



Research Paper

Assessment of bioaccumulation and ecological risks of heavy metals in mollusks of the Hara Protected Area, Hormozgan Province

Mohammad Mehdi Aryanpour¹ , * Saber Ghasemi¹ , Mohsen Dehghani Ghanatghestani¹

1. Department of Environment Sciences, Bandar Abbas Branch, Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran.



Citation: Aryanpour MM, Ghasemi S, Dehghani Ghanatghestani M. Assessment of bioaccumulation and ecological risks of heavy metals in mollusks of the Hara Protected Area, Hormozgan Province. *Journal of Preventive Medicine*. 2025; 12(3):267-284. [In Persian]

10.48312/JPM.12.3.731.1

Article Info:

Received: 9 Oct 2025

Accepted: 6 Nov 2025

Available Online: 20 Dec 2025

Key Words:

Ostreidae,
Metals, Heavy,
bioaccumulation.

ABSTRACT

Introduction: The Persian Gulf coastline is one of the world's most valuable marine ecosystems and is increasingly threatened by heavy metal contamination. These persistent pollutants exhibit mutagenic and carcinogenic properties and can enter aquatic food webs through bioaccumulation, posing risks to marine organisms and human health. Due to its filter-feeding behavior, the razor clam (*Solen sp.*) is an effective bioindicator of heavy metal pollution.

Methods: In this study, razor clam specimens were collected, transported to the laboratory, measured biometrically, digested, and analyzed for heavy metal concentrations using atomic absorption spectrophotometry. Water samples were collected simultaneously and analyzed for dissolved metal concentrations. The Bioaccumulation Factor (BAF) and Ecological Hazard Assessment (EHA) indices were subsequently calculated to evaluate metal accumulation and ecological risk.

Results: The results showed that nickel exhibited the highest bioaccumulation, with BAF values of 96.14 and 77.40 in winter and summer, respectively. Such accumulation may adversely affect ecosystem structure and function, reduce the abundance and reproductive capacity of aquatic organisms, degrade fisheries resources, alter food availability in the water column and sediments, and contribute to oxygen depletion.

Discussion: The Ecological hazard assessment indicated that chromium, cadmium, nickel, and cobalt presented the highest ecological risks, with chromium posing the greatest threat to aquatic organisms and the surrounding environment. Statistical analysis revealed significant seasonal differences in chromium and cadmium concentrations among razor clam samples collected from the margins of the studied mangrove forests ($P < 0.05$), suggesting that seasonal variation influences heavy metal accumulation and ecological risk in this ecosystem.

* Corresponding Author:

Dr Saber Ghasemi

Address: Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran.

E-mail: saberghasemi@iaau.ac.ir



Copyright © 2025 The Author[s];
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License [CC-BY-NC; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>.
en], which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.



Extended Abstract

Introduction:

The Persian Gulf, as one of the world's richest aquatic ecosystems, faces serious threats from pollution, particularly heavy metals, due to the rapid expansion of industrial, agricultural, and urban activities. Heavy metals are among the most dangerous pollutants due to their high toxicity, environmental persistence, and ability to bioaccumulate and biomagnify through the food chain. Bivalve mollusks, due to their filter-feeding lifestyle, possess a high capacity to absorb and store heavy metals from water and sediments, making them effective biological indicators of pollution. The razor clam (*Solen roseomaculatus*) is a native species of the Persian Gulf traditionally used by local communities as food and also as feed in shrimp farms. This study aimed to determine the concentrations of heavy metals (vanadium, chromium, cadmium, cobalt, and nickel) in the soft tissue of this clam and in ambient water, and to assess the Bioaccumulation Factor (BAF) and Ecological Hazard Assessment (EHA) in the Hara Protected Area (Khor Khoran), Hormozgan Province.

Methods:

This cross-sectional descriptive study was conducted at three stations located in the Hara Protected Area (Khur-e-Skelleh, Khur-e-Balakerat, and Khur-e-Qeshm) during two seasons: summer (2022) and winter (2021). At each station, 30 clam samples (*S. roseomaculatus*) were randomly collected. Water samples were also taken simultaneously. After transferring samples to the laboratory, biometric measurements (length, width, diameter, wet and dry weight) were performed. Soft tissues were freeze-dried and prepared for analysis using acid digestion in a microwave (nitric acid and hydrogen peroxide). Heavy metal concentrations were measured using an atomic absorption spectrometer equipped with a graphite furnace (Model AAS4Zeiss, Germany). The Bioaccumulation Factor (BAF) was calculated as the ratio of metal concentration in the organism to that in water, and the Ecological Hazard Assessment (EHA) was calculated as the ratio of metal concentration

in water to the permissible limit according to the Iranian Seas Water Quality Standard (Department of Environment, 2020). Data were analyzed using Shapiro-Wilk test (normality), T-test (seasonal comparison), one-way ANOVA (station comparison), and Pearson correlation (metal interrelationships) using SPSS version 22.

Results: Mean environmental parameters (temperature, dissolved oxygen, salinity) were higher in summer than in winter. Biometric results showed significant differences in length, width, and diameter of clams among stations ($P < 0.001$), with the highest mean length in Khur-e-Qeshm (7.11 cm) and the lowest in Khur-e-Skelleh (6.77 cm). Heavy metal analysis in clam tissue indicated that mean concentrations of cobalt, chromium, nickel, and vanadium were higher in winter than in summer, whereas cadmium was higher in summer. In water samples, mean concentrations of cobalt, chromium, nickel, and cadmium were higher in summer than in winter, with an overall concentration pattern of $\text{Co} > \text{Cd} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{V}$. Vanadium was not detected in any water sample across seasons.

Results:

The Bioaccumulation Factor (BAF) revealed that nickel (Ni) had the highest bioaccumulation percentage in clam tissue: 96.14% in winter and 77.40% in summer. This extremely high bioaccumulation (over 96% in winter) indicates the clam's exceptional ability to absorb and store nickel from the aquatic environment. This level of bioaccumulation can lead to adverse effects, including mutagenicity and carcinogenicity in human consumers, as well as the transfer of heavy metals into the shrimp food chain when used as feed.

The Ecological Hazard Assessment (EHA) showed that chromium (Cr), cadmium (Cd), nickel (Ni), and cobalt (Co) posed the greatest ecological risks to the aquatic ecosystem, in that order. This means that chromium poses a greater threat to aquatic life and the environment of the Hara Protected Area than the other metals studied.

The T-test revealed significant seasonal differences in chromium and cadmium concentrations ($P < 0.05$), but no significant difference for cobalt



($P > 0.05$), suggesting that cobalt accumulation is less influenced by seasonal variation or is primarily controlled by geological sources. No significant differences in cobalt concentrations were observed among stations. Pearson correlation analysis showed a strong, significant positive correlation ($P < 0.01$) between cobalt and several other metals, indicating potential common sources of input.

Conclusion:

The results of this study demonstrate that the razor clam (*S. roseomaculatus*) in the Hara Protected Area has a very high bioaccumulation capacity for nickel (over 96%) and that chromium, cadmium, nickel, and cobalt in the water pose significant ecological risks. Given that local coastal communities in Hormozgan Province traditionally consume this mollusk as part of their diet and that it is also used as feed in shrimp farms, the entry of these heavy metals- especially nickel (with its mutagenic and carcinogenic properties)- into the human food chain represents a serious threat to public health. Furthermore, the use of these clams as feed for livestock and poultry can indirectly introduce heavy metals into the human food cycle.

Based on these findings, the development of a National Consumption Safety Standard for bivalve mollusks along the northern coasts of the Persian Gulf is of critical national importance for monitoring the health of coastal residents and preventing diseases associated with heavy metal bioaccumulation (such as cancer, renal disorders, and neurological impairments). Additionally, the implementation of optimal management practices and the development of advanced treatment systems for municipal, industrial, and agricultural wastewater prior to discharge into the sea are strongly recommended.



مقاله پژوهشی

ارزیابی تجمع زیستی و خطرات اکولوژیکی فلزات سنگین در نرم تنان منطقه حفاظت شده حرا، استان هرمزگان

محمد مهدی آریانپور^۱ ID، * صابر قاسمی^۱ ID، محسن دهقانی قناتگهستانی^۱ ID

۱. گروه محیط زیست، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران.

Use your device to scan and read the article online



Citation: Aryanpour MM, Ghasemi S, Dehghani Ghanatghehstani M. Assessment of bioaccumulation and ecological risks of heavy metals in mollusks of the Hara Protected Area, Hormozgan Province. *Journal of Preventive Medicine*. 2025; 12(3):267-284. [In Persian]

doi 10.48312/JPM.12.3.731.1

چکیده

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۸ مهر ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۶ آبان ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۳۰ آذر ۱۴۰۴

هدف: سواحل خلیج فارس از مهم‌ترین اکوسیستم‌های غنی دنیا محسوب می‌شود که در معرض آلودگی‌های گوناگون قرار دارد. از جمله این آلودگی‌ها، آلودگی فلزات سنگین است که اثرات جهش‌زایی و سرطان‌زایی روی موجودات به جا می‌گذارد و در صورت ورود به محیط‌های آبی می‌توانند وارد زنجیره غذایی شوند. صدف دسته‌چاقویی به دلیل نوع تغذیه خود این آلاینده‌ها را در بدن خود تغلیظ می‌نمایند.

روش‌ها: در این مطالعه ابتدا دو کفه‌ای برداشت شد، سپس به آزمایشگاه منتقل و پس از بیومتری و هضم، با استفاده از دستگاه جذب اتمی میزان فلزات سنگین آن‌ها اندازه‌گیری شد. همچنین پس از نمونه‌برداری آب، میزان فلزات موجود در آن نیز اندازه‌گیری گردید. سپس شاخص تجمع زیستی (BAF) و خطرات اکولوژیک (EHA) فلزات سنگین محاسبه گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد میزان تجمع زیستی نیکل در فصول زمستان و تابستان به ترتیب ۹۶/۱۴ و ۷۷/۴۰ درصد است که می‌تواند باعث تغییرات اکولوژیکی مانند تغییر در ساختار و عملکرد اکوسیستم‌ها، کاهش پراکندگی موجودات آبزی، کاهش توان تولیدمثل و ایجاد آسیب و تخریب منابع شیلاتی، تامین غذا هم در ستون آب و هم در رسوبات و همچنین کمبود اکسیژن در آب شود.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصله همچنین نشان می‌دهد کروم، کادمیوم، نیکل و کبالت به ترتیب بیشترین خطر اکولوژیک را به همراه دارند که به این معنی است که کروم بیش از سایر فلزات سنگین مورد مطالعه بر آبزیان و محیط‌زیست منطقه تاثیر می‌گذارد. همچنین آنالیزهای آماری اختلاف معنی‌داری در مورد کروم و کادمیوم در بین نمونه‌های برداشت شده از حواشی جنگل‌های حرای مورد مطالعه در فصول مختلف را نشان داد ($P < 0.05$).

کلیدواژه‌ها:

صدف، فلزات سنگین، تجمع زیستی.

*نویسنده مسئول:

دکتر صابر قاسمی

نشانی: دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران.
پست الکترونیک: saberghasemi@iau.ac.ir

Copyright © 2025 The Author[s].

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License [CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>], which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.



مقدمه:

گونه‌های دوکفه‌ای عمدتاً فیلترفیدر هستند، به این معنی که حجم زیادی از آب دریا را در بدن خود می‌کشند تا مواد غذایی مانند جلبک‌های میکروسکوپی را متمرکز کنند [۴]. این گروه‌های عاملی همچنین میل به یون‌های نرم (مانند Cd) یا یون‌های سخت (مانند کروم Cr) برای تشکیل پیوندهای قوی دارند [۱۰].

آلودگی فلزات سنگین برای سال‌ها موضوع داغ در مطالعات زیست محیطی بوده است و حضور آن‌ها در اکوسیستم‌های حساس دریایی می‌تواند تصویری واقعی از آلودگی یک محیط آبی را فراهم آورد [۱۱، ۱۲]. امروزه مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که در بین انواع رسوبات، رسوبات جنگل‌های حرا از پتانسیل بالاتری در ذخیره‌سازی فلزات سنگین آب‌های مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری برخوردارند [۱۳، ۱۴].

اگرچه فلزات به‌طور طبیعی در محیط وجود دارند، صنعتی شدن، رواناب زمین‌های کشاورزی، تولید نفت و گاز، توسعه گردشگری و بارندگی شدید در طول سال منجر به ایجاد مقادیر زیادی سموم فلزی در محیط زیست دریایی شده است [۱۵]. همچنین فعالیت‌های کشاورزی نیز منجر به افزایش استفاده از فلزات سنگین شده و در نتیجه آن، مقادیر زیادی از فلزات سنگین وارد محیط دریایی شده‌اند که تأثیر نامطلوبی بر ماهی، بی‌مهرگان و انسان دارند [۱۶].

فلزات سنگین در زیستگاه‌های آبی به دلیل پایداری و ماندگاری، تمایل به تجمع در زیست‌بوم‌ها و بزرگنمایی زیستی از طریق زنجیره غذایی دارند و اغلب به عنوان آلاینده‌های بالقوه سمی در نظر گرفته می‌شوند [۱۷]. در سال‌های اخیر، آلودگی ناشی از توسعه سریع اقتصاد در منطقه مورد مطالعه منجر به بدتر شدن محیط زیست و فشار بالای حفاظت اکولوژیکی شده است [۱۸]. علاوه بر آن، این فلزات سنگین در دوکفه‌ای‌ها به دلیل غلظت بالاتر ممکن است از طریق زنجیره غذایی برای انسان مضر باشند [۱۹].

آلاینده‌های دریایی به دلیل پیامدهای اکولوژیکی به یک نگرانی فزاینده تبدیل شده‌اند و در این میان فلزات سنگین

یکی از زیستگاه‌های مهم اکولوژیک با تولید زیاد در مناطق ساحلی، جنگل‌های مانگرو هستند که این تالاب‌های جزرومدی در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری قرار دارند [۱]. جنگل‌های حرا دارای آبریزان حساس و منابع غذایی و معدنی فراوانی بوده که پشته‌های ارزشمندی برای فعالیت‌های معیشتی و صیادی به شمار می‌روند [۲].

نرمتنان دوکفه‌ای یکی از عمده‌ترین غذاهای دریایی در رژیم غذایی انسان است و بخش کلیدی چرخه بیوژئوشیمیایی در اکوسیستم دریایی می‌باشد [۳]. غذاهای دریایی با تامین پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، ویتامین‌ها، ریزمغذی‌ها و مواد معدنی منبع مهمی از مواد مغذی برای ساکنان ساحلی است [۴]. دوکفه‌ای‌ها موجودات اعماق دریا هستند که به‌طور گسترده در جهان پراکنده شده‌اند و عمدتاً در مصب رودخانه‌ها یا گل زارهای ساحلی زندگی می‌کنند [۵، ۶]. رسوبات جنگل‌های مانگرو مکانی امن و غنی به منظور زندگی گروه‌های مختلفی از آبریان بویژه نرم‌تنان دوکفه‌ای می‌باشد [۷].

گسترش انواع آلودگی‌ها از جمله فلزات سنگین در منابع آبی باعث شده که بسیاری از اکوسیستم‌های دریایی و آب شیرین و موجودات ساکن آن‌ها به‌ویژه نرمتنان تحت تأثیرات منفی قرار گیرند [۷]. از آنجایی که صنعت شیلات تامین کننده بخشی از نیاز غذایی جامعه است، انتقال انواع آلاینده‌ها مانند فلزات سنگین از طریق زنجیره غذایی به بدن انسان می‌تواند به عنوان یک عامل تهدیدکننده برای سلامت جامعه بشر تلقی گردد. از اینرو، لزوم بررسی این مسئله به عنوان یکی از ضرورت‌های تحقیقاتی در سطح ملی و بین‌المللی احساس می‌شود [۸].

فلزات سنگین به دلیل سمیت، ماندگاری در محیط و ماهیت تجمع زیستی، آلاینده‌های محیطی شناخته شده‌ای هستند [۶]. منشاء طبیعی آن‌ها شامل هوازدگی سنگ‌های فلزی و فوران‌های آتشفشانی است، در حالی که منشاء انسان‌ساخت آن‌ها شامل استخراج معادن و فعالیت‌های مختلف صنعتی و کشاورزی است [۹].

مواد و روش‌ها:

منطقه حفاظت شده خورخوران در تنگه خور خوران خلیج فارس بین جزیره قشم و سواحل جنوبی استان هرمزگان در مختصات جغرافیایی ۲۶ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۲۶ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱) که میزبان بزرگترین پهنه حرا از گونه *Avicenna Marina* در ایران است. این منطقه نخست، در سال ۱۳۵۱ با وسعتی معادل ۸۲۳۶۰ هکتار با نام منطقه حفاظت شده حرا تحت حفاظت قرار گرفت. سپس با افزایش سطح آن به ۸۵۶۸۶ هکتار در سال ۱۳۵۴ عنوان پارک ملی را به خود اختصاص داد اما در سال ۱۳۶۱ مجدداً به سطح منطقه حفاظت شده با مساحت ۸۶۵۸۱ هکتار عودت داده شد.

منطقه حفاظت شده حرا در سال ۱۳۵۱ حفاظت شده اعلام شد و در سال ۱۳۵۴ تالاب خورخوران با مساحت یک صد هزار هکتار به عنوان تالاب با اهمیت بین المللی توسط کنوانسیون رامسر ثبت شد و یک سال بعد در سال ۱۳۵۵ همین منطقه به عنوان ذخیره‌گاه زیست‌کره توسط MAB/UNESCO تعیین گردید. این تالاب همچنین به عنوان یکی از مکان‌های مهم پرندگان توسط سازمان بین المللی حیات پرندگان معرفی شده است.

در سال ۱۳۸۰ بخشی از تالاب بین المللی و ذخیره‌گاه زیست‌کره خورخوران به نام منطقه حفاظت شده حرا با مساحت ۸۶ هزار و ۵۸۱ هکتار به فهرست مناطق حفاظت شده اضافه شد و به دنبال آن نیز منطقه کوچکی با مساحت ۲ هزار و ۵۸۰ هکتار در غرب آب‌های جزیره قشم نام منطقه حفاظت شده خورخوران گرفت. وسعت جنگل‌های حرا در این منطقه ۶ هزار و ۸۰۰ هکتار (۱۳۸۱) اعلام شده است.

در منطقه مورد مطالعه ۳ ایستگاه با توجه به مکان‌هایی که امکان صید صدف دسته چاقویی وجود داشت به صورت تصادفی انتخاب و مختصات آن‌ها توسط GPS^۲ تعیین و ثبت شد (جدول ۱). سپس از هر ایستگاه ۳۰ نمونه از صدف‌های

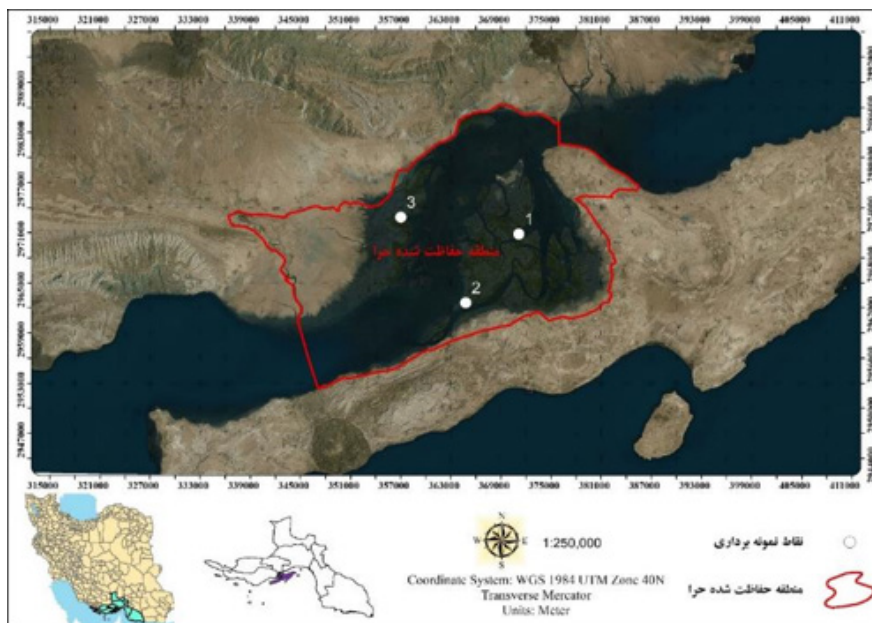
به دلیل تمایل به تجمع زیستی در موجودات دریایی، یکی از مخرب‌ترین عوامل آلودگی در محیط‌های دریایی است [۱]. در اکوسیستم‌های ساحلی، سطح آلاینده‌های فلزات سنگین به شیب غلظت و ساختار محیط آبی آن بستگی دارد [۲۰].

تا به امروز اثرات زیست‌محیطی آلاینده‌های فلزات سنگین در اکوسیستم‌های حساس خلیج فارس در مطالعات محققین متعددی مورد بررسی قرار گرفته است. برای نمونه در مطالعات عین الهی و همکاران بر روی تجمع فلزات سنگین (روی، مس، نیکل، سرب و کادمیوم) در رسوب و حلزون سنگی *Tylothais savigny* جزیره خارگ طی فصول تابستان و زمستان، مشخص شد که در بافت نرم این حلزون غلظت فلزات مس، نیکل، سرب و کادمیوم بالاتر از حد استاندارد است که با توجه به این نتایج، حلزون سنگی قابلیت نسبتاً بالایی در انباشت فلزات سنگین در بدن خود دارد [۲۱]. صفاهیه و همکاران در بررسی تجمع فلزات سنگین (Cu, Ni, Pb, Cd) در بافت نرم صدف دسته چاقویی^۱ سواحل استان بوشهر، به ترتیب در محدوده ۵/۳۶-۲۷/۸۴، ۰/۲۴-۲/۷۲، ۰/۱۰۴-۵/۶۴، ۰/۳۲-۱/۸ میکروگرم بر گرم اندازه‌گیری نمودند [۲۲]. نتایج بررسی نوروزی و همکاران در میزان تجمع فلزات سنگین در صدف‌های *Saccostrea Cucullate* و *Pinctada Radiata* در سواحل شمالی خلیج فارس هم نشان داد که رابطه بین غلظت فلزات و فصل برای گونه‌ها روند مشابهی دارد و بیشترین میزان تجمع فلزات سنگین در فصول بهار-تابستان مشاهده می‌گردد [۳].

شناخت نادرست از ظرفیت‌ها و پتانسیل‌های روند توسعه اقتصادی در مناطق دریایی موجب شده است که اکوسیستم‌های آبی خلیج فارس تحت تاثیر آلاینده‌های متعددی قرار گیرد، لذا هدف از انجام این پژوهش تعیین غلظت و ارزیابی تجمع زیستی و خطرات اکولوژیکی فلزات سنگین V, Ni, Cd, Cr, Co در بافت نرم صدف دسته چاقویی *Sole Rosemaculatus* در منطقه حفاظت شده حرا جهت بررسی‌های بعدی در مورد میزان تاثیر مصرف این نرم‌تنان توسط انسان و دام می‌باشد که می‌تواند به عنوان یک سند مرجع مورد توجه قرار گیرد.

^۱ Solen Roseomaculatus

^۲ Global Positioning System



شکل ۱: محدوده مطالعاتی

جدول امختصات UTM ایستگاه‌های نمونه‌برداری از نرم تنان مورد مطالعه					
ایستگاه	زمستان	تابستان	مختصات UTM	تعداد نمونه	
اول	۱۴۰۰/۱۱/۲۰	۱۴۰۱/۰۶/۲۰	X=371139.4373 Y=2970813.438	۳۰	
دوم	۱۴۰۰/۱۱/۲۰	۱۴۰۱/۰۶/۲۰	X=364786.1375 Y=2962590.173	۳۰	
سوم	۱۴۰۰/۱۱/۲۰	۱۴۰۱/۰۶/۲۰	X=357021.4994 Y=2972830.216	۳۰	

دستگاه خشک کن انجمادی مدل OPERON به مدت ۲۴ ساعت تحت دمای ۵۷- درجه سانتی گراد قرار داده شد. سپس ۱ گرم از پودر بافت نرم دوکفه‌ای همگن شده به وسیله‌هاون چینی آزمایشگاهی، ۷ میلی لیتر اسید نیتریک ۶۵ درصد و ۱ میلی لیتر آب اکسیژنه ۳۶ درصد در ویال‌های دستگاه میکروویو به مدت ۳۰ دقیقه تحت دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد و پس از آن توسط کاغذ فیلتر واتمن، صاف و آب مقطر دوبار تقطیر شده به حجم ۵ میلی لیتر رسانده شد. جهت تعیین غلظت نهایی فلزات سنگین با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Germany AAS4Zeiss مجهز به کوره گرافیتی بر حسب میکروگرم بر گرم استفاده شد.

به‌منظور بررسی کنترل کیفیت قبل از آنالیز نمونه‌ها، از محلول‌های استاندارد عنصری که باید تعیین مقدار شود

مورد مطالعه صید گردید. همچنین شرایط محیطی از جمله pH، دما، درصد شوری و اکسیژن آب نیز اندازه گیری گردید.

پس از نمونه‌برداری، کلیه نمونه‌ها به منظور جلوگیری از تأثیر نور مستقیم آفتاب، در ظروف آلومینیومی نگهداری و از طریق یخدان به آزمایشگاه منتقل شدند و تا قبل از انجام آزمایش در یخچال تحت دمای ۴ درجه سانتیگراد نگهداری شدند. پس از انتقال نمونه‌های دوکفه‌ای به آزمایشگاه و شستشوی آن‌ها با آب مقطر دو بار تقطیر شده در ابتدا با استفاده از کولیس با دقت ۰/۰۰۱ عمل بیومتری و با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ توزین دوکفه‌ای انجام گردید. در مرحله بعد به کمک یک چاقوی استیل تمیز بافت نرم دوکفه‌ای‌ها از پوسته آن‌ها جدا و وزن تر بافت نرمشان یادداشت گردید.

به منظور هضم شیمیایی، بافت نرم دوکفه‌ای‌ها در

جذب فلزات سنگین از محیط آبی به صدف دسته چاقویی و تجزیه و تحلیل خطرات اکولوژیکی که هدف آن تعیین میزان خطر فلزات سنگین در اکولوژی آبی است.

تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد. برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید. برای نرمال نمودن داده‌ها از آزمون Wilk test استفاده شد. از آنالیز واریانس یک طرفه جهت ارتباط بین ایستگاه‌ها و به منظور ارتباط بین فصول از آزمون T-test و از آزمون همبستگی پیرسون جهت ارتباط بین عناصر استفاده گردید.

شاخص تجمع زیستی (BAF) اغلب زمانی اتفاق می‌افتد که یک ماده شیمیایی در ارگانیسمی که در معرض اکوسیستم‌های طبیعی قرار دارد، جذب و ذخیره می‌شود. فاکتور تجمع زیستی در موجودات براساس مقایسه غلظت فلزات سنگین در اندام‌های آبیان در برابر غلظت فلزات سنگین موجود در آب‌ها با رابطه (۱) تعیین می‌شود [۲۴].

$$\text{Bioaccumulation Factor (BAF)} = \frac{\text{Concentration of pollutants in organism (mg/kg)}}{\text{Concentration of pollutants in water (mg/l)}}$$

مقایسه غلظت آلاینده در آب‌ها با استاندارد کیفیت توصیه شده با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود [۲۴].

$$\text{Ecological Hazard Assessment (EHA)} = \frac{\text{Concentration of pollutants in water (mg/l)}}{\text{Quality standard threshold (mg/l)}}$$

حد استاندارد هر یک از فلزات سنگین مورد مطالعه به شرح جدول (۲) می‌باشد [۲۵].

برای رسم منحنی کالیبراسیون استفاده شد تا بوسیله آن‌ها بتوان غلظت عناصر در نمونه‌های مورد آزمایش را با توجه به میزان جذب نور آن‌ها بدست آورد. برای این کار حداقل ۴ غلظت مختلف از هر یک از استانداردهای فلزی انتخاب و هر یک از آن‌ها را به داخل دستگاه تزریق (محلول استاندارد ۰/۵-۱-۲-۴ میکروگرم بر لیتر برای کبالت و ۰/۱-۰/۲-۰/۴-۰/۸ میکروگرم بر لیتر برای کروم و کادمیوم و محلول استاندارد ۱-۲-۴-۸ میکروگرم بر لیتر برای نیکل و وانادیوم تهیه گردید) و میزان جذب آن‌ها ثبت گردد. سپس جذب نمونه‌ها در دستگاه جذب اتمی مورد قرائت و برای صحت کار از نمونه بافت آبیان استاندارد شده و دارای گواهینامه بین‌المللی استفاده گردید و با توجه به منحنی استاندارد غلظت، نمونه‌های مجهول بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک محاسبه و ثبت گردید [۲۳].

تجزیه و تحلیل داده‌ها در این مطالعه عبارتند از تجزیه و تحلیل غلظت فلزات سنگین در آب و صدف دسته چاقویی، تجزیه و تحلیل عوامل تجمع زیستی برای تعیین میزان

سطح بالایی از خطر محیط زیستی (EHA) زمانی رخ می‌دهد که غلظت مواد شیمیایی در محیط آبی بالاتر از آستانه استاندارد کیفیت باشد. مقدار این سطح براساس

براساس استاندارد کیفیت آب دریا‌های ایران که در سال ۱۳۹۹ توسط سازمان حفاظت محیط زیست منتشر گردید

جدول ۲: حد استاندارد کیفیت آب دریا‌های ایران			
ردیف	متغیر	یکا	حدود مجاز
۱	کبالت	میکروگرم بر لیتر	۲
۲	کروم	میکروگرم بر لیتر	۵
۳	کادمیوم	میکروگرم بر لیتر	۵



جدول ۲: حد استاندارد کیفیت آب دریاهاى ایران			
ردیف	متغیر	یکا	حدود مجاز
۴	نیکل	میکروگرم بر لیتر	۵
۵	وانادیوم	میکروگرم بر لیتر	-

یافته‌ها:

پارامترها حاکی از آن است که میانگین میزان پارامترهای دما، اکسیژن محلول، اسیدیته و شوری در فصل تابستان بیشتر از فصل زمستان است.

در جداول ۳ و ۴ میزان پارامترهای محیطی آب در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. نتایج بررسی این

جدول ۳: میانگین پارامترهای محیطی در ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل تابستان				
ایستگاه	دما (°C)	اکسیژن محلول (Mg/L)	PH	شوری
اول (خور اسکله)	۳۴/۰۰	۲/۵۰	۸/۵۰	۳۹/۵
دوم (خور بالا کرت)	۳۴/۰۰	۲/۰۶	۸/۳۰	۳۹/۵
سوم (خور قشم)	۳۳/۰۰	۲/۰۲	۸/۳۸	۳۹/۵
میانگین	۳۳/۶۷	۲/۱۹	۸/۳۹	۳۹/۵
انحراف معیار	۰/۵۸	۰/۲۷	۰/۱۰	۰/۰

جدول ۴: میانگین پارامترهای محیطی در ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل زمستان				
ایستگاه	دما (°C)	اکسیژن محلول (Mg/L)	PH	شوری (%)
۱	۲۰/۰۰	۱/۶۶	۸/۲۲	۳۹/۳
۲	۱۹/۰۰	۱/۹۳	۸/۳۱	۳۹/۳
۳	۲۱/۰۰	۲/۱۳	۸/۳۳	۳۹/۳
میانگین	۲۰/۶۷	۱/۹۱	۸/۲۹	۳۹/۳
انحراف معیار	۱/۰۰	۰/۲۴	۰/۰۶	۰/۰

خشک بدن در ایستگاه‌های مختلف در جدول ۵ ارائه شده است.

نتایج اندازه‌گیری شاخص‌های بیومتری صدف *Solen* *Rosemaculatus* شامل طول، عرض، قطر، وزن تر و وزن

جدول ۵: نتایج بیومتری دوکفه ای <i>Solen rosemaculatus</i> در ایستگاه‌های مورد مطالعه در خور خوران							
شاخص	ایستگاه مطالعاتی	میانگین	اشتباه استاندارد	انحراف معیار	حداقل	حداکثر	ANOVA Sig. F
طول	خور اسکله	۶/۷۶۶	۰/۰۸۱	۰/۰۳۶	۶/۶۷۰	۶/۸۷۰	۰/۰۰ ۴۱/۴۷
	خور بالا کرت	۶/۹۷۴	۰/۰۵۲	۰/۰۲۳	۶/۹۱۰	۷/۰۴۰	
	خور قشم	۷/۱۱۴	۰/۰۴۳	۰/۰۱۹	۷/۰۶۰	۷/۱۷۰	
عرض	خور اسکله	۱/۷۸۰	۰/۰۲۲	۰/۰۱۰	۱/۷۵۰	۱/۸۱۰	۰/۰۰ ۶۴/۵۰
	خور بالا کرت	۱/۸۶۰	۰/۰۱۶	۰/۰۰۷	۱/۸۴۰	۱/۸۸۰	
	خور قشم	۱/۹۱۰	۰/۰۱۶	۰/۰۰۷	۱/۸۹۰	۱/۹۳۰	

جدول ۵: نتایج بیومتری دوکفه ای *Solen roseamaculatus* در ایستگاه‌های مورد مطالعه در خور خوران

شاخص	ایستگاه مطالعاتی	میانگین	اشتباه استاندارد	انحراف معیار	حداقل	حداکثر	ANOVA	
							F	Sig.
قطر	خور اسکله	۱/۵۰۶	۰/۱۷۷	۰/۰۷۹	۱/۳۴۰	۱/۷۲۰	۱۳/۷۳	۰/۰۰
	خور بالا کرت	۱/۸۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۸۰۰	۱/۸۰۰		
	خور قشم	۱/۸۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۸۰۰	۱/۸۰۰		
وزن تر	خور اسکله	۳/۵۷۸	۰/۹۷۱	۰/۴۳۴	۲/۸۴۰	۵/۱۹۰	۱/۸۳	۰/۲۰
	خور بالا کرت	۳/۲۸۴	۰/۵۲۳	۰/۲۳۴	۲/۷۳۰	۳/۹۴۰		
	خور قشم	۴/۰۸۶	۰/۳۶۳	۰/۱۶۲	۳/۴۵۰	۴/۳۲۰		
وزن خشک	خور اسکله	۱/۳۸۰	۰/۳۴۷	۰/۱۵۵	۱/۰۹۰	۱/۹۴۰	۳/۴۷	۰/۰۷
	خور بالا کرت	۱/۲۰۸	۰/۰۹۱	۰/۰۴۱	۱/۱۲۰	۱/۳۶۰		
	خور قشم	۱/۵۷۸	۰/۱۴۱	۰/۰۶۳	۱/۳۴۰	۱/۶۷۰		

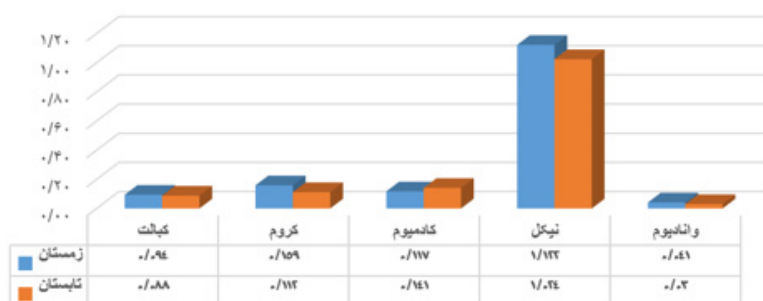
می‌تواند نشان‌دهنده تأثیرپذیری بیشتر جمعیت‌های صدفی در خور خوران از عوامل محیطی، تغذیه‌ای و رسوبی باشد. همچنین نتایج حاصل از بیومتری صدف دسته چاقویی بیان می‌کنند که این صدف‌ها در فصل تابستان میانگین وزنی بیشتری نسبت به فصل زمستان دارند.

نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های بافت نرم صدف دسته چاقویی منطقه حفاظت شده حرا در فصول تابستان و زمستان به ترتیب در نمودار (۱) و نتایج حاصل از آنالیز نمونه آب در نمودار (۲) نشان داده شده است. نتایج حاصل از نمودار (۱) نشان می‌دهد که میانگین غلظت فلزات سنگین کبالت، کروم، نیکل و وانادیوم در فصل زمستان نسبت به فصل تابستان بیشتر و غلظت کادمیوم در فصل تابستان بیشتر از زمستان بوده است.

نتایج آزمون ANOVA نشان داد که تفاوت‌های آماری معناداری در شاخص‌های طول، عرض و قطر صدف‌ها بین ایستگاه‌های خور اسکله، خور بالا کرت و خور قشم در منطقه حفاظت شده خور خوران وجود دارد ($P < 0/001$). به عنوان مثال، میانگین طول صدف‌ها در خور قشم ۷/۱۱ سانتی‌متر و در خور اسکله ۶/۷۷ سانتی‌متر گزارش شده است که بیانگر تأثیر تفاوت‌های زیست‌محیطی منطقه‌ای بر رشد بیومتری گونه مورد مطالعه است. با این حال، وزن تر صدف‌ها در این منطقه تفاوت معناداری نشان نداد ($P = 0/20$) و تنها وزن خشک صدف‌ها در آستانه معناداری قرار داشت ($P = 0/07$) که ممکن است با افزایش حجم نمونه، به سطح معنی‌داری برسد.

در مجموع، نتایج به دست آمده حاکی از آن است که تغییرات فضایی بین ایستگاه‌ها در منطقه خور خوران،

میانگین غلظت در صدف

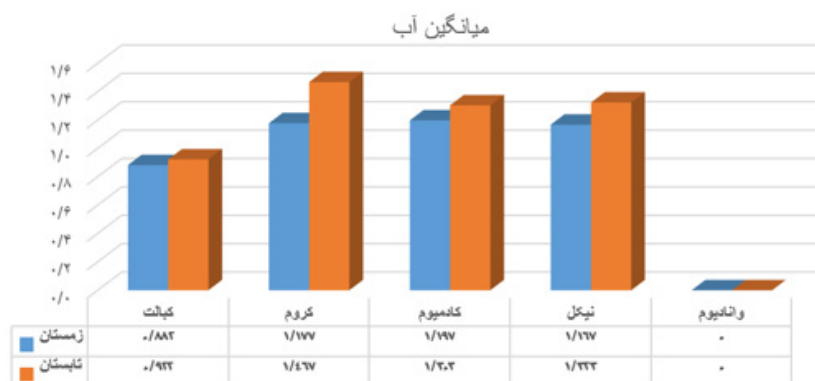


نمودار ۱: میانگین غلظت فلزات سنگین بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک در صدف دسته چاقویی

فلز وانادیوم در نمونه آب مشاهده نشد.

نتایج مربوط به اندازه‌گیری مقادیر فلزات در آب دریا و بافت نمونه بافت آبزیان استاندارد شده Dorm-2 و IAEA-407 در تمامی مراحل آماده‌سازی نمونه‌ها به منظور بررسی دقت اندازه‌گیری دستگاه و مراحل آماده‌سازی نمونه ۹۶ درصد بود که بیانگر صحت روش اندازه‌گیری است.

نتایج حاصل از نمودار (۲) نشان می‌دهد که میانگین غلظت فلزات سنگین کبالت، کروم، نیکل و کادمیوم در فصل تابستان بیشتر از فصل زمستان است. علاوه بر آن نتایج حاصل از بررسی این جداول نشان می‌دهد که میزان فلزات سنگین در آب‌های منطقه حفاظت شده حرا در فصول تابستان و زمستان به ترتیب $Co > Cd > Cr > Ni > V$ می‌باشد. همچنین در هیچ یک از فصول زمستان و تابستان



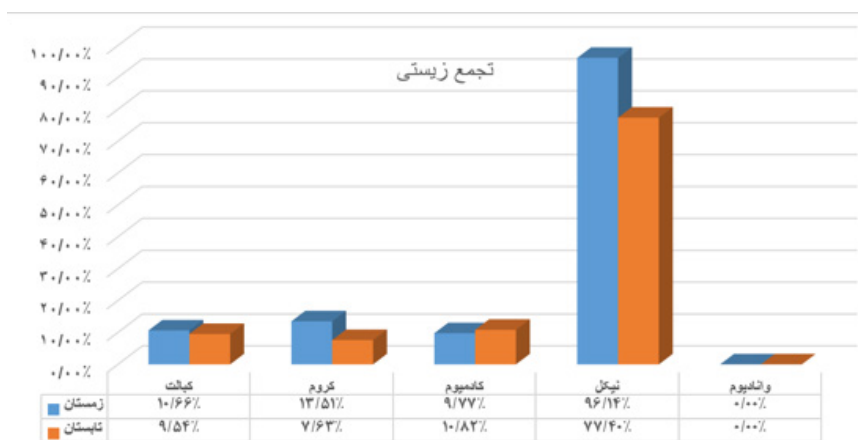
نمودار ۲: میانگین غلظت فلزات سنگین در آب منطقه مورد مطالعه بر حسب میکروگرم بر لیتر

گردید. ارزش BAF در آبزیان تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله ماهیت ارگانیک است که آلاینده‌ها را به راحتی جذب می‌کند و یا مرتبط با زنجیره غذایی در آب است [۱۱]. موقعیت سطح تروفیک نیز می‌تواند بر سطح تجمع زیستی تأثیر بگذارد [۲۶]. با این حال، قرار گرفتن طولانی‌مدت آبزیان با مواد شیمیایی ممکن است باعث تجمع زیستی و بزرگ‌نمایی زیستی شود که به گونه‌های آبی و اکوسیستم آسیب کلی می‌رساند [۲۷].

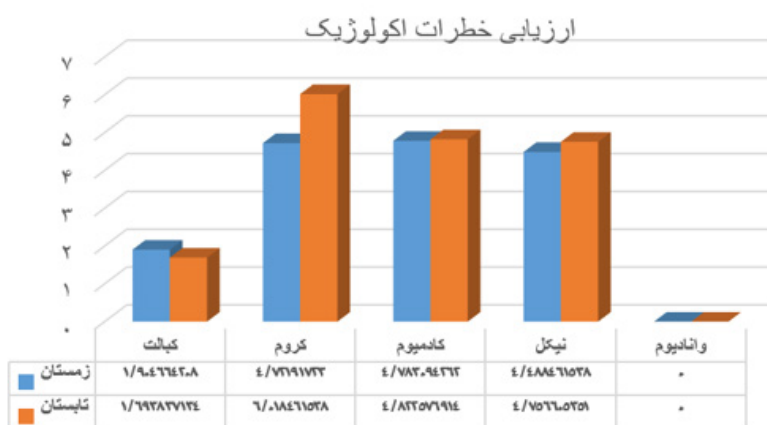
خطر محیط زیستی سطح بالا زمانی رخ می‌دهد که غلظت مواد شیمیایی در محیط آبی بالاتر از آستانه استاندارد کیفیت باشد. بنابراین براساس استاندارد کیفیت آب دریاهای ایران که در سال ۱۳۹۹ توسط سازمان حفاظت محیط زیست منتشر گردید، غلظت فلزات سنگین منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. نتایج حاصله نشان می‌دهد که کروم، کادمیوم، نیکل و کبالت به ترتیب بیشترین خطر محیط زیستی را به همراه دارند که به این معنی است که سطح تأثیر خطر بر محیط زیست و آبزیان در عنصر کروم بیش از

شاخص تجمع زیستی (BAF) اغلب زمانی اتفاق می‌افتد که یک ماده شیمیایی در ارگانیک می‌شود. اکوسیستم‌های طبیعی قرار دارد، جذب و ذخیره می‌شود. فاکتور تجمع زیستی در موجودات براساس مقایسه غلظت فلزات سنگین در اندام‌های آبزیان در برابر غلظت فلزات سنگین موجود در آب‌ها محاسبه می‌گردد. براساس نتایج تجزیه و تحلیل BAF که در نمودار (۳) نشان داده شده است مشخص گردید که درصد تجمع زیستی نیکل در هر دو فصل بیش از سایر فلزات بوده، که به این معنی است که سطح جذب نیکل توسط صدف چاقویی بیش از سایر فلزات می‌باشد. از آنجا که ساکنین جوامع محلی در خطوط ساحلی خلیج فارس، خصوصاً استان هرمزگان از صدف دسته چاقویی در زنجیره غذایی خود استفاده می‌کنند وجود این فلزات خصوصاً نیکل می‌تواند باعث اثرات سوء بر انسان گردد که از آن جمله می‌توان به بروز جهش نژادی و سرطان در بین این افراد اشاره نمود. همچنین با توجه به استفاده از این صدف در مزارع میگو امکان انتقال این فلز سنگین به بدن میگو و متعاقباً ورود به بدن انسان را می‌توان متصور

سایر فلزات سنگین مورد مطالعه می باشد.



نمودار ۳: میزان تجمع زیستی فلزات مورد مطالعه در نرم‌تنان



نمودار ۴: ارزیابی خطرات اکولوژیکی فلزات مورد مطالعه

بدن نیست و مصرف غذاهای حاوی فلزات سنگین از راه‌های دیگر مانند برنج، گندم و سبزیجات که قسمت اعظم غذای ایرانیان است، ممکن است موجب ورود بیشتر فلزات سنگین برای مصرف کنندگان را موجب گردد [۳].

توالی غلظت فلزات سنگین در دو فصل تابستان و زمستان نشان می‌دهد که غلظت فلز نیکل از غلظت سایر فلزات بیشتر می‌باشد. با توجه به آزمایش‌ها و آنالیزهای انجام شده در این پژوهش، میزان فلزات سنگین نرم‌تنان به شرح زیر می‌باشد:

غلظت کبالت در فصل تابستان و زمستان به ترتیب ۰/۰۸۸ و ۰/۰۹۴ میکروگرم بر گرم وزن خشک می‌باشد که

بحث و نتیجه‌گیری:

صدف دسته چاقویی گونه‌ای از دوکفه‌ای‌ها، با فراوانی قابل ملاحظه در سواحل گلی شنی استان هرمزگان می‌باشد. در سال‌های گذشته صدف دسته چاقویی در اکثر سواحل گلی خلیج فارس وجود داشت ولی در زمان انجام این پژوهش در زمستان و تابستان ۱۴۰۰ در منطقه حفاظت شده حرا این دوکفه‌ای فقط در چند منطقه محدود قابل صید بود و به نقل از بومیان محلی جمعیت آن‌ها به طور قابل توجهی کاهش یافته است که می‌تواند ناشی از افزایش آلاینده‌ها و همچنین صید بی رویه آن‌ها باشد. باید توجه داشت که مصرف نرم تنان تنها مسیر ورود فلزات سنگین به



نتایج آزمون همبستگی پیرسون نشان می‌دهد که همبستگی معنی‌دار مثبتی بین مقادیر کروم و کبالت وجود دارد ($P < 0.01$). و با توجه به این که در پوسته زمین و سنگ‌های قلیایی معمولاً کروم و کبالت همراه هم یافت می‌شوند، این همبستگی می‌تواند منشاء زمین شناسی داشته باشد [۱۲، ۲۹].

میزان کادمیوم در بافت نرم دوکفه ای در فصل تابستان ۰/۱۴۱ و در فصل زمستان ۰/۱۱۷ میکروگرم بر گرم وزن خشک گزارش گردید. با استفاده از آزمون T اختلاف معنی‌داری در بین فصول مشاهده شد. ($P < 0.05$). از مهم‌ترین دلایل این میزان را می‌توان ناشی از تشکیل متالوتونین در دوکفه ای دارای گناد نارس تر در فصل زمستان دانست. تغییر سمیت فلزات، کاهش یا افزایش فعالیت مکانسیم دفع سموم از طریق متالوتونین و ذخیره آن در گرانول‌ها را سبب می‌گردد که منجر به ایجاد تفاوت در تجمع فلزات سنگین در دوکفه‌ای‌ها می‌گردد. نتایج این بخش از مطالعه کاملاً با تحقیقات بوردین و همکاران و هدوین و همکاران هم خوانی دارد [۷، ۳۰]. اما در مورد میزان کادمیوم و ایستگاه، اختلاف معنی‌داری یافت نشد ($P > 0.05$). از طرفی بالا بودن میزان کادمیوم در فصل تابستان نسبت به زمستان را می‌توان ناشی از بالا بودن میزان دما و اسیدیته در تابستان دانست چرا که افزایش دما می‌تواند باعث افزایش سمیت کادمیوم شود [۳۱]. البته میزان اسیدیته بالا نیز در تابستان منجر به افزایش سمیت کادمیوم می‌شود [۲۹].

با توجه به نتایج آزمون همبستگی پیرسون مشاهده شد که بین کادمیوم و نیکل همبستگی مثبت معنی‌داری وجود دارد ($P < 0.05$). با توجه به پژوهش‌های صورت گرفته توسط مقتدری و همکاران منشاء عناصر کادمیوم و نیکل در خلیج فارس، زمین شناسی بیان شده است [۱۲]. بدین ترتیب وجود همبستگی مثبت معنی‌دار بین کادمیوم و نیکل را در این جا می‌توان به وجود منشاء یکسان زمین شناسی مرتبط دانست.

نتایج نشان می‌دهد که غلظت نیکل در دو فصل تابستان و زمستان به ترتیب ۱/۰۲۴ و ۱/۱۲۲ میکروگرم بر گرم وزن

نشان دهنده این است که در فصل زمستان تا حدودی این مقدار بیشتر است که با نتایج تحقیق عبداللہی و همکاران نیز سازگاری دارد [۲۸].

نتایج حاصل از آزمون T-test نشان می‌دهد که اثر فصل در تجمع کبالت در صدف دسته‌چاقویی تاثیر گذار نبوده و اختلاف معنی‌داری در بین این مقادیر در دو فصل نمونه برداری، مشاهده نشده ($P > 0.05$). همچنین بین مقادیر کبالت در ایستگاه‌های مختلف هم اختلاف آماری معنی‌داری یافت نشد ($P < 0.05$).

تغییر فلزات در بافت‌های دوکفه‌ای‌ها در فصول مختلف را می‌توان با توجه به چرخه زیستی آن‌ها توضیح داد. از طرفی بسیاری از دوکفه‌ای‌ها از جمله صدف دسته‌چاقویی در فصل تابستان تخم‌ریزی می‌کنند که خود می‌تواند سبب کاهش میزان فلزات سنگین در اندام‌های آنان گردد. از طرف دیگر با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه منبع قابل توجهی جهت ورود کبالت به آب وجود ندارد، دلیل وجود تجمع این فلز را می‌توان به ساختار ژئوشیمیایی زمین دانست.

نتایج حاصل از آزمون پیرسون همبستگی مثبت معنی‌داری را بین کبالت و نیکل نشان می‌دهد ($P < 0.01$). دلیل همبستگی کبالت با نیکل را می‌توان به ماهیت شیمیایی کبالت نسبت داد که معمولاً در طبیعت همراه با نیکل یافت می‌شود [۲۸].

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد میانگین کروم در فصل تابستان ۰/۱۱۲ و در زمستان ۰/۱۵۹ میکروگرم بر گرم وزن خشک در کل بافت نرم دوکفه‌ای می‌باشد. با استفاده از ANOVA یک‌طرفه بین ایستگاه‌های سه‌گانه و با استفاده از آزمون T اختلاف معنی‌داری در بین فصول مشاهده شد. ($P < 0.05$). این اختلاف معنی‌دار می‌تواند ناشی از میزان دسترسی به مواد غذایی و ذخیره آن در فصول تابستان و زمستان باشد. از دلایل کاهش میزان کروم در فصل تابستان می‌توان به تخم‌ریزی و چرخه زیستی دوکفه‌ای اشاره کرد که کاناکاراجو و همکاران نیز به این نتیجه رسیده بودند [۲۸].

زمستان می‌باشد. اما میزان کادمیوم در فصل زمستان کمی کمتر از فصل تابستان گزارش شده است. اما میزان تجمع زیستی فلز نیکل در این دو کفه‌ای نسبت به سایر فلزات در هر دو فصل بسیار بالاتر گزارش شده است.

نتیجه ارزیابی اکولوژیک فلزات سنگین در صدف دسته‌چاقویی در منطقه حفاظت شده حرا با استاندارد کیفیت آب دریاهای ایران مقایسه گردید، نتایج نشان می‌دهد اگرچه این میزان در فصل تابستان و زمستان در فلز کبالت، کادمیوم و نیکل (نمودار ۴) به آستانه مجاز استاندارد مذکور (جدول ۲) نزدیک شده است اما کماکان پایین‌تر از میزان مجاز می‌باشد که می‌تواند ناشی از افزایش فعالیت‌های صنعتی و حمل‌ونقل دریایی در سال‌های اخیر باشد [۲۵]. اما فلز کروم اگرچه در فصل زمستان در آستانه حد مجاز قرار دارد اما در فصل تابستان میزان خطر اکولوژیک آن بالاتر از میزان مجاز گزارش شده است.

با توجه به آنکه در حال حاضر پژوهش‌های چندانی در خصوص غلظت این فلزات در دوکفه‌ای‌های جنگل‌های حرا منطقه مورد مطالعه در کشور در دسترس نیست، لیکن تحقیق کنونی با مطالعه‌ی صورت گرفته حبیبی و همکاران بر روی دوکفه‌ای *Barbatia Helblingii* در سواحل بوشهر، نزدیکی دارد [۳۱]. همچنین با یافته‌های نتایج پژوهشی‌های کاناکاراجو و همکاران بر روی روند تغییرات فلزات سنگین در صدف *Solen Regularis* در مناطق Moyan و Sepran کشور مالزی نیز نزدیک بود [۲۸]. در کل براساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، لزوم حفظ و کنترل سلات محیط‌های دریایی، توجه بیش از پیش به ایجاد سیستم‌های مناسب تصفیه فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی و اعمال مدیریت بهینه به منظور ممانعت از ورود این دست از آلاینده‌ها مورد نیاز می‌باشد.

از آنجا که از طرفی در خطوط ساحلی خلیج فارس، نرم‌تنان جهت خوراک دام، طیور، آبزیان و همچنین انسان مصرف می‌گردند و از طرف دیگر مصرف بیش از حد آن می‌تواند باعث جهش ژنتیکی و ایجاد سرطان در انسان گردد با استناد به نتایج حاصل از این مطالعه تهیه سند ملی

خشک می‌باشد. انتشار نیکل به محیط زیست از طریق استخراج نفت خام، استخراج از معادن و از سوختن مواد زاید صورت می‌گیرد [۳۲].

نتایج حاصل از آزمون T تفاوت معنی‌داری را برای نیکل در دو فصل نشان نداد ($P>0/05$). از طرف دیگر نتایج آزمون آنووا یک طرفه اختلاف معنی‌داری را در بین ایستگاه‌ها نشان نداد ($P>0/05$). در تحقیق حاضر فلز نیکل بالاترین مقدار را به خود اختصاص داد. خلیج فارس با توجه به دارا بودن منابع عظیم نفت و گاز، به اصلی‌ترین مسیر تردد کشتی‌ها، نفتکش‌ها و فعالیت پالایشگاهی تبدیل شده است. هر گونه نشت نفت خام به اکوسیستم آبی خلیج فارس باعث آلودگی‌های متعدد شده است. با توجه به اینکه نیکل و وانادیوم دو فلز عمده تشکیل دهنده در نفت خام می‌باشند ورود این فلزات به محیط آبی می‌تواند با توجه به نوع تغذیه دوکفه‌ای‌ها باعث تغلیظ این فلزات در بدن آن‌ها گردند [۷].

نتایج آزمون پیرسون همبستگی مثبت معنی‌داری بین نیکل و کروم را نشان می‌دهد ($P<0/01$). بالا بودن میانگین کروم و نیکل را می‌توان دلیلی بر این همبستگی دانست [۳۳].

نتایج ارزیابی وانادیوم نشان می‌دهد که غلظت این فلز در دو فصل زمستان و تابستان به ترتیب ۰/۰۴۱ و ۰/۰۳۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک می‌باشد. میزان وانادیوم کمترین فلز استخراج شده از بافت نمونه زیستی بود که نشان دهنده این است که منشاء مهم و مخاطره‌انگیزی برای انتشار این فلز وجود ندارد.

اگرچه میانگین شاخص تجمع زیستی فلزات کبالت، کروم و کادمیوم در صدف دسته‌چاقویی در ایستگاه‌های سه‌گانه منطقه حفاظت شده حرا متفاوتی هستند اما تقریباً یکنواخت می‌باشند، این میزان در فصل تابستان هر کدام به ترتیب ۹/۵۴ درصد، ۷/۶۳ درصد و ۱۰/۸۲ درصد و در فصل زمستان هر کدام به ترتیب ۱۰/۶۶ درصد، ۱۳/۵۱ درصد و ۹/۷۷ درصد. این نتایج حاکی از آن است که میزان تجمع زیستی کبالت و کروم در فصل تابستان کمتر از فصل



میزان مصرف نرم‌تنان برای پایش سلامت ساکنان خطوط ساحلی سواحل شمالی خلیج فارس حائز اهمیت ملی است.

ملاحظات اخلاقی:

پیروی از اصول اخلاق در پژوهش

این مطالعه دارای تاییدیه اخلاقی به شماره IR.IAU. BA.REC.1405.026 از دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس است.

حامی مالی

این مقاله از طرف هیچ گونه نهاد یا موسسه ای حمایت مالی نشده و تمام منابع مالی آن از طرف نویسندگان تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان در مفهوم‌سازی و نوشتن مقاله مشارکت کردند. تمامی نویسندگان محتوای نسخه خطی را تأیید کردند و در مورد تمام جنبه‌های کار به توافق رسیدند.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافی در پژوهش حاضر وجود ندارد.

تشکر و قدردانی

از اساتید و کارکنان معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان و همچنین اساتید و کارکنان دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس به دلیل همکاری و حمایت از این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.



References

- Mehrabanfar Z, Feghhi J, Danehkar A, Sobhani P. Prioritization of factors affecting the distribution of Iranian mangrove forests using the Delphi approach. *Ecol Iran For*. 2026; 14(1):44-56. DOI: [10.61882/ifej.2026.602](https://doi.org/10.61882/ifej.2026.602)
- Aljahdali MO, Alhassan AB. Ecological risk assessment of heavy metal contamination in mangrove habitats, using biochemical markers and pollution indices: A case study of *Avicennia marina* L. in the Rabigh lagoon, Red Sea. *Saudi J Biol Sci*. 2020; 27(4):1174-84. DOI: [10.1016/j.sjbs.2020.02.004](https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.02.004) PMID: [32256181](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32256181/)
- Norouzi M, Sadeghi MM, Bagheri Tavani M, Zandavar H. Heavy Metal Accumulation in Tissues of Three Fish Species from the Persian Gulf. *JEST*. 2019; 21(6):197-212. [In Persian] [Link](#)
- Prato E, Biandolino F, Parlapiano I, Giandomenico S, Denti G, Calò M, et al. Proximate, fatty acids and metals in edible marine bivalves from Italian market: Beneficial and risk for consumers health. *Sci Total Environ*. 2019; 648:153-63. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.07.382](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.382) PMID: [30114586](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30114586/)
- Liu J, Cao L, Dou S. Bioaccumulation of heavy metals and health risk assessment in three benthic bivalves along the coast of Laizhou Bay, China. *Mar Pollut Bull*. 2017; 117(1-2):98-110. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2017.01.062](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.062) PMID: [28159333](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28159333/)
- Won EJ, Kim KT, Choi JY, Kim ES, Ra K. Target organs of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* for studying metal accumulation and biomarkers in pollution monitoring: laboratory and in-situ transplantation experiments. *Environ Monit Assess*. 2016; 188(8):478. DOI: [10.1007/s10661-016-5485-y](https://doi.org/10.1007/s10661-016-5485-y) PMID: [27450372](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27450372/)
- Bordin G, McCourt J, Raposo FC, Rodriguez AR. Metallothionein-like metalloproteins in the Baltic clam *Macoma balthica*: Seasonal variations and induction upon metal exposure. *Marine Biology*. 1997; 129(3):453-63. DOI: [10.1007/s002270050186](https://doi.org/10.1007/s002270050186)
- Radkhah AR, Eagderi S, Sadeghinejad Masouleh E. Accumulation of heavy metals in fish: A serious threat to food security and public health. *J Mar Med*. 2022; 3(4):236-45. [In Persian] DOI: [10.30491/3.4.236](https://doi.org/10.30491/3.4.236)
- Ali H, Khan E, Ilahi I. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *J Chem*. 2019; 2019(1):6730305. DOI: [10.1155/2019/6730305](https://doi.org/10.1155/2019/6730305)
- Khan S, Shamshad I, Waqas M, Nawab J, Ming L. Remediating industrial wastewater containing potentially toxic elements with four freshwater algae. *Ecological Engineering*. 2017; 102:536-41. DOI: [10.1016/j.ecoleng.2017.02.038](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.02.038)
- Arnot JA, Gobas FA. A review of bioconcentration factor (BCF) and bioaccumulation factor (BAF) assessments for organic chemicals in aquatic organisms. *Environ Rev*. 2006; 14(4):257-97. DOI: [10.1139/A06-005](https://doi.org/10.1139/A06-005)
- Moghtaderi T, Mahmoudi S, Shakeri A, Masihabadi MH. Contamination evaluation, health and ecological risk index assessment of potential toxic elements in the surface soils (case study: Central Part of Bandar Abbas County). *Journal of Water and Soil Resources Conservation*. 1970; 8(4):51-66. [In Persian] [Link](#)
- Arumugam G, Rajendran R, Ganesan A, Sethu R. Bioaccumulation and translocation of heavy metals in mangrove rhizosphere sediments to tissues of *Avicennia marina*—A field study from tropical mangrove forest. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 2018; 10:272-9. DOI: [10.1016/j.enmm.2018.07.005](https://doi.org/10.1016/j.enmm.2018.07.005)
- El-Sharkawy M, Alotaibi MO, Li J, Du D, Mahmoud E. Heavy metal pollution in coastal environments: Ecological implications and management strategies: a review. *Sustainability*. 2025; 17(2):701. DOI: [10.3390/su17020701](https://doi.org/10.3390/su17020701)
- Zhang Y, Jacob DJ, Horowitz HM, Chen L, Amos HM, Krabbenhoft DP, et al. Observed decrease in atmospheric mercury explained by global decline in anthropogenic emissions. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2016; 113(3):526-31. DOI: [10.1073/pnas.1516312113](https://doi.org/10.1073/pnas.1516312113) PMID: [26729866](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26729866/)
- Rajeshkumar S, Liu Y, Zhang X, Ravikumar B, Bai G, Li X. Studies on seasonal pollution of heavy metals in water, sediment, fish and oyster from the Meiliang Bay of Taihu Lake in China. *Chemosphere*. 2018; 191:626-38. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2017.10.078](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.078) PMID: [29078187](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29078187/)
- Gao Y, Wang R, Li Y, Ding X, Jiang Y, Feng J, et al. Trophic transfer of heavy metals in the marine food web based on tissue residuals. *Sci Total Environ*. 2021; 772:145064. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2021.145064](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145064) PMID: [33770865](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33770865/)
- Liu L, Zheng YY, Shao CL, Wang CY. Metabolites from marine invertebrates and their symbiotic microorganisms: Molecular diversity discovery, mining, and application. *Mar Life Sci Technol*. 2019; 1(1):60-94. DOI: [10.1007/s42995-019-00021-2](https://doi.org/10.1007/s42995-019-00021-2)
- Zimmermann S, Sures B. Lessons learned from studies with the freshwater mussel *Dreissena polymorpha* exposed to platinum, palladium and rhodium. *Sci Total Environ*. 2018; 615:1396-1405. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.09.204](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.204) PMID: [29751444](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29751444/)
- Turner A, Holmes LA. Adsorption of trace metals by microplastic pellets in fresh water. *Environ Chem*. 2015; 12(5):600-10. DOI: [10.1071/EN14143](https://doi.org/10.1071/EN14143)
- Einolahi F, Safahieh A, Dadollahi Sohrab A, Savari A. Accumulation of heavy metals in sediment and oyster (*Saccostrea cucullata*) in the intertidal zone of Chabahar coast. *J Mar Sci Technol*. 2012; 10(2):10-25. [Link](#)
- Safahieh A, Habibi S, Zanos HP, Fathtabar M. Accumulation of Heavy Metals (Cu, Ni, Pb, Cd) in the Sediment and Razor Clam, *Solen Roseomaculatus* in the Shorelines of Bushehr Province. *J Oceanogr*. 2016; 7(27):41-8. [In Persian] [Link](#)
- Moopam P. Manual of oceanographic observation and pollutant analyses methods. 3th. Kuwait. 2010. p.321. [Link](#)
- Akinola JO, Olawusi-Peters OO, Akpambang VOE. Ecological hazards of Total petroleum hydrocarbon in brackish water white Shrimp *Nematopalaemon hastatus* (AURIVIL-LUS 1898). *Egyptian Journal of Aquatic Research*. 2019; 45(3):205-10. DOI: [10.1016/j.ejar.2019.07.004](https://doi.org/10.1016/j.ejar.2019.07.004)
- Department of Environment (DOE) of Iran. Standard for



Water Quality of Iranian Seas (Persian Gulf - Oman Sea - Caspian Sea). 2020. [Link](#)

26. Mackintosh CE, Maldonado J, Hongwu J, Hoover N, Chong A, Ikonomou MG, et al. Distribution of phthalate esters in a marine aquatic food web: Comparison to polychlorinated biphenyls. *Environ Sci Technol*. 2004; 38(7):2011-20. DOI: [10.1021/es034745r](#) PMID: [15112801](#)
27. Belwal S, Jadeja S. Biomarkers for the biodiversity loss and restoration of degraded ecosystems. In *Biomarkers in Environmental and Human Health Biomonitoring 2024*; (pp. 227-246). Academic Press. DOI: [10.1016/B978-0-443-13860-7.00010-0](#)
28. Kanakaraju D, Jios C, Long SM. Heavy metal concentrations in the razor clam (*Solen Spp*) from Muara Tebas, Sarawak. *MJAS*. 2008; 12(1):53-8. [Link](#)
29. Abdollahi S, Azimzadeh H, Ekhtesasi M, Mosleh-Arani A. Evaluation of quantitative changes, pollution indexes and distribution of heavy metals Pb and Cd in the dust falling (case study: Zahedan city). *Adv Env Sci*. 2021; 19(1):1-8. [In Persian] DOI: [10.52547/ENVS.29142](#)
30. Hédouin L, Metian M, Teyssié JL, Fowler SW, Fichez R, Warnau M. Allometric relationships in the bioconcentration of heavy metals by the edible tropical clam *Gafrarium tumidum*. *Sci Total Environ*. 2006; 366(1):154-63. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2005.10.022](#) PMID: [16730783](#)
31. Habibi S, Safahieh A, Pashazanoosi H. Determination of the Contamination Level of Heavy Metals (Cu, Pb, Ni, Cd) in Coastal Sediments of Bushehr Province. *JMST*. 2013; 11(4):84-90. [In Persian] [Link](#)
32. Ranjbar Jafarabadi A, Riyahi Bakhtiyari A, Shadmehri Toosi A, Jadot C. Spatial distribution, ecological and health risk assessment of heavy metals in marine surface sediments and coastal seawaters of fringing coral reefs of the Persian Gulf, Iran. *Chemosphere*. 2017; 185:1090-11. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2017.07.110](#) PMID: [28764111](#)
33. Partani S, Rashidi A, Jarahi H, Jafari A, Arzhang A. Evaluation of the ecological risk of heavy metals in the sediments of coastal wetlands Case study: Coastal wetlands of Chabahar Bay, mangrove ecosystem. *IJSWR*. 2024; 54(11):1733-57. [In Persian] DOI: [10.22059/ijswr.2023.360884.669517](#)

