نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی
Journal homepage: http://jair.gonbad.ac.ir
ISSN: 2423-6349
دوره 14، شماره 2، صفحات 13–1

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه گنبد کاووس

ارزیابی زیست‌محیطی فلزات سنگین (سرب و نیکل) در رسوبات ساحلی بندرعباس با استفاده از شاخص غنی‌شدگی

مریم رضائی[1] و عبدالواحد رحمانی*[2]

[1] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه شیمی، دانشکده علوم پایه،دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
*[2] دکترا، گروه شیمی، دانشکده علوم پایه،دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

نوع مقاله:
پژوهشی اصیل

تاریخچه مقاله
دریافت: 1405/01/25
پذیرش: 1405/02/29

نویسنده مسئول مکاتبه:
عبدالواحد رحمانی
دکترا، گروه شیمی، دانشکده علوم پایه،دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
ایمیل:
rahmaniabdolvahed@yahoo.com

چکیده:

فلزات سنگین به دلیل پایداری بالا در محیط و توانایی تجمّع در رسوبات ساحلی، یکی از شاخص‌های مهم ارزیابی سلامت بوم‌سازگان‌های ساحلی به شمار می‌روند. این پژوهش با هدف تعیین غلظت نیکل و سرب در رسوبات سه منطقه گلشهر جنوبی، پشت‌شهر و نایبند جنوبی در سواحل بندرعباس و ارزیابی وضعیت آلودگی آن‌ها انجام شد. نمونه‌برداری از رسوبات سطحی در ناحیه جزرومدی در مرداد ۱۴۰۴، در ۹۰ ایستگاه انجام شد. نمونه‌ها با استفاده از گراب برداشت شدند و موقعیت ایستگاه‌ها با دستگاه GPS تعیین شد. برای اندازه‌گیری غلظت عناصر از دستگاه جذب اتمی شعله مدل (Contr AA700) استفاده شد. به منظور ارزیابی وضعیت آلودگی نیز شاخص غنی‌شدگی و شاخص زمین‌انباشتگی مولر محاسبه گردید. نتایج نشان داد میانگین غلظت سرب و نیکل در منطقه پشت‌شهر به طور معنی‌داری بالاتر از دو منطقه نایبند جنوبی و گلشهر جنوبی است ($P < 0.05$). با این حال، مقادیر به‌دست‌آمده در تمامی مناطق کمتر از حدود استانداردهای جهانی بود و بر اساس شاخص‌های ژئوشیمیایی، رسوبات هر سه منطقه در طبقه غیرآلوده قرار گرفتند. افزایش نسبی غلظت فلزات در منطقه پشت‌شهر می‌تواند ناشی از ورود پساب‌های شهری، رواناب‌های سطحی، تعمیر و رنگ‌آمیزی شناورها، نشت سوخت و روغن و محدودیت تبادل آب باشد. در مجموع، اگرچه رسوبات مناطق مورد مطالعه در حال حاضر فاقد آلودگی قابل‌توجه فلزات سنگین هستند، اما تداوم فعّالیت‌های انسانی می‌تواند در بلندمدت باعث افزایش انباشت فلزات شود. از این رو پایش مستمر و مدیریت منابع آلاینده برای جلوگیری از تشدید آلودگی ضروری است.

کلمات کلیدی: بندرعباس، رسوبات ساحلی، شاخص غنی‌شدگی، فلزات سنگین، شاخص زمین‌انباشتگی مولر

مقدمه

یکی از انواع آلودگی‌های زیست‌محیطی، آلودگی خاک و آب‌های ساحلی به فلزات سمّی است؛ که به عنوان یکی از مشکلات جدی محیط‌زیستی در جهان شناخته می‌شود. این آلودگی می‌تواند اثرات نامطلوبی بر اکوسیستم‌های دریایی و سلامت انسان داشته باشد. خلیج‌فارس نیز از این آلودگی‌ها مصون نمانده است (Dehghan Chenari and Lak, 2012). این پهنه آبی به عنوان یکی از مهم‌ترین مناطق استراتژیک و اقتصادی جهان شناخته می‌شود و علاوه بر دارا بودن بخش قابل‌توجهی از ذخایر نفت و گاز جهان، نقش مهمّی در شیلات، حمل‌ونقل دریایی، ارتباط با آب‌های آزاد و حفظ تعادل زیست‌محیطی منطقه ایفا می‌کند. مطالعات

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/jair.14.2.1]

نشان داده‌اند که آلودگی‌های موجود در خلیج‌فارس می‌توانند بر سلامت جانداران دریایی تأثیر گذاشته و از طریق پوست آن‌ها جذب شده و موجب بروز تغییرات بافتی شوند (Dehghan Chenari and Lak, 2012). در این میان، مطالعه ویژگی‌ها و چالش‌های مناطق ساحلی در مقیاس جهانی نیز اهمیت دارد. مناطق ساحلی در جهان به عنوان مناطقی با ارزش‌های اکولوژیکی و اقتصادی شناخته می‌شوند (Mehvar et al., 2018). استقرار جمعیت انسانی و فعّالیت‌های اقتصادی در مناطق ساحلی تأثیرات نامطلوبی بر اکوسیستم‌های ساحلی دارد (Neumann et al., 2017). خلیج فارس دریایی نسبتاً کم‌عمق و نیمه‌بسته با ویژگی‌های ضعیف در تبادل و گردش آب است. بنابراین، آلاینده‌هایی که وارد این دریا می‌شوند، نسبت به اقیانوس‌های باز با سرعت کمتری رقیق می‌شوند (Burgos-Aceves et al., 2018). یکی از مهم‌ترین آلاینده‌ها در محیط‌های آبی، فلزات سنگین هستند (Edokpayi et al., 2018). فلزات سنگین آلاینده‌های رایج در محیط‌های آبی و رسوبی هستند. این عناصر به دلیل پایداری بالا، سمیّت زیستی و قابلیت تجمّع در محیط، از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست‌محیطی محسوب می‌شوند. بخشی از این فلزات از طریق فرآیندهای طبیعی و بخشی دیگر در نتیجه فعّالیت‌های انسانی در خاک‌ها تجمّع می‌یابند و از طریق رواناب‌های سطحی، فرسایش خاک و انتقال رودخانه‌ای وارد محیط‌های آبی می‌شوند. با توسعه سریع اقتصاد و جامعه، آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین به یکی از نگرانی‌های مهم زیست‌محیطی تبدیل شده است (Ali et al., 2022). در میان فلزات سنگینی که اغلب در اکوسیستم‌های آبی وجود دارند؛ نیکل و سرب سمّی‌ترین عناصر برای موجودات زنده محسوب می‌شوند و هیچ نقش زیستی مفیدی ندارند (Zhang and Wang, 2017). در طی پنجاه سال گذشته مقادیر قابل‌توجهی از فلزاتی مانند کروم و سرب در محیط زیست منتشر شده است. تجمّع این فلزات در محیط می‌تواند پیامدهای زیان‌باری را برای سلامت انسان به همراه داشته باشد (Ali et al., 2022). نیکل نیز از هر دو منبع طبیعی، شامل گردوغبار ناشی از هوازدگی سنگ‌ها، فعّالیت‌های آتشفشانی و آتش‌سوزی جنگل‌ها، و فعّالیت‌های انسانی مانند احتراق زغال‌سنگ، نفت دیزل و سوزاندن زباله و فاضلاب، وارد محیط‌زیست می‌شود. (Cempel and Nikel, 2006). منابع فلزات سنگین در اکوسیستم‌های آبی می‌توانند از منابع طبیعی (مانند فوران‌های آتشفشانی، آتش‌سوزی‌ها و هوازدگی سنگ‌ها)، منابع رودخانه‌ای (مانند تخلیه فاضلاب، خوردگی، فعّالیت‌های کشاورزی و جنگلداری) یا منابع جوّی (رسوب جوی ناشی از انتشار صنایع متالورژی، دفع زباله، احتراق سوخت‌های فسیلی، معدن‌کاری و ذوب فلزات) ناشی شوند (krupa et al., 2020). در سال‌های اخیر، با توسعه سریع اقتصادی، آلاینده‌های فلزات سنگین ناشی از فعّالیت‌های انسانی و صنعتی شدن، از طریق رسوب جوی، رواناب‌های سطحی و سایر مسیرها به طور مداوم وارد دریا شده‌اند که این امر خسارات جدی به محیط‌زیست دریایی وارد کرده است (Leung et al., 2021; Avvari et al., 2022). بخشی از این فلزات سنگین که وارد اقیانوس می‌شوند، طی مجموعه‌ای از واکنش‌های فیزیکی و شیمیایی جذب شده و در رسوبات ته‌نشین می‌شوند، در حالی که بخش دیگری مستقیماً توسط موجودات زنده جذب می‌گردند (Rubio et al., 2000; Qiu et al., 2019). از طریق فرآیندهای معدنی‌سازی زیستی و نیروهای پیچیده هیدرودینامیکی، این فلزات سنگین می‌توانند دوباره به صورت محلول به ستون آب بازگردند و باعث آلودگی پایدار و آسیب به محیط دریایی و موجودات آن شوند (Xiang et al., 2023; Yue et al., 2024). از این رو، در دو دهه اخیر توجه بسیاری از پژوهشگران به بررسی اثرات فلزات سنگین بر اکوسیستم‌های دریایی جلب شده است. از جمله این مطالعات می‌توان به پژوهش طاهری‌زاده و همکاران که به ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سواحل بندرعباس و تیاب در استان هرمزگان (Taherizade et al., 2025)، برخورداری‌احمدی و همکاران به منظور شناسایی آلودگی های زیست‌محیطی ناشی از فلزات سنگین در رسوبات سطحی خور جاسک و یک شبه در استان هرمزگان (Borkhordari et al., 2024)، مرتضوی و همکاران به پراکنش مکانی و ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی کل، در رسوبات دریایی استان بوشهر و خوزستان، شمال‌غرب خلیج‌فارس (Mortezavi et al., 2023) پرداختند، اشاره نمود. به منظور ارزیابی میزان آلودگی و تشخیص منشأ فلزات سنگین در رسوبات، از شاخص غنی‌شدگی استفاده می‌شود. این شاخص با مقایسه غلظت فلز مورد نظر نسبت به یک عنصر مرجع و مقادیر پس‌زمینه زمین‌شناسی، میزان تأثیر

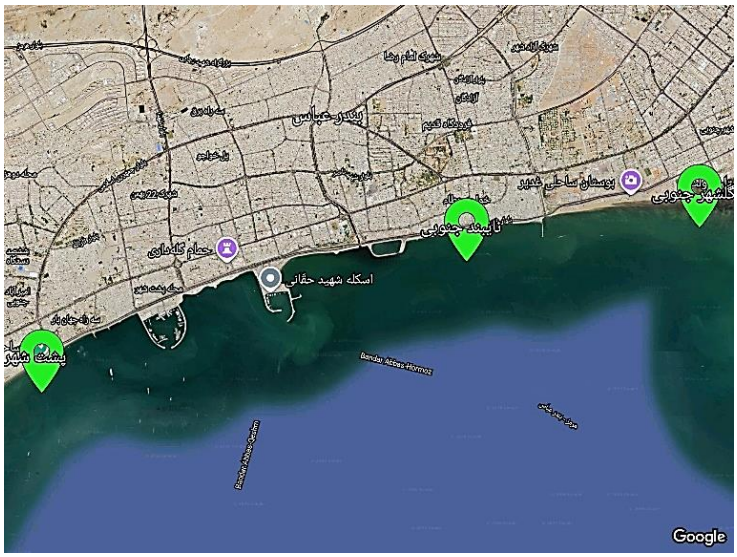
[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/jair.14.2.1]

فعالیت‌های انسانی بر غلظت فلزات را مشخص می‌کند و کاربرد گسترده‌ای در مطالعات زیست‌محیطی رسوبات دریایی و ساحلی دارد. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی غلظت فلزات سنگین سرب و نیکل در رسوبات مناطق بندرعباس شامل سواحل گلشهرجنوبی، پشت‌شهر و نایبندجنوبی و همچنین ارزیابی شاخص غنی‌شدگی و شاخص زمین‌انباشتگی مولر در رسوبات این مناطق می‌باشد.

مواد و روش‌کار

نمونه‌برداری از رسوبات سطحی (منطقه جزر و مدی) در مرداد ۱۴۰۴ از سه منطقه گلشهر جنوبی، پشت‌شهر و نایبند جنوبی، استان هرمزگان صورت گرفت (شکل 1). مشخصات طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه، ذکر شده است (جدول 1). در هر یک از ایستگاه‌های مورد نظر، از هر ایستگاه 30 نمونه رسوب و هر نمونه رسوب به وزن 50 گرم با سه تکرار به طور تصادفی و به نحوی که کل مناطق را پوشش دهد به صورت نقطه از سطح سانتی‌متر تا عمق 15 سانتی‌متری با گراپ برداشته شد. در مجموع 90 نمونه رسوب جهت آماده‌سازی و سنجش تهیه گردید. موقعیت نمونه‌ها به کمک دستگاه GPS Map مدل (GARMIN78 S) تعیین گردید. این مناطق به دلیل نزدیکی به نواحی شهری بندرعباس، فعالیت‌های بندری و دریایی و احتمال ورود آلاینده‌ها از طریق پساب‌های شهری و رواناب‌های سطحی از اهمیت زیست‌محیطی برخوردارند. همچنین انتخاب این ایستگاه‌ها به‌گونه‌ای انجام شد که پوشش مناسبی از محدوده ساحلی مورد مطالعه فراهم شود و امکان بررسی وضعیت پراکنش فلزات سنگین و شناسایی منابع احتمالی آلودگی در منطقه فراهم گردد.



شکل 1: موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه (گلشهر جنوبی، پشت‌شهر و نایبند جنوبی)

جدول 1: مشخصات طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های گلشهر جنوبی، پشت‌شهر و نایبند جنوبی

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
گلشهر جنوبی	56°20' 31/02"	27°11' 14/42"
پشت‌شهر	56°15' 90/15"	27°10' 67/7"
نایبند جنوبی	56°19' 44/42"	27°11' 6/83"

سپس نمونه‌ها در کیسه‌های پلاستیکی مخصوص جمع آوری، کدگذاری و در یخ قرار داده شدند. در ادامه نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شده و درون فریزر و در دمای 20- درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید Ruangsomboon).

and Wongrat, 2006) جهت آماده‌سازی نمونه‌ها به منظور انجام عمل هضم، ابتدا نمونه‌های جمع‌آوری شده در آون در دمای 111 درجه سانتی‌گراد به مدت 24 ساعت قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. روش نمونه‌برداری،

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/jair.14.2.1]

آماده‌سازی، هضم نمونه‌ها و آزادسازی عناصر بر اساس دستورالعمل موپام به دلیل هضم کامل رسوبات استفاده شد (Moopam, 1999). مقدار 0/5 گرم از نمونه وزن شده را همراه با 1 سی‌سی اسید نیتریک 65 درصد، 3 سی‌سی اسید کلریدریک 37 درصد و 6 سی‌سی اسید فلوئوریدریک 40 درصد (لازم به ذکر است که کلیه اسیدها و سایر مواد شیمیایی مورد استفاده از نوع اولتراپیور Merk آلمان با درجه خلوص بالا بوده) درون بمب تفلونی ریخته (اسید فلوئوریدریک باعث شکستن پیوندهای سیلیکاتی موجود در رسوب می‌شود.) و درون ماکروویو با قدرت 100 درصد به مدت ۱ دقیقه و ۵۰ ثانیه قرار داده شد. سرانجام پس از خشک شدن بمب تفلونی مقدار 3/7 گرم اسید بوریک را در استوانه‌ای از جنس پلی‌پروپیلن ریخته و ۲۰ سی‌سی آب مقطر دیونایز به آن اضافه کرده و محتویات بمب نیز به آن اضافه گردید. حال حجم آن را با آب مقطر دیونایز به حجم 50 سی‌سی رسانده به خوبی توسط شیکر به هم زده تا اسید بوریک در آن حل گردد. سپس به مدت یک شبانه روز در دمای 4 درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شد (Moopam, 1999). پس از آماده‌سازی و انحلال رسوبات، محلول‌های حاصل توسط کاغذ صافی واتمن 42 صاف و پس از به‌هم زدن کامل و یکنواخت شدن محلول هضم شده، جهت اندازه‌گیری عناصر سرب و نیکل به دستگاه جذب اتمی (ساخت کارخانه آنالیتیک کشور آلمان مدل (contr AA700)) دارای شعله تزریق گردید. تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حاصل از اندازه‌گیری غلظت فلزات در رسوبات با نرم افزار SPSS نسخه 21 انجام پذیرفت. همچنین جهت رسم نمودارها و جداول از نرم‌افزار اکسل 2024 استفاده شد. جهت تعیین دقیق وجود یا عدم وجود تفاوت معنی‌دار غلظت فلزات سنگین بین مناطق مختلف، از آزمون آماری Tuky در سطح آماری 95 درصد استفاده شد. همچنین برای تفکیک سهم عوامل طبیعی از عوامل انسانی در فلزات سنگین منطقه از شاخص غنی‌شدگی زمین استفاده شد. عامل غنی‌سازی به عنوان شاخص متداول، نسبت غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های سطحی منطقه به غلظت آن‌ها در ماده مرجع بوده و میزان غنی‌شدگی رسوبات از اثر عوامل انسانی به دست می‌آید. بر این اساس جهت تعیین فاکتور غنی‌شدگی از رابطه زیر استفاده گردید (Sinex and Helz, 1981).

$$EF=Sc/Rc$$

که در این رابطه EF فاکتور غنی‌شدگی، SC غلظت عنصر اندازه‌گیری شده در رسوب و RC غلظت عنصر در ماده مرجع می‌باشد. طبقه‌بندی فاکتور غنی‌شدگی بر اساس کلاس غنی‌شدگی و میزان فاکتور غنی‌شدگی محاسبه می شود؛ که کلاس غنی‌شدگی به ترتیب در بدون غنی‌شدگی (کمتر از 1)، اندک (بین 1 تا 3)، متوسط (بین ۳ تا 5)، نسبتاً شدید (بین ۵ تا ۱۰)، شدید (بین ۱۰ تا 25)، خیلی شدید (بین 25 تا50) و بی نهایت شدید (بیشتر از ۵۰) می‌باشد.

غلظت ماده مرجع، میانگین عناصر در رسوبات جهانی است که در جدول 2 آمده است. با استفاده از فاکتور غنی‌شدگی، وضعیت آلودگی رسوبات بررسی شد. همچنین نتایج حاصل از مقایسه فلزات سنگین در محدوده مورد بررسی با میانگین جهانی (CCREM, 1987) در جدول 2 ارائه شده است.

جدول 2: فلزات مورد مطالعه از نظر حداقل، حداکثر، میانگین کل، میانگین جهانی، انحراف معیار (بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم)

فلز	تعداد	حداقل	حداکثر	میانگین کل	میانگین جهانی	انحراف معیار
سرب	90	12/9	18/5	15/98	19	5/11
نیکل	90	22/59	32/66	28/48	52	5/59

به منظور برآورد شدت آلودگی رسوبات منطقه از شاخص زمین‌انباشتگی مولر (Muller, 1969) استفاده گردید. روند محاسبات در رابطه زیر مشاهده می‌شود:

$$Igeo=Iog_2(Cn/1.5Bn)$$

که در این رابطه Igeo شاخص انباشت ژئوشیمیایی فلز با شاخص شدت آلودگی، Iog_2 لگاریتم بر پایه 2، Cn غلظت فلزات سنگین در رسوب یا خاک و Bn غلظت زمینه می‌باشد. غلظت زمینه میانگین عناصر در رسوبات جهانی (Lepp, 1981) است (جدول 2). شاخص ژئوشیمیایی مولر، رسوبات را از نظر درجه آلودگی به هفت گروه از رده غیرآلوده تا آلودگی بسیارشدید طبقه‌بندی نموده است (جدول3).

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/jair.14.2.1]

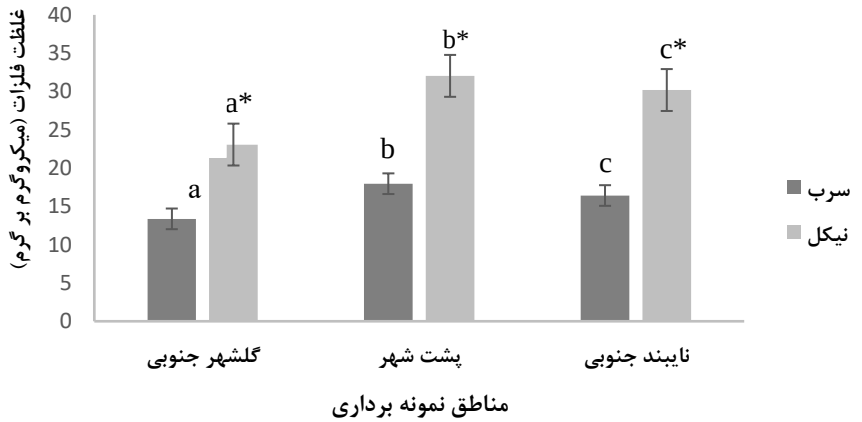
جدول3: راهنمای برآورد شدت آلودگی رسوبات از شاخص Igeo

درجه آلودگی خاک	کلاس Igeo	شاخص زمین‌انباشتگی (Igeo محاسبه شده)
غیرآلوده	کلاس صفر	>0
غیرآلوده تا آلودگی متوسط	کلاس یک	0-1
آلودگی متوسط	کلاس دو	1-2
آلودگی متوسط تا شدید	کلاس سه	2-3
آلودگی شدید	کلاس چهار	3-4
آلودگی شدید تا بسیار شدید	کلاس پنج	4-5
آلودگی بسیار شدید	کلاس شش	<5

در ادامه نیز با تعیین ژئوشیمیایی رسوبات در کلیه ایستگاه‌ها، درجه آلودگی هر ایستگاه تعیین گردید. همچنین برای ارزیابی صحت داده‌ها نیز از موارد استاندارد SRM (Standard Reference Material., TORT-2) استفاده شد. ریکاوری فلزات سرب و نیکل به ترتیب 94 و 103/5 درصد به دست آمد.

نتایج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس یک طرفه نشان داد که از لحاظ غلظت عناصر سرب و نیکل در رسوبات مناطق گلشهر جنوبی، پشت‌شهر و نایبند جنوبی از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($P < 0.05$). همچنین مقایسه میانگین مناطق مورد مطالعه از نظر غلظت عناصر سرب و نیکل با یکدیگر بوسیله آزمون تعقیبی توکی نشان داد که میانگین غلظت سرب و نیکل در رسوبات منطقه پشت‌شهر از منطقه گلشهر جنوبی و نایبند جنوبی به طور معنی‌داری بیشتر است ($P < 0/05$). نتایج تفصیلی در شکل (2) ارائه شده است.



شکل 2: مقایسه میانگین (M±SD) عناصر سرب و نیکل در مناطق گلشهر جنوبی، پشت‌شهر و نایبند جنوبی. حروف نامشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) است.

مقادیر غنی‌شدگی عناصر مختلف (مقدار عناصر نسبت به میانگین آن‌ها در رسوبات جهانی) برای هر ایستگاه طبق رابطه $EF=Sc/Rc$، محاسبه گردید که نتایج آن در جدول 4 آمده است. همچنین بر اساس رابطه $Igeo=Iog_2(Cn/1.5Bn)$ و با دراختیار داشتن میانگین عناصر در رسوبات جهانی و غلظت فلزات سنگین در مناطق مورد مطالعه، شاخص انباشت ژئوشیمیایی تمامی ایستگاه‌ها تعیین گردید که نتایج آن در جدول 4 آمده است.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/jair.14.2.1]

جدول 4: شاخص انباشت ژئوشیمیایی و غنی‌شدگی ایستگاه‌های گلشهر جنوبی، پشت‌شهر و نایبند جنوبی

مناطق و ایستگاه‌های مورد مطالعه		انباشت ژئوشیمیایی مقادیر شاخص		مقادیر غنی‌سازی فلزات سنگین	
منطقه	شماره ایستگاه	سرب	نیکل	سرب	نیکل
گلشهر جنوبی	1	-1/143	-1/782	0/678	0/435
	2	-1/059	-1/771	0/719	0/439
	3	-1/121	-1/763	0/689	0/441
	4	-1/106	-1/754	0/696	0/444
	5	-1/094	-1/778	0/702	0/437
	6	-1/071	-1/733	0/713	0/451
	7	-1/112	-1/775	0/693	0/438
	8	-1/100	-1/758	0/699	0/443
	9	-1/128	-1/738	0/686	0/449
	10	-1/064	-1/743	0/717	0/448
	11	-1/109	-1/766	0/695	0/440
	12	-1/051	-1/731	0/723	0/451
	13	-1/068	-1/779	0/715	0/436
	14	-1/131	-1/756	0/684	0/444
	15	-1/118	-1/783	0/691	0/435
	16	-1/086	-1/745	0/706	0/447
	17	-1/046	-1/764	0/726	0/441
	18	-1/136	-1/756	0/682	0/444
	19	-1/079	-1/735	0/710	0/450
	20	-1/119	-1/750	0/690	0/445
	21	-1/047	-1/776	0/725	0/437
	22	-1/115	-1/787	0/692	0/434
	23	-1/054	-1/739	0/722	0/449
	24	-1/102	-1/760	0/698	0/442
	25	-1/089	-1/741	0/704	0/448
	26	-1/123	-1/772	0/688	0/439
	27	-1/043	-1/751	0/727	0/445
	28	-1/082	-1/729	0/708	0/452
	29	-1/036	-1/746	0/731	0/447
	30	-1/097	-1/748	0/701	0/446
پشت‌شهر	31	-0/671	-1/277	0/942	0/618
	32	-0/658	-1/285	0/950	0/615
	33	-0/643	-1/271	0/960	0/621
	34	-0/693	-1/258	0/927	0/627
	35	-0/632	-1/262	0/967	0/625
	36	-0/675	-1/293	0/938	0/611
	37	-0/701	-1/282	0/922	0/616
	38	-0/681	-1/267	0/935	0/622
	39	-0/665	-1/293	0/945	0/612
	40	-0/686	-1/275	0/932	0/619
	41	-0/685	-1/259	0/932	0/626

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/jair.14.2.1]

	42	-0/635	-1/289	0/965	0/613
	43	-0/663	-1/261	0/946	0/625
	44	-0/651	-1/279	0/954	0/618
	45	-0/751	-1/270	0/891	0/621
	46	-0/649	-1/265	0/956	0/623
	47	-0/671	-1/259	0/941	0/626
	48	-0/637	-1/286	0/964	0/614
	49	-0/672	-1/297	0/941	0/610
	50	-0/694	-1/284	0/926	0/615
	51	-0/662	-1/273	0/947	0/620
	52	-0/645	-1/267	0/958	0/623
	53	-0/629	-1/291	0/969	0/612
	54	-0/655	-1/255	0/952	0/628
	55	-0/692	-1/263	0/928	0/624
	56	-0/627	-1/288	0/971	0/614
	57	-0/678	-1/280	0/937	0/617
	58	-0/698	-1/275	0/924	0/619
	59	-0/623	-1/284	0/973	0/615
	60	-0/640	-1/295	0/962	0/611
نایبند	61	-0/826	-1/376	0/845	0/577
جنوبی	62	-0/799	-1/386	0/861	0/573
	63	-0/779	-1/367	0/873	0/581
	64	-0/766	-1/361	0/881	0/583
	65	-0/725	-1/382	0/907	0/575
	66	-0/819	-1/363	0/850	0/582
	67	-0/805	-1/356	0/858	0/585
	68	-0/721	-1/389	0/909	0/572
	69	-0/788	-1/349	0/868	0/588
	70	-0/814	-1/370	0/853	0/580
	71	-0/734	-1/385	0/901	0/574
	72	-0/824	-1/393	0/846	0/571
	73	-0/776	-1/372	0/875	0/579
	74	-0/730	-1/357	0/904	0/585
	75	-0/748	-1/352	0/892	0/587
	76	-0/815	-1/378	0/852	0/573
	77	-0/784	-1/371	0/871	0/579
	78	-0/762	-1/365	0/884	0/582
	79	-0/719	-1/350	0/911	0/588
	80	-0/808	-1/391	0/856	0/571
	81	-0/813	-1/377	0/853	0/577
	82	-0/791	-1/344	0/866	0/590
	83	-0/753	-1/374	0/890	0/578
	84	-0/738	-1/359	0/898	0/584
	85	-0/795	-1/367	0/864	0/581
	86	-0/785	-1/380	0/870	0/575

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/jair.14.2.1]

87	-0/781	-1/367	0/872	0/581
88	-0/757	-1/341	0/887	0/591
89	-0/768	-1/354	0/880	0/586
90	-0/802	-1/378	0/860	0/576

بر اساس نتایج محاسبه شده در جدول (4) در بین فلزات مورد مطالعه سرب و نیکل (کلاس غنی‌شدگی کمتر از یک) بدون غنی‌شدگی را نشان داد. نتایج برای هر سه ایستگاه در جدول (4) ارائه گردیده است. همچنین بر اساس مطالعات انجام شده و نتایج حاصل از جدول (4) و مقایسه آن با شاخص ژئوشیمیایی مولر در بین عناصر مورد مطالعه سرب و نیکل (با شاخص زمین‌انباشتگی کمتر از صفر) در دسته مناطق غیرآلوده قرارگرفته شدند.

بحث و نتیجه‌گیری

فلزات سنگین در اثر عوامل طبیعی و مصنوعی به بوم‌سازگان های آبی وارد شده و از مهم‌ترین آلاینده‌های سمّی این محیط‌ها محسوب می‌شوند؛ که پایداری بالایی داشته و از توانایی ایجاد سمیّت در زنجیره غذایی برخوردارند. فلزات سنگین ورودی به آب‌ها مستقیماً در آب حل شده و یا جذب رسوبات می‌شوند (Akkajit et al., 2018). براساس یافته های تحقیق، متوسط غلظت فلزات سرب و نیکل در رسوبات سواحل گلشهر جنوبی، پشت‌شهر و نایبند جنوبی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند ($P < 0/05$). مؤذنی و همکاران، بررسی غلظت فلزات سنگین (کادمیوم، مس، سرب و نیکل) در رسوبات سطحی پارک ملی دریایی نای‌بند، شمال خلیج فارس پرداختند. نتایج نشان داد که غلظت فلزات کادمیوم، نیکل، سرب و مس در بین ایستگاه‌های مختلف دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد. این امر می‌تواند حاکی از این باشد که منابع آلودگی به‌صورت نقطه‌ای در این منطقه وجود دارد؛ که این نتایج با نتایج پژوهش ما همخوانی دارد (Moazani et al., 2013). نتایج و پژوهش داوری و همکاران در سال 2021 که به بررسی سنجش و اندازه‌گیری آلودگی‌های فلزات سنگین در رسوبات مناطق شرق، غرب و مرکز بندرعباس پرداختند؛ نشان داد که غلظت فلزات سنگین در رسوبات مناطق موردمطالعه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارد (Davari et al., 2021). طاهری‌زاده و همکاران در سال 2018، با آزمایشی که برای تعیین میزان سطح برخی فلزات سنگین و خطر ارزیابی آن در بافت خوراکی سفره‌ماهی *Himantura imbricate* در خلیج فارس انجام دادند؛ به این نتیجه رسیدند که میزان آلودگی فلزات سنگین در سواحل ایستگاه‌های انجام شده، تفاوت معنی‌داری را در مقادیر اندازه‌گیری‌شده نشان می‌دهد. این اختلاف در میزان فلزات مربوط به ایستگاه‌ها است که زباله‌ها و ضایعات محلی و لنگرگاه‌های کشتی‌ها در آن مناطق واقع شده است (Taherizadeh et al., 2018). در مناطق گلشهر جنوبی، پشت‌شهر و نایبند جنوبی، غلظت بالای سرب و نیکل نتیجه ترکیب منابع انسانی و ویژگی‌های محیطی ساحل است. مهم‌ترین عوامل شامل ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی، فعالیت‌های بندری و تعمیر و رنگ‌آمیزی شناورها با پوشش‌های حاوی فلزات سنگین، و نشت سوخت و روغن موتور از لنج‌ها و کشتی‌هاست. شرایط هیدرودینامیکی با جریان ضعیف و رسوب‌گذاری بالا باعث تجمع بیشتر فلزات در بستر می‌شود. همچنین لایروبی و ساخت‌وسازهای ساحلی فلزات قدیمی را دوباره آزاد می‌کنند و ریزذرات سوخت‌های سنگین و فرسایش تجهیزات فلزی ساحلی به‌طور مداوم فلزات بیشتری وارد محیط می‌کنند. بر اساس نتایج، غلظت فلزات سنگین سرب و نیکل در ساحل پشت‌شهر نسبت به سواحل گلشهر جنوبی و نایبند جنوبی بالاتر است. Mirza و همکاران (2013) نیکل را شاخص آلودگی نفتی دانستند و گزارش دادند که به دلیل استفاده و ورود مشتقات نفتی به محیط خلیج فارس، غلظت این آلاینده‌ها در رسوبات نسبت به دیگر فلزات بالاتر است (Mirza et al., 2013). حضور سرب در محیط اغلب با تولید و استفاده از گازوئیل و بنزین و ورود این فلز ناشی از مجاورت این سواحل با مناطق پتروشیمی، حرکت کشتی‌ها و حمل‌ونقل و تردد قایق‌ها در منطقه مرتبط است. زیرا حتی بنزین‌های بدون سرب تولیدی حاوی مقداری سرب (5 میلی‌گرم بر لیتر) هستند (Wojciechowska et al., 2019). با توجه به این که عنصر سرب در ترکیب رنگ‌ها و همچنین کابل برق و سوخت‌هایی مانند گازوئیل مورد استفاده قرار می‌گیرد (Jiang et al., 2019)، ممکن است آلودگی ایجاد شده ناشی از عملیات رنگ‌آمیزی صورت‌گرفته در اسکله‌ها و واحدهای پتروشیمی و رهاسازی این عناصر از رنگ بدنه

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/jair.14.2.1]

کشتی‌ها و شناورها باشد. همچنین می‌تواند منشأ زمینی نیز داشته باشد. از طرفی سوخت گازوئیل و بنزین مورد استفاده در انواع ماشین‌آلات و دستگاه‌های مختلف واحدهای پتروشیمی از مهم‌ترین دلایل وجود عنصر سرب در محیط و تجمع آن در رسوبات است (Ntakirutimana et al.,). (2013 حبیبی و همکاران در سال 2011، یکی از دلایل تغییرات میزان غلظت آلاینده‌ها در سواحل مختلف استان بوشهر را ناشی از میزان تلاطم، جریانات آشفته‌های دریایی متفاوت بیان نمودند. همچنین قابل ذکر است که مطابق بررسی‌های صورت گرفته، بخش‌های شمالی خلیج فارس به دلیل عمق کم، چرخش محدود و شوری بالا به میزان بیشتری تحت تأثیر آلاینده‌ها به خصوص فلزات سنگین هستند (Habibi et al., 2011). غلظت بالای سرب و نیکل در ساحل پشت‌شهر، بیشتر از گلشهر جنوبی و نایبند جنوبی، به دلیل تمرکز فعالیت‌های دریایی-صنعتی در این منطقه است. عواملی مانند تراکم شناورها در نزدیکی اسکله صیادی، تراشیدن و رنگ‌آمیزی مجدد بدنه لنج‌ها، و نشت مداوم سوخت، منابع اصلی ورود مستقیم این فلزات هستند. همچنین، ریزگردهای صنعتی و ذرات ناشی از احتراق سوخت‌های سنگین که توسط باد به سمت ساحل پشت‌شهر هدایت می‌شوند، به افزایش غلظت این فلزات کمک می کنند. سرب در محدوده مورد مطالعه 15/07 mg/kg می‌باشد که از میانگین جهانی 19 mg/kg کمتر است. همچنین نیکل با میانگین 27/31 mg/kg در منطقه پایین‌تر از مقدار میانگین جهانی 52 mg/kg است. نیکل به صورت اکسیدها، سولفیدها، ترکیبات محلول و به میزان کمتر، نیکل فلزی از منابع انسانی منتشر می‌شود. سطح نیکل در خاک و رسوبات تحت تأثیر منابع طبیعی و انسانی مانند معدن، زباله‌های شهری و لجن فاضلاب قرار دارد (Derakhti et al., 2025). سرب از طریق دودهای خروجی از اتومبیل‌ها، کارخانه‌ها، مخزن باتری‌ها، آفت‌کش‌ها، احتراق بنزین دارای سرب، صنعت پتروشیمی و کودهای کشاورزی به خاک وارد می‌شود (Mansouri and Azimi, 2015). بنابراین با توجه به کمتر بودن مقدار میانگین سرب و نیکل نسبت به مقدار میانگین جهانی در ایستگاه‌های گلشهر جنوبی، پشت‌شهر و نایبند جنوبی، آلودگی گزارش نمی‌شود. در مطالعه حاضر فاکتور غنی‌شدگی فلزات در نمونه‌های سرب و نیکل در هر سه منطقه گلشهرجنوبی، پشت‌شهر و نایبند جنوبی، بدون غنی‌شدگی بود. ضریب غنی‌شدگی در تحلیل‌های زیست‌محیطی، یکی از عوامل مهم ارزیابی میزان تمرکز عناصر تحت تأثیر عوامل انسانی و طبیعی است (Lu et al., 2009). این شاخص با نشان دادن کمیّت نرمال مقادیر مشاهده‌شده از غلظت فلز سنگین نسبت به غلظت فلز مرجع در نمونه رسوبات، ابزاری مناسب برای نشان دادن روند ژئوشیمیایی تغییر غلظت این فلزات در منطقه‌ای بزرگ و نیز میزان تجمّع هر یک در اختیار محققان قرار خواهد داد (Ravichandran et al., 1995).همچنین Beg و همکاران (2011) در بررسی رسوبات سواحل کویت بیان کردند وانادیم و نیکل فلزات مرتبط با نفت بوده و نشان‌دهنده وجود آلودگی نفتی در منطقه هستند (Beg et al., 2001). با توجه به ماهیت شاخص غنی‌شدگی که این شاخص در رسوبات ناحیه مورد مطالعه و مقادیر ضرایب غنی‌شدگی کمتر از یک بیانگر آن است که این فلزات عمدتاً از منابع طبیعی به منطقه وارد شده و اثر فعالیت‌های انسانی در تمرکز فلزات سنگین ناچیز است. مقادیر غنی‌شدگی محاسبه شده برای عناصر این فلزات مورد مطالعه، نشان‌دهنده تجمّع پایین فلزات سنگین در رسوبات سطحی ناحیه مورد تحقیق می‌باشند. قرار گرفتن سرب و نیکل در رده بدون غنی‌شدگی، نشان می‌دهد که غلظت این فلزات همچنان تحت کنترل عوامل طبیعی است و آلودگی انسانی به حد بحرانی نرسیده است. این وضعیت ناشی از پویایی جزرومدی و تبادل مداوم آب است که مانع تجمع آلاینده‌ها می‌شود. همچنین بافت درشت‌دانه رسوبات و کمبود کانی های جاذب (مانند رس و اکسیدها)، ظرفیت نگهداشت فلزات را کاهش داده است. نرخ رسوب‌گذاری بالا و تناسب با پس‌زمینه طبیعی منطقه نیز از دیگر دلایل پایین ماندن این شاخص است. در پژوهش حاضر نتایج مقادیر شاخص ژئوشیمیایی مولر نشان داد که مقادیر فلزات سنگین برای تمامی نمونه‌ها کمتر از صفر بوده که بیانگر غیرآلوده بودن مناطق مورد مطالعه بود. با دستاورد پژوهش بیاتی و همکاران (2012) که نسبت به ارزیابی زیست‌محیطی فلزات بالقوه سمّی در رسوبات بستر شمال غرب خلیج فارس (محدوده استان بوشهر)، با محاسبه شاخص ژئوشیمیایی مولر اقدام نموده و نتیجه گرفتند که رسوبات از نظر کیفیت آلودگی برای اکثر عناصر مورد مطالعه در رده غیرآلوده قرار می‌گیرند (Bayati et al., 2012). صابری نسب و مرتضوی در سال 2019 با بررسی شاخص‌های آلودگی در رسوبات

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/jair.14.2.1]

تالاب میقان نشان دادند سرب، روی، نیکل و مس در درجهٔ متوسط آلودگی قرار دارند و فاضلاب شهری مهم‌ترین منشأ آنها در رسوبات تالاب میقان است (Saberi-Nasab and Mortazavi, 2019). نتایج بررسی آقاسی و همکاران (2015) در رسوبات تالاب گاوخونی اصفهان نشان دادند شاخص‌های آلودگی عناصر ضریب غنی‌شدگی و شاخص درجه آلودگی عناصر کادمیوم، سرب و روی به‌ترتیب در درجه‌های بسیار زیاد، متوسط و کم قرار دارند. فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی طی چند سال اخیر در حوضهٔ آبخیز زاینده‌رود، مهم‌ترین منشأ عناصر کادمیوم، سرب و روی به شمار می‌آیند (Aghasi et al., 2015). مطالعه Alagarsamyو همکاران (2008) که توسط شاخص تجمع زمینی مولر به ارزیابی شدت آلودگی عناصر سرب و مس در رسوبات مصب ماندآوی هندوستان پرداخته و عنوان نمودند که مقادیر شاخص برای این عناصر در طبقه غیرآلوده می‌باشد (Alagarsamy, 2008). Gao و همکاران در سال 2022 طی مطالعه‌ای در مورد بررسی غلظت هشت فلز (مس، سرب، روی، کروم، نیکل، کادمیوم، آرسنیک و جیوه) در شمال شرقی استان هاینان چین نشان دادند که شاخص Igeoدر همه فلزات به‌جز سرب بیشتر از صفر بود (Ghod Elahi et al., 2022). مقادیر منفی شاخص مولر نشان‌دهنده غیرآلوده بودن تمامی مناطق مورد مطالعه است. علت اصلی این وضعیت، توان بالای خودپالایی محیط (ناشی از جزر و مد و امواج) است که مانع تجمع و تثبیت آلاینده‌ها می‌شود. همچنین بافت درشت‌دانه رسوبات ظرفیت نگهداری فلزات را کاهش داده و سرعت پراکنش آلاینده‌ها را افزایش می‌دهد. در نهایت، نزدیکی غلظت‌ها به سطوح طبیعی زمین‌زاد نشان می‌دهد که سهم فعالیت‌های انسانی در آلودگی منطقه بسیار محدود است.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که غلظت سرب و نیکل در رسوبات سواحل گلشهر جنوبی، پشت‌شهر و نایبند جنوبی دارای اختلاف معنی‌دار بوده و بیشترین مقدار در پشت‌شهر ثبت شده است؛ منطقه‌ای که تحت تأثیر ترکیبی از فعّالیت‌های انسانی شامل ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی، فعالیت‌های بندری و دریایی، تعمیر و رنگ‌آمیزی شناورها و نشت سوخت و روغن قرار دارد و علاوه بر آن، ویژگی‌های محیطی مانند جریان ضعیف آب، رسوب‌گذاری بالا و احتمال بازآزادسازی فلزات قدیمی از رسوبات نیز در افزایش نسبی این فلزات نقش داشته‌اند. با این حال، مقایسه داده‌ها با میانگین جهانی نشان داد که غلظت سرب و نیکل کمتر از سطح جهانی بوده و بنابراین وضعیت آلودگی قابل توجهی مشاهده نمی‌شود. نتایج فاکتور غنی‌شدگی قرارگیری هر دو فلز در رده بدون غنی‌شدگی را تأیید کرد و شاخص ژئوشیمیایی مولر نیز با مقادیر منفی، غیرآلوده بودن هر سه منطقه را نشان داد؛ وضعیتی که عمدتاً ناشی از توان بالای خودپالایی محیط در اثر جزر و مد، تبادل پیوسته آب، بافت درشت‌دانه رسوبات، کمبود کانی‌های جاذب و نزدیکی غلظت‌ها به پس‌زمینه طبیعی است. در مجموع، نتایج این تحقیق بیانگر آن است که با وجود تأثیر فعالیت‌های انسانی بر تفاوت‌های مکانی، شرایط طبیعی و فرایندهای رسوبی منطقه مانع از ایجاد آلودگی شده و پایداری نسبی کیفیت رسوبات در سواحل مورد مطالعه حفظ شده است.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از زحمات کلیه افرادی که در انجام این پایان‌نامه یاری رسانده‌اند، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

Aghasi B., Jalalian A., Khadami H. 2015. Evaluation of heavy metal contamination in sediments of the international Gavkhuni Wetland. Proceedings of the Second Conference on New Findings in the Environment and Agricultural Ecosystems, University of Tehran. (in Persian).

Akkajit P., Jaileak K., Suteersak T., Prueksakorn K. 2018. Assessment of heavy metals in sediment at Saphan Hin, Phuket. Chemical Engineering Transactions, 7: 301–308.

Alagarsamy R. 2008. Distribution and seasonal variation of trace metals in surface sediments of the Mandovi Estuary, west coast of India. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 67(1–2): 333–339.

Ali M.M., Ali M.L., Rakib M.R.J., Islam M.S., Bhuyan M.S., Senapathi V., Rahman M.Z. 2022. Seasonal behavior and accumulation of some toxic metals in commercial fishes from Kirtankhola tidal river of Bangladesh – a health risk taxation. Chemosphere, 301: 134660.

Avvari L., Basuri C., Chari H., et al. 2022.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/jair.14.2.1]

Assessment of heavy metal distribution in seawaters of Kakinada Bay, a tropical mangrove-rich coastal environment. Marine Pollution Bulletin, 181: 113877.

Bayati F., Mudbari S., Lak R., Saeedi M. 2012. Environmental assessment of potentially toxic metals in sediments of the northwestern bed of the Persian Gulf (Bushehr Province). Proceedings of the 31st Earth Sciences Conference, Geological Survey and Mineral Exploration, Paper 10. (in Persian).

Beg M.U., Al-Muzaini S., Saeed T., Jacob P.G., Beg K.R., Al-Bahloul M., Al-Matrouk K., Al-Obaid T., Kurian A. 2001. Chemical contamination and toxicity of sediment from a coastal area receiving industrial effluents in Kuwait. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 41: 289–297.

Borkhordari Ahmadi Z., Taherizadeh M. 2024. Comparison of Igeo and EF indices in estimating environmental pollution intensity in surface sediments of Khor Jask and Yek Shabeh, Hormozgan Province. Journal of Marine Medicine, 6(3): 210–218. doi:10.30491/6.3.210.

Burgos-Aceves M.A., Cohen A., Smith Y., Faggio C. 2018. MicroRNAs and their role on fish oxidative stress during xenobiotic environmental exposures. Ecotoxicology and Environmental Safety, 148: 995–1000. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.12.001.

Canadian Council of Resource and Environment Ministers (CCREM). 1987. Canadian water quality guidelines. Prepared by the Task Force on Water Quality Guidelines. CCREM.

Cempel M., Nikel G. 2006. Nickel: a review of its sources and environmental toxicology. Polish Journal of Environmental Studies, 15(3).

Davari R., Rahmani A., Hatefi Mehrjardi A., Kousaj N. 2021. Assessment and measurement of heavy metal pollution in coastal sediments of Bandar Abbas. Iranian Chemical Science and Technology Association, Tehran, Iran.

Dehghan Chenari A., Lak R. 2012. Investigating the effect of heavy metal pollution caused by oil activities in the Persian Gulf on the carbonate sediments of the seabed. The 10th International Conference on Coasts, Ports and Marine Structures.

Derakhti S., Gholami L., Kavian A., Khaledi Darvishan A. 2025. Evaluation of heavy metal contamination in different land uses of the Vaz watershed. Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering, 60(4): [Summer 2025]. doi: 10.22125/ijwe.2025.5200773.1880.

Edokpayi J.N., Enitan A.M., Mutileni N., Odiyo J.O. 2018. Evaluation of water quality and human risk assessment due to heavy metals in groundwater around Muledane area of Vhembe District, Limpopo Province, South Africa. Chemistry Central Journal, 12: 1–16. doi: 10.1186/s13065-017-0369-y.

Ghod Elahi M., Hekmati M., Esmaeili D., Ziarati P., Yousefi M. 2022. Antibacterial activity of modified carvacrol against *Staphylococcus epidermidis* and *Pseudomonas aeruginosa*. Journal of Preventive and Complementary Medicine, 1(4): 192–196.

Habibi S., Safahieh A., Pash H. 2011. Determination of impurity levels of heavy metals (Cd, Ni, Pb and Cu) in Bushehr coastal sediments. IJSTS, 11: 84–95. (in Persian).

Jiang D., Wang Y., Zhou S., Long Z., Liao Q., Yang J., Fan J. 2019. Multivariate analyses and human health assessments of heavy metals for surface water quality in the Xiangjiang River Basin, China. Environmental Toxicology and Chemistry, 38: 1645–1657.

Krupa E., Barinova S., Romanova S., Aubakirova M., Ainabaeva N. 2020. Heavy metals in fresh waters of Kazakhstan and methodological approaches to developing a regional water quality classification. Central Asian Journal of Water Research, 6: 19–41.

Lepp N.W. (ed.). 1981. Effect of heavy metal pollution on plants, Vol. 1. Applied Science Publishers.

Leung H., Cheung K., Chi K., et al. 2021. An assessment of heavy metal contamination in the marine soil/sediment of Coles Bay area, Svalbard, and Greater Bay Area, China: a baseline survey from a rapidly developing bay. Environmental Science and Pollution Research, 28: 22170–22178.

Lu X., Wang L., Lei K., Huang J., Zhai Y. 2009. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. Journal of Hazardous

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/jair.14.2.1]

Materials, 161(2–3): 1058–1062.
Mansouri N., Azimi S. 2015. Heavy Metals in the Environment, Vol. 1. Hak Publishers, Tehran. (in Persian).
Mehvar S., Filatova T., Dastgheib A., Ruyter de E., van Steveninck E., Ranasinghe R. 2018. Quantifying economic value of coastal ecosystem services: a review. Journal of Marine Science and Engineering, 6(1): 5.
Mirza R., Fakhri A., Faghiri E., Azimi A. 2013. Investigating the ratio of nickel and vanadium in the sediments of Mori Bazoft, H. Oceanography, 14: 35–43. (in Persian).
Moazani M., Hairipour S., Mohammadi M., Fooladi H. 2013. Investigation of concentrations of heavy metals (cadmium, copper, lead and nickel) in the surface sediments of Nayband National Marine Park, north of the Persian Gulf. Quarterly Journal of Wetland Ecology (Islamic Azad University, Ahvaz Branch), 15(5): 23–32. (in Persian).
Mortezavi M., Sharifi S., Kouhkan H., Jamshidi K., Mazraavi M., Noudar L.M. 2023. Spatial distribution and ecological risk of heavy metals and total petroleum hydrocarbons in marine sediments of Bushehr and Khuzestan provinces, northwest Persian Gulf. Journal of Fisheries Science and Technology, 13(1): 47–55.
Müller G. 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. Geology Journal, 2: 108–118.
Neumann B., Ott K., Kenchington R. 2017. Strong sustainability in coastal areas: a conceptual interpretation of SDG 14. Sustainability Science, 12: 1019–1035.
Regional Organization for the Protection of the Marine Environment (ROPME). 1999. Manual of Oceanographic Observations and Pollutant Analysis Methods (MOOPAM), 3rd ed.
Ravichandran M., Baskaran M., Santschi P.H., Bianchi T.S. 1995. History of trace metal pollution in Sabine-Neches, Beaumont, Texas. Environmental Science & Technology, 29(6): 1495–1503.
Rubio B., Nombela M.A., Vilas F. 2000. Geochemistry of major and trace elements in sediments of the Ria de Vigo (NW Spain): an assessment of metal pollution. Marine Pollution Bulletin, 40(11): 968–980.
Ruangsomboon S., Wongrat L. 2006. Bioaccumulation of cadmium in an experimental aquatic food chain involving phytoplankton (Chlorella vulgaris), zooplankton (Moina macrocopa), and the predatory catfish Clarias macrocephalus × C. gariepinus. Aquatic Toxicology, 78(1): 15–18.
Saberi-Nasab F., Mortazavi S. 2018. Evaluation of Pb, Zn, Cu and Ni concentration in Arak Mighan Wetland based on sediment pollution indices. Journal of Water and Soil Science, 22(1): 15–27. (in Persian).
Sinex S.A., Helz G.R. 1981. Regional geochemistry of trace elements in Chesapeake Bay sediments. Environmental Geology, 3(6): 315–323. doi: 10.1007/BF02473521.
Taherizadeh M., Behvar S., Koosej N. 2018. Study on heavy metals levels and its risk assessment in edible fish (Himantura imbricata) from the Persian Gulf. International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology, 3(4): 1457–1460. doi: 10.22161/ijeab/3.4.42.
Taherizadeh M., Forouharfard L., Shiasian F., Ganji M. 2025. Assessment of heavy metal pollution in sediments of Bandar Abbas and Tiab coasts in Hormozgan Province. Journal of Fisheries Science and Technology, 14(1): 115–127.
Wojciechowska E., Nawrot N., Walkusz-Miotk J., Matej-Lukowicz K., Pazdro K. 2019. Heavy metals in sediments of urban streams: contamination and health risk assessment of influencing factors. Sustainability, 11: 563–577. doi: 10.3390/su11030563.
Xiang L., Jiang S., Cheng H., et al. 2023. Heavy metal concentration profiles and pollution assessment in the Jiangsu offshore area, China. Marine Pollution Bulletin, 193: 115187.
Yue N., Xiong C., Zhang Y., et al. 2024. Environmental quality assessment of heavy metals in the Rongcheng offshore area, Shandong Peninsula, China. Marine Pollution Bulletin, 199: 116018.
Zhang X., Wang X.-Q., Wang D.-F. 2017. Immobilization of heavy metals in sewage sludge during land application process in China: a review. Sustainability, 9: 2020. doi: 10.3390/su9112020.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/jair.14.2.1]

Journal of Applied Ichthyological Research
Vol. 14, No 2, 1-13
ISSN: 2423-6349
Journal homepage: http://jair.gonbad.ac.ir
Ministry of Science Reseach and Technology
Gonbad-Kavoos University

Environmental Assessment of Heavy Metals (Lead and Nickel) in the Coastal Sediments of Bandar Abbas Using the Enrichment Factor Index

Maryam Rezaei[1] and Abdolvahed Rahmani[2]*

[1] Master's student, Department of Chemistry, Faculty of Basic Sciences, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
[2]* PhD, Department of Chemistry, Faculty of Basic Sciences, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

Type:
Original Research Paper

Paper History:
Received: 14-04-2026
Accepted: 19-05-2026

Corresponding author:
Abdolvahed Rahmani.
PhD, Department of Chemistry, Faculty of Basic Sciences, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

Email:
rahmaniabdolvahed@yahoo.com

Abstract:
Heavy metals, due to their high environmental persistence and ability to accumulate in coastal sediments, are considered important indicators for assessing the health of coastal ecosystems. This study was conducted to determine the concentrations of nickel and lead in the sediments of three coastal areas of Bandar Abbas, including Golshahr Jonoubi, Posht Shahr, and Nayband Jonoubi, and to evaluate their contamination status. Surface sediment samples were collected from the intertidal zone at 90 stations during August 2025. Samples were collected using a grab sampler, and the locations of the sampling stations were determined using a GPS device. Metal concentrations were measured using a flame atomic absorption spectrometer (ContrAA 700). To assess the contamination status, the Enrichment Factor and Muller's Geo-accumulation Index were calculated. The results showed that the mean concentrations of lead and nickel in the Posht Shahr area were significantly higher than those in Nayband Jonoubi and Golshahr Jonoubi ($P < 0.05$). However, the measured concentrations in all areas were below international standard limits, and according to the geochemical indices, the sediments of all three regions were classified as uncontaminated. The relatively higher concentrations of heavy metals in the Posht Shahr area may be attributed to the discharge of urban wastewater, surface runoff, vessel maintenance and painting activities, fuel and oil leakage, and restricted water exchange. Overall, although the sediments of the studied areas are currently free from significant heavy metal contamination, the continuation of human activities may lead to increased metal accumulation in the long term. Therefore, continuous monitoring and proper management of pollution sources are essential to prevent further environmental contamination.

Keywords: Bandar Abbas, Coastal sediments, Enrichment factor, Heavy metals, Muller geo accumulation index

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/jair.14.2.1]