



Research Paper

Source Identification and Evaluation of Elemental Pollution of Surface Sediments in Farahabad Coast, Caspian Sea

Arezoo Khalijian¹, Bahareh Lorestani^{2*}, Soheil Sobhanardakani³, Mehrdad Cheraghi², and Lima Tayebi⁴

¹Ph.D. Scholar, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

²Assoc. Professor, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

³Professor, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

⁴Assist. Professor, Department of Fisheries Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

Article information

Received: November 12, 2021

Revised: December 13, 2021

Accepted: December 21, 2021

Keywords:

Caspian Sea
Ecotoxicological Criteria
Heavy Metals
Multivariate Statistics
Sediment Pollution

*Corresponding author:

lorestanib@iauh.ac.ir



Abstract

The study of sediments as one of the reservoirs for absorbing environmental pollutants and especially heavy metals is of particular importance. Therefore, this research was conducted with the aim of identifying and evaluating the contamination of arsenic, cadmium, nickel, and vanadium elements in the sediments of the Farahabad coast of the Caspian Sea in 2018. In this study, after collecting 36 sediment samples from 12 selected stations, the values of pH, EC, organic matter, and texture of sediments were determined. The concentrations of elements were determined by inductively coupled plasma optical spectroscopy. In addition to evaluate the pollution of sediments, environmental toxicology criteria were calculated, including indicators of pollution coefficient, enrichment, and pollution load. In order to identify the potential sources of elements and their grouping in the sediment samples, multivariate statistical methods were used, namely principal component analysis and hierarchical clustering. For statistical processing of the results, one-way analysis of variance, one-sample t-test, and Pearson's correlation coefficient were used in the SPSS software. The average concentration of arsenic, cadmium, nickel, and vanadium was 12.7, 0.191, 35.0, and 31.9 mg/kg, respectively. The output results of PCA, HCA models, EF index values, and coefficient of variation, as well as Pearson's correlation matrix, showed that arsenic probably originates from man-made sources and cadmium, nickel, and vanadium elements have natural sources.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Introduction

Potential toxic elements (PTEs) with natural and anthropogenic sources have the possibility of

environmental permanence, biomagnifications and bioaccumulation, non-biodegradability, long biological half-lives, and indestructibility, and



for these reasons, cause significant health problems and have toxic effects for all living organisms. Therefore, in recent decades, the contamination of aquatic ecosystems with various kinds of pollutants, especially PTEs, has caused serious concerns worldwide. The Caspian Sea is the principal inland body of water in the world. As a closed-environment without an outlet, various kinds of pollutants including organic and inorganic compounds caused by effluents from coastal catchment areas and leakages from offshore oil production have accumulated in sediments of this aquatic ecosystem as the main sink of pollutants. Therefore, this study was carried out to analyze source identification, and evaluation of contamination of arsenic (As), cadmium (Cd), nickel (Ni), and vanadium (V) in surface sediments collected from the Farahabad Coast, Mazandaran Province, south part of Caspian Sea in 2019.

Material and Methods

In this descriptive study, a total of 36 surface sediment samples were collected from 12 sites located on the Farahabad Coast using Peterson grab with a sampling area of 225 cm². The content of physicochemical parameters including pH, EC, and TOC was determined in the laboratory based on the standard methods and the content of elements was determined using inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES). Sediment contamination was determined using the contamination factor (CF), enrichment factor

(EF), and pollution load index (PLI) indices. Also, the principal component analysis method (PCA) and hierarchical clustering analysis (HCA) were used to identify potential sources and grouping of elements in sediment samples. Statistical analysis of the results was performed using SPSS statistical package through One-way ANOVA, One Sample T Test, and Pearson Correlation Coefficient (PCC).

Results

The results showed that the content of As with an average of 12.7 mg/kg ranged from 5.00 to 27.1 mg/kg, the content of Cd with an average of 0.191 mg/kg ranged from 0.180 to 0.200 mg/kg, the content of Ni with an average of 35.0 mg/kg ranged from 23.8 to 48.6 mg/kg and the content of V with an average of 31.9 mg/kg ranged from 17.4 to 72.0 mg/kg (Table 1), which for Cd, Ni and V were lower than the maximum permissible concentration (MPC) established by National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). The results of PCA (Fig. 1), HCA (Fig. 2), PCC, EF values (Table 2), and coefficient of variation (CV) revealed that arsenic probably originated from anthropogenic sources, while Cd, Ni, and V have a lithogenic origin (chemical leaching of bedrocks). Contamination factor values of As, Cd, Ni, and V varied in the range of 0.961-5.21, 0.783-0.870, 0.521-1.06, and, 0.145-0.600, respectively. The PLI values of the samples with an average value of 0.783, indicated that 83 and 17% of sediment samples were low and moderately contaminated, respectively.

Table 1 Descriptive statistical of elements content in sediments (mg/kg, d.w.)

Sampling Site	V	Ni	Cd	As
1	23.9 ± 0.1	40.3 ± 0.1	0.200 ± 0.0	15.6 ± 0.1
2	17.4 ± 0.2	31.8 ± 0.1	0.200 ± 0.0	5.00 ± 0.1
3	19.3 ± 0.3	25.0 ± 0.2	0.180 ± 0.0	9.50 ± 0.1
4	48.6 ± 0.2	45.2 ± 0.1	0.200 ± 0.0	19.4 ± 0.1
5	29.9 ± 0.1	33.8 ± 0.1	0.180 ± 0.0	9.40 ± 0.1
6	31.5 ± 0.2	33.9 ± 0.3	0.190 ± 0.0	11.3 ± 0.1
7	72.0 ± 0.1	43.1 ± 0.2	0.190 ± 0.1	27.1 ± 0.1
8	19.8 ± 0.2	24.8 ± 0.1	0.180 ± 0.0	7.60 ± 0.1
9	26.4 ± 0.2	27.6 ± 0.2	0.200 ± 0.0	5.90 ± 0.1
10	27.9 ± 0.1	23.8 ± 0.2	0.200 ± 0.0	14.8 ± 0.1
11	34.0 ± 0.3	41.8 ± 0.2	0.200 ± 0.0	16.7 ± 0.1
12	32.0 ± 0.2	48.6 ± 0.2	0.200 ± 0.0	10.1 ± 0.1
Mean	31.9 ± 0.2	35.0 ± 0.2	0.200 ± 0.0	12.7 ± 0.1

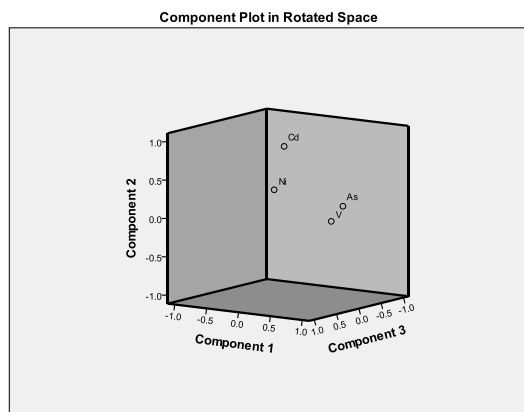


Fig. 1 Loading plot of analyzed elements in the space described by three principal components (PC1, PC2, and PC3)

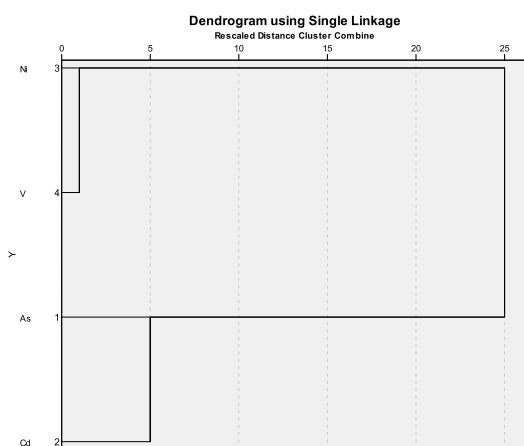


Fig. 2 Dendrogram of the CA of Farahabad sediments based on heavy metal

Table 2 EF values of elements in sediment samples

Sampling Sites	EF			
	As	Cd	Ni	V
1	3.50	1.00	1.00	0.230
2	1.10	1.00	0.810	0.170
3	2.30	1.00	0.700	0.210
4	4.30	1.00	1.10	0.470
5	2.30	1.00	0.950	0.320
6	2.70	1.00	0.910	0.320
7	6.20	1.00	1.10	0.720
8	1.80	1.00	0.680	0.210
9	1.40	1.00	0.720	0.260
10	3.40	1.00	0.620	0.280
11	3.90	1.00	1.10	0.340
12	2.30	1.00	1.20	0.310

Conclusions

Accordingly, although the mean concentrations of Cd, Ni, and V were lower than MPC since the mean contents of As in 42% of sampling stations were higher than MPC and as regards heavy metals have great ecological significance due to their persistently in the environment and toxicity, have a long half-life with bioaccumulation and biomagnification potential, and also can't be biodegradable, therefore, periodic monitoring of sediment media is important to maintaining the aquatic ecosystems and aquatic organisms health. Furthermore, it is recommended that sediment contamination by trace elements be evaluated and that natural versus anthropogenic contribution be distinguished for effective remediation actions against metal pollution.

Acknowledgments

The authors are grateful to the Hamedan Branch, Islamic Azad University, for providing facilities to conduct and complete this study.

Availability of data

The authors confirm that the data supporting the findings of this study are available within the article.

Conflict of Interest

The authors declare no competing interests.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله پژوهشی

منشأ یابی و ارزیابی آلودگی برخی عناصر در رسوبات سطحی ساحل فرح آباد دریای خزر

آرزو خلیجیان^۱، بهاره لرستانی^{۲*}، سهیل سبحان اردکانی^۳، مهرداد چراغی^۲ و لیما طیبی^۴

^۱دانش آموخته دکتری تخصصی، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

^۲دانشیار، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

^۳استاد، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

^۴استادیار، گروه علوم و مهندسی شیلات، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۰۸/۲۱]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۰۹/۲۲]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۰۹/۳۰]

واژه‌های کلیدی:

آلودگی رسوب

آمار چندمتغیره

دریای خزر

فلزات سنگین

معیارهای سمیت‌شناسی محیطی

*نویسنده مسئول:

lorestanib@iauh.ac.ir



مطالعه رسوبات به عنوان یکی از مخازن جذب آلاینده‌های محیط زیستی و به ویژه فلزات سنگین اهمیت ویژه‌ای دارد. از این رو، این پژوهش با هدف منشأ یابی و ارزیابی آلودگی عناصر آرسنیک، کادمیم، نیکل و وانادیوم در رسوبات ساحل فرح آباد دریاچه خزر در سال ۱۳۹۸ انجام شد. در این مطالعه، پس از جمع‌آوری ۳۶ نمونه رسوب از ۱۲ ایستگاه منتخب، مقادیر پارامترهای pH، EC، ماده آلی و بافت رسوبات تعیین شد. غلظت عناصر به روش طیف‌سنجی نوری پلاسما جفت شده القایی تعیین شدند. به علاوه، برای ارزیابی آلودگی رسوبات نسبت به محاسبه معیارهای سمیت‌شناسی محیطی از جمله شاخص‌های ضریب آلودگی، غنی‌شدگی و بار آلودگی اقدام و به منظور شناسایی منابع بالقوه عناصر و گروه‌بندی آن‌ها در نمونه‌های رسوب نیز از روش‌های آماری چندمتغیره و به ترتیب تحلیل مؤلفه‌های اصلی و خوشه‌بندی سلسله مراتبی استفاده شد. برای پردازش آماری نتایج نیز از آزمون‌های تحلیل واریانس یک‌طرفه، تی تک‌نمونه‌ای و ضریب همبستگی پیرسون در بستر نرم‌افزار SPSS استفاده شد. میانگین غلظت آرسنیک، کادمیم، نیکل، و وانادیوم به ترتیب ۱۲/۷، ۰/۱۹۱، ۳۵/۰ و ۳۵/۰ mg/kg بود. نتایج خروجی مدل‌های PCA، HCA، مقادیر شاخص EF و ضریب تغییرات و همچنین، نتایج ماتریس همبستگی پیرسون نشان داد احتمالاً آرسنیک از منابع انسان‌ساخت و عناصر کادمیم، نیکل و وانادیوم نیز از منابع طبیعی نشأت گرفته‌اند.

۱- مقدمه

آبی افزایش یافته است. این در حالی است که، اقیانوس‌ها و دریاها علی‌رغم آن که ۷۰٪ سطح زمین را پوشانده‌اند، ظرفیت محدودی برای پذیرش آلاینده‌های وارد شده از خشکی‌ها

امروزه، همگام با رشد روزافزون جمعیت و به تبع آن توسعه شهرنشینی و افزایش فعالیت‌های صنعتی، معدنی و کشاورزی، میزان تخلیه آلاینده‌ها به بوم‌سازگان‌های خشکی و



شدت آلودگی یا تاریخچه آن را بهتر از محیط آب آشکار می‌سازد. از طرفی، فلزات موجود در رسوبات به دلیل تغییر در ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب می‌توانند دوباره وارد آب شده و در دسترس موجودات زنده قرار گیرند (Mohammadi et al. 2017).

شاخص‌های ارزیابی آلودگی معیاری برای مدیریت محیط‌زیست و شناسایی و کاهش عوامل بالقوه آسیب‌رسان محیط‌زیستی هستند و از آن‌جا که سنجش وضعیت و شناسایی دقیق منابع آلودگی رسوبات و اعمال راهکارهای مدیریتی به منظور کاهش میزان ورود آلاینده‌ها به محیط‌های آبی، از اهمیت بیش‌تری در مقایسه با روش‌های پاک‌سازی برخوردار است (Dehghani and Dast Afkan 2016)، تاکنون چندین مطالعه در خصوص منشأیابی، توزیع مکانی-زمانی و ارزیابی آلودگی رسوبات بوم‌سازگان‌های آبی به فلزات سنگین در ایران و سایر کشورها انجام شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به ارزیابی آلودگی رسوبات در تالاب میقان اراک (Sobhanardakani et al. 2014)، خلیج جیائوژو چین (Liang et al. 2018) و سواحل استان گیلان (Mohammadi Galengash et al. 2018) اشاره کرد.

دریای خزر به عنوان بزرگ‌ترین دریاچه بسته دنیا هم از نظر ذخایر نفت و گاز و هم از حیث منابع شیلاتی و جاذبه‌های گردشگری در سطوح منطقه‌ای و بین‌المللی بسیار مورد توجه است. این در حالی است که، بهره‌برداری از ذخایر و تخلیه انواع آلاینده‌های صنعتی، شهری و بهداشتی به این بوم‌سازگان باعث شده است که این دریاچه در معرض آلودگی قرار گیرد. ساحل فرح‌آباد ساری از جمله مناطق پر جذب و پذیرای حجم زیادی از گردشگران در طول سال است. به علاوه، انواع فعالیت‌ها از جمله صنعتی و کشاورزی در پیرامون این ناحیه در حال انجام است. لذا، در این پژوهش برای اولین بار نسبت به ارزیابی آلودگی رسوبات ساحل فرح‌آباد با استفاده از شاخص‌های ضریب آلودگی (CF)^۱، غنی‌شدگی (EF)^۲ و بار آلودگی (PLI)^۳ و نیز شناسایی منابع بالقوه عناصر در نمونه‌های رسوب به وسیله روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)^۴ اقدام شد.

دارند (Sobhanardakani 2017). آلودگی بوم‌سازگان‌های آبی عموماً می‌تواند ناشی از عوامل گوناگون از جمله: ورود فاضلاب‌های صنعتی و شهری، تردد کشتی‌ها، عملیات اکتشاف، استخراج و حمل نفت، تخلیه زباله‌ها و پساب‌های حاصل از نیروگاه‌ها، انتشار مواد شیمیایی و تخلیه آب توازن کشتی‌ها باشد که پیامدهای زیان‌باری را به دنبال خواهد داشت (Khademi et al. 2015).

فلزات سنگین در زمره آلودگی‌های معدنی با نیم‌عمر بالا، پایدار، غیرقابل تجزیه زیستی و با قابلیت تجمع و بزرگ‌نمایی زیستی هستند که می‌توانند اثرات مخربی بر سلامت موجودات زنده به‌ویژه در مراحل رشد و نمو آن‌ها داشته باشند (Rezaei Raja et al. 2016). آرسنیک شبه‌فلزی سمی است که قرار گرفتن در معرض مقادیر زیاد آن می‌تواند به آسیب‌های کبدی و کلیوی و به علاوه، ابتلا به سرطان‌های مثانه، ریه و پوست منجر شود (Sobhanardakani 2016). صدمات کلیوی و کبدی، پوکی استخوان، آسیب به ریه، کم‌خونی، فشارخون بالا، بیماری‌های قلبی-عروقی، دیابت و به‌ویژه ابتلا به انواع سرطان نیز از پیامدهای قرار گرفتن در معرض کادمیم است (Sobhanardakani et al. 2015). این در حالی است که، آسیب به سیستم عصبی، کاهش تحرک، ناهنجاری‌زایی، جهش‌زایی، اختلالات قلبی و ابتلا به سرطان ریه از مهم‌ترین پیامدهای قرار گرفتن در معرض مقادیر بیش‌تر از حد مجاز نیکل است (Habibi et al. 2021). وانادیوم و ترکیباتش سمی هستند و معمولاً از منابع طبیعی و همچنین احتراق سوخت‌های فسیلی به محیط وارد شده و در آب، خاک و هوا برای مدت طولانی باقی می‌ماند. این عنصر پس از ورود به بدن انسان می‌تواند به پروتئین خون متصل شود (Talebzadeh et al. 2017). لازم به ذکر است که تاکنون هیچ اطلاعاتی در مورد قابلیت سرطان‌زایی این عنصر در دسترس نیست و در سیستم‌های محیطی سمیت وانادیوم چهار ظرفیتی از وانادیوم پنج ظرفیتی کم‌تر است (Sobhanardakani 2019).

ورود آلاینده‌ها به محیط آبی، هر دو بخش آب و رسوب را تحت تأثیر قرار می‌دهد، اما محیط رسوب به دلیل پویایی کم‌تر نسبت به محیط آب می‌تواند آلاینده‌های مختلف شیمیایی و به‌ویژه فلزات سنگین را بیش‌تر در خود تجمع دهد (Sobhanardakani and Jamshidi 2015). بدین سبب بررسی غلظت فلزات در رسوبات بستر محیط آبی،

¹Contamination Factor

²Enrichment Factor

³Pollution Load Index

⁴Principal Component Analysis



شکل ۱- نقشه موقعیت استقرار ایستگاه‌های نمونه‌برداری

Fig. 1 Map of sampling sites

۲-۳- آماده‌سازی نمونه‌ها و آنالیز متغیرهای

فیزیکوشیمیایی

نمونه‌های رسوب در ابتدا به مدت ۱۴ day در هوای آزاد خشک شده و پس از آسیاب کردن آن‌ها با هاون چینی، برای تعیین محتوی عناصر و همچنین ارزیابی سایر پارامترهای فیزیکوشیمیایی، نمونه‌ها به ترتیب از الک‌هایی با قطر دهانه $63 \mu\text{m}$ از الک‌هایی با قطر دهانه ۲ mm عبور داده شدند (Al-Naimi et al. 2015). برای هضم نمونه‌ها به منظور سنجش محتوی عناصر، ابتدا به ۱ g از هر نمونه رسوب مخلوطی شامل اسیدهای HNO_3 ، HClO_4 و HF به ترتیب با نسبت‌های ۳، ۲ و ۱ اضافه و پس از آن نمونه‌ها به مدت ۲ hr با یکدیگر مخلوط و عمل هضم انجام شد. پس از آن، محلول حاصل توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف و توسط آب دوبار تقطیر به حجم رسانده شد. در نهایت، پس از ساخت محلول مادر (استوک) و استاندارد نمک هر یک از عناصر و کالیبره کردن دستگاه طیف‌سنج نشری پلاسما جفت شده القایی Varian مدل 710-ES، غلظت عناصر آرسنیک، کادمیم، نیکل و وانادیوم در نمونه‌ها به ترتیب در طول موج‌های ۱۸۸/۹۸۰، ۲۲۶/۵۰۲، ۲۳۱/۶۰۴ و ۳۱۱/۸۳۷ nm خوانده شدند (Nematollahi et al. 2014; Bazzi 2015). همچنین، کنترل کیفیت (QC)^{۱۵} و تضمین کیفیت (QA)^{۱۶} اندازه‌گیری‌ها هر دو با استفاده از مرجع استاندارد SQC-۱۷ 001 ساخت شرکت سیگما-آلد ریچ اسپانیا تعیین شدند

^{۱۵}Quality Control

^{۱۶}Quality Assurance

^{۱۷}Standard Reference Material (SRM)

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

ساحل فرح‌آباد در ۳۵ km شمال شهر ساری بین طول جغرافیایی $52^{\circ} 57'$ تا $53^{\circ} 18'$ شرقی و عرض جغرافیایی $36^{\circ} 46'$ تا $36^{\circ} 51'$ شمالی واقع شده است (Sharifi Kiasari et al. 2020). کانی‌های شناسایی شده در رسوبات این منطقه شامل پیروکسن^۱ (اوپزیت^۲ و دیوپسید^۳)، کانی‌های حاوی آهن (مگنتیت^۴ و گوتیت^۵)، پلاژیوکلاز^۶، انواع کوارتز^۷، چرت^۸، انواع کربنات، ارتوز^۹، میکاها و کلریت، میکروکلین^{۱۰} و کانی‌های سنگین شفاف شامل اسفن^{۱۱}، روتیل^{۱۲} و زیرکن^{۱۳} هستند (Bagheri 2016). کاربری‌های مستقر در منطقه نیز شامل مجتمع‌های تفریحی، مسکونی، کشاورزی و صنعتی به‌ویژه در بخش شرقی منطقه هستند.

۲-۲- نمونه‌برداری از رسوب

در این پژوهش، پس از بررسی‌های میدانی و با در نظر گرفتن محدودیت‌های مالی و زمانی، کاربری‌های مستقر و سهولت دسترسی، نسبت به انتخاب ۱۲ ایستگاه نمونه‌برداری به روش تصادفی سیستماتیک^{۱۴} و در مجموع برداشت ۳۶ نمونه رسوب سطحی از عمق ۵-۱۵ cm با استفاده از گرب پترسون با سطح مقطع 225 cm^2 در شهریورماه سال ۱۳۹۸ اقدام شد (Vaezi et al. 2014). مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری نیز با استفاده از دستگاه GPS مدل ETREX 32X ساخت شرکت گارمین ثبت شدند. نقشه موقعیت استقرار ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل (۱) آورده شده است.

^۱Pyroxene

^۲Augite

^۳Diopside

^۴Magnetite

^۵Goethite

^۶Plagioclase

^۷Quartz

^۸Chert

^۹Orthose

^{۱۰}Microcline

^{۱۱}Sphene

^{۱۲}Rutile

^{۱۳}Zircon

^{۱۴}Systematic Random Sampling

که، $C_i/C_{ie}(\text{sample})$ بیانگر نسبت غلظت عنصر مدنظر به غلظت یک عنصر مرجع در نمونه رسوب (mg/kg) و $C_i/C_{ie}(\text{earth crust})$ نیز نشان‌دهنده نسبت غلظت عنصر مدنظر به غلظت یک عنصر مرجع در زمینه (mg/kg) است که در این مطالعه، از آن‌جاکه کم‌ترین مقدار ضریب تغییرات در نمونه‌ها به کادمیم مربوط بود، کادمیم به‌عنوان عنصر مرجع انتخاب شد (Mokhtarzadeh et al. 2020). بر اساس مقادیر فاکتور غنی‌شدگی، رسوبات را می‌توان در هفت طبقه "بدون غنی‌شدگی" ($EF < 1$)، "غنی‌شدگی جزئی" ($1 \leq EF < 3$)، "غنی‌شدگی متوسط" ($3 \leq EF < 5$)، "غنی‌شدگی به‌نسبت شدید" ($5 \leq EF < 10$)، "غنی‌شدگی شدید" ($10 \leq EF < 25$)، "غنی‌شدگی خیلی شدید" ($25 \leq EF < 50$) و "غنی‌شدگی بی‌اندازه شدید" ($EF > 50$) دسته‌بندی کرد (Tytla and Kostecki 2019).

شاخص PLI برای تعیین سطح آلودگی خاک/رسوب ارائه شده است و می‌تواند تخمینی از سطح آلودگی فلزات سنگین را در اختیار قرار دهد. به‌منظور محاسبه مقادیر این شاخص از رابطه (۳) استفاده شد (Shang et al. 2015; Emmanuel et al. 2018). بر اساس مقادیر شاخص PLI، رسوبات را می‌توان در چهار طبقه "غیرآلوده" ($PLI < 1$)، "با آلودگی متوسط" ($1 \leq PLI < 2$)، "با آلودگی قابل‌ملاحظه" ($2 \leq PLI < 3$) و "با آلودگی شدید" ($PLI \geq 3$) دسته‌بندی کرد (Sabet Aghlidi et al. 2020).

$$PLI = (CF1 \times CF2 \times CF3 \times \dots \times CFn)^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

۵-۲- پردازش آماری داده‌ها

پردازش آماری نتایج با استفاده از نسخه ۲۲ نرم‌افزار SPSS در سطح معنی‌داری ۰/۰۵۰ انجام شد. بدین‌صورت که، از آزمون شاپیرو-ویلک برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها، از آزمون تی تک‌نمونه‌ای برای مقایسه میانگین غلظت عناصر مورد‌مطالعه در نمونه‌ها با بیشینه مجاز، از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه و به‌دنبال آن آزمون تعقیبی دانکن برای مقایسه میانگین غلظت عناصر بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری و از آزمون ضریب همبستگی پیرسون به‌منظور بررسی همبستگی میانگین مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های رسوب با هم استفاده شد. از طرفی، برای شناسایی منابع بالقوه عناصر در نمونه‌های رسوب از روش PCA و با هدف تعیین گروه‌بندی عناصر نیز از روش HCA استفاده شد.

(Xu et al. 2016). نتایج نشان داد که دقت خوب با آهنگ بازیابی $97/101-3/2\%$ برای آرسنیک، $96/5-100/7\%$ برای کادمیم، $95/8-101/4\%$ برای نیکل و $96/1-100/9\%$ برای وانادیوم حاصل شده است. pH نمونه‌های رسوب توسط دستگاه pH متر Jenway مدل ۳۵۲۰ در یک سوسپانسیون حاوی ۵۰ ml آب دوبار تقطیر و ۲۰ g رسوب با نسبت ۱:۲/۵ (آب: رسوب) پس از تعادل ۲ hr اندازه‌گیری شد. به‌علاوه، مقدار EC نمونه‌ها با استفاده از دستگاه EC متر Jenway مدل ۴۵۲۰ اندازه‌گیری شد (Zhuang et al. 2018). مقادیر کربن آلی رسوبات نیز به‌روش Walkley اندازه گرفته شد (Walkley 1947). از طرفی، بافت رسوبات نیز با استفاده از روش هیدرومتری تعیین شد (Mohammadzahari et al. 2020).

۴-۲- ارزیابی درجه آلودگی رسوبات

به‌منظور ارزیابی درجه آلودگی رسوبات منطقه مورد‌مطالعه، با توجه به غلظت کل عناصر، از شاخص‌های CF ، EF و PLI استفاده شد. از شاخص CF برای بیان میزان آلودگی رسوبات به فلزات سنگین استفاده می‌شود که مقادیر آن با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Emmanuel et al. 2018).

$$CF = \frac{C_{\text{Sample}}}{C_{\text{Background}}} \quad (1)$$

که C_{Sample} نشان‌دهنده محتوی عنصر در نمونه رسوب و $C_{\text{Background}}$ نیز بیانگر میانگین محتوی عنصر در پوسته زمین (شیل) است که مقادیر آن برای عناصر آرسنیک، کادمیم، نیکل و وانادیوم به‌ترتیب برابر با ۵/۲۰، ۰/۲۳۰، ۴۵/۷ و ۱۲۰ mg/kg است (Azimizade and Khademi 2013; Amouei et al. 2018). براساس مقادیر شاخص، آلودگی رسوبات را می‌توان در چهار طبقه "آلودگی کم" ($CF < 1$)، "آلودگی متوسط" ($1 \leq CF < 3$)، "آلودگی قابل‌توجه" ($3 \leq CF < 6$) و "آلودگی خیلی زیاد" ($CF > 6$) دسته‌بندی کرد (Hakanson 1980).

از فاکتور EF برای بیان میزان تأثیر عوامل خارجی بر رسوبات استفاده شد. ارزیابی این عامل روش مناسبی برای تعیین تأثیر منشأ لیتوژنیک و انسانی آلودگی فلزی است. برای محاسبه شاخص EF از رابطه (۲) استفاده شد (Emmanuel et al. 2018).

$$EF = \frac{C_i/C_{ie}(\text{Sample})}{C_i/C_{ie}(\text{earth crust})} \quad (2)$$

¹Recovery Rate

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- بافت رسوب و پارامترهای فیزیکوشیمیایی

توصیفی مربوط به مقادیر عناصر در نمونه‌های رسوب نیز در جدول (۲) آورده شده است.

نتایج مربوط به تعیین بافت رسوب و مقادیر برخی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی در نمونه‌ها در جدول (۱) و آمار

جدول ۱- بافت رسوب و مقادیر برخی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی در نمونه‌ها

Table 1 Sediment texture and some physicochemical parameters values of sediments

Sampling Site	Sand (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	TOC* (mg/kg)	EC* (ds/m)	pH
1	80.1 ± 0.1	80.1 ± 0.1	10.2 ± 0.2	9.70 ± 0.2	29.0 ± 0.0	58.0 ± 0.0	8.20 ± 0.1
2	78.1 ± 0.1	78.1 ± 0.1	12.1 ± 0.1	9.80 ± 0.1	27.2 ± 0.1	58.5 ± 0.1	8.40 ± 0.6
3	75.2 ± 0.1	75.2 ± 0.1	14.1 ± 0.1	10.7 ± 0.2	25.2 ± 0.1	50.1 ± 0.1	7.90 ± 0.0
4	80.2 ± 0.1	80.2 ± 0.1	10.3 ± 0.1	9.50 ± 0.1	29.6 ± 0.1	58.3 ± 0.1	8.30 ± 0.1
5	76.3 ± 0.1	76.3 ± 0.1	13.2 ± 0.1	10.5 ± 0.2	27.2 ± 0.1	56.0 ± 0.3	8.40 ± 0.0
6	75.0 ± 0.1	75.0 ± 0.1	15.1 ± 0.1	9.90 ± 0.2	24.9 ± 0.1	51.2 ± 0.1	7.90 ± 0.1
7	81.2 ± 0.2	81.2 ± 0.2	11.1 ± 0.1	7.70 ± 0.1	30.1 ± 0.1	58.4 ± 0.2	8.10 ± 0.1
8	76.6 ± 0.6	76.6 ± 0.6	12.5 ± 0.3	10.9 ± 0.4	27.4 ± 0.1	55.3 ± 0.1	8.30 ± 0.1
9	74.9 ± 0.1	74.9 ± 0.1	14.8 ± 0.1	10.3 ± 0.1	24.1 ± 0.1	51.2 ± 0.1	7.90 ± 0.1
10	82.0 ± 0.1	82.0 ± 0.1	9.20 ± 0.1	8.80 ± 0.1	36.4 ± 0.2	48.1 ± 0.1	7.90 ± 0.1
11	86.1 ± 0.1	86.1 ± 0.1	7.30 ± 0.2	6.60 ± 0.3	37.3 ± 0.1	43.2 ± 0.1	7.80 ± 0.2
12	86.2 ± 0.1	86.2 ± 0.1	7.20 ± 0.1	7.60 ± 0.2	40.0 ± 0.2	43.2 ± 0.1	7.80 ± 0.0
Mean	79.2 ± 0.1	79.2 ± 0.11	11.4 ± 0.1	9.30 ± 0.2	29.8 ± 0.1	52.3 ± 0.1	8.10 ± 0.1

*TOC: Total Organic Carbon; EC: Electrical Conductivity

جدول ۲- آمار توصیفی محتوی عناصر* در رسوبات (mg/kg, d.w.)

Table 2 Descriptive statistical of elements content in sediments (mg/kg, d.w.)

Sampling Site	V	Ni	Cd	As
1	23.9 ± 0.1 ^c	40.3 ± 0.1 ^f	0.200 ± 0.0 ^a	15.6 ± 0.1 ^h
2	17.4 ± 0.2 ^a	31.8 ± 0.1 ^d	0.200 ± 0.0 ^a	5.00 ± 0.1 ^{a**}
3	19.3 ± 0.3 ^b	25.0 ± 0.2 ^b	0.180 ± 0.0 ^a	9.50 ± 0.1 ^d
4	48.6 ± 0.2 ⁱ	45.2 ± 0.1 ⁱ	0.200 ± 0.0 ^a	19.4 ± 0.1 ^j
5	29.9 ± 0.1 ^f	33.8 ± 0.1 ^e	0.180 ± 0.0 ^a	9.40 ± 0.1 ^d
6	31.5 ± 0.2 ^f	33.9 ± 0.3 ^e	0.190 ± 0.0 ^a	11.3 ± 0.1 ^f
7	72.0 ± 0.1 ^j	43.1 ± 0.2 ^h	0.190 ± 0.1 ^a	27.1 ± 0.1 ^k
8	19.8 ± 0.2 ^b	24.8 ± 0.1 ^b	0.180 ± 0.0 ^a	7.60 ± 0.1 ^c
9	26.4 ± 0.2 ^d	27.6 ± 0.2 ^c	0.200 ± 0.0 ^a	5.90 ± 0.1 ^b
10	27.9 ± 0.1 ^e	23.8 ± 0.2 ^a	0.200 ± 0.0 ^a	14.8 ± 0.1 ^g
11	34.0 ± 0.3 ^h	41.8 ± 0.2 ^g	0.200 ± 0.0 ^a	16.7 ± 0.1 ⁱ
12	32.0 ± 0.2 ^g	48.6 ± 0.2 ^j	0.200 ± 0.0 ^a	10.1 ± 0.1 ^e
Mean	31.9 ± 0.2	35.0 ± 0.2	0.191 ± 0.0	12.7 ± 0.1

* داده‌ها مربوط به میانگین سه تکرار است.

** حروف غیر مشترک (a, b, c و ...) در هر ستون، بیان‌گر اختلاف معنی‌دار آماری ($p < 0.05$) بین ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری از حیث میانگین مقادیر عناصر بر اساس نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (آزمون چند دامنه‌ای دانکن) است.

نتایج مندرج در جدول (۱) بیان‌گر آن است که مقادیر pH نمونه‌ها از ۷/۷۷ تا ۸/۳۷ با میانگین ۸/۱۰، مقادیر EC نمونه‌ها از ۴۳/۲ تا ۵۸/۵ ds/m با میانگین ۵۲/۳ و مقادیر TOC نمونه‌ها از ۲۴/۱ تا ۴۰/۰ mg/kg با میانگین ۲۹/۰۸ متغیر بود. همچنین، بافت غالب رسوبات مورد بررسی شنی بود. علاوه بر این، مقادیر عنصر آرسنیک از ۵/۰۰ تا ۲۷/۱ mg/kg با میانگین ۱۲/۷ mg/kg مقادیر عنصر کادمیم از ۰/۱۸۰ تا ۰/۱۹۱ mg/kg با میانگین ۰/۱۹۱ mg/kg مقادیر عنصر نیکل از ۲۳/۸ تا ۴۸/۶ mg/kg با

میانگین ۳۵/۰ mg/kg و مقادیر عنصر وانادیوم از ۱۷/۴ تا ۷۲/۰ mg/kg با میانگین ۳۱/۹ mg/kg متغیر بود (جدول ۲). مقایسه نتایج حاصل با دستاورد سایر پژوهش‌ها مربوط به مقادیر عناصر در رسوبات سواحل جنوبی دریای خزر در جدول (۳) آورده شده است. نتایج محاسبه ضریب تغییرات (%) عناصر در نمونه‌های رسوب نیز نشان داد که کمینه مقادیر ضریب با ۳/۶۶ مربوط به عنصر کادمیم بوده و مقادیر این پارامتر توصیفی برای عناصر آرسنیک، نیکل و وانادیوم نیز به ترتیب برابر با ۴۹/۹، ۲۴/۸ و ۴۷/۳ بوده است. از این‌رو،

می‌توان اذعان داشت که احتمالاً به‌جز در مورد کادمیم، محتوی سایر عناصر و به‌ویژه آرسنیک در نمونه‌های رسوب تا حدی تحت تأثیر عوامل خارجی یعنی فعالیت‌های انسانی بوده است. علاوه بر این، با مقایسه میانگین مقادیر عناصر

جدول ۳- مقایسه میانگین غلظت عناصر کمیاب در نمونه‌های رسوب سواحل جنوبی دریای خزر با یافته‌های پژوهش حاضر
Table 3 Comparison of mean concentrations of elements (mg/kg) in surface sediment of the current study with the literature data (southern Caspian Sea)

Study Area	Elements				References
	As	Cd	Ni	V	
Iran-Khazar Abad	12.7	0.19	35.0	31.9	This study
Iran-Shefa-Rud River	-	-	50.8	-	Karbasi et al. (2006)
Iran-Siahrood River	0.01	-	0.01	-	Malvandi and Hassanzadeh (2019)
Iran-southern Caspian Sea	-	0.9	38.6	-	Sohrabi et al. (2010)
Iran-Haraz River	-	43.6	3.45	33.6	Nasrabadi et al. (2010)
Iran-Gomishan International Wetland	-	0.15	0.15	0.66	Kalani et al. (2021)

حیث میانگین غلظت این عنصر در نمونه‌های رسوب اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشته است ($p > 0.05$)، در صورتی‌که، سایر ایستگاه‌های نمونه‌برداری از این حیث اختلاف معنی‌دار آماری با هم داشتند ($p < 0.05$). به‌عنوان مثال، بین هیچ‌کدام از ایستگاه‌های نمونه‌برداری از حیث میانگین غلظت عنصر کادمیم در نمونه‌های رسوب اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشته است ($p > 0.05$). این تفاسیر را می‌توان در خصوص سایر عناصر نیز ملحوظ داشت. نتایج مطالعه Mohammadi Galengash et al. (2018) نیز بیان‌گر اختلاف معنی‌دار آماری بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری از حیث میانگین غلظت فلزات نیکل و وانادیوم در رسوبات ساحلی دریای خزر بود. ماتریس همبستگی پیرسون هم نشان داد که بین عناصر آرسنیک و وانادیوم با ضریب همبستگی (r) برابر با ۰/۸۷۵ و بین عناصر کادمیم و نیکل با ۰/۷۱۷ $r =$ در سطح معنی‌داری ۰/۰۱۰ و از طرفی، بین عناصر نیکل و وانادیوم با ۰/۵۹۱ $r =$ در سطح معنی‌داری ۰/۰۵۰ همبستگی مثبت (مستقیم) وجود داشت که می‌تواند نشان‌دهنده منشأ یکسان این عناصر باشد. علاوه بر این، بین میانگین مقادیر پارامترهای pH و EC نیز با ۰/۸۸۶ $r =$ در سطح معنی‌داری ۰/۰۱۰ همبستگی مثبت وجود داشت. (Baniamam et al. 2019) نیز باوجود همبستگی مثبت بین میانگین مقادیر عناصر نیکل و وانادیوم در رسوبات سطحی برداشت‌شده از چهار ایستگاه مستقر در نوار ساحلی جنوبی دریای خزر شامل بندر ترکمن، بندر امیرآباد، فریدون‌کنار و نوشهر را با منشأ یکسان آن‌ها یعنی فعالیت‌های کشاورزی و صنعت نفت مرتبط دانستند.

۳-۲- نتایج مربوط به پردازش آماری داده‌ها

نتایج آزمون شاپیرو-ویلک نشان داد که با توجه به سطح معنی‌داری (p) بزرگ‌تر از ۰/۰۵۰، داده‌های مربوط به محتوی همه عناصر در نمونه‌های رسوب از توزیع نرمال برخوردار هستند. از طرفی، نتایج آزمون تی تک‌نمونه‌ای برای مقایسه میانگین مقادیر عناصر با بیشینه مجاز NOAA برابر با ۱۲، ۱۰، ۵۰ و ۱۳۰ mg/kg به‌ترتیب برای آرسنیک، کادمیم، نیکل و وانادیوم (NOAA 1999) نشان داد که به‌جز میانگین محتوی عنصر آرسنیک در ایستگاه‌های ۱، ۴، ۷، ۱۰ و ۱۱، میانگین محتوی این عنصر و سایر عناصر مورد مطالعه در همه ایستگاه‌ها کم‌تر از حد مجاز بود. در این خصوص، نتایج پژوهشی که با هدف ارزیابی محتوی فلزات سنگین در رسوبات ساحل جنوبی دریای خزر انجام شد، نشان داد که میانگین مقادیر عناصر کادمیم و نیکل کم‌تر از بیشینه مجاز NOAA بوده است (Eghbali et al. 2015). Hashemi et al. (2015) نیز میانگین غلظت عناصر نیکل و وانادیوم در رسوبات سطحی سواحل جنوب غربی دریای خزر را کم‌تر از بیشینه مجاز NOAA گزارش کردند. همچنین، Bagheri and Azimi (2015) نیز میانگین مقادیر عنصر آرسنیک در رسوبات ساحل جنوبی دریای خزر را کم‌تر از بیشینه مجاز NOAA گزارش کردند. در پژوهشی دیگر، میانگین محتوی عنصر آرسنیک در نمونه‌های رسوب برداشت‌شده از خلیج گرگان در فصل تابستان بیش‌تر از حد مجاز گزارش شد (Ghorbanzadeh Zaferani et al. 2016). نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه برای عنصر آرسنیک (جدول ۲) نشان داد که بین ایستگاه‌های ۳ و ۵ از

۳-۳- شاخص‌های ارزیابی آلودگی رسوبات

نتایج محاسبه شاخص‌های CF، EF و PLI در جدول (۴) آورده شده است. نتایج مندرج در جدول (۴) بیانگر آن است که با توجه به رده‌بندی هاکانسون، آلودگی رسوبات به عنصر آرسنیک در ایستگاه ۲ "کم"، در ایستگاه‌های ۳، ۵، ۶، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۲ "متوسط" و در ایستگاه‌های ۱، ۴، ۷ و ۱۱ "خیلی زیاد" بوده است. همچنین، آلودگی رسوبات به عناصر کادمیم و وانادیوم در همه ایستگاه‌ها "کم" و در خصوص عنصر نیکل نیز به جز ایستگاه ۱۲ که واجد "آلودگی متوسط" بوده است، سایر ایستگاه‌ها از "آلودگی کم" به این عنصر داشته‌اند. مقادیر شاخص EF عنصر آرسنیک بیانگر "غنی‌شدگی

جزئی" ۵۸٪ از ایستگاه‌ها، "غنی‌شدگی متوسط" ۳۳٪ از ایستگاه‌ها و "غنی‌شدگی به نسبت شدید" ۹٪ از ایستگاه‌ها با این عنصر بوده است. از سویی در مورد عنصر نیکل می‌توان اذعان داشت که، ۵۸٪ از ایستگاه‌ها در طبقه "بدون غنی‌شدگی" و ۴۲٪ از ایستگاه‌ها در طبقه "بدون غنی‌شدگی" دسته‌بندی شده‌اند. درحالی‌که، نتایج نشان‌دهنده عدم غنی‌شدگی رسوبات هر ۱۲ ایستگاه به عنصر وانادیوم بوده است. از آنجاکه، مقادیر ۰/۰۵۰ تا ۱/۵۰ شاخص EF نشان‌دهنده منشأ طبیعی و مقادیر $EF > 1/50$ نیز بیانگر منشأ انسان‌ساخت عناصر در خاک/رسوب است (Zhang and Liu 2000).

جدول ۴- مقادیر شاخص‌های ضریب آلودگی، شاخص غنی‌شدگی و شاخص بار آلودگی عناصر در نمونه‌های رسوب

Table 4 CF, EF and PLI values of elements in sediment samples

Sampling Sites	Pollution Indices							
	CF				EF			
	As	Cd	Ni	V	As	Cd	Ni	PLI
1	3.00	0.870	0.880	0.200	3.50	1.00	1.00	0.820
2	0.960	0.860	0.700	0.150	1.10	1.00	0.810	0.540
3	1.80	0.780	0.550	0.160	2.30	1.00	0.700	0.600
4	3.70	0.870	0.990	0.410	4.30	1.00	1.10	1.10
5	1.80	0.780	0.740	0.250	2.30	1.00	0.950	0.720
6	2.20	0.810	0.740	0.260	2.70	1.00	0.910	0.770
7	5.20	0.840	0.940	0.600	6.20	1.00	1.10	1.30
8	1.50	0.790	0.540	0.170	1.80	1.00	0.680	0.570
9	1.10	0.840	0.600	0.220	1.40	1.00	0.720	0.600
10	2.80	0.840	0.520	0.230	3.40	1.00	0.620	0.730
11	3.20	0.830	0.920	0.280	3.90	1.00	1.10	0.900
12	1.90	0.860	1.10	0.270	2.30	1.00	1.20	0.830

شاخص‌های EF و PLI عناصر آرسنیک و نیکل رسوب سطحی گزارش کردند که نمونه‌های رسوب خلیج گرگان غیرآلوده بوده‌اند.

۳-۴- نتایج منشاء‌یابی عناصر در نمونه‌های رسوب

نتایج خروجی مدل تحلیل مؤلفه اصلی عناصر در نمونه‌های رسوب (جدول ۵ و شکل ۲) بیانگر استخراج سه مؤلفه اصلی اول (PC1)، دوم (PC2) و سوم (PC3) با واریانس مقدار ویژه بزرگ‌تر از یک و به ترتیب برابر با ۴۶/۷، ۲۹/۴ و ۲۱/۳٪ بود که در مجموع ۹۷/۴٪ از واریانس تجمعی یا کل را تشکیل داده و هر چهار عنصر را شامل می‌شوند. همان‌طور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، PC1 واجد بارهای عاملی مثبت قابل توجه با عناصر نیکل (۰/۸۶۵)، آرسنیک (۰/۸۶۴)، وانادیوم (۰/۸۵۸) و کادمیم (۰/۶۹۱) توصیف شده است. از طرفی، PC2 واجد بارهای عاملی قوی با عنصر کادمیم (۰/۶۶۷) بود، درحالی‌که، در PC3 بار عاملی قوی برای

لذا، میانگین مقادیر شاخص EF عناصر آرسنیک، کادمیم، نیکل و وانادیوم به ترتیب برابر با ۲/۹۳، ۱/۰۰، ۰/۹۱۸ و ۰/۳۱۹، بیانگر منشأ طبیعی عناصر کادمیم، نیکل و وانادیوم یا به عبارتی نشأت گرفتن آن‌ها از هوازدگی سنگ‌بستر^۱ و از طرفی، منشأ انسان‌ساخت عنصر آرسنیک در نمونه‌های رسوب بود. مقادیر شاخص PLI نیز نشان‌دهنده آن است که ۸۳ و ۱۷٪ از نمونه‌های رسوب به ترتیب "غیرآلوده" و "با آلودگی متوسط" بودند. بررسی توزیع برخی از فلزات سنگین در رسوبات سطحی تالاب انزلی نشان داد که میانگین مقادیر شاخص EF عناصر کادمیم، نیکل و وانادیوم به ترتیب برابر ۱/۰۶، ۱/۰۴ و ۱/۰۹ و بیانگر "غنی‌شدگی جزئی" رسوبات و از طرفی، مقادیر PLI در بیش‌تر ایستگاه‌ها بزرگ‌تر از یک و بیانگر آلودگی نمونه‌های رسوب بود (Rafiei et al. 2014). (Ghorbanzadeh Zaferani et al. 2016) نیز با محاسبه

¹Bedrock Weathering

باشد. لازم به ذکر است که، مقادیر ضریب تغییرات (%) عناصر آرسنیک، نیکل و وانادیوم به ترتیب با ۴۹/۹، ۲۴/۸ و ۴۷/۳ نیز وجود همبستگی مثبت بین این عناصر را توجیه می کند. از طرفی، در تأیید نتایج شاخص غنی شدگی، مقایسه میانگین محتوی عناصر در نمونه های رسوب با مقادیر زمینه نشان داد که میانگین مقادیر آرسنیک در نمونه ها با ۱۲/۷ mg/kg، تقریباً ۲/۵ برابر مقدار مرجع و احتمالاً بیان گر منشأ انسان ساخت این عنصر است.

جدول ۵- نتایج توصیف واریانس کل عناصر مورد مطالعه بر مبنای روش PCA

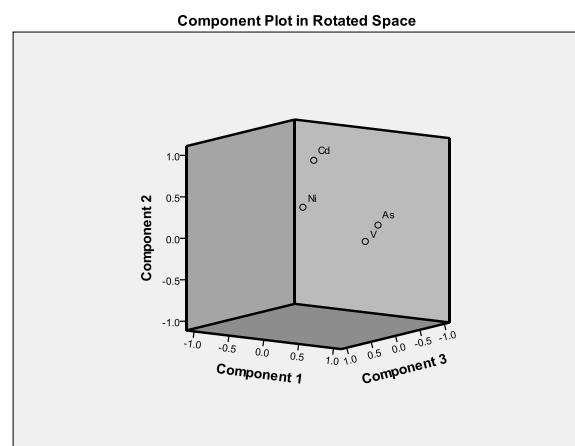
Table 5 Total variance described and component models of the elements

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative%	Total	% of Variance	Cumulative%	Total	% of Variance	Cumulative%
1	2.71	67.7	67.7	2.71	67.7	67.7	1.87	46.7	46.7
2	0.939	23.5	91.2	0.939	23.5	91.2	1.18	29.4	76.1
3	0.250	6.24	97.4	0.250	6.24	97.4	0.853	21.3	97.4
4	0.103	2.56	100						

Elements	Component Matrix			Rotated Component Matrix		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
As	0.864	-0.415	0.208	0.947	0.225	0.124
Cd	0.691	0.667	0.269	0.136	0.947	0.282
Ni	0.865	0.336	-0.361	0.345	0.477	0.803
V	0.858	-0.458	0.062	0.913	0.055	0.337

کادمیم و خوشه سوم شامل عناصر نیکل و وانادیوم است. بنابراین، نتایج خوشه بندی سلسله مراتبی تا حدی با نتایج آزمون همبستگی پیرسون، مقادیر ضریب تغییرات و همچنین شاخص غنی شدگی که بیان گر منشأ یکسان عناصر کادمیم، نیکل و وانادیوم بود، منطبق است. نتایج مطالعه (Mohammadi Galengash et al. 2018) نیز بیان گر وجود همبستگی مثبت بین میانگین محتوی عناصر نیکل و وانادیوم در رسوبات سواحل دریای خزر بود. از طرفی، Rafiei et al. (2014) گزارش کردند که خروجی روش های PCA و HCA نشان دهنده منشأ انسانی (فعالیت های صنعتی و کشتیرانی) عنصر کادمیم و نشأت گرفتن عناصر نیکل و وانادیوم از منابع طبیعی (لیتوژنیک) در رسوبات سطحی تالاب انزلی بود. Ghorbanzadeh Zaferani et al. (2016) نیز تشابه نتایج حاصل از ماتریس همبستگی با روش PCA مربوط به عناصر در نمونه های رسوب خلیج گرگان را با منشأ و رفتار یکسان و همچنین وابستگی متقابل عناصر مرتبط دانستند.

هیچ یک از عناصر مشاهده نشد. از این رو، می توان اذعان داشت که احتمالاً منشأ عناصر مورد مطالعه یکسان بوده است. در این خصوص، نتایج بررسی همبستگی بین عناصر در نمونه های رسوب که نشان داد بین عناصر آرسنیک و وانادیوم و بین عناصر کادمیم و نیکل در سطح معنی داری برابر با ۰/۰۱۰ و بین عناصر نیکل و وانادیوم در سطح معنی داری برابر با ۰/۰۵۰، همبستگی مستقیم وجود داشت نیز می تواند بر منشأ یکسان عناصر کادمیم، نیکل و وانادیوم دلالت داشته



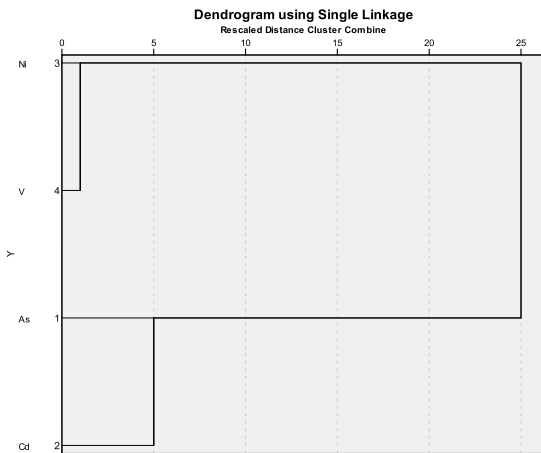
شکل ۲- نمودار تحلیل مؤلفه های اصلی عناصر در نمونه های رسوب منطقه مورد مطالعه

Fig. 2 PCA plot of the elements in the sediment samples in the study area

نتایج روش خوشه بندی سلسله مراتبی برای تشخیص گروه بندی عناصر در نمونه های رسوب در شکل (۳) آورده شده است. بر این اساس، سه خوشه مختلف قابل تشخیص است که خوشه اول شامل عنصر آرسنیک، خوشه دوم شامل عنصر

مقادیر این عنصر در نمونه‌های رسوب ایستگاه‌های ۱، ۴، ۷، ۱۰ و ۱۱ از بیشینه مجاز را می‌توان به‌ویژه با تخلیه باقی‌مانده آفت‌کش‌ها یا علف‌کش‌های حاوی آرسنیک^۱ مانند آرسنیت سرب و کلسیم، تخلیه باقی‌مانده ترکیبات حفاظت از چوب و یا تخلیه باقی‌مانده ترکیبات دارویی حاوی آرسنیک مانند آرسنیک تری‌اکسید در ایستگاه‌های مجاور نوار ساحلی مرتبط دانست. (Bagheri and Azimi (2015) نیز با مطالعه پراکنش فلزات سنگین در رسوبات سطحی سواحل سیسنگان، منشأ آرسنیک موجود در نمونه‌ها را با فعالیت‌های کشاورزی و به‌خصوص استفاده از کودها و قارچ‌کش‌ها در مزارع برنج مرتبط دانستند.

حضور فلز وانادیوم در نمونه‌های رسوب را می‌توان با آلودگی نفتی مرتبط دانست. (Elsagh (2012 نیز تجمع فلز وانادیوم در بافت ماهیچه گونه‌های ماهی سفید و کپور صیدشده از آب‌های نواحی ساحلی دریای خزر را با آلودگی نفتی مرتبط دانستند. نتایج بسیاری از تحقیقات نیز منشأ اصلی عنصر وانادیوم در نمونه‌های محیط‌زیستی را با آلودگی نفتی مرتبط دانسته‌اند (Beg et al., 2001). از دیگر سو، تخلیه فاضلاب شهری و صنعتی و احتراق سوخت‌های فسیلی نیز می‌تواند منجر به تجمع فلز وانادیوم در نمونه‌های محیط‌زیستی شود (Mirza et al. 2013). Pourang et al. (2005) نیز منابع احتمالی عناصر نیکل و وانادیوم در رسوبات سواحل قشم و بندرلنگه را با نشت نفت و تخلیه آب توازن از نفت‌کش‌ها و سکوها حفاری مرتبط دانستند. در پژوهشی دیگر هم تجمع عناصر نیکل و وانادیوم در رسوبات سواحل کویت با وجود آلودگی نفتی در منطقه مرتبط دانسته شد (Beg et al. 2001). این در حالی است که، de Mora et al. (2004) بیش‌ترین تجمع فلزات نیکل و وانادیوم در رسوبات سواحل دریای خزر را در منطقه‌ای گزارش کردند که هیچ فعالیت صنعتی و یا هیچ مرکز تجمع جمعیت در نزدیکی آن قرار نداشت، ولی رسوبات منطقه غنی از کانی‌های افیولیت^۲ محتوی کرومیت و کانی‌های متنوع سولفید نیکل بودند. لذا، این پژوهشگران اذعان داشتند که عناصر نیکل و وانادیوم در رسوبات از منابع طبیعی نشأت گرفته‌اند. Bagheri and Azimi (2015) نیز تجمع بالای فلزات نیکل و وانادیوم در رسوبات سواحل جنوبی دریای خزر را به‌ترتیب با کانی‌شناسی منطقه و ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی، پساب شناورها



شکل ۳- دندوگرام خوشه‌بندی سلسله مراتبی عناصر در

نمونه‌های رسوب منطقه مورد مطالعه

Fig. 3 Dendrogram of the CA of Farah Abad sediments based on heavy metal

۳-۵- تبیین یافته‌ها

نتایج نشان داد که کمینه میانگین مقادیر عناصر آرسنیک، کادمیم، نیکل و وانادیوم با ۵/۰۰، ۰/۱۸۰، ۲۳/۸ و mg/kg ۱۷/۴ به‌ترتیب به ایستگاه‌های ۲، (۳ و ۵)، ۱۰ و ۲ و بیشینه میانگین مقادیر این عناصر نیز با ۲۷/۱، ۰/۲۰۰، ۴۸/۶ و mg/kg ۴۸/۶ به‌ترتیب به ایستگاه‌های ۷، (۱ و ۴)، ۱۲ و ۴ تعلق داشت. از این‌رو، می‌توان اذعان داشت که بیشینه نرخ آلودگی رسوبات به عناصر مورد مطالعه مربوط به ایستگاه‌های واقع در ناحیه ساحلی بوده و با افزایش فاصله از ساحل، از نرخ آلودگی رسوب کاسته شده است که این موضوع را می‌توان با مجاورت این ایستگاه‌ها به نواحی تجمع جمعیت و به‌تبع آن تخلیه پساب شهری و صنعتی، فاضلاب بهداشتی و همچنین زهاب زمین‌های کشاورزی و یا باغات کشت مرکبات و کیوی از طریق جریان‌های رودخانه‌ای به دریا از مسیر این ایستگاه‌ها مرتبط دانست. Ganjali and Ghasemi (2016) نیز گزارش کردند بیشینه غلظت تجمع‌یافته عنصر کادمیم در رسوبات سطحی تالاب بین‌المللی انزلی به ایستگاه‌های مجاور مناطق توسعه‌یافته شهری و صنعتی تعلق داشت. (de Mora et al. (2004) نیز به‌دلایل مشابهی برای توجیه تجمع بیش‌تر فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب ایستگاه‌های واقع در نوار ساحلی خلیج عمان در مقایسه با رسوب ایستگاه‌های دور از ساحل اشاره کرده‌اند. هرچند، فرسایش شیمیایی سنگ‌ها به‌عنوان منشأ اصلی آرسنیک در خاک/رسوب شناخته شده است (Mamindy-Pajany et al. 2012)، ولی تجاوز میانگین

¹Herbicides/Arsenical Pesticides

²Ophiolite

زیست‌فناوری شامل تفکیک فیزیکی، جداسازی، بی‌تحرك‌سازی، کاهش سمیت و استخراج باید مد توجه قرار گیرند.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه از طریق با نمونه‌برداری از رسوبات سطحی ساحل فرح‌آباد دریای خزر نسبت به بررسی میزان آلودگی عناصر آرسنیک، کادمیم، نیکل و وانادیوم در نمونه‌ها و شناسایی منشأ آن‌ها اقدام و نتایج کلی به شرح ذیل حاصل شد:

۱- غلظت آرسنیک با میانگین $12/7 \text{ mg/kg}$ از $5/00$ تا $27/1 \text{ mg/kg}$ ، غلظت کادمیم با میانگین $0/191 \text{ mg/kg}$ از $0/180$ تا $0/200 \text{ mg/kg}$ ، غلظت نیکل با میانگین $35/0$ از $23/8$ تا $48/6 \text{ mg/kg}$ و غلظت وانادیوم با میانگین $31/9 \text{ mg/kg}$ از $17/4$ تا $72/0 \text{ mg/kg}$ در نمونه‌های رسوب متغیر بود.

۲- بیشینه غلظت عناصر در نمونه‌های رسوب به ایستگاه‌های مجاور ساحل فرح‌آباد تعلق داشت و با افزایش فاصله از ساحل دریا، از غلظت عناصر در نمونه‌ها کاسته شد.

۳- میانگین غلظت عنصر آرسنیک در ایستگاه‌های ۱، ۴، ۷، ۱۰ و ۱۱ بزرگ‌تر از بیشینه مجاز سازمان ملی اقیانوسی و جوی آمریکا (NOAA) بود.

۴- با استناد به نتایج خروجی مدل PCA، احتمالاً منشأ عناصر مورد مطالعه در رسوبات یکسان بوده است که با مقادیر شاخص غنی‌شدگی و ضریب تغییرات و همچنین نتایج ماتریس همبستگی پیرسون تا حدودی مطابقت داشت.

۵- نتایج روش HCA نشان‌دهنده استخراج سه خوشه مختلف و تا حدودی با نتایج آزمون همبستگی پیرسون، مقادیر ضریب تغییرات و همچنین شاخص غنی‌شدگی که بیان‌گر منشأ یکسان عناصر کادمیم، نیکل و وانادیوم بود، انطباق داشت.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از رساله دکتری تخصصی محیط‌زیست مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان با کد $171480.0626562281398162295728$ می‌باشد.

بدین‌وسیله نویسندگان از معاونت محترم پژوهش و فن‌آوری

و قایق‌ها و ریزش‌های جوی حاوی فرآورده‌های احتراق نفت مرتبط دانستند. به‌علاوه، در پژوهشی که با هدف منشأیابی برخی فلزات سنگین در رسوبات سطحی سواحل جنوب غربی دریای خزر انجام شد، منشأ عناصر نیکل و وانادیوم در منطقه طبیعی و ناشی از فرسایش خاک و سنگ‌های حوضه آبریز رودخانه‌های ورودی به دریا گزارش شد (Hashemi et al. 2015). در سایر پژوهش‌ها نیز منابع انسانی شامل تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی، تردد کشتی‌ها، قایق‌ها و نفت‌کش‌ها و نشت نفت خام به‌عنوان عامل غلظت زیاد نیکل در رسوبات گزارش شد (El-Tokhi et al. 2008).

Alizadeh Ketek (de Astudillo et al. 2005; Lahijani et al. 2018) نیز غلظت زیاد عنصر نیکل در رسوبات برداشت‌شده از سواحل جنوبی دریای خزر واقع در نواحی مرکزی گیلان را با توسعه فعالیت‌های صنعتی مرتبط دانستند.

کادمیم از آلاینده‌هایی است که ورود آن به بوم‌سازگان‌های آبی می‌تواند با تخلیه زهاب کشاورزی حاوی کودهای شیمیایی (کودهای فسفاته)، پساب‌های صنعتی و یا معدنی، ریزش‌های جوی حاوی آلاینده‌های صنعتی و همچنین تردد کشتی‌ها، قایق‌ها و نفت‌کش‌ها و نشت نفت خام مرتبط باشد (de Astudillo et al. 2005; El-Tokhi et al. 2008). نتایج نشان داد که میانگین غلظت کادمیم در نمونه‌های رسوب از حد مجاز کم‌تر بوده است که احتمالاً می‌تواند مربوط به حلالیت بالای این فلز در آب باشد (Warren et al. 1998). هرچند مقادیر شاخص EF بیان‌گر منشأ طبیعی عناصر کادمیم، نیکل و وانادیوم و منشأ انسان‌ساخت عنصر آرسنیک در نمونه‌های رسوب بود، ولی نباید این موضوع که میانگین مقادیر کادمیم در نمونه‌های رسوب تقریباً $2/50$ برابر مقدار زمینه و نشان‌دهنده تأثیر فعالیت‌های انسانی در تخلیه آن به محیط باشد، نادیده گرفته شود.

در خاتمه، با توجه به پایداری بالا، نیم‌عمر طولانی، غیرقابل تجزیه زیستی بودن، برخورداری از قابلیت تجمع و بزرگ‌نمایی زیستی و همچنین سمیت فلزات سنگین، برای حفظ سلامت محیط و زیست‌مندان ساکن در بوم‌سازگان‌ها نسبت به پایش مداوم محتوی این عناصر در محیط رسوب توصیه می‌شود. علاوه بر آن، برای تمایز بین سهم طبیعی در مقابل سهم انسان‌ساخت آلودگی رسوبات به عناصر کمیاب انجام اقدامات اصلاحی مؤثر ضروری است. از طرفی، به‌منظور پالایش رسوبات آلوده به عناصر کمیاب اعمال رویکردهای

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

دانشگاه برای فراهم کردن امکانات اجرای مطالعه، تشکر و قدردانی می‌کنند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده‌شده (یا تولیدشده) در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

References

- Alizadeh Ketek Lahijani, H., Naderi Beni, A. and Tavakoli, V. (2018). Heavy metals in coastal sediments of South Caspian Sea: natural or anthropogenic source?. *Caspian J. Environ. Sci.*, 16(1), 45–61. DOI: 10.22124/CJES.2018.2781.
- Al-Naimi, H. A., Al-Ghouti, M. A., Al-Shaikh, I., Al-Yafe, M. and Al-Meer, S. (2015). Metal distribution in marine sediment along the Doha Bay, Qatar. *Environ Monito Assess.*, 187(3), 130. DOI: 10.1007/s10661-015-4352-6.
- Amouei, A., Cherati, A. and Naghipour, D. (2018). Heavy metals contamination and risk assessment of surface soils of Babol in northern Iran. *Health Scope*, 7(1), e62423. DOI: 10.5812/jhealthscope.62423.
- Azimizade, B. and Khademi, H. (2013). Estimation of background concentration for evaluation of heavy metals contamination in surface soils in part of Mazandaran Province. *Water Soil*, 27(3), 548–559 [In Persian]. DOI: 20.1001.1.20084757.1392.27.3.9.2.
- Bagheri, H. and Azimi, A. (2015). The distribution of heavy metals in surface sediments of Sisangan Coasts-The southern coast of Caspian Sea. *J. Oceanograph.*, 6(21), 27–36 [In Persian]. DOI: 20.1001.1.15621057.1394.6.21.4.8.
- Bagheri, H. (2016). Sedimentology and mineralogical characteristics of the coastal sediments in the southern part of the Caspian Sea (Iran). *J. Mar. Sci. Technol. Res.*, 11(4), 43–60 [In Persian].
- Baniamam, M., Mashinchian Moradi, A., Riyahi Bakhtiari, A., Fatemi, M. R. and Ejlali Khanghah, K. (2019). Distribution and pollution level of nickel and vanadium in sediments from south part of the Caspian Sea, Iran. *Ind. J. Geo Mar. Sci.*, 48(05), 765–771.
- Bazzi, A. (2015). Determining of level of heavy metal pollution in surface sediments of the Gulf of Chabahar. *Iran. J. Health Environ.*, 8(1), 45–56 [In Persian].
- Beg, M. U., Al-Muzaini, S., Saeed, T., Jacob, P. G., Beg, K. R., Al-Bahloul, M. K., Al-Matrouk, K., Al-Obaid, T. and Kurian, A. (2001). Chemical contamination and toxicity of sediment from a coastal area receiving industrial effluents in Kuwait. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 41(3), 289–297. DOI: 10.1007/s002440010251.
- de Astudillo, L. R., Yen, I. C. and Bekele, I. (2005). Heavy metals in sediments, mussels and oysters from Trinidad and Venezuela. *Rev. Biol. Trop.*, 53, 623–634.
- de Mora, S., Fowler, S. W., Wyse, E. and Azemard, S. (2004). Distribution of heavy metals in marine bivalves, fish and coastal sediments in the Gulf and Gulf of Oman. *Mar. Pollut. Bull.*, 49(5–6), 410–424. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2004.02.029.
- Dehghani, M. and Dast Afkan, S. (2016). Assessment of heavy metals pollution indices in sediments of Tiyaab and Kolahi International Wetlands. *J. Aquat. Ecol.*, 6(1), 82–92 [In Persian].
- Eghbali, M., Piroozmanesh, S., Moghaddasi, B., Sohrabi M. and Ghavam Mostafavi P. (2015). The effect of heavy metals (Cu, Cd, Zn, Cr, Ni) on diversity and density of benthic foraminifera in the sediments of the southern coast of Caspian Sea (From Abbas-Abad to Ramsar). *J. Environ. Geol.*, 8(28), 45–52 [In Persian].
- Elsagh, A. (2012). Measuring the accumulation of calcium, magnesium and vanadium in *Rutilus frisii kutum* and Carp (*Cyprinus carpio*) muscle in the coastal waters of the Caspian Sea, Mazandaran Province. *J. Anim. Environ.*, 4(3), 83–90 [In Persian]. DOI: 20.1001.1.27171388.1391.4.3.9.4.
- El-Tokhi, M., Abdelgawad, E. and Lotfy, M. (2008). Impact of Heavy metals and



- Petroleum hydrocarbons contamination of the East Port Said Port area, Egypt. Appl. Sci. Res., 4, 1788–1798.
- Emmanuel, E., Sombo, T. and Ugwanyi, J. (2018). Assessment of heavy metals concentration in shore sediments from the Bank of River Benue, North-Central Nigeria. J. Geosci. Environ. Protect., 6(4), 35–48. DOI: 10.4236/gep.2018.64003.
- Ganjali, S. and Ghasemi, A. (2016). Heavy metal contamination in the sediments of Anzali International Wetland, northern Iran based on type regional development. Iran. J. Toxicol., 10(5), 1–6. DOI: 10.29252/arakmu.10.5.1.
- Ghorbanzadeh Zaferani, S. G., Machinchian Moradi, A., Mousavi Nadushan, R., Sari, A. R. and Fatemi, S. M. R. (2016). Distribution pattern of heavy metals in the surficial sediment of Gorgan Bay (South Caspian Sea, Iran). Iran. J. Fish. Sci., 15(3), 1144–1166. DOI: 20.1001.1.15622916.2016.15.3.18.6.
- Habibi, H., Sobhanardakani, S., Cheraghi, M., Lorestani, B. and Kiani Sadr, M. (2021). Potential ecological risk assessment of arsenic and some heavy metals in street dusts collected from industrial, commercial and residential areas of city of Hamedan in 2019. J. Environ. Health Eng., 8(2), 1–13 [In Persian]. DOI: 10.52547/jehe.8.2.117.
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach. Water Res., 14, 975–1001. DOI: 10.1016/0043-1354(80)90143-8.
- Hashemi, S. J., Riahi Bakhtiari, A. and Lak, R. (2015). Concentrations of different metals in the Caspian Sea coastal surface sediments along the three transects of Kapourchal, Bandar-Anzali, and Kiashahr. J. Water Wastewater, 25(6), 47–56 [In Persian].
- Kalani, N., Riazi, B., Karbassi, A. and Moattar, F. (2021). Measurement and ecological risk assessment of heavy metals accumulated in sediment and water collected from Gomishan International Wetland, Iran. Water Sci. Technol., 84(6), 1498–1508. DOI: 10.2166/wst.2021.317.
- Karbasi, A. R., Bayati, I. and Nabi Bidhendi, G. R. (2006). Investigation on the heavy metal pollution intensity in Shefa-Rud river bed sediments. J. Environ. Stud., 32(39), 41–48 [In Persian].
- Khademi, N., Riyahi-Bakhtiari, A., Sobhanardakani, S., Rezaie-Atagholipour, M. and Burger, J. (2015). Developing a bioindicator in the northwestern Persian Gulf, Iran: trace elements in bird eggs and in coastal sediments. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 68(2), 274–282. DOI: 10.1007/s00244-014-0084-9.
- Liang, X. M., Song, J. M., Duan, L. Q., Yuan, H. M., Li, X. G., Li, N., Qu, B. X., Wang, Q. D. and Xing, J. W. (2018). Source identification and risk assessment based on fractionation of heavy metals in surface sediments of Jiaozhou Bay, China. Mar. Pollut. Bull., 128, 548–556. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.02.008.
- Malvandi, H. and Hassanzadeh, N. (2019). Potential ecological risk assessment of heavy metal contamination in surface sediment of the Siahrood River, Mazandaran Province. J. Res. Environ. Health, 5(3), 217–229 [In Persian]. DOI: 10.22038/JREH.2019.38551.1281.
- Mamindy-Pajany, Y., Hurel, C., G  ret, F., Galgani, F., Battaglia-Brunet, F., Marmier, N. and Rom  o, M. (2012). Arsenic in marine sediments from French Mediterranean ports: Geochemical partitioning, bioavailability and ecotoxicology. Chemosphere, 90(11), 2730–2736. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2012.11.056.
- Mirza, R., Fakhri, A., Faghiri, I., Azimi, A. A. (2013). Investigation of nickel and vanadium ratio from oil pollution in sediments and rocky shore oysters (*Saccostrea cucullata*) in Bushehr Coasts (Persian Gulf). J. Oceanogr., 4(14), 35–43 [In Persian]. DOI: 20.1001.1.15621057.1392.4.14.5.1.
- Mohammad Zaheri, F., Sobhanardakani, S. and Lorestani, B. (2020). Investigation of efficiency of natural zeolite on immobilization/stabilization of Pb and Cd in contaminated soil using the BCR sequential extraction method. J. Environ. Health Eng.; 8(1), 31–49 [In Persian]. DOI: 10.52547/jehe.8.1.31.
- Mohammadi Galengash, M., Sanati, A. M. and Bozorgpanah Kharat, Z. (2018). Investigation of total petroleum hydrocarbons (TPH) and index metals (Ni&V) in Gammarus's tissue (*Pontogammarus maeoticus*) and coastal

- sediments of the Caspian Sea, Guilan Province. *J. Aquat. Ecol.*, 7(4), 9–19 [In Persian].
- Mohammadi-Roozbahani, M., Sobhanardakani, S. and Mashalpoor Fard, R. (2017). Analysis of Al, Zn and Pb content in sediments and correlation with metals accumulation in benthic communities (Case study: Macrobenthos communities of Khor Musa). *J. Wetland Ecobiol.*, 9(1), 17–28 [In Persian].
- Mokhtarzadeh, Z., Keshavarzi, B., Moore, F. and Padoan, E. (2020). Potentially toxic elements in the Middle East oldest oil refinery zone soils: source apportionment, speciation, bioaccessibility and human health risk assessment. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 27, 40573–40591. DOI: 10.1007/s11356-020-09895-7.
- Nematollahi, M. J., Moore, F., Keshavarzi, B. and Hamzeh, M. A. (2014). Surficial and vertical distribution of heavy metals in marine and intertidal sediments in the Iranian sector of Gowatr bay. *J. Mar. Sci. Technol.*, 13(2), 31–40 [In Persian]. DOI: 10.22113/JMST.2014.7815.
- Nasrabadi, T., Nabi Bidhendi, G., Karbassi, A. and Mehrdadi, N. (2010). Evaluating the efficiency of sediment metal pollution indices in interpreting the pollution of Haraz River sediments, southern Caspian Sea basin. *Environ. Monit. Assess.*, 171, 395–410. DOI: 10.1007/s10661-009-1286-x.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (1999). National Oceanic and Atmospheric Administration. Sediment quality guideline developed for the national status and trends program. The center for Coastal Monitoring and Assessment (CCMA) (NOAA Technical Memorandum NOSNCCOS CCMA), 017P.
- Pourang, N., Nikouyan, A. and Dennis, J. H. (2005). Trace element concentrations in fish, surficial sediments and water from northern part of the Persian Gulf. *Environ. Monit. Assess.*, 109, 293–316. DOI: 10.1007/s10661-005-6287-9.
- Rafiei, B., Movasagh, A., Karimkhani, A. and Sadeghi Far, M. (2014). Distribution of heavy metals in surficial sediments of the Anzali Lagoon outlet, North Iran. *Appl. Sedimentol.*, 2(4), 1–15 [In Persian].
- Rezaei Raja, O., Sobhanardakani, S. and Cheraghi, M. (2016). Health risk assessment of citrus contaminated with heavy metals in Hamedan City, potential risk of Al and Cu. *Environ. Health Eng. Manage. J.*, 3(3): 131–135. DOI: 10.15171/EHEM.2016.11.
- Sabet Aghlidi, P., Cheraghi, M., Lorestani, B., Sobhanardakani, S. and Merrikhpour, H. (2020). Analysis, spatial distribution and ecological risk assessment of arsenic and some heavy metals of agricultural soils, Case study: South of Iran. *J. Environ. Health Sci. Eng.*, 18(2): 665–676. DOI: 10.1007/s40201-020-00492-x.
- Shang, Z., Ren, J., Tao, L. and Wang, X. (2015). Assessment of heavy metals in surface sediments from Gansu section of Yellow River, China. *Environ. Monit. Assess.*, 187, 79. DOI: 10.1007/s10661-015-4328-6.
- Sharifi Kiasari, F., Talaeian, M. and Nasrollahzadeh Saravi, H. (2020). Study on the presence of microplastics in the surface sediments of the Caspian coast (A case study of Farahabad coast in Sari). *J. Environ. Sci. Stud.*, 5(2), 2644–2650 [In Persian].
- Sobhanardakani, S. (2016). Evaluation of the water quality pollution indices for groundwater resources of Ghahavand plain, Hamadan province, western Iran. *Iran. J. Toxicol.*, 10(3), 35–40. DOI: 10.29252/arakmu.10.3.35.
- Sobhanardakani, S. (2017). Potential health risk assessment of heavy metals via consumption of caviar of Persian sturgeon. *Mar. Pollut. Bull.*, 123(1-2), 34–38. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.09.033.
- Sobhanardakani, S. (2018). Health risk assessment of inorganic arsenic through groundwater drinking pathway in some agricultural districts of Hamedan, west of Iran. *Avicenna J. Environ. Health Eng.*, 5(2), 73–77. DOI: 10.15171/ajehe.2018.10.
- Sobhanardakani, S. (2019). Ecological and human health risk assessment of heavy metals content of atmospheric dry deposition, a case study: Kermanshah, Iran. *Biol. Trace Elem. Res.*, 187(2), 602–610. DOI: 10.1007/s12011-018-1383-1.
- Sobhanardakani, S. and Jamshidi, K. (2015). Assessment of metals (Co, Ni and Zn) content in the sediments of Mighan Wetland using



- geo-accumulation index. Iran. J. Toxicol., 9(30), 1386–1390.
- Sobhanardakani, S., Jamshidi, K. and Niazi, A. (2014). Investigation of Fe, Pb, Cd and Cu concentrations in sediments of Mighan Wetland using geo-accumulation index. J. Wetland Ecobiol., 2014; 6(20), 67–77 [In Persian].
- Sobhanardakani, S., Maànijou, M. and Asadi, H. (2015). Investigation of Pb, Cd, Cu and Mg concentrations in groundwater resources of Razan Plain. Sci. J. Hamadan Univ. Med. Sci., 21(4), 319–329 [In Persian].
- Sohrabi, T., Ismail, A. and Nabavi, M. B. (2010). Distribution and normalization of some metals in surface sediments from south Caspian Sea. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 85, 502–508. DOI: 10.1007/s00128-010-0112-z.
- Talebzadeh, F., Sobhanardakani, S. and Tayebi, L. (2017). Feasibility study of use of *Rana ridibunda* toe bone as a bioindicator for monitoring of heavy metals (Pb, Cd, Ni and V) pollution in Qarasoo River water. J. Anim. Environ., 8(4), 117–124 [In Persian]. doi: 20.1001.1.27171388.1395.8.4.16.1.
- Tytła, M. and Kostecki, M. (2019). Ecological risk assessment of metals and metalloid in bottom sediments of water reservoir located in the key anthropogenic “hot spot” area (Poland). Environ. Earth Sci., 78, 179. DOI: 10.1007/s12665-019-8146-y.
- Vaezi, A., Karbassi, A., Fakhraee, M., Valikhani Samani, A. and Heidari, M. (2014). Assessment of sources and concentration of metal contaminants in marine sediments of Musa Estuary, Persian Gulf. J. Environ. Stud., 40(70), 345–360 [In Persian].
- Walkley, A. (1947). A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. Soil Sci., 63, 251–264.
- Warren, L., Tessier, A. and Hare, L. (1998). Modeling cadmium accumulation by benthic invertebrates in situ: The relative contributions of sediment and overlying water reservoirs to organism cadmium concentrations. Limnol. Oceanogr., 43, 1442–1454.
- Xu, D. Q., Wang, Y. H., Zhang, R. J., Guo, J., Zhang W. and Yu K. F. (2016). Distribution, speciation, environmental risk, and source identification of heavy metals in surface sediments from the karst aquatic environment of the Lijiang River, Southwest China. Environ. Sci. Pollut. Res., 23(9), 9122–9133. DOI: 10.1007/s11356-016-6147-x.
- Zhang, J. and Liu, C. L. (2000). Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in Chinaweathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes. Estuar. Coast. Shelf Sci., 54, 1051–1070. DOI: 10.1006/ecss.2001.0879.
- Zhuang, Q. F., Li, G. and Liu, Z. Y. (2018). Distribution, source and pollution level of heavy metals in river sediments from South China. Catena, 170, 386–396. DOI: 10.1016/j.catena.2018.06.037.

How to cite this paper:

Khalijian, A., Lorestani, B., Sobhanardakani, S., Cheraghi, M. and Tayebi, M. (2022). Source identification and evaluation of contamination of some elements in surface sediments collected from farahabad coast, south part of Caspian Sea. Environ. Water Eng., 8(4), 825–841. DOI: 10.22034/jewe.2021.314718.1671

