

Research Article**The Pattern of Bioaccumulation of Heavy Metals Mercury, Zinc and Nickel in the Soft Tissues of the Blue Swimming Crab (*Portunus segnis*) in Makoran Coasts****Samaneh Ebrahimi, Mohammad Mansour Tootooni, Mehran Loghmani***

Department of Marine Biology, Faculty of Marine Sciences, Chabahar Maritime University, Chabahar, Iran

*Corresponding author: loghmani.mehran@gmail.com

Received: 19 November 2024

Accepted: 14 April 2025

DOI: 10.60833/ascij.2025.1190962

Abstract

The aim of the present study, considering the increasing level of heavy metal pollution and their impact on the environment, was to evaluate the bioaccumulation of heavy metals mercury, zinc and nickel in soft tissues (muscle and hepatopancreas) of the blue swimming crab (*Portunus segnis*) on the coasts of Makoran (Bris, Pesem and Tis). 18 crab samples and 9 surface sediment samples were collected in the winter of 2019 and the concentrations of mercury, zinc and nickel in the hepatopancreas and muscle tissues of the crab and sediments of the sampling areas were measured by atomic absorption spectrometry. In all three stations, the concentration of zinc in the hepatopancreas was higher than in the muscle and there was a statistically significant difference between all stations ($p < 0.05$). The overall average accumulation of mercury, zinc and nickel metals in mg/kg in hepatopancreas was 0.85 ± 0.7 , 240.81 ± 101.41 and 69.24 ± 33.58 in muscle 0.37 ± 0.04 , 78.45 ± 14.02 and 33.01 ± 9.12 and in sediment 0.96 ± 0.6 , 26.4 ± 14.45 and 21.49 ± 6.21 . The pattern of heavy metal accumulation in tissue and sediment was obtained as mercury < nickel < zinc. Comparison of metal concentrations in the muscle of the blue-swimming crab of the study area with international standards (UK MAFF, FDA, NHMRC, WHO and FAO) showed that the mercury concentration was lower than the NHMRC standard and close to other standards, the zinc concentration was higher than the permissible limit compared to only some standards, and the nickel concentration was lower than the permissible limit announced by the FDA. Therefore, the consumption of the studied crab meat in terms of mercury and especially zinc may be harmful to health. Comparison of the average concentration of heavy metals in sediments sampled from the stations with sediment quality standards showed low concentrations of zinc, nickel and mercury.

Keywords: Heavy metals, Blue-swimming crab, Makoran coasts, Hepatopancreas.

مقاله پژوهشی

الگوی تجمع زیستی فلزات سنگین جیوه، روی و نیکل در بافت‌های نرم خرچنگ شناگر آبی
(*Portunus segnis*) در سواحل مکران

سمانه ابراهیمی، محمد منصور توتونی، مهران لقمانی*

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

*مسئول مکاتبات: loghmani.mehran@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۹

DOI: 10.60833/ascij.2025.1190962

چکیده

با توجه به افزایش میزان آلودگی فلزات سنگین و تأثیر آن‌ها بر محیط زیست، هدف مطالعه حاضر ارزیابی تجمع زیستی فلزات سنگین جیوه، روی و نیکل در بافت‌های نرم (عضله و هپاتوپانکراس) خرچنگ شناگر آبی (*Portunus segnis*) در سواحل مکران (بریس، پزم و تیس) بود. هجده نمونه خرچنگ و ۹ نمونه رسوب سطحی در زمستان ۱۳۹۹ جمع‌آوری و غلظت فلزات جیوه، روی و نیکل در بافت‌های هپاتوپانکراس و عضله خرچنگ و رسوبات مناطق نمونه‌برداری توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. در هر سه ایستگاه، غلظت فلز روی در هپاتوپانکراس بیش از عضله بود و اختلاف آماری معنی‌داری بین تمام ایستگاه‌ها وجود داشت ($p < 0/05$). میانگین کلی تجمع فلزات جیوه، روی و نیکل بر حسب میلی‌گرم/کیلوگرم در هپاتوپانکراس به ترتیب، $0/7 \pm 0/85$ ، $101/41 \pm 240/81$ و $33/58 \pm 69/24$ ؛ در عضله $0/04 \pm 0/37$ ، $14/02 \pm 78/45$ و $9/12 \pm 33/01$ و در رسوب $0/6 \pm 0/96$ ، $14/45 \pm 26/4$ و $6/21 \pm 21/49$ بود. الگوی تجمع فلزات سنگین در بافت و رسوب به صورت جیوه > نیکل > روی به دست آمد. مقایسه غلظت فلزات در عضله خرچنگ شناگر آبی منطقه مورد مطالعه با استانداردهای بین‌المللی (FAO و WHO، NHMRC، FDA، UK MAFF) نشان داد که غلظت جیوه، پایین‌تر از استاندارد NHMRC و نزدیک به سایر استانداردها، غلظت روی در مقایسه با فقط بعضی از استانداردها بالاتر از حد مجاز بوده و غلظت نیکل نیز کمتر از حد مجاز اعلام شده توسط FDA بود. بنابراین، مصرف گوشت خرچنگ مورد مطالعه از نظر جیوه و به ویژه، روی ممکن است برای سلامتی مضر باشد. مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوبات نمونه‌برداری شده از ایستگاه‌ها با استانداردهای کیفیت رسوب، نشان از پایین بودن غلظت روی و نیکل و جیوه داشت.

کلمات کلیدی: فلزات سنگین، خرچنگ شناگر آبی، سواحل مکران، هپاتوپانکراس.

مقدمه

می‌باشد. باتوجه به افزایش فعالیت‌های تجاری و صنعتی در دهه اخیر، انتظار می‌رود که این فعالیت‌ها بر تجمع آلودگی انسانی در رسوبات ساحلی و دریایی تأثیر بگذارد (۱). آلاینده‌های ره‌اشده از صنایع به‌صورت محلول در آب بوده و روی بستر ته‌نشین و

دریای عمان مسیر حمل‌ونقل محموله‌های نفتی است و در خط ساحلی مکران، در استان سیستان و بلوچستان و در جنوب شرقی ایران خلیج و بندر آزاد چابهار واقع شده‌اند. اهمیت ویژه خلیج چابهار به دلیل شکل امگایی و گردش محدود آب در آن

سپس، توسط موجودات زنده جذب می‌شوند (۲). آلودگی به فلزات نادر یک مشکل جهانی برای اکوسیستم آبی است و به دلیل سمیت، عدم تجزیه و بزرگ‌نمایی زیستی در زنجیره غذایی، نوعی تهدید زیست‌محیطی جدی نیز برای موجودات آبی محسوب می‌شود. مناطق ساحلی به‌عنوان پرورشگاه دوره نوزادی برای بسیاری از موجودات زنده عمل می‌کند و به‌این‌ترتیب، این آلودگی می‌تواند اکوسیستم و تولیدات شیلات را تحت‌تأثیر قرار دهد (۳). موجودات کفزی جزء جدایی‌ناپذیر جوامع و عناصر حیاتی زنجیره غذایی‌اند که نسبت به تغییرات زیست‌بوم بسیار حساس هستند. رسوبات، سطوح بالایی از فلزات سنگین را در خود انباشته می‌کنند و موجودات کفزی تمایل به تجمع فلزات در بافت‌های بدن خود دارند؛ بنابراین، کفزیان بیش از موجودات شناور در معرض فلزات سنگین هستند. خرچنگ‌ها پتانسیل بالایی در جمع‌آوری فلزات از محیط دارند؛ بنابراین، می‌توان آن‌ها را به‌عنوان شاخصی برای پایش غلظت این عناصر و تأثیر بر محیط آبی، به کار برد (۴). در این تحقیق، اندام‌هایی مثل هپاتوپانکراس و عضله خرچنگ برای آنالیز فلزات سنگین به دلیل نقش مهم آن‌ها در پردازش انواع فرایندهای سازگاری زیستی، انتخاب شدند (۵). هپاتوپانکراس سطوح بالایی از متالوتیونین را سنتز می‌کند که با نقش آن به‌عنوان یک بافت مهم مرتبط با سم‌زدایی فلزات سنگین سازگار است. مطالعات متعدد نشان داده است که هپاتوپانکراس در تجمع فلزات مختلف در ده‌پایان نقش دارد (۶). از سوی دیگر، بافت منحصربه‌فرد ماهیچه‌ای، به دلیل کیفیت مطلوب و طعم و مزه خاص، یک ماده باارزش غذایی بوده و در بیشتر مناطق دنیا گوشت خرچنگ جایگاه ویژه‌ای در بین غذاهای دریایی رستوران‌ها دارد (۷). *Portunus segnis* یا خرچنگ شناگری، یکی از

گونه‌های مهم تجاری است که در گستره وسیعی از مناطق ساحلی و فلات قاره از جمله شنی، گلی، زیستگاه‌های علف دریایی از منطقه جزرومدی تا عمق ۵۰ متر حضور دارد. این گونه، اغلب گوشت‌خوار و کفزی است و به طور عمده، از نرم‌تنان چسبنده و دیگر بی‌مهرگان تغذیه می‌کند. در سال ۲۰۱۳ میزان صید جهانی این خرچنگ ۲۰۰،۰۰۰ تن بوده است. به دلیل ارزش غذایی و اقتصادی آن، سنجش غلظت فلزات سنگین در بافت عضلانی خرچنگ شناگر آبی بسیار مهم است (۴). هدف از این مطالعه بررسی غلظت فلزات سنگین جیوه، روی و نیکل در بافت‌های نرم خرچنگ *P. segnis* از سواحل مکران (بریس، پزم و تیس) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور مطالعه و بررسی غلظت فلزات سنگین در خرچنگ شناگر آبی (*Portunus segnis*) نمونه‌برداری از سواحل بریس، پزم و تیس در امتداد سواحل شمالی مکران (سال ۱۳۹۹) انجام شد. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها با استفاده از دستگاه GPS مدل GPSMAP 64S ثبت گردید (شکل ۱). سپس، تمام نمونه‌های جمع‌آوری‌شده به تفکیک ایستگاه درون جعبه‌های حاوی پودر یخ به مجتمع آزمایشگاهی منتقل شدند. رسوبات سطحی نیز با استفاده از ظروف لوله‌ای فالکون در سه تکرار از هر ایستگاه جمع‌آوری و درون پلاستیک‌های پلی‌اتیلنی در جعبه‌های حاوی پودر یخ به آزمایشگاه انتقال داده شدند. در آزمایشگاه قبل از شروع کار، ابتدا تمام وسایل و ظروف مورد نیاز شیشه‌ای و پلاستیکی به‌دقت با آب گرم و اسید نیتریک ۱۰ درصد یا اسیدکلریدریک و در نهایت، با آب دیونیزه شستشو شدند و به مدت ۲۴ ساعت در آون ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردیدند. سپس، خرچنگ‌های هر ایستگاه نیز به طور جداگانه با آب

نمونه‌های حاصل از هضم شیمیایی توسط دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی مدل Spect Varian AA220 استفاده شد.

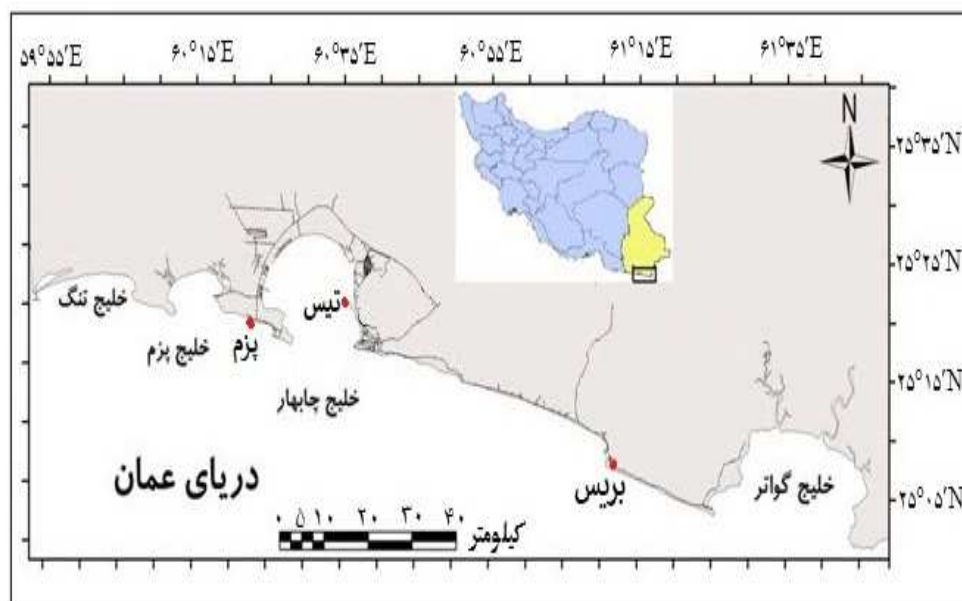
سنجش فلزات سنگین در رسوب: جهت تعیین غلظت فلزات جیوه، روی و نیکل، نمونه‌های رسوب در دمای محیط خشک گردید و با الک ۶۳ میکرون الک شد. سپس، ۱ گرم از رسوب الک شده را وزن کرده و به داخل ظرف پلی‌اتیلن ریخته و مخلوطی از سه اسید شامل اسید نیتریک، اسیدفلوریدریک و اسیدکلریدریک به مقدار ۸، ۲ و ۴ میلی‌لیتر به آن اضافه و روی هیتز به مدت یک ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و ۳ ساعت در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا عمل هضم انجام شود. سپس، نمونه‌های هضم شده از فیلتر واتمن شماره ۴۲ عبور داده و در نهایت، با آب یون‌زدایی شده به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین از دستگاه اسپکتروفتومتری جذب اتمی با روش طیف‌سنجی جذب اتمی بدون غنی‌سازی استفاده و غلظت فلزات سنگین بر حسب میکروگرم/گرم وزن خشک محاسبه شد (۱۰).

تجزیه و تحلیل داده‌ها: به کمک نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد و بعد از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها از طریق آزمون کولموگروف - اسمیرنوف، برای بررسی اختلاف آماری معنی‌دار تجمع فلزات سنگین بین دو بافت از آزمون t-test و جهت بررسی اختلاف آماری هر کدام از فلزات سنگین بین سه ایستگاه، از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و در صورت وجود اختلاف آماری معنی‌دار، جهت بررسی دقیق‌تر معنی‌داری بین ایستگاه‌ها، از پس‌آزمون توکی استفاده شد. جهت بررسی همبستگی بین غلظت فلزات سنگین در بافت و رسوب، آزمون همبستگی پیرسون و در رسم نمودارها، نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ (Excel, 2013) مورد استفاده قرار گرفت.

دیونیزه و به طور کامل شستشو شدند (۸). پس از گذشت زمان کافی برای خروج آب اضافه، تمامی نمونه‌ها کدگذاری و سپس، بیومتری آن‌ها انجام شد. طول و عرض کاراپاس نمونه‌ها توسط کولیس با دقت ۰/۰۱ میلیمتر و وزن کل آن‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال AMD، EK-610i با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری (۹) و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به مرحله آنالیز و هضم شیمیایی نگهداری شدند. به‌منظور هضم شیمیایی نمونه‌ها، ابتدا بافت نرم (عضله و هپاتوپانکراس) را جدا کرده (۸) و تا زمان انجام آزمایش، جهت اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند (۹).

سنجش فلزات سنگین: جهت هضم شیمیایی نمونه‌ها ابتدا بافت نرم (عضله و هپاتوپانکراس) خردچنگ جهت خشک‌کردن درون شیشه‌های ساعت در داخل آون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند. سپس، نمونه‌های خشک شده درون هاون چینی جهت هموژن کردن پودر گردیدند تا برای هضم شیمیایی آماده شوند جهت انجام هضم شیمیایی نمونه‌ها، به یک گرم نمونه پودر شده ۶ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ (۶۵ درصد) اضافه شد. پس از صرف زمان حداقل ۳ ساعت، جهت انجام عمل هضم مقدماتی در دمای اتاق، برای هضم کامل نمونه‌ها از پلیت داغ در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت استفاده شد.

پس از اتمام عمل هضم، نمونه‌ها در معرض گرما قرار گرفت و قبل از این‌که به طور کامل خشک شوند از روی پلیت داغ برداشته شدند. نمونه‌ها با اسید نیتریک ۰/۰۴ رقیق شدند، سپس توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲ میکرون صاف گردیده و پس از انتقال به بالن‌های حجم‌سنجی ۲۵ میلی‌لیتری با آب مقطر به حجم رسانده شدند (۹). جهت اندازه‌گیری فلزات در



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری خرچنگ شناگر آبی
Fig. 1. Geographical location of blue swimming crab sampling stations

نتایج

داد که این فلز بین سه ایستگاه دارای اختلاف آماری معنی‌دار بوده است. پس‌آزمون توکی برای فلز جیوه نشان‌دهنده وجود اختلاف آماری معنی‌دار بین هر سه ایستگاه بود و در بافت هیپاتوپانکراس نیز بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری اختلاف آماری معنی‌دار وجود داشته است ($p < 0/05$).

تجمع زیستی روی در بافت عضله و هیپاتوپانکراس خرچنگ: نتایج بررسی نشان داد که فلز روی در هر سه ایستگاه، در بافت هیپاتوپانکراس دارای بیشترین و در بافت عضله دارای کمترین غلظت است. نتایج میانگین کل غلظت روی در بافت عضله و هیپاتوپانکراس بین سه ایستگاه به‌ترتیب، $14/02 \pm$ و $78/45$ و $101/41 \pm$ میلی‌گرم/کیلوگرم به دست آمد (جدول ۳). آزمون آماری بین دو بافت عضله و هیپاتوپانکراس در هر ایستگاه دارای اختلاف معنی‌دار بوده است ($P < 0/05$)، همچنین طبق نتایج برای غلظت روی در بافت عضله عدم وجود اختلاف آماری معنی‌دار را بین ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان

زیست‌سنجی خرچنگ شناگر آبی: نتایج حاصل از زیست‌سنجی طول و عرض کاراپاس و وزن نمونه‌های خرچنگ در ایستگاه‌های مختلف به تفکیک جنسیت در جدول ۱ ارائه شده است. اختلاف معنی‌داری میان ایستگاه‌های در مقایسه پارامترهای مورد سنجش مشاهده نگردید ($p > 0/05$).

تجمع زیستی جیوه در بافت عضله و هیپاتوپانکراس: طبق نتایج (جدول ۲ و شکل ۱) هر سه ایستگاه در بافت هیپاتوپانکراس غلظت جیوه نسبت به بافت عضله بالاتر بوده است و میانگین کل غلظت جیوه بین سه ایستگاه در عضله، $0/37 \pm 0/04$ میلی‌گرم/کیلوگرم و در هیپاتوپانکراس، $0/85 \pm 0/07$ میلی‌گرم/کیلوگرم بدست آمد. نتایج آزمون نشان داد که فلز جیوه بین بافت عضله و هیپاتوپانکراس در دو ایستگاه تیس و بریس فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بود ($p > 0/05$). اما، در ایستگاه بزم بین دو بافت اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده شد ($p < 0/05$). نتایج آزمون ANOVA برای فلز جیوه در بافت عضله نشان

داد ($p > 0/05$). نتایج آزمون برای غلظت روی در بافت هیپاتوپانکراس نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بوده است (شکل ۲).

تجمع زیستی نیکل در بافت عضله و هیپاتوپانکراس:
بر اساس نتایج بیشترین و کمترین غلظت نیکل در هر یک از ایستگاه‌ها به ترتیب، در بافت هیپاتوپانکراس و عضله مشاهده شد. میانگین کل غلظت فلز نیکل بین سه ایستگاه در بافت عضله و هیپاتوپانکراس به ترتیب $9/12 \pm 33/01$ و $69/24 \pm 33/58$ میلی‌گرم/کیلوگرم مشاهده شد (جدول ۴). نتایج آزمون t-test نشان داد که دارای اختلاف آماری معنی‌دار در هر سه ایستگاه بین دو بافت می‌باشد ($p < 0/05$). آزمون آنالیز واریانس برای غلظت نیکل در بافت عضله نشان دهنده وجود اختلاف آماری بین ایستگاه‌های تیس و پزم معنی‌دار بود به علاوه، در بافت هیپاتوپانکراس بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری نیز اختلاف آماری معنی‌دار بدست آمد (شکل ۳).

غلظت فلزات سنگین در رسوبات مناطق مورد مطالعه: نتایج میانگین غلظت فلزات سنگین نشان داد که برای فلز جیوه بیشترین غلظت در ایستگاه پزم $1/46 \pm 0/88$ میلی‌گرم/کیلوگرم و کمترین در ایستگاه

بریس $0/25 \pm 0/63$ میلی‌گرم/کیلوگرم است و بیشترین غلظت فلز روی در رسوبات برای ایستگاه بریس $18/31 \pm 41/25$ میلی‌گرم/کیلوگرم و کمترین غلظت برای ایستگاه تیس $1/52 \pm 18/74$ میلی‌گرم/کیلوگرم ثبت شد همچنین تجمع زیستی فلز نیکل در ایستگاه بریس $1/87 \pm 27/81$ میلی‌گرم/کیلوگرم دارای بیشترین و در ایستگاه پزم کمترین غلظت $3/85 \pm 14/45$ میلی‌گرم/کیلوگرم را داشته است (شکل ۴). آزمون آنها نشان داد که غلظت جیوه بین سه ایستگاه فاقد اختلاف آماری معنی‌دار است ($p > 0/05$) ولی برای فلز نیکل فقط بین ایستگاه پزم با ایستگاه تیس و بریس و برای فلز روی بین ایستگاه بریس با دو ایستگاه تیس و پزم عدم اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید.

همبستگی بین غلظت فلزات در بافت‌ها و رسوب:
به‌طور کلی بر اساس آزمون همبستگی پیرسون بین غلظت فلزات در رسوبات و میزان تجمع آنها در دو بافت عضله و هیپاتوپانکراس خرچنگ شناگر آبی همبستگی معنی‌داری را نشان نداد؛ ولی در برخی همبستگی بین دو فلز در رسوب معنی‌دار به دست آمد که به تفکیک در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۱- میانگین $\pm$ انحراف معیار فاکتورهای زیست‌سنجی خرچنگ در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

Table 1. Mean $\pm$ standard deviation of biometric factors of the crab at the sampling stations

	Beris	Pozm	Tis
Carapace Length (mm)	66.32 $\pm$ 12.36	65.32 $\pm$ 12.67	67.17 $\pm$ 9.87
Carapace Width (mm)	105.45 $\pm$ 23.22	116.33 $\pm$ 23.17	113.21 $\pm$ 18.13
Weight (g)	Male	213.41 $\pm$ 65.11	185.59 $\pm$ 55.87
	Female	119.13 $\pm$ 17.14	182.65 $\pm$ 77.83

جدول ۲- مقایسه میانگین $\pm$ انحراف معیار غلظت جیوه (میلی‌گرم/کیلوگرم) در بافت‌های مورد بررسی

Table 3. Mean $\pm$ standard deviation of mercury concentration (mg/kg) in the analyzed tissues

	Beris	Pozm	Tis	Total Mean
Muscle	0.71 $\pm$ 0.45 ^a	0.055 $\pm$ 0 ^a	0.34 $\pm$ 0.08 ^a	0.37 $\pm$ 0.04
Hepatopancreas	1.24 $\pm$ 0.73 ^a	0.73 $\pm$ 0.66 ^b	0.57 $\pm$ 0.05 ^a	0.85 $\pm$ 0.7

جدول ۳- میانگین $\pm$ انحراف معیار غلظت روی (میلی‌گرم/کیلوگرم) در بافت‌های مورد بررسی

Table 3. Mean $\pm$ standard deviation of zinc concentration (mg/kg) in the analyzed tissues

	Beris	Pozm	Tis	Total Mean
Muscle	77.83 $\pm$ 10.09 ^b	70.27 $\pm$ 16.58 ^b	87.25 $\pm$ 7.93 ^b	78.45 $\pm$ 14.02
Hepatopancreas	240.21 $\pm$ 125.13 ^b	217.07 $\pm$ 74.07 ^a	265.15 $\pm$ 106.48 ^b	240.81 $\pm$ 101.41

جدول ۴- میانگین $\pm$ انحراف معیار غلظت نیکل (میلی‌گرم/کیلوگرم) در بافت‌های مورد بررسی

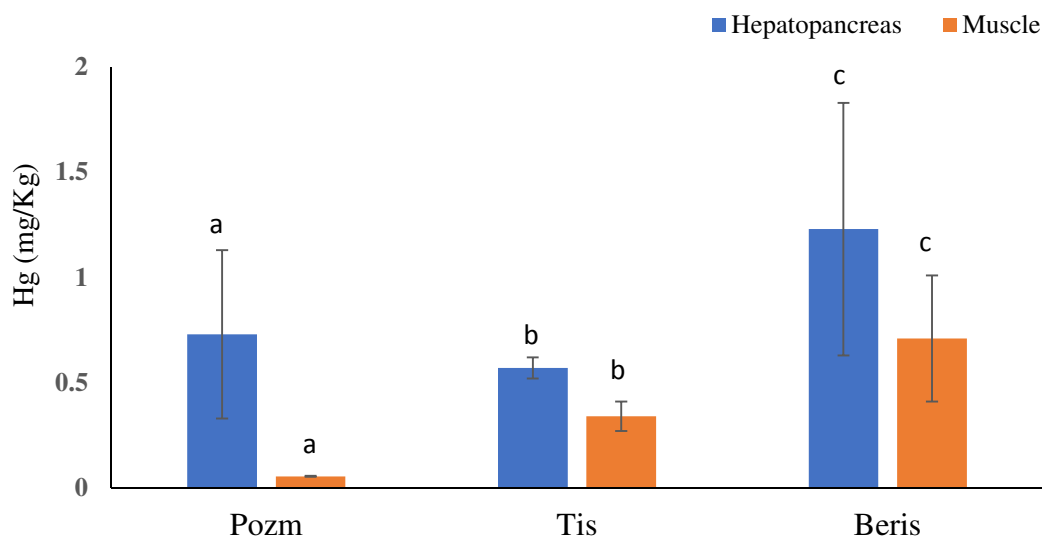
Table 3. Mean $\pm$ standard deviation of Nikel concentration (mg/kg) in the analyzed tissues

	Beris	Pozm	Tis	Total Mean
Muscle	23.81 $\pm$ 2.92 ^a	37.23 $\pm$ 9.95 ^a	37.98 $\pm$ 4.78 ^a	33.01 $\pm$ 9.12
Hepatopancreas	55.76 $\pm$ 13.75 ^b	64.58 $\pm$ 21.98 ^b	87.38 $\pm$ 49.26 ^b	69.24 $\pm$ 33.58

جدول ۵- مقایسه همبستگی بین غلظت فلزات در بافت‌ها و رسوب

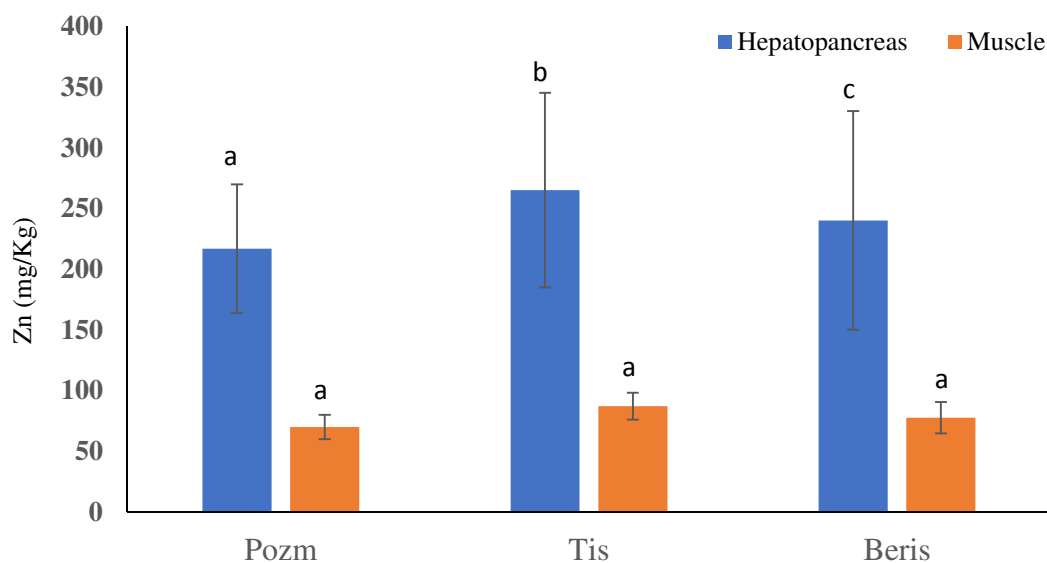
Table 5. Correlation comparison between metal concentrations in tissues and sediment

		Hg Hepatopancreas	Zinc Hepatopancreas	Nickel Hepatopancreas	Hg Muscle	Zinc Muscle	Nickel Muscle	Hg Sediment	Zinc Sediment
Mercury Hepatopancreas	Correlation								
	Significance								
Zinc Hepatopancreas	Correlation	0.223							
	Significance	0.375							
Nickel Hepatopancreas	Correlation	0.226	0.602						
	Significance	0.368	0.008						
Mercury Muscle	Correlation	0.286	0.247	0.025					
	Significance	0.250	0.324	0.920					
Zinc Muscle	Correlation	0.107	0.258	0.264	0.268				
	Significance	0.672	0.302	0.290	0.282				
Nickel Muscle	Correlation	-0.049	0.100	0.392	-0.438	0.406			
	Significance	0.846	0.694	0.107	0.069	0.095			
Mercury Sediment	Correlation	0.095	-0.022	-0.140	0.000	-0.235	-0.092		
	Significance	0.807	0.955	0.720	1.000	0.543	0.814		
Zinc Sediment	Correlation	-0.106	0.077	-0.064	0.182	-0.075	-0.674	-0.246	
	Significance	0.785	0.845	0.870	0.639	0.847	0.046	0.523	
Nickel Sediment	Correlation	-0.131	0.503	0.631	0.201	0.308	-0.220	-0.484	0.655
	Significance	0.736	0.168	0.069	0.604	0.421	0.570	0.187	0.045



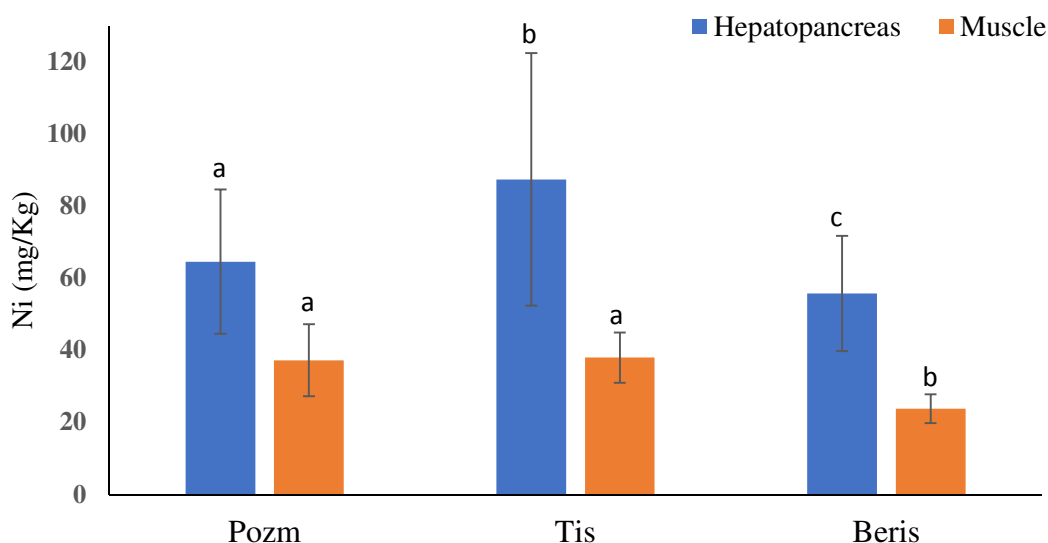
شکل ۱- مقایسه میانگین غلظت جیوه در بافت عضله و هپاتوپانکراس بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری. حروف ناهمنام نشان‌دهنده معنی‌دار بودن و حروف همسان نشان‌دهنده عدم معنی‌داری اختلاف آماری است.

Fig. 1. Comparison of mean mercury concentration in muscle and hepatopancreas tissues across sampling stations. Different letters indicate statistically significant differences, while identical letters indicate no significant difference.



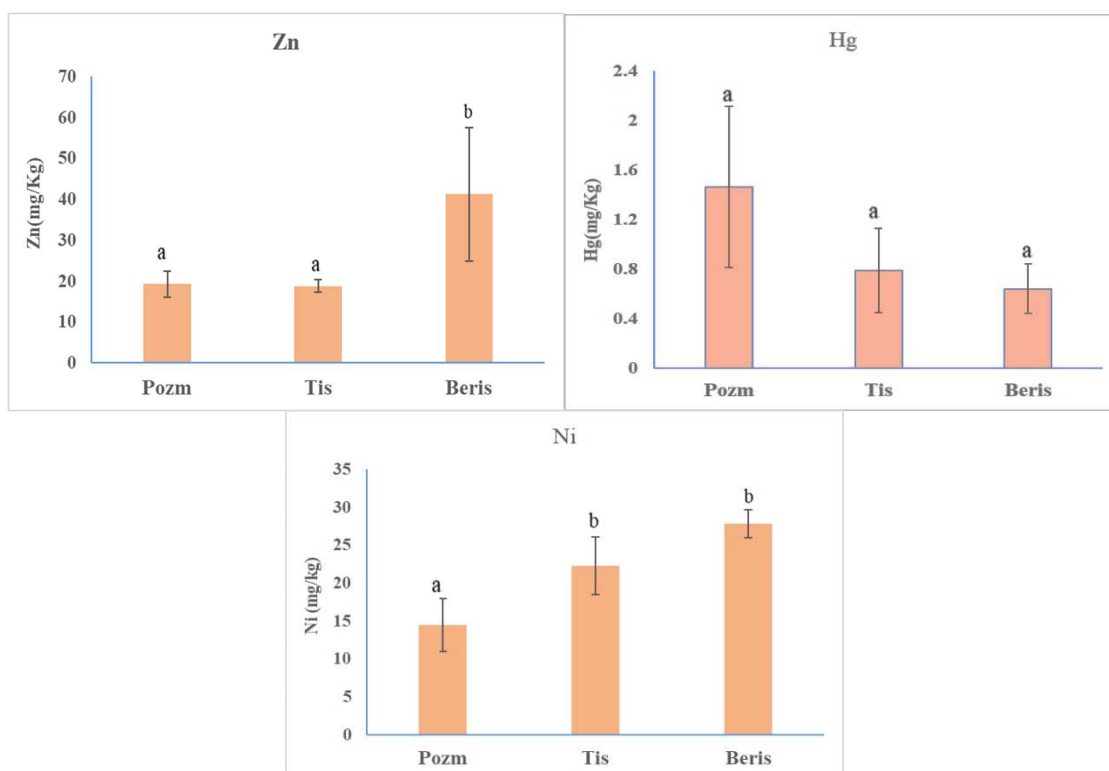
شکل ۲- مقایسه غلظت روی در بافت عضله و هپاتوپانکراس بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری. حروف ناهمنام نشان‌دهنده معنی‌دار بودن و حروف همسان نشان‌دهنده عدم معنی‌داری اختلاف آماری است.

Fig. 2. Comparison of zinc concentration in muscle and hepatopancreas tissues across sampling stations. Different letters indicate statistically significant differences, while identical letters indicate no significant difference.



شکل ۳- مقایسه غلظت نیکل در بافت عضله و هپاتوپانکراس بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری. حروف ناهمنام نشان‌دهنده معنی‌دار بودن و حروف همسان نشان‌دهنده عدم معنی‌داری اختلاف آماری است.

Fig. 3. Comparison of nickel concentration in muscle and hepatopancreas tissues across sampling stations. Different letters indicate statistically significant differences, while identical letters indicate no significant difference.



شکل ۴- مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین نیکل، روی و جیوه در رسوبات ایستگاه‌های نمونه‌برداری. حروف ناهمنام نشان‌دهنده معنی‌دار بودن و حروف همسان نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌داری است.

Fig. 4. Comparison of mean concentrations of the heavy metals nickel, zinc, and mercury in sediments from the sampling stations. Different letters denote statistically significant differences, while identical letters denote no significant differences.

بحث

در اکوسیستم آبی، ماهی و دیگر گونه‌های آبرزی خوراکی به دلیل محتوای پروتئین غنی خود، به‌خوبی شناخته شده‌اند و به طور گسترده به‌عنوان گزینه غذایی با کیفیت شناخته می‌شوند. در میان گونه‌های آبرزی خوراکی، سخت‌پوستانی مانند میگو، خرچنگ، لابستر و کریل مورد توجه هستند. در بازار داخلی و بین‌المللی، بی‌مهرگان دارای بدن بندبند از نظر تجاری اهمیت و قیمت بالا هستند (۷). در این میان، آلودگی غذا به فلزات، به دلیل تجمع زیستی و آثار آن بر چرخه‌های بیو ژئوشیمیایی یکی از مهم‌ترین نگرانی‌ها می‌باشد (۱۱). بر اساس نتایج، غلظت فلزات سنگین در بافت و ایستگاه‌های مختلف خرچنگ شناگر آبی با یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشته است. به‌طوری‌که، غلظت تمامی فلزات جیوه، روی و نیکل در هر سه ایستگاه، در هپاتوپانکراس بیشتر از عضله بوده است. به‌علاوه، الگوی تجمع فلزات سنگین در خرچنگ شناگر آبی در هر سه ایستگاه مورد بررسی به‌صورت جیوه > نیکل > روی بود. در مقایسه با سایر فلزات، غلظت روی در بافت هپاتوپانکراس بیشتر بود که به نظر می‌رسد به دلیل غلظت بالای این فلز در محیط و به‌خصوص، رسوب بوده است. از سوی دیگر، می‌توان استدلال کرد که فراهمی زیستی بیشتر روی نسبت به سایر فلزات به دلایلی مانند فعالیت باکتریایی یا حجم بالاتر ورودی به محیط است. به‌علاوه، فلز روی به‌عنوان یک کوفاکتور در تعداد زیادی از آنزیم‌ها و پروتئین‌های احیاکننده مانند DNA و RNA پلی استراز، کربنیک انیدراز یا آلکالین فسفاتاز عمل می‌کند (۱۲). بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوبات هر ایستگاه نشان داد که فلز روی در ایستگاه بریس دارای بیشترین غلظت بوده است. فلز روی و نیکل بین تمامی ایستگاه‌ها دارای اختلاف معنی‌دار و فلز جیوه بین تمامی ایستگاه‌ها فاقد اختلاف معنی‌دار بود. به

علاوه، بافت هپاتوپانکراس نسبت به عضله، در هر سه ایستگاه دارای جیوه بیشتری بود. غلظت جیوه در هپاتوپانکراس خرچنگ *P. segnis* خلیج فارس در مطالعه Ghaeni و همکاران (۲۰۱۵) نیز، بیش از مطالعه حاضر بود (۱۳). Kazemzadeh Khoei و Abdi Bastami (۲۰۱۳)، به بررسی غلظت جیوه در بافت‌های خرچنگ شناگر آبی (*P. pelagicus*) جزیره خارک پرداختند و غلظت فلز جیوه در هپاتوپانکراس و عضله بیشتر از مطالعه حاضر بود (۱۴). آن‌ها عنوان کردند که تجمع جیوه در موجودات آبرزی ممکن است به عواملی مانند فراهمی زیستی فلز، ویژگی‌های هیدرودینامیک محیط، موقعیت ایستگاه‌های جمع‌آوری، دما، شوری و منابع آلودگی بستگی داشته باشد. با افزایش تماس با جیوه، تجمع در رسوب و بافت‌های مختلف افزایش می‌یابد؛ بنابراین، جیوه از طریق زنجیره غذایی به بدن انسان منتقل می‌شود (۱۴). سطوح بالای جیوه در هپاتوپانکراس ممکن است به دلیل فراوانی پروتئین متالوتئین در این بافت در مقایسه با دیگر اندام‌ها باشد. براین‌اساس، هپاتوپانکراس خرچنگ به‌عنوان اندام هدف تجمع جیوه گزارش شده است (۵). مقایسه نتایج مطالعه حاضر با مطالعه خرچنگ شناگر آبی (*P. pelagicus*) توسط Al-Mohanna و همکارش (۲۰۰۱)، نشان داد که غلظت روی در بافت عضله بیشتر و در بافت هپاتوپانکراس کمتر بود (۱۵). غلظت روی در بررسی Firat و همکاران (۲۰۰۸) راجع به خرچنگ *Charybdis longicollis* در خلیج اسکندرون ترکیه، در عضله کمتر و در هپاتوپانکراس بسیار بیشتر از مطالعه حاضر بود (۱۶). در مقابل، در بررسی Genc و Yilmaz (۲۰۱۵)، غلظت فلزات جیوه، روی و نیکل در خرچنگ آبی تالاب کویچگیز ترکیه بسیار کمتر از مطالعه حاضر بود (۱۷). در بررسی Celik و

در مقایسه با مطالعه حاضر بسیار بیشتر بود (۲۲). در تحقیق Delshab و همکاران (۲۰۱۷)، بر روی توزیع ژئوشیمیایی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات دریایی بندر عسلویه خلیج فارس، مقدار فلزات سنگین روی و نیکل کمتر از مطالعه حاضر بود (۲۳). در نتایج بررسی Dehghan Madiseh و همکاران (۲۰۰۸)، بر روی سطوح آلودگی در سواحل خوزستان، غلظت نیکل و روی بیشتر و جیوه کمتر از مطالعه حاضر بود (۲۴). بر اساس تحقیقات انجام شده توسط Hamzeh و همکاران (۲۰۱۳)، بر روی اثر شناورهای صیادی بر روی تجمع فلزات نادر در رسوبات سه بندر در طول سواحل ایرانی دریای عمان، مقادیر فلزات نیکل و روی بسیار بیشتر از مطالعه حاضر بود (۲۵). طبق نتایج Song و همکاران (۲۰۱۴)، از بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوبات سواحل کره جنوبی، غلظت نیکل و روی بسیار کمتر از مطالعه حاضر بود (۲۶). غلظت روی در مطالعه Zhou و همکاران (۲۰۰۸)، مبنی بر شناسایی منابع فلزات سنگین در رسوبات و آب‌های سواحل دریای شرق چین در شهر یانگ ژانگ، بسیار بیشتر از مطالعه حاضر بود (۲۷). آگاه (۲۰۲۱)، در ارزیابی فلزات سنگین در رسوبات، ماهی و موی انسان در چابهار، نشان داد که غلظت فلزات روی و نیکل در مقایسه با مطالعه حاضر بیشتر بوده است (۲۸). نتایج بررسی عبدالله‌پور و همکاران (۲۰۱۳)، بر روی تجمع فلزات سنگین در رسوبات و ماهیان گونه‌های کفزی، بنتوپلاژیک و پلاژیک خور موسی نیز نشان داد که مقدار فلز نیکل بیشتر از مطالعه حاضر بوده است (۲۹). در مطالعه Pandiyan و همکاران (۲۰۲۰)، که بر روی سطوح آلودگی فلزات سنگین در آب، رسوب و آبزیان انجام شد، نشان داد که غلظت جیوه بسیار بیشتر و روی و نیکل در مقایسه با مطالعه حاضر بسیار کمتر بوده است (۳۰). طبق تحقیقات Sadeghi و همکاران

همکاران، (۲۰۰۶) بر روی بافت‌های عضله و هپاتوپانکراس خرچنگ آبی (*Callinectes sapidus*) تالاب شمال شرقی دریای مدیترانه، غلظت روی و جیوه بسیار کمتر از مطالعه حاضر بود (۱۸). مطالعه Coğun و همکاران (۲۰۱۷)، بر روی فلزات سنگین خرچنگ آبی (*C. sapidus*) نشان داد که غلظت فلز روی در بافت‌های عضله و هپاتوپانکراس کمتر از مطالعه حاضر بوده است (۶). اختلاف غلظت فلزات در نمونه‌های جمع‌آوری شده از ایستگاه‌های مختلف، به شرایط زیستگاه آن‌ها بستگی دارد. زیرا، واکنش‌های شیمیایی، فراهمی زیستی فلزات و منابع آلودگی که به طور بالقوه می‌توانند بر روی تجمع فلزات اثر بگذارند، در هر یک از ایستگاه‌ها متفاوت است (۱۹). مقایسه غلظت فلزات در بافت عضله خرچنگ مطالعه حاضر با استانداردهای جهانی FAO، UK MAFF، UK MAFF: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (United Kingdom)، FDA (States Food and Drug Administration)، WHO و NHMRC نشان داد (۲۰، ۲۱) که غلظت فلز جیوه پایین‌تر از حد مجاز اعلام شده توسط NHMRC و نزدیک به سایر استانداردها؛ غلظت روی از استانداردهای UK (MAFF) و FAO بالاتر و از استانداردهای WHO و NHMRC پایین‌تر؛ و غلظت نیکل کمتر از حد مجاز اعلام شده توسط FDA بوده است؛ بنابراین، باتوجه به غلظت جیوه و روی، مصرف گوشت خرچنگ شناگر آبی (*P. segnis*) ممکن است برای سلامتی خطرآفرین باشد. در بررسی انجام شده توسط Barath Kumar و همکاران (۲۰۱۹)، بر روی توزیع عناصر و آلودگی فلزی در رسوبات سطحی سواحل جنوب شرقی هند، غلظت نیکل کمتر از مطالعه حاضر بود (۵). در تحقیقی که توسط بلوچ و همکاران (۲۰۱۸)، بر روی آلودگی مس و روی در رسوبات خلیج پزم داشتند، مقدار فلز روی

نتیجه‌گیری

بنابر نتایج، مصرف گوشت خرچنگ مورد مطالعه از نظر جیوه و به ویژه، روی ممکن است برای سلامتی مضر باشد. مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوبات نمونه‌برداری شده از ایستگاه‌ها با استانداردهای کیفیت رسوب، نشان از پایین بودن غلظت روی و نیکل و جیوه داشت.

منابع

1. Agah H, Saleh A, Darvish Bastami K, Sheijooni Fumani N. Ecological risk, source and preliminary assessment of metals in the surface sediments of Chabahar Bay, Oman Sea. Mar Pollut Bull. 2016;107(1):383-388.
2. Viswanathan C, Azhaguraj R, Selvanayagam M, Raffi SM. Heavy metal levels in different tissues of the Blue Swimming crab (*Portunus pelagicus*, Portunidae) collected from Ennore Estuary. Int J Res Fish Aquac. 2013;3(1):1-6.
3. Satheeswaran T, Yuvaraj P, Damotharan P, Karthikeyan V, Jha DK, Dharani G, Balasubramanian T, Kirubakaran R. Assessment of trace metal contamination in the marine sediment, seawater, and bivalves of Parangipettai, southeast coast of India. Mar Pollut Bull. 2019;149:110499.
4. Olgunoglu MP, Olgunoglu İA. Heavy metal contents in blue swimming crab from the Northeastern Mediterranean Sea, Mersin Bay, Turkey. Pol J Environ Stud. 2016;25(5):2233-2237.
5. Barath Kumar S, Padhi RK, Mohanty AK, Satpathy KK. Elemental distribution and trace metal contamination in the surface sediment of south east coast of India. Mar Pollut Bull. 2016;114(2):1164-1170.
6. Çoğun HY, Firat Ö, Aytekin T, Firidin G, Firat Ö, Varkal H, Temiz Ö, Kargin F. Heavy metals in the blue crab (*Callinectes*

(۲۰۱۹)، بر روی تجمع عناصر نادر و ارزیابی خطر سلامتی و اکولوژیکی در رسوبات و ماهی شوریده (*Otolithes ruber*) در دریای عمان، غلظت نیکل بسیار بیشتر از مطالعه حاضر بوده است (۳۱). نیکل در مقادیر کم برای تولید گلبول قرمز خون مورد نیاز است. اما، در مقادیر زیاد به طور خفیف سمی می‌شود. مواجهه مزمن با آن می‌تواند باعث کاهش وزن، آسیب قلبی، کبدی و تحریک پوست شود. نیکل در جانوران آبی تجمع می‌یابد. اما، باعث بزرگ‌نمایی زیستی از طریق زنجیره غذایی نمی‌شود (۳۲). صخره‌های خلیج چابهار در سواحل مَکُران، صخره‌های افیولیتی پوسته‌ای اقیانوسی هستند که با عناصری مانند کروم و نیکل غنی شده و از این رو، می‌تواند منشأ اصلی این عناصر در منطقه نمونه‌برداری باشد (۲۸). همچنین، از آنجایی که نیکل نشانگر آلودگی نفتی است، افزایش میزان نیکل می‌تواند نشان‌دهنده افزایش آلودگی نفتی (ترکیبات نفتی در سوخت و صنایع وابسته) در منطقه مورد مطالعه باشد (۳۱). عملیات مختلف نظیر کشتی‌رانی، تعمیر کشتی، سوخت‌رسانی، گریس‌کاری و رنگ‌آمیزی دلیل تجمع بالای فلزات کمیاب در بنادر عنوان شده است. رنگ ضد رسوب، علاوه بر فاضلاب کشتی‌های ماهیگیری، یکی دیگر از منابع آلودگی فلزات سنگین در بنادر است (۲۵). نتایج حاصل از مطالعه حاضر و مقایسه غلظت فلزات سنگین در رسوبات خلیج چابهار نشانگر بیشترین غلظت فلز جیوه در ایستگاه پزم بود. به نظر می‌رسد که علت بالا بودن آلودگی در این ناحیه، ناشی از تخلیه فاضلاب روستایی و تردد شناورهای صیادی می‌باشد (۳۳). مقایسه میانگین غلظت فلزات در رسوبات ایستگاه‌های بریس، پزم و تیس با استانداردهای کیفیت رسوب مؤید پایین بودن غلظت جیوه روی و نیکل نسبت به این استانداردها می‌باشد.

- biphenyl (PCB), polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH), mercury, methyl mercury, and arsenic in blue crab *Portunus segnis* from Persian Gulf. *Environ Monit Assess.* 2015;187(5):253-261.
14. Kazemzadeh Khoei J, Abdi Bastami A. Mercury concentrations in tissues of blue swimming crab *Portunus pelagicus* and sediments from Khark Island. *World Appl Sci J.* 2013;21(9):1391-1397.
 15. Al-Mohanna SY, Subrahmanyam M NV. Flux of heavy metal accumulation in various organs of the intertidal marine blue crab, *Portunus pelagicus* (L.) from the Kuwait coast after the Gulf War. *Environ Int.* 2001;27(4):321-326.
 16. Fırat Ö, Gök G, Çoğun HY, Yüzereroğlu TA, Kargin F. Concentrations of Cr, Cd, Cu, Zn, and Fe in crab *Charybdis longicollis* and shrimp *Penaeus semisulcatus* from the Iskenderun Bay, Turkey. *Environ Monit Assess.* 2008;147(1-3):117-123.
 17. Genc TO, Yilmaz F. Bioaccumulation [indices] of metals in blue crab inhabiting specially protected area Koycegiz Lagoon (Turkey). *Indian J Anim Sci.* 2015;85(1):94-99.
 18. Celik M, Küçükgülmez A, Yanar Y, Çıkrıkçı M. Concentrations of some heavy metals in tissues of the blue crab, *Callinectes sapidus*, from the lagoon of the North Eastern Mediterranean Sea. *Fresenius Environ Bull.* 2006;15(5):351-355.
 19. Hosseini M, Pazooki J, Safaei M. Size at maturity, sex ratio and variant morphometrics of blue swimming crab *Portunus segnis* (Forsk., 1775) from Boushehr Coast (Persian Gulf). *J Mar Sci: Res Dev.* 2014;4(2):149-153.
 20. Food and Drug Administration – FDA. Guidance document for nickel in shellfish. Washington, D.C.: DHHS/PHS /FDA/CFSAN/Office of Seafood. 1993.
 21. WHO. Health criteria and other supporting information. In: Guidelines for *sapidus*) in Mersin Bay, Turkey. *Bull Environ Contamination Toxicol.* 2017;98(6):824-829.
 7. Nanda PK, Da AK, Dandapat P, Dhar P, Bandyopadhyay S, Dib AL, Lorenzo JM, Gagaoua M. Nutritional aspects, flavour profile and health benefits of crab meat based novel food products and valorisation of processing waste to wealth: A review. *Trends Food Sci Technol.* 2021;112:252-267.
 8. Fatemi F, Khoramnezhadian S, Shamsaei Mehrenjan M. 2015. Bioaccumulation of arsenic in blue swimmer crab (*Portunus pelagicus*) along the Persian Gulf coasts, Asalouyeh region-3. *J Mar Biol.* 7(1):43-52
 9. Soltani Z, Loghmani M, Toutouni MM, Sinaei M. 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. *J Food Sci Technol.* 2020;9(4):257-270.
 10. Taleshpour S, Taghavi L, Nasrollahzadeh Saravi H. Prioritizing the amount of metal pollution using pollution load indices and biological hazard potential in surface sediments of rivers on the southeastern coast of the Caspian Sea. *Environ Sci Technol.* 2020;22(6):17-30.
 11. Abkenar AM, Yahyavi M, Esmaili M, Rombenso A. High bioaccumulation factors and ecological risk index of Cd and Hg in Indian white shrimp, hooded oyster, brown algae, and Sediment in northern coasts of the Gulf of Oman before and after a monsoon. *Reg Stud Mar Sci.* 2020;41:101552.
 12. Talebi Matin M, Mashinchian A, Sinaei M, Jamili S. Metallothionein as a biomarker of heavy metal (Cd, Cu, Zn, Pb, Hg, Ni, Cr) pollution in hermit crab (*Clibanarius signatus*). *Environ Asia.* 2019;12(2):164-171.
 13. Ghaeni M, Adami Pou N, Hosseini M. Bioaccumulation of polychlorinated

- Yangzhong, China. Environ Geol. 2008;54(2):373-380.
28. Agah H. Ecological risk assessment of heavy metals in sediment, fish, and human hair from Chabahar Bay, Makoran, Iran. Mar Pollut Bull. 2021;169(5):112345.
29. Abdolapour Monikh F, Safahieh A, Savari A, Doraghi A. Heavy metal concentration in sediment, benthic, benthopelagic, and pelagic fish species from Musa Estuary (Persian Gulf). Environ Monitor Assess. 2013;185(1):215-222.
30. Pandiyan J, Mahboob S, Govindarajan M, Al-Ghanim KA, Ahmed Z, Al-Mulhm N, Jagadheesan R, Krishnappa K. An assessment of level of heavy metals pollution in the water, sediment and aquatic organisms: A perspective of tackling environmental threats for food security. Saudi J Biol Sci. 2020;28(2):1218-1225.
31. Sadeghi P, Loghmani M, Afsa E. Trace element concentrations, ecological and health risk assessment in sediment and marine fish *Otolithes ruber* in Oman Sea, Iran. Mar Pollut Bull. 2019;140(1):248-254.
32. Govind P, Madhuri S. Heavy metals causing toxicity in animals and fishes. Res J Anim Vet Fish Sci. 2014;2(2):17-23.
33. Mirza R, Moeinoddini M. Contamination and ecological assessment of heavy metals (Hg, Cd, Pb, Ni, V, Cu) in surface sediments of Chabahar Bay. J Oceanogr. 2017;8(31):1-9.
- Drinking Water Quality, 2nd ed., Geneva. 1996;2:31-388.
22. Balooch A, Sadeghi P, Attaran Fariman G. Evaluation of copper and zinc contamination in *Otolithes ruber* and sediments of the Pozm Bay (north of Oman Sea): Histopathology and chemical analysis. J Persian Gulf, 2018;9(31):21-31.
23. Delshab H, Farshchi P, Keshavarzi B. Geochemical distribution, fractionation and contamination assessment of heavy metals in marine sediments of the Asaluyeh port, Persian Gulf. Mar Pollut Bull., 2017;115(1-2):401-411.
24. Dehghan Madiseh S, Savari A, Parham H, Marammazy JG, Papahn F, Sabzalizadeh S. Heavy metals contaminant evaluation in sediments of Khou-e-Musa creeks, northwest of Persian Gulf. Iranian J Fish Sci. 2008;7(2):137-156.
25. Hamzeh MA, Shah-Hosseini M, Naderi Beni A. Effect of fishing vessels on trace metal contamination in sediments of three harbors along Iranian Oman Sea coast[s]. Environ Monit Assess. 2013;185(2):1791-1807.
26. Song Y, Choi MS, Lee JY, Jang DJ. Regional background concentrations of heavy metals (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb) in coastal sediments of the South Sea of Korea. Sci Total Environ. 2014;482-483:80-91.
27. Zhou J, Ma D, Pan J, Nie W, Wu K. Application of multivariate statistical approach to identify heavy metal sources in sediment and waters: a case study in