2026, 2(3): 59-68

JAER

Journal of Animal Environmental Reaserch

Journal homepage: http://www.journalaer.com

Research Article

Assessment and Measurement of Lead and Nickel Heavy Metal Pollution in the Coastal Sediments of Bandar Abbas

Maryam Rezaei, Abdolvahed Rahmani *, Naser Koosej

Department of Chemistry, Faculty of Basic Sciences, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

Key Words

Lead
Nickel
Marine Sediments
Persian Gulf

Abstract

Introduction: Heavy metals, comprising both essential and non-essential elements, are of significant concern in ecotoxicology due to their high persistence and potential toxicity to living organisms. This study aims to measure the concentrations of lead (Pb) and nickel (Ni) in the sediments of three coastal areas South Golshahr, PoshtShahr, and South Naiband located in the Persian Gulf.

Materials & Methods: The study was conducted during the summer and winter of 2025. A total of 30 sediment samples were collected across the three study sites. The concentrations of Pb and Ni were determined using a High-Resolution Continuum Source Atomic Absorption Spectrometer (Model: Contr AA 700).

Results: The findings revealed that the mean concentrations of the studied elements in the PoshtShahr area were significantly higher than those in South Naiband and South Golshahr. This elevated concentration is attributed to intensive fishing activities, direct petroleum waste leakage, and low water currents within the jetty boundaries. Furthermore, seasonal analysis indicated that Pb and Ni levels were significantly higher in summer compared to winter. This phenomenon stems from increased evaporation rates, reduced dilution effects from rainfall, and intensified maintenance and refueling activities during the warm season. Although current concentrations remain below international standards and global sediment reference values, the hydrodynamic characteristics of the region play a crucial role in controlling these pollutants.

Conclusion: Statistical analysis confirmed a significant seasonal difference in the mean concentrations of Pb and Ni ($p<0.05$), with higher levels recorded during the summer across all sites. The primary drivers for this trend include high seawater evaporation rates and increased maritime operational activities. While sediment metal levels are currently lower than global averages, integrated urban wastewater management and rigorous monitoring of maritime activities are essential to prevent critical accumulation in the future.

Article info

* Corresponding Author's email:
rahmaniabdolvahed@yahoo.com

Received: 6 December 2025
Reviewed: 16 January 2026
Revised: 11 March 2026
Accepted: 16 April 2026

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]

[DOI: 10.22034/aer.2.3.59]

مقاله علمی - پژوهشی

سنجش و اندازه‌گیری آلودگی‌های فلزات سنگین سرب و نیکل در رسوبات ساحلی بندرعباس

*مریم رضائی، عبدالواحد رحمانی**، ناصر کوسج*

گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

کلمات کلیدی

سرب
نیکل
رسوبات دریایی
دستگاه طیف‌سنجی جذب اتمی
خلیج‌فارس

چکیده

مقدمه: فلزات سنگین شامل دو دسته عناصر ضروری و غیرضروی هستند که در بوم‌سم‌شناسی قابل‌توجه هستند. این عناصر پایداری بالایی دارند و توانایی ایجاد سمیت در موجودات زنده را دارند. هدف از این پژوهش اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین سرب و نیکل در رسوبات سه منطقه گلشهر جنوبی، پشت شهر و نایبند جنوبی در خلیج‌فارس می‌باشد.

مواد و روش‌ها: مطالعه حاضر در تابستان و زمستان ۱۴۰۴ انجام شد. نمونه‌برداری به تعداد ۳۰ نمونه در سه منطقه مورد مطالعه صورت گرفت. در نمونه‌های جمع‌آوری شده غلظت فلزات سنگین سرب و نیکل اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری غلظت فلزات از دستگاه طیف‌سنجی جذب اتمی مدل (Contr AA700) استفاده شد.

نتایج: نتایج نشان داد که میانگین غلظت عناصر در منطقه پشت‌شهر به‌طور معنی‌داری بالاتر از مناطق نایبند جنوبی و گلشهر جنوبی است؛ که به تمرکز فعالیت‌های صیادی، نشت مستقیم پسماندهای نفتی و سرعت پایین جریان آب در محدوده اسکله‌ها نسبت داده می‌شود. هم‌چنین، بررسی‌های فصلی حاکی از آن است که غلظت فلزات سرب و نیکل در فصل تابستان به‌طور معنی‌داری بالاتر از زمستان است؛ این پدیده ناشی از افزایش نرخ تبخیر، کاهش اثر رقیق‌کنندگی بارندگی‌ها و تشدید فعالیت‌های تعمیراتی و سوخت‌رسانی در فصل گرم می‌باشد. اگرچه غلظت این عناصر در حال حاضر پایین‌تر از استانداردهای جهانی و مقادیر مرجع رسوبات قرار دارد، اما ویژگی‌های هیدرودینامیکی منطقه نقش کلیدی در کنترل این آلاینده‌ها ایفا می‌کنند. لذا جهت جلوگیری از انباشت بحرانی در آینده، مدیریت یکپارچه پساب‌های شهری و نظارت بر فعالیت‌های دریانوردی ضروری است.

بحث و نتیجه‌گیری: بررسی آماری نشان داد که متوسط غلظت فلزات سنگین سرب و نیکل موجود در مناطق مورد مطالعه در دو فصل تابستان و زمستان اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($p<0/05$)، به‌طوری که در تمام مناطق مورد مطالعه غلظت فلزات سرب و نیکل در فصل تابستان بیش‌تر از زمستان بود. نرخ تبخیر بسیار بالای آب دریا و افزایش فعالیت‌های تعمیراتی و سوخت‌رسانی از مهم‌ترین دلایل علت این پدیده هستند. نتایج غلظت فلزات در رسوب نیز نشان داد که غلظت فلزات پایین‌تر از مقدار آن در رسوب جهانی است.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
rahmaniabdolvahed@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۵ آذر ۱۴۰۴
تاریخ داوری: ۲۶ دی ۱۴۰۴
تاریخ اصلاح: ۲۰ اسفند ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش: ۲۷ فروردین ۱۴۰۵

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]

[DOI: 10.22034/aer.2.3.59]

مقدمه

با توسعه سریع اقتصادی، افزایش روزافزون صنعت و تقویت بهره‌برداری از منابع اقیانوسی، آلودگی دریایی به طور قابل‌توجهی افزایش یافته و باعث نگرانی جدی در سراسر جهان شده است (۱، ۲). تخریب محیط‌زیست یک نگرانی جهانی است؛ که به‌دنبال شهرنشینی سریع و فعّالیت‌های انسانی، از جمله تولید برق، حمل‌ونقل، احتراق سوخت‌های فسیلی، استفاده از مواد شیمیایی مختلف و سایر فعّالیت‌های مرتبط رخ داده است (۳). دسترسی به آب سالم برای چندین دهه یک نگرانی عمده بوده است؛ چرا که نه تنها برای سلامت انسان، بلکه برای رفاه اکوسیستم‌های آبی نیز اهمیت حیاتی دارد(۴). اکوسیستم‌های آبی در برابر آلودگی‌های فلزی و آلاینده‌های آلی آسیب‌پذیر هستند و این مواد می‌توانند اثرات مخرب قابل توجهی بر اقیانوس‌ها و دریاها بگذارند (۵). آلودگی به عناصر بالقوه سمّی در اکوسیستم‌های آبی به یک نگرانی جهانی تبدیل شده است؛ که عمدتاً ناشی از صنعتی شدن سریع، گسترش شهرنشینی و فعّالیت‌های ناپایدار کشاورزی است (۶). افزایش سطح شهرنشینی و صنعتی شدن، منجر به شناسایی غلظت‌های قابل‌توجهی از فلزات سنگین در پهنه‌های آبی مانند دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و مصب‌ها شده است (۷، ۸). این فلزات به‌دلیل سمّیت ذاتی، ماندگاری در محیط زیست و تمایل به تجمع‌زیستی و انتقال در زنجیره غذایی آبزیان، اهمیت ویژه‌ای دارند. آن‌ها از طریق منابع مختلف انسانی مانند پساب‌های صنعتی، فعّالیت‌های معدنی و فاضلاب‌های شهری تصفیه نشده‌و هم‌چنین فرآیندهای‌طبیعی مانند فرسایش، وارد سیستم‌های آبی می‌شوند (۶). فلزات، آلاینده‌های محیطی غیرقابل تجزیه زیستی و ماندگار هستند. (۹). در نتیجه، خطرات زیست‌محیطی و خطرات بالقوه سلامتی آن‌ها، توجه جهانی را به خود جلب کرده است. عناصر ضروری مانند مس، منگنز، کبالت و روی برای موجودات ضروری هستند و نقش حیاتی در حفظ رشد و عملکردهای فیزیولوژیکی طبیعی موجودات دارند (۱۰). با این‌حال، زمانی که محتوای آن‌ها از حد آستانه فراتر رود، ممکن است اثرات سمّی ایجاد کنند. برخی از فلزات غیرضروری مانند سرب، آرسنیک و کادمیوم دارای اثرات سمّی بر رشد و نمو موجودات در سطوح پایین هستند (۱۱، ۱۲). اکوسیستم‌های آبی می‌توانند به‌طور بالقوه از طریق روش‌های مختلفی از جمله رسوب جوّی، فعّالیت‌های کشاورزی، فعّالیت‌های صنعتی و اقدامات خانگی در معرض فلزات سنگینی مانند آرسنیک، جیوه، کادمیم و سرب قرار گیرند (۱۳). سواحل دریاها به‌طور منظم آلاینده‌های شیمیایی مختلفی را از فعّالیت‌های انسانی و منابع طبیعی دریافت می‌کنند. رسوبات مستعد این هستند که مکانی برای زندگی گیاهان و جانوران آبزی باشند. آن‌ها هم چنین به عنوان یک مخزن و منبع برای عناصر کمیاب و سایر آلاینده‌های ناشی از خودروها و صنایع عمل می‌کنند. بنابراین، آلاینده‌های موجود در رسوبات می‌توانند از طریق سیل یا سایر فعّالیت‌های انسانی مانند لایروبی، به بدنه‌های آبی تخلیه شوند و اثرات مخرب مختلفی بر اکوسیستم‌های آبی بگذارند. این موضوع به‌ویژه‌زمانی اهمیّت می‌یابد که آلاینده‌های سمّی مانند فلزات سنگین وارد ستون آب شده و خطرات جدی برای محیط‌زیست ایجاد کنند. بنابراین، درک عمیق از آلودگی رسوبات می‌تواند در فرآیند تصمیم‌گیری برای حفاظت از موجودات آبزی، محیط‌زیست دریایی و بهبود سلامت سواحل مفید باشد (۳). فلزات سنگین می‌توانند به ذرات ریز موجود در سیستم‌های آبی بچسبند و در رسوبات ته‌نشین شوند. برخی از این عناصر بدون تجزیه‌شدن، مدّت طولانی در رسوبات باقی می‌مانند و در نهایت در بدن موجودات زنده انباشته می‌شوند. رسوبات، مخزن اصلی فلزات سنگین در اکوسیستم‌های آبی هستند و هم‌چنین منبع اصلی آلودگی برای توده‌های آبی محسوب می‌شوند. فلزات سنگین موجود در رسوبات ثابت نیستند و می‌توانند به‌دلیل عوامل بیولوژیکی و شیمیایی دوباره فعال شوند. تحرک، سمّیت و قابلیت دسترسی فلزات سنگین به نوع ترکیبات شیمیایی و ساختار آن‌ها بستگی دارد. این موضوع به خوبی ثابت شده است که فلزات در غلظت‌های بالای مواد آلی، متحرک‌تر هستند. میزان فلزات سنگین در رسوبات بیش‌تر از توده آبی مربوط به آن است؛ که این امر دقت و اعتبار تحلیل را افزایش می‌دهد و ذخیره‌سازی فلزات سنگین در رسوبات، بدون توجه به نوسانات محیطی نسبتاً پایدار است (۱۴). خاک یک منبع طبیعی پویا برای زندگی انسان و سایر موجودات است و به دلیل ساختار پیچیده‌اش، دریافت‌کننده اصلی آلاینده‌هایی مانند فلزات سنگین است. بنابراین، تعیین غلظت فلزات سنگین در رسوبات، بینش مهمی را در مورد آلودگی فلزی در سیستم‌های آبی فراهم می‌کند. به‌دلیل توسعه صنایع و شهرنشینی، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، آلودگی خاک به فلزات سنگین زمانی که از حد مجاز تعیین‌شده فراتر رود، اکنون یک نگرانی بزرگ است. هوازدگی فیزیکی و شیمیایی سنگ‌های مادر، ته‌نشست‌های جوّی و تخلیه فاضلاب می‌تواند بر غلظت فلزات سنگین در رسوبات تأثیر بگذارد. از طریق مکانیسم‌های مختلف، جذب سطحی، هیدرولیز و هم‌رسوبی یون‌های فلزی، مقدار زیادی از فلزات سنگین در رسوبات ته‌نشین می‌شوند (۹). بسیاری از مطالعات مذکور حاکی از آن است که رسوب مناطق ساحلی دریا به دلیل ارتباط نزدیک با اتمسفر و آب دریا بیش از سایر قسمت‌ها تحت تأثیر آلودگی ناشی از فعّالیت‌های انسان در محدوده بوم‌سامانه دریا قرار می‌گیرد (۱۵). انباشت و تحرّک فلزات سنگین در رسوبات توسط عوامل مختلفی مانند ماهیّت ذرات رسوب، خواص ترکیبات

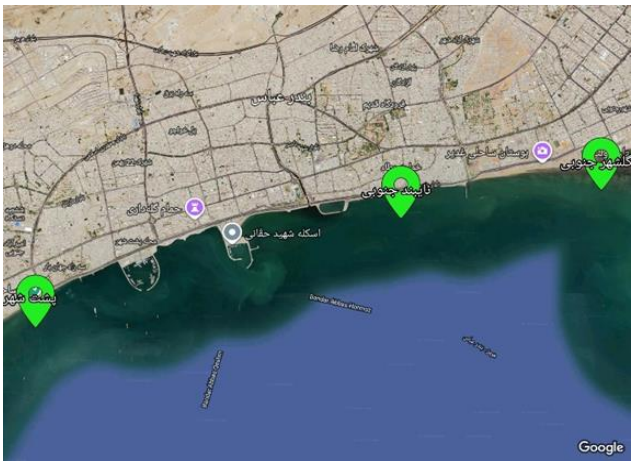
[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]

[DOI: 10.22034/aer.2.3.59]

جذب‌شده، ویژگی‌های فلز، واکنش‌های اکسایش-کاهش و تجزیه زیستی مواد جذب‌کننده کنترل می‌شود. تحت شرایط خاصی، فلزات سنگین در رسوبات تحت تأثیر موجودات زنده قرار گرفته و به مجتمع‌های آلی تبدیل می‌شوند که می‌تواند برای زندگی انسان و حیوانات خطرناک باشد (۹). این عناصر پس از ورود، در ستون آب و رسوبات باقی می‌مانند و می‌توانند اثرات زیست‌محیطی طولانی‌مدتی ایجاد کنند و سلامت انسان را، به‌ویژه از طریق مصرف غذاهای دریایی آلوده، به خطر بیندازند (۶). از آن جا که در سطح رسوب جانداران بیش‌تری نسبت به عمق آن زیست می‌کنند، فلزات سنگین در این ناحیه بیش‌تر از سایر قسمت‌ها در دسترس زیستی موجودات زنده قرار می‌گیرند (۱۶). تعیین وضعیت سلامت رسوبات معیار مهمی برای ارزیابی وضعیت محیط‌زیست است؛ در همین راستا تعیین و اندازه‌گیری فلزات سنگین در رسوبات، درک قابل‌توجهی از تغییرات زیست‌محیطی ناشی از فعّالیت‌های انسانی را به نمایش می‌گذارد (۱۷). فلزات سنگین موجود در رسوبات، اخیراً به‌دلیل خطر جدی که برای محیط‌زیست و سلامت انسان دارند، موضوع مطالعات بسیاری شده‌اند. بنابراین، باید در مورد آلودگی رسوبات به فلزات سنگین و خطرات بالقوه سلامتی در مناطق ساحلی نگرانی وجود داشته باشد (۹). از این رو توجه بسیاری از محققین در دو دهه اخیر به بررسی اثرات نامطلوب فلزات سنگین بر روی اکوسیستم‌های گوناگون جلب شده است؛ که از جمله می‌توان به مطالعه Ghasemi و Zarei که به ارزیابی رسوبات خور موسی در کرانه خلیج فارس (۱۸) و Allami و همکاران که به سنجش و ارزیابی رسوبات سطحی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس (۱۹) پرداختند، اشاره نمود. لذا این تحقیق با هدف مطالعه تجمع فلزات سنگین سرب و نیکل در رسوب سواحل بندرعباس طی دو فصل سرد و گرم، مقایسه غلظت این فلزات در ایستگاه‌های مختلف و هم چنین مقایسه غلظت این فلزات در رسوب با استانداردهای جهانی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

جهت تعیین منشأ فلزات سرب و نیکل، نمونه‌برداری از رسوبات سطحی (منطقه جزر و مدی) در سه منطقه گلشهرجنوبی، پشت‌شهر و نایبندجنوبی، استان هرمزگان در سال ۱۴۰۴ انجام شد (شکل ۱). این مناطق به‌دلیل قرارگیری در مجاورت نواحی شهری بندرعباس، فعّالیت‌های بندری و دریایی و هم چنین احتمال ورود آلاینده‌های ناشی از پساب‌های شهری و سایر فعّالیت‌های انسانی، از نظر بررسی آلودگی فلزات سنگین حائز اهمیت هستند؛ از این‌رو ایستگاه‌های نمونه‌برداری با هدف ارزیابی بهتر وضعیت آلودگی و منابع احتمالی آن انتخاب شده‌اند. مشخصات طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه، ذکر شده است (جدول ۱). در هر منطقه، ۳۰ نمونه رسوب و هر نمونه رسوب به‌طور تصادفی با ۳ تکرار از لایه سطحی (۵-۰ سانتی‌متر) با بیلچه برداشت‌شد. در مجموع ۱۸۰ نمونه رسوب جهت آماده‌سازی و سنجش تهیه گردید. موقعیت نمونه‌ها به کمک دستگاه GPS Map مدل (GARMIN78 S) تعیین گردید.



شکل۱: موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه (گلشهر جنوبی، پشت شهر و نایبند جنوبی)

Figure 1: Geographical location of the study areas (Southern Golshahr, Posht Shahr, and Southern Nayband)

جدول ۱: مشخصات طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های گلشهر جنوبی، پشت شهر و نایبند جنوبی

Table 1: Geographic coordinates of the sampling stations in Golshahr Jonoubi, Posht Shahr, and Nayband Jonoubi

Station	Longitude	Latitude
Golshahr Jonoubi	56° 20' 31.02"	27° 11' 14.42"
Posht Shahr	56° 15' 90.15"	27° 10' 67.7"
Nayband Jonoubi	56° 19' 44.42"	27° 11' 6.83"

پس از قراردادن نمونه‌ها در یک ظرف پلاستیکی در یونولیت محتوی یخ با ثبت مشخصات به آزمایشگاه محیط‌زیست بندرعباس، انتقال یافت و تا زمان بررسی در سردخانه‌ای با دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند (۲۰). در ابتدا نمونه‌ها در برابر هوا خشک و به کمک چکش پلاستیکی کوبیده شدند. با توجه به تجمّع بیش‌تر آلاینده‌ها در ذرات رسوبی ریزتر در مقابل ذرات درشت‌دانه، به‌دلیل خاصیت جذب بالاتر این ذرات، اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌های مورد بررسی بر روی رسوبات ریزدانه انجام شد. از این‌رو رسوبات از الک ۶۳ میکرون عبور داده شدند. رسوبات زیر الک را در ظرف‌های شیشه‌ای ریخته و درآون تهویه‌دار ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت جهت خشک‌شدن کامل قرار داده شد. رسوبات خشک‌شده برای نگه‌داری به ظروف تفلونی انتقال یافته و در دمای معمولی نگه‌داری شدند. در

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]

[DOI: 10.22034/aer.2.3.59]

این آزمایش از ظروف تفلونی برای نگه‌داری و آماده‌سازی نمونه‌ها استفاده گردید؛ زیرا این ظروف در برابر خورندگی اسید فلوئوریدریک مقاوم است. لازم به ذکر است طی نمونه‌برداری و در تمام طول آنالیزهای آزمایشگاهی رعایت اصول برای جلوگیری از آلودگی به عمل آمد. روش نمونه‌برداری، آماده‌سازی، هضم نمونه‌ها و آزادسازی عناصر بر اساس دستورالعمل موپام به دلیل هضم کامل رسوبات استفاده شد. مقدار ۰/۵ گرم از نمونه وزن‌شده را همراه با ۱ سی‌سی اسید نیتریک و ۳ سی‌سی اسید کلریدریک و ۶ سی‌سی اسید فلوریدریک غلیظ درون بمب تفلونی ریخته (اسید فلوریدریک باعث شکستن پیوندهای سیلیکاتی موجود در رسوب می‌شود) و درون ماکروویو با قدرت ۱۰۰٪ به‌مدت ۱ دقیقه و ۵۰ ثانیه قرار داده شد. سرانجام پس از خنک‌شدن بمب تفلونی مقدار ۳/۷ گرم اسید بوریک را در استوانه‌ای از جنس پلی‌پروپیلن ریخته و ۲۰ سی‌سی آب مقطر دیونایز به آن اضافه کرده و محتویات بمب به آن اضافه گردید. حال حجم آن را با آب مقطر دیونایز به حجم ۵۰ سی‌سی رسانده و آن را به‌خوبی توسط دستگاه شیکر به هم زده تا اسید بوریک در آن حل گردد. سپس به‌مدت یک شبانه‌روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال قرار گرفت (۲۱). پس از آماده‌سازی و انحلال رسوبات، محلول‌های حاصل توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲، صاف و پس از به هم‌زدن کامل و یکنواخت‌شدن محلول هضم شده، جهت اندازه‌گیری عناصر 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 نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ انجام پذیرفت. هم‌چنین جهت رسم نمودارها و جداول از نرم‌افزار اکسل ۲۰۲۴ استفاده شد. جهت تعیین دقیق وجود یا عدم وجود تفاوت معنی‌دار غلظت فلزات سنگین بین مناطق مختلف، از آزمون آماری Tuky در سطح آماری ۹۵ درصد استفاده شد. هم‌چنین، به‌منظور ارزیابی میزان آلودگی در مناطق مورد مطالعه، میانگین غلظت فلزات سرب و نیکل در رسوبات ساحلی گلشهر جنوبی، پشت‌شهر و نایبندجنوبی در ادامه ارائه شده است.

جدول ۲: مقدار میانگین عناصر در رسوبات جهانی (µg/g)

Table 2: Mean Concentration of Elements in Global Sediments (µg/g)

Metals	Pb	Ni
Average element concentrations in global sediments	19	52

نتایج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس یک‌طرفه نشان داد که غلظت عناصر سرب و نیکل در رسوبات مناطق گلشهرجنوبی، پشت‌شهر و نایبندجنوبی از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($p<۰/۰۵$) (جدول ۳). هم‌چنین مقایسه میانگین مناطق مورد مطالعه از نظر غلظت عناصر سرب و نیکل با یکدیگر به‌وسیله آزمون تعقیبی توکی نشان داد که میانگین غلظت سرب و نیکل در رسوبات منطقه پشت شهر از مناطق گلشهرجنوبی و نایبندجنوبی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر است ($P<۰/۰۵$). نتایج تفصیلی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: نتایج حاصل از مقایسه عناصر سرب و نیکل در رسوبات مناطق گلشهر جنوبی، پشت شهر، نایبند جنوبی (میانگین±انحراف استاندارد) حروف نامشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) است.

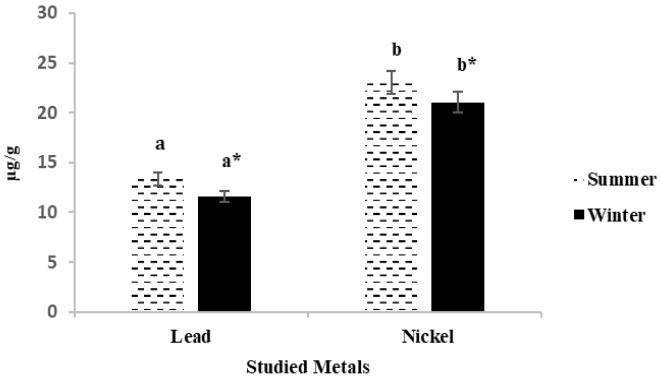
Table 3: Results of the Comparison of Lead and Nickel in Sediments from Golshahr Jonoubi, Posht Shahr, and Nayband Jonoubi (Mean ± Standard Deviation) Dissimilar letters in each column indicate significant differences ($P<0.05$).

Area	Lead (µg/g)	Nickel (µg/g)
Golshahr Jonoubi	12.48 ± 0.95^{a}	$22.06 \pm 1.05^{a*}$
Posht Shahr	17.01 ± 1.00^{b}	$31.10 \pm 1.05^{b*}$
Nayband Jonoubi	15.60 ± 0.88^{c}	$28.67 \pm 1.71^{c*}$

مقایسه میانگین غلظت عناصر سرب و نیکل در رسوبات مناطق گلشهرجنوبی، پشت‌شهر، نایبندجنوبی به‌وسیله آزمون آماری t در فصول تابستان و زمستان نشان می‌دهد که بین فصول تابستان و زمستان از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($p<۰/۰۵$) (شکل‌های ۲، ۳ و ۴). هم‌چنین مقایسه میانگین غلظت عناصر سرب و نیکل در منطقه گلشهرجنوبی به‌وسیله آزمون آماری t برای گروه‌های مستقل مقدار t به‌ترتیب برابر با ۲۱/۵۸ و ۲۸/۰۵ به‌دست داد؛ که با درجه آزادی ۵۸ در سطح پنج صدم معنی‌دار است. به عبارت‌دیگر غلظت عناصر سرب و نیکل در فصل تابستان در رسوبات منطقه گلشهرجنوبی بیش‌تر از فصل زمستان است ($p<۰/۰۵$)، نتایج تفصیلی در شکل ۲ ارائه شده است. مقایسه میانگین غلظت عناصر سرب و نیکل در رسوبات منطقه پشت‌شهر به‌وسیله آزمون آماری t برای گروه‌های مستقل مقدار t به‌ترتیب برابر با ۲۳/۰۵ و۱۵/۲۴ به دست داد که با درجه آزادی ۵۸ در سطح پنج صدم معنی‌دار است. به‌عبارت‌دیگر غلظت عناصر سرب و نیکل در فصل تابستان در رسوبات منطقه پشت‌شهر بیش‌تر از زمستان است ($p<۰/۰۵$)، نتایج تفصیلی در شکل ۳ ارائه شده است.

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]

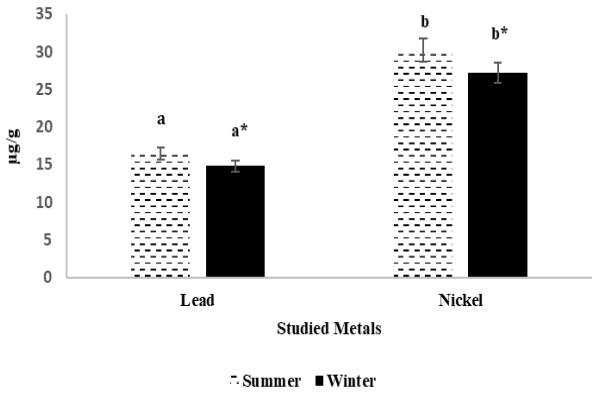
[DOI: 10.22034/aer.2.3.59]



شکل ۲: مقایسه عنصر سرب و نیکل در رسوبات منطقه گلشهرجنوبی در فصول تابستان و زمستان. حروف نامشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار (P<۰/۰۵) است.

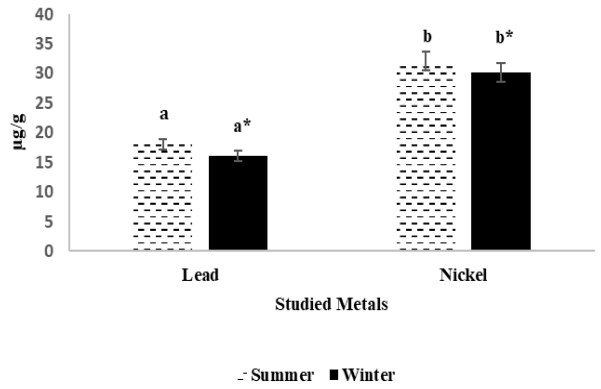
Figure 2: Comparison of Lead and Nickel in Sediments of the Golshahr Jonoubi Area During the Summer and Winter Seasons. Dissimilar letters in each column indicate significant differences (P<0.05).

مقایسه میانگین غلظت عناصر سرب و نیکل در رسوبات منطقه نایبندجنوبی به‌وسیله آزمون آماری t برای گروه‌های مستقل مقدار t به‌ترتیب برابر با ۱۹/۵۱ و ۱۵/۰۰ به‌دست داد که با درجه آزادی ۵۸ در سطح پنج صدم معنی‌دار است. به‌عبارت‌دیگر غلظت عناصر سرب و نیکل در فصل تابستان در رسوبات منطقه نایبندجنوبی بیش‌تر از فصل زمستان است (p<۰/۰۵)، نتایج تفصیلی در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۴: مقایسه عنصر سرب و نیکل در رسوبات منطقه نایبند جنوبی در فصول تابستان و زمستان. حروف نامشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار (P<۰/۰۵) است.

Figure 4: Comparison of Lead and Nickel in Sediments of the Nayband Jonoubi Area During the Summer and Winter Seasons. Dissimilar letters in each column indicate significant differences (P<0.05).



شکل ۳: مقایسه عنصر سرب و نیکل در رسوبات منطقه پشت شهر در فصول تابستان و زمستان. حروف نامشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار (P<۰/۰۵) است.

Figure 3: Comparison of Lead and Nickel in Sediments of the Posht Shahr Area During the Summer and Winter Seasons. Dissimilar letters in each column indicate significant differences (P<0.05).

بحث

فلزات سنگین، اجزای طبیعی پوسته زمین هستند که در غلظت‌های بسیار کم یافت می‌شوند. با این حال، فعّالیت‌های انسانی به‌طور اجتناب ناپذیری، غلظت فلزات را در محیط‌های دریایی افزایش داده است. فلزات سنگین ضروری نقش‌های بیولوژیکی شناخته شده‌ای دارند و فقط بیش از غلظت‌های آستانه، سمّی هستند درحالی‌که فلزات سنگین غیرضروری فاقد هرگونه نقش بیولوژیکی شناخته شده هستند و اگر اجازه داده شود در مکان‌های فعّال متابولیکی تجمّع پیدا کنند، درجه بالایی از سمّیت را نشان می‌دهند. فلزات سنگین زیست‌تخریب‌ناپذیر، پایدار و سمّی برای محیط‌زیست هستند؛ در نتیجه باعث ایجاد مشکلات جدی زیست‌محیطی می‌شوند. این فلزات تمایل به تجمّع‌زیستی دارند و میزان تجمّع‌زیستی آن‌ها به مقدار کل، مسیر جذب، ذخیره‌سازی و مکانیسم‌های دفع بستگی دارد (۲۲). براساس یافته‌های تحقیق، متوسط غلظت فلزات سرب و نیکل در رسوبات سواحل گلشهرجنوبی، پشت‌شهر و نایبندجنوبی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند. این نتایج با دستاوردهای Elsagh و Baramaki که به سنجش و اندازه‌گیری آلودگی‌های فلزات سنگین در رسوبات ساحلی خلیج‌فارس پرداختند، مشابهت دارد. بررسی آماری نشان داد که متوسط غلظت فلزات سنگین سرب و نیکل در رسوب گذرگاه‌ها با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند. در خصوص مس، بیش‌ترین مقدار در رسوبات گذرگاه نیروگاه توانیر و کم‌ترین در گذرگاه اسکله فولاد به‌دست آمد. آلودگی سرب، بیش‌ترین مقدار در رسوبات گذرگاه اسکله شهید باهنر، که می‌تواند به طورکلی ناشی از ترکیبات نفتی، ترکیبات آب توازن کشتی‌ها،

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]

[DOI: 10.22034/aer.2.3.59]

فاضلاب‌های صنعتی و شهری باشد و کم ترین در گذرگاه مجتمع کشتی‌سازی اندازه‌گیری شد. در مورد آهن، بیش‌ترین مقدار آهن را در ایستگاه مجتمع کشتی‌سازی مشاهده شد که می‌تواند به سبب حمل‌ونقل نفت‌خام و رنگ‌آمیزی شناورها و کشتی‌ها باشد و کم‌ترین در اسکله شهید رجائی به‌دست آمد (۲۳). فلز سرب ناشی از ورود فاضلاب‌های نفتی، صنعتی و شهری به دریا است که پژوهشگران، فعالیت صنایع نفتی- فلزی را عامل اصلی انتشار این فلز نامیده‌اند (۲۴). واحدهای صنعتی در غرب شهر بندرعباس، فاضلاب خود را به خور سورو وارد می‌کنند و در ترکیب با فاضلاب خام شهری، به دریای کم عمق ساحلی خلیج‌فارس می‌ریزند. تصفیه‌خانه فاضلاب در شمال شهر بندرعباس قرار گرفته است و بخشی از فاضلاب شهری را تصفیه می‌کند و از طریق خور گورسوزان، پساب را به دریا می‌ریزد، اما در میانه راه، فاضلاب‌های خام شهری به کانال خور متصل می‌شود و آب کانال با رنگی تیره به دریا می‌ریزد. خورهای شیلات و نخل ناخدا نیز با دریافت فاضلاب خام شهری به دریا می‌ریزند. بنابراین علت‌اصلی آلودگی خورهای شهر بندرعباس، فاضلاب خام شهری است که حاوی فلزات سنگینی است که حیات آبزیان را به شدّت تخریب می‌کند و سلامت آن‌ها را به خطر می‌اندازد. صنایع نیز یکی دیگر از منابع اصلی انتشار فلزات سنگین هستند؛ که می‌توان به کارخانه‌های نسّاجی، تولید فولاد و ذوب آهن، پالایشگاه و پتروشیمی و صنایع معدنی اشاره کرد که طی روند تولید، پساب خود را از طریق کانال‌هایی وارد دریا می‌کنند. این پساب‌ها حاوی فلزات سنگین از جمله مس، سرب، کادمیوم، کروم، روی و جیوه هستند(۲۵). Dehghani و همکاران بیان داشتند، افزایش فعّالیت‌های صنعتی و پالایشگاهی در سواحل خلیج‌فارس، منجر به افزایش آلاینده‌های مختلف در خلیج‌فارس شده است. با توجه به ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی (ازجمله صنایع پتروشیمی و پالایشگاهی، کشتی‌سازی و فلزکاری، آسفالت، شن و ماسه، صنایع غذایی و ...) و هم‌چنین وجود صنعت کشتیرانی در منطقه می‌توان غلظت بالای فلزات سنگین را ناشی از این عوامل دانست (۲۶). از سویی دیگر Arfaeinia و همکاران در مطالعه‌ای که به بررسی غلظت عناصر سنگین در سواحل خلیج‌فارس پرداختند و بیان داشتند که تمرکز و غلظت آلاینده‌ها در سواحل عسلویه به‌علت تمرکز بالای صنایع به مراتب بیش‌تر از سایر نواحی می‌باشد (۳). در اثر تخلیه فاضلاب و مواد زائد جامد شهری و صنعتی، عملیات توسعه و لایروبی سواحل بندر، تخلیه سموم و کودهای کشاورزی و نیز عملیات استخراج نفت خلیج‌فارس به شدّت به فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی آلوده شده‌است. در دهه‌های گذشته، تأثیرات صنعتی شدن، کشاورزی متمرکز و توسعه شهری منجر به مشکلات جدی آلودگی در اکوسیستم‌های دریایی شده است (۲۷). آلودگی فلزات سنگین در محیط‌های ساحلی و دریایی در حال تبدیل شدن به یک تهدید جدی برای اکوسیستم‌های دریایی است. انسان‌ها برای تهیه غذا، صنعت و تفریح به منابع دریایی متکی هستند. خلیج‌فارس یک دریای نیمه‌بسته است که در منطقه نیمه‌گرمسیری با دما و شوری بالا و عمق متوسط ۳۵ متر (نسبتاً کم عمق) واقع شده است. گونه‌های جانوری در خلیج‌فارس در یکی از خشن‌ترین دریاها زندگی می‌کنند. هر سال حدود ۲۰ تا ۳۰ هزار نفتکش با عبور از خلیج‌فارس با نشت حدود ۱۵۰۰۰ تن در مقیاس متریک مواد نفتی در اثر تراکم رفت‌وآمد، این دریا را به آلوده‌ترین منطقه دریایی تبدیل کرده است و این در شرایطی است که به علت بسته بودن خلیج‌فارس حدود ۳ تا ۵ سال زمان نیاز است که آب آن تعویض شود. صنایع مستقر در سواحل و پساب‌ها و نیز فاضلاب‌های شهری به خصوص در شهرهای بزرگ مانند بندرعباس، بوشهر و راه‌اندازی پروژه‌های مهم پارس جنوبی خطر آلودگی خلیج‌فارس به فلزات سنگین را افزایش می‌دهد (۲۸). بنابراین غلظت بالای فلزات سنگین سرب و نیکل در مناطق گلشهرجنوبی، پشت‌شهر و نایبند جنوبی را می‌توان به ترکیبی از فعّالیت‌های انسانی و ساحلی نسبت داد. فعّالیت‌های صیادی و دریانوردی مانند تخلیه غیرمجاز روغن موتور، مجاورت با محل تعمیر و نگه‌داری کشتی‌ها، رنگ‌آمیزی و نگه‌داری لنج‌ها و نشت مستقیم سوخت‌های فسیلی مانند بنزین و گازوئیل، ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی از عوامل اصلی آلودگی این مناطق هستند. هم‌چنین نتایج حاصل از مقایسه فلزات سنگین در محدوده مورد بررسی با مقدار میانگین عناصر در رسوبات جهانی که در جدول ۲ ارائه شده است؛ نشان می‌دهد غلظت عناصر مورد مطالعه در همه ایستگاه‌ها از حد مجاز کم‌تر است. سرب با میانگین ۱۲/۴۸±۰/۹ µg/g در منطقه گلشهرجنوبی و با میانگین ۱۷/۰۱±۱/۰۰ µg/g در منطقه پشت‌شهر و با میانگین ۱۵/۶۰±۰/۸ µg/g در منطقه نایبندجنوبی می‌باشد که از میانگین جهانی ۱۹ µg/g کم‌تر است. هم‌چنین نیکل با میانگین ۲۲/۰۶±۱/۰۵ µg/g در منطقه گلشهر جنوبی و با میانگین ۳۱/۱۰±۱/۰۵ µg/g در منطقه پشت‌شهر و با میانگین ۲۸/۶۷±۱/۷ µg/g در منطقه نایبندجنوبی پایین‌تر از مقدار میانگین جهانی ۵۲ µg/g است. مطالعه Wang و همکاران بر روی ارزیابی فلزات سنگین (As, Hg, Zn, Cu, Cr, Pb, Cd) در رسوبات سطحی دریایی خلیج دایا در جنوب چین نشان داد که تمام غلظت فلزات سنگین کم‌تر از معیارهای استاندارد اولیه است (۲۹). بنابراین با توجه به کم‌تر بودن مقدار میانگین سرب و نیکل نسبت به مقدار میانگین جهانی در ایستگاه‌های گلشهرجنوبی، پشت‌شهر و نایبند جنوبی، آلودگی گزارش نمی‌شود. در مطالعه حاضر میانگین غلظت سرب و نیکل در رسوبات منطقه پشت‌شهر از مناطق گلشهرجنوبی و

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]
[DOI: 10.22034/aer.2.3.59]

نایبندجنوبی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر است(P<۰/۰۵). غلظت سرب در رسوبات در اسکله شیلات، خور گورسوزان و هتل امین نسبت به سایر مناطق دارای میانگین غلظت بیش تری بود، و این تفاوت معنی‌داری گزارش شد. میانگین غلظت سرب از اسکله شیلات به اسکله رجایی دارای روندی کاهشی می‌باشد. به‌طورکلی ذرات سرب توسط برف و باران به‌طور 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 غلظت‌های بالای سرب هستند (۳۰). در مطالعه Koosej و همکاران رسوبات سواحل مناطق قشم، بندر خمیر و بندر لافت میزان آلودگی فلزات سنگین سرب، نیکل روی آهن و مس که نتایج حاکی از آن بود که وضعیت آلودگی در مناطق مورد مطالعه کم‌تر از میزان استاندارد جهانی می‌باشد و منطقه قشم نسبت به مناطق بندر خمیر و بندر لافت آلودگی بیش تری را نشان داد، که این آلودگی بیش‌تر مربوط به نزدیکی این منطقه به کارخانه پتروشیمی کاوه قشم، کارخانه سیمان قشم و ورود پساب‌های صنعتی و شهری و کارخانه لنج‌سازی می‌باشد (۳۱). Mahboubi Sufiani و همکاران مقادیر نیکل و وانادیوم در رسوبات رویشگاه حرای قشم را به ترتیب ۹۷/۲۴ و ۳۸/۶۸ میکروگرم بر گرم وزن خشک محاسبه کردند، که میزان وانادیوم در مطالعه حاضر کم‌تر است ولی از نظر نیکل در یک محدوده قرار دارند (۳۲). Rahmani و همکاران نیز با استفاده از مدل GNOME سواحل عسلویه را به‌دلیل ورود پساب کارخانه‌جات صنعتی بلافصل، واجد آلودگی تشخیص داده‌اند (۳۳). براساس نتایج Vaziri و همکاران روی فلزات سنگین (نیکل، کادمیوم، سرب، وانادیوم و جیوه) در رسوبات خوریات ماهشهر، آن‌ها بیان کردند که میزان نیکل در رسوبات منطقه دارای بیش‌ترین غلظت و بعد سرب، کادمیوم وانادیوم و جیوه قراردارد. به علاوه نتایج آن‌ها نشان داد که میزان نیکل در ایستگاه‌های مورد مطالعه آن‌ها در رسوبات خوریات ماهشهر بیش‌تر از مقادیر زمینه به‌دست آمد و مقادیر وانادیوم کم‌تر از مقادیر زمینه اندازه‌گیری شد. (۳۴). Robledo Ardila و همکاران ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات دریای مدیترانه را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج، نشان‌دهنده غلظت بالای جیوه، نیکل و مس بود؛ درحالی‌که کروم، روی، کادمیوم، باریم و وانادیوم دارای آلودگی متوسط بودند. این مطالعه نشان می‌دهد که الگوهای توزیع فلزات سنگین با تخلیه فاضلاب در نواحی ساحلی مرتبط است (۳۵). Zamani Afshar و همکاران نیز در مطالعه‌ای روی فلزات سنگین روی، نیکل، مس و سرب در رسوبات منطقه حفاظت‌شده خورخوران گزارش کردند که میزان نیکل بیش‌تر از سایر فلزات اندازه‌گیری شد و مقدار فلز نیکل در ایستگاه‌های مورد مطالعه آن‌ها برابر و بالاتر از مقادیر زمینه این فلزات در مقیاس جهانی اندازه‌گیری شد که نتایج آن‌ها با نتایج مطالعه ما تطابق داشت، به‌علاوه آن‌ها بیان کردند که احتمال غلظت زیاد نیکل در رسوبات این منطقه ممکن است با آلودگی‌های انسانی مانند تردد کشتی‌ها یا فاضلاب‌های شهری و صنعتی ارتباط مستقیم داشته باشد (۳۶). در مطالعه‌ای که توسط Sawaedi و Cheraghi با هدف تعیین عناصر سنگین، (کادمیم، نیکل، سرب و وانادیوم) در رسوبات سطحی میدان نفتی یاران شمالی در تالاب هورالعظیم صورت پذیرفت؛ نتایج آن‌ها نشان داد که فلز نیکل در مقایسه با دیگر فلزات آلایندگی بیش‌تری دارد و این با سایر مطالعاتی که در منطقه صورت گرفته است مطابقت دارد (۳۷). علت تحقیق حاضر را می‌توان به تخلیه پسماندهای نفتی مانند نشت روغن سوخته و سوخت‌های سنگین و فعّالیت‌های تعمیر و نگه‌داری شناورهای صیادی نسبت داد. علاوه بر این، ویژگی‌های ژئوشیمیایی رسوبات این منطقه و سرعت پایین جریان آب در نزدیکی اسکله‌ها، شرایط را برای تثبیت و تجمّع این عناصر در مقایسه با سواحل بازتر گلشهرجنوبی و نایبندجنوبی فراهم کرده است. نتایج پژوهش کنونی نشان داد که بین غلظت عناصر سرب و نیکل در مناطق مورد مطالعه در فصل تابستان نسبت به زمستان در رسوبات از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود دارد (p<۰/۰۵)، به‌طوری که در مناطق مورد مطالعه غلظت فلزات مورد نظر در فصل تابستان بیش تر از زمستان می‌باشد. نتایج و پژوهش Rahmani و همکاران نشان داد که غلظت عناصر سرب، نیکل، روی، آهن و مس در بافت عضله ماهی شعری در منطقه درگهان بیش‌تر از مناطق بندرخمیر و بندرعباس می‌باشد. هم‌چنین غلظت فلزات مورد مطالعه در تمام مناطق موردنظر در فصل تابستان بیش تر از فصل زمستان می‌باشد(۳۸). Habibi و همکاران به‌بررسی میزان آلاینده‌های مس، سرب، نیکل، کادمیوم در سواحل استان بوشهر پرداختند. نتایج حاصل از داده‌ها نشان داد مقدار غلظت فلزات در فصل تابستان بیش‌تر از زمستان بوده است (۳۹). در تابستان، دمای هوا در بندرعباس به شدّت بالا می‌رود. این موضوع باعث تبخیر سریع آب در نواحی ساحلی و خورها می‌شود. هم‌چنین به‌دلیل نبود بارندگی، آلاینده‌های ناشی از ترافیک و فعّالیت‌های لنج‌سازی ماه‌ها روی سطح زمین و رسوبات ساحلی باقی می‌مانند و روی‌هم انباشته می‌شوند، بدون این‌که توسط باران شسته شوند. معمولاً فعّالیت‌های تعمیراتی و رنگ‌آمیزی لنج‌ها در فصول گرم و خشک (تابستان) که رنگ سریع‌تر خشک می‌شود، شدّت بیش تری می‌گیرد؛ که منبع مستقیم ورود سرب و نیکل به ساحل است. از فاکتورهای افزایش غلظت فلزات سرب، نیکل، روی، آهن و مس، شوری آب است که بیش‌تر تابع تغییرات جوی است به‌طوری‌که آب دریا در فصل زمستان کم‌ترین و در تابستان بیش‌ترین مقدار شوری را دارد. وجود رابطه مستقیم بین دما و شوری مبیّن این است که با

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]

[DOI: 10.22034/aer.2.3.59]

افزایش دما، شوری آب نیز بالا می‌رود. با توجه به این‌که در فصل تابستان دمای هوا در گرم‌ترین روزها و در مرداد به ۴۵ درجه سانتی‌گراد نیز می‌رسد، در نتیجه میزان تبخیر نیز بیش‌تر شده و میزان‌شوری نیز افزایش می‌یابد. خلیج‌فارس به‌دلیل این‌که در برخی از فصول سال به‌خصوص تابستان تحت تأثیر نفوذ آب دریای عمان و دیگر آب‌های ورودی به آن قرار می‌گیرد در اثر تغییرات شوری بعضی از فلزات تشکیل انعقاد داده و سریع‌تر رسوب می‌کنند (۴۰). دلیل اصلی بالاتر بودن غلظت‌فلزات‌سنگین‌سرب و نیکل در رسوبات این مناطق در فصل تابستان نسبت به زمستان، ترکیبی از کاهش جریان‌های آبی و افزایش نرخ تبخیر است که منجر به تجمّع و عدم رقیق‌سازی آلاینده‌ها می‌شود. در واقع، نبود بارندگی‌های فصلی و روان‌آب‌های زمستانی باعث می‌شود که پساب‌های شهری و آلودگی‌های ناشی از سوخت شناورها در بنادر صیادی (مانند پشت‌شهر و نایبند جنوبی) به‌جای شسته شدن، در بستر دریا ته‌نشین شوند؛ هم‌چنین دمای بالای هوا در تابستان با تغییر در پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب، پایداری و جذب این فلزات سنگین را بر روی ذرات ریز رسوب افزایش می‌دهد.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این پژوهش نشان داد که غلظت فلزات سنگین سرب و نیکل در رسوبات مناطق مورد مطالعه دارای اختلاف معنی‌داری است، با این‌حال میانگین غلظت آن‌ها هم‌چنان پایین‌تر از میانگین عناصر در رسوبات جهانی قرار دارد؛ که بیانگر وضعیت نسبتاً مطلوب رسوبات از نظر آلودگی فلزی است. در میان مناطق مورد بررسی، ساحل پشت‌شهر بیش‌ترین میزان غلظت این فلزات را نشان داد که می‌تواند ناشی از تمرکز فعّالیت‌های صیادی، تردد شناورها، نشت احتمالی فرآورده‌های نفتی و هم‌چنین سرعت پایین جریان آب در محدوده اسکله‌ها باشد؛ که شرایط را برای تجمّع آلاینده‌ها در رسوبات فراهم می‌کند. در مقابل، سواحل گلشهرجنوبی و نایبندجنوبی به دلیل شرایط هیدرودینامیکی مناسب‌تر و تبادل بیش‌تر آب، مقادیر کم‌تری از این عناصر را نشان دادند. هم‌چنین نتایج بررسی فصلی بیانگر افزایش معنی‌دار غلظت سرب و نیکل در فصل تابستان نسبت به زمستان است؛ که می‌تواند ناشی از افزایش نرخ تبخیر، کاهش بارندگی و در نتیجه کاهش اثر رقیق‌کنندگی روان‌آب‌ها باشد؛ شرایطی که همراه با دمای بالاتر و پایداری نسبی آب، زمینه تجمّع بیش‌تر آلاینده‌های انسانی در رسوبات را فراهم می‌کند. به‌طورکلی، نتایج این پژوهش‌نشان می‌دهد که اگرچه مقادیر اندازه‌گیری‌شده‌در‌محدوده استاندارد قرار دارند، اما تداوم فعّالیت‌های انسانی نظیر دریانوردی، صید و تخلیه پساب‌ها می‌تواند در بلندمدت منجر به افزایش تدریجی غلظت این فلزات در رسوبات شود. بنابراین، مدیریت و پایش‌مستمر‌منابع آلاینده، به‌ویژه‌کنترل پساب‌های شهری و نظارت بر فعالیت‌های بندری و نگه‌داری شناورها، برای جلوگیری از تجمّع احتمالی فلزات سنگین در اکوسیستم ساحلی ضروری به نظر می‌رسد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از زحمات کلیه افرادی که در انجام این پایان‌نامه یاری رسانده‌اند، تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

منابع

1. **Ali, L., Rashid, A., Khattak, S.A., Gao, X., Jehan, S. and Javed, A., 2021.** Geochemical modeling, fate distribution, and risk exposure of potentially toxic metals in the surface sediment of the Shyok suture zone, northern Pakistan. *International Journal of Sediment Research*. 36(5): 656-667. doi: 10.1016/j.ijsrc.2021.02.006
2. **Siddiqui, A.S. and Saher, N.U., 2021.** Distribution profile of heavy metals and associated contamination trend with the sedimentary environment of Pakistan coast bordering the Northern Arabian Sea. *Environmental Science and Pollution Research.* 28(23): 30121-30138. doi: 10.1007/s11356-021-12740-0
3. **Arfaeinia, H., Dobaradaran, S., Moradi, M., Pasalari, H., Mehrizi, E.A., Taghizadeh, F., Esmaili, A. and Ansarizadeh, M., 2019.** The effect of land use configurations on concentration, spatial distribution, and ecological risk of heavy metals in coastal sediments of northern part along the Persian Gulf. *Science of the Total Environment.* 653: 783-791. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.370
4. **Bogardi, J.J., Leentvaar, J. and Sebesvári, Z., 2020.** Biologia Futura: Integrating freshwater ecosystem health in water resources management. *Biologia Futura.* 71: 337-358. doi: 10.15570/biologiafutura.2020.30
5. **Yu, F., Yang, C., Zhu, Z., Bai, X. and Ma, J., 2019.** Adsorption behavior of organic pollutants and metals on micro/nanoplastics in the aquatic environment. *Science of the Total Environment.* 694: 133643. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.133643.
6. **Taghavi, M., Shadboorestan, A., Kalankesh, L.R., Mohammadi-Bardbori, A., Ghaffari, H.R., Safa, O., Farshidfar, G. and Omidi, M., 2024.** Health risk assessment of heavy metal toxicity in the aquatic environment of the Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin.* 202: 116360. doi: 10.1016/j.marpolbul.2024.116360.
7. **Martínez Guijarro, M., Pachés Giner, M.A.V., Romero Gil, I. and Aguado García, D., 2021.** Sources, mobility, reactivity, and remediation of heavy metal (loid) pollution: a review. *Environmental Pollution.* 287: 117621. doi: 10.1016/j.envpol.2021.117621.
8. **Kalankesh, L.R., Rodríguez-Couto, S., Zazouli, M.A., Moosazadeh, M. and Mousavinasab, S., 2019.** Do disinfection byproducts in drinking water have an effect on human cancer risk worldwide? A meta-analysis. *Environmental Quality Management.* 29: 105-119. doi: 10.1002/tqem.21639.

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]
[DOI: 10.22034/aer.2.3.59]

9. **Seifi, M., Mahvi, A.H., Hashemi, S.Y., Arfaeinia, H., Pasalari, H., Zarei, A. and Changani, F., 2019.** Spatial distribution, enrichment and geo-accumulation of heavy metals in surface sediments near urban and industrial areas in the Persian Gulf. *Desalination and Water Treatment.* 158: 130-139. doi: 10.5004/dwt.2019.24108

10. **Setia, R., Dhaliwal, S.S., Kumar, V., Singh, R., Kukal, S.S. and Pateriya, B., 2020.** Impact assessment of metal contamination in surface water of Sutlej River (India) on human health risks. *Environmental Pollution.* 265: 114907. doi: 10.1016/j.envpol.2020.114907

11. **Onyeukwu, M., Uronnachi, E., Ikeotuonye, C.B., Ijezie, C., Okeke, T., Ewuzie, S. and Nzekwe, I., 2024.** Quality control and microbial analysis of liquid herbal drug formulations marketed in three major cities of South Eastern Nigeria. *Journal of Preventive and Complementary Medicine.* 3(3): 125-134. doi: 10.22034/jpcm.2024.475421.1183

12. **Vardhan, K.H., Kumar, P.S. and Panda, R.C., 2019.** A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives. *Journal of Molecular Liquids.* 290: 111197. doi: 10.1016/j.molliq.2019.111197

13. **Akhtar, N., Syakir Ishak, M.I., Bhawani, S.A. and Umar, K., 2021.** Various natural and anthropogenic factors responsible for water quality degradation: a review. *Water.* 13(19): 2660. doi: 10.3390/w13192660

14. **Rezaei, M., Mehdinia, A., Saleh, A., Modabberi, S. and Mansouri Daneshvar, M., 2021.** Environmental assessment of heavy metal concentration and pollution in the Persian Gulf. *Modeling Earth Systems and Environment.* 7(2): 983-1003. doi: 10.1007/s40808-020.01009-8

15. **Qiao, Y., Yang, Y., Gu, J. and Zhao, J., 2013.** Distribution and geochemical speciation of heavy metals in sediments from coastal area suffered rapid urbanization, a case study of Shantou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin.* 68: 140-146. doi: 10.1016/j.marpolbul.2012.12.007

16. **Kesavan, K., Murugan, A., Venkatesan, V. and Vijay Kumar, B., 2013.** Heavy metal accumulation in molluscs and sediment from Uppanar Estuary, southeast coast of India. *Thalassas.* 29: 15-21. doi: 10.1007/s41208-013.0002-4

17. **Yang, J., Cao, L., Wang, J., Liu, C., Huang, C., Cai, W., Fang, H. and Peng, X., 2014.** Speciation of metals and assessment of contamination in surface sediments from Daya Bay, South China Sea. *Sustainability.* 6: 9096-9113. doi: 10.3390/su6129096

18. **Ghasemi, S. and Zarei, G., 2021.** Ecological risk assessment of heavy metals in coastal sediments of Bandar Abbas city. *Journal of Environmental Science Studies.* 6(3): 3878-3889

19. **Allami, H., Afzali, A. and Mirzaei, R., 2020.** Determination and investigation of heavy metal concentrations in sediments of the Persian Gulf coasts and evaluation of their potential environmental risk. *Analytical Methods in Environmental Chemistry Journal.* 3(4): 60-71. doi: http://journal.amecj.com/index.php/AMECJ-01/article/view/122/265

20. **Ruangsomboon, S. and 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

21. **Regional Organization for the Protection of the Marine Environment. 1999.** Manual of oceanographic observations and pollutant analysis methods (MOOPAM) (3rd ed.). Kuwait: ROPME.

22. **Karsten, J., Gjengedal, E. and Mobbsa, H.J., 2008.** Trace element exposure in the environment from MSW landfill leachate sediments measured by a sequential extraction technique. *Journal of Hazardous Materials.* 153: 751-758. doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.09.027

23. **Elsagh, A. and Baramaki, M., 2019.** Measurement of heavy metal pollution in the coastal sediments of the Persian Gulf. *Environmental Science and Technology.* 15(3): 1-11. (In Persian)

24. **Khosravi, M. and Rakhshaee, R., 2005.** Biosorption of Pb, Cd, Cu and Zn from wastewater by treated Azolla filiculoides with H_2O_2/$MgCl_2$. *International Journal of Environmental Science & Technology.* 1(4): 265-271. doi: 10.1007/BF03325877

25. **Al Hakim, S., Jaber, S., Eddine, N.Z., Baalbaki, A. and Ghauch, A., 2020.** Degradation of theophylline in a UV254/PS system: Matrix effect and application to a factory effluent. *Chemical Engineering Journal.* 380: 122478. doi: 10.1016/j.cej.2019.122478

26. **Dehghani, M., Nabipour, I., Dobaradaran, S. and Godarzi, H., 2014.** Cd and Pb concentrations in the surface sediments of the Asaluyeh Bay, Iran. *Journal of Community Health.* 3(10): 22-30. doi: 10.1016/j.jch.2014.01.001

27. **Ashraf, W., 2005.** Accumulation of heavy metals in kidney and heart tissues of *Epinephelus microdon* fish from the Persian Gulf. *Environmental Monitoring and Assessment.* 101(1): 311-316. doi: 10.1007/s10661-005.0298-4

28. **Elsagh, A. and Barmaki, M., 2014.** Determination of pollution caused by heavy metals Cu, Zn, Ni and Pb in the Persian Gulf coastal sediments. *Journal of Environmental Science and Technology.* 15(2): 1-10. doi: 10.22034/jest.2014.10842 (In Persian)

29. **Wang, H., Fan, Z., Kuang, Z., Yuan, Y., Liu, H. and Huang, H., 2021.** Heavy metals in marine surface sediments of Daya Bay, Southern China: Spatial distribution, sources apportionment, and ecological risk assessment. *Frontiers in Environmental Science.* 9: 755873. doi: 10.3389/fenvs.2021.755873

30. **Clarke, A.L., 2006.** Long-term trends in eutrophication and nutrients in the coastal zone. *Limnology and Oceanography.* 51(1): 385-397. doi: 10.4319/lo.2006.51.1part_2.0385.

31. **Koosej, N., Jafariyan, H., Rahmani, A., Patimar, A. and Gholipoor, H., 2021.** Evaluation of heavy metal pollution and investigation of the source of environmental pollution of sediments in Qeshm, Bandar Khamir and Bandar Laft areas of Hormozgan province in the Persian Gulf. *Journal of Marine Science and Technology.* 20(2): 151-163. doi: 10.22113/jmst.2021.246838.4116 (In Persian)

32. **Darvishnia, Z., Riahi Bakhtiari, A., Kamrani, E. and Sadjjadi, M.M., 2015.** Bioaccumulation of heavy metals (Pb, Fe and Zn) in the tissues of skeletal coral family, Faviidae, and surrounding sediments in the south of Qeshm Island-The Persian Gulf. *Journal of Aquatic Ecology.* 5(1): 77-87. doi: 10.22034/jae.2015.11893

33. **Rahmani, S., Farzingohar, M. and Kabiri, K., 2020.** Mapping of pollution dimensions of areas affected by Asalouyeh petrochemical wastewater based on GNOM

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]

[DOI: 10.22034/aer.2.3.59]

model. *Journal of Oceanography.* 11(41): 139-149. doi: 10.52547/joc.11.41.139

34. **Vaziri, B., Hakimi Abed, M., Nabavi, S.M.B. and Shariat Feizabadi, F., 2021.** Bioaccumulation, lead, vanadium, feather, ordinary coot, Hawizeh Wetland. *Journal of Oceanography.* 12(45): 99-112. doi: 10.52547/joc.12.45.99 (In Persian)

35. **Robledo Ardila, P.A., Álvarez-Alonso, R., Árcega Cabrera, F., Durán Valsero, J.J., Morales García, R., Lamas-Cosío, E., Oceguera-Vargas, I. and Del Valls, A., 2024.** Assessment and review of heavy metals pollution in sediments of the Mediterranean Sea. *Applied Sciences.* 14(4): 1435. doi: 10.3390/app14041435

36. **Zamani Afshar, R., Esmaeilpour, Y., Naji, A. and Gholami, H., 2022.** Investigation of accumulation of heavy metals in sediment and *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. plants of Khorkhoran protected area. *Iranian Journal of Forest.* 14(1): 61-73. doi: 10.22034/ijf.2022.316826.1804 (In Persian)

37. **Sawaedi, A. and Cheraghi, M., 2023.** Investigating the concentration of heavy metals in the sediments of North Yaran oil field, Horulazim lagoon, Khuzestan. *Journal of New Approaches in Water and Environmental Engineering.* 1(2): 163-171. doi: 10.22034/jnawee.2023.175150 (In Persian)

38. **Rahmani, A. and Koosej, N., 2024.** Investigation and measurement of heavy metals lead, nickel, zinc, iron and copper in the muscle tissue of spangled emperor fish (*Lethrinus nebulosus*) in Hormozgan Province and assessment of the risk caused by its consumption. *Journal of Marine Medicine.* 6(4): 255-263. doi: 10.30491/6.4.255 (In Persian)

39. **Habibi, S., Safahieh, A. and Pashazanousi, H., 2013.** Determination of the contamination level of coastal sediments in Bushehr Province regarding heavy metals (Cu, Pb, Ni, Cd). *Journal of Marine Science and Technology.* 11(4): 1-12.

40. **Karbassi, A., 1999.** Standard concentration and origin of Ni, Zn, Cu, Co, Cd, V, Fe, Mn and Pb in surface sediments of the Persian Gulf. *Journal of Environmental Science and Technology.* 5(6): 53-65. doi: 10.22034/jest.1999.10843 (In Persian)

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-11-15]

[DOI: 10.22034/aer.2.3.59]