Journal of Marine Medicine
Winter 2025, Volume 6, Issue 4
Pages: 274-281
10.30491/6.4.274

Assessment of heavy metal toxicity levels in surface sediments of Sorkhankol wildlife refuge

Forough Jalil Nejad Masouleh [1], Mohsen Mohammadi Galangash [2] *

[1] Graduate of master in Environmental pollution, Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Guilan, Iran
[2]Associate professor, Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Guilan, Iran

Received: 3 September 2024 **Accepted:** 29 January 2025

Abstract

Background and Aim: Assessing the quality of wetland ecosystem substrates as habitats for benthic organisms is crucial in ecological studies. In this study, the concentration of heavy metals in the surface sediments of Sorkhankol was investigated. The study area is located in the central part of Anzali Wetland, in the southwestern Caspian Sea.

Methods: Sampling operations were conducted at nine stations in the spring of 2020. After initial preparation and acid digestion, the samples were analyzed using an atomic absorption spectrometer.

Results: The average concentration of metals in sediment samples followed the order: Cadmium > Lead > Chromium > Zinc. The highest positive and significant correlation was observed between zinc and chromium, as well as between cadmium and lead. PCA analysis indicated that among the principal components, the first component was positively and significantly associated with lead and cadmium, while the second component was linked to zinc and chromium. In cluster analysis, cadmium, lead, and chromium were grouped together, whereas zinc formed a separate cluster. The results of PLI, EF, and RI index calculations for the four studied metals indicated a non-contaminated status of the sediments.

Conclusion: Although the results of this study are satisfactory, due to the ecological sensitivity and value of this habitat, continued research on this ecosystem is essential.

Keywords: Toxicity, Heavy metals, Sediments, Wildlife refuge

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.30491/6.4.274]

***Corresponding author:** Mohsen Mohammadi Galangash**, Email**: m_mohammadi@guilan.ac.ir
Address: Dep. of Environmental Sciences & Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Guilan, Iran.

مجله طب دریا
دوره ۶، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳
صفحات: ۲۸۱-۲۷۴
10.30491/6.4.274

ارزیابی درجه سمیت فلزات سنگین در رسوبات سطحی پناهگاه حیات وحش سرخانکل

فروغ جلیل نژاد ماسوله [۱]، محسن محمدی‌گلنگش [۲*]

[۱] کارشناسی‌ارشد آلودگی محیط‌زیست، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران
[۲] دانشیار گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۱۳ **پذیرش مقاله:** ۱۴۰۳/۱۱/۱۰

چکیده

زمینه و هدف: ارزیابی کیفیت بستر اکوسیستم‌های تالابی به عنوان زیستگاه کفزیان در مطالعات اکولوژیک بسیار ضروری است. در این تحقیق، غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی سرخانکل مورد مطالعه قرار گرفت. منطقه مورد مطالعه در بخش مرکزی تالاب انزلی و در جنوب‌غربی دریای خزر واقع شده است.

روش‌ها: عملیات نمونه برداری از ۹ ایستگاه در بهار ۱۳۹۹ انجام شد. نمونه ها پس از آماده سازی اولیه و هضم اسیدی با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: ترتیب میانگین غلظت فلزات در نمونه‌های رسوب بصورت کادمیوم>سرب>کروم>روی بود. در این مطالعه، بیشترین سطح همبستگی مثبت و معنی دار بین فلزات روی و کروم و نیز بین کادمیوم و سرب به دست آمد. نتایج آنالیز PCA نشان داد که در بین مولفه‌های اصلی، مولفه اول به طور مثبت و معناداری با سرب و کادمیوم و مولفه دوم با فلزات روی و کروم مرتبط می‌باشند. در آنالیز خوشه‌ای، فلزات کادمیوم، سرب و کروم در یک شاخه و روی در شاخه‌ای مجزا قرار گرفت. نتایج مربوط به محاسبات شاخص‌های EF،PLI و RI برای چهار فلز مورد مطالعه نشان دهنده وضعیت غیر آلوده رسوبات بود.

نتیجه‌گیری: اگرچه نتایج این تحقیق رضایت بخش است اما به دلیل حساسیت و ارزش‌های اکولوژیک این زیستگاه، تداوم مطالعات در این اکوسیستم الزامی است.

کلیدواژه‌ها: سمیت، فلزات سنگین، رسوبات، پناهگاه حیات وحش

*نویسنده مسئول: **محسن محمدی‌گلنگش**. پست الکترونیک: m_mohammadi@guilan.ac.ir
آدرس: گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران.

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.30491/6.4.274]

مقدمه

فلزات سنگین از جمله شایع‌ترین آلاینده‌های پایدار در محیط‌زیست هستند که دارای چگالی ویژه بزرگتر از ۵ می‌باشند و معمولاً تجزیه این عناصر در طبیعت مدت زیادی به طول می‌انجامد (۱). فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی و نیز فعالیت‌های استخراج نفت و گاز از مهمترین عوامل آلودگی اکوسیستم‌ها به فلزات سنگین می‌باشند (۲). بسیاری از فلزات نظیر سرب (Pb)، کروم (Cr) و کادمیوم (Cd) نقش شناخته شده‌ای دربدن جانداران نداشته و غیرضروری به شمار می‌آیند که منجر به بروز جهش‌های زنتیکی و امراض گوناگون می‌گردند (۳). رسوبات در محیط‌های آبی، معمولاً ترکیبی از مواد معدنی ریز با قابلیت تبادل کاتیونی بالا مانند مواد معدنی رسی و اکسید آهن می‌باشند (۴). به دلیل خصوصیات ویژه فلزات سنگین مانند تحرک کم و جذب بالا توسط رسوبات (از طریق مکانیزم تبادل یونی)، ممکن است انواع فلزات سنگین مدت طولانی در رسوب باقیمانده بمانند (۵).

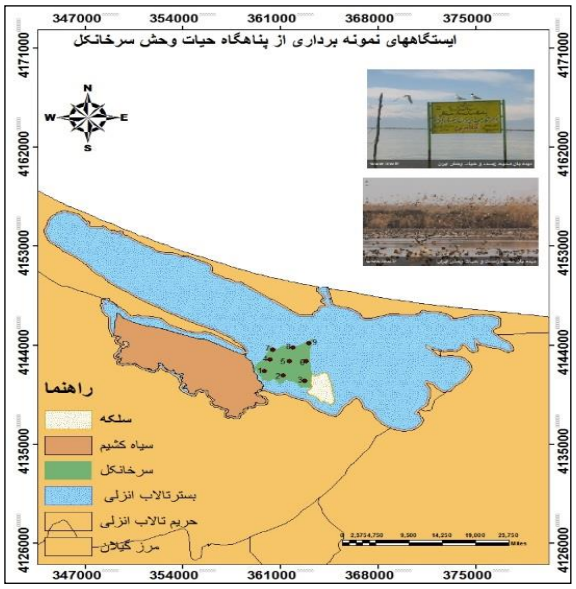
سطح بالای تجمع عناصر در انواع اکوسیستم‌ها و انتقال در زنجیره غذایی و در نهایت انباشتگی آنها در موجودات زنده به دلیل سمیت بسیاری از فلزات، موجب مشکلات جدی از جمله آسیب مغزی وکاهش عملکرد سیستم اعصاب مرکزی، کاهش سطح انرژی بدن و نیز آسیب به ریه، کلیه‌ها، کبد، قلب و محتوای ژنتیکی می‌گردد (۶).

از چند دهه گذشته مطالعات بسیاری در سراسر جهان در زمینه تجمع عناصر سنگین در رسوبات صورت گرفته است که می‌توان به تحقیقات کاظمی درسنکی و نعیمی در خلیج فارس (۷)، محمدی گلنگش و همکاران در انزلی (۸)، Ramachandra و همکاران در هند (۹) و نیز Kluska وJabłońska در لهستان (۱۰) اشاره نمود. امروزه به منظور بررسی کیفیت رسوبات با توجه به میزان غلظت فلزات تجمع یافته در آن‌ها می‌توان از انواع شاخص‌های آلودگی و آنالیزهای آماری استفاده نمود. استفاده از این تکنیک‌ها در تبدیل مقادیر عددی غلظت‌ها به یک حالت توصیفی، کارامد هستند و میتوان با محاسبه آن‌ها وضعیت آلودگی فلزات در رسوبات منطقه را به طور جامع ارزیابی نمود (۱۱). تالاب بین المللی انزلی از جمله تالاب‌های ارزشمند کشور است که در جنوب غربی دریای خزر در استان گیلان، واقع می‌باشد و منطقه حفاظت‌شده سرخانکل در بخش میانی این تالاب، به‌عنوان تنها مسیر رسیدن به نیلوفرهای آبی است. متاسفانه ورود پساب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های صنعتی به تالاب و نیز حجم بالای قایقرانی، باعث گردیده میزان زیادی از آلاینده‌های مختلف ازجمله فلزات سنگین به آب و به طبع رسوبات سرخانکل راه یابد (۱۲).

از آنجائیکه مطالعه تجمع فلزات سنگین در رسوبات می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را در بخش کیفیت محیط زیست منطقه و توجه به سلامت عمومی در اختیار محققین قرار دهد، لذا در این تحقیق ۱) غلظت و توزیع مکانی فلزات سنگین، ۲) تعیین منابع احتمالی فلزات سنگین و ۳) خطر اکولوژیک فلزات سنگین در رسوبات ساحلی تالاب سرخانکل مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

روش‌ها

پناهگاه حیات وحش سرخانکل در جنوب‌غربی دریای خزر (استان گیلان) و در عرض جغرافیایی از ۳۷ ۲۵ تا ۳۷ ۲۶ شمالی و طول جغرافیایی از ۴۹ ۲۵ تا ۴۹ ۲۷ شمالی و عرض جغرافیایی از ۳۷ ۲۳ تا ۳۷ ۲۴ جنوبی و طول جغرافیایی از ۴۹ ۲۷ تا ۴۹ ۲۴ جنوبی واقع شده است. منطقه سرخانکل در قسمت میانی تالاب بین‌المللی انزلی واقع شده و به مساحت ۱۲۱۴/۲۳ هکتار می‌باشد. به منظور نمونه‌برداری از رسوبات سطحی در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۹، پس از بازدیدهای میدانی از منطقه، تعداد ۹ ایستگاه در سرخانکل تعیین شد (شکل ۱). موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها با استفاده از دستگاه GPS دستی مدل (eTrax, Garmin) ثبت گردید. نمونه‌برداری از رسوبات سطحی (۵ سانتی‌متر) توسط نمونه‌بردار چنگکی گرب ون وین با ۵ تکرار انجام شد (۱۲).



شکل-۱. موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری در پناهگاه حیات وحش سرخانکل

آماده سازی رسوبات

در آزمایشگاه پس از آماده سازی رسوبات برای عملیات هضم (خشک کردن در آون، الک کردن و توزین)، عملیات هضم اسیدی با استفاده از اسید نیتریک غلیظ (۶۵٪) و اسید پرکلریک(۶۰٪) انجام شد. پس از آن، محلول رقیق سازی گشت و در نهایت اندازه گیری غلظت فلزات بوسیله دستگاه جذب اتمی شعله مدل (AAS) ساخت کمپانی ترمو انگلستان صورت گرفت (۱۳).

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.30491/6.4.274]

شاخص‌های زیست محیطی

PLI (شاخص بار آلودگی)، تعداد دفعاتی که غلظت فلزات سنگین در خاک نسبت به غلظت زمینه افزایش یافته است، را نشان (۱۴). این فاکتور از رابطه (۱) محاسبه می‌گردد که در آن CF، شاخص فاکتور آلودگی، بر اساس رابطه (۲) بدست می‌آید. در رابطه (۲) C_n غلظت فلز n، B_n غلظت متوسط همان فلز در شیل می‌باشد (۱۵). در جدول-۱ طبقه بندی کیفیت رسوبات بر اساس شاخص PLI نمایش داده شده است.

$$PLI = n\sqrt{CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \ldots \times CF_n} \quad (۱)$$

$$C_f = C_n / B_n \quad (۲)$$

شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی(RI) می‌تواند برآورد جامعی از خطرات زیستی فلزات در محیط داشته باشد. RI شاخص پتانسیل کل خطر اکولوژیکی است که از طریق رابطه (۳)، برآورد می‌شود و بعبارتی ریسک اکولوژیکی مجموع عناصر در منطقه می‌باشد. E_r ریسک اکولوژیکی هر عنصر در منطقه است که از رابطه (۴) بدست می‌آید. T_R ضریب واکنش سمیت فلز است که شاخص سمی بودن فلزات سنگین می‌باشد و مقدار آن برای Pb، Cr، Zn و Cd به ترتیب ۵، ۲، ۱ و ۳۰ است. طبقه بندی E_r و RI در جدول-۱ مشاهده می‌گردد (۱۱).

$$E_r = T_R \times CF \quad (۴) \qquad , \quad RI = \Sigma E_r \quad (۳)$$

شاخص غنی‌شدگی (EF)، نشان دهنده‌ی مقدار افزایش غلظت یک عنصر نسبت به غلظت طبیعی آن در بستر زمین است. به عبارت دیگر این ضریب بیانگر شدت تأثیر عامل خارجی (انسان زاد) می‌باشد. ضریب EF از رابطه (۵) محاسبه می‌شود و در آن H_S غلظت فلز در نمونه و H_C غلظت زمینه همان عنصر در جامعه-ای که نمونه مربوطه متعلق به آن است . همچنین AL_S و AL_C نیز غلظت آلومینیوم در نمونه و زمینه مرجع می‌باشد. بر اساس ضریب غنی شدگی می توان نمونه‌های آلوده را به پنج دسته طبقه بندی نمود که در جدول (۱) مشاهده می‌شود(۱۶).

$$EF = (H_S / AL_S) / (H_C / AL_C) \quad (۵)$$

محاسبات آماری

از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۴) جهت اجرای آزمون‌های آماری استفاده شد. ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت. سپس با آزمون آنالیز واریانس یکطرفه، وجود یا عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین غلظت فلزات در ایستگاه‌های نمونه‌برداری مورد بررسی قرارگرفت. در ادامه برای دستیابی به ضریب تشابه فلزات از آزمون ضریب همبستگی پیرسون و جهت بررسی ارتباط فلزات با یکدیگر و تعیین منشأ آنها در منطقه مورد مطالعه از آزمون‌های آنالیز مولفه اصلی (PCA) و آنالیز خوشه‌ای درختی بر اساس روش Ward با استفاده از Average Linkage (Between Group) استفاده شد.

جدول ۱. طبقه بندی شاخص های EF، PLI، E_r وRI

RI	خطر اکولوژیکی	Er	ریسک اکولوژیک	PLI	آلودگی منطقه	EF	غنی‌شدگی
RI <۱۵۰	کم	Er < ۴۰	کم	۱> PLI	عدم آلودگی	۲>	فاقد تا کم
۱۵۰ ≤ RI <۳۰۰	متوسط	۴۰ ≤ Er < ۸۰	متوسط	۲> PLI >۱	متوسط	۲-۵	متوسط
۳۰۰ ≤ RI <۶۰۰	شدید	۸۰ ≤ Er < ۱۶۰	بالا	۳> PLI >۲	زیاد	۵-۲۰	زیاد
RI ≥۶۰۰	خیلی شدید	۱۶۰ ≤Er < ۳۲۰	شدید	۴> PLI >۳	بسیار زیاد	۲۰-۴۰	بسیار
		Er ≥ ۳۲۰	خیلی شدید			>۴۰	به شدت

نتایج

بر اساس آنالیز واریانس یک طرفه، غلظت هر چهار فلز در ایستگاه‌های مورد مطالعه تفاوت معناداری با یکدیگر دارند (P<۰/۰۵). در جدول-۲ میزان عناصر سنگین در رسوبات مشاهده می‌شود و مطابق با آن، ترتیب میانگین غلظت فلزات در نمونه‌های رسوب به صورت Zn>Cr>Pb> Cd بدست آمد. بیشترین مقادیر سرب و کادمیوم در ایستگاه ۴ و بالاترین غلظت کروم و روی به ترتیب در ایستگاه ۲ و ۶ اندازه گیری شد.

نتایج آنالیز همبستگی فلزات در ۹ ایستگاه نمونه‌برداری، در جدول-۳ آمده است و نشان داد که همبستگی مثبتی بین ۴ فلز برقرار است و بیشترین همبستگی بین فلزات روی و کروم (P < ۰/۰۱ , r = ۰/۵۶۳) و نیز فلزات کادمیوم و سرب (r ۰/۸۵۲ = , P < ۰/۰۱) دیده شد. همچنین کمترین همبستگی میان روی و کادمیوم (P < ۰/۰۱ , r = ۰/۱۵۲) وجود دارد.

نتایج حاصل از آزمون مؤلفه‌های اصلی (PCA) نشان داد که دو مؤلفه یا عامل اصلی (Component) از مجموعه داده‌های موجود استخراج شده که۸۶/۰۱ درصد از واریانس متغیرها را به خود اختصاص می‌دهد. عامل اول۴۶/۴۶ درصد و عامل دوم ۳۹/۵۵ درصد از کل واریانس را تشریح می‌کند. همچنین عامل اول به طور مثبت و معناداری با فلزات سرب وکادمیوم و نیز عامل دوم با روی و کروم مرتبط می‌باشد.

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.30491/6.4.274]

جدول-۲. غلظت عناصر سنگین (میانگین ± انحراف معیار) در رسوبات سطحی منطقه مورد مطالعه بر حسب $mg.kg^{-1}$

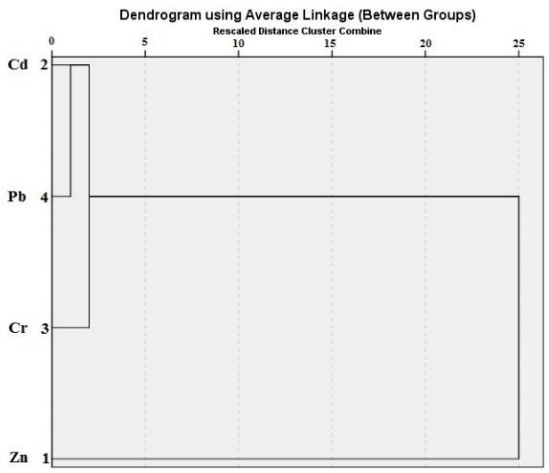
ایستگاه	Zn	Cr	Cd	Pb
۱	۶۲/۵۰ ± ۰/۶۳	۱۸/۷۵ ± ۰/۳۲	۰/۵ ± ۰/۰۳	۱۱/۷۵ ± ۰/۷۵
۲	۶۳/۲۵ ± ۰/۶۲	۱۹/۲۵ ± ۰/۲۷	۱ ± ۰/۰۲	۱۲ ± ۰/۷۲
۳	۶۳ ± ۰/۵۹	۱۸/۵۰ ± ۰/۴۷	۱ ± ۰/۰۴	۱۲/۲۵ ± ۰/۴۵
۴	۶۳ ± ۰/۶۱	۱۸/۷۸ ± ۰/۵۱	۱/۵۰ ± ۰/۱۱	۱۳/۲۵ ± ۰/۳۳
۵	۶۲/۵۰ ± ۰/۶۳	۱۸/۲۵ ± ۰/۶۱	۰/۷۵ ± ۰/۰۳	۱۲/۲۵ ± ۰/۲۲
۶	۶۳/۷۵ ± ۰/۷۴	۱۹ ± ۰/۶۳	۱ ± ۰/۰۷	۱۲/۲۵ ± ۰/۶۵
۷	۶۲/۷۵ ± ۰/۸۳	۱۹ ± ۰/۴۴	۱ ± ۰/۱۴	۱۲/۷۵ ± ۰/۶۲
۸	۶۲/۷۵ ± ۰/۴۲	۱۸/۷۵ ± ۰/۵۹	۱/۲۵ ± ۰/۳۲	۱۲/۵۰ ± ۰/۶۱
۹	۶۳ ± ۰/۸۱	۱۸/۷۵ ± ۰/۷۲	۱ ± ۰/۰۹	۱۲/۲۵ ± ۰/۷۲
میانگین کل	۶۲/۹۴ ± ۰/۶۵	۱۸/۷۵ ± ۰/۵۰	۱/۰۲ ± ۰/۰۹	۱۲/۳۶ ± ۰/۵۶
حداقل غلظت	۶۲/۵	۱۸/۲۵	۰/۵	۱۱/۷۵
حداکثر غلظت	۶۳/۷۵	۱۹/۲۵	۱/۵	۱۳/۲۵

جدول-۳. ضریب همبستگی بین فلزات سنگین در رسوبات سطحی منطقه مورد مطالعه

فلزات در رسوب	Zn	Cr	Cd	Pb
Zn	۱			
Cr	۰/۵۶۳ **	۱		
Cd	۰/۱۵۲**	۰/۳۹۷*	۱	
Pb	۰/۳۴۱*	۰/۳۱۳*	۰/۸۵۲**	۱

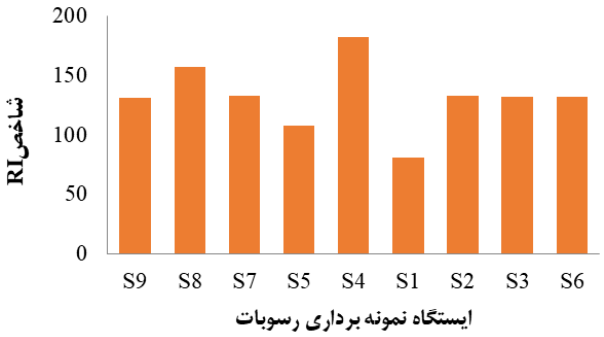
*P<۰/ ۰۵ ** P<۰/۰۱

بر اساس دندروگرام آنالیز خوشه‌ای در شکل-۲، فلزات در دو خوشه اصلی گروه بندی شده‌اند. در یک خوشه، کادمیوم، سرب و کروم قرار گرفته‌اند و با کمی فاصله نسبت به این خوشه، فلز روی تشکیل خوشه‌ی مجزایی را داده است. خوشه اول به دو زیر شاخه منشعب شده و نیز کادمیوم و سرب دارای قرابت بیشتری با یکدیگر نسبت به کروم هستند.

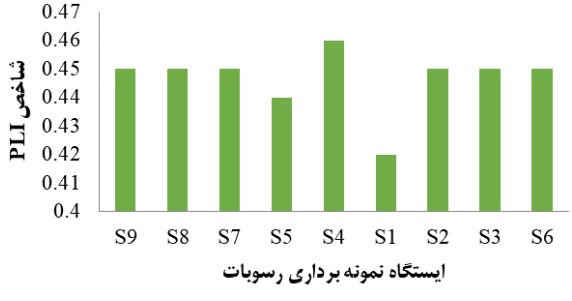


شکل-۲. دندروگرام آنالیز سلسله مراتبی خوشه‌ای بر اساس روش Ward

نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های اکولوژیک RI ، PLI و EF بصورت نمودار ۳ و ۴ و ۵ آمده است. بر اساس میانگین کل شاخص RI ریسک اکولوژی فلزات در منطقه اندک است و تنها ایستگاه ۸ و۴ با RI بین (۱۵۰-۳۰۰) دارای ریسک اکولوژیکی متوسطی هستند. همچنین رسوبات با دارا بودن PLI کوچکتر از یک، در وضعیت غیر الوده قرار دارند . با توجه به نمودار ۵ مقدار شاخص EF تمامی ایستگاها برای هر ۴ فلز کمتر از ۲ می باشد که بیانگر آن است که منطقه نمونه برداری شده برای تمامی فلزات مورد بررسی فاقد غنی شدگی است و یا دارای غنی شدگی اندک است.



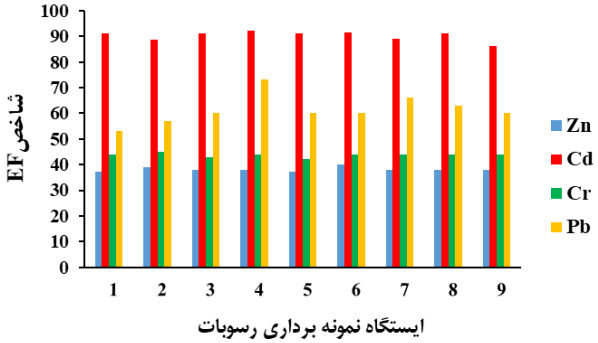
شکل-۳. مقادیر شاخص RI



شکل-۴. مقادیر شاخص PLI

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.30491/6.4.274]



شکل-۵. مقادیر فاکتور غنی شدگی EF

بحث

با توجه به نتایج بدست آمده، توالی میانگین غلظت فلزات سنگین به‌صورت Zn>Cr>Pb> Cd است که همسو با نتایج بدست آمده در رسوبات تالابی هند در مطالعات Ramachandra و همکاران (۹) و نیز Devanesan و همکاران (۱۷) می باشد. از عنصر روی به طور وسیع در صنایعی نظیر خودروسازی، باتری سازی، ریخته‌گری، ذوب فلزات استفاده می‌گردد (۴). با وجود آنکه فلز روی در حد اندک، عنصری ضروری برای فعالیت‌های متابولیسمی است لیکن مازاد آن ممکن است سبب جهش‌های ژنتیکی و ایجاد نقایص جنینی گردد. پس از فلز روی، کروم و سرب بیشترین غلظت را دارا هستند و صنایع نقش مهمی در افزایش غلظت این آلاینده‌ها دارند(۱۸). بنظر می‌رسد در این مطالعه بالابودن غلظت سرب و کروم می‌تواند بدلیل وجود مراکز آبکاری و ذوب فلزات باشد که در شهرک‌های صنعتی اطراف منطقه مستقر هستند و پساب ناشی از فعالیت‌های صنعتی این مراکز از طریق رودخانه‌هایی است که به سرخانکل وارد می‌گردد .با توجه به نتایج PLI، رسوبات سرخانکل در وضعیت غیر آلوده قرار دارند. بر اساس میانگین کل بدست آمده برای شاخصRI نیز ریسک اکولوژی فلزات در منطقه اندک است. محاسبات شاخص RI نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه، ایستگاههای ۸ و ۴ دارای ریسک اکولوژیکی متوسطی هستند. ایستگاه ۴ دارای بیشترین مقادیر برای شاخص PLI و EF نیز می‌باشد و در این ایستگاه بیشترین غلظت فلزات سمی سرب و کادمیوم مشاهده شده است که می‌توان این نتایج را مرتبط با فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی و قایقرانی در این ایستگاه دانست (۱۶). این نتایج با مشاهدات Kader در هندوستان (۱۹) و Bessa و همکاران در کامرون آفریقا (۲۰) مطابقت دارند. از مقایسه میانگین غلظت فلزات مورد مطالعه در این تحقیق با مقادیر استانداردهای جهانی مقادیر استانداردهای NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) و(Sediment Quality Guideline) SQGs (۲۱) و نیز پوسته زمین (۱۴) مشخص میگردد که غلظت فلزات سرب، روی و کروم از حد مجاز استاندارهای جهانی کمتر می‌باشد. لیکن غلظت کادمیوم در محدوده بین TEL و PEL (شاخص هایSQGS) قرار دارد که بیانگر آلودگی متوسط است که ممکن است برای سلامتی زیستمندان خطر آفرین باشد چرا که قابلیت تجمع زیستی کادمیوم در آبزیان و نیز ورود فلز به زنجیره‌ی غذائی وجود دارد (۲۲). همچنین غلظت فلز کادمیوم در مجموع ایستگاه‌های مورد بررسی در مقایسه با پوسته زمین بیشتر و قابل ملاحظه بوده است. در مطالعه انجام شده توسط Javed و همکاران (۱۴) نتایجی مشابه با مطالعه حاضر مشاهده گشت. این تفاوت غلظت احتمالا مرتبط با پساب فاضلاب کشاورزی ناشی از کوددهی بیش از حد مزارع مشرف به سرخانکل است. هم چنین رودخانه‌های عبوری از شهرک‌های صنعتی موجود در منطقه حاوی مقادیر بالای کادمیوم می‌باشند (۱۲). بیشتر بودن میانگین غلظت عناصر سنگین از مقدار زمینه، میتواند نشان دهنده ورود فلزات از منابع انسانی در منطقه باشد. البته با توجه به ارتباط پیچیده بین فلزات سنگین، نمی‌توان تنها با تکیه بر غلظت زمینه فلزات، در مورد نقش فعالیت‌های انسانی قضاوت کرد (۲۳). با توجه به نتایج آزمون همبستگی، بین فلزات روی و کروم و نیز کادمیوم و سرب همبستگی زیاد، مثبت و معناداری وجود دارد که می‌تواند وابستگی منابع ورودی طبیعی یا مصنوعی یکسان و مشترک بین عناصر را به‌خوبی بیان نماید (۲۴). پساب بسیاری از صنایع مانند صنایع چرم سازی، رنگ و کاغذ و نیز سموم کشاورزی استفاده شده در مزارع و باغات اطراف سرخانکل که شامل علف‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و کودهای شیمیایی هستند، این عناصر را به منطقه وارد کرده و در نهایت موجب تثبیت در رسوبات می‌گردند (۲۵). نمودار دندروگرام آنالیز خوشه‌ای نشان دهنده متفاوت بودن منشا فلز روی با سه فلز دیگر است و بیشترین فاصله میان فلز روی و کادمیوم است که بیانگر متفاوت بودن منبع ورودی آنهاست. با توجه به اینکه منشا فلز کادمیوم عمدتا انسانی و مرتبط با فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی است، میتوان غلظت روی در سرخانکل را تحت تاثیر عوامل طبیعی و شرایط کانی-شناسی و زمین شناختی منطقه دانست. همچنین فلزات کادمیوم و سرب با یکدیگر دارای قرابت بیشتری نسبت به کروم هستند چرا که فاصله خوشه‌ای آنها با یکدیگر کمتر از کروم و روی است که بیانگر ارتباط بیشتر کادمیوم و سرب است (۲۱). نتایج آزمون PCA همانند تحلیل خوشه‌ای بر تاثیر فعالیت‌های انسانی در تغییرات غلظت فلزات سرب و کادمیوم تاکید دارد. چرا که در آزمون PCA، در مولفه اول با افزایش سرب در نمونه میزان کادمیوم نیز افزایش می‌یابد و نیز در مولفه دوم افزایش عنصر روی، افزایش کروم را به دنبال دارد که این مطلب نشان دهنده آن است که این عناصر منشاء مشترکی دارند. چنین نتایجی در تحقیق اسماعیل زاده و همکاران در تالاب انزلی (۱۲) نیز دیده شد و آن‌ها دریافتند که عناصر سرب و کادمیم از منابع ورودی مشترک و انسانی نظیر کودهای شیمیایی و صنعت به رسوبات وارد می‌شوند.

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.30491/6.4.274]

نتیجه‌گیری

در تحقیق کنونی نتایج حاصل از آزمون‌های همبستگی داده‌ها، تحلیل مولفه اصلی و نمودار خوشه‌ای بدست آمده هر سه تأیید کننده یکدیگر می‌باشند. لازم بذکر است که با وجود اینکه غلظت فلزات از لحاظ محاسبات شاخص‌های زیست محیطی مشکل آفرین نمی‌باشد لیکن با توجه به گسترش فعالیت‌های صنعتی، گردشگری و کشاورزی در اطراف سرخانکل در آینده‌ای نه چندان دور، حیات این اکوسیستم با ارزش با خطرات جدی مواجه خواهد بود. از این رو مطالعه پیوسته آلاینده‌های پایدار آلی و معدنی جهت حفظ ارزش‌های اکولوژیک و سلامت عمومی بسیار ضروری می‌باشد.

تشکر و قدردانی: بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه گیلان که ما را در انجام این پژوهش با کد پایان نامه کارشناسی ارشد شماره ۴۰۶۶ یاری نمودند، تشکر و قدردانی می شود.

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

1. Mohsenpour R, Mousavi-Sabet H, Hedayati A, Rezaei A, Yalsuyi AM, Faggio C. In vitro effects of silver nanoparticles on gills morphology of female Guppy (Poecilia reticulate) after a short-term exposure. Microscopy Research and Technique. 2020; 83: 1552-1557. doi:10.1002/jemt.23549
2. Mohammadi Galangash M, Ghasemi Zolpirani R, Naimi Joubani M. Evaluation of roadside soils pollution with heavy metals (Pb, Ni, Cu, Zn) in the Rasht-Qazvin old road (Guilan province). Iranian Journal of Health and Environment. 2020; 13(3): 409-420.
3. Karaouzas I, Kapetanaki N, Mentzafou A, Kanellopoulos T, Skoulikidis N. Heavy metal contamination status in Greek surface waters: A review with application and evaluation of pollution indices. Chemosphere. 2021; 263: 128192 doi:10.1016/j.chemosphere.2020.128192
4. Ejlali Khanghah K, Tamadoni Jahromi S, Jafari H, Pourmozaffar S, Rashidi S. Evaluation of the Degree of Toxicity of Heavy Metals (Lead, Cadmium, Copper and Zinc) on Macrobenthic Communities in the Persian Gulf. J Mar Med 2023; 5 (1) :56-65.
5. Bahador M, Moradi A, Naji A. Assessment of Heavy Metals Contamination in Surface Sediments of Shoor River Estuary, East of Bandar Abbas by using Different Indexes. oloom daryaee. 2017; 3(16):56-71.
6. Fallah M, Hedayati A. Applying remote sensing techniques to changes of water body and aquatic plants in Anzali International Wetland (1985-2018). Theoretical and Applied Ecology. 2021; 1: 65-72 doi:10.25750/1995-4301-2021-1-065-072
7. Kazemi Darsanaki R, Sadat Naeemi A. Heavy Metal Contamination in Water and Sediments of Persian Gulf Coasts: Narrative Review. J Mar Med. 2023; 4 (4) :198-205.
8. Mohammadi Galangash M, Sanati A M, Bozorgpanah Kharat Z. Investigation of total petroleum hydrocarbons (TPH) and index metals (Ni&V) on Gammarus's tissue (Pontogammarus maeoticus) and coastal sediments of the Caspian Sea; Guilan Province. Journal of Aquatic Ecology. 2018; 7(4): 9-19.
9. Ramachandra T, Sudarshan P, Mahesh M, Vinaya S. Spatial patterns of heavy metal accumulation in sediments and macrophytes of Bellandur wetland, Bangalore. Environmental Management. 2018; 206: 1204-1210. doi:10.1016/j.jenvman.2017.10.014
10. Kluska M, Jabłońska J. Variability and heavy metal pollution levels in water and bottom sediments of the Liwiec and Muchawka Rivers (Poland). Water. 2023 5;15(15):2833. doi:10.3390/w15152833
11. Kutlu B. Dissemination of heavy-metal contamination in surface sediments of the Uzunçayır Dam Lake, Tunceli, Turkey. Human and Ecological Risk Assessment. 2018; 24(8): 1-13 doi:10.1080/10807039.2018.1441703
12. Esmaeilzadeh M, Karbassi A, Moattar F. Assessment of metal pollution in the Anzali Wetland sediments using chemical partitioning method and pollution indices. Acta Oceanologica Sinica. 2016; 35(10): 28-36. doi:10.1007/s13131-016-0920-z
13. Forouhar Vajargah M, Imanpoor M, Shabani A, Hedayati A, Faggio C. Effect of long-term exposure of silver nanoparticles on growth indices, hematological and biochemical parameters and gonad histology of male goldfish (Carassius auratus gibelio). Microscopy research and technique. 2019; 82: 1224-1230. doi:10.1002/jemt.23271
14. Javed T, Ahmad N, Mashiatullah A. Heavy Metals Contamination and Ecological Risk Assessment in Surface Sediments of Namal

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.30491/6.4.274]

Lake, Pakistan .Pol. Environ. Stud. 2018; 27(2):675-688. doi:10.15244/pjoes/75815
15. Mohammadi Galangash M, Solgi E, Bozorgpanah Z. An Assessment of Heavy metals in Coastal Sediments of the Caspian Sea, Guilan Province. Oceanography. 2017; 8(31): 27-34. doi:10.29252/joc.8.31.27
16. Saleem M, Sens DA, Somji S, Pierce D, Wang Y, Leopold A, Haque ME, Garrett SH. Contamination assessment and potential human health risks of heavy metals in urban soils from Grand Forks, North Dakota, USA. Toxics. 2023; 11(2):132. doi:10.3390/toxics11020132
17. Charles A, Ossa AK, Echevarria S, Hughes M, Manzoor M, Qureshi Z, et al. A case report on acquired ichthyosis and autoimmune hepatitis. J Prev Complement Med. 2024; 3(2): 97-102. doi: 10.22034/ncm.2023.418686.1139
18. Tepanosyan G, Sahakyan L, Belyaeva O, Saghatelyan A. Origin identification and potential ecological risk assessment of potentially toxic inorganic elements in the topsoil of the city of Yerevan, Armenia. Journal of Geochemical Exploration. 2016; 167: 1-11. doi:10.1016/j.gexplo.2016.04.006
19. Kader A, Sinha S N. Heavy metal contamination in the sediment and plants of the Sundarbans, India. Chemistry and Ecology. 2018; 34(6): 506-518. doi:10.1080/02757540.2018.1462344
20. Ekoa Bessa AZ, Ngueutchoua G, Kwewouo Janpou A, El-Amier YA, Njike Njome Mbella Nguetnga OA, Kankeu Kayou UR, Bisse SB, Ngo Mapuna EC, Armstrong-Altrin JS. Heavy metal contamination and its ecological risks in the beach sediments along the Atlantic Ocean (Limbe coastal fringes, Cameroon). Earth Systems and Environment. 2021; 5(2):433-44. doi:10.1007/s41748-020-00167-5
21. Zhang Y, Li H, Yin J, Zhu L. Risk assessment for sediment associated heavy metals using sediment quality guidelines modified by sediment properties. Environmental Pollution. 2021; 275: 115844. doi:10.1016/j.envpol.2020.115844
22. Li C, Wang H, Liao X, Xiao R, Liu K, Bai J, He Q. Heavy metal pollution in coastal wetlands: a systematic review of studies globally over the past three decades. Journal of Hazardous Materials. 2022; 424: 127312. doi:10.1016/j.jhazmat.2021.127312
23. Ravankhah N, Mirzaei R, Masoum S. Evaluation of Geoaccumulation Index, Contamination Factor, and Principal Component Analysis for Estimating Soil Contamination. Health and Environment. 2015; 8(3): 345-356.
24. Solgi E, Khodadadi A, Mohammadi Galangash M. Characterizing Changes of Heavy Metals in the Soils from Different Urban Location of Borujerd, Lorestan Province, Iran. Journal of Chemical Health Risks. 2017; 7(3):193-205.
25. Hanfi MY, Mostafa MY, Zhukovsky M. Heavy metal contamination in urban surface sediments: sources, distribution, contamination control, and remediation. Environmental monitoring and assessment. 2020; 192(1): 1-21. doi:10.1007/s10661-019-7947-5

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.30491/6.4.274]