University of Hormozgan

Journal of Aquatic Ecology

ISSN Print: 2322-2751 ISSN Online: 2980-9355

Homepage: https://jae.hormozgan.ac.ir

Evaluation of Heavy Metal Bioaccumulation in sediments and Ghost Crab (*Ocypode rotundata*) of the Oman Sea Coast

Seyed Ramin Seyed Mousavi[1], Parvin Sadeghi[2]✉

1. Department of Oceanography, Faculty of Marine Science, Chabahar Maritime University, Chabahar, Iran.
2.Department Marine Biology, Faculty of Marine Science, Chabahar Maritime University, Chabahar, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 18 October 2025
Accepted: 16 December 2025
Published: 15 February 2026

✉**Corresponding Author:**
parvin.sadeghi@gmail.com

Keywords:
Ocypode rotundata,
Sediment quality standards,
Heavy metals,
Marine pollution monitoring,
Chabahar Bay.

ABSTRACT

Heavy metals in aquatic environments are non-biodegradable and, due to their persistence and accumulation in the food chain, have become an increasing concern for aquatic organisms, including crustaceans. The aim of this study was to evaluate the bioaccumulation of zinc (Zn), copper (Cu), and nickel (Ni) in the soft tissues of the ghost crab (*Ocypode rotundata*) and in sediments from sandy shores of Chabahar Bay and the Oman Sea, and to compare the measured concentrations with international standards. Samples were collected from three stations: the Konarak Desalination Plant, Crab Island, and the beach adjacent to the Martian Mountains tourism complex. Following chemical digestion, heavy metal concentrations were determined using atomic absorption spectroscopy and expressed as micrograms per gram of dry weight. The pattern of heavy metal accumulation in the soft tissues of the ghost crab was recorded as Cu > Ni > Zn, and statistically significant differences ($p < 0.05$) were observed in the mean metal concentrations among the sampling stations. The concentrations of zinc and copper in crab soft tissues at all stations were below the recommended standard limits, whereas nickel concentrations exceeded the permissible limits established by the World Health Organization (WHO) and the Food and Agriculture Organization (FAO). The minimum and maximum concentrations of metals in sediment samples (µg/g dry weight) were 2.13–16.21 for zinc, 1.16–3.16 for copper, and 38.4–54.6 for nickel. Zinc and copper concentrations in sediments were below the sediment quality guidelines of the United States (NOAA) and Canada (CCME), while nickel concentrations exceeded these standards. These findings highlight the need for increased attention to environmental management and stricter control of pollution sources entering Chabahar Bay and the Oman Sea.

CC BY NC

Publisher: University of Hormozgan

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Metals continuously enter aquatic ecosystems through both natural sources and anthropogenic activities, disrupting ecological balance. Their capacity for bioaccumulation can impose stress and strain on aquatic organisms. Monitoring the concentration levels of heavy metals in aquatic species is of great significance for both natural resource management and human consumption. Therefore, continuous monitoring of these metals is critically important to assess the bioaccumulation potential of such pollutants, representing a key measure in the management of aquatic ecosystems. Pollutants such as heavy metals have become an increasing and concerning issue in aquatic environments for aquatic organisms, including crustaceans. This is because most heavy metals are non-biodegradable, persistently affect the food chain, and pose significant risks to both the environment and human health. The aim of this study was to investigate the bioaccumulation levels of heavy metals—zinc, copper, and nickel—in the soft tissues of the ghost crab (*Ocypode rotundata*) and sediments of sandy shores along the Chabahar Bay and the Oman Sea, and to compare them with international standards.

Materials and Methods

Based on previous studies regarding the presence of heavy metal contamination in Chabahar Bay and the Oman Sea as well as the habitat of the ghost crab, three stations -Konarak desalination plant, Crab Island, and the shore adjacent to the Martian Mountains tourist complex with sandy substrate- were selected for this study. A total of 30 ghost crabs were manually collected in triplicate from the selected stations during low tide in autumn 2015. Sediment samples were taken from the surface layer of the substrate (top 5 cm of sediment) at low tide. All samples were immediately placed in ice-boxes upon collection and promptly transferred to the laboratory, where they were stored at -20°C until further analysis. The concentrations of heavy metals copper, nickel, and zinc in the samples were measured using an atomic absorption spectrophotometer with three replicates, and expressed in micrograms per gram of dry weight. Statistical analysis of the data was performed using SPSS version 20. The non-parametric Kruskal–Walli's test was used to examine differences in heavy metal concentrations between stations. Data for each measurement were reported as mean ± standard deviation (± mean SD). In cases where significant differences were observed, the Mann–Whitney test was applied for pairwise comparisons between stations, and differences were considered significant at a confidence level of 95% ($p < 0.05$). Graphs depicting heavy metal concentrations at each station were plotted using Excel 2021.

Results

The highest average concentration of zinc in the soft tissue of the ghost crab was recorded at 25.42 ± 1.1 µg/g dry weight at the desalination plant station. Conversely, the lowest average concentration of zinc in the soft tissue of the ghost crab (12.33 ± 0.9 µg/g dry weight) was observed at the Crab Island station. The average concentration of copper in the soft tissue of the ghost crab across the studied stations ranged from 3.28 ± 0.8 to 6.76 ± 0.9 µg/g dry weight. The highest and lowest copper levels in the soft tissue were recorded at the desalination plant and Crab Island stations, respectively. The average concentration of nickel in the soft tissue of the ghost crab at the sampling stations ranged from 22.1 ± 1.0 µg/g dry weight (desalination

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

plant station) to 8.1 ± 0.08 µg/g dry weight (Crab Island station). The pattern of heavy metal accumulation in the soft tissues of the ghost crab was recorded as follows: zinc > nickel > copper. A statistically significant difference (p<0.05) was observed in the average concentrations of heavy metals among the different sampling stations. Measured levels of zinc and copper in the crab's soft tissue at all sampling stations were below the standard limits, whereas nickel levels exceeded the recommended standards set by the World Health Organization (WHO) and the Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations. The minimum and maximum concentrations of metals in the sediment samples from various stations, in micrograms per gram of dry weight, were as follows: Zinc (2.13–16.21), Copper (1.16–3.16), Nickel (38.4–54.6).

Conclusion

In the present study, the bioaccumulation of heavy metals zinc, copper, and nickel in the soft tissue of the ghost crab (*O. rotundata*) and sediments from sampling stations in Chabahar Bay and the Oman Sea was investigated. The pattern of heavy metal accumulation in the soft tissue of the ghost crab at all stations followed the order: zinc > nickel > copper. The measured concentrations of zinc and copper in the soft tissue of ghost crabs at all sampling stations were below the standard levels recommended by the WHO and the FAO. However, nickel concentrations in all collected crabs exceeded the established standard levels, which may pose a warning for consumer health. Nickel and copper showed the highest and lowest accumulation levels, respectively, in the sediments of the studied stations in the waters of the Oman Sea. Sediment analysis from different stations indicated that the concentrations of zinc and copper across all studied areas were below the threshold limits defined by ERL, ERM, ISQG, and PEL standards. Meanwhile, nickel levels in sediments from stations associated with the desalination facility and the Martian Mountains tourist complex exceeded permissible limits set by sediment quality guidelines of the United States (NOAA) and Canada (CCME).

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

بوم‌شناسی آبزیان
شاپا چاپی: ۲۷۵۱-۲۳۲۲ شاپا الکترونیکی: ۹۳۵۵-۲۹۸۰
https://jae.hormozgan.ac.ir
دانشگاه هرمزگان

بررسی میزان تجمع زیستی فلزات سنگین در رسوب و خرچنگ شبح (*Ocypode rotundata*) سواحل دریای عمان

سید رامین سیدموسوی [۱]، پروین صادقی [۲]✉

۱. گروه اقیانوس‌شناسی، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، چابهار، ایران.

۲. گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، چابهار، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۱/۲۶

✉ **نویسنده مسئول:**
parvin.sadeghi@gmail.com

کلیدواژه‌ها:
Ocypode rotundata،
استاندارد کیفیت رسوب،
فلزات سنگین،
پایش آلودگی دریا،
خلیج چابهار.

چکیده

فلزات سنگین در محیط‌های آبی قابلیت تجزیه‌زیستی ندارند و به‌دلیل اثرات ماندگار در زنجیره غذایی برای موجودات آبزی از جمله سخت‌پوستان به موضوعی نگران‌کننده و رو به افزایش تبدیل شده‌اند. هدف این پژوهش بررسی میزان تجمع زیستی فلزات سنگین روی، مس و نیکل در بافت نرم خرچنگ شبح (*Ocypode rotundata*) و رسوبات سواحل ماسه‌ای خلیج چابهار و دریای عمان و مقایسه آن‌ها با استانداردهای جهانی بود. غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های جمع‌آوری شده از سه ایستگاه آب شیرین‌کن کنارک، جزیره خرچنگ و ساحل مجاور با مجموعه گردشگری کوه‌های مریخی پس از هضم شیمیایی با دستگاه جذب اتمی بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک اندازه‌گیری گردید. الگوی تجمع فلزات سنگین در بافت نرم خرچنگ شبح به صورت مس <نیکل< روی ثبت شد و میانگین غلظت فلزات بین تمامی ایستگاه‌های نمونه‌برداری اختلاف آماری معنی‌دار داشت (p<۰/۰۵).

فلزات روی و مس اندازه‌گیری شده در بافت نرم خرچنگ شبح در همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری کمتر از سطح استاندارد و فلز نیکل بیشتر از سطح استانداردهای توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی و سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد بود. دامنه کمترین و بیشترین میزان فلزات اندازه‌گیری شده بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک در رسوب ایستگاه‌های مختلف عبارت بود از: روی (۱۶/۲۱-۲/۱۳)، مس (۳/۱۶-۱/۱۶) و نیکل (۵۴/۶-۳۸/۴). میزان فلزات روی و مس در رسوب ایستگاه‌های مورد مطالعه کمتر و فلز نیکل بیشتر از مقادیر استاندارد کیفیت رسوب آمریکا (NOAA) و استاندارد رسوب کانادا (CCME) برآورد گردید. لذا توجه بیشتر به مدیریت زیست‌محیطی و ورود منابع آلاینده به خلیج چابهار و دریای عمان باید در اولویت قرار گیرد.

ناشر: دانشگاه هرمزگان.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

مقدمه

فلزات به‌طور مداوم از طریق منابع طبیعی و فعالیت‌های انسانی وارد بوم‌سازگان آبی می‌شوند و تعادل محیط‌زیستی را برهم می‌زنند. قابلیت آن‌ها در تجمع زیستی می‌تواند موجب ایجاد فشار و تنش در موجودات آبزی شود (Williams *et al.,* 2022). میزان ورود فلزاتی مانند کادمیوم، مس، سرب، جیوه، نیکل و روی از منابع انسانی به‌مراتب بیشتر از منابع طبیعی است (بین ۱ تا ۳ مرتبه بیشتر (Adeleke *et al.,* 2020). برخی فلزات مانند مس و روی به‌عنوان عوامل کمکی ضروری در بسیاری از فرآیندهای بیوشیمیایی نقش دارند، در حالی که فلزاتی مانند کادمیوم، جیوه و سرب عملکرد زیستی شناخته‌شده‌ای در بدن جانوران ندارند. با این وجود، همه فلزات در غلظت‌های بالا می‌توانند سمی باشند (Ivanina and Sokolova, 2015). آگاهی از میزان غلظت فلزات سنگین در آبزیان هم از نظر مدیریت منابع طبیعی و هم از لحاظ مصرف انسان اهمیت زیادی دارد. بنابراین، پایش مداوم فلزات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است تا پتانسیل تجمع زیستی این آلاینده‌ها مشخص شود و این موضوع گامی کلیدی در مدیریت بوم‌سازگان آبی محسوب می‌شود (Ebrahimpour and Mushrifah, 2010). رسوبات بستر، جایگاه نهایی تجمع زیستی فلزات سنگین در اکوسیستم‌های آبی هستند و می‌توانند آلاینده‌ها را برای دوره‌های طولانی‌مدت در خود نگهدارند. از دلایل مهم مطالعه آلودگی رسوبات این است که بیشتر موجودات آبزی قسمتی یا کل زندگی خود را در سطح یا درون رسوبات بستر دریاها به سر می‌برند، بنابراین آلودگی‌های موجود در رسوبات از طریق چرخه زیستی وارد بدن این آبزیان شده و درنهایت از طریق بزرگنمایی زیستی از موجودات آبزی طی چرخه غذایی به انسان منتقل می‌شوند (Sadeghi *et al.,* 2021). آلاینده‌هایی چون فلزات سنگین در محیط‌های آبی برای موجودات آبزی از جمله سخت‌پوستان به موضوعی نگران‌کننده و رو به افزایش تبدیل شده است؛ زیرا بیشتر فلزات سنگین قابلیت تجزیه‌زیستی ندارند، اثرات ماندگاری در زنجیره غذایی بر جای می‌گذارند و برای محیط‌زیست و سلامت انسان، خطرناک هستند (Hannan *et al.,* 2024). ازاین‌رو، در محیط‌های دریایی، با توجه به اهمیت بالای تنوع زیستی و حفاظت از زیستگاه‌های آبزیان، پایش آلودگی‌های محیطی و مقایسه نتایج با استانداردهای معتبر جهانی ضرورتی اجتناب‌ناپذیر محسوب می‌شود (Sadeghi and Darbazi, 2016).

خرچنگ شبح (*Ocypode rotundata Miers, 1882*) گونه‌ای از خانواده Ocypodidae و شاخه سخت‌پوستان است و زیستگاه غالب آن سواحل بین جزر و مدی ماسه‌ای مناطق معتدل تا گرمسیری گزارش شده است (Ma *et al.,* 2019; Naderi *et al.,* 2023). خرچنگ شبح (*O. rotundata*) ، به‌طور معمول در نواحی شنی سواحل شرقی شبه‌جزیره عربستان (عمان) تا سواحل غربی هند (بمبئی)، شامل خلیج فارس (ایران، کویت، عربستان سعودی، بحرین، امارات متحده عربی) یافت می‌شود (Naderloo *et al.,* 2015; Naderi *et al.,* 2023). این گونه عمدتاً همه‌چیزخوار (omnivorous) است و طیف وسیعی از منابع غذایی از جمله ذرات آلی موجود در شن، جلبک‌ها و باقیمانده گیاهان ساحلی، حشرات، سخت‌پوستان کوچک، تخم پرندگان ساحلی یا حتی لاک‌پشت‌ها را مصرف می‌کند. این خرچنگ‌ها عمدتاً شب‌فعال هستند و در شب به جست‌وجوی غذا در سطح ساحل می‌پردازند (Lucrezi *et al.,* 2009). خرچنگ‌های شبح به دلیل حساسیت به اثرات انسانی، پراکنش وسیع و نمونه‌برداری آسان، شاخص‌های زیستی مفیدی برای بررسی وضعیت و تغییرات سواحل شنی هستند (Schlacher *et al.,* 2016; Soltani *et al.,* 2020). این خرچنگ‌ها یکی از منابع غذایی مهم برای بسیاری از جانوران از قبیل پرندگان آبزی، ماهی‌ها و سخت‌پوستان بزرگتر محسوب می‌شوند. از سوی دیگر گونه (*O. rotundata*) به دلیل حضور در سواحل شنی، بخشی از زیبایی و جذابیت طبیعی محیط‌های ساحلی است. بنابراین حفظ و مدیریت این گونه به نوبه خود درآمدزایی از طریق اکوتوریسم را تقویت می‌کند (Schlacher *et al.,* 2016). با شناخت وضعیت آلودگی این گونه می‌توان به مدیریت بهتر سواحل و منابع طبیعی کمک کرد تا در نهایت به حفظ فعالیت‌های اقتصادی مرتبط با ساحل مانند ماهیگیری، گردشگری و حفاظت از مناطق ساحلی منجر شود (Defeo *et al.,* 2009).

دریای مکران در خاورمیانه بین ایران، عمان، امارات متحده عربی و شمال اقیانوس هند واقع شده است. خلیج چابهار بزرگترین خلیج در سواحل شمالی دریای مکران و در جنوب استان سیستان و بلوچستان می‌باشد. خلیج چابهار زیستگاه موجودات آبزی

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

مختلفی است و در سال‌های اخیر فعالیت‌های صنعتی و گردشگری گسترده‌ای در این منطقه انجام شده است. فعالیت‌های ماهیگیری، کارخانه‌های کنسرو سازی، قایق‌سازی و ترافیک کشتی‌های تجاری این منطقه را در معرض ورود آلاینده‌های مختلفی قرار داده است (Sadeghi *et al.,* 2015; Rashidifard et al., 2025). مطالعات مختلفی در دهه اخیر حضور آلاینده‌هایی چون فلزات سنگین را در رسوبات و موجودات آبزی خلیج چابهار و دریای عمان گزارش نموده‌اند (Sadeghi *et al.,* 2021; Loghmani *et al.,* 2022; Tabezar *et al.,* 2023; Rangidan *et al.,* 2024; Rashidifard *et al.,* 2025).

از جمله موجواتی که در مناطق بین جزر و مدی و بالای جزر و مدی سواحل خلیج چابهار زیست می‌کنند و در تماس با آلودگی‌های وارده به محیط می‌باشند، خرچنگ‌ها هستند. خرچنگ شبح (*O. rotundata*) به فراوانی در سواحل ماسه‌ای خلیج چابهار حضور داشته و به‌عنوان حفار قوی بستر، لانه خود را در مناطق جزر و مدی حفر می‌کند، لذا انتظار می‌رود که در معرض آلاینده‌ها به خصوص فلزات سنگین باشد. با توجه به مطالب ذکر شده و حضور خرچنگ شبح در سواحل ماسه‌ای، هدف این پژوهش بررسی میزان تجمع زیستی فلزات سنگین روی، مس و نیکل در رسوبات سواحل ماسه‌ای خلیج چابهار و دریای عمان و بافت نرم خرچنگ شبح (*O. rotundata*) و مقایسه آن‌ها با استانداردهای جهانی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

با توجه به مطالعات گذشته درخصوص وجود آلودگی فلزات سنگین در خلیج چابهار و دریای عمان (Hamzeh *et al.,* 2013; Pakzad *et al.,* 2014; Sadeghi *et al.,* 2019) و همچنین محل زندگی خرچنگ شبح، سه ایستگاه آب شیرین‌کن کنارک، جزیره خرچنگ و ساحل مجاور با مجموعه گردشگری کوه‌های مریخی با بستر ماسه‌ای جهت این مطالعه انتخاب گردید (جدول ۱). تعداد ۳۰ عدد خرچنگ شبح با سه تکرار از ایستگاه‌های انتخاب شده، در زمان جزر کامل به روش دستی در پاییز ۱۳۹۴ جمع‌آوری شد (Kumar *et al.,* 2019). نمونه‌های رسوب از ناحیه سطحی بستر (۵ سانتی‌متر اول رسوب) در زمان جزر کامل با استفاده از بیلچه برداشت و در ظروف پلاستیکی ذخیره شد (Rangidan *et al.,* 2024). همه نمونه‌ها بعد از جمع‌آوری بلافاصله در یونولیت پر از یخ قرار داده شده و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند و تا قبل از انجام مراحل بعدی آزمایش در فریزر با دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Wang *et al.,* 2012).

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری و فعالیت موجود در آنها

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	موقعیت جغرافیایی	فعالیت موجود در ایستگاه
۱	آب شیرین‌کن کنارک	۶۰° ۲۹´ ۲۳/۹۵˝ E ۲۵° ۲۶´ ۱۹/۶۸˝ N	کارخانه آب شیرین‌کن
۲	جزیره خرچنگ	۶۰° ۲۶´ ۱/۷˝ E ۲۵° ۲۴´ ۳۸/۲۰˝ N	شهرک صنعتی کنارک
۳	ساحل مجموعه گردشگری کوه‌های مریخی	۶۰° ۵۱´ ۵۷/۸˝ E ۲۴°۱۴´ ۱۷/۲۲˝ N	گردشگری و تفریحی

قبل از شروع مراحل هضم شیمیایی، نمونه‌های خرچنگ با آب مقطر شستشو داده شده تا آلودگی‌های احتمالی سطح بدن زدوده شوند. سپس کاراپاس جانور شکافته شد و بافت نرم خرچنگ‌ها به همراه امعاء و احشاء داخلی جدا گردیدند و در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. پس از خشک شدن نمونه‌ها، بافت موجود توسط هاون چینی پودر و یکنواخت شدند تا آماده مراحل هضم و سنجش فلزات شوند (Kumar *et al.,* 2019). برای انجام عمل هضم بافت، یک گرم از پودر خشک‌شده با ۷ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ (۶۵ درصد) و ۳ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریدریک (۳۷ درصد) مخلوط گردید و به مدت ۵ ساعت در هات‌پلیت با دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. پس از طی این زمان، نمونه‌ها با اسیدنیتریک غلیظ رقیق و

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شدند . سپس در بالن ژوژه با آب دوبار تقطیر به حجم رسانده شدند (Moopam, 1999). جهت سنجش فلزات سنگین در رسوب، نمونه‌های رسوب هر ایستگاه از فریزر خارج شده و یخ آنها در دمای آزمایشگاه ذوب شد. پس از هم‌دما شدن نمونه‌ها با محیط، جهت خشک نمودن رسوبات و تثبیت وزن، نمونه‌ها به آون با دمای ۶۰ درجه انتقال داده شدند. پس از خشک شدن نمونه‌ها در هاون چینی کاملاً پودر و همگن شده و سپس از الک ۶۳ میکرون عبور داده شدند. در زمان هضم، یک گرم از رسوب به لوله مخصوص هضم انتقال داده شد و ۱۰ میلی‌لیتر اسید پرکلریک (۶۰٪) و اسیدنیتریک غلیظ (۶۵٪) به نسبت ۱:۴ به آن افزوده شد. لوله‌های مخصوص هضم به مدت یک ساعت در دمای اتاق و ۳-۴ ساعت در دمای ۱۲۰-۱۴۰ درجه سانتیگراد بر روی هات پلیت و زیر هود قرار گرفته تا عمل هضم انجام شود و سپس در دمای اتاق سرد شدند. پس از هم‌دما شدن نمونه‌ها با محیط، نمونه‌های هضم شده با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ فیلتر شده و به بالن ژوژه ۵۰ میلی‌لیتر منتقل گردیدند و با آب دوبار تقطیر به حجم رسانده شدند (Moopam, 1999; Storelli and Marcotrigiano, 2001). غلظت فلزات سنگین مس، نیکل و روی در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Varian AA220، ساخت استرالیا) و با سه تکرار بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک اندازه‌گیری گردید.

به‌منظور کنترل کیفیت، قبل از شروع آزمایش، تمام ظروف و ابزار آزمایشگاهی با اسید نیتریک ۱۰ درصد شسته، با آب دوبار تقطیر شده آبکشی و در آون خشک شدند. مواد شیمیایی و محلول‌های استاندارد با کیفیت و درجه خلوص تحلیلی بالا از شرکت مرک آلمان تهیه شدند. محلول‌های بلانک و استاندارد از محلول‌های ذخیره تهیه و با نمونه‌ها آزمایش شدند. تمام تجزیه و تحلیل‌ها در سه تکرار انجام شد. میزان بازیابی فلزات مورد بررسی بین ۹۵ تا ۱۰۵/۲ درصد بود. حد تشخیص (LOD) عناصرمورد مطالعه برای نیکل و مس ۰/۰۵ میکروگرم بر گرم و برای روی ۰/۰۱ میکروگرم بر گرم بود.

پردازش آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۰ انجام شد. از آزمون ناپارامتریک کروسکال–والیس برای بررسی اختلاف غلظت فلزات سنگین بین ایستگاه‌ها استفاده شد. داده‌های مربوط به هر سنجش به صورت مقدار میانگین ± انحراف معیار (mean standard deviation of the mean ±) گزارش گردید. درصورت وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها، آزمون من–ویتنی برای مقایسه زوجی ایستگاه‌ها به‌کار رفت و اختلاف در سطح اطمینان بالای ۹۵درصد (p<۰/۰۵) بیان شد. با استفاده از برنامه Excel ۲۰۲۱ نمودارهای مربوط به غلظت فلزات سنگین در هر ایستگاه رسم گردید.

نتایج

نتایج حاصل از سنجش میزان فلزات سنگین در بافت نرم خرچنگ شبح در جدول ۲ ارائه شده است. بیشترین میانگین غلظت فلز روی در بافت نرم خرچنگ شبح برابر با ۱/۱ ± ۲۵/۴۲ میکروگرم بر گرم وزن خشک در ایستگاه آب‌شیرین‌کن ثبت گردید. از سوی دیگر، کمترین میانگین غلظت فلز روی در بافت نرم خرچنگ شبح (۰/۹ ± ۱۲/۳۳ میکروگرم بر گرم وزن خشک) در ایستگاه جزیره خرچنگ مشاهده شد. میانگین غلظت فلز مس در بافت نرم خرچنگ شبح در ایستگاه‌های مورد مطالعه بین ۰/۸ ± ۳/۲۸ و ۰/۹ ± ۶/۷۶ میکروگرم بر گرم وزن خشک بدست آمد. بیشترین و کمترین میزان فلز مس به‌ترتیب در بافت نرم خرچنگ متعلق به ایستگاه آب‌شیرین‌کن و ایستگاه جزیره خرچنگ ثبت گردید. میزان میانگین غلظت فلز نیکل در بافت نرم خرچنگ شبح در ایستگاه‌های نمونه‌برداری، بین ۰/۱ ± ۲۲/۱ میکروگرم بر گرم وزن خشک (ایستگاه آب‌شیرین‌کن) و ۰/۸±۸/۱ میکروگرم بر گرم وزن خشک (ایستگاه جزیره خرچنگ) اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

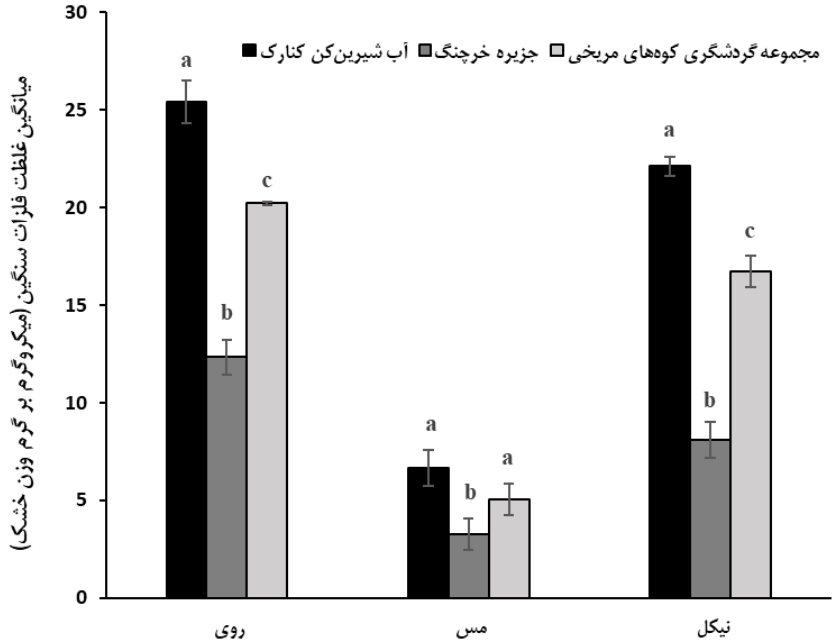
الگوی تجمع فلزات سنگین روی، مس و نیکل در بافت نرم خرچنگ شبح ایستگاه‌های نمونه‌برداری به‌صورت آب‌شیرین کن> ساحل مجموعه گردشگری کوه‌های مریخی> جزیره خرچنگ بود.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

جدول ۲- میانگین غلظت فلزات سنگین (میکروگرم بر گرم وزن خشک) در بافت نرم خرچنگ شبح (*O. rotundata*) دریای عمان

نام ایستگاه	روی (Zn)	مس (Cu)	نیکل (Ni)
آب شیرین‌کن کنارک	۲۵/۴۲ ± ۱/۱	۶/۷۶ ± ۰/۹	۲۲/۱ ± ۰/۱
جزیره خرچنگ	۱۲/۳۳ ± ۰/۹	۳/۲۸ ± ۰/۸	۸/۱ ± ۰/۸
ساحل مجموعه گردشگری کوه‌های مریخی	۲۰/۲۱ ± ۰/۵	۵/۰۶ ± ۰/۹	۱۶/۷ ± ۰/۸

به‌منظور مقایسه میزان غلظت فلزات روی، مس و نیکل در بافت نرم خرچنگ شبح در ایستگاه‌های مورد مطالعه از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه استفاده شد. نتایج آزمون نشان داد که میانگین غلظت فلزات سنگین در بافت نرم خرچنگ شبح بین تمامی ایستگاه‌های نمونه‌برداری اختلاف آماری معنی‌دار داشت ($p<۰/۰۵$). در همین راستا به جهت بررسی دقیق‌تر ایستگاه‌ها از آزمون من-ویتنی استفاده گردید. بر این اساس، تنها خرچنگ‌های متعلق به دو ایستگاه آب‌شیرین‌کن و مجموعه گردشگری کوه‌های مریخی از نظر غلظت فلز مس، اختلاف آماری معنی‌داری را نشان ندادند ($p>۰/۰۵$) (شکل ۱).



شکل ۱. میانگین غلظت فلزات سنگین در بافت نرم خرچنگ شبح (*Ocypode rotundata*) (بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک). حروف ناهمسان نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار ($p<0.05$) بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری می‌باشد.

نتایج اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین روی، مس و نیکل در رسوب ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. دامنه کمترین و بیشترین میزان فلزات اندازه‌گیری شده بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک در رسوب ایستگاه‌های مختلف عبارت بود از: روی (۱۶/۲۱-۲/۱۳)، مس (۳/۱۶-۱/۱۶) و نیکل (۵۴/۶-۳۸/۴). نتایج نشان داد که بیشترین میزان فلز ثبت شده در رسوبات ایستگاه‌های مورد بررسی، متعلق به فلز نیکل با میانگین ۰/۹±۵۴/۶ در ایستگاه آب‌شیرین‌کن کنارک و کمترین مقدار مربوط به فلز مس با میانگین ۰/۵±۱/۱۶ میکروگرم بر گرم وزن خشک در ایستگاه مجموعه گردشگری کوه‌های مریخی بود

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

(جدول ۳). بررسی آماری غلظت فلزات سنگین در رسوب ایستگاه‌های مختلف نشان داد که بین تجمع برخی از فلزات در ایستگاه‌های مورد بررسی اختلاف آماری معنی‌دار وجود دارد ($p<۰/۰۵$) که به تفکیک ایستگاه و فلز در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. میانگین غلظت فلزات سنگین (میکروگرم بر گرم وزن خشک) در رسوب ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	روی (Zn)	مس (Cu)	نیکل (Ni)
آب شیرین‌کن کنارک	۳/۵ ± ۱/۱۵^{a}	۳/۱۶ ± ۲/۱^{a}	۵۴/۶ ± ۰/۹^{a}
جزیره خرچنگ	۲/۱۳ ± ۱/۰۵^{a}	۲/۰۸ ± ۱/۸^{a}	۳۸/۴ ± ۰/۸^{b}
ساحل مجموعه گردشگری کوه‌های مریخی	۱۶/۲۱ ± ۰/۰۵^{b}	۱/۱۶ ± ۰/۵^{a}	۵۲/۷ ± ۱/۲^{a}

بحث

حضور فلزات سنگین به‌ویژه در زیستگاه‌های آبی اهمیت دارد، زیرا این عناصر در محیط پایدار هستند، برای موجودات زنده سمی‌اند و قابلیت انباشت در زنجیره غذایی را دارند و به یک نگرانی زیست‌محیطی مهم تبدیل شده‌اند (Ali *et al.,* 2019). خرچنگ‌ها گونه‌هایی بین‌جزرومدی هستند و می‌توانند فلزات سنگین را که در هر دو فاز آب و رسوب حضور دارند، در بدن خود تجمع دهند (Karar *et al.,* 2019). الگوی تجمع فلزات سنگین روی، مس و نیکل در بافت نرم خرچنگ شبح در ایستگاه‌های مورد بررسی به صورت مس <نیکل< روی ثبت شد. در جدول ۴ مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین مورد بررسی در بافت نرم خرچنگ شبح پژوهش حاضر با سایر گونه‌های خرچنگ در مناطق مختلف ارائه شده است. در مطالعه El Qoraychy و همکاران روی خرچنگ *Callinectes sapidus* در سواحل مراکش بالا بودن غلظت فلز روی نسبت به فلزات مس و نیکل گزارش شد که با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد (El Qoraychy *et al.,* 2023). از سوی دیگر، نتایج مشابهی با یافته‌های مطالعه حاضر، توسط Abdi bastami و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیق روی خرچنگ گونه *Portunus plagicus* در خلیج‌فارس و همچنین Azadikhah و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه روی خرچنگ گونه *Thalamita crenata* در خلیج چابهار گزارش شده است. مطالعه Silva و همکاران بالا بودن غلظت روی نسبت به سایر فلزات در بافت خرچنگ را با عملکرد انقباضات عضلانی یا حضور پروتئین‌های مرتبط با فلزات در ارتباط دانسته‌اند (Silva *et al.,* 2018). روی یکی از فلزات ضروری محسوب می‌شود زیرا بخشی از ساختار آنزیم‌های مختلف بدن بوده و برای بسیاری از فرآیندهای زیستی که باید در سطوح نسبتاً بالایی حفظ شوند، لازم است (Baki *et al.,* 2018). همچنین حدود ۳۰۰ آنزیم در بدن تمامی موجودات دریایی به کوفاکتور روی نیاز دارند. از این رو فلز روی یک عنصر حیاتی برای موجودات زنده می‌باشد. اما مصرف بیش از حد روی می‌تواند سبب اختلال در تعادل الکترولیت‌ها شود (Ahmed *et al.,* 2023). سطوح بالای روی می‌تواند سمی باشد و پیامدهای جدی مانند کاهش مصرف اکسیژن و تأخیر در رشد موجودات را به دنبال داشته باشد (Wu and Chen, 2005; de Jesus *et al.,* 2021).

حداکثر حد مجاز توصیه شده توسط سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) برای فلز روی ۴۰ میکروگرم بر گرم است (FAO, 1992). از آنجا که مقادیر غلظت فلزات سنگین در این مطالعه بر اساس وزن خشک اندازه‌گیری شد و استانداردهای بین‌المللی بر حسب وزن تر گزارش می‌شوند، غلظت‌ها با استفاده از درصد رطوبت بافت به وزن تر (۷۵درصد) و با ضریب تبدیل ۰/۲۵ محاسبه شدند و سپس با مقادیر استاندارد مقایسه گردیدند. مقادیر سنجش شده فلز روی در بافت نرم خرچنگ شبح در همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری کمتر از سطح توصیه شده بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این فلز خطری برای سلامت مصرف‌کنندگان ندارد.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

تمامی موجودات زنده برای رشد و متابولیسم مناسب به مس نیاز دارند. این عنصر نقش مهمی در تولید انرژی، متابولیسم آهن، فعال‌سازی نوروپپتیدها، سنتز بافت همبند و سایر فرآیندهای زیستی ایفا می‌کند. با این حال، در غلظت‌های بالا، مس سمی می‌شود (Vetchy *et al.,* 2018). همان‌طور که در مطالعات قبلی گزارش شده است، غلظت‌های بالای مس در خرچنگ ممکن است به دلیل اهمیت آن باشد، زیرا مس جزئی از رنگدانه تنفسی هموسیانین است (Liu *et al.,* 2020). بالاترین میزان تجمع فلز مس در بافت نرم خرچنگ شبح جمع‌آوری شده از ایستگاه آب‌شیرین‌کن ثبت گردید که می‌تواند به‌دلیل حضور کارخانه آب‌شیرین‌کن و ورود پساب این کارخانه به منطقه باشد. میانگین غلظت مس در بافت نرم خرچنگ شبح در خلیج چابهار و دریای عمان مشابه غلظت مس (۴ تا ۵/۴ میکروگرم بر گرم) در خرچنگ‌های جمع‌آوری‌شده از منطقه خور Thane، هند (Suresh *et al.,* 2025) و خرچنگ مطالعه شده در خلیج Sao Marcos، شمال‌شرق برزیل (۵/۲۷ میکروگرم بر گرم) (de Jesus *et al.,* 2021) بود. میانگین غلظت مس در خرچنگ شبح بررسی‌شده در پژوهش حاضر به‌مراتب پایین‌تر از حد مجاز تعیین‌شده یعنی ۳۰ میکروگرم بر گرم می‌باشد (FAO/WHO, 1983; Police *et al.,* 2021). مطالعه‌ای اخیر توسط Ennouri و همکاران در سال ۲۰۲۵، تجمع فلز مس را در خرچنگ گونه *Portunus segnis* از نواحی شمالی تونس نشان داد. غلظت مس در این گونه در طی چهار فصل سال به‌طور قابل‌توجهی کمتر از سطح مرجع برای مصرف انسانی بود.

آلودگی نیکل در موجودات آبزی باعث عدم تقارن بدن و تغییرات فیزیولوژیکی مانند افزایش حرکات سریع دهان و آبشش‌ها پیش از مرگ شده است (Santhosh *et al.,* 2024). بیشترین میزان تجمع زیستی فلز نیکل در بافت نرم خرچنگ شبح در ایستگاه آب‌شیرین‌کن (۰/۱ ± ۲۲/۱ میکروگرم بر گرم وزن خشک) ثبت گردید. میانگین غلظت نیکل در خرچنگ مطالعه حاضر مشابه غلظت نیکل (۲۳/۸۳ میکروگرم بر گرم وزن خشک) در گونه‌های مختلف خرچنگ‌های جمع‌آوری شده از نواحی ساحلی پاکستان است (Siddiqui and Saher, 2025). میزان غلظت نیکل اندازه‌گیری شده در گونه مطالعه حاضر بیشتر از مقادیر گزارش‌شده توسط Yang و همکاران (۲۰۲۱) برای خرچنگ *Portunus trituberculatus* در چین بود. غلظت نیکل در خرچنگ‌های جمع‌آوری شده از ایستگاه‌های مورد مطالعه اختلاف آماری معنی‌داری نشان داد که می‌تواند ناشی از تفاوت در آلودگی‌های محلی و عوامل بوم‌شناختی باشد (Çoğun *et al.,* 2017). حداکثر حد مجاز توصیه شده برای نیکل توسط سازمان جهانی بهداشت (WHO) برابر با ۰/۲ میکروگرم بر گرم است (Pennington *et al.,* 1995; Ahmed *et al.,* 2023). مقادیر اندازه‌گیری شده فلز نیکل در بافت نرم خرچنگ شبح در همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری بیشتر از سطح توصیه شده بود که می‌تواند هشداری برای سلامت مصرف‌کنندگان باشد. با بررسی نتایج حاصل از سنجش فلزات سنگین روی، مس و نیکل در بافت نرم خرچنگ شبح در ایستگاه‌های نمونه‌برداری الگوی تجمع فلزات در ایستگاه‌ها به‌صورت جزیره خرچنگ < ساحل مجموعه گردشگری کوه‌های مریخی< آب‌شیرین‌کن مشخص گردید.

جدول ٤. مقایسه مقادیر فلزات سنگین در خرچنگ شبح دریای عمان با سایر گونه‌های خرچنگ در مناطق مختلف (میکروگرم بر گرم وزن خشک)

گونه	منطقه	روی	مس	نیکل	منبع
Portunus plagicus	خلیج فارس	–	۳۸/۱۶	۱۴/۶	Abdi bastami *et al.,* 2012
Ucides cordatus	جنگل‌های حرا برزیل	۳۱۵/۷	۳۸/۷	–	Silva *et al.,* 2018
Ucides cordatus	خلیج Sao Marcos، شمال‌شرق برزیل	۶۳/۲	۵/۲۷	۰/۲	de Jesus *et al.,* 2021
Scylla serrata	جنوب غربی بنگلادش	۰/۶۱	۰/۰۳۳	۰/۰۷۴	Ahmed *et al.,* 2023
Callinectes sapidus	مراکش	۱۰۹/۱	۸۳/۵	۱/۲۶	El Qoraychy *et al.,* 2023
Thalamita crenata	خلیج چابهار	۱۶۱/۷	۵۳/۹	–	Azadikhah *et al.,* 2024
Ocypode rutondota	خلیج چابهار و دریای عمان	۱۹/۳۲	۵/۰۳	۱۵/۶۳	مطالعه حاضر

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

نقش مهم رسوبات به‌عنوان منبع تجمع آلاینده‌ها در محیط‌های دریایی، به‌خوبی شناخته شده است. از اینرو بررسی ژئوشیمیایی رسوبات و میزان تجمع آلاینده‌ها بخصوص فلزات سنگین در محیط‌های دریایی مجاور مناطق در حال توسعه می‌تواند در ارزیابی خطرات ناشی از فعالیت‌های انسانی مفید واقع شود. از سوی دیگر بررسی رسوبات، اطلاعات مفیدی در مورد دسترسی زیستی و میزان سمیت فلزات سنگین در اختیار قرار می‌دهد (Qiao *et al.*, 2013). گونه‌های کفزی و نیمه‌کفزی که به بستر وابسته‌اند به مقدار زیاد در معرض آلاینده‌های موجود در رسوبات هستند و تجمع زیستی فلزات سنگین و دیگر آلاینده‌ها توسط این گونه‌ها، برای شبکه غذایی و انتقال آن به زنجیره غذایی انسان بسیار حائز اهمیت است (Çoğun *et al.*, 2006). از این رو تعیین و سنجش مقدار این ترکیبات در موجودات دریایی به صورت بالقوه اطلاعات مفیدی را در مورد سلامت اکوسیستم و آبزیان ارائه می‌دهد (Merian *et al.*, 2004). نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین روی، مس و نیکل و سرب در رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه در آب‌های دریای عمان نشان داد فلز نیکل دارای بیشترین تجمع و فلز مس دارای کمترین تجمع در رسوبات این مناطق بود. تعمیر و نگهداری لنج‌ها و قایقها در منطقه و ریختن روغن موتور، سوخت و رنگ، ورود فاضلاب‌های انسانی، خروج پساب کارخانه‌های کنسروسازی و تهیه پودر ماهی به داخل محدوده نیمه بسته اسکله‌های صیادی از دلایل بالا بودن آلودگی در دریای عمان است (Sadeghi *et al.*, 2021). خروج پساب ناشی از فعالیت کارخانه آب‌شیرین‌کن در فاصله بین چابهار و کنارک، وجود کارخانه تولید پودر ماهی و وجود محل دفن پسماند در نزدیکی اسکله کنارک از دیگر عوامل آلودگی این منطقه است. مقایسه مجموع فلزات سنگین در ایستگاه‌های مورد بررسی نشان داد بیشترین میزان تجمع فلزات در رسوب ایستگاه ساحل مجموعه گردشگری کوه‌های مریخی ثبت شده است. تردد زیاد قایق‌های صیادی و مسافربری در این محدوده و فاصله نزدیک ساحل این مجموعه با کوه (فرسایش سنگ‌ها و ورود طبیعی فلزات به آب دریا) می‌تواند از دلایل اصلی نشت فلزات سنگین به این ایستگاه باشد.

رسوبات با کیفیت خوب برای سلامت بوم‌سازگان آبی ضروری هستند و به‌ویژه در محیط‌های دریایی، پایه‌ی مهمی برای شبکه غذایی محسوب می‌شوند. دستورالعمل‌های کیفیت رسوب به‌طور گسترده‌ای، از طریق مقایسه غلظت‌های شیمیایی عناصر با سطوح ایمن تخمینی برای تعیین کیفیت رسوبات، مورد استفاده قرار می‌گیرند (Bao *et al.*, 2021). از سوی دیگر بررسی سطح سلامت رسوب از طریق مقایسه با استاندارد کیفیت رسوب سبب بهبود عملکرد در مدیریت محیط‌های آبی می‌شود. استاندارد کیفیت رسوب آمریکا (NOAA) دارای دو سطح است: سطح محدوده اثر کم (ERL) که در آن کمتر از ۱۰ درصد موجودات زنده در معرض خطر هستند و سطح محدوده اثر متوسط (ERM) که در آن بیشتر از ۵۰ درصد موجودات زنده در معرض خطر قرار دارند (Long *et al.*, 1995; CCME, 1999). در این مطالعه از استاندارد کیفیت رسوب آمریکا (NOAA) و استاندارد رسوب کانادا (CCME) برای مقایسه میزان تجمع فلزات سنگین روی، مس و نیکل در رسوب ایستگاه‌های نمونه‌برداری استفاده شد (جدول ۵). میزان فلزات سنگین روی و مس در رسوب ایستگاه‌های مورد مطالعه کمتر از مقادیر استاندارد ERL، ERM، ISQG و PEL بود. مقدار فلز نیکل در رسوب ایستگاه‌های آب‌شیرین‌کن و مجموعه گردشگری کوه‌های مریخی بالاتر از سطح استاندارد کیفیت رسوب آمریکا (NOAA) و استاندارد کیفیت رسوب کانادا (CCME) برآورد گردید. در ایستگاه جزیره خرچنگ میزان فلز نیکل از میزان ERL و ISQG بالاتر و از میزان ERM و PEL کمتر بود. نتایج این مقایسه با مطالعه Sadeghi و همکاران (۲۰۲۱) در مورد فلزات روی، مس و نیکل هم‌راستا بود. استفاده از شاخص‌های آلودگی امکان ارزیابی دقیق و مدیریت مؤثر عوامل بالقوه تهدیدکننده محیط زیست را فراهم می‌آورد (Soleimanirad *et al.*, 2022). با توجه به نتایج این مطالعه و مقایسه آن با استانداردهای بین‌المللی، توجه بیشتر به مدیریت زیست‌محیطی و ورود منابع آلاینده به خلیج چابهار و دریای عمان باید در اولویت قرار گیرد.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

جدول ۵. مقایسه مقادیر فلزات در رسوب منطقه مورد مطالعه با استاندارد کیفیت رسوب آمریکا (NOAA) و استاندارد رسوب کانادا (CCME)

فلزات	استاندارد رسوب کانادا CCME		استاندارد رسوب آمریکا NOAA		مطالعه حاضر	
	[d]PEL	[c]ISQG	[b]ERM	[a]ERL		
روی	۲۷۱	۱۲۴	۴۱۰	۱۵۰	آب‌شیرین‌کن	۳/۵ ± ۱/۱۵
					جزیره خرچنگ	۲/۱۳ ± ۱/۰۵
					کوه‌های مریخی	۱۶/۲۱ ± ۰/۰۵
مس	۱۰۸	۱۸/۷	۲۷۰	۳۴	آب‌شیرین‌کن	۳/۱۶ ± ۲/۱
					جزیره خرچنگ	۲/۰۸ ± ۱/۸
					کوه‌های مریخی	۱/۱۶ ± ۰/۵
نیکل	۴۲/۸	۱۵/۹	۵۱/۶	۲۰/۹	آب‌شیرین‌کن	۵۴/۶ ± ۰/۹
					جزیره خرچنگ	۳۸/۴ ± ۰/۸
					کوه‌های مریخی	۵۲/۷ ± ۱/۲

[a]ERL = effect range low (NOAA), [b] ERM = effect range medium (NOAA), [c] ISQG= Interim sediment quality guideline (Environment Canada), [d] PEL = probable effect level (Environment Canada).

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر تجمع زیستی فلزات سنگین روی، مس و نیکل در بافت نرم خرچنگ شبح (*O. rotundota*) و رسوبات ایستگاه‌های نمونه‌برداری در خلیج چابهار و دریای عمان بررسی گردید. الگوی تجمع فلزات سنگین مورد بررسی در بافت نرم خرچنگ شبح در همه ایستگاه‌ها به صورت مس> نیکل >روی بود. مقادیر اندازه‌گیری شده فلزات روی و مس در بافت نرم خرچنگ شبح در همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری کمتر از سطح استاندارد توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی و سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد بود. اما مقادیر فلز نیکل در همه خرچنگ‌های جمع‌آوری شده بالاتر از سطح استاندارد تعیین شده ثبت گردید که می‌تواند هشداری برای سلامت مصرف‌کنندگان باشد. فلز نیکل و مس به‌ترتیب بیشترین و کمترین میزان تجمع را در رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه در آب‌های دریای عمان نشان دادند. بررسی رسوبات ایستگاه‌های مختلف نشان داد که غلظت فلزات سنگین روی و مس در تمامی مناطق مورد مطالعه، پایین‌تر از حدود آستانه تعریف‌شده در استانداردهای ERL، ERM، ISQG و PEL قرار دارد. این در حالی است که میزان نیکل در رسوبات ایستگاه‌های مرتبط با تأسیسات آب‌شیرین‌کن و مجموعه گردشگری کوه‌های مریخی، از مقادیر مجاز تعیین‌شده توسط دستورالعمل‌های کیفیت رسوب آمریکا (NOAA) و کانادا (CCME) فراتر بوده است.

References

Abdi Bastami, A., Kazemzadeh, J. and Esmailian, M., 2012. Bioaccumulation of heavy metals in sediment and crab, *Portunus pelagicus*, from Persian Gulf, Iran. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 12(6), pp.886-892. https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2012.12.6.661

Adeleke, B., Robertson-Andersson, D., Moodley, G., 2020. Comparative analysis of trace metal levels in the crab *Dotilla fenestrata*, sediments and water in Durban Bay harbour, Richards Bay harbour and Mlalazi estuary, Kwazulu-Natal, South Africa. *Heliyon*, 6(8), e04725. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04725

Ahmed, S., Uddin, M.F., Hossain, M.S., Jubair, A., Islam, M.N. and Rahman, M., 2023. Heavy metals contamination in shrimp and crab from southwest regions in Bangladesh: Possible health risk assessment. *Toxicology Reports*, 10, pp.580-588. https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2023.05.001

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

Ali, H., Khan, E. and Ilahi, I., 2019. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 2019, pp.1-14. https://doi.org/10.1155/2019/6730305

Azadikhah, A., Loghmani, M. and Tootooni, M.M., 2024. Bioaccumulation of heavy metals zinc, copper, and iron in the sediment, carapace, and muscle tissue of the crab *Thalamita crenata* (Rüppell, 1830) in the coasts of Chabahar Bay. *Aquaculture Sciences*, 12(1), pp.126-136. (in Persian)

Baki, M.A., Hossain, M.M., Akter, J., Quraishi, S.B., Shojib, M.F.H., Ullah, A.A. and Khan, M.F., 2018. Concentration of heavy metals in seafood (fishes, shrimp, lobster and crabs) and human health assessment in Saint Martin Island, Bangladesh. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 159, pp.153-163. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.04.035

Bao, C., Huang, B., Shao, J., Cai, Q., Mu, Q. and Murk, A.J., 2021. Spatial and temporal distribution of toxic compounds in sediments and potential ecological effects on macrobenthic faunal species in Hangzhou Bay from 2003 to 2015. *Marine Pollution Bulletin*, 172, p.112816. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112816

CCME, 1999. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, Canada (Accessed 20 April 2021). http://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_ guidelines/.

Çoğun, H.Y., Firat, Ö., Aytekin, T., Firidin, G., Firat, Ö., Varkal, H., Temiz, Ö. and Kargin, F., 2017. Heavy metals in the blue crab (*Callinectes sapidus*) in Mersin Bay, Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 98(6), pp.824-829. https://doi.org/10.1007/s00128-017-2086-6

Çoğun, H.Y., Yüzereroğlu, T.A., Firat, Ö., Gök, G. and Kargin, F., 2006. Metal concentrations in fish species from the Northeast Mediterranean Sea. *Environmental Monitoring and Assessment*, 121, pp.431-438. https://doi.org/10.1007/s10661-005-9142-0

de Jesus, B.W., de Sousa de Oliveira Mota Andrade, T., Soares, S.H., Pinheiro-Sousa, D.B., Sampaio de Oliveira, S.R., Salvino Torres, H., dos Santos Protazio, G., Santana da Silva, D., Martins Silva Santos, D., Vieira de Carvalho Neta, A., dos Anjos Benjamin, L., and Fortes Carvalho Neta, R., 2021. Biomarkers and occurrences of heavy metals in sediment and the bioaccumulation of metals in crabs (*Ucides cordatus*) in impacted mangroves on the Amazon coast, Brazil. *Chemosphere*, 271, p.129444. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129444

Defeo, O., McLachlan, A., Schoeman, D. S., Schlacher, T. A., Dugan, J., Jones, A., Lastra, M. and Scapini, F., 2009. Threats to sandy beach ecosystems: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 81(1), pp.1-12. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2008.09.022

Ebrahimpour, M., Mushrifah, I., 2010. Seasonal variation of cadmium, copper, and lead concentrations in fish from a freshwater lake. *Biological Trace Element Research*, 138(1–3), pp.190–201. https://doi.org/10.1007/s12011-009-8596-2

El Qoraychy, I., Rharrhour, H., Hammani, O., Wariaghli, F., Touhami, F. and Jaziri, H., 2023. Heavy metal accumulation in blue crabs (*Callinectes sapidus*) in Gharb region, Morocco. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 27(4), pp.695-705. https://doi.org/10.21608/ejabf.2023.312157

Ennouri, R., Bejaoui, S., Ghribi, F. et al., 2025. Assessing of trace elements health risks in the crab *Portunus segnis* from northern Tunisian lagoons. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197, p.327. https://doi.org/10.1007/s10661-025-13766-4

FAO, 1992. (Food and Agriculture Organization), *Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products*, FAO Fishery Circular No. 464, pp. 5–100.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

Food and Agriculture Organisation/World Health Organisation (FAO), 1983. *Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products.* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Fishery Circular No. 464, pp.5-100.

Hamzeh, M.A., Shah-hosseini, M., Beni, A.N., 2013. Effect of fishing vessels on trace metal contamination in sediments of three harbors along Iranian Oman Sea coast. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(2), pp. 1791-1807. https://doi.org/10.1007/s10661-012-2668-z

Hannan, M. A., Pandit, C., Hasan, M. J., Mahdi, G. M. A., Asdari, R., Munir, M. B., 2024. Quantification of heavy metals in wild gravid female mud crab (*Scylla olivacea*) collected from different rivers of Sundarbans mangrove region. *Desalination and Water Treatment*, 319, 100521. https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100521

Ivanina, A.V., Sokolova, I.M., 2015. Interactive effects of metal pollution and ocean acidification on physiology of marine organisms. *Current Zoology*, 61(4), pp.653–668. https://doi.org/10.1093/czoolo/61.4.653

Karar, S., Hazra, S. and Das, S., 2019. Assessment of the heavy metal accumulation in the Blue Swimmer Crab (*Portunus pelagicus*), northern Bay of Bengal: Role of salinity. *Marine Pollution Bulletin*, 143, pp.101-108. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.033

Kumar, B.S., Padhi, R.K. and Satpathy, K.K., 2019. Trace metal distribution in crab organs and human health risk assessment on consumption of crabs collected from coastal water of South East coast of India. *Marine Pollution Bulletin*, 141, pp.273-282. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.022

Liu, Q., Liao, Y., Xu, X. et al., 2020. Heavy metal concentrations in tissues of marine fish and crab collected from the middle coast of Zhejiang Province, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, p.285. https://doi.org/10.1007/s10661-020-8234-1

Loghmani, M., Tootooni, M. M. and 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, p.113201. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113201

Long, E., MacDonald, D.D., Smith, S.L., and Calder, F.D., 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, 19, pp.81–97. https://doi.org/10.1007/BF02472006

Lucrezi, S., Schlacher, T.A., Robinson, W., 2009. Human disturbance as a cause of bias in ecological indicators for sandy beaches: Experimental evidence for the effects of human trampling on ghost crabs (*Ocypode* spp.). *Ecological Indicators* 9, pp. 913-921. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2008.10.013

Ma, K.Y., Chow, L.H., Wong, K.J.H., Chen, H.N., Ip, B.H.Y., Schubart, C.D., Tsang, L.M., Chan, B.K.K., Chu, K.H., 2019. Speciation pattern of the horned ghost crab *Ocypode ceratophthalmus* (Pallas, 1772): An evaluation of the drivers of Indo-Pacific marine biodiversity using a widely distributed species. *Journal of Biogeography*, 45(4), pp.2658–2668. https://doi.org/10.1111/jbi.13443

Merian, E., Anke, M., Ihnat, M., and Stoeppler, M., 2004. *Elements and their compounds in the environment*, John Willey. 1170 p.

Moopam, 1999. *Manual of Oceanographic Observations and Pollutant Analyses Methods*. ROPME, Kuwait. 483 p.

Naderi, M., Pishehvarzad, F., Zare, P., Lastra, M., 2023. Influence of temporal variation on morphology and architecture in burrows of *Ocypode rotundata* (Miers, 1882) on Salakh Beach of Qeshm Island,

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

the Persian Gulf. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*, 39, pp.1131–1144. https://doi.org/10.1007/s41208-023-00582-1

Naderloo, R., Ebrahimnezhad, S., Sari, A., 2015. Annotated checklist of the decapod crustaceans of the Gulf of Oman, northwestern Indian Ocean. *Zootaxa*, 4028(3), pp.397–412. https://doi.org/10.11646/zootaxa.4028.3.5

Pakzad, H.M., Pasandi, M., Soleimani, M. and Kamali, M., 2014. Distribution and origin of heavy metals in the sand sediments in a sector of the Oman Sea (the Sistan and Baluchestan province, Iran). *Quaternary International*, 345, pp.138-147. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.03.031

Pennington, J.A.T., Schoen, S.A., Salmon, G.D., Young, B., Johnson, R.D. and Marts, R.W., 1995. Composition of core foods of the U.S. food supply, 1982–1991: II. Calcium, magnesium, iron, and zinc. *Journal of Food Composition and Analysis*, 8(2), pp.129–169. https://doi.org/10.1006/jfca.1995.1013

Police, S., Maity, S., Chaudhary, D.K., Dusane, C.K., Sahu, S.K. and Kumar, A.V., 2021. Estimation of trace and toxic metals in marine biota and associated health risk assessment in Thane Creek, Mumbai India. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 3, pp.234-240. https://doi.org/10.1016/j.enceco.2021.07.002

Qiao, Y., Yang, Y., Gu, J. and Zhao, J., 2013. Distribution and geochemical speciation of heavy metals in sediments from coastal area suffered rapid urbanization, a case study of Shantou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, 68(1–2), pp.140–146. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.12.003

Rangidan, A., Loghmani, M. and Tootooni, M. M., 2024. Pattern of bioaccumulation of heavy metals in muscle tissues and hepatopancreas of blue swimming crab (*Portunus segnis*) and sediments in the northern coast of Makoran Sea. *Aquaculture Sciences*, 12(2), pp.21-35. (in Persian)

Rashidifard, R., Loghmani, M. and Sharifian, S., 2025. Seasonal and spatial dynamics of heavy metal contamination in port-adjacent mangrove sediments along the Iranian coast of Oman Sea: A multi-index risk assessment. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 34(7), pp.1786-1800. https://doi.org/10.1080/15320383.2025.2461573

Sadeghi, P., Darbazi, M., 2016. Assessment of heavy metals concentration Cu, Ni and Zn in *Acanthopleura vaillantii* in the coast of Chabahar Bay. *Journal of Aquatic Ecology*, 6 (3), pp. 115-123. http://jae.hormozgan.ac.ir/article-1-384-fa.html (in Persian)

Sadeghi, P., Kazerouni, F., Savari, A., Movahedinia, A., Safahieh, A. and Ajdari, D., 2015. Application of biomarkers in Epaulet grouper (*Epinephelus stoliczkae*) to assess chromium pollution in the Chabahar Bay and Gulf of Oman. *Science of the Total Environment*, 518, pp.554-561. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.017

Sadeghi, P., Loghmani, M. and Afsa, E., 2019. Trace element concentrations, ecological and health risk assessment in sediment and marine fish *Otolithes ruber* in Oman Sea, Iran. *Marine Pollution Bulletin*, 140, pp.248-254. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.048

Sadeghi, P., Loghmani, M., Yousuf, D.J., Taghizade Rahmat Abadi, Z., 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. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112962

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

Santhosh, K., Kamala, K., Ramasamy, P., Mohamed, M.S., Salem, S.S., Syed, S.M.B. and Pitchiah, P., 2024. Unveiling the silent threat: Heavy metal toxicity devastating impact on aquatic organisms and DNA damage. *Marine Pollution Bulletin*, 200, p.116139. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116139

Schlacher, T. A., Lucrezi, S., Connolly, R. M., Peterson, C. H., Gilby, B. L., Maslo, B., Olds, A. D., Walker, S. J., Leon, J. X., Huijbers, C. M., Weston, M. A., Turra, A., Hyndes, G. A., Holt, R. A. and Schoeman, D. S., 2016. Human threats to sandy beaches: A meta-analysis of ghost crabs illustrates global anthropogenic impacts. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, pp.56-73. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.11.025

Siddiqui, A.S. and Saher, N.U., 2025. Heavy metal pollution in sediments and its biotransference in crabs from mangrove and coastal zones of Pakistan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, p.109358. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2025.109358

Silva, B.M.D.S.E., Morales, G.P., Gutjahr, A.L.N., Freitas Faial, K.D.C. and Carneiro, B.S., 2018. Bioaccumulation of trace elements in the crab *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) from the macrotidal mangrove coast region of the Brazilian Amazon. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(4), p.214. https://doi.org/10.1007/s10661-018-6570-1

Soleimanirad, A., Taherizadeh, M.R., Safaie, M., Amrollahi Biuki, N. 2022. Assessment of the distribution, bioavailability and ecological risk assessment of heavy metals in the coastal sediments of Qeshm Island (Hormozgan). *Journal of Aquatic Ecology,* 11 (4), pp. 1-20 URL: http://jae.hormozgan.ac.ir/article-1-988-fa.html (in Persian)

Soltani, Z., Loghmani, M., Toutouni, M. M. and Sinaei, M., 2020. Study of changes in metallothionein concentration of ghost crab (*Ocypode saratan*) in Gwater and Chabahar mangrove forests in two periods of pre-monsoon and post-monsoon. *Journal of Fisheries Science and Technology*, 9(4), pp.257-270. 20.1001.1.23225513.1399.9.4.3.2) in Persian)

Storelli, M.M. and Marcotrigiano, G.O., 2001. Heavy metal monitoring in fish, bivalve molluscs, water, and sediments from Varano Lagoon, Italy. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 66, pp.365-370. https://doi.org/10.1007/s001280014

Suresh, S., Suryavanshi, H.S., Tiwari, M. et al., 2025. Assessment of heavy metals associated health risk to humans from biota in Thane creek, India. *Discover Environment*, 3, p.23. https://doi.org/10.1007/s44274-025-00208-8

Tabezar, N., Sadeghi, P. and Attaran Fariman, G., 2023. Monsoon effect on heavy metal and chemical composition in *Parastromateus niger* of the Oman Sea: Health risk assessment of fish consumption. *Biological Trace Element Research*, 201(8), pp.4093-4102. https://doi.org/10.1007/s12011-022-03475-1

Vetchý, M.P.J.V.K.K.D., 2018. Biological role of copper as an essential trace element in the human organism. *Ceska Slovenska Farmacie*, 67(4), pp.143-153. https://doi.org/10.36290/csf.2018.021

Wang, C., Liu, S., Zhao, Q., Deng, L. and Dong, S., 2012. Spatial variation and contamination assessment of heavy metals in sediments in the Manwan Reservoir, Lancang River. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 82, pp.32-39. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.05.006

Williams, E. S., Priya, V. L., Karim, L. R., 2022. Bioaccumulation of heavy metals in edible tissue of crab (Scylla serrata) from an estuarine Ramsar site in Kerala, South India. *Watershed Ecology and the Environment*, 4, pp.59-65. https://doi.org/10.1016/j.wsee.2022.06.001

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]

Wu, J.P. and Chen, H.C., 2005. Effects of cadmium and zinc on the growth, food consumption, and nutritional conditions of the white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 74, pp.234-241. https://doi: 10.1007/s00128-004-0575-x.

Yang, L., Wang, D., Xin, C., Wang, L., Ren, X., Guo, M., & Liu, Y., 2021. An analysis of the heavy element distribution in edible tissues of the swimming crab (*Portunus trituberculatus*) from Shandong Province, China and its human consumption risk. *Marine Pollution Bulletin*, p.112473. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112473

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-25]