



Evaluation of sediment pollution by heavy elements using geochemical data and pollution indicators (case study: Eraghi basin in Esfaryen city)

Mohammad Motamedi Rad^{1✉} | Gholamabbas Fallah Ghalhari² Hasan Rezaei³

1. Corresponding author. Department of Geography Education, Farhangian University, Tehran, Iran. E-mail: m.motamedirad@cfu.ac.ir

2. Professor of Climatology, Department of Geography and Tourism, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran. E-mail: fallah.g@kashanu.ac.ir

3. Climatology at Imam Ali Officer University, Tehran, Iran. E-mail: rezaei_h@iamu.ac.ir

Article Info

ABSTRACT

Article type: Research Article

Article history:

Received: July. 9, 2024

Revised: Aug. 2, 2024

Accepted: Aug. 10, 2024

Published online: Nov. 2024

Keywords:

Anthropogenic,
Geoaccumulation Index,
Modified Ecological Risk Index,
Enrichment,
Lithogeni.

Due to various activities, heavy metals can be released in the environment and endanger the health of people in the society. Considering the importance of the subject, the present research has investigated the contamination of Araghi catchment basin sediments with heavy elements. For this purpose, 24 sediment samples were collected and the concentration of 11 heavy elements, including arsenic(As), cadmium(Cd), cobalt(Co), chromium(Cr), copper (Cu), iron (Fe), Molibden(Mo), nickel (Ni), lead(Pb), vanadium (V) and aluminium(Al), were studied and pollution indicators were used to measure pollution. Based on the calculation of the enrichment index and according to the classification of Chen (2007), Mo (with an average of 0.91), Cu (with an average of 0.92) and Fe (with an average of 0.96) are among the elements without enrichment (less than 1) and the elements of Pb, Cr, As, Ni, Co and V are in the slightly enriched range in the region. Based on this index and the Anthropogenic Percent, the origin of all the studied elements is in the lithogenic area, which is caused by the weathering and erosion of the rock units of the area. The results of examining the Contamination factor, Modify Contamination Degree, Pollution Load Index and Geoaccumulation Index showed that the sediment samples in the study basin did not show any specific pollution and were classified as non-polluted. The average Ecological Risk index and Modified ecological risk index were obtained as 50.38 and 114.07, respectively, which according to Hakanson's classification, the state of Ecological Risk index and Modified ecological risk index of sediments in the studied area are low for heavy elements.

Cite this article: Motamedirad, M., Fallah Ghalhari, Gh. A., & Rezaei, H. (2024). Evaluation of sediment pollution by heavy elements using geochemical data and pollution indicators (case study: Eraghi basin in Esfaryen city), *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55 (9), 1537-1564. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.379138.669752>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.379138.669752>



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

One of the major environmental problems in human societies that endangers the health of people is pollution with heavy metals. Heavy metals are of great ecological importance due to their high stability in the environment and accumulation in natural reservoirs and finally entering the food cycle. Although the risk of soil pollution is not less than other pollutions, but since this pollution is not tangible, less attention has been paid to it. On the other hand, due to the importance of sediment pollution and its transfer to plants, animals and humans and its impact on health, as well as the lack of study of sediment pollution in the Eraghi basin, this watershed was chosen to investigate and evaluate the concentration and pollution of heavy elements.

Methodology

In order to investigate the concentration of heavy elements in the sediments of the Eraghi Esfrain basin, 24 sediment samples were taken from a depth of 10 cm. Then, the concentration of 11 heavy elements from 24 test samples including As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb, V and Al was investigated. Also, interpolation using the IDW method has been used to determine the area of possible contamination. Then, the concentration of 11 heavy elements from 24 test samples including As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb, V and Al was investigated. Factors such as Enrichment Factor, Anthropogenic Percent, contamination factor, modified contamination degree, pollution load index, ecological risk index and Modified ecological risk index were used to measure pollution.

Results and Discussion

The results of calculating the enrichment factor indicate that Molybdenum, copper and iron elements are among the elements without enrichment and lead, cadmium, chromium, arsenic, nickel, cobalt and vanadium elements are slightly enriched in the region. The study is lithogenic. According to the Anthropogenic Percent, 43.21% of cadmium concentration, 29.14% of arsenic and 26.86% of chromium in the sediments of the region were anthropogenic. The results of the contamination factor (CF) study showed that although all the investigated elements are in the category of low sediment pollution, but the highest values of the pollution coefficient are related to the elements of cadmium, chromium and arsenic with the values of 0.58, 0.67 and 0.67 respectively. It is 0.66. The results of calculating the modified contamination degree (MCD) and Pollution Load index (PLI) showed that the sediment samples in the studied basin do not show any specific pollution. The results of the soil contamination factor indicate that all the studied elements in the study area are in the pollution-free class. The results of the risk potential evaluation showed that the ecological risk potential coefficient was less than 40, which indicates that the risk potential is low. Considering that the average coefficient of the ecological risk index is equal to 50.38, which according to Hakanson's classification, the ecological risk status of sediments in the studied area is low in heavy elements. The modified ecological risk index was also calculated and its value was equal to 114.07. The results of this index as well as Hakanson's classification indicate that the study area is in the low category in terms of modified ecological risk status.

Conclusion

According to Rey et al.'s (2009) theory, the origin of all the studied elements is in the lithogenic area, which is caused by the weathering and erosion of the rock units of the area, and the influence of human factors is less in the studied basin. Sediment pollution zoning maps were prepared based on ecological risk index (RI) and Modified ecological risk index (MRI) indices, based on which and considering that based on these two indices, the study area is in the low pollution category. is located, it should be mentioned that the concentration of heavy metals is low, but the concentration of elements is higher in the east of the basin, which is located in the Mozdooran Formation. Therefore, according to all the indicators studied in this research, it should be said that the studied area has low pollution, despite the fact that the heavy elements in the study area are of earth-born origin, the reason for the transfer of these elements and also the possibility of increasing These elements should be more controlled by human activities in the field of using chemical fertilizers and insecticides to prevent harmful environmental effects.

Author Contributions

Conceptualization, M.M.R and Gh.A.F.Gh and H.R.; methodology, M.M.R and H.R.; software, M.M.R and Gh.A.F.Gh and H.R. ; validation, M.M.R and Gh.A.F.Gh.; formal analysis, M.M.R.; investigation, M.M.R and H.R.; resources, M.M.R and Gh.A.F.Gh.; data curation, M.M.R.; writing—original draft preparation, M.M.R and Gh.A.F.Gh.; writing—review and editing, M.M.R.; visualization, M.M.R.; supervision, M.M.R.; project administration, M.M.R and Gh.A.F.Gh.; funding acquisition,. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

ارزیابی آلودگی رسوبات به عناصر سنگین با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی و شاخص‌های آلودگی (مطالعه موردی: حوضه عراقی در شهرستان اسفراین)

محمد معتمدی‌راد^۱ | غلامعباس فلاح قاله‌ری^۲ | حسن رضائی^۳

۱. نویسنده مسئول، گروه آموزش جغرافیا، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران. رایانامه: m.motamedirad@cfu.ac.ir

۲. گروه جغرافیا و گردشگری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران. رایانامه: fallah.g@kashanu.ac.ir

۳. دانشگاه افسری امام علی (ع)، تهران، ایران. رایانامه: rezaei_h@iamu.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۴/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۵/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۲۰

تاریخ انتشار: آذر ۱۴۰۳

واژه‌های کلیدی:

انسان‌زاد،

زمین انباشتی،

شاخص ریسک اکولوژیک

اصلاح‌شده،

غنی‌شدگی،

لیتوژنیک.

فلزات سنگین بر اثر فعالیتهای مختلفی می‌توانند در محیط انتشار یافته و سلامتی افراد جامعه را به خطر اندازد. با توجه به اهمیت موضوع، پژوهش حاضر به بررسی آلودگی رسوبات حوضه آبریز عراقی به عناصر سنگین پرداخته است. بدین منظور ۲۴ نمونه رسوب برداشت و غلظت ۱۱ عنصر سنگین شامل Mo, Fe, Cu, Cr, Co, Cd, As, Ni, Pb, V و Al مورد بررسی و برای سنجش آلودگی از شاخص‌های آلودگی استفاده گردید. بر اساس محاسبه شاخص غنی‌شدگی و بر اساس تقسیم‌بندی چن (۲۰۰۷) عناصر مولیبدن (با میانگین ۰/۹۱)، مس (با میانگین ۰/۹۲) و آهن (با میانگین ۰/۹۶) در زمره عناصر بدون غنی‌شدگی (کمتر از ۱) و عناصر سرب، کادمیوم، کروم، آرسنیک، نیکل، کبالت و وانادیوم در محدوده غنی‌شدگی اندکی در منطقه قرار دارند. بر اساس این شاخص و شاخص درصد عوامل انسان‌زاد یا ضریب آنتروپوژنیک منشاء همه عناصر مورد مطالعه در منطقه لیتوژنیک بوده که بر اثر هوازدگی و فرسایش واحدهای سنگی منطقه به وجود آمده است. نتایج حاصل از بررسی ضریب آلودگی، شاخص درجه آلودگی اصلاح‌شده، ضریب بار آلودگی و زمین انباشتی نشان داد نمونه‌های رسوب در حوضه مورد مطالعه آلودگی خاصی را نشان نداده و در طبقه بدون آلودگی قرار گرفتند. میانگین ضریب شاخص ریسک اکولوژیک و ریسک اکولوژیک اصلاح‌شده به ترتیب برابر ۵۰/۳۸ و ۱۱۴/۰۷ بدست آمده که بر اساس طبقه‌بندی هاگانسون وضعیت ریسک اکولوژیک و ریسک اکولوژیک اصلاح‌شده رسوبات منطقه مورد مطالعه به عناصر سنگین، کم می‌باشد.

استناد: معتمدی‌راد، محمد؛ فلاح قاله‌ری، غلامعباس؛ و رضائی، حسن (۱۴۰۳). ارزیابی آلودگی رسوبات به عناصر سنگین با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی و شاخص‌های آلودگی (مطالعه موردی: حوضه عراقی در شهرستان اسفراین). *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۵ (۹)، ۱۵۶۴-۱۵۳۷.



<https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.379138.669752>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.379138.669752>

مقدمه

امروزه آلودگی محیط‌زیست از مسائل مهمی است که جوامع مختلف با آن روبرو هستند گسترش روزافزون صنایع فزایش بی‌رویه جمعیت توسعه شهرها دخالت بشر در طبیعت آلودگی منابع آب خاک و هوا را به دنبال داشته است. از طرفی خاک یکی از مهم‌ترین اجزای لیتوسفر بوده و به عنوان بخشی از اکوسیستم نقش بسیار مهمی در چرخه حیات ایفا می‌کند. آلودگی خاک یکی از مهم‌ترین مسائل محیط‌زیستی هست که این موضوع باعث افزایش نگرانی‌هایی در مورد محیط‌زیست شده است. هنگامی که خاک آلوده شود، این آلودگی می‌تواند به سایر اجزای محیط‌زیست منتقل شده و به طور مستقیم و یا غیرمستقیم سلامت انسان را به خطر بیندازد (Zhang et al, 2007).

آلودگی خاک یکی از مهم‌ترین مشکلات محیط زیستی در همه جوامع بشری است که حیات موجودات زنده به ویژه انسان را با خطر جدی مواجه ساخته است. آلودگی خاک یکی از عوارض مهم به هم خوردن تعادل و توازن طبیعت است (Mico et, 2006; Yalcin et al, 2007). یکی از مشکلات محیط زیستی عمده در جوامع بشری است که سلامتی افراد جامعه را به خطر می‌اندازد، آلودگی با فلزات سنگین می‌باشد. قابل ذکر است در این ارتباط آلودگی فلزات سنگین خاک‌ها بسیار گسترده بوده و خطر انتقال این فلزات سمی و قابل دسترس به انسان حیوانات و محصولات کشاورزی وجود دارد. فلزات سنگین به دلیل پایداری بالا در محیط و تجمع در مجموعه مخازن طبیعی و در نهایت ورود به چرخه غذایی از اهمیت بوم‌شناختی زیادی برخوردار هستند. به‌طور طبیعی حضور برخی از فلزات به‌منظور انجام فعالیت‌های زیستی موجودات زنده ضروری هستند، اما انتشار آلاینده‌ها از منابع مختلف منجر به افزایش غلظت این عناصر در سطوح خطرناک در محیط‌زیست برای موجودات زنده شده است (Rajeshkumar and Li, 2018). این آلاینده‌ها به دلیل ویژگی‌هایی چون عدم تجزیه زیستی، قابلیت انباشت زیستی و نیز پتانسیل بزرگ‌نمایی زیستی در سطوح بالای زنجیره‌های غذایی، می‌تواند موجودات زنده را به‌شدت تهدید نماید (مرتضوی و حاتمی منش، ۱۳۹۶). فلزات سنگین اثر سمی بودن در بدن انسان داشته و عوارض متعددی هم‌چون بیماری‌های خونی عصبی و استخوانی ایجاد می‌کنند (Sarkar, 2002). در واقع فلزات سنگین پس از ورود به بدن، دفع نمی‌شوند و در بافت‌هایی نظیر چربی، عضلات، استخوان‌ها و مفاصل رسوب نموده و انباشته می‌گردند. همین امر می‌تواند موجب بروز بیماری‌ها و عوارض متعددی نظیر اختلالات عصبی، انواع سرطان، سقط جنین، اختلالات تنفسی، آسیب به کبد، کلیه و مغز، التهاب مفصل، ریزش مو و پوکی استخوان در بدن انسان شود. (راست منش و همکاران، ۱۳۹۸؛ Adibi et al, 2014; Absalon and Slesak, 2010).

افزایش غلظت فلزات سنگین می‌تواند با توجه به فرآیندهای طبیعی یا فعالیت‌های انسانی رخ دهد (Febles González, 2014). به عبارتی فلزات سنگین می‌توانند از منابع انسان‌زاد و یا زمین‌زاد وارد محیط‌زیست شوند. منابع طبیعی فلزات سنگین را می‌توان سنگ‌های آتشفشانی، رسوبی، دگرگونی و هوازدگی تشکیلات خاک در نظر گرفت و منابع غیرطبیعی این فلزات را می‌توان متأثر از فعالیت‌های انسان همچون معدن‌کاری، کشاورزی و فعالیت‌های صنعتی دانست (Bradl, 2005).

فلزات سنگین به دلیل غیرقابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی که بر موجودات زنده دارند در غلظت‌های کم نیز حائز اهمیت شناخته شده‌اند (برزین و همکاران، ۱۳۹۴). می‌توان گفت نگرانی عمده در مورد فلزات سنگین به علت منابع گسترده انتشار آن‌ها، سمیت و پایداری آن‌ها است. بعضی از فلزات سنگین مثل آرسنیک، کادمیوم، سرب و کروم بسیار سمی بوده و باعث آسیب جدی به سلامت گیاهان، جانوران و انسان می‌شوند (دهرآزما و همکاران، ۱۳۹۳؛ کبیری فرد و همکاران، ۱۳۹۱؛ Nasralla, 1984; Li et al, 2007; Gu et al, 2005; Sommers, 1997; Sharma et al, 2007). لذا این واقعیت فلزات سنگین را تبدیل به یکی از خطرناک‌ترین آلاینده‌های زیست‌محیطی کرده است (Kabata-Pendias and Pendias, 2001). این فلزات از جمله آلاینده‌هایی هستند که از تجمع زیستی بالایی برخوردار بوده و قادرند به تدریج از طریق زنجیره غذایی در بافت بدن جانوران و گیاهان تجمع یابند و اثرات مہلکی را بر انسان و جاندارانی که از گیاهان آلوده در منطقه استفاده می‌کنند. لذا می‌توان گفت فلزات سنگین به دلیل پایداری بالا در محیط و تجمع در مجموعه مخازن طبیعی و در نهایت ورود به چرخه غذایی از اهمیت بوم‌شناختی زیادی برخوردار هستند (Loska and Wiechula, 2003). آلودگی به فلزات سنگین نه تنها به صورت مستقیم بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی و کاهش دستیابی زیستی مواد غذایی در خاک تاثیر می‌گذارد بلکه به دلیل ورود به زنجیره غذایی و نیز امنیت محیط زیستی از طریق نفوذ در آبهای زیرزمینی، خطری جدی برای سلامتی انسان محسوب می‌شود (Facchinelli et al, 2001). فلزات سنگین بر اثر فعالیت‌های مختلفی می‌توانند در محیط انتشار یابند. این عناصر با غلظت‌های پایین باعث آلودگی خاک می‌شوند (رزازی بروجنی، ۱۳۸۸).

تولید رسوب یکی از پیامدهای مهم فرسایش خاک است. معمولاً رسوبات به‌عنوان بزرگ‌ترین انبار برای ذخیره آلاینده‌ها در محیط‌های آبی و نیز جایگاه خاص برای ناپاکی‌هایی که می‌توانند برای دوره‌های طولانی مدت باقی بمانند به شمار می‌روند (Gognou and Fisher,

(1997). گرچه این عناصر سنگین به طور طبیعی در خاک وجود دارد اما در اثر فعالیت‌های انسانی هم به خاک افزوده می‌شوند. در حقیقت، فعالیت‌های انسانی ممکن است منجر به تجمع بیشتر فلزات سنگین در خاک شود (Yalcin et al, 2007). نقش فعالیت‌های انسانی در تولید فلزات سنگین را می‌توان در فعالیت‌های صنعتی، پساب‌های کشاورزی، فعالیت‌های معدنی، فاضلاب شهری و روستایی، پسماندهای جامد صنعتی و خانگی جستجو کرد (قدیمی، ۱۳۹۹).

در انسان مقادیر بالای کادمیوم ارتباط نزدیکی با سرطان ریه دارد، همچنین در افرادی که کلیه‌های پیوندی دارند می‌تواند منجر به مسدود شدن کلیه‌های مریض گردد. کادمیوم ممکن است در انسان و حیوانات باعث بوجود آمدن استخوان‌های معیوب (آستئمالاسیا و آستئوپروسیا) شود. مقادیر کم کروم می‌تواند باعث سوزش پوست و یا ایجاد زخم شود ولی مقادیر بالای آن می‌تواند باعث آسیب زدن به کبد و کلیه بشود و یا به بافت‌های عصبی انسان آسیب برساند. مس یک ماده ضروری برای حیات انسان است اما در مقادیر بالا می‌تواند باعث کم‌خونی، آسیب به کبد و کلیه و ناراحتی‌های معده و روده بشود. آرسنیک در صنایع نساجی، رنگرزی، دباغی، پودر رخت‌شویی و پاک‌کننده‌ها بکار رفته و چون سمیتی فوق‌العاده دارد، به مقدار کم نیز در قارچ‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها و علف‌کش‌ها مصرف می‌گردد. آرسنیک قادر است در دراز مدت باعث بروز انواع ضایعات پوستی، فشار خون بالا، سرطان پوست و نهایتاً سرطان‌های داخلی گردد. سرب نیز از طریق آب، هوا، خاک، گرد و غبار و ... وارد بدن می‌شود. جنین و اطفال نسبت به انسان بالغ، حساسیت بیشتری به آلودگی سرب در بدن دارند. سطوح بالای این عنصر ممکن است باعث ایجاد تأثیرات سمی بیولوژیکی در انسان شود که در متابولیسم بدن باعث ایجاد مشکلاتی در سنتزهای هموگلوبین، اثر بر کلیه‌ها، معده و روده، مفصل‌ها و سیستم تناسلی و آسیب رسیدن به اعصاب و حتی آسیب شدید و مخرب بر سیستم عصبی شود. در مورد نیکل هم باید گفت با توجه به این که مقادیر کم نیکل برای تولید سلول‌های گلبول‌های قرمز نیاز است ولی در مقادیر متوسط، نیکل به طور خفیف می‌تواند باعث مسمومیت بشود، ولی مقادیر زیاد آن در بدن می‌تواند باعث کاهش وزن بدن، آسیب به قلب و کبد و سوزش پوست گردد. بنابراین آلودگی خاک خطراتی را برای انسان، گیاهان، جانوران و اکوسیستم‌های آبی به دنبال دارد.

امروزه آلودگی‌های ناشی از فلزات سنگین و آثار سوء محیط‌زیست حاصل از آن به یکی از مشکلات عمده جوامع بشری بدل شده است. گرچه مسائلی همچون حفاظت محیط‌زیست و جلوگیری از گسترش آلاینده‌های محیط زیستی بسیار حائز اهمیت است اما در این میان آنچه برای مناطق آلوده اولویت دارد، پی‌جویی روش‌ها و راه‌کارهایی است که بتوان طبق آنها هر چه سریع‌تر و در عین حال با کمترین عوارض و هزینه‌های ممکن، در جهت شناسایی و رفع آلودگی اقدام کرد.

قابل ذکر است که میزان مجاز غلظت عناصر مختلف متفاوت است به طوری که آرسنیک در خاک 20 mg/kg و میزان مجاز برای سلامتی انسان 30 mg/kg در وزن خشک می‌باشد (Meade and Emch, 2005). از طرفی محدوده عناصر مختلف در ماسه‌سنگ‌ها و رسوبات کربناته متفاوت است. به طوری که میزان آلومینیوم در ماسه‌سنگ‌ها $4/3 - 2/5$ درصد و در رسوبات کربناته $1/3 - 0/43$ درصد و در آهن $1 - 3$ و $1 - 4$ درصد است. در آرسنیک این میزان به ترتیب $1 - 2/4$ و $1 - 2/4$ ppm، در کبالت $10 - 1$ و $3 - 0/1$ ppm، در کروم $20 - 40$ و $5 - 16$ ppm، در مس $30 - 5$ و $10 - 2$ ppm، در مولیبدن $0/8 - 0/2$ و $0/4 - 0/16$ ppm، در نیکل $20 - 5$ و $20 - 7$ ppm، در سرب $10 - 5$ و $10 - 3$ ppm و در وانادیوم $60 - 10$ و $45 - 10$ ppm است (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

آلودگی خاک به عناصر سنگین به عنوان یکی از مشکلات زیست‌محیطی فراروی بشر و همچنین با توجه به اهمیت موضوع و تأثیر بر سلامتی، تعیین میزان غلظت این فلزات در محیط‌های خاکی، در چند دهه گذشته مورد توجه بسیاری از محققین و پژوهشگران قرار گرفته است که به برخی پژوهش اشاره می‌گردد:

(Chaoyang et al, 2009) در شویکو شان چین، (Skrbic et al, 2010) در شمال صربستان منطقه نووی و بخشی از بوسنی و هرزگوین، (Nethaji et al, 2016) در رسوبات سطحی رودخانه‌های ولر و کلورون ساحل جنوب شرقی هند، (Al-Rousan et al, 2016) در رسوبات دریایی عقبه (دریای سرخ)، (Rivera et al, 2019) در تالاب RAMSAR شیلی، (Kamzati et al, 2019) در تالابی در آفریقای جنوبی و (Wang et al, 2024) در رسوبات سطحی نزدیک ساحل در شمال شبه‌جزیره شاندونگ و جزایر غربی میائو، چین، در مورد آلودگی خاک با استفاده از شاخص‌های آلودگی نظیر فاکتور غنی‌شدگی^۱ (EF)، ضریب آلودگی^۲ (CF)، درجه آلودگی اصلاح‌شده^۳ (mCd)، ضریب بار

1 - Enrichment factor

2 - Contamination factor

3 - Modify Contamination Degree

آلودگی (PLI) و شاخص زمین انباشتگی^۲ (Igeo) مطالعاتی را انجام دادند.

در ایران نیز مطالعات محدودی در این زمینه صورت گرفته است که به مواردی اشاره می‌گردد: زین‌الدینی و همکاران (۱۳۹۵) در کرمانشاه، موسوی و همکاران (۱۳۹۷) در منطقه زرشوران-آغدره (شمال تکاب)، میرباقری و همکاران (۱۳۹۸) در دشت شهرکرد، نوروزی فرد و همکاران (۱۳۹۸) در رسوبات ساحلی شمال خلیج فارس در استان هرمزگان، قدیمی (۱۳۹۹) در رسوبات تالاب میقان، مهری یاری و همکاران (۱۳۹۹) در رسوبات بستر دریاچه و خاک‌های سطحی بخش شرقی شهرستان ارومیه، مکرم و نگهبان (۱۳۹۹) در حاشیه جاده فسا- داراب و نادری خوراسگانی و همکاران (۱۴۰۲) دشت سیرجان- استان کرمان به مطالعه آلودگی عناصر سنگین با استفاده از شاخص‌های آلودگی در خاک پرداختند. اگر چه میزان خطر آلودگی خاک کمتر از دیگر آلودگی‌ها نیست، اما از آنجایی که این آلودگی ملموس نیست کمتر به آن توجه شده است. از طرفی به دلیل اهمیت آلودگی رسوبات و انتقال آن به گیاهان، حیوانات و انسان‌ها و تاثیر آن در سلامتی و همچنین قرار گرفتن حوضه به عنوان منطقه هدف گردشگری و در نتیجه تاثیر بر سلامت ساکنین و گردشگران و عدم مطالعه آلودگی رسوبات در حوضه عراقی، این حوضه آبخیز جهت بررسی و ارزیابی میزان غلظت و آلودگی عناصر سنگین انتخاب گردید. آن چه در این پژوهش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است این است که علاوه بر عدم انجام پژوهش در حوضه مطالعاتی و استفاده از شاخص‌های آلودگی نظیر فاکتور غنی‌شدگی، درصد عوامل انسان‌زاد یا آنتروپوژنیک، ضریب آلودگی، درجه آلودگی اصلاح‌شده، ضریب بار آلودگی و شاخص زمین انباشتگی از شاخص ریسک اکولوژیک (بوم‌شناختی) و شاخص ریسک اکولوژیک اصلاح‌شده نیز جهت برآورد مقدار ریسک اکولوژیک هر یک از عناصر و بررسی مقدار آلودگی فلزات سنگین در یک نقطه خاص که نتیجه‌گیری بهتری را در پی خواهد داشت، استفاده شد.

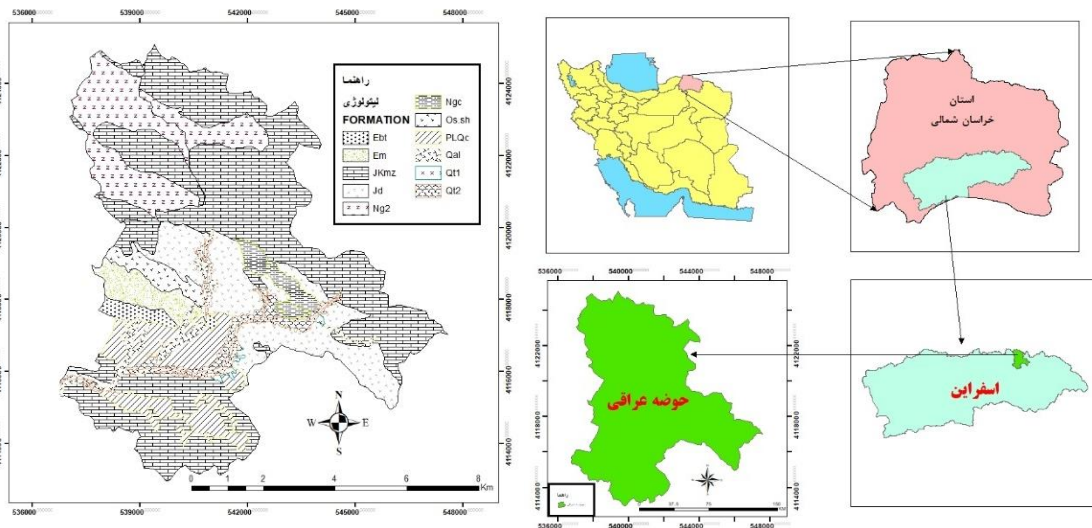
روش تحقیق

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

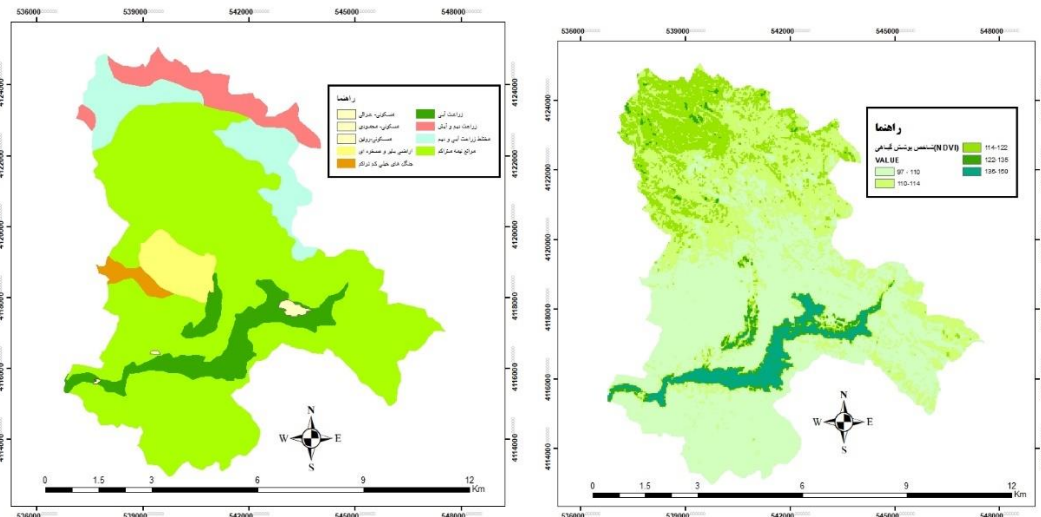
حوزه آبخیز عراقی در شمال شهرستان اسفراین و در فاصله حدود ۲۰ کیلومتری شهر اسفراین قرار دارد. این منطقه از غرب به روستای کلات اسفراین، از جنوب به روستاهای امین‌آباد و سست و از شمال غرب به روستای پاکتل از توابع شهرستان بجنورد منتهی می‌گردد. از نظر مختصات جغرافیایی، در سیستم مختصات Lat/Lon در محدوده طول‌های ۵۱° ۲۴' ۵۷" الی ۱۲° ۳۲' ۵۷" شرقی و عرض‌های ۳۷° ۰۹' الی ۳۷° ۱۶' ۱۶" شمالی و در سیستم مختصات UTM در محدوده طول‌های ۵۳۶۷۶۸ الی ۵۴۷۷۵۸۲ و عرض‌های ۴۱۱۲۹۶۶ الی ۴۱۲۵۰۹۱ واقع شده است. به منظور دستیابی به منطقه مطالعاتی، پس از طی مسافت ۲۰ کیلومتر در محور ارتباطی اسفراین- بجنورد در سمت راست جاده راه ارتباطی روستای عراقی واقع شده است. حوضه مطالعاتی دارای ۱۲۰۶ خانوار و ۴۴۱۶ نفر جمعیت است. در حال حاضر نیز میانگین ریزش‌های جوی منطقه حدود ۳۰۰ میلی‌متر است. اقلیم حوضه بر اساس روش آمبرژه نیمه‌خشک سرد و با توجه به روش دومارتن نیمه‌خشک است. کلیه جریان‌های سطحی و زیرزمینی حوضه از طریق کال ابریشم به کویر خارتوران و کویر اصلی می‌ریزد. حوضه مذکور در زون البرز شرقی (زون بینالود- آلاداغ) قرار دارد که در آن تنوع سنگ‌شناسی قابل‌توجهی مشهود است. در حوضه عراقی تعداد ۱۱ واحد چینه سنگی و رسوبات کواترنری رخنمون یافته‌اند که به دوران اول (کامبرین و اردویسین) و دوم (ژوراسیک و کرتاسه) و سوم (پلیوسن تا عهد حاضر) تعلق دارند که شامل: سازند باروت (۰/۷۲ درصد)، میلا (۱/۶۲ درصد)، دلپچای (۱۴/۲۶ درصد)، مزدوران (۵۴/۴۲ درصد)، شیرگشت (۰/۹۸ درصد)، کنگلومرا (۹/۲۴ درصد)، کنگلومرای نئوژن بالائی (۲/۳۷ درصد)، کنگلومرا و مارن نئوژن (۸/۹۹ درصد)، رسوبات آبرفتی تراس قدیم (۰/۳۹ درصد)، رسوبات آبرفتی تراس جدید (۸/۶۷ درصد) و واریزه (۰/۳۴ درصد) می‌باشند. مراتع نیمه متراکم (۶۹/۲۷ درصد)، زراعت آبی (۸/۳۶ درصد) مختلط زراعت آبی و دیم (۱۰/۳۸ درصد)، زراعت دیم و آیش (۶/۰۴ درصد)، اراضی بایر و صخره‌ای (۴/۲۰ درصد)، جنگل‌های خیلی کم تراکم (۱/۳۳ درصد) و مناطق مسکونی (۰/۴۲ درصد) از کاربری اراضی حوضه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند. شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) حوضه نیز با استفاده از تصاویر لندست ۹ مجموعه ۲ و سطح تهیه شد که مقادیر ۱۰۰-۹۷ نیز بیشترین پهنه نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) که کمترین میزان تراکم پوشش گیاهی است، را نشان می‌دهد. شکل شماره (۱) موقعیت، شکل (۲) زمین‌شناسی، شکل (۳) کاربری اراضی و شکل (۴) شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) حوضه آبخیز عراقی در استان خراسان شمالی را نشان می‌دهد.

1 - Pollution Load Index

2- Geoaccumulation Index



شکل ۱: موقعیت حوضه مورد مطالعه (منبع: نگارندگان) شکل ۲: نقشه زمین شناسی حوضه مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)



شکل ۳: کاربری اراضی حوضه مورد مطالعه (منبع: نگارندگان) شکل ۲: نقشه شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) حوضه مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

روش انجام پژوهش

ابتدا حوضه آبریز عراقی با استفاده از نرم‌افزار Google Earth در دامنه جنوبی کوه‌های آلاداغ-بینالود شناسایی شد. سپس محدوده حوضه مطالعاتی بر اساس نقشه‌های توپوگرافی (۱:۵۰۰۰۰ حوضه آبخیز مورد مطالعه یعنی I و II 7664) و نقشه‌های توپوگرافی (۱:۲۵۰۰۰ به نام های در صوفیان (7464 I SE)، محمودی (7464 II NE) و سست (7564 III NW)) تعیین گردید و خطوط منحنی میزان با استفاده از نرم‌افزار GIS رقومی گردید و اطلاعات توپوگرافی مانند سطوح ارتفاعی و شیب توپوگرافی استخراج گردید. هم‌چنین جهت استخراج اطلاعات زمین‌شناسی منطقه از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه استفاده گردید.

در پژوهش حاضر، نمونه‌برداری‌ها در مرحله مطالعات میدانی انجام شد. بدین منظور جهت بررسی میزان غلظت عناصر سنگین در رسوبات حوضه عراقی اسفراین ۲۴ نمونه رسوب رودخانه‌ای از عمق ۱۰ سانتی‌متری برداشت شد. از آنجا که رسوبات آبراهه‌ای حاصل شستشو و حمل مواد بالادست خود می‌باشند، نماینده‌ای از محیط‌های واقع در مسیر حرکت آب می‌باشند. نکته دیگر در این زمینه هاله‌های وسیع رسوبات آبراهه‌ای است که به خاطر شرایط اکسیدان تحرک عناصر کانی‌ساز افزایش یافته و هاله‌های وسیعی به‌جا می‌گذارد. قابل ذکر است بعد از نمونه‌برداری کامل از رسوبات منطقه و درج نام و شماره و ثبت موقعیت هر ایستگاه، نمونه‌ها به مدت ۳ روز در دمای اتاق در معرض هوا قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. سپس تمامی نمونه‌ها از الک با قطر 2mm عبور داده شدند تا ذرات درشت‌تر از ماسه از آنها جدا شده و جهت انجام آنالیز فلزات سنگین به روش ICP-MS به آزمایشگاه ارسال گردید. در رابطه با نمونه‌های تهیه‌شده می‌توان

گفت که نمونه‌ها در دو مرحله آماده گردیدند: مرحله اول آماده‌سازی در صحرا و مرحله دوم آماده‌سازی در آزمایشگاه. پس از ارسال نمونه‌ها در آزمایشگاه عملیات آماده‌سازی و داده‌پردازی آغاز شد. ابتدا دانه‌بندی خاک با عبور از الک‌های ۴، ۱۰، ۱۸، ۳۵، ۶۰، ۱۲۰ و ۲۳۰ انجام پذیرفت و جهت بررسی نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای در مطالعات ژئوشیمیایی از روش آنالیز چهار اسید و خوانش با به‌کارگیری ICP-MS استفاده شد. طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-MS) نوعی طیف‌سنجی جرمی است که برای ارزیابی و شناسایی فلزها و برخی نافلزها تا غلظت‌هایی به اندکی بخش در ۱۰۱۵ppm کارایی دارد. این روش متشکل از یک سامانه ورود نمونه، یک چشمه پلاسمای جفت شده القایی برای تولید یون‌های ماده یا مواد مورد بررسی، یک مرز مشترک پلاسمای با خلاء و یک طیف‌سنج جرمی متشکل از یک تمرکز کننده یون و یک سامانه جداساز و آشکارساز یون‌ها است. در آزمایشگاه ۴۳ عنصر آنالیز شدند که در این پژوهش غلظت ۱۱ عنصر سنگین از ۲۴ نمونه آزمایش شامل As (آرسنیک)، Cd (کادمیوم)، Co (کوبالت)، Cr (کروم)، Cu (مس)، Fe (آهن)، Mo (مولیبدن)، Ni (نیکل)، Pb (سرب)، V (وانادیوم) و Al (آلومینیوم) مورد بررسی قرار گرفت. قابل ذکر است میزان خطای اندازه‌گیری شده در مورد عناصر در حد استاندارد 10 درصد و واحد اندازه‌گیری به صورت ppm است.

برای تعیین پهنه آلودگی احتمالی از درون‌یابی به روش IDW استفاده شده است. این روش برخلاف روش کریجینگ از فرضیات مربوط به ارتباط مکانی بین داده‌ها پیروی نمی‌کند (واریوگرام ندارد) و تنها بر این فرض متکی است که نقاط نزدیکتر به نقطه برآورد، شباهت بیشتری به آن نقاط دورتر دارند. قابل ذکر است این روش مهم‌ترین و گسترده‌ترین روش درون‌یابی است که بر پایه مدل‌ها و روابط آماری پایه‌ریزی شده است. لایه رستری تولیدشده از این روش، سطحی بسیار دقیق را نمایش می‌دهد. به منظور بررسی ارتباط عناصر با یکدیگر از ضریب همبستگی پیرسون و نمودار تحلیل مؤلفه اصلی استفاده می‌گردد. ضریب پیرسون مبتنی بر کوواریانس دو متغیر و انحراف معیارهای آنها می‌باشد (Joreskog, 1994). از نمودار تحلیل مؤلفه اصلی به منظور کاهش پیچیدگی تحلیل متغیرها و تفسیر بهتر اطلاعات استفاده می‌شود. روش فوق بر پایه ماتریکس همبستگی بین متغیرها استوار است (Miller & Miller, 2000). لذا به منظور بررسی پارامترهای آماری نظیر نرمال بودن داده‌ها و نیز تجزیه تحلیل مؤلفه‌های اصلی از نرم‌افزار SPSS IBM Statistics 27 استفاده گردید. در ادامه به بررسی و ارزیابی میزان آلودگی رسوبات به عناصر سنگین در حوضه مطالعاتی پرداخته شده است. به منظور ارزیابی شاخص‌های فوق از شیل جهانی یا میانگین عناصر در پوسته زمین و یا از مقدار غلظت زمینه عناصر منطقه استفاده می‌شود (Blaser et al, 2000; Ye et al, 2011). در محاسبه شاخص‌های فوق از شیل جهانی استفاده شده است. در نهایت برای سنجش آلودگی از عامل‌هایی نظیر فاکتور غنی‌شدگی، درصد عوامل انسان‌زاد یا آنتروپوژنیک، ضریب آلودگی، درجه آلودگی اصلاح‌شده، ضریب بار آلودگی، شاخص زمین انباشتگی، شاخص ریسک اکولوژیک (بوم‌شناختی) و شاخص ریسک اکولوژیک اصلاح‌شده استفاده شد که در ادامه به ارزیابی ژئوشیمیایی اشاره می‌شود.

شاخص‌های ژئوشیمیایی مورد مطالعه

شاخص غنی‌شدگی (EF)

تمایز فلزات با منشأ انسان‌زاد از فلزاتی که از هوازدگی طبیعی سنگ‌ها حاصل شده‌اند، بخش ضروری هر مطالعه ژئوشیمی محیط‌زیستی است. عامل غنی‌شدگی جهت ارزیابی آلودگی خاک و رسوبات (افزایش یا کاهش عناصر نسبت به مقدار استاندارد آن‌ها) استفاده می‌شود و یکی از روش‌های متداول برای تعیین منشأ آلاینده‌ها و بیان‌گر میزان تأثیر عامل خارجی بر رسوبات منطقه است (پور خباز و همکاران، ۱۳۹۵؛ معتمدی راد و بهرامی، ۱۴۰۱). این روش، روش مناسبی جهت تعیین منشأ لیتوژنیک و آنتروپوژنیک آلودگی‌ها است (Adamo et al, 2005). به عبارت دیگر این ضریب بیانگر شدت تأثیر عامل خارجی (انسان‌زاد) می‌باشد (Li et al, 2021). بر اساس این فاکتور می‌توان مقدار عناصر را نسبت به مقدار طبیعی خود سنجید. در این پژوهش عنصر آلومینیوم به عنوان عنصر مبنا انتخاب شده است. معمولاً آلومینیوم به عنوان فلز مبنا شناخته می‌شود (گراوند و همکاران، ۱۳۹۱) که تأثیر هم‌بیشی و ناسازگار با فلزات بررسی شده دارد (Bowen, 1979; Lu et al, 2003; Teng & Huang, 2002). ضریب غنی‌شدگی طبق رابطه ۱ محاسبه می‌گردد (Loska et al, 1995).

$$EF = \frac{\frac{C_{x1}}{C_{ref1}} \text{ sample}}{\frac{C_{x2}}{C_{ref2}} \text{ background}} \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه EF، فاکتور غنی‌شدگی، C_{x1} غلظت عنصر مورد بررسی، C_{ref1} غلظت عنصر مبنا (Al)، C_{x2} غلظت عنصر در محیط مبنا (پوسته زمین)، C_{ref2} غلظت عنصر مبنا (Al) در محیط مبنا (پوسته زمین) است. (Chen et al, 2007) هفت طبقه را برای شدت میزان

فاکتور غنی‌شدگی نشان دادند (جدول ۱).

جدول ۱. طبقه‌بندی فاکتور غنی‌شدگی (Chen et al, 2007)

بی‌نهایت شدید	خیلی شدید	شدید	نسبتاً شدید	متوسط	اندک	بدون غنی‌شدگی	شدت غنی‌شدگی
بیشتر از ۵۰	بین ۲۵ تا ۵۰	بین ۱۰ تا ۲۵	بین ۵ تا ۱۰	بین ۳ تا ۵	بین ۱ تا ۳	کمتر از ۱	فاکتور غنی‌شدگی EF

درصد عوامل انسان‌زاد یا آنتروپوژنیک^۱ (An)

فعالیت‌های انسان‌زاد یا آنتروپوژنیک (Anthropogenic) فلزات را به درون اتمسفر می‌فرستند. با ریزش‌های جوی، آن فلزات سنگین همراه با غبارهای معلق در اتمسفر، به درون خاک رسوب می‌کنند (Al-Khashman and Shawabkeh, 2006). درصد عوامل انسان‌زاد یک عنصر خاص در یک نمونه، یعنی این که انسان چند درصد در ورود این عنصر به نمونه دخالت داشته است. ضریب آنتروپوژنیک در تحلیل‌های محیط زیستی بعد از ضریب غنی‌شدگی یکی از موارد مهم ارزیابی میزان تمرکز عناصر تحت تأثیر عوامل انسان‌زاد و طبیعی است که فرمول آن به صورت رابطه زیر است (Lu et al, 2009):

$$An(\%) = \frac{Mt - [M's * (\frac{M'r}{M'r})]}{Mt} * 100 \quad \text{(رابطه ۲)}$$

در این رابطه An درصد عوامل انسان‌زاد (آنتروپوژنیک)، Mt مقدار عنصر در نمونه مورد بررسی، M's مقدار عنصر مرجع در نمونه مورد بررسی، Mr مقدار عنصر در محیط مرجع، M'r مقدار عنصر مرجع در محیط مرجع است.

ضریب آلودگی (CF) و درجه آلودگی اصلاح‌شده (mCd)

به منظور بیان آلودگی محیط نسبت به عنصری خاص، می‌توان از ضریب آلودگی (CF) استفاده کرد (Abraham & Parker, 2008). بر اساس این عامل می‌توان مقدار عناصر را نسبت به مقدار طبیعی خود سنجید و میزان آلودگی خاک را تعیین کرد. از این شاخص در بررسی وضعیت آلودگی منابع آبی به آلاینده‌های مختلف و در نهایت شناسایی پتانسیل خطر اکولوژیکی منبع مورد مطالعه استفاده می‌شود (علی بیگی و همکاران، ۱۳۹۶). این عامل از تقسیم کردن غلظت عنصر در نمونه برداشت‌شده به غلظت همان عنصر در نمونه زمینه به دست می‌آید (Abraham & Parker, 2008; Adomako et al, 2008). در این رابطه، CF نشان‌دهنده ضریب آلودگی و C_{sample} غلظت عنصر مورد بررسی و $C_{background}$ غلظت عنصر در شیل جهانی است. جدول ۲ طبقه‌بندی ضریب آلودگی بر اساس مطالعات Hakanson (۱۹۸۰) را نشان می‌دهد.

$$CF = \frac{C_{sample}}{C_{background}} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

جدول ۲. طبقه‌بندی ضریب آلودگی (Hakanson, 1980)

CF	کمتر از ۱	بین ۱ تا ۳	بین ۳ تا ۶	بیش از ۶
مقدار آلودگی رسوب	پایین	متوسط	قابل توجه	بالا

درجه آلودگی (mCd) اصلاح‌شده بر اساس رابطه ۴ محاسبه گردید (Abraham 2005). جدول ۳ رده‌بندی درجه آلودگی اصلاح‌شده را

نشان می‌دهد.

$$mCd = - \sum Cf / n$$

(رابطه ۴)

n تعداد عناصر آنالیز شده و Cf ضریب آلودگی است.

جدول ۳. رده‌بندی درجه آلودگی اصلاح‌شده (Abraham & Parker, 2008)

mCd	درجه آلودگی
$1/5 > mCd$	بدون آلودگی تا آلودگی کم

$1/5 < mCd \leq 2$	درجه آلودگی کم
$2 < mCd \leq 4$	درجه آلودگی متوسط
$4 < mCd \leq 8$	درجه آلودگی بالا
$8 < mCd \leq 16$	درجه آلودگی خیلی بالا
$16 < mCd \leq 32$	درجه آلودگی بشدت بالا
$32 < mCd$	درجه آلودگی بی‌نهایت

ضریب بار آلودگی (PLI)

شاخص بار آلودگی از دیگر پارامترهای مهم در ارزیابی و تخمین شدت آلودگی خاک به شمار می‌رود. شاخص بار آلودگی برای مجموعه‌ای از فلزات آلاینده به صورت میانگین هندسی غلظت تمامی فلزات موردنظر محاسبه می‌شود. عامل بار آلودگی خلاصه‌ای از وضعیت سمیت فلزات موردبررسی را نشان می‌دهد. این شاخص بر اساس ضریب غلظت هر عنصر در خاک محاسبه می‌شود و با تقسیم غلظت هر عنصر در خاک به غلظت آن در نمونه مرجع (cf) به دست می‌آید. اگر غلظت PLI به عدد یک نزدیک باشد، نشان‌دهنده نزدیک بودن غلظت به مقدار زمینه است. در حالی که PLI بالاتر از یک، آلودگی خاک را نشان می‌دهد (شایسته‌فر و رضایی، ۱۳۹۲؛ Adomako et al, 2008; Mapanda et al, 2007). (ضریب بار آلودگی با استفاده از رابطه ۵ به دست می‌آید) (Mapanda et al, 2007).

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 * CF_2 * \dots * CF_n} \quad \text{(رابطه ۵)}$$

شاخص زمین‌انباشتگی (Igeo)

این روش از روش‌های رایج ارزیابی آلودگی رسوبات است. شاخص زمین‌انباشتگی برای ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوبات به کار می‌رود. در این روش نسبت لگاریتم غلظت عناصر فلزی در رسوبات ریزدانه عهد حاضر به غلظت همان عناصر در رسوبات قدیمی‌تر سنجیده می‌شود (میرزایی و سلگی، ۱۳۹۴). مولر عامل زمین‌انباشتگی را از اواخر دهه ۱۹۶۹ معرفی کرد و از آن زمان تاکنون به‌طور گسترده برای مطالعه روی فلزات سنگین استفاده شده و به‌عنوان اندیس مولر شناسایی گردید (Muller, 1979). این عامل با مقایسه غلظت‌های موجود یا غلظت‌های قبل از صنعتی شدن برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات استفاده می‌شود. این اندیس بیانگر آلودگی محیط در مقادیر بالا (۵ و ۶) و محیط فاقد آلودگی در مقادیر پایین (نزدیک به ۱) است (صلواتی و مصدرشتی، ۱۴۰۰). عامل مذکور طبق رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_n}{1.5 B_n} \right] \quad \text{(رابطه ۶)}$$

در شاخص زمین‌انباشتگی C_n غلظت عنصر در نمونه و B_n غلظت همان عنصر در نمونه زمینه است. در این عامل ضریب $1/5$ عامل تصحیح ماتریس زمینه ناشی از اثرات لیتولوژی است (مکرم و نگهبان، ۱۳۹۹؛ Chen et al, 2007). این عامل دارای ۷ گروه است، که از غیر آلوده تا به‌شدت آلوده طبقه‌بندی شده است (Habes and Nigem, 2006; Luoping et al, 2007; Nikolaidis et al, 2010). جدول ۴ طبقه‌بندی شاخص زمین‌انباشتگی را نشان می‌دهد.

جدول ۴. طبقه‌بندی شاخص زمین‌انباشتگی (Luoping et al, 2007)

Igeo	شدت آلودگی
کم‌تر از صفر	بدون آلودگی
بین صفر تا ۱	بدون آلودگی تا متوسط
بین ۱ تا ۲	متوسط
بین ۲ تا ۳	متوسط تا شدید
بین ۳ تا ۴	شدید
بین ۴ تا ۵	شدید تا بی‌نهایت
بیش‌تر از ۵	بی‌نهایت

شاخص ریسک اکولوژیک (بوم‌شناختی) ^۱ (RI)

شاخص ریسک اکولوژیک یا بوم‌شناختی (RI) اولین بار توسط هاگانسون در سال ۱۹۸۰ به منظور ارزیابی ریسک آلودگی رسوبات و خاک به وسیله فلزات سنگین استفاده گردید (سیاحتی اردکانی و همکاران، ۱۳۹۷). برای محاسبه این شاخص ابتدا ضریب آلودگی (CF) را که



توسط رابطه ۲ که در قبل نمایش داده شده است محاسبه می‌گردد. سپس از طریق رابطه (۷) مقدار Er محاسبه می‌گردد. در این رابطه Er مقدار ریسک اکولوژیک هر یک از عناصر و Tr میزان سمیت پیشنهاد شده از سوی هاگانسون می‌باشد. سپس از طریق رابطه (۸) شاخص ریسک اکولوژیک (RI) محاسبه می‌گردد.

$$ER = TR.CF \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$RI = \sum_{i=1}^n ER \quad \text{رابطه (۸)}$$

ضریب سمیت (Tr) عناصر کبالت، مس، نیکل و سرب برابر با ۵ و عناصر آرسنیک، کادمیوم، کروم و وانادیوم به ترتیب برابر با ۱۰، ۳۰، ۲ و ۲ بیان شده است.

شاخص خطر بوم‌شناختی اصلاح شده (MRI)

با توجه با این که در محاسبه RI از فاکتور آلودگی استفاده می‌شود، در نتیجه این شاخص نمی‌تواند به خوبی تاثیر عوامل لیتوژنیک و یا رسوبی را در ورود فلزات سنگین به رسوب مشخص نماید (Yavar Ashayeri and Keshavarzi, 2019). به همین دلیل، پس از آن شاخص خطر بوم‌شناختی اصلاح شده توسط Brady و همکاران (۲۰۱۵) پیشنهاد گردید. این شاخص به منظور بررسی مقدار آلودگی فلزات سنگین در یک نقطه خاص کاربرد دارد (Brady et al., 2015; Zhang et al., 2017). این شاخص توسط رابطه‌های ۹ و ۱۰ محاسبه می‌گردد.

$$ER = TR.EF \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$MRI = \sum_{i=1}^n ER \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

جدول ۵ طبقه‌بندی پتانسیل ریسک بوم‌شناختی (Er) و شاخص ریسک بوم‌شناختی (RI) و عامل خطر بوم‌شناختی اصلاح شده (MRI) را نشان می‌دهد.

جدول ۵. طبقه‌بندی پتانسیل ریسک بوم‌شناختی (Er) و شاخص ریسک بوم‌شناختی (RI) و (MRI) (Hkanson, 1980؛ Chen et al, 2018؛ Yan et al, 2019).

مقدار	کم	متوسط	قابل ملاحظه	زیاد	خیلی زیاد
MRI و RI	کمتر از ۱۵۰	۱۵۰-۳۰۰	۳۰۰-۶۰۰	بیشتر از ۶۰۰	
Er	کمتر از ۴۰	۴۰-۸۰	۸۰-۱۶۰	۱۶۰-۳۲۰	بیشتر از ۳۲۰

نتایج و بحث

نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های رسوبی حوضه آبریز مورد مطالعه در جدول ۶ نشان داده شده است. بررسی میانگین غلظت عنصر سنگین در رسوبات حوضه آبریز عراقی نشان داد، غلظت همه عناصر مورد مطالعه به جز آهن کمتر از شیل جهانی است. جدول ۷ میزان غلظت آن در شیل جهانی را نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از محاسبه فاکتور غنی‌شدگی حاکی از آن است که عناصر مولیبدن (با میانگین ۰/۹۱)، مس (با میانگین ۰/۹۲) و آهن (با میانگین ۰/۹۶) در زمره عناصر بدون غنی‌شدگی و عناصر سرب، کادمیوم، کروم، آرسنیک، نیکل، کبالت و وانادیوم غنی‌شدگی اندکی در منطقه دارند به نحوی که کادمیوم، کروم و آرسنیک به ترتیب با میانگین ۱/۹۲، ۱/۵۰ و ۱/۵۰ نسبت به عناصر اشاره شده غنی‌شدگی بیش تری دارند. بیش‌ترین میزان غنی‌شدگی کادمیوم مربوط به نمونه‌های ۲۳ (۳/۵۹) و نمونه ۲۲ (۳/۵۲) در شرق حوضه است. نمونه‌های ۲۱ (۲/۲۲) و ۲۰ (۲/۱۷) بیش‌ترین مقادیر کروم و نمونه‌های ۲۳ (۲/۴۳) و ۲۲ (۲/۳) نیز بیش‌ترین مقادیر آرسنیک را به خود اختصاص دادند. نمونه‌های ۲۳ و ۲۲ با مقادیر غنی‌شدگی ۱/۵۱ و ۱/۴۲ کم‌ترین مقادیر مولیبدن و نمونه‌های ۲ و ۲۱ نیز با مقادیر ۱/۲۳ و ۱/۱۸۵ کم‌ترین میزان غنی‌شدگی عنصر مس را نشان می‌دهند. جدول ۸ فاکتور غنی‌شدگی در رسوبات حوضه آبریز را نشان می‌دهد. با توجه به این شاخص اگر مقدار غنی‌شدگی بین ۰/۵ تا ۲ زمین‌زاد و مقادیر بیش از ۲ اثر انسان‌زاد تلقی می‌شود (Hernandez et al, 2003). هم‌چنین بر اساس نظریه دیگری اگر غنی‌شدگی عناصر کم‌تر از ۱۰ باشد بیانگر منشأ لیتوژنیک و بیش‌تر از ۱۰ بیانگر منشأ آنتروپوژنیک است (Rey

(et al,2009). بر این اساس و محاسبات انجام شده چون همه مقادیر محاسبه شده کمتر از ۱۰ و حتی کمتر از ۲ است منشأ عناصر مرود مطالعه لیتوژنیک یا زمین زاد است. نقشه پهنه‌بندی غنی‌شدگی که با استفاده از درون‌یابی به روش IDW ترسیم شده است، نشان می‌دهد بیش‌ترین مقادیر عناصر کادمیوم و آرسنیک در شرق (در سازندهای مزدوران و شوربچه) و عنصر کروم در شمال حوضه (در سازند مزدوران) است. اشکال ۵، ۶ و ۷ نقشه پهنه‌بندی فاکتور غنی‌شدگی کادمیوم، کروم و آرسنیک و شکل ۸ نمودار فاکتور غنی‌شدگی عناصر در رسوبات حوضه آبریز عراقی را نشان می‌دهد.

جدول ۶. میزان غلظت عناصر سنگین در رسوبات حوضه آبریز (منبع نگارندگان)

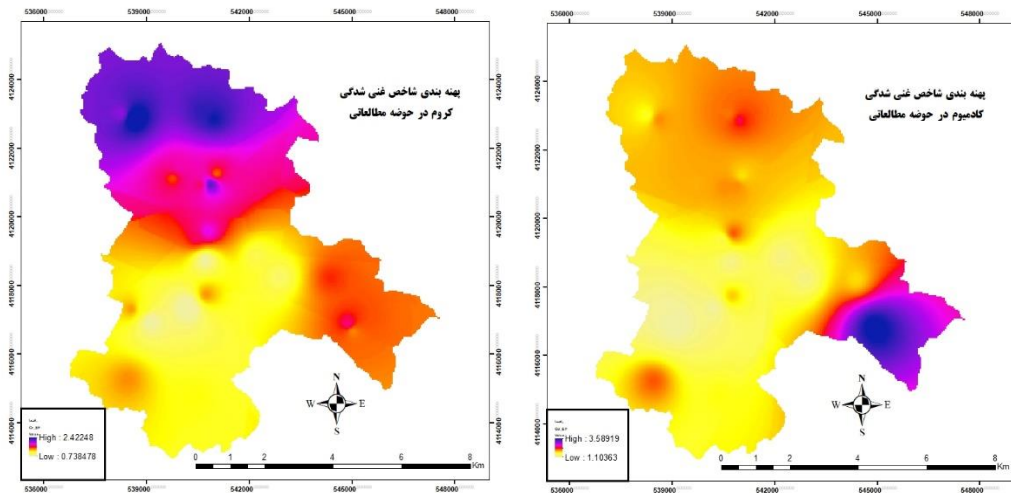
Sample	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mo	Ni	Pb	V	Al
M1	۸/۷	۰/۲۵	۱۱	۵۲	۱۸	۱۸۰۰۰	۱/۰۸	۳۲	۱۳	۵۴	۳۰۰۰۰
M2	۹	۰/۲۵	۱۶	۸۹	۳۶	۳۶۰۰۰	۰/۹۳	۴۲	۱۱	۹۷	۵۲۰۰۰
M3	۹/۳	۰/۲۶	۱۴	۸۲	۲۳	۳۰۰۰۰	۱/۲۷	۳۷	۱۱	۷۸	۵۵۰۰۰
M4	۸/۷	۰/۲۴	۱۳	۵۹	۲۶	۲۹۰۰۰	۱/۰۲	۳۲	۹	۷۳	۵۸۰۰۰
M5	۸/۴	۰/۲۴	۱۲	۴۷	۲۲	۲۴۰۰۰	۱/۰۲	۲۶	۱۰	۶۱	۵۱۰۰۰
M6	۷/۶	۰/۲۳	۱۰	۵۵	۱۷	۱۷۰۰۰	۰/۸۹	۲۶	۱۱	۵۲	۳۲۰۰۰
M7	۹	۰/۲۵	۱۳	۵۳	۲۴	۲۵۰۰۰	۱/۰۹	۲۹	۱۱	۶۲	۵۰۰۰۰
M8	۸/۴	۰/۲۵	۱۱	۸۱	۱۸	۲۱۰۰۰	۱/۱۱	۳۶	۹	۶۴	۴۱۰۰۰
M9	۸/۷	۰/۲۵	۱۱	۶۸	۱۷	۱۷۰۰۰	۱/۰۲	۲۴	۱۱	۵۲	۳۰۰۰۰
M10	۸/۳	۰/۲۳	۱۰	۶۰	۱۵	۱۷۰۰۰	۱/۰۶	۲۹	۱۱	۵۳	۳۳۰۰۰
M11	۸/۲	۰/۲۵	۱۱	۸۳	۱۴	۱۷۰۰۰	۱/۰۲	۳۰	۸	۵۴	۳۲۰۰۰
M12	۸/۸	۰/۲۵	۱۱	۶۴	۱۵	۱۷۰۰۰	۰/۹۳	۲۹	۹	۵۳	۳۲۰۰۰
M13	۸/۱	۰/۲۴	۱۱	۶۰	۱۷	۱۷۰۰۰	۱/۰۹	۲۹	۹	۵۲	۳۲۰۰۰
M14	۸/۶	۰/۲۵	۱۱	۷۰	۱۸	۱۹۰۰۰	۰/۹۴	۳۱	۸	۵۷	۳۳۰۰۰
M15	۹/۲	۰/۲۵	۱۳	۶۷	۲۵	۲۵۰۰۰	۰/۹۷	۴۳	۱۰	۸۱	۴۹۰۰۰
M16	۹	۰/۲۵	۱۳	۶۳	۲۴	۲۶۰۰۰	۱/۰۹	۴۶	۱۱	۸۲	۴۹۰۰۰
M17	۸/۶	۰/۲۶	۱۲	۵۹	۲۰	۲۰۰۰۰	۱/۱۳	۳۸	۱۰	۱۰۵	۳۹۰۰۰
M18	۸/۳	۰/۲۴	۱۳	۹۰	۲۲	۲۵۰۰۰	۱/۱۸	۴۲	۱۱	۷۵	۳۷۰۰۰
M19	۸/۴	۰/۲۵	۱۲	۹۷	۱۹	۲۳۰۰۰	۱/۰۹	۳۶	۱۰	۷۰	۳۲۰۰۰
M20	۸/۶	۰/۲۵	۱۲	۸۴	۱۸	۲۱۰۰۰	۰/۹۴	۳۰	۹	۶۱	۳۱۰۰۰
M21	۸/۲	۰/۲۴	۱۱	۷۵	۱۸	۱۸۰۰۰	۱/۰۲	۲۹	۸	۵۷	۲۷۰۰۰
M22	۷/۸	۰/۲۸	۵	۳۷	۱۱	۱۲۳۳۰	۰/۹۸	۱۸	۱۷	۳۶	۲۱۱۵۹
M23	۸/۲	۰/۲۸	۶	۴۲	۱۰	۱۲۹۶۱	۱/۰۲	۱۷	۱۸	۳۷	۲۰۷۹۵
M24	۱۱/۳	۰/۲۹	۹	۷۹	۱۶	۲۰۳۱۳	۱/۲۵	۳۸	۲۱	۶۶	۴۱۳۰۱

جدول ۷. میزان غلظت آن در شیل جهانی بر حسب ppm (Turekian & Wedepohl, 1961)

عناصر	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mo	Ni	Pb	V	Al
شیل جهانی	۱۳	۰/۳	۱۹	۱۰۰	۴۵	۴۷۲۰۰	۲/۶	۶۸	۲۰	۱۳۰	۸۰۰۰۰

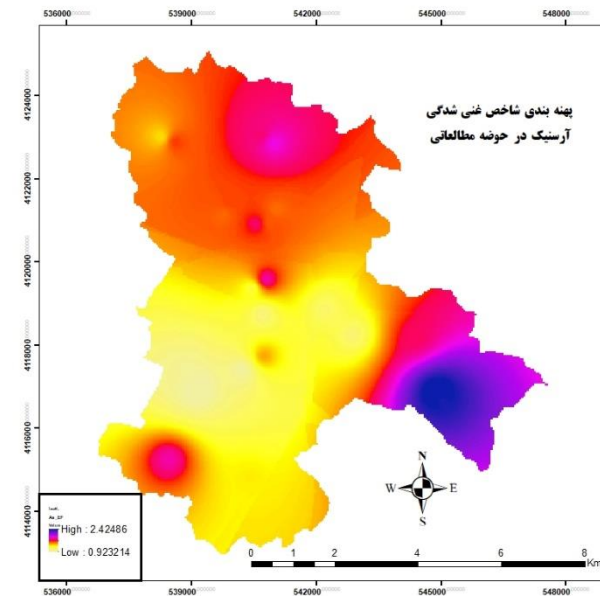
جدول ۸. فاکتور غنی‌شدگی عناصر در رسوبات حوضه آبریز (منبع: نگارندگان)

عناصر / شاخص	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mo	Ni	Pb	V	Al
EF	۱/۵۰	۱/۹۲	۱/۲۹	۱/۵۰	۰/۹۲	۰/۹۶	۰/۹۱	۱/۰۳	۱/۳۰	۱/۰۶	۱



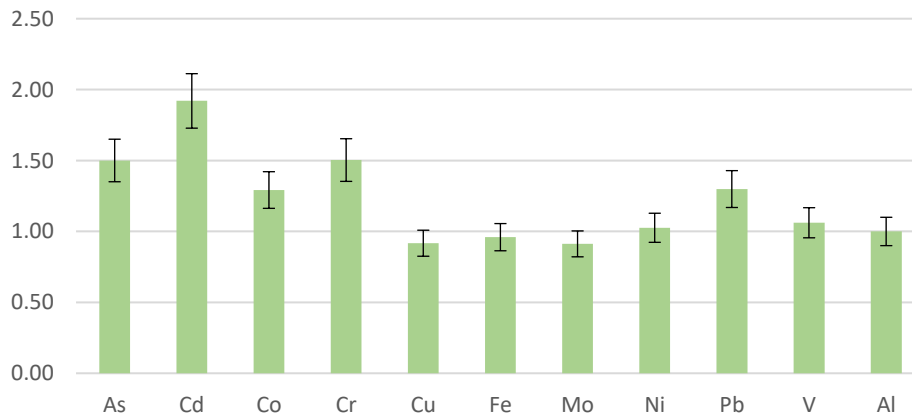
شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی فاکتور غنی‌شدگی کروم (منبع: نگارندگان)

شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی فاکتور غنی‌شدگی کادمیوم (منبع: نگارندگان)



شکل ۷. نقشه پهنه‌بندی فاکتور غنی‌شدگی آرسنیک در حوضه مطالعاتی (منبع: نگارندگان)

فاکتور غنی‌شدگی عناصر در رسوبات منطقه مورد مطالعه (EF)



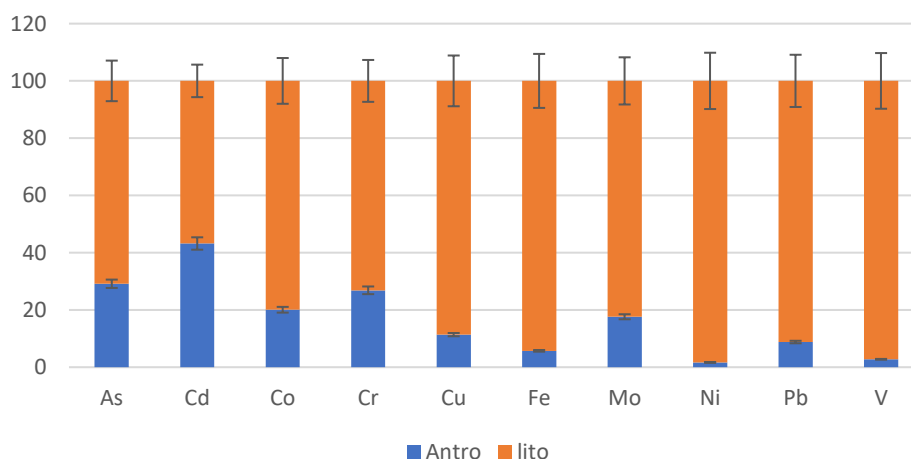
شکل ۸. نمودار فاکتور غنی‌شدگی عناصر در رسوبات حوضه آبریز (منبع: نگارندگان)

یکی از موارد مهم ارزیابی میزان تمرکز عناصر تحت تأثیر عوامل انسان‌زاد، درصد عوامل انسان‌زاد یا ضریب آنتروپوژنیک است. این ضریب با استفاده از رابطه ۲ مورد بررسی و محاسبه قرار گرفت. بر اساس این شاخص، ۴۳/۲۱ درصد از غلظت کادمیوم، ۲۹/۱۴ درصد از آرسنیک و ۲۶/۸۶ درصد کروم در رسوبات منطقه آنتروپوژنیک بوده است و به ترتیب ۵۶/۷۹، ۷۰/۸۶ و ۷۳/۱۴ درصد از این عناصر لیتوژنیک یا زمین‌زاد است. این امر با نتایج شاخص غنی‌شدگی که منشأ زمین‌زاد بودن غلظت عناصر فوق در رسوبات در حوضه مطالعاتی را نشان داد، همخوانی دارد. بیشترین میزان لیتوژنیک را عناصر نیکل (۹۸/۳۳ درصد)، وانادیوم (۹۷/۲۴) و آهن (۹۴/۲۸) را در حوضه مطالعاتی به خود اختصاص داده‌اند. جدول ۹ درصد عوامل انسان‌زاد و زمین‌زاد و شکل ۹ نمودار فاکتور درصد انسان‌زاد عناصر در رسوبات حوضه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

جدول ۹: درصد عوامل انسان‌زاد و زمین‌زاد عناصر در رسوبات حوضه آبریز (منبع: نگارندگان)

عنصر / شاخص	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mo	Ni	Pb	V
An	۲۹/۱۴	۴۳/۲۱	۲۰/۰۷	۲۶/۸۶	۱۱/۳۷	۵/۷۲	۱۷/۶۲	۱/۶۷	۸/۷۹	۲/۷۶
lito	۷۰/۸۶	۵۶/۷۹	۷۹/۹۳	۷۳/۱۴	۸۸/۶۳	۹۴/۲۸	۸۲/۳۸	۹۸/۳۳	۹۱/۲۱	۹۷/۲۴

نمودار درصد عوامل انسان‌زاد



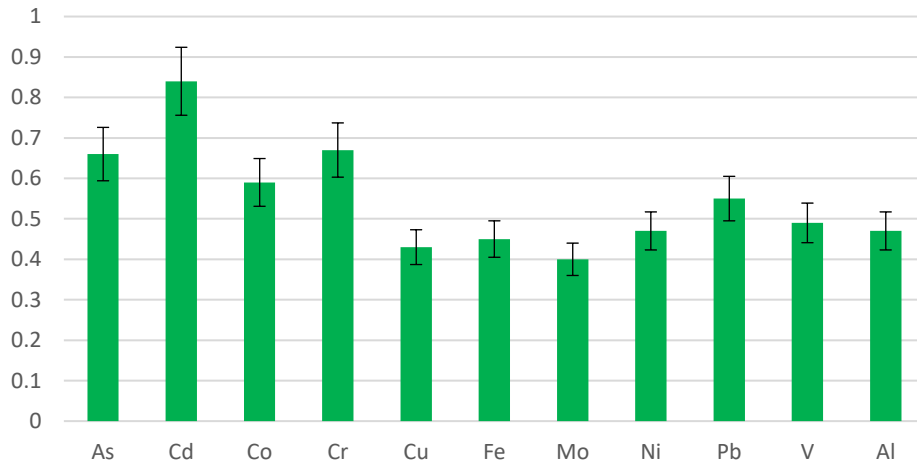
شکل ۹: نمودار فاکتور درصد انسان‌زاد عناصر در رسوبات حوضه آبریز (منبع: نگارندگان)

نتایج حاصل از بررسی ضریب آلودگی (CF) نشان داد هر چند همه عناصر مورد بررسی در طبقه مقدار آلودگی رسوب پایین قرار گرفته اما بیشترین مقادیر ضریب آلودگی مربوط به عناصر کادمیوم، کروم و آرسنیک به ترتیب با مقادیر ۰/۵۸، ۰/۶۷ و ۰/۶۶ است. قابل ذکر است بیشترین مقادیر کادمیوم در این شاخص مربوط به نمونه‌های ۲۴ (۰/۹۶)، ۲۳ (۰/۹۳) و ۲۲ (۰/۹۳) و بیشترین مقادیر عنصر کروم شامل نمونه‌های ۲ (۰/۸۹)، ۲۰ (۰/۸۴) و ۱۱ (۰/۸۳) است. در نمونه‌های ۳، ۱۵، ۱۶ و ۲ نیز به ترتیب با مقادیر ۰/۷۱، ۰/۷۱، ۰/۶۹ و ۰/۶۹ بیشترین میزان آرسنیک را با توجه به فاکتور ضریب آلودگی به خود اختصاص دادند. نتایج حاصله از بررسی ضریب آلودگی در جهت تصدیق شاخص غنی‌شدگی است جدول ۱۰ ضریب آلودگی و شکل ۱۰ نمودار این شاخص را به نمایش می‌گذارد. شکل ۱۱، ۱۲ و ۱۳ نقشه پهنه‌بندی فاکتور ضریب آلودگی عناصر کادمیوم، کروم و آرسنیک در رسوبات حوضه مطالعاتی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل از پهنه‌بندی بیشترین مقادیر کادمیوم در شرق حوضه در سازند مزدوران و در کاربری مراتع نیمه متراکم، بیشترین مقادیر کروم در شمال و غرب حوضه در سازند مزدوران و کنگلومرا در کاربری‌های اراضی آبی و اراضی مختلط آبی و دیم و بیشترین مقادیر آرسنیک نیز در شرق حوضه در سازندهای مزدوران، دلیچای و کنگلومرا در کاربری مراتع نیمه متراکم و اراضی مختلط آبی و دیم است.

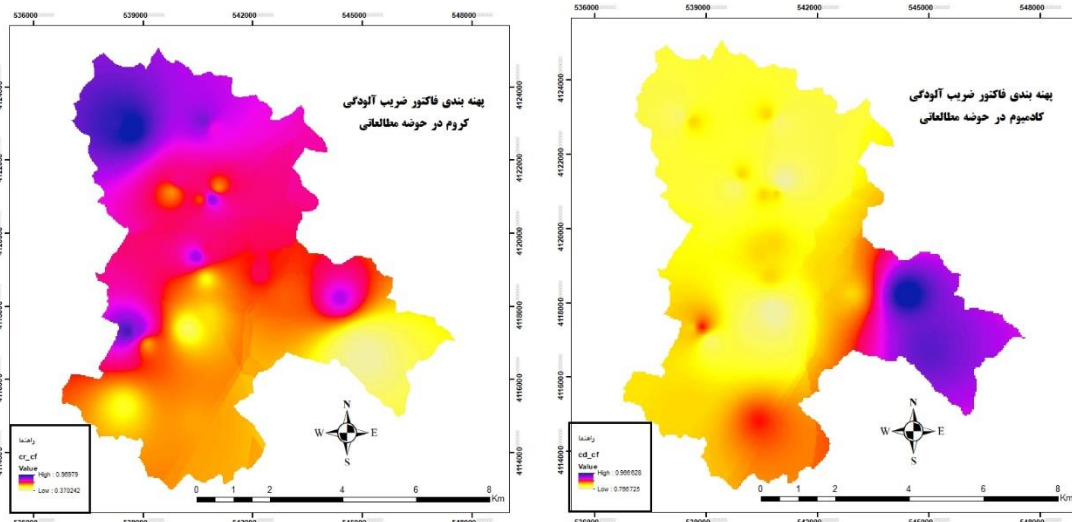
جدول ۱۰: ضریب آلودگی عناصر در رسوبات حوضه آبریز (منبع: نگارندگان)

عنصر / شاخص	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mo	Ni	Pb	V	Al
CF	۰/۶۶	۰/۸۴	۰/۵۹	۰/۶۷	۰/۴۳	۰/۴۵	۰/۴	۰/۴۷	۰/۵۵	۰/۴۹	۰/۴۷

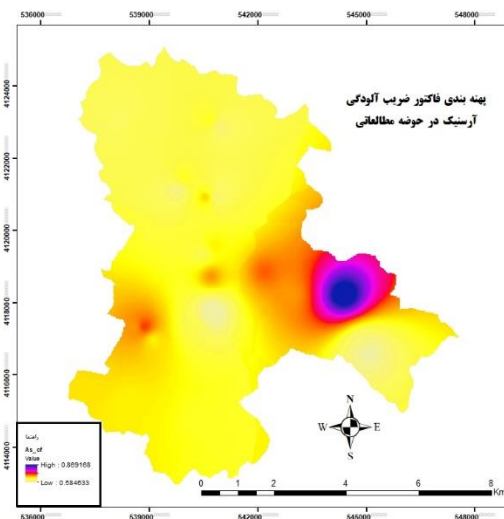
نمودار ضریب آلودگی عناصر در رسوبات منطقه مورد مطالعه (CF)



شکل ۱۰. نمودار ضریب آلودگی عناصر در رسوبات حوضه آبریز (منبع: نگارندگان)



شکل ۱۱. نقشه پهنه‌بندی ضریب آلودگی کادمیوم (منبع: نگارندگان) شکل ۱۲. نقشه پهنه‌بندی ضریب آلودگی کروم (منبع: نگارندگان)



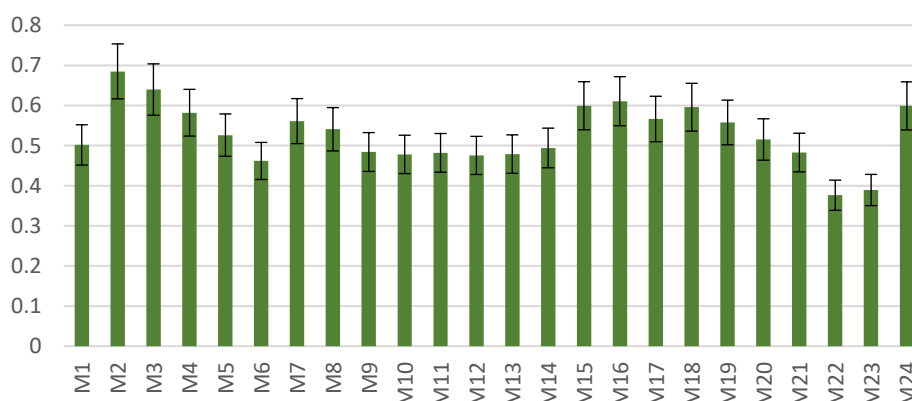
شکل ۱۳. نقشه پهنه‌بندی ضریب آلودگی آرسنیک (منبع: نگارندگان)

نتایج حاصل از محاسبه شاخص درجه آلودگی اصلاح شده (MCD) و ضریب بار آلودگی (PLI) نشان داد نمونه‌های رسوب در حوضه مورد مطالعه آلودگی خاصی را نشان نمی‌دهند. شایان ذکر است بیش‌ترین مقادیر شاخص درجه آلودگی اصلاح شده مربوط به نمونه‌های ۲، ۳ و ۲۴ برابر با ۰/۷۰، ۰/۶۵ و ۰/۶۴ و کمترین میزان مربوط به نمونه‌های ۲۲ (۰/۴۳) و ۲۳ (۰/۴۴) است. جدول ۱۱ مقادیر حاصل از بررسی ضریب بار آلودگی و درجه آلودگی اصلاح شده و اشکال ۱۴ و ۱۵ به ترتیب نمودار ضریب بار آلودگی و نمودار درجه آلودگی اصلاح شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱۱. نتایج حاصل از بررسی ضریب بار آلودگی (PLI) و درجه آلودگی اصلاح شده (MCD) در رسوبات حوضه آبریز عراقی (منبع: نگارندگان)

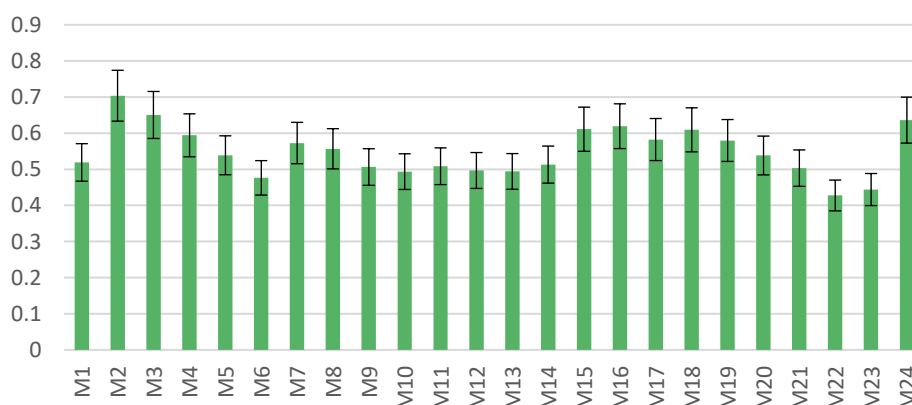
Sample	PLI	MCD	Sample	PLI	MCD	Sample	PLI	MCD
M1	۰/۵۰	۰/۵۲	M9	۰/۴۸	۰/۵۱	M17	۰/۵۷	۰/۵۸
M2	۰/۶۸	۰/۷۰	M10	۰/۴۸	۰/۴۹	M18	۰/۶۰	۰/۶۱
M3	۰/۶۴	۰/۶۵	M11	۰/۴۸	۰/۵۱	M19	۰/۵۶	۰/۵۸
M4	۰/۵۸	۰/۵۹	M12	۰/۴۸	۰/۵۰	M20	۰/۵۲	۰/۵۴
M5	۰/۵۳	۰/۵۴	M13	۰/۴۸	۰/۴۹	M21	۰/۴۸	۰/۵۰
M6	۰/۴۶	۰/۴۸	M14	۰/۴۹	۰/۵۱	M22	۰/۳۸	۰/۴۳
M7	۰/۵۶	۰/۵۷	M15	۰/۶۰	۰/۶۱	M23	۰/۳۹	۰/۴۴
M8	۰/۵۴	۰/۵۶	M16	۰/۶۱	۰/۶۲	M24	۰/۶۰	۰/۶۴

میزان ضریب بار آلودگی محاسبه شده در رسوبات منطقه (PLI)



شکل ۱۴. نمودار ضریب بار آلودگی در رسوبات حوضه آبریز عراقی (منبع: نگارندگان)

درجه آلودگی اصلاح شده (MCD)



شکل ۱۵. نمودار درجه آلودگی اصلاح شده عناصر در رسوبات حوضه آبریز عراقی (منبع: نگارندگان)

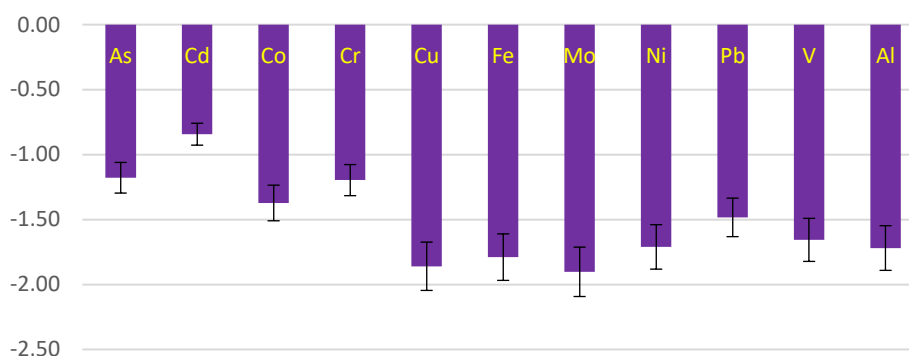
نتایج شاخص زمین انباشتی بیان گر این است که تمامی عناصر مورد مطالعه در منطقه مطالعاتی دارای مقادیر کم تر از صفر است که

بر اساس جدول ۴ در طبقه بدون آلودگی قرار می‌گیرند. بر اساس این شاخص بیش‌ترین مقادیر مربوط به کادمیوم، آرسنیک و کروم بوده که به ترتیب برابر با $-۰/۸۴$ ، $-۱/۱۸$ و $-۱/۲۰$ است. بیش‌ترین مقادیر کادمیوم مربوط به نمونه‌های $۲۴(-۰/۶۳۲)$ ، $۲۲(-۰/۶۸۴)$ و $۲۳(-۰/۶۸۴)$ بیش‌ترین مقادیر آرسنیک به نمونه‌های $۲۴(-۰/۷۸)$ و $۱۵(-۱/۸۳)$ و در کروم نیز مربوط به نمونه‌های $۱۹(-۰/۶۲۸)$ و $۱۸(-۰/۷۳۶)$ است. از طرفی کم‌ترین مقادیر مربوط به عناصر مولیبدن ($-۱/۹۰$)، مس ($-۱/۸۶$) و آهن ($-۱/۷۹$) بودند. نمونه ۶ ($-۲/۱۳$) کم‌ترین مقادیر کادمیوم، نمونه $۲۳(-۲/۷۵)$ کم‌ترین مقادیر عنصر مس و نمونه $۲۲(-۲/۵۳)$ کم‌ترین مقادیر عنصر آهن را به خود اختصاص دادند. جدول ۱۲ مقادیر زمین‌انباشت و شکل ۱۶ نمودار زمین‌انباشت نمونه‌های رسوب در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نقشه پهنه‌بندی نشان می‌دهد، بیش‌ترین میزان غلظت کادمیوم در شرق حوضه در سازند مزدوران، آرسنیک نیز در شرق حوضه در سازندهای مزدوران و کنگلومرا و بیش‌ترین غلظت عنصر کروم در شمال و غرب حوضه در سازندهای کنگلومرای و مارنی است. (اشکال ۱۷، ۱۸ و ۱۹).

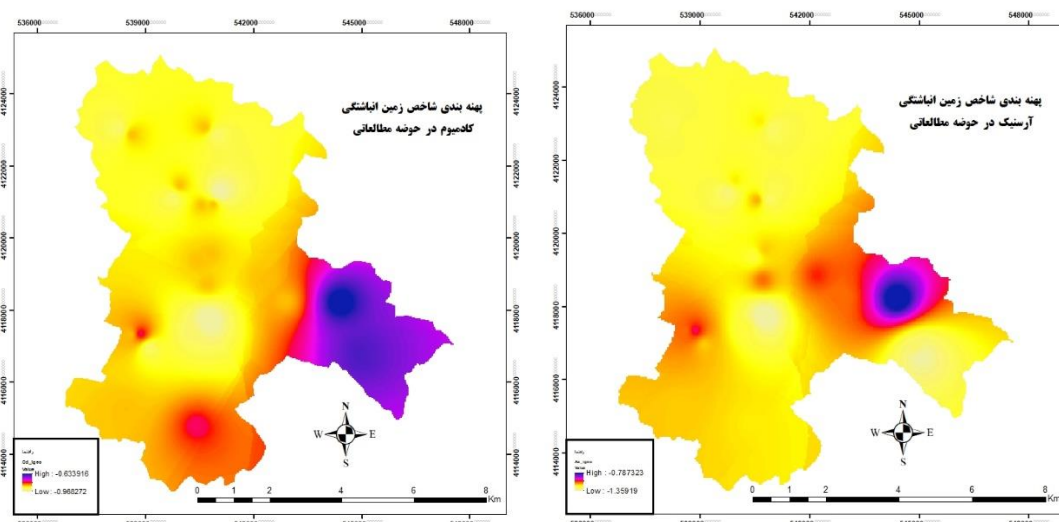
جدول ۱۲. تعیین مقادیر شاخص زمین‌انباشت نمونه‌های رسوب در حوضه مطالعاتی (منبع: نگارندگان)

عنصر / شاخص	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mo	Ni	Pb	V	Al
Igeo	-۱/۱۸	-۰/۸۴	-۱/۳۷	-۱/۲۰	-۱/۸۶	-۱/۷۹	-۱/۹۰	-۱/۷۱	-۱/۴۸	-۱/۶۶	-۱/۷۲

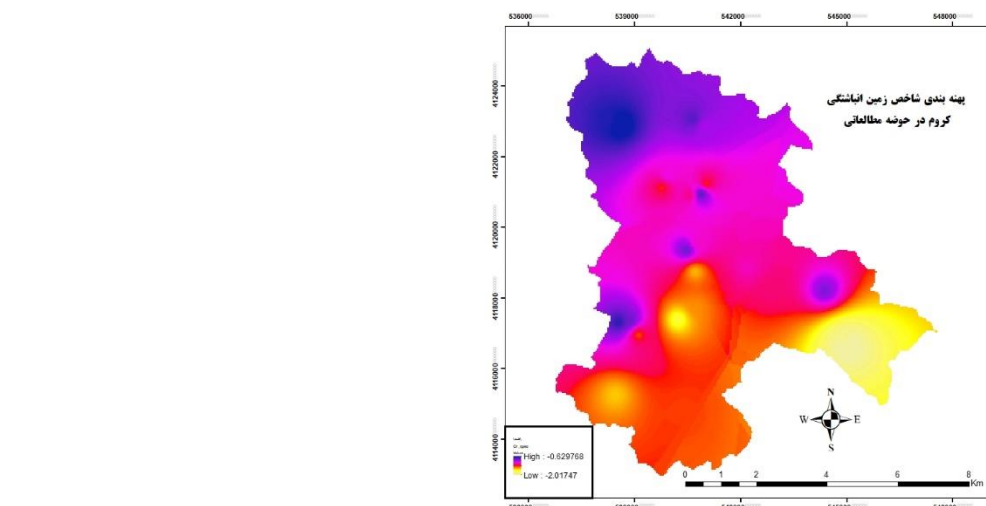
شاخص زمین‌انباشت نمونه‌های رسوب در منطقه مورد مطالعه (Igeo)



شکل ۱۶. نمودار عامل زمین‌انباشتگی در رسوبات حوضه مطالعاتی (منبع: نگارندگان)



شکل ۱۷. نقشه پهنه‌بندی ضریب زمین‌انباشتگی کادمیوم (منبع: نگارندگان) شکل ۱۸. نقشه پهنه‌بندی ضریب زمین‌انباشتگی آرسنیک (منبع: نگارندگان)

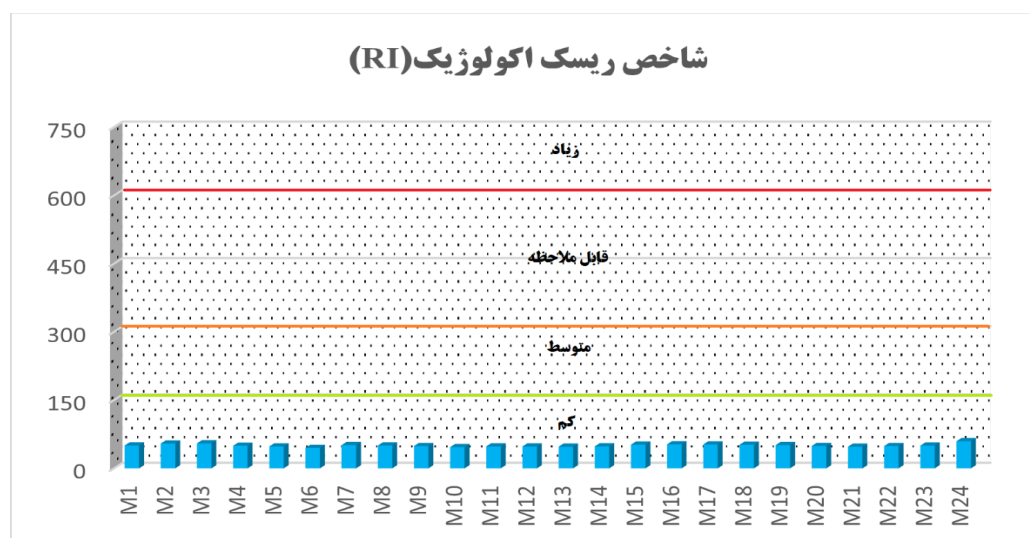


شکل ۱۹. نقشه پهنه‌بندی ضریب زمین انباشتی کروم (منبع: نگارندگان)

نتایج حاصل از ارزیابی پتانسیل ریسک اکولوژیک و شاخص ریسک اکولوژیک در منطقه مورد مطالعه در جدول ۱۳ نشان داده شده است. نتایج حاصله نشان داد ضریب پتانسیل ریسک اکولوژیک عناصر آرسنیک، کادمیوم، کبالت، کروم، مس، مولیبدن، نیکل، سرب و وانادیوم کمتر از ۴۰ بوده که بیانگر کم بودن پتانسیل ریسک است. بر اساس نتایج حاصل از Er مقدار شاخص ریسک اکولوژیک حوضه آبریز عراقی بدست آمد. با توجه به اینکه میانگین ضریب فوق برابر $۵۰/۳۸$ بدست آمده که بر اساس طبقه‌بندی هاگانسون وضعیت ریسک اکولوژیک رسوبات منطقه مورد مطالعه به عناصر سنگین کم است (شکل ۲۰).

جدول ۱۳. شاخص ریسک اکولوژیک ارزیابی شده برای رسوبات منطقه مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

RI	Er_V	Er_Pb	Er_Ni	Er_Mo	Er_Cu	Er_Cr	Er_Co	Er_Cd	Er_As	عنصر/ شاخص
۵۰/۳۸	۰/۹۸	۲/۷۷	۲/۳۶	۶/۰۴	۲/۱۴	۱/۳۵	۲/۹۷	۲۵/۱۲	۶/۶۵	Mean



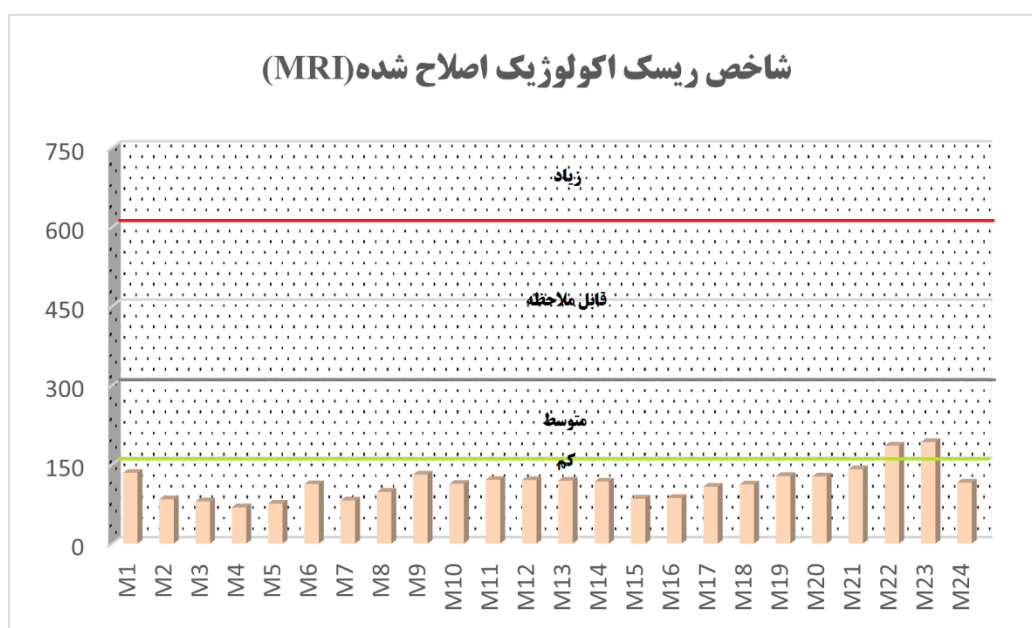
شکل ۲۰. نمودار شاخص ریسک اکولوژیک (RI) فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه (محور افقی: کد نقاط نمونه برداری و محور عمودی: مقادیر شاخص RI) (منبع: نگارندگان)

با توجه به رابطه ۱۰ شاخص ریسک اکولوژیک اصلاح شده نیز محاسبه و میزان آن برابر با $۱۱۴/۰۷$ حاصل گردید. نتایج حاصل از این شاخص و همچنین طبقه‌بندی هاگانسون حاکی از آن است که حوضه مطالعاتی از نظر وضعیت ریسک اکولوژیک اصلاح شده نیز در طبقه کم قرار می‌گیرد. البته قابل ذکر است نمونه‌های ۲۳ و ۲۲ به ترتیب دارای مقادیر $۱۹۲/۵۱$ و $۱۸۵/۷۸$ بوده که از بالاتر از طبقه کم (

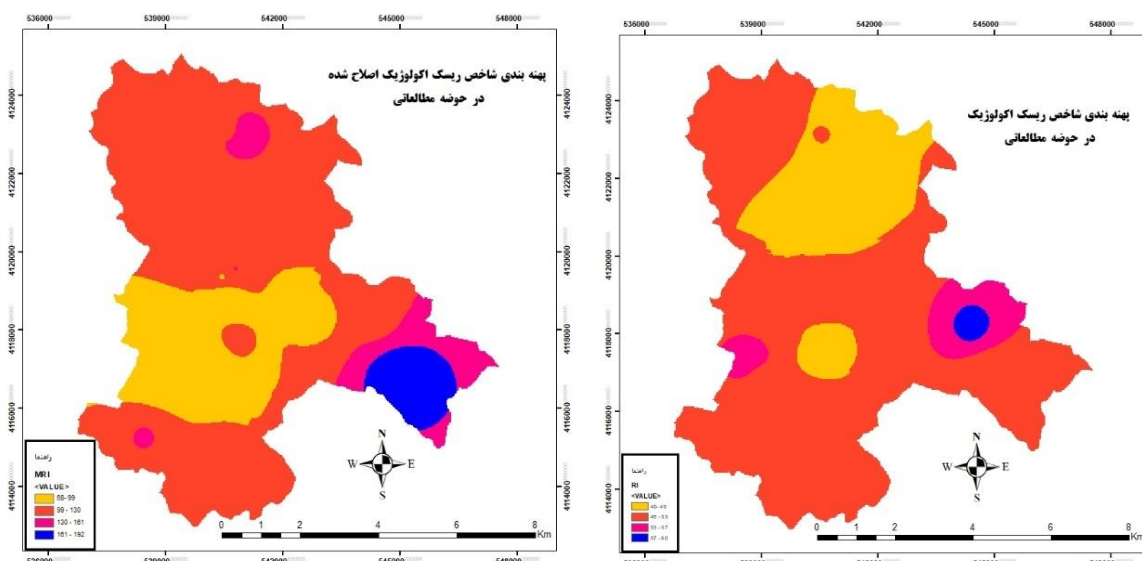
بیش تر از ۱۵۰) قرار گرفته و کمترین میزان این شاخص را نمونه‌های ۴ و ۵۵ برابر با ۶۸/۶۸ و ۶۶/۷۵ به خود اختصاص داده‌اند. جدول ۱۴ مقادیر شاخص ریسک اکولوژیک اصلاح شده و شکل ۲۱ نمودار شاخص ریسک اکولوژیک اصلاح شده برای رسوبات منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در نهایت نقشه‌های پهنه‌بندی آلودگی رسوبات بر اساس شاخص‌های ریسک اکولوژیک (RI) و ریسک اکولوژیک اصلاح شده (MRI) تهیه شد که بر اساس آن و با توجه به این که بر اساس این دو شاخص نیز حوضه مطالعاتی در طبقه آلودگی کم قرار می‌گیرد باید عنوان نمود که میزان مقادیر در شرق حوضه افزایش بیشترین غلظت را دارا است. شکل ۲۲ نقشه پهنه‌بندی ریسک اکولوژیک و شکل ۲۳ نقشه پهنه‌بندی ریسک اکولوژیک اصلاح شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱۴. شاخص ریسک اکولوژیک اصلاح شده برای رسوبات منطقه مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

عنصر/ شاخص	Er_As	Er_Cd	Er_Co	Er_Cr	Er_Cu	Er_Mo	Er_Ni	Er_Pb	Er_V	MRI
Mean	۱۵	۵۷/۶۱	۶/۴۶	۳	۴/۵۸	۱۳/۶۸	۵/۱۳	۶/۴۹	۲/۱۲	۱۱۴/۰۷



شکل ۲۱. نمودار شاخص ریسک اکولوژیک اصلاح شده (MRI) فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه (محور افقی: کد نقاط نمونه‌برداری و محور عمودی: مقادیر شاخص MRI) (منبع: نگارندگان)



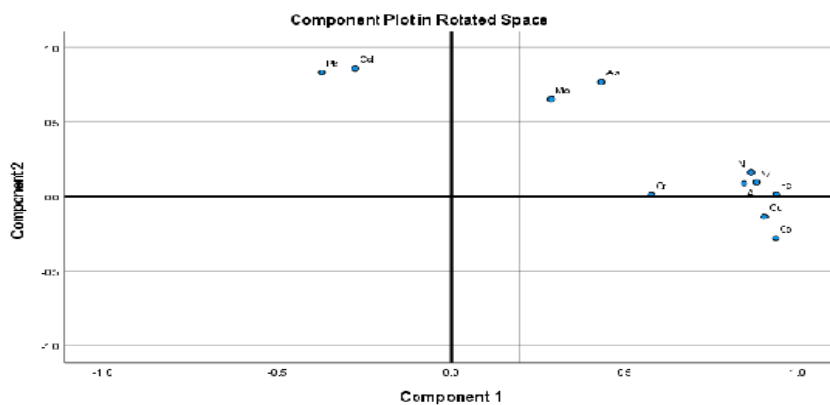
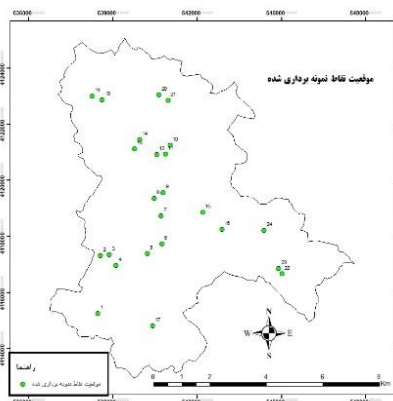
شکل ۲۳. نقشه پهنه‌بندی ریسک اکولوژیک اصلاح شده (منبع: نگارندگان)

شکل ۲۲. نقشه پهنه‌بندی ریسک اکولوژیک (منبع: نگارندگان)

نتایج حاصل از ضریب پیرسون نشان داد عنصرهای مس با کبالت (۰/۸۷۹)، آلومینیوم و آهن (۰/۸۷۸)، آهن و کبالت (۰/۸۶۶)، وانادیوم و نیکل (۰/۸۴۳)، آلومینیوم و مس (۰/۸۱۹)، سرب و کادمیوم (۰/۷۹۴)، وانادیوم و مس (۰/۷۸۱)، وانادیوم و آهن (۰/۷۷۴)، وانادیوم و کبالت (۰/۷۶۸) و آلومینیوم و کبالت (۰/۷۴۸) همبستگی قوی برقرار کرده است. از طرفی بین عناصر نیکل و کبالت (۰/۷۳۹)، نیکل و آهن (۰/۷۰۷)، آلومینیوم و وانادیوم (۰/۶۶۸) و نیکل و مس (۰/۶۷۶) نیز همبستگی وجود دارد. این همبستگی‌ها نشان از منشأ مشترک عناصر فوق است. جدول ۱۵ مقادیر ضریب همبستگی بین میزان غلظت عناصر مورد استفاده در حوضه مطالعاتی و همچنین شکل ۲۴ نمودار تحلیل مؤلفه اصلی را نشان می‌دهد.

جدول ۱۵. مقادیر ضریب همبستگی بین میزان غلظت عناصر مورد استفاده در حوضه مطالعاتی (منبع: نگارندگان)

										As										
										Cd	1	As								
										Co	1	-۰/۴۹۸	Cd							
										Cr	1	-۰/۵۰۳	-۰/۳۲۸	Co						
										Cu	1	-۰/۵۵۰	-۰/۱۳۰	-۰/۲۷۹	Cr					
										Fe	1	-۰/۳۴۲	-۰/۸۷۹	-۰/۳۱۲	-۰/۲۶۹	Cu				
										Mo	1	-۰/۹۴۷	-۰/۴۶۱	-۰/۸۶۶	-۰/۲۰۲	-۰/۳۷۳	Fe			
										Ni	1	-۰/۲۰۱	-۰/۰۱۹	-۰/۲۵۲	-۰/۱۱۲	-۰/۳۱۶	-۰/۴۹۸	Mo		
										Pb	1	-۰/۳۸۳	-۰/۷۰۷	-۰/۶۷۶	-۰/۶۰۸	-۰/۷۳۹	-۰/۱۳۰	-۰/۴۸۲	Ni	
										V	1	-۰/۲۱۵	-۰/۳۱۲	-۰/۲۴۹	-۰/۳۳۲	-۰/۳۱۷	-۰/۵۹۷	-۰/۷۹۴	-۰/۴۳۲	Pb
Al	۱	-۰/۲۵۳	-۰/۸۴۳	-۰/۲۸۷	-۰/۷۷۴	-۰/۷۸۱	-۰/۴۴۷	-۰/۷۶۸	-۰/۰۹۶	-۰/۳۷	Al	V								
1	۰/۶۸۸	-۰/۲۱۰	-۰/۶۱۱	-۰/۲۷۸	-۰/۸۷۸	-۰/۸۱۹	-۰/۱۸۱	-۰/۷۴۸	-۰/۱۸۰	-۰/۴۵۵	Al									



Component Matrix^a

	Component	
	1	2
Co	.943	
Fe	.936	
Cu	.908	
V	.880	
Ni	.862	
Al	.842	
Cr	.577	
Cd	-.300	.851
Pb	-.395	.819
As	.412	.779
Mo		.657

Extraction Method: Principal Component Analysis.

a. 2 components extracted.

شکل ۲۴. نمودار تحلیل مؤلفه اصلی عناصر سنگین و موقعیت نقاط نمونه برداری شده در حوضه مطالعاتی (منبع: نگارندگان)

نتیجه گیری

ارتباط بین فلزات سنگین در خاک پیچیده و مبهم هست. فاکتورهای زیاد و برجسته‌ای از قبیل غلظت فلزات سنگین در سنگ‌ها و مواد مادری، فرآیندهای مختلف تشکیل خاک و فاکتورهای انسانی تعیین‌کننده فراوانی نسبی غلظت آن‌ها در خاک‌ها هستند. با توجه به اهمیت موضوع ارزیابی میزان غلظت و ارزیابی رسوبات به فلزات سنگین، ۲۴ رسوب نمونه برداشت در حوضه عراقی و غلظت ۱۱ عنصر سنگین شامل As (آرسنیک)، Cd (کادمیوم)، Co (کبالت)، Cr (کروم)، Cu (مس)، Fe (آهن)، Mo (مولیبدن)، Ni (نیکل)، Pb (سرب)، V (وانادیوم) و Al (آلومینیوم) مورد بررسی قرار گرفت. برای سنجش آلودگی از شاخص‌هایی نظیر فاکتور غنی‌شدگی، درصد عوامل انسان‌زاد یا آنتروپوژنیک، ضریب آلودگی، درجه آلودگی اصلاح‌شده، ضریب بار آلودگی، شاخص زمین‌انباشتگی، شاخص ریسک اکولوژیک و شاخص ریسک اکولوژیک اصلاح‌شده استفاده گردید. بر اساس محاسبه شاخص غنی‌شدگی و بر اساس تقسیم‌بندی چن (۲۰۰۷) عناصر مولیبدن (با میانگین ۰/۹۱)، مس (با میانگین ۰/۹۲) و آهن (با میانگین ۰/۹۶) در زمره عناصر بدون غنی‌شدگی (کمتر از ۱) و عناصر سرب، کادمیوم، کروم، آرسنیک، نیکل، کبالت و وانادیوم در محدوده غنی‌شدگی اندکی در منطقه قرار دارند. با توجه به نظریه ری و همکاران (۲۰۰۹) اگر غنی‌شدگی عناصر کمتر از ۱۰ باشد بیانگر منشأ لیتوژنیک و بیشتر از ۱۰ بیانگر منشأ آنتروپوژنیک است و از آنجا که شاخص غنی‌شدگی برای عناصر مورد مطالعه کمتر از ۱۰ بدست آمده است، لذا منشأ همه عناصر مورد مطالعه در منطقه لیتوژنیک بوده که بر اثر هوازدگی و فرسایش واحدهای سنگی منطقه به وجود آمده و تأثیر عوامل انسانی در حوضه مورد مطالعه کم‌تر است. سپس شاخص درصد عوامل انسان‌زاد یا ضریب آنتروپوژنیک مورد بررسی و محاسبه قرار گرفت. بر اساس این شاخص بیش‌ترین درصد غلظت عناصر مورد مطالعه رسوبات لیتوژنیک یا زمین‌زاد بوده که این موضوع در تأیید نتایج شاخص غنی‌شدگی که منشأ زمین‌زاد بودن غلظت عناصر فوق در رسوبات در حوضه مطالعاتی را نشان داد، است.

نتایج حاصل از بررسی ضریب آلودگی (CF) نشان داد همه عناصر مورد بررسی در طبقه مقدار آلودگی رسوب پایین قرار گرفته اما بیشترین مقادیر ضریب آلودگی مربوط به عناصر کادمیوم، کروم و آرسنیک می‌باشد. بیش‌ترین میزان کادمیوم و کروم در سازند مزدوران و دلچای جای گرفته است. نتایج حاصله از بررسی ضریب آلودگی نیز در جهت تصدیق شاخص غنی‌شدگی است. نتایج حاصل از محاسبه شاخص درجه آلودگی اصلاح‌شده (MCD) و ضریب بار آلودگی (PLI) نشان داد نمونه‌های رسوب در حوضه مورد مطالعه آلودگی خاصی را نشان نمی‌دهند. نتایج عامل زمین‌انباشتگی بیان‌گر این است که تمامی عناصر مورد مطالعه در منطقه مطالعاتی دارای مقادیر کم‌تر از صفر است که در طبقه بدون آلودگی قرار می‌گیرند. بر اساس این شاخص بیش‌ترین مقادیر مربوط به کادمیوم، آرسنیک و کروم بوده که به ترتیب برابر با ۰/۸۴-، ۱/۱۸- و ۱/۲۰- است. ضریب پتانسیل ریسک اکولوژیک نیز محاسبه گردید. نتایج حاصله نشان داد ضریب پتانسیل ریسک اکولوژیک عناصر آرسنیک، کادمیوم، کبالت، کروم، مس، مولیبدن، نیکل، سرب و وانادیوم کمتر از ۴۰ بوده که بیانگر کم بودن پتانسیل ریسک است. مقدار شاخص ریسک اکولوژیک حوضه آبریز عراقی بر اساس نتایج حاصل از Er بدست آمد. میانگین ضریب فوق برابر ۵۰/۳۸ بدست آمده که بر اساس طبقه‌بندی هاکانسون وضعیت ریسک اکولوژیک رسوبات منطقه مورد مطالعه به عناصر سنگین کم است. شاخص ریسک اکولوژیک اصلاح‌شده نیز محاسبه و میزان آن برابر با ۱۱۴/۰۷ حاصل گردید. نتایج حاصل از این شاخص و همچنین طبقه‌بندی هاکانسون حاکی از آن است که حوضه مطالعاتی از نظر وضعیت ریسک اکولوژیک اصلاح‌شده در طبقه کم قرار می‌گیرد. در نهایت نقشه‌های پهنه‌بندی آلودگی رسوبات بر اساس شاخص‌های ریسک اکولوژیک (RI) و ریسک اکولوژیک اصلاح‌شده (MRI) تهیه شد که بر اساس آن و با توجه به این که بر اساس این دو شاخص نیز حوضه مطالعاتی در طبقه آلودگی کم قرار می‌گیرد، باید عنوان نمود که میزان غلظت مقادیر فلزات سنگین کم بوده ولی میزان غلظت عناصر موجود، در شرق حوضه بیش‌تر است که در سازند مزدوران قرار گرفته است. سازند مزدوران که بیشترین مساحت حوضه (۵۳/۴۲ درصد) را به خود اختصاص داده از لحاظ جنس از آهک‌های ضخیم لایه تا توده‌ای به رنگ خاکستری روشن تشکیل شده است. در بخش‌های بالائی آن آهک‌های روشن تا صورتی‌رنگ دیده می‌شوند که دارای میان لایه‌هایی از مارن هستند که بنظر می‌رسد در یک محیط رسوبی فلات قاره یا سکوه‌های عمیق زیرین دریایی رسوب کرده باشند.

با توجه به این که کادمیوم و کروم و آرسنیک بیشترین مقادیر را به خود اختصاص داده‌اند که البته میزان آن‌ها بسیار پایین بوده می‌توان گفت کادمیوم به‌طور کلی در محیط دارای سطوح پائینی از غلظت است. راه‌های ورود این عنصر به محیط شامل: فعالیت‌های طبیعی (مانند ولکانیک، هوازدگی، فرسایش و حمل رودخانه‌ای)، فعالیت‌های بشری (مانند دود تنباکو، معدنکاری، سوخت‌های فسیلی، سوزاندن زباله‌های شهری) و نیز انتقال مجدد از منابع اصلی از طریق زهکشی آب معادن فلزی است که در حوضه مورد مطالعه که منشأ این عنصر را بر اساس شاخص‌های مختلف لیتوژنیک تشخیص داده شد، در حوضه مطالعاتی معادن در حال بهره‌برداری وجود نداشته و این

عنصر از طریق هوازدگی، فرسایش و حمل رودخانه‌ای در رسوبات انتقال یافته است. این عنصر به آسانی در بسیاری از موجودات از جمله نرم‌تنان و سخت‌پوستان تجمع می‌یابد. کادمیوم دارای اثرات سمی بر روی کلیه، سیستم اسکلتی و نیز دستگاه تنفسی بوده و به عنوان یک عامل سرطان‌زا در نظر گرفته می‌شود. کروم نیز برای گیاهان یک عنصر غیرضروری است. کروم سه‌ظرفیتی در مقادیر کمیاب، برای متابولیسم قند و کلسترول در انسان‌ها و جانوران یک مغذی سودمند است، اما کروم شش‌ظرفیتی یک سرطان‌زای قوی برای جانوران و انسان و سمی است. میانگین متداول آن در خاک‌های سطحی در سراسر جهان ۵۴ میلی‌گرم در کیلوگرم بر آورد شده است. میزان غلظت آرسنیک در سنگ‌های آذرین و رسوبی، به طور میانگین در حدود ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم است. قابل ذکر است که میزان مجاز غلظت آرسنیک در خاک ۲۰ mg/kg و میزان مجاز برای سلامتی انسان ۳۰ mg/kg در وزن خشک است لذا می‌توان گفت میانگین این عنصر در حوضه مطالعاتی هنوز کمتر از حد مجاز آن در خاک و سلامتی انسان است و هنوز مشکل عمده‌ای از بابت آلودگی در حوضه ایجاد نموده است.

با توجه به تمام شاخص‌های مورد مطالعه در این پژوهش باید گفت که منطقه مورد مطالعه دارای آلودگی پایینی است علی‌رغم این که عناصر سنگین در منطقه مطالعاتی دارای منشأ زمین‌زاد هستند، همچنین کشاورزی در ۱۶/۴۲ درصد از مساحت حوضه انجام می‌شود ولی با این حال و با توجه به امکان انتقال این عناصر و همچنین امکان افزایش این عناصر توسط فعالیت‌های انسانی، باید کنترل بیش‌تری در زمینه استفاده از کودهای شیمیایی و سموم دفع حشرات داشت تا از بروز اثرات مخرب محیط زیستی جلوگیری به عمل آید.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- ادیبی، هادی؛ مظهری، مریم؛ بیدکی، کاظم و محمودی، مجید (۱۳۹۲). اثر شستشو و خیساندن بر کاهش میزان سرب، آرسنیک و کادمیوم برنج‌های توزیع شده در کرمانشاه، ماهنامه علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، ۱۷(۱۰)، ۶۳۹-۶۲۸.
- برزین، منصور؛ خیرآبادی، حسین و افیونی، مجید (۱۳۹۴). بررسی آلودگی برخی فلزات سنگین خاک‌های سطحی استان همدان با استفاده از شاخص‌های آلودگی، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۹(۷۲)، ۷۹-۶۹.
- پورخباز، حمیدرضا؛ جوانمردی، سعیده؛ یوسف نیا، حسین؛ اسلامی، مسعود؛ مکرونی، سرور و اقدر، حسین (۱۳۹۵). ارزیابی زیست محیطی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان بهبهان. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی (مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان)*، ۳۷(۳) (پیاپی ۶۳)، ۸۷-۱۰۵.
- دهرآزما، بهناز؛ آذریچکان، آمنه و سیاره، علیرضا (۱۳۹۳). ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک منطقه معدن متروکه سرب - روی آی قلعه سی، جنوب خاور تکاب، زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست، ۲۴(۹۴)، ۱۳۸-۱۲۹.
- راست منش، فاطمه؛ حسنا، زهرا و زراسوندی، علیرضا (۱۳۹۸). غنی‌شدگی، منشأ و خطر سلامتی فلزات سنگین در مزارع برنج: مطالعه موردی شهرستان‌های اهواز و باوی. *زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته*، ۱۹(۱)، (پیاپی ۳۱)، ۷۵-۸۴.
- رزازی بروجنی، خدیجه (۱۳۸۸). بررسی منابع آلودگی خاک و آب به وسیله فلزات سنگین در شهرستان هشتگرد با نگرشی بر آرسنیک و اثرات زیست محیطی آن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۲۹۲ صفحه.
- زین‌الدینی، زینب؛ کرمی، مهین؛ فاطمی قمشه، اکرم؛ شکاری، پرویز و حامدی، فردین (۱۳۹۵). بررسی پتانسیل آلودگی عناصر کادمیم، سرب و نیکل در خاک سطحی پایین‌دست انباشتگاه زباله کرمانشاه بر اساس معیارهای ارزیابی آلودگی، *مجله مهندسی زراعی*، دوره ۳۹ (۲)، ۶۸-۵۵.
- سیاحتی اردکانی، غلامرضا؛ میرسنجری میرمهرداد، عظیم زاده، حمیدرضا و سلگی، عیسی (۱۳۹۷). ارزیابی ریسک اکولوژیک فلزات سنگین در خاک سطحی پیرامون صنایع اصلی در شهرستان اردکان. *طلوع بهداشت*، ۱۷ (۶)، ۹۵-۱۱۰.
- شایسته فر، محمدرضا و رضایی، علی (۱۳۹۲). بررسی رفتار زیست محیطی و مطالعه توزیع عناصر سنگین در خاک‌های محدوده معدن مس سرچشمه کرمان، *نشریه مهندسی معدن*، دوره ۱۸(۱۸)، شماره پیاپی ۱۸، ۱۳-۲۱.
- صلواتی، مژگان و یوسفی مصردشتی، زهرا (۱۴۰۰). ارزیابی آلودگی ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه پلرود در شرق گیلان، از دیدگاه زمین‌شناسی محیط زیستی (شرق گیلان). *پژوهش‌های محیط زیست*، ۱۲(۲۴)، ۱۴۹-۱۵۸.
- علی بیگی، حجت‌الله؛ میرزایی، روح‌الله و زمانی احمد محمودی، رسول (۱۳۹۶). بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی تالاب چغاخور، *مجله محیط‌شناسی*، ۴۳(۱)، ۱۴۹-۱۶۱.
- قدیمی، فریدون (۱۳۹۹). ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب میقان با استفاده از شاخص‌های آلاینده‌ی، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوبشناسی،

۳۸(۱)، شماره پیاپی ۸، ۳۷-۱۹.

- کبیری فرد، حسن؛ شیخی نژاد، الهام و معصومی، مریم(۱۳۹۱). سنجش مقدار آلودگی فلزات سنگین (آهن، روی، سرب و نیکل (در آبهای سطحی، خاک و سبزی کشت شده شهرستان پیشوا، مجله پژوهشهای علوم و فنون دریایی، صص ۱۲-۱).
- گراوند، محتبی؛ قاسمی، حبیب اله و حافظی مقدس، ناصر (۱۳۹۱). ارزیابی ژئوشیمیایی و زیست محیطی فلزات سنگین در خاک های حاصل از شیبستهای گرگان، علوم زمین، ۲۲(۸۶)، ۳۵-۴۶.
- مرتضوی، ثمر و حاتمی منش، مسعود (۱۳۹۶). سنجش بار آلودگی فلزات سنگین در رسوبات و گیاه آبی علف چشمه (Nasturtium microphyllum) رودخانه بشار یاسوج. مهندسی بهداشت محیط، ۵(۲)، ۱۵۷-۱۷۲.
- معمدی راد، محمد و بهرامی شهرام(۱۴۰۱). تحلیل میزان غلظت و آلودگی عناصر سنگین رسوبات (مطالعه موردی: حوضه گلپایان استان خراسان شمالی)، مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی، ۳(۲): ۵۷-۸۱
- مکرم، مرضیه و نگهبان، سعید (۱۳۹۹). ارزیابی ریسک اکولوژیکی عناصر سنگین در رسوبات حاشیه جاده ها در محیط GIS، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۳۳، ۴۳-۱۷.
- موسوی، سیده پریسا؛ مختاری، میرعلی اصغر؛ خسروی، یونس؛ رفیعی، علی و حسین زاده، رضا(۱۳۹۷). بررسی آلودگی زیست محیطی رسوبات آبراهه ای به عناصر سنگین در منطقه زرشوران-آغدره (شمال تکاب)، علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۲(۲)، ۱۲۷-۱۴۱.
- مهری یاری، فاطمه؛ پیرخراطی، حسین؛ فرهادی، خلیل؛ سلطانعلینژاد، نوشین و نقش افکن، فاطمه(۱۳۹۹). ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوب بستر دریاچه و خاکهای سطحی بخش شرقی شهرستان ارومیه با استفاده از شاخص های آلودگی، نشریه علوم آب و خاک، ۲۴(۱)، ۱۳۲-۱۲۱.
- میرباقری، صفورا؛ نادری، مهدی؛ صالحی، محمد حسن و جهانگرد، محمد(۱۳۹۸). بررسی آلودگی خاک و رسوبات بادی به برخی از فلزات سنگین در دشت شهرکرد، نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، سال ۲۳(۳)، ۳۳۹-۳۲۷.
- میرزایی، مژگان و سلگی، عیسی (۱۳۹۴). بررسی غلظت فلزات سنگین (کادمیوم، مس، منگنز، نیکل، سرب و روی) در رسوبات رودخانه زاینده رود، پژوهش در بهداشت محیط، ۱(۴)، ۲۶۵-۲۵۱.
- نادری خوراسگانی، مهدی؛ آذربیک، طاهره و محمدی، جهانگرد(۱۴۰۲). عوامل مؤثر بر پهنه بندی آلودگی خاک به فلزات سنگین در دشت سیرجان- استان کرمان، نشریه :علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، دوره: ۳۷(۳)، ۱۶۵-۱۷۷.
- نوروزی فرد، پریسا؛ مرتضوی، ثمر؛ اسد، صدیقه و حسن زاده، نسرین(۱۳۹۸). برآورد سمیت و خطر بوم شناختی عناصر سمی با استفاده از شاخص های زیستی در رسوبات ساحلی شمال خلیج فارس در استان هرمزگان، نشریه علمی بوم شناسی آریان، دوره ۹(۲)، ۶۰-۴۶.

REFERENCES

- Abraham, G.M.S. and Parker, R.J.(2008). Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand, *Environ Monit Assess* 136, p. 227-238. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9678-2>
- Abraham, G.M.S.(2005). Holocene sediments of Tamaki Estuary, Characterisation and impact of recent human activity on an urban estuary in in Auckland, New Zealand. Abraham, Ghada M. S.. Identifier: <http://hdl.handle.net/2292/1419>. Issue Date: 2005. Reference: Thesis (PhD--Geology)-University of Auckland.
- Absalon, D., Slesak, B.(2010). The effects of changes in cadmium and lead air pollution on cancer incidence in children. *Science of the Total Environment* 408, 4420-4428. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.06.030>
- Adamo, P., Arenzo, M., Imperato, M., Naimo, D., Nardi, G. and Stanzione, D.(2005). Distribution and partition of heavy metal in surface and sub-surface sediments of Naplescitiy Por, *Chemosphere*, v. 61, p. 800-809. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.04.001>
- Adibi, H., Mazhari, M., Bidoki, S. K., Mahmoodi, M.(2014). The effect of washing and soaking on decreasing heavy metals (Pb, Cd and As) in the rice distributed in Kermanshah in 2011. *Journal of Kermanshah University of Medical Sciences* 17, 628-636. <https://brieflands.com/articles/jkums-74332.pdf>.(in Persian).
- Adomako, D., Nyarko, B., Dampare, B., Serfor-Armah, Y., Osae, S., Fianko, J. and Akaho, H.(2008). Determination of toxic elements in (waters and sediments from River Subin in the) Ashanti Region of Ghana, *Environmental Monitoring Assessment* 141, p. 165- 175. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9885-x>
- Ali Beigi, H., Mirzai, R ., Zamani A., & Mahmoodi, R.(2017). Checking density of heavy metals in surface sediment of Choghakhor lagoon, *career43*, No.1, Pp.149-161.

<https://doi.org/10.22059/JES.2017.62185>.(in Persian).

- Al-Khashman, O. & Shawabkeh, R. A.(2006), "Metals distribution in soils around the cement factory in southern Jordan", *Environmental Pollution*, Vol. 140 (3): 387-394.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.08.023>
- Alloway, B.J. (1990). Heavy Metals in Soil. *John Wiley & Sons, INC.*, New York.
- Al-Rousan, S., Al-Taani, A. and Rashdan, M.(2016). Effects of pollution on the geochemical properties of marine sediments across the fringing reef of Aqaba, Red Sea, *Marine Pollution Bulletin*, In Press, p. 1-9.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.038>
- Barzin, M., Kheirabadi, H., & Afyuni, M. (2015). An investigation into pollution of selected heavy metals of surface soils in hamadan province using pollution index. *water and soil science (journal of science and technology of agriculture and natural resources)*, 19(72), 69-79. <https://doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.19.72.7>.(in persian).
- Blaser P., Zimmermann S., Luster J., Shotyk W.(2000). Critical examination of trace element enrichments and depletions in soils, As, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn, in Swiss forest soils, *Sci. Total Environ.* 249 , 257-280.
[https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00522-7](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00522-7)
- Bowen, H.J.M.(1979). Environmental Chemistry of the Elements, *Academic Press*, New York, 1979.
- Bradl, H. B.(2005) Heavy elements in environment, *Elsevier Ltd*, Vol, 62, pp 83.
- Brady, J.P., Ayoko, G.A., Martens, W.N., Goonetilleke, A.(2015). Development of a hybrid pollution index for heavy metals in marine and estuarine sediments. *Environmental Monitoring and Assessment* 187, 306.
<https://doi.org/10.1007/s10661-015-4563-x>. Epub 2015 Apr 30.
- Chaoyang W., Cheng W. and Linsheng Y. (2009). Characterizing spatial distribution and sources of heavy metals in the soils from mining-smelting activities in Shuikoushan, Hunan Province, China. *Journal of Environmental Sciences*, 21:1230–1236. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62409-2](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62409-2)
- Chen, C., Kao, C., Chen, F. and Dong, D.(2007). Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan, *Chemosphere*, v. 66, p. 1431-1440.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.09.030>
- Dahrazma, B., Azarpaykan, A & Sayyarreh, A.(2014). Evaluation of heavy metals pollution in abandoned lead area soil, Rooy Ai Ghale Si, south east of Takab, *engineering geology and environment, year 24th*, No.94, Pp.129-138. <https://www.sid.ir/paper/32613/fa#downloadbottom>. (in Persian).
- Facchinelli, A., Sacchi, E., Mallen, L. (2001). Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environ. Pollut.*, 114(3): 313-324. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(00\)00243-8](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00243-8)
- Febles González, J. M. AmaralSobrinho, N. Pérez López, Y. Zoffoli,J.H. LimaMagalhães, M.O. Guedes,N.(2014). Relation among the processes of erosion-sedimentation-pollution insoils from the Distrito Pecuário “Alturas de Nazareno”, Cuba, *Cuban Journal of Agricultural Science*, Volume 48, Number 2.,PP.173-179. URL: <http://cjascience.com/index.php/CJAS/article/view/478/445>
- Geravand, M., Ghasemi, H & Hafezi Moghaddas, N.(2012). Geochemical and environmental evaluation of heavy metals in soils from Gorgan’s schist rocks, *journal of earth sciences*, 22(86), Pp.35-46.
<https://doi.org/10.22071/gsj.2012.54055>.(in Persian).
- Ghadimi, F.(2020).Evaluation of heavy metals pollution in sediments of Mighan lagoon using pollution indexes, *stratigraphy and sedimentology research* ,in 36th year, consecutive No.8, first number, Pp.19-37 . <https://doi.org/10.22108/JSSR.2019.119776.1124>.(in Persian).
- Gognou C, Fisher NS. (1997). The bioavailability of sediment bound Cd, Co, and Ag to the mussel *Mytilus edulis*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54(1):147-56. <https://doi.org/10.1139/f96-256>.
- Gu, J.G., Lin, Q.Q., Hu, R., Zhuge, Y.P., and Zhou, Q.X.(2005). Translation behavior of heavy metals in soil-plant system - a case study of Qingchengzi Pb-Zn mine in Liaoning province. *Journal of Agro-Environment Science*, 4, 634-637.
- Habes, G. & Nigem, Y.(2006). Assessing Mn, Fe, Cu, Zn, and Cd pollution in bottom sediments of Wadi Al-Arab Dam, Jordan. *Chemosphere* ,65, 2114–2121. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.06.043>
- Hakanson, L.(1980). An ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach, *Water Research*, v. 14, p. 975-1001. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8)
- Hernandez, L., Probst, A. and Probst, J.L.(2003). Heavy metal distribution in some French forest soil, evidence for atmospheric contamination, *Science of the Total Environment*, 312:195-219.
[https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(03\)00223-7](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(03)00223-7)



- Joreskog, k. (1994). On the Estimation of Polychoric Correlations and their Asymptotic Covariance Matrix. *GPpsychometrika*. Vol.59(3). Pp. 381-389 Davis, J.C., 1986. <https://doi.org/10.1007/BF02296131>.
- Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. (2001). Trace elements in soils and plants: CRC Press, *Boca Raton*, 413 p.
- Kabirifard, H., Sheikhhinejad, E & Masumi, M.(2012).Assessment of the amount of heavy metals pollution {iron, zinc, lead and nickel} in surface waters, cultivated soil and veggie in Pishva City, *marine science and technology research magazine*, Pp.1-12. <https://sanad.iau.ir/fa/Article/\055261?FullText=FullText> in Persian).
- Kamzati LLJ. Kaonga CC. Mapoma HWT. Thulu FG. Abdel-dayem SM. Anifowose AJ. Chidya RCG. Chitete-Mawenda U. and Sakugawa H. (2019). Heavy metals in water, sediment, fish and associated risks from an endorheic lake located in Southern Africa, *International Journal of Environmental Science and Technology*, First Online: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-019-02464-7>. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02464-7>
- Li, M.S., Luo, Y.P. and Su, Z.Y.(2007). Heavy metal concentrations in soils and plant accumulation in a restored manganese mine land in Guangxi, South China, *Environmental Pollution*, v. 147, p. 168-175. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.08.006>
- Li, Y.; Zhou, H.; Gao, B. & Xu, D. 2021. Improved enrichment factor model for correcting and predicting the evaluation of heavy metals in sediments. *Science of The Total Environment*, 755(1): 142437. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142437>
- Loska, K. and D. Wiechula. (2003). Application of principal component analysis for the estimation of source heavy metal contamination in surface sediments from Rybnik Reservoir. *Chemosphere* 51: 723-733. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00187-5](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00187-5)
- Loska, K., Chebual, J., Pleczar, J., Wiechla, D. and Kwapulinski, J. (1997). Use of environment and contamination factors togheder withgeoaccumulation indexes to elevate the content of Cd, Cu and Ni in the Rybink water reservoir in Poland” *Water, Air and Soil pollution*, v. 93, p. 347-365. <https://doi.org/10.1007/BF02404766>
- Lu, X., Wang, L., Lei, K., Huang, J. & Zhai, Y.(2009). Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China, *Journal of Hazardous Material*, Vol. 161 (2-3), pp: 1058- 1562. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.052>
- Lu, Y., Z. Gong, and G. Zhang. (2003). The Chemical Speciation of Heavy Metals of Urban Soil in NanJing: *Envir. Chem*, 22: 132-138. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00079-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00079-X)
- Mapanda, F., Mangwayana, E.N., Nyamangara, J., Giller, K.E. (2007). Uptake of heavy metals by vegetables irrigated using wastewater and the subsequent trisks in Harare, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, 32: 1399-1405. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2007.07.046>
- Meade MS, Emch M.(2005). Medical geography. New York, NY: *Guilford Press*
- Mehri Yari, F., Pirkharati, H., Farhadi, K., SultanAlinejad, N., & Naghsafkan, F.(2020). Evaluation of heavy metals pollution in sediment of the bed lake and surface soils of eastern part of Urumia City using pollution indexes, *journal of soil and water sciences*, 24(1), Pp.121-132. <https://doi.org/10.47176/jwss.24.1.40561>.(in Persian).
- Miller, N., Miller,C.(2000), Statistics and chemometrics for analytical chemistry, Pearson Education, Englewood Cliffs, *New Jersey*, pp. 288.
- MirBagheri,S., Naderi, M., Salehi, M.H., & Jahangard, M.(2019). Checking soil pollution and wind sediments to some of heavy metals in Shahr-Kord plain, *Journal of water and soil sciences (agricultural sciences and technology and natural resources)* 23(1). <https://doi.org/10.47176/jwss.23.3.39021> (in Persian).
- Mirzaei, M., Solgi, e. (2014). Evaluation of heavy metals concentration (cadmium, copper, manganese), *Research in environmental health*,1(4): 251-265. <https://doi.org/10.22038/jreh.2016.6584>. (in Persian).
- Mokaram, M & Negahban, S.(2020). Evaluation of ecological heavy elements risk in roadside sediments in GIS environment, *geography and environmental hazards*, No.33, Pp.17-43. <https://doi.org/10.22067/GEO.V9I1.85784>.(in Persian).
- Mortazavi, S and Hatami Manesh, M. (2018). Determination of Heavy Metals Pollution Load Index in Sediments and Aquatic Plant (*Nasturtium microphyllum*) in Bashar River, Yasuj, *Journal of Environmental Health Engineering*, Winter, 5(2) 172-157. <https://doi.org/10.29252/jehe.5.2.157> (in Persian).
- Motamedi Rad, M., Bahrami.Sh. (2022). Analyzing the rate of concentration and pollution of heavy metals of

- sediments (case study: Gelian catchment in North Khorasan province). *Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas*, 3(10), 57-81. (in Persian).
- Muller, G.(1979). Schwermetalle in den sedimenten des Rheins Veranderungenseit 1971, *Umschau*, 79(24):778-783..
- Musavi, S.P., Mokhtari, M.A. A., Khosravi, Y. Rafiee, A., & Hosseinzadeh, R.(2018). Checking environmental water way sediments pollution due to heavy metals in Zarshooran-Aghdarreh (North of Takab). *Water and soil sciences (Agricultural Science and Technology and Natural Resources)*, 22(2), Pp.127-141. [https://doi.org/ 10.29252/jstnar.22.2.127](https://doi.org/10.29252/jstnar.22.2.127).(in Persian).
- Naderi Khorasgani M. Azarbeig T. Mohammadi j. (2023). Assessment of Effective Factors on Soil Pollution by Heavy Metals in a Part of Sirjan Plain, Kerman Province, Iran, *Journal: Journal of Water and Soil Science* ,27(3), Page(s): 165-177. [https://doi.org/ 10.47176/jwss.27.3.32201](https://doi.org/10.47176/jwss.27.3.32201).(in Persian).
- Nasralla, M.M.(1984). Lead in Jaddah urban dust, Environment Pollution Series B, *Chemical and Physical*, v. 8(2), p. 133-141. [https://doi.org/10.1016/0143-148X\(84\)90023-5](https://doi.org/10.1016/0143-148X(84)90023-5)
- Nethaji, S., Kalaiivanan, R., Viswam, A. and Jayaprakash, M.(2016). Geochemical assessment of heavy metals pollution in surface sediments of Vellar and Coleroon estuaries, southeast coast of India, *Marine Pollution Bulletin*, In Press, p. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.11.045>
- Nikolaidis, Ch., Zafiriadis, I., Mathioudakis, V. and Constantinidis, Th.(2010). Heavy metal pollution Associated with an abandoned Lead-Zinc mine in the Kirki Region, NE Greece, *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 85(3): 307-312. <https://doi.org/10.1007/s00128-010-0079-9>
- NorouziFard, P., Mortazavi, S., Asad, S., & HasanZadeh, N.(2017). Estimation of toxicity and ecological danger of toxic elements using biological indexes in coastal sediments in the north of the Persian Gulf inHormozganProvince, *Journal of Aquatic Ecology* ,volume9,NO.2,Pp.46-60.<https://doi.org/20.1001.1.23222751.1398.9.2.5.6> (in Persian).
- PoorKhabaz, H.R., Javanmardi, S., Yousefnia, H., Asalemi, M., Macroni, S & Aghdar, H.(2016). Enviromental evaluation of heavy metals in the soils pollution around Behbahan cement factory, *geography and environmental planning*, 27(3), consecutive 63, Pp.87-105. [https://doi.org/.](https://doi.org/)(in Persian).
- Rajeshkumar S, Li X. Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. *Toxicol.* 5: 288-295. [https://doi.org/ 10.22108/GEP.2017.97971](https://doi.org/10.22108/GEP.2017.97971).(in persian).
- Rastmanesh, F., Hasna, Z., Zarasvandi, A.(2019). Enrichment, origin, and health risks of heavy metals in rice farms, case study: Ahwaz and Bavi counties. *Advanced Applied Geology* 9, 75-84. [https://doi.org/ 10.22055/AAG.2019.28395.1935](https://doi.org/10.22055/AAG.2019.28395.1935).(in Persian).
- Razzazi Borujeni, Kh.(2009). Checking resources of soil and water pollution by heavy metals in Hashtrood city with attitude for Arsenic and its environmental effects, Masters thesis, faculty of basic sciences, Tehran Teaching University, Pp 292.(in Persian).
- Rey, R., Fierros, D., Barral, M.(2009), Normalization strategies for river bed sediments: a graphical approach. *Microchemical Journal* ,91(2), 253-265. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2008.12.004>
- Rivera C. Quiroga Ed. Meza V. and Pastene M. (2019). Evaluation of water quality and heavy metal concentrations in the Ramsar Wetland El Yali (Central Chile, 33°45'S), *Marine Pollution Bulletin*1(45): 499-507. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.054>
- Salavati, M., Yousefi Mesradashti, Z. (2021). Evaluation of Geochemical Pollution From The Perspective of Environmental Geology In Pole- Rud Stream Sediment -East Of Guilan. *Environmental Research*, 12(24):149-158.Dor: 20.1001.1.20089597.1400.12.24.12.4 (in Persian).
- Sarkar, B.(2002). Heavy metals in environment. *Marcel Dekker*, New York.
- Sharma, R.K., Agrawal, M. and Marshall, F.(2007). Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 66, p. 258-266. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.11.007>.
- Shayestefar, M.R., & Rezai, A.(2013). The study of environmental behavior and the investigation of heavy metals distribution in the soils of the Sarcheshmeh copper mine area of Kerman, *engineering of mine magazine*(8)18, Pp.13-21. Dor: 20.1001.1.17357616.1392.8.18.2.3.(in Persian).
- Sheng-Gao, L.U., Shi-Qiang, B.A., & Li-Xia, F.U. (2008). Magnetic properties as indicators of Cu and Zn contamination in soils. *Pedosphere*. 1;18(4):479-85. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(08\)60038-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(08)60038-7).
- Siahati Ardakani, Gh. R.,mirsanjari, M.M., Azimzadeh, H.R & Salagi, E.(2016) Evaluation of ecological heavy metals risk in surface soil around the main industries in Ardakan city, *Tolooe Behdasht*, 17(6(Mosalsal72), Pp. 95-110. [https://doi.org/ 10.18502/tbj.v17i6.501](https://doi.org/10.18502/tbj.v17i6.501).(in Persian).



- Skrbic, B. and Mladenovic, N. (2010). Chemometric interpretation of heavy metal patterns in soils worldwide, *Chemosphere*, v. 80, p. 1360-1369. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.06.010>
- Sommers, L.E. (1977). Chemical composition of sewage sludge and analysis their potential use as fertilizer, *Journal of Environmental Quality*, v. 6, p. 225-231. <https://doi.org/10.2134/jeq1977.00472425000600020026x>.
- Teng, Y., Huang, and J. Lon. (2002). Studies on soil enzymatic activities in areas contaminated by tailings from Pb, Zn, and Ag mine. *China Environ Sci*, 22: 551-555
- Turekian, K. K., and Wedepohl, K. H. (1961). Distribution of the elements in some major units of the earth's crust, *Bulletin of Geological Society of America*. 72 ,175-92. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1961\)72\[175:DOTAIS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1961)72[175:DOTAIS]2.0.CO;2)
- Wang, Q., Wang H., Gu, X., Bao, K., Yang, P., Yu, X., Zhang, J., Mao, F., Zhang, J., Wang, J. (2024). Heavy metal pollution in the nearshore surface sediments north of the Shandong Peninsula and the Western Miao Islands, China, *Regional Studies in Marine Science*, Volume 73, July 2024, 103448. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103448>
- Yalcin, M.G., Battaloglu, R., and Ilhan, S. (2007). Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey. *Environmental Geology*, 53(2): 399-415. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0655-4>
- Yan, F., Qian, Y., Chen, Y., Zhao, L., Xiao, X. (۲۰۱۹). Stochastic potential ecological risk model for heavy metal contamination in sediment., *Ecological Indicators*, Volume 102, Pages 246-251. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.040>.
- Yavar Ashayeri, N., Keshavarzi, B. (2019). Geochemical characteristics, partitioning, quantitative source apportionment, and ecological and health risk of heavy metals in sediments and water: A case study in Shadegan Wetland, Iran. *Marine Pollution Bulletin* 149, 110495. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110495>
- Ye C., Li S., Zhang Y., Zhang Q. (2011). Assessing soil heavy metal pollution in the water-level-fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir, China, *Journal Hazard*. 191, 366-372. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.04.090>.
- Zein Al Dini, Z., Karami, M., Fatemi Ghomshe, A., Shekari, P. & Hamed, F. (2016). Checking Cadmium elements pollution potential, lead and Nickel in the downstream soil of Kermanshah waste accumulation due to pollution evaluation criterion, *agricultural engineering (scientific Journal of agriculture)*, volume 93, No.2, Pp. 55-68. <https://doi.org/10.22055/agen.2017.12604>. (in Persian).
- Zhang Q, Shi XZ, Huang B, Yu DS, Wang HJ and Sinclair FL. (2007). Surface water quality of factory based and vegetable based peri-urban areas in the Yangtze River Delta region, China, *Catena* 69: 57-64. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.04.012>
- Zhang, H., Jiang, Y., Ding, M., Xie, Z. (2017). Level, source identification, and risk analysis of heavy metal in surface sediments from river-lake ecosystems in the Poyang Lake, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 21902-21916. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9855-y>