روزانه و هفتگی فلزات سنگین در همه مناطق بیشترین مقدار را برای مس و روی نشان داد. شاخص‌های THQ و HI در تمامی مناطق کمتر از ۱ بودند که نشان‌دهنده عدم وجود خطر غیرسرطان‌زای مصرف این ماهی‌ها برای انسان است. به طور کلی، اگرچه تفاوت‌هایی در سطح آلودگی فلزی بین مناطق وجود دارد، اما مصرف ماهی سارم دهان‌بزرگ از مناطق مورد بررسی، از نظر ریسک سلامت انسان ایمن ارزیابی می‌شود.

References

- Abd-Elghany, S.M., Zaher, H.A., Elgazzar, M.M., Sallam, K.I., 2020. Effect of boiling and grilling on some heavy metal residues in crabs and shrimps from the Mediterranean Coast at Damietta region with their probabilistic health risk assessment. *Journal of Food Composition and Analysis* 93, 103606.
- Abd-Elghany, S.M., Zaher, H.A., Elgazzar, M.M., Sallam, K.I., 2020. Effect of boiling and grilling on some heavy metal residues in crabs and shrimps from the Mediterranean Coast at Damietta region with their probabilistic health risk assessment. *Journal of Food Composition and Analysis* 93, 103606.
- Agah, H., 2021. Ecological risk assessment of heavy metals in sediment, fish, and human hair from Chabahar Bay, Makoran, Iran. *Marine Pollution Bulletin* 169, 112345.

- Agah, H., Bastami, K.D., Fumani, N.S., 2016. Ecological risk, source and preliminary assessment of metals in the surface sediments of Chabahar Bay, Oman Sea. *Marine Pollution Bulletin* 107(1), 383-388.
- Ahmad, T., Gul, S., Khan, M.A., Diao, X., Ahmad, A., Ahmad, S., 2022. Bioaccumulation and health risk assessment of heavy metal (loid) s in different fish species of Hainan Island, China. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences* 38(2), 1395-1406.
- Al-Darwish, H.A., Abd El-Gawad, E.A., Mohammed, F.H., Lotfy, M.M., 2005. Assessment of contaminants in Dubai coastal region, United Arab Emirates. *Environmental Geology* 49(2), 240-250.
- Aljohani, N.S., Kamil, Y.N., Alelyani, S.S., Al-Farawati, R.K., Orif, M.I., Aljohani, N.H., Salam, M. A., 2023. Bioaccumulation of heavy metals in fish collected from the Eastern Coast of Saudi Arabia and Human Health Implications. *Regional Studies in Marine Science* 62, 102986.
- Almafrachi, H.A.A., Gümüş, N.E., Çorak Öcal, İ., 2025. Heavy metal bioaccumulation in fish: implications for human health risk assessment in ten commercial fish species from Konya, Türkiye. *International Journal of Environmental Science and Technology* 22(6), 4065-4074.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official methods of analysis, 15th ed. 1–2 <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990>
- Barani, H.K., Alavi-Yeganeh, M.S., 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.
- Barua, S., Liu, Q., Azam, M.S., 2024. Population dynamics and stock assessment of Queenfish (*Scomberoides commersonnianus*) from the marine waters of Bangladesh. *Fisheries Management and Ecology* 31(5), e12707.
- Bazzi, A., 2014. Heavy Metals in Water, Sediments and Marine Oorganisms (*Saccostrea cucullata*) of the Chabahar Gulf, Oman Sea (Iran). *Journal of Oceanography and marine science* 5(3), 20-29.
- Cunningham, P.A., Sullivan, E.E., Everett, K.H., Kovach, S.S., Rajan, A., Barber, M.C., 2019. Assessment of metal contamination in Arabian/Persian Gulf fish: a review. *Marine Pollution Bulletin* 143, 264-283.
- Ezez, D., Birhanu, H., Shamena, S., Engidaw, S., 2024. Bioaccumulation of heavy metals, assessment of carcinogenic and non-carcinogenic health risk in various spices. *Journal of Hazardous Materials Advances* 15, 100441.
- Gholamhosseini, A., Shiry, N., Soltanian, S., Banaee, M., 2021. Bioaccumulation of metals in marine fish species captured from the northern shores of the Gulf of Oman, Iran. *Regional Studies in Marine Science* 41, 101599.
- Hashempour-Baltork, F., Jannat, B., Tajdar-Oranj, B., Aminzare, M., Sahebi, H., Alizadeh, A.M., Hosseini, H., 2023. A comprehensive systematic review and health risk assessment of potentially toxic element intakes via fish consumption in Iran. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 249, 114349.
- Hu, J., Lin, B., Yuan, M., Lao, Z., Wu, K., Zeng, Y., Fan, H., 2019. Trace metal pollution and ecological risk assessment in agricultural soil in Dexing Pb/Zn mining area, China. *Environmental Geochemistry and Health* 41(2), 967-980.
- Javanshir Khoei, A., 2023. A comparative study on the accumulation of toxic heavy metals in fish of the Oman Sea: effects of fish size, spatial distribution and trophic level. *Toxin Reviews* 42(1), 189-196.
- Korkmaz, C., Ay, Ö., Çolakfakioğlu, C., Cıçık, B., Erdem, C., 2017. Heavy metal levels in muscle tissues of *Solea solea*, *Mullus barbatus*, and *Sardina pilchardus* marketed for consumption in Mersin, Turkey. *Water, Air, & Soil Pollution* 228(8), 315.
- Loghmani, M., Tootooni, M. M., Sharifian, S., 2022. Risk assessment of trace element accumulation in two species of edible commercial fish *Scomberoides commersonnianus* and *Cynoglossus arel* from the northern waters of the Oman Sea. *Marine Pollution Bulletin* 174, 113201.
- Mahmoud, M.M., Elshebrawy, H.A., Sallam, K.I., 2025. Health risk assessment of heavy metals-contaminated marine fishes from the Mediterranean Sea at Damietta city coast, Egypt. *Marine Pollution Bulletin* 220, 118426.

- Miri, M., Nabavi, S. M. B., Doustshenas, B., Safahieh, A.R., Loghmani, M., 2015. Levels of heavy metals in sediments in the vicinity of Chabahar Bay desalination plant. *Iranian journal of fisheries sciences* 14(4), 876-884.
- Mirmohammadvali, S., Solgi, E., 2018. Food Risk of some heavy metals for adults and children via consumption of fish species: *Euryglossa orientalis*, *Argyrops spinifer* and *Sillago sihama*. *International Journal of Aquatic Biology* 6(5), 288-293.
- Norouzi, M., 2020. Evaluating the accumulation and consumption hazard risk of heavy metals in the fish muscles of species living in the waters of the Persian Gulf, Iran. *Pollution* 6(4), 849-862.
- Pourang, N., Nikouyan, A., Dennis, J. H., 2005. Trace element concentrations in fish, surficial sediments and water from northern part of the Persian Gulf. *Environmental Monitoring and Assessment* 109(1), 293-316.
- Prabakaran, K., Charoenpong, C., Bureekul, S., Wang, X., Sompongchaiyakul, P., 2025. Heavy metal contamination in marine fish from the Andaman sea: Influence of habitat and health risk assessment. *Marine Pollution Bulletin* 210, 117299.
- Reyes-Márquez, A., Seden-Díaz, J.E., Aguiniga-García, S., Austria-Ortiz, G.M., López-López, E., 2024. Health risk assessment by consumption of commercial biota contaminated with heavy metals in Tampamachoco coastal lagoon, Gulf of Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 206, 116757.
- Sabala, R.F., Zakaria, A.I., Imre, K., Morar, A., Herman, V., Sallam, K.I., 2024. Potential cancer risks associated with the consumption of raw, salted, and canned sardine contaminated by mercury, arsenic, lead, and cadmium in Egypt. *Journal of Food Composition and Analysis* 134, p.106516.
- Sadeghi, P., Loghmani, M., Yousuf, D.J., Abadi, Z.T.R., 2021. Ecological and human health risk assessment of trace element pollution in sediments and five important commercial fishes of the Oman Sea. *Marine Pollution Bulletin* 173, 112962.
- Saei-Dehkordi, S.S., Fallah, A.A., Nematollahi, A., 2010. Arsenic and mercury in commercially valuable fish species from the Persian Gulf: influence of season and habitat. *Food and Chemical Toxicology* 48(10), 2945-2950.
- Said, T.O., Omran, A.A., Fawy, K.F., Idris, A.M., 2014. Heavy metals in twelve edible marine fish species from Jizan fisheries, Saudi Arabia: monitoring and assessment. *Fresenius Environmental Bulletin* 23, 801-809.
- Salam, M.A., Dayal, S.R., Siddiqua, S.A., Muhib, M.I., Bhowmik, S., Kabir, M.M., Srzednicki, G., 2021. Risk assessment of heavy metals in marine fish and seafood from Kedah and Selangor coastal regions of Malaysia: A high-risk health concern for consumers. *Environmental Science and Pollution Research* 28(39), 55166-55175.
- Shue, M.F., Chen, W.D., Bellotindos, L.M., Lu, M.C., 2014. Seasonal variations of heavy metals content in muscle and viscera of green-lipped mussel *Perna viridis* from Da-Peng Bay Lagoon in Taiwan. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A* 77(20), 1222-1228.
- Storelli, M.M., 2008. Potential human health risks from metals (Hg, Cd, and Pb) and polychlorinated biphenyls (PCBs) via seafood consumption: estimation of target hazard quotients (THQs) and toxic equivalents (TEQs). *Food and Chemical Toxicology* 46(8), 2782-2788.
- Taghavi, M., Zarei, A., Darvishiyan, M., Momeni, M., Zarei, A., 2024. Human health risk assessment of trace metals and metalloids concentrations in saffron grown in Gonabad, Iran. *Journal of Food Composition and Analysis* 136, 106730.
- Ustaoglu, F., Kabir, M.H., Kormoker, T., Ismail, Z., Islam, M.S., Taş, B., Topaldemir, H., 2024. Appraisal of macro elements and trace metals in the edible fish from the Black Sea connecting coastal river, Türkiye: A preliminary study for health risk assessment. *Regional Studies in Marine Science* 71, 103406.
- Varol, M., Kaya, G.K., Alp, S.A., Sünbül, M.R., 2018. Trace metal levels in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cultured in net cages in a reservoir and evaluation of human health risks from consumption. *Biological trace element research* 184(1), 268-278.
- Wang, S., Zheng, N., Sun, S., An, Q., Li, P., Li, X., Zhang, W., 2022. Trends and health risk of trace metals in fishes in Liaodong Bay, China, From 2015 to 2020. *Frontiers in Marine Science* 8, 789572.
- Yazman, M. M., Ustaoglu, F., Yüksel, B., 2025. Nutritional profiling of *Oncorhynchus mykiss* from çamlığöze dam, türkiye: health risk assessment through Monte Carlo simulation and elemental

- source attribution using positive matrix factorization. *Process Safety and Environmental Protection* 198, 107172.
- Younis, E.M., Abdel-Warith, A.W.A., Al-Asgah, N.A., Elthebite, S.A., Rahman, M.M., 2021. Nutritional value and bioaccumulation of heavy metals in muscle tissues of five commercially important marine fish species from the Red Sea. *Saudi Journal of Biological Sciences* 28(3), 1860-1866.
- Yüksel, B., Ustaoglu, F., Topaldemir, H., Yazman, M. M., Tokatlı, C., 2025. Unveiling the nutritional value and potentially toxic elements in fish species from Miliç Wetland, Türkiye: a probabilistic human health risk assessment using Monte Carlo simulation. *Marine Pollution Bulletin* 211, 117417.
- Zhang, P., Ye, Z., Huang, L., Wang, X., Zhang, W., 2025. Heavy metal alarm of marine fish consumption surrounding Qiongzhou Strait, the South China Sea. *Frontiers in Marine Science* 12, 1557963.