

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

Keivan Ejlali Khanghah^{1*}, Saeid Tamadoni Jahromi¹, Hossein Jafari², Sajjad Pourmozaffar³, Shohreh Rashidi⁴

¹ Assistant Professor, Persian Gulf and Oman Sea Ecology Research Center, Iranian Fisheries Sciences Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Bandar Abbas, Iran

² Marine Medicine Research Center, Tehran, Iran

³ Assistant Professor, Persian Gulf Mollusks Research Station, Persian Gulf and Oman Sea Ecology Research Center, Iranian Fisheries Sciences Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Bandar-e- Lengeh, Iran

⁴ Iranian Fisheries Organization. General Department of Fisheries of Hormozgan Province, Hormozgan, Iran

Received: 15 July 2022 Accepted: 28 November 2022

Abstract

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

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

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

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

Keywords: Toxicity, Macrobenthos, Persian Gulf, Heavy Metals

*Corresponding author: Keivan Ejlali Khanghah, Email: k_ejlali@yahoo.com

Address: Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Bandar Abbas, Iran.

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

کیوان اجلالی خانقاه^{۱*}، سعید تمدنی جهرمی^۱، حسین جعفری^۲، سجاد پورمظفر^۳، شهره رشیدی^۴

^۱ استادیار پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران

^۲ مرکز تحقیقات طب دریا، تهران، ایران

^۳ استادیار ایستگاه تحقیقات نرمندان خلیج فارس، پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و

ترویج کشاورزی، بندرلنگه، ایران

^۴ سازمان شیلات ایران، اداره کل شیلات استان هرمزگان، هرمزگان، ایران

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

چکیده

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

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

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

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

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

*نویسنده مسئول: کیوان اجلالی خانقاه. پست الکترونیک: k_ejlali@yahoo.com

آدرس: پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران.

مقدمه

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

مطالعات ارزیابی خطر اکولوژیکی در دنیا از اهمیت زیادی برخوردار است و همانگونه که برای وجود یا عدم وجود خطر آلودگی برای انسان ها در جوامع انسانی از شاخص های آلودگی استفاده می شود، در دریا نیز از شاخص های آلودگی در ارزیابی خطر برای جوامع کفزی و سایر موجودات ساکن در رسوبات استفاده می شود. به عنوان نمونه در سواحل کراچی پاکستان در ارزیابی آلودگی فلزات سنگین و خطر اکولوژیکی نتایج زیر بدست آمد

$Fe > Zn > Mn > Sr > Zn > Cr > Zr > V > Ni > Pb > Mo > U > Se$

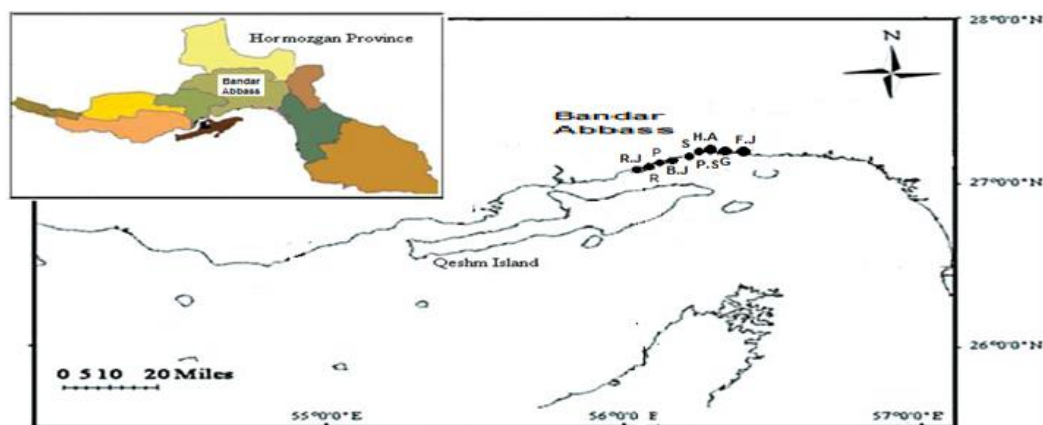
شاخص های اکولوژیکی نشان دادند که سرب خطری برای آبزیان در این رسوبات محسوب نمی شود ولی در برخی از مناطق مقادیر کروم، نیکل و روی برای آبزیان تهدید محسوب می شوند (۸). اجلائی و همکاران در سال ۱۳۹۲ نشان دادند که رسوبات سواحل بندرعباس در مورد آلودگی های نفتی، غیرسمی ولی در مورد عناصر مورد مطالعه در این تحقیق برای اجتماعات داخل رسوب، سمی و خطرناک هستند (۹). رزاقی و همکاران نیز در سال ۱۳۹۳ در خلیج نایبند در عسلویه بیشترین مقادیر جیوه در ایستگاه ۳، نیکل، سرب و روی در ایستگاه ۱ و کادمیوم و مس در ایستگاه ۲ مشاهده کردند. بیشترین و کمترین مقدار فاکتور آلودگی به ترتیب مربوط به جیوه و نیکل بود که در ایستگاه ۳ مشاهده شد. درجه آلودگی ایستگاه ها از مجموع فاکتورهای آلودگی فلزات در ایستگاه های مختلف محاسبه شد. بیشترین درجه آلودگی مربوط به ایستگاه ۳ با مقدار ۴/۵۱ بود. بر اساس این نتایج، خلیج نایبند و عسلویه از نظر غلظت

جیوه در حد آلودگی متوسط رو به بالا می باشد. پتانسیل ریسک اکولوژیکی (Eri)، در مورد تمامی فلزات به غیر از جیوه، در محدوده ریسک پایین بوده و برای جیوه در محدوده ریسک اکولوژیکی بسیار بالا می باشد (۱۰). حق شناس و همکاران در سال ۱۳۹۷ با ارزیابی خطر اکولوژیکی در مناطق ساحلی استان بوشهر خطر اکولوژیکی ۴ عنصر سرب، کادمیوم، مس و روی را در طبقه خطر پایین و تاحدودی متوسط بدست آوردند. همچنین خطر محیط زیستی فلزات به صورت (روی > سرب > مس > کادمیوم) ارزیابی گردید. براساس نتایج بدست آمده وضعیت آلودگی و خطر اکولوژیکی فلزات در منطقه برای فلزات (روی، سرب و مس) در حد پایین اما برای فلز کادمیوم در حد متوسط ارزیابی گردید (۱۱).

بندرعباس در جنوب ایران در سواحل دریای عمان و خلیج فارس واقع شده است، و طیف گسترده ای از منابع آلاینده نقطه ای و غیرنقطه ای در حاشیه خلیج فارس و تنگه هرمز وجود دارد. وجود طیف گسترده ای از صنایع از جمله پالایشگاه، اسکله مواد معدنی، مجتمع آلومینیوم، کارخانه تولید فولاد، کارخانه تولید روی و غیره، در خط ساحلی بندرعباس می تواند منابع آلاینده های فلزات سنگین مانند سرب، کادمیوم، مس و روی به سواحل این بندر باشند و به نظر می رسد رسوبات موجود در این منطقه برای زیست موجودات کفزی موجود در آن سمی و خطرناک باشند، بنابراین این مطالعه تحقیقی برای توصیف (۱): توزیع مکانی فلزات سنگین (۲): تعیین منابع احتمالی فلزات سنگین و (۳): ارزیابی خطر اکولوژیکی فلزات سنگین در رسوب در خط ساحلی بندرعباس انجام شده است.

روش ها

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



شکل-۱. موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری.

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

جدول-۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری

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

در رسوب می‌پردازند و تخمینی از کیفیت رسوب نسبت به یک فلز خاص را ارائه می‌دهد.

فاکتور آلودگی

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

$$C_{fi} = C_i / C_{oi} \quad (۱۳)$$

که در آن C_{fi} فاکتور آلودگی، C_i غلظت فلز i در رسوب و C_{oi} مقادیر مرجع برای فلز i می‌باشد و به (Local background of metals) (JICA 1994) معروف است و مقدار آن برای هر فلز مقداری ثابت بوده که در جدول ۲- جزئیات آن آمده است.

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

شاخص‌های منفرد

این گروه از شاخص‌ها به ارزیابی خطر تک تک عناصر موجود

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

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

$$E_{ri} = C_{fi} * T_{ri}$$

که در آن E_{ri} فاکتور خطر اکولوژیک، C_{fi} فاکتور آلودگی و T_{ri} مقادیر مرجع (جدول-۲) که در مورد هر فلز مقداری ثابت است.

فاکتور خطر اکولوژیک

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

شاخص تجمع جغرافیایی

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

$$I_{geo} = \log_2 [C_i / (1.5 * C_{oi})] \quad (15)$$

که در این رابطه I_{geo} مقدار شاخص، C_i غلظت فلز i و C_{oi} مقدار مرجع (Local background of metals) می باشد.

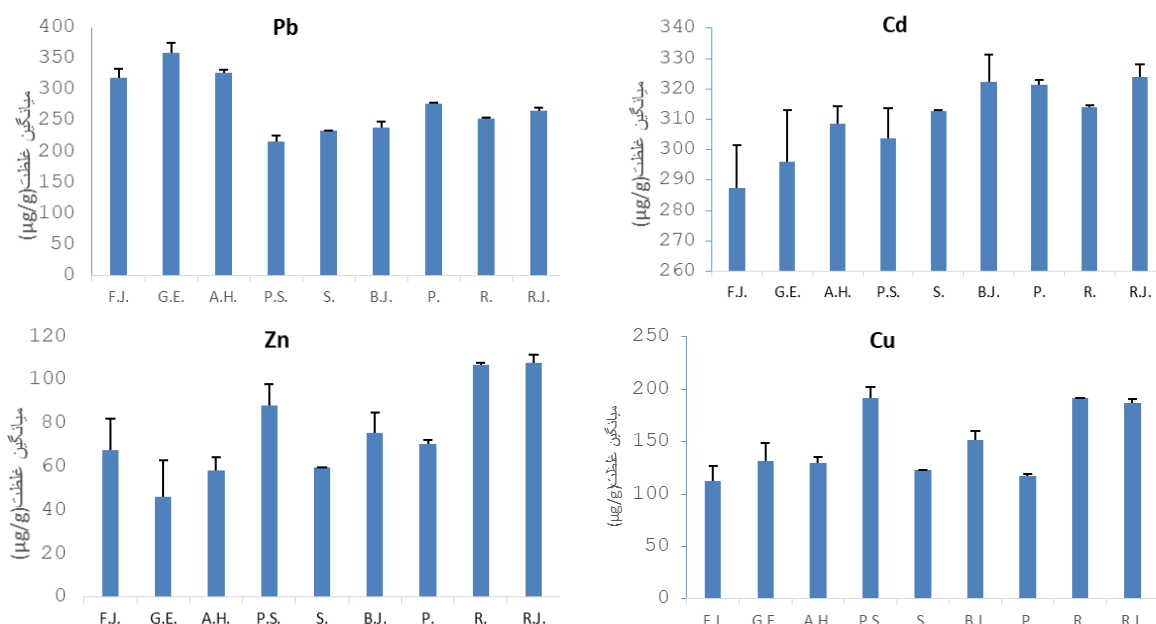
نتایج

توزیع مکانی فلزات سنگین در شکل-۲ آمده است. غلظت سرب از ۲۱۵/۹ میکروگرم بر گرم وزن خشک در پشت شهر تا ۳۵۸/۸ میکروگرم بر گرم وزن خشک در خور گوسوزان، با میانگین $276/7 \pm 48/3$ میکروگرم بر گرم وزن خشک در نوسان بود. میانگین غلظت سرب بطور قابل توجهی بالاتر از UCC (Upper Crest Concentration)، ۲۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک بود (۱۶). غلظت کادمیم به ترتیب از ۲۷۸/۳۵ تا ۳۲۴/۳ میکروگرم بر گرم وزن خشک در اسکله شیلات و اسکله رجایی با میانگین $12/5 \pm 31/3$ میکروگرم بر گرم متغیر بود. میانگین غلظت کادمیم در مقایسه با UCC، ۰/۱۰۲ میکروگرم در گرم وزن خشک بسیار بیشتر بدست آمد (۱۶). غلظت روی از حداقل ۴۶ میکروگرم بر گرم در خور گوسوزان تا حداکثر ۱۰۷/۷ در اسکله رجایی با میانگین $21/7 \pm 21/5$ میکروگرم بر گرم در مقایسه با شیل متوسط، ۷۱ میکروگرم بر گرم وزن کمتر بود (۱۶). غلظت مس از ۱۱۷/۴ تا ۱۹۱/۶ متغیر بود با میانگین $148/5 \pm 32/9$ میکروگرم بر گرم نسبت به مقدار UCC، ۲۵ میکروگرم در گرم وزن خشک بطور قابل توجهی بالاتر بود (۱۶).

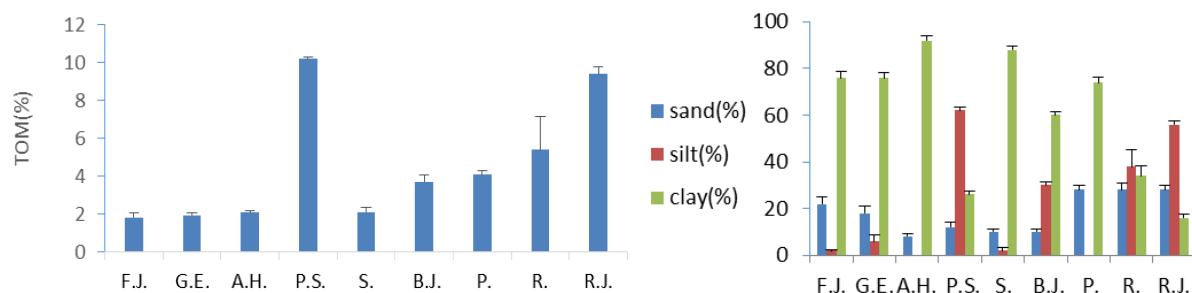
شکل-۳ مقادیر TOM و نتایج حاصل از دانه بندی را نشان می دهد که مطابق این اشکال بیشترین میزان TOM در پشت شهر و اسکله شهید رجایی مشاهده شد. همچنین نتایج حاصل از دانه بندی نشان دهنده افزایش میزان رس نسبت به لای در پشت شهر و اسکله رجایی است.

جدول-۳ نتایج حاصل از آزمون همبستگی پیرسون را نشان می دهد که ضریب همبستگی پیرسون برای ارزیابی روابط بین فلزات سنگین و TOM نشان داد که بین روی و مس ارتباط معنی داری وجود دارد ($P < 0.001$, $r = 0.71$). همبستگی معنی داری بین روی و TOM ($p < 0.01$, $r = 0.61$) و همچنین بین مس و TOM ($p < 0.01$, $r = 0.84$) دیده می شود. بین silt و روی همبستگی معنی داری در سطح خطای ($p < 0.01$, $r = 0.63$) و همچنین بین silt و مس در سطح خطای ($p < 0.01$, $r = 0.95$) مشاهده شد.

انجام آزمون تحلیل عاملی (PCA) به منظور تعیین منبع فلزات سنگین دو مولفه اصلی را نشان می دهد که مجموعاً ۷۵/۵ درصد از واریانس ها را توصیف می نماید که در جدول-۴ آمده است. بر اساس جداول ۵ تا ۸، سه شاخص منفرد (فاکتور آلودگی، فاکتور خطر اکولوژیک و عامل تجمع جغرافیایی) و یک شاخص یکپارچه (شاخص پتانسیل خطر اکولوژیک) وجود دارد که رسوبات ساحل بندرعباس را از نظر کمی و کیفی توصیف می کند. فاکتور آلودگی برای سرب از ۱۰/۸ تا ۱۷/۹، برای کادمیم از ۲۶۱/۲ تا ۲۹۴/۴ و برای مس از ۱۸/۸ تا ۳۱/۹ و برای روی از ۲/۹ تا ۱۱/۵ متغیر است. نتایج حاصل از ارزیابی شاخص فاکتور پتانسیل خطر اکولوژیک در مناطق مورد مطالعه در جدول-۶ آمده است. جدول-۷ نیز نتایج حاصل از ارزیابی شاخص بسیار متداول تجمع جغرافیایی (geo-accumulation) را نشان می دهد.



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



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

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

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

جدول-۴. نتایج حاصل از انجام آزمون تحلیل عاملی

Component	Initial Eigenvalues			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4.9	61.252	61.252	3.455	43.189	43.189
2	1.141	14.262	75.514	2.586	32.325	75.514
3	0.982	12.277	87.791			
4	0.467	5.835	93.626			
5	0.343	4.293	97.919			
6	0.13	1.621	99.541			
7	0.037	0.458	99.999			
8	9.26E-05	0.001	100			
Component						
Variable	1	2	Communalities			
Pb	-0.63	0.619	.780			
Cd	0.457	-0.283	.289			
Zn	0.765	0.219	.633			
Cu	0.93	-0.043	.867			
TOM	0.928	-0.02	.861			
sand	0.387	0.772	.745			
silt	0.952	-0.055	.910			
clay	-0.963	-0.17	.956			

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

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

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

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

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

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

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

بحث

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

کادمیم به عنوان یک فلز، به طور ضمنی از تولیدات روی حاصل می شود، لذا بررسی تاثیرات اکولوژیک ناشی از اثر کادمیم دشوار است و به جز در مواردی استثنایی، در زنجیره غذایی تجمع نمی یابد. کادمیم به فراوانی در پوسته زمین یافت می شود و معمولاً از ذوب روی بدست می آید. از پالایش سرب و روی نیز مقادیر زیادی کادمیم حاصل می شود و لجن فاضلاب ها می تواند حاوی مقادیر زیاد روی باشد. همچنین صنایع آهن، استیل و فلزات غیر آهنی و نیز گردوغبار حاوی مقادیر کادمیم هستند (۲۲). وجود

صنایع آلوده کننده در طول ساحل غربی بندرعباس از قبیل کارخانه تولید روی، مس، کارخانه تولید آلومینیوم و صنایع فلزی و تولید مواد معدنی می توانند منابع قابل ملاحظه ای از تخلیه کادمیم در سرتاسر ساحل بندرعباس باشند. به نظر می رسد کادمیم می تواند از صنایع متفاوت کانونی وارد آب دریا شده و در رسوبات نشست کند. میانگین غلظت کادمیم در مقایسه با UCC، ۰/۱۰۲ میکروگرم در گرم وزن خشک (بسیار بالا) بدست آمد (۱۶).

از نظر میانگین غلظت، روی دارای کمترین مقدار بوده و مقایسه بین ایستگاهی نشان داد که بیشترین و کمترین غلظت روی با مقادیر ۱۰۷/۷ و ۴۶ و میانگین 21.4 ± 7.7 میکروگرم بر گرم به ترتیب مربوط به پالایشگاه و خور گورسوزان است که در مقایسه با مقدار آن در UCC، یعنی ۷۱ میکروگرم بر گرم (Wedepohl, 1995) تقریباً برابر می باشند. روند میانگین غلظت روی از اسکله شیلات به سمت اسکله رجایی از یک روند افزایشی برخوردار است و این می تواند به خاطر وجود کارخانه تولید روی در بخش سواحل غربی بندرعباس باشد.

میانگین غلظت مس از کادمیم و سرب کمتر ولی از روی بیشتر است. مقایسه بین ایستگاهی برای مس نشان داد که بیشترین و کمترین غلظت مس با مقادیر ۱۹۱/۶ و ۱۱۳ و میانگین 148.5 ± 33 گرم بر میکروگرم به ترتیب مربوط به پشت شهر و اسکله شیلات است که در مقایسه با مقدار آن در UCC یعنی مقدار ۲۵ میکروگرم بر گرم (Wedepohl, 1995) بالا می باشد.

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

فاکتور تجمع جغرافیایی، تمام مناطق مورد مطالعه به شدت آلوده به سرب، بسیار آلوده به کادمیم، از غیر آلوده تا آلودگی متوسط با روی و از آلودگی شدید تا بسیار آلوده با مس است. اسکله شیلات، خور گورسوزان و هتل امین به شدت آلوده به مس نشان داده شدند. در مطالعه ای مشخص شد که Igeo فقط برای روی، سرب و Cr متوسط در برخی از ایستگاه‌های مورد مطالعه آلوده است و سایر فلزات برای سایر ایستگاه‌ها وضعیت آلوده ندارند (۸). Ong و همکاران نیز مقادیر Igeo محاسبه شده رسوبات خلیج موریهان، بریتانی، فرانسه را غیر آلوده تا آلودگی متوسط ارزیابی کردند (۲۰).

نتیجه گیری

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

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

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

تضاد منافع: نویسندگان تصریح می‌کنند که هیچ گونه تضاد منافی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

منابع

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

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

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