Journal of Marine Medicine
Spring 2023, Volume 5, Issue 1
Pages: 56-65
10.30491/5.1.56

Evaluation of the Degree of Toxicity of Heavy Metals (Lead, Cadmium, Copper and Zinc) on Macrobenthic Communities in the Persian Gulf

Keivan Ejlali Khanghah [1 *], Saeid Tamadoni Jahromi [1], Hossein Jafari [2], Sajjad Pourmozaffar [3], Shohreh Rashidi [4]

[1] Assistant Professor, Persian Gulf and Oman Sea Ecology Research Center, Iranian Fisheries Sciences Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Bandar Abbas, Iran
[2] Marine Medicine Research Center, Tehran, Iran
[3] Assistant Professor, Persian Gulf Mollusks Research Station, Persian Gulf and Oman Sea Ecology Research Center, Iranian Fisheries Sciences Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Bandar-e- Lengeh, Iran
[4] Iranian Fisheries Organization. General Department of Fisheries of Hormozgan Province, Hormozgan, Iran

Received: 15 July 2022 **Accepted:** 28 November 2022

Abstract

Background and Aim: Economic and industrial facilities in Bandar Abbas, the south of Iran, have been more developed in the past three decades, and as a result, industrial pollutants, especially heavy metals, have released to the marine ecosystem. The present study was conducted with the aim of evaluating the degree of toxicity of heavy metals (lead, cadmium, copper and zinc) on macrobenthic communities in North Persian Gulf, Bandar Abbas, Iran.

Methods: To evaluate the degree of toxicity of heavy metal pollutants such as lead, cadmium, copper and zinc on sediments and macrobenthic communities, sampling was carried out at 9 stations using a Van Veen Grab device along the Bandar Abbas coastline in Feb and July 2020.

Results: The results of the factor analysis (PCA) suggested a common industrial source for zinc and copper that TOM may be the carrier of these metals. A domestic urban runoff source suggested for lead, and an industrial source different from the common source of zinc and copper suggested for cadmium. The calculated individual indices including geographic accumulation index (Igeo), pollution factor (Cfi) and ecological risk index (Eri) showed that all regions are in the significant to highly polluted range for lead, cadmium and copper and in low pollution in some areas to moderate pollution for other areas for zinc.

Conclusion: The results of this study demonstrated that sediments receiving heavy metals (lead, cadmium, copper and zinc) are toxic for macrobenthic communities and more control should be done by the city management in Bandar Abbas in this regard.

Keywords: Toxicity, Macrobenthos, Persian Gulf, Heavy Metals

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.30491/5.1.56]

*Corresponding author: Keivan Ejlali Khanghah, **Email**: k_ejlali@yahoo.com
Address: Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Bandar Abbas, Iran.

مجله طب دریا
دوره ۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲
صفحات: ۶۵-۵۶
10.30491/5.1.56

ارزیابی درجه سمیت فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، مس و روی) بر اجتماعات ماکروبنتوز در خلیج‌فارس

کیوان اجلالی خانقاه [۱*]، سعید تمدنی جهرمی[۱]، حسین جعفری [۲]، سجاد پورمظفر [۳]، شهره رشیدی [۴]

[۱] استادیار پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران
[۲] مرکز تحقیقات طب دریا، تهران، ایران
[۳] استادیار ایستگاه تحقیقات نرمتنان خلیج فارس، پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرلنگه، ایران
[۴] سازمان شیلات ایران، اداره کل شیلات استان هرمزگان، هرمزگان، ایران

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۲۴ **پذیرش مقاله:** ۱۴۰۱/۰۹/۰۷

چکیده

زمینه و هدف: تاسیسات اقتصادی و صنعتی در بندرعباس، در جنوب ایران در سه دهه گذشته بیش از پیش توسعه یافته و در نتیجه باعث افزایش ورود آلاینده‌های صنعتی به ویژه فلزات سنگین به اکوسیستم دریایی شده است. مطالعه حاضر با هدف ارزیابی درجه سمیت فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، مس و روی) بر اجتماعات ماکروبنتوز در خلیج فارس شمالی، بندرعباس، ایران انجام شد.

روش‌ها: برای ارزیابی درجه سمیت آلاینده‌های فلزات سنگین از جمله سرب، کادمیوم، مس و روی بر رسوبات و اجتماعات ماکروبنتوز موجود در آن، نمونه برداری در ۹ ایستگاه با استفاده از یک دستگاه گرب ون وین در امتداد خط ساحلی بندرعباس در اسفند ۹۸ و مرداد ۹۹ انجام شد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از تحلیل عاملی (PCA)، یک منبع صنعتی مشترک برای روی و مس مشخص کرد که TOM ممکن است ناقل این فلزات باشد. یک منبع رواناب شهری داخلی برای سرب و یک منبع صنعتی متفاوت از منبع مشترک روی و مس برای کادمیوم مشخص گردید. شاخص‌های منفرد محاسبه شده شامل شاخص تجمع جغرافیایی (Igeo)، فاکتور آلودگی (Cfi) و شاخص خطر اکولوژیکی (Eri) نشان دادند که تمام مناطق در مورد سرب، کادمیوم و مس در محدوده قابل توجه تا بسیار آلوده قرار دارند و در مورد Zn در محدوده با آلودگی کم در برخی از مناطق تا آلودگی متوسط برای برخی از مناطق دیگر بدست آمد.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه حاضر نشان داد که رسوبات دریافت‌کننده فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، مس و روی) برای جوامع ماکروبنتیک سمی هستند و باید کنترل بیشتری توسط مدیریت شهری در بندرعباس در این زمینه انجام شود.

کلیدواژه‌ها: سمیت، ماکروبنتوز، خلیج فارس، فلزات سنگین.

*نویسنده مسئول: **کیوان اجلالی خانقاه**. پست الکترونیک: k_ejlali@yahoo.com
آدرس: پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران.

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.30491/5.1.56]

مقدمه

فلزات سنگین عناصر طبیعی در اکوسیستم های دریایی هستند اما به دلیل دوام و توانایی انباشته شدن در موجودات زنده، به ویژه موجوداتی که از رسوبات تغذیه می‌کنند، ممکن است برای موجودات آبزی سمی باشند (۱). در سالهای اخیر، فعالیتهای انسانی و تاسیس صنایع در شهرهای بزرگ و بنادر، باعث تشدید سمیت فلزات سنگین در سواحل این بنادر شده است. بسیاری از محققان دریافته‌اند که رسوب به عنوان آخرین گیرنده فلزات در محیط‌های آبی مورد توجه هستند. مطالعه ارزیابی ریسک اکولوژیکی این فلزات نقش مهمی در کنترل غلظت فلزات سنگین در محیط‌های آبی دارد (۲،۳). تغییر در خصوصیات شیمیایی و فیزیکی مانند pH ، شوری، کلروفیل a آب می‌تواند فلزات را به فاز آبی برگردانده و آنها را برای ارگانیسم‌های آبی به موادی سمی تبدیل نماید (۴). فاضلاب‌های صنعتی غلظت برخی عناصر خاص در رسوبات دریایی را افزایش داده بطوریکه غلظت آنها را از مقادیر استاندارد خارج می‌نمایند (۵). در بالاتر از سطوح آستانه، فلزات برای موجودات آبزی سمی می‌شوند (۶). فلزات سنگین می‌توانند موجب چندین بیماری انسان از طریق زنجیره غذایی مانند آسیب کلیه، سرطان، سقط جنین، تأثیر بر رفتار و در برخی موارد منجر به مرگ شوند (۷).

مطالعات ارزیابی خطر اکولوژیک در دنیا از اهمیت زیادی برخوردار است و همانگونه که برای وجود یا عدم وجود خطر آلودگی برای انسان‌ها در جوامع انسانی از شاخص‌های آلودگی استفاده می‌شود، در دریا نیز از شاخص‌های آلودگی در ارزیابی خطر برای جوامع کفزی و سایر موجودات ساکن در رسوبات استفاده می‌شود. به عنوان نمونه در سواحل کراچی پاکستان در ارزیابی آلودگی فلزات سنگین و خطر اکولوژیک نتایج زیر بدست آمد Fe>Zn>Mn>Sr>Zn>Cr>Zr>V>Ni>Pb>Mo>U>Se. شاخص‌های اکولوژیک نشان دادند که سرب خطری برای آبزیان در این رسوبات محسوب نمی‌شود ولی در برخی از مناطق مقادیر کروم، نیکل و روی برای آبزیان تهدید محسوب می‌شوند (۸). اجلالی و همکاران در سال ۱۳۹۲ نشان دادند که رسوبات سواحل بندرعباس در مورد آلودگی‌های نفتی، غیرسمی ولی در مورد عناصر مورد مطالعه در این تحقیق برای اجتماعات داخل رسوب، سمی و خطرناک هستند (۹). رزاقی و همکاران نیز در سال ۱۳۹۳ در خلیج نایبند در عسلویه بیشترین مقادیر جیوه در ایستگاه ۳، نیکل، سرب و روی در ایستگاه ۱ و کادمیوم و مس در ایستگاه ۲ مشاهده کردند. بیشترین و کمترین مقدار فاکتور آلودگی به ترتیب مربوط به جیوه و نیکل بود که در ایستگاه ۳ مشاهده شد. درجه آلودگی ایستگاه ها از مجموع فاکتورهای آلودگی فلزات در ایستگاه های مختلف محاسبه شد. بیشترین درجه آلودگی مربوط به ایستگاه ۳ با مقدار ۴/۵۱ بود. بر اساس این نتایج، خلیج نایبند و عسلویه از نظر غلظت جیوه در حد آلودگی متوسط رو به بالا می‌باشد. پتانسیل ریسک اکولوژیک (Eri)، در مورد تمامی فلزات به غیر از جیوه، در محدوده ریسک پایین بوده و برای جیوه در محدوده ریسک اکولوژیک بسیار بالا می‌باشد (۱۰). حق‌شناس و همکاران در سال ۱۳۹۷ با ارزیابی خطر اکولوژیک در مناطق ساحلی استان بوشهر خطر اکولوژیک ۴ عنصر سرب، کادمیم، مس و روی را در طبقه خطر پایین و تاحدودی متوسط بدست آوردند. همچنین خطر محیط‌زیستی فلزات به صورت (روی <سرب< مس< کادمیوم) ارزیابی‌گردید. براساس نتایج بدست آمده وضعیت آلودگی و خطر اکولوژیکی فلزات در منطقه برای فلزات (روی، سرب و مس) در حد پایین اما برای فلز کادمیوم در حد متوسط ارزیابی گردید (۱۱).

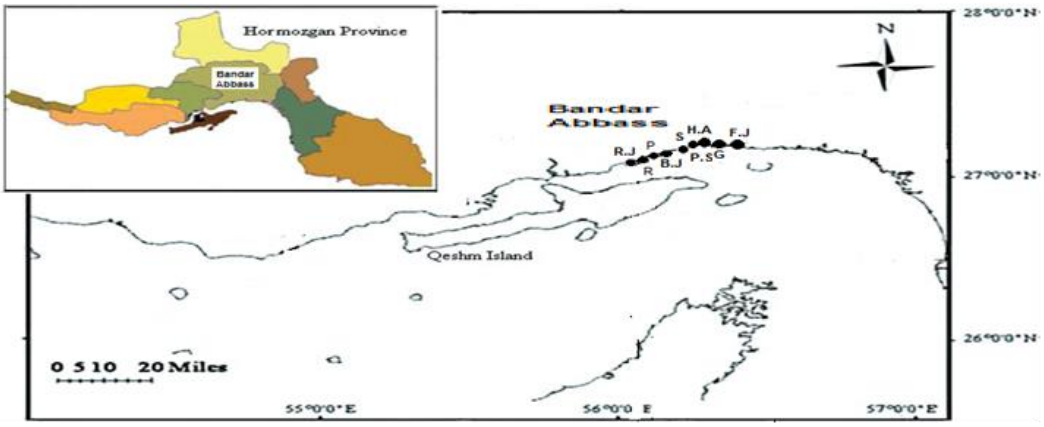
بندرعباس در جنوب ایران در سواحل دریای عمان و خلیج‌فارس واقع شده است، و طیف گسترده‌ای از منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای در حاشیه خلیج فارس و تنگه هرمز وجود دارد. وجود طیف گسترده‌ای از صنایع از جمله پالایشگاه، اسکله مواد معدنی، مجتمع آلومینیوم، کارخانه تولید فولاد، کارخانه تولید روی و غیره، در خط ساحلی بندرعباس می‌تواند منابع آلاینده‌های فلزات سنگین مانند سرب، کادمیم، مس و روی به سواحل این بندر باشند و به نظر می‌رسد رسوبات موجود در این منطقه برای زیست موجودات کفزی موجود در آن سمی و خطرناک باشند، بنابراین این مطالعه تحقیقی برای توصیف (۱: توزیع مکانی فلزات سنگین (۲: تعیین منابع احتمالی فلزات سنگین و (۳: ارزیابی خطر اکولوژیک فلزات سنگین در رسوب در خط ساحلی بندرعباس انجام شده است.

روش‌ها

نمونه‌برداری از رسوبات ۹ منطقه شامل اسکله شیلات، خورگورسوزان، هتل امین، پشت شهر، سورو، اسکله باهنر (۵ کیلومتری غرب شهر بندرعباس)، نیروگاه (۸،۵ کیلومتری غرب بندرعباس)، پالایشگاه (۱۰ کیلومتری غرب بندرعباس) و اسکله رجایی (در ۱۶ کیلومتری غرب بندرعباس) (شکل-۱ و جدول-۱) جهت اندازه گیری آلودگی‌ها و ارزیابی شاخص‌های ارزیابی خطر اکولوژیک دو بار در سال یعنی اسفند ۹۸ و مرداد ۹۹ انجام شد. نمونه‌های رسوب به کمک نمونه بردار Van Veen از رسوبات سطحی ایستگاه‌های تعیین شده جمع‌آوری شده و به آزمایشگاه انتقال داده شدند. بعد از انتقال به آزمایشگاه نمونه‌ها کدگذاری شده و درون دستگاه فریزدرایر (مدل ZIRBUS) با دمای ۴۰- درجه سانتی گراد بمدت ۶ ساعت قرار گرفتند سپس مقدار ۰/۵ گرم از رسوب نمونه خشک شده را جهت هضم اسیدی به دستگاه مایکروویو انتقال داده و بعد از هضم اسیدی، نمونه‌ها از دستگاه خارج و با آب خالص به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شدند.

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.30491/5.1.56]



شکل-۱. موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری.

F.J اسکله شیلات.G خور گورسوزان.P.S پشت شهر. H.A هتل امین. S سورو. B.J اسکله باهنر. .P نیروگاه. .R پالایشگاه. .R.J اسکله رجایی

جدول-۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	مخفف	توضیح
اسکله شیلات	56° 17' 32"	27° 10' 54"	F.J.	Domestic Input
خور گورسوزان	56° 17' 30"	27° 10' 54"	G.E.	Domestic Input
هتل امین	56° 16' 28"	27° 10' 36"	A.H.	Domestic Input
پشت شهر	56° 16' 02"	27° 10' 27"	P.S.	Domestic Input
سورو	56° 14' 06"	27° 09' 39"	S.	Domestic Input
اسکله باهنر	56° 12′ 02″	27° 09′ 05″	B.J.	Economical Jetty
نیروگاه	56° 06′ 55″	27° 08′ 39″	P.	Industrial Discharge
پالایشگاه	56° 06′ 35″	27° 07′ 25″	R.	Industrial Discharge
اسکله رجایی	56° 04′ 00″	27° 06′ 00″	R.J.	Economical Jetty

از آزمون آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA) برای مقایسه میانگین غلظت‌های فلزات سنگین استفاده شد. از همبستگی پیرسون به منظور معنی‌دار بودن همبستگی بین غلظت فلزات سنگین و همچنین بین فلزات سنگین با دانه‌بندی و TOM در سطح خطای $P<0.05$ و $P<0.01$ و به منظور تعیین منبع آلاینده‌ها از تحلیل عاملی یا PCA استفاده شد (۱۲). از شاخص‌های زیادی برای برای ارزیابی خطر اکولوژیک استفاده می‌کنند که در این بررسی از دو گروه شاخص ها که عمومیت بیشتری دارند استفاده شدند. این دو گروه عبارتند از:

شاخص‌های منفرد

این گروه از شاخص‌ها به ارزیابی خطر تک تک عناصر موجود در رسوب می‌پردازند و تخمینی از کیفیت رسوب نسبت به یک فلز خاص را ارائه می‌دهد.

فاکتور آلودگی

اولین شاخص این گروه فاکتور آلودگی (contamination factor) می‌باشد که به این روش محاسبه می‌شود:

$$Cfi=Ci/Coi \quad (۱۳)$$

که در آن Cfi فاکتور آلودگی، Ci غلظت فلز i در رسوب و Coi مقادیر مرجع برای فلز i می باشد و به (Local background of metals) (JICA 1994) معروف است و مقدار آن برای هر فلز مقداری ثابت بوده که در جدول-۲ جزییات آن آمده است.

جدول-۲. مقادیر مرجع فلزات سنگین به منظور برآورد خطر اکولوژیک

	مس	روی	کادمیم	سرب
Sti	۵	۱	۳۰	۵
Co	۶	۳۰	۱/۱	۲۰

فاکتور خطر اکولوژیک

شاخص دوم از گروه شاخص‌های منفرد، فاکتور خطر اکولوژیک می‌باشد که از این رابطه بدست می‌آید (۱۴):

$$Eri=Cfi*Tri$$

که در آن Eri فاکتور خطر اکولوژیک،Cfi فاکتور آلودگی و Tri مقادیر مرجع (جدول-۲) که در مورد هر فلز مقداری ثابت است.

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.30491/5.1.56]

شاخص تجمع جغرافیایی

آخرین شاخص منفرد، شاخص تجمع جغرافیایی می‌باشد که استفاده از آن در بین محققین بسیار متداول بوده و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Igeo=\log2[Ci/(1.5*Coi) \quad (۱۵)$$

که در این رابطه Igeo مقدار شاخص، Ci غلظت فلز i و Coi مقدار مرجع (Local background of metals) می‌باشد.

نتایج

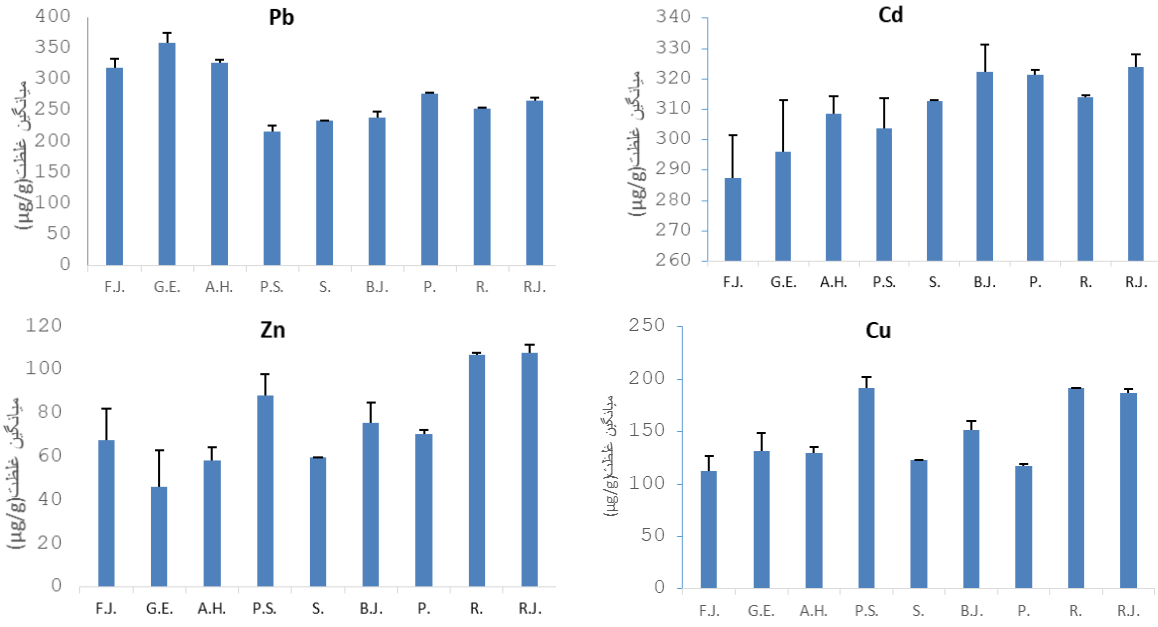
توزیع مکانی فلزات سنگین در شکل-۲ آمده است. غلظت سرب از ۲۱۵/۹ میکروگرم بر گرم وزن خشک در پشت شهر تا ۳۵۸/۸ میکروگرم بر گرم وزن خشک در خور گوسوزان، با میانگین ۲۷۶/۷±۴۸/۳ میکروگرم بر گرم وزن خشک در نوسان بود. میانگین غلظت سرب بطور قابل توجهی بالاتر از UCC (Upper Crest Concentration)، ۲۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک بود (۱۶). غلظت کادمیم به ترتیب از ۲۷۸/۳۵ تا ۳ /۳۲۴ میکروگرم بر گرم وزن خشک در اسکله شیلات و اسکله رجایی با میانگین ۱۲/۵±۳۱۰/۳ میکروگرم بر گرم متغیر بود. میانگین غلظت کادمیم در مقایسه با UCC، ۰/۱۰۲ میکروگرم در گرم وزن خشک بسیار بیشتر بدست آمد (۱۶). غلظت روی از حداقل ۴۶ میکروگرم بر گرم در خور گورسوزان تا حداکثر ۱۰۷/۷ در اسکله رجایی با میانگین ۲۱/۷±۲۱/۵ میکروگرم بر گرم در مقایسه با شیل متوسط، ۷۱ میکروگرم بر گرم وزن کمتر بود (۱۶). غلظت مس از ۱۱۷/۴ تا ۱۹۱/۶ متغیر بود با میانگین ۱۴۸/۵±۳۲/۹ میکروگرم بر گرم نسبت به مقدار UCC، ۲۵ میکروگرم در گرم وزن خشک بطور قابل توجهی بالاتر بود (۱۶).

شکل-۳ مقادیر TOM و نتایج حاصل از دانه‌بندی را نشان می‌دهد که مطابق این اشکال بیشترین میزان TOM در پشت شهر و اسکله شهید رجایی مشاهده شد. همچنین نتایج حاصل از دانه‌بندی نشان دهنده افزایش میزان رس نسبت به لای در پشت شهر و اسکله رجایی است.

جدول-۳ نتایج حاصل از آزمون همبستگی پیرسون را نشان می‌دهد که ضریب همبستگی پیرسون برای ارزیابی روابط بین فلزات سنگین و TOM نشان داد که بین روی و مس ارتباط معنی‌داری وجود دارد (P<۰/۰۰۱ ،r=۰/۷۱). همبستگی معنی داری بین روی و TOM (p<0.01 r=0.61) و همچنین بین مس و TOM (p<0.01, r=0.84) دیده می‌شود. بین silt و روی همبستگی معنی‌داری در سطح خطای (p<0.01, r=0.63) و همچنین بین silt و مس در سطح خطای (p<0.01, r=0.95) مشاهده شد.

انجام آزمون تحلیل عاملی (PCA) به منظور تعیین منبع فلزات سنگین دو مولفه اصلی را نشان می‌دهد که مجموعاً ۷۵/۵ درصد از واریانس‌ها را توصیف می‌نماید که در جدول-۴ آمده است.

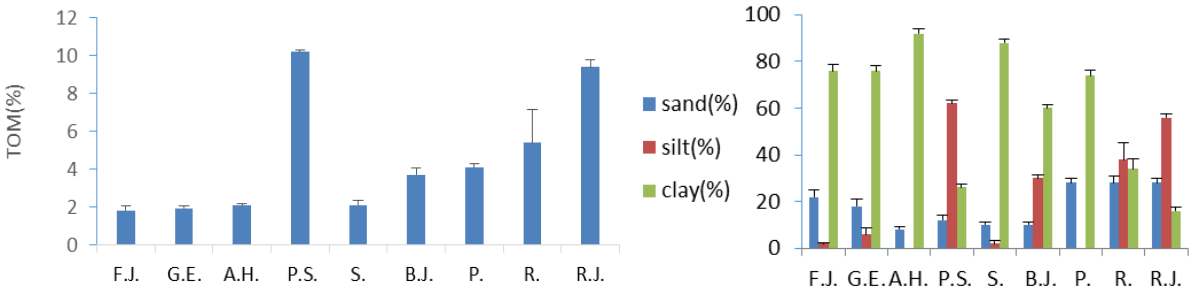
بر اساس جداول ۵ تا ۸، سه شاخص منفرد (فاکتور آلودگی، فاکتور خطر اکولوژیک و عامل تجمع جغرافیایی) و یک شاخص یکپارچه (شاخص پتانسیل خطر اکولوژیک) وجود دارد که رسوبات ساحل بندرعباس را از نظر کمی و کیفی توصیف می‌کند. فاکتور آلودگی برای سرب از ۱۰/۸ تا ۱۷/۹، برای کادمیم از ۲۶۱/۲ تا ۲۹۴/۴ و برای مس از ۱۸/۸ تا ۳۱/۹ و برای روی از ۱/۵تا۲/۹ متغیر است. نتایج حاصل از ارزیابی شاخص فاکتور پتانسیل خطر اکولوژیک در مناطق مورد مطالعه در جدول-۶ آمده است. جدول-۷ نیز نتایج حاصل از ارزیابی شاخص بسیار متداول تجمع جغرافیایی (geo-accumulation) را نشان می‌دهد.



شکل-۲. توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین در مناطق مورد بررسی

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.30491/5.1.56]



شکل-۳. مقادیر دانه‌بندی (راست) و مواد کل آلی (چپ) در مناطق مورد بررسی

جدول-۳. ضرایب همبستگی بین فلزات سنگین و میزان دانه‌بندی و مواد کل آلی

	Pb	Cd	Zn	Cu	TOM	Sand	Silt	Clay
Pb	۱	-۰/۴۸	-۰/۳۷	-۰/۵	-۰/۵۷	۰/۰۵۶	-۰/۵۵	۰/۴۸
Cd		۱	۰/۳	۰/۳	۰/۳۱	۰/۲۲	۰/۲۹	۰/۳۸
Zn			۱	** ۰/۷	** ۰/۶۱	۰/۳۸	** ۰/۶۳	۰/۶۸
Cu					** ۰/۸۴	۰/۲۰	** ۰/۹۵	** -۰/۹۱
TOM					۱	۰/۳۱	** ۰/۹۲	** -۰/۹
Sand						۱	۰/۲۳	** -۰/۴۸
Silt							۱	۰/۹۶
Clay								۱

جدول-۴. نتایج حاصل از انجام آزمون تحلیل عاملی

Component	Initial Eigenvalues			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4.9	61.252	61.252	3.455	43.189	43.189
2	1.141	14.262	75.514	2.586	32.325	75.514
3	0.982	12.277	87.791			
4	0.467	5.835	93.626			
5	0.343	4.293	97.919			
6	0.13	1.621	99.541			
7	0.037	0.458	99.999			
8	9.26E-05	0.001	100			

Component			
Variable	1	2	**Communalities**
Pb	-0.63	0.619	.780
Cd	0.457	-0.283	.289
Zn	0.765	0.219	.633
Cu	0.93	-0.043	.867
TOM	0.928	-0.02	.861
sand	0.387	0.772	.745
silt	0.952	-0.055	.910
clay	-0.963	-0.17	.956

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.30491/5.1.56]

جدول-۵. مقادیر محاسبه شده فاکتور آلودگی در مناطق مورد مطالعه

	Cu	Zn	Cd	Pb
اسکله شیلات	۱۸/۸	۲/۳	۲۶۱/۲	۱۶
	قابل توجه	پایین	قابل توجه	قابل توجه
خور گورسوزان	۲۲	۱/۵	۲۹۶/۲	۱۷/۹
	قابل توجه	پایین	قابل توجه	قابل توجه
هتل امین	۲۱/۷	۲	۲۸۰/۵	۱۶/۳
	قابل توجه	پایین	قابل توجه	قابل توجه
پشت شهر	۳۱/۹	۲/۹	۲۷۶	۱۰/۸
	قابل توجه	پایین	قابل توجه	قابل توجه
سورو	۲۰/۵	۲	۲۸۴/۴	۱۱/۷
	قابل توجه	پایین	قابل توجه	قابل توجه
اسکله باهنر	۲۵/۲	۲/۵	۲۹۳	۱۲
	قابل توجه	پایین	قابل توجه	قابل توجه
نیروگاه	۱۹/۶	۲/۴	۲۹۲	۱۶/۸
	قابل توجه	پایین	قابل توجه	قابل توجه
پالایشگاه	۳۱/۹	۳/۶	۲۸۵/۵	۱۲/۷
	قابل توجه	متوسط	قابل توجه	قابل توجه
اسکله رجایی	۳۱/۱	۳/۶	۲۹۴/۶	۱۳/۳
	قابل توجه	متوسط	قابل توجه	قابل توجه

جدول-۶. مقادیر محاسبه شده فاکتور پتانسیل خطر اکولوژیک در مناطق مورد مطالعه

	Cu	Zn	Cd	Pb
اسکله شیلات	۹۴/۱	۲/۲	۷۸۳۶	۸۰
	قابل توجه	پایین	بالا	قابل توجه
خور گورسوزان	۱۰۹	۱/۵	۸۰۷۶	۸۹/۷
	قابل توجه	پایین	بالا	قابل توجه
هتل امین	۱۰۸	۱/۹۵	۸۴۱۵	۸۱/۶
	قابل توجه	پایین	بالا	قابل توجه
پشت شهر	۱۶۰	۲/۹	۸۲۸۰	۳۹/۹
	قابل توجه	پایین	بالا	متوسط
سورو	۱۰۲/۴	۱/۹	۸۵۳۰	۵۸/۳
	قابل توجه	پایین	بالا	متوسط
اسکله باهنر	۱۲۶/۱	۲/۵	۸۷۹۰	۵۹/۸
	قابل توجه	پایین	بالا	متوسط
نیروگاه	۹۷/۸	۲/۳	۸۷۶۶	۶۹/۱
	قابل توجه	پایین	بالا	متوسط
پالایشگاه	۱۵۹	۳/۵۷	۸۵۶۵	۶۳/۴
	قابل توجه	پایین	بالا	متوسط
اسکله رجایی	۱۵۵	۳/۵۹	۸۸۳۹	۶۷
	قابل توجه	پایین	بالا	متوسط

جدول-۷. مقادیر محاسبه شده فاکتور تجمع جغرافیایی در مناطق مورد مطالعه

	Cu	Zn	Cd	Pb
اسکله شیلات	3.6 Class 4 Strongly polluted	0.6 Class 1 from unpolluted to moderately polluted	7.4 Class 6 Extremely polluted	3.4 Class 4 Strongly polluted
خور گورسوزان	3.9 Class 4 Strongly polluted	Class 0 Unpolluted	7.5 Class 6 Extremely polluted	3.6 Class 4 Strongly polluted

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.30491/5.1.56]

هتل امین	3.9 Class 4 Strongly polluted	0.4 Class 1 from unpolluted to moderately polluted	7.5 Class 6 Extremely polluted	3.4 Class 4 Strongly polluted
پشت شهر	4.4 Class 5 from strongly to extremely polluted	1.0 Class 1 from unpolluted to moderately polluted	7.5 Class 6 Extremely polluted	2.8 Class 3 from moderately to strongly polluted
سورو	3.8 Class 4 Strongly polluted	0.4 Class 1 from unpolluted to moderately polluted	7.6 Class 6 Extremely polluted	3.0 Class 4 Strongly polluted
اسکله باهنر	4.1 Class 5 from strongly to extremely polluted	0.8 Class 1 from unpolluted to moderately polluted	7.6 Class 6 Extremely polluted	3.0 Class 4 Strongly polluted
نیروگاه	3.7 Class 4 Strongly polluted	0.6 Class 2 from unpolluted to moderately polluted	7.6 Class 6 Extremely polluted	3.2 Class 4 Strongly polluted
پالایشگاه	4.4 Class 5 from strongly to extremely polluted	1.3 Class 2 moderately polluted	7.6 Class 6 Extremely polluted	3.1 Class 4 Strongly polluted
اسکله رجایی	4.4 Class 5 from strongly to extremely polluted	1.3 Class 1 moderately polluted	7.6 Class 6 Extremely polluted	3.2 Class 4 Strongly polluted

بحث

غلظت سرب در رسوبات در اسکله شیلات، خور گورسوزان و هتل امین نسبت به سایر مناطق دارای میانگین غلظت بیشتری بود، و این تفاوت معنی دار گزارش شد. میانگین غلظت سرب از اسکله شیلات به اسکله رجایی دارای روندی کاهشی می‌باشد. بطور کلی ذرات سرب توسط برف و باران به طور گسترده به زمین راه می‌یابند ولی امروزه مهمترین راه ورود سرب به زمین و دریا را افزایش تعداد اتومبیل‌ها و استفاده از بنزین سرب‌دار می‌دانند. زمین‌های دفن لجن و فاضلاب نیز دارای غلظت های بالای سرب هستند (۲۲). شاید بتوان گفت که غلظت بالای سرب در مناطق مورد مطالعه، بخصوص سه منطقه ابتدایی، در مجاورت مسیر رفت و آمد وسایل نقلیه و تردد قایق‌ها هستند. همچنین ورود مقادیر زیاد فاضلاب‌های شهری بوسیله خروجی‌های خور شیلات، خور گورسوزان و خروجی‌هایی که در مجاورت هتل امین قرار دارند و سابقه زیادی در سرازیر شدن به دریا دارند و از عوامل مهم لجنی شدن سواحل این مناطق هستند، سبب نشست مقادیر زیادی سرب شده‌اند. بیشترین و کمترین مقدار سرب به ترتیب مربوط به خور گورسوزان با ۳۵۸/۸ و پشت شهر با مقدار ۲۱۵/۹ میکروگرم بر گرم با میانگین ۲۷۶/۷ گرم بر میکروگرم اندازه گیری شد که در مقایسه با مقدار آن در UCC (Upper Crest Concentration)، یعنی ۲۰ میکروگرم بر گرم (Wedepohl, 1995) بالا می‌باشد.

کادمیم به عنوان یک فلز، به طور ضمنی از تولیدات روی حاصل می‌شود، لذا بررسی تاثیرات اکولوژیک ناشی از اثر کادمیم دشوار است و به جز در مواردی استثنایی، در زنجیره غذایی تجمع نمی‌یابد. کادمیم به فراوانی در پوسته زمین یافت می‌شود و معمولاً از ذوب روی بدست می‌آید. از پالایش سرب و روی نیز مقادیر زیادی کادمیم حاصل می‌شود و لجن فاضلاب‌ها می‌تواند حاوی مقادیر زیاد روی باشد. همچنین صنایع آهن، استیل و فلزات غیرآهنی و نیز گردوغبار حاوی مقادیر کادمیم هستند (۲۲). وجود صنایع آلوده کننده در طول ساحل غربی بندرعباس از قبیل کارخانه تولید روی، مس،کارخانه تولید آلومنیوم و صنایع فلزی و تولید مواد معدنی می‌توانند منابع قابل ملاحظه‌ای از تخلیه کادمیم در سرتاسر ساحل بندرعباس باشند. به نظر می‌رسد کادمیم می‌تواند از صنایع متفاوت کانونی وارد آب دریا شده و در رسوبات نشست کند. میانگین غلظت کادمیم در مقایسه با UCC، ۰/۱۰۲ میکروگرم در گرم وزن خشک (بسیار بالا) بدست آمد (۱۶).

از نظر میانگین غلظت، روی دارای کمترین مقدار بوده و مقایسه بین ایستگاهی نشان داد که بیشترین و کمترین غلظت روی با مقادیر ۱۰۷/۷ و ۴۶ و میانگین ۲۱/۴± ۷۵/۷ میکروگرم بر گرم به ترتیب مربوط به پالایشگاه و خور گورسوزان است که در مقایسه با مقدار آن در UCC، یعنی ۷۱ میکروگرم بر گرم (Wedepohl,1995) تقریباً برابر می‌باشند. روند میانگین غلظت روی از اسکله شیلات به سمت اسکله رجایی از یک روند افزایشی برخوردار است و این می‌تواند به خاطر وجود کارخانه تولید روی در بخش سواحل غربی بندرعباس باشد.

میانگین غلظت مس از کادمیم و سرب کمتر ولی از روی بیشتر است. مقایسه بین ایستگاهی برای مس نشان داد که بیشترین و کمترین غلظت مس با مقادیر ۱۹۱/۶ و ۱۱۳ و میانگین ۳۳±۱۴۸/۵ گرم بر میکروگرم به ترتیب مربوط به پشت شهر و اسکله شیلات است که در مقایسه با مقدار آن در UCC یعنی مقدار ۲۵ میکروگرم بر گرم (Wedepohl,1995) بالا می‌باشد.

همبستگی معنی‌دار بین روی و مس نشان می‌دهد که هر دوی این عناصر دارای یک منبع انتشار مشترک هستند (۸). از طرفی همبستگی بین TOM و عناصر روی و مس می‌تواند نشان دهنده این امر باشد که TOM حامل خوبی برای انتقال روی و مس است و توزیع این عناصر به TOM وابسته است (۱۷). هیچ ارتباط معنی‌داری بین سایر موارد و رسوبات گزارش نشد که به این معنی است که این فلزات با یکدیگر و همچنین با TOM در ارتباط

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.30491/5.1.56]

نیستند. مولفه اصلی حاصل از انجام آزمون PCA با توصیف ۴۳/۱۵ درصد از کل واریانس‌ها نشان می‌دهد که روی با ۷۶ درصد و مس با ۹۳ درصد تحت عامل اصلی اول از یک منبع مشترک سرچشمه می‌گیرند و مواد آلی کل و همچنین مقادیر سیلت وظیفه حمل و انتقال آنها را انجام می‌دهند. به نظر می‌رسد که پالایشگاه و اسکله شهید رجایی در ساحل غربی بندرعباس عامل انتشار این عناصر باشند. سرب علاوه بر منبع مشترک با روی و مس دارای منبع دیگری نیز طبق توصیف عامل دوم تحلیل عاملی در جدول-۴ است که مطابق شکل-۲ می‌تواند رواناب‌های شهری باشد.

نتایج حاصل از ارزیابی فاکتور آلودگی مطابق توصیف دامنه تغییرات برای این شاخص (Ci f <1 ضریب آلودگی پایین، f <3 1<Ci ضریب آلودگی متوسط، 3< Ci f ≤ 6 فاکتور آلودگی قابل توجه، Ci f ≥6 فاکتور آلودگی خیلی زیاد (۱۵) نشان می‌دهد که تمام مناطق مورد مطالعه به طور قابل توجهی با سرب، کادمیم و مس که از زباله‌های خانگی و صنعتی به دریا وارد می‌شوند آلوده هستند. برای روی، فاکتور آلودگی نشان دهنده این است که بیشتر مناطق مورد مطالعه، از اسکله شیلات گرفته تا نیروگاه دارای آلودگی کم بوده و ۳/۶ برای پالایشگاه و اسکله رجایی نشان دهنده آلودگی متوسط هستند (۱۳). شاخص بعدی جهت برآورد کیفیت رسوب از نظر آلودگی به فلزات سنگین شاخص پتانسیل خطر اکولوژی یا فاکتور خطر اکولوژیک است که مقادیر زیر برای توصیف آن استفاده می‌شود: 40> Eri پتانسیل خطر اکولوژی پایین، 80> Eri>40 پتانسیل خطر اکولوژی متوسط، 160> Eri>80 پتانسیل خطر اکولوژی قابل توجه، 320> Eri>160 پتانسیل خطر اکولوژیک بالا و بالاتر از ۳۲۰ پتانسیل خطر اکولوژیک خیلی بالا را نشان می‌دهد (۱۵). در مطالعه حاضر این شاخص برای سرب در اسکله‌های شیلات، خور گورسوزان و هتل امین قابل توجه است که با تخلیه سطحی و فعالیتهای حمل و نقل شهری و فضلاب‌های خانگی وارد دریا می‌شوند. این شاخص برای بقیه مناطق مورد مطالعه متوسط است که به نظر می‌رسد نوسانات صنعتی منبع سرب در این مناطق باشد. این شاخص همچنین برای کادمیم، روی و مس به ترتیب در تمام مناطق مورد مطالعه بالا، کم و قابل توجه است. شاخص خطر اکولوژیکی محاسبه شده در برزیل به ترتیب ۱/۲، ۵/۷، ۲/۸ و ۰/۲ برای مس، سرب، کادمیم و روی بود (۱۳). شاخص دیگری که استفاده از آن بسیار متداول می‌باشد شاخص تجمع جغرافیایی است (geo-accumulation). برای توصیف این شاخص ۷ رده به وسیله طراحی شده است (۱۸،۱۹) که بصورت زیر است: $I_{geo}\leq 0$ رده صفر غیرآلوده $0 \leq I_{geo}\leq 1$ رده ۱ از غیرآلوده تا آلودگی متوسط، $1< I_{geo}\leq 2$ رده ۲ آلودگی متوسط، $2< I_{geo}\leq 3$ رده ۳ از آلودگی متوسط یا آلودگی شدید، $3< I_{geo}\leq 4$ رده ۴ آلودگی شدید، $4< I_{geo}\leq 5$ رده ۵ از آلودگی شدید به خیلی شدید و $I_{geo}\leq 5$ خیلی شدید. طبق مقادیر فاکتور تجمع جغرافیایی، تمام مناطق مورد مطالعه به شدت آلوده به سرب، بسیار آلوده به کادمیم، از غیر آلوده تا آلودگی متوسط با روی و از آلودگی شدید تا بسیار آلوده با مس است. اسکله شیلات، خور گورسوزان و هتل امین به شدت آلوده به مس نشان داده شدند. در مطالعه ای مشخص شد که Igeo فقط برای روی، سرب و Cr متوسط در برخی از ایستگاه‌های مورد مطالعه آلوده است و سایر فلزات برای سایر ایستگاه ها وضعیت آلوده ندارند (۸). Ong و همکاران نیز مقادیر Igeo محاسبه شده رسوبات خلیج موربیهان، بریتانی، فرانسه را غیرآلوده تا آلودگی متوسط ارزیابی کردند (۲۰).

نتیجه‌گیری

یافته‌های به دست آمده از نمونه‌های رسوبی سطحی نشان داد که غلظت سرب از اسکله شیلات (شرق) به اسکله رجایی (غرب) کاهش می‌یابد که به این معنی است که فاضلاب‌ها و رواناب‌های شهری می‌تواند منبع اصلی سرب باشد و غلظت سرب، روی و مس از اسکله شیلات به اسکله رجایی در حال افزایش است که این می‌تواند به دلیل ورود این الاینده‌ها از صنایع موجود در غرب بندرعباس باشد. TOM عامل مهمی برای توزیع دو فلز مس و روی است. تحلیل عاملی نشان داد که یک یا چند منبع مشترک صنعتی برای مس و روی وجود دارد که از منشا سرب با منبع توزیع داخلی متفاوت است. مقادیر شاخص‌های خطر و شاخص‌های زیست محیطی رسوبات نشان داد که تقریباً همه مناطق مورد مطالعه به شدت، قابل توجه و دارای آلودگی زیاد با مس، کادمیم و سرب و آلودگی کم تا متوسط با روی نشان می‌دهد که رسوبات این منطقه برای جوامع ساکن در آن سمی است و برای جلوگیری از آسیب رساندن به اجتماعات ماکروبنتوز که در نهایت غذای ماهیان بزرگتر و انسان‌ها هستند باید تصمیمات کنترل کننده در جهت کاهش سمیت فلزات سنگین اتخاذ نمود.

تشکر و قدردانی: از تمامی همکارانی که در بالا بردن کیفیت مقاله، اینجانب را یاری نموده‌اند اعم از نمونه‌برداری تا نگارش علمی تشکر و قدردانی می‌شود.

نقش نویسندگان: همه نویسندگان در نگارش اولیه مقاله یا بازنگری آن سهیم بودند و همه با تایید نهایی مقاله حاضر، مسئولیت دقت و صحت مطالب مندرج در آن را می پذیرند.

تضاد منافع: نویسندگان تصریح می کنند که هیچ گونه تضاد منافعی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

منابع

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.30491/5.1.56]

1. Takarina ND, Adiwibowo A. Impact of heavy metals contamination on the biodiversity of marine benthic organisms in Jakarta Bay. Journal of Coastal Development. 2011;14(2):168-171.
2. Karbassi AR, Monavari SM, Nabi Bidhendi GR, Nouri J, Nematpour K. Metal pollution assessment of sediment and water in the Shur River. Environmental monitoring and assessment. 2008; 147(1):107-16. doi:10.1007/s10661-007-0102-8
3. Zicker F. Science and Global Health. Novelty in Clinical Medicine. 2022; 1(3): 119-120. doi: 10.22034/ncm.2022.337000.1038
4. Soares HM, Boaventura RA, Machado AA, Da Silva JE. Sediments as monitors of heavy metal contamination in the Ave river basin (Portugal): multivariate analysis of data. Environmental Pollution. 1999;105(3):311-23. doi:10.1016/S0269-7491(99)00048-2
5. Aghamollaei H, Tebyanian H, Golpich M, Torabi R, Heiat M, Choopani A. Seroepidemiological Prevalence of Helicobacter pylori in the south of Tehran, Iran. Novelty in Clinical Medicine. 2022; 1(1): 55-58. doi: 10.22034/ncm.2022.140810
6. Goyal N, Jain SC, Banerjee UC. Comparative studies on the microbial adsorption of heavy metals. Advances in environmental Research. 2003;7(2):311-9. doi:10.1016/S1093-0191(02)00004-7
7. Jiries A. Vehicular contamination of dust in Amman, Jordan. Environmentalist. 2003;23 (3): 205-10. doi:10.1023/B:ENVR.0000017390.93161.99
8. Mashiatullah A, Chaudhary MZ, Ahmad N, Javed T, Ghaffar A. Metal pollution and ecological risk assessment in marine sediments of Karachi Coast, Pakistan. Environmental Monitoring and Assessment. 2013;185(2):1555-65. doi:10.1007/s10661-012-2650-9
9. Ejlali Khanghah K, Nadushan RM, Mortezavi M, Moradi AM, Fatemi SM. Distribution, source identification and ecological risk assessment of heavy metals (Pb, Cd, Cu and Zn) in sediments of North Persian Gulf, Bandar Abbass, Iran. Advances in Environmental Biology. 2014; 8(16): 317-24.
10. Razaghi M, Shokri MR, Savari A, Pazooki J. Ecological risk assessment using heavy metals from surface sediments of Nayband Bay and Asaluyeh region (Northern Persian Gulf). Journal of Aquatic Ecology. 2013;2(3):68-57.
11. Haghshenas A, Hatami-manesh M, Sadeghi M, Mirzaei M, Mohammadi Bardkashki B. Determination and ecological risk assessment of heavy metals (Cd, Pb, Cu, Zn) in surface sediments of coastal regions of Bushehr Province. Journal of Environmental Health Engineering. 2018;5(4). doi:10.29252/jehe.5.4.359
12. Sharma S. 2019. Applied multivariate techniques. J. Wiley & Sons. doi. 10.1016/j.biori.2019.03.001
13. Campos ANED. Potential ecological risk index for heavy metals: Assay at Guanabara Bay. Rio De Janerio- Brazil. 2013. 5:3-5. doi:10.22038/jreh.2019.38551.1281
14. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. Water research. 1980;14(8):975-1001. doi:10.1016/0043-1354(80)90143-8
15. Banat KM, Howari FM, Al-Hamad AA. Heavy metals in urban soils of central Jordan: should we worry about their environmental risks?. Environmental research. 2005;97(3):258-73. doi:10.1016/j.envres.2004.07.002
16. Wedepohl KH. The composition of the continental crust. Geochimica et cosmochimica Acta. 1995;59(7):1217-32. doi:10.1016/0016-7037(95)00038-2
17. Lounas R, Kasmi H, Chernai S, Amarni N, Hamdi B. Assessing the contamination and ecological risk of sediments around the mariculture area in northern Algeria using a multivariate approach. Journal of Applied Aquaculture. 2022;34(1):147-63. doi:10.1080/10454438.2020.1823297
18. Buccolieri A, Buccolieri G, Cardellicchio N, Dell'Atti A, Di Leo A, Maci A. Heavy metals in marine sediments of Taranto Gulf (Ionian Sea, southern Italy). Marine chemistry. 2006;99(1-4): 227-35. doi:10.1016/j.marchem.2005.09.009
19. Qingjie G, Jun D, Yunchuan X, Qingfei W, Liqiang Y. Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing. Journal of China university of geosciences. 2008;19(3):230-41. doi:10.1016/S1002-0705(08)60042-4
20. Ong MC, Menier D, Shazili NA, Dupont V. Geochemistry of metallic trace elements in surficial sediments of the Gulf of Morbihan, Brittany, France. Journal of Applied Sciences. 2012;12(21):2215-24. doi:10.3923/jas.2012.2215.2224
21. Yin H, Gao Y, Fan C. Distribution, sources and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from Lake Taihu, China. Environmental Research Letters. 2011;6(4): 044012. doi:10.1088/1748-9326/6/4/044012
22. Clarke AL. Long-term trends in eutrophication and nutrients in the coastal zone. Limnol. Oceanogr. 2006; 385-397. doi:10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0385

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.30491/5.1.56]