

Research Paper



Evaluation of Heavy Metals Concentration in Gamasiab River Sediments with Interpolation Model in GIS



Maryam Ebrahimian Najafabadi¹, Alireza Ildoromi^{2*}, Samar Mortazavi³, Ebrahim mohammadimanesh⁴



This paper is an open access and licenced under the CC BY NC licence.



DOI: 10.22034/GP.2023.14307

Reference to this article: Ebrahimian, M; Ildormi, A; Mortazavi, S; Mohammadimanesh, E; Evaluation of Heavy Metals Concentration in Gamasiab River Sediments with Interpolation Model in GIS. *Geography and Planning*, 27(83): 1-11.

Keywords

Gamasiab river,
interpolating, Igeo
Index, RI,
Heavymetals, GIS

Received: 2021/12/12

Accepted: 2022/02/23

Available: 2023/00/00

ABSTRACT

Today, one of the most important environmental problems around the world, especially in aquatic ecosystems, is heavy metals pollution. since sediments are the main source of heavy metals, in this study, Gamasiab River sediments were evaluated for heavy metal contamination of chromium, copper, nickel, zinc, iron and manganese. After layering, the results were interpolated by two methods of kriging and Inverse Distance. Moller Index, Ecological risk Index and numerical parameters were used to assess the range of sediment pollution. Results of Moller index in spring showed no pollution. Also, in summer it represented no pollution for all metals except Ni. Results of RI categorized level of Heavy metal concentration in low contamination. Using RI plans, zoning plans and Hot Spot analysis indicated that the concentration of heavy metals in the east of Gamasiab river in spring is higher than summer and it is shown that spots with high concentration in summer are located in the west of Gamasiab river.

* **Corresponding Author:** Alireza Ildoromi

E-mail: ildoromi@gmail.com

1. PhD student in Environment, Department of environment, faculty of Natural resources and environment, Malayer University, Malayer, Iran.

2. Professor, Department of Natur Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Iran.

4. Assistant Professor, Department of Physics, Faculty of Basic Sciences Malayer University, Iran.

Extended Abstract

Introduction

Today, one of the most important environmental problems, especially aqueous ecosystems, is caused by heavy metals. Although some of these metals serve as nutrients, their high concentration in the food chain can cause environmental toxicity and jeopardize aqueous ecosystems and creatures as a whole (Shanbehzadeh et al. 2014). Sediments are inseparable parts of aqueous ecosystems (Madadi et al. 2021), which mainly serve as the final reservoirs of accumulated toxic metals in coastal environments (Mohammed Yari et al. 2016). The accuracy and quality of a study of rivers are due to the very low concentration of heavy metals in water. Therefore, the high concentration of elements in sediments can be used to increase the accuracy and quality of the results (Haghshenas et al. 2017). This study examined the sediments of the Gamasiab River for contamination with such heavy metals as chromium, copper, nickel, zinc, iron, and manganese.

Data and Method

To investigate the level of the sedimentary contamination of the Gamasiab River, 15 stations in the studied area were selected, and from each station, 3 sample sediments were taken during two high-precipitation (spring) and low-precipitation (summer) seasons. After the result analyses, the beds were interpolated using two Kriging and Inverse Distance Weighting (IDW) methods. Then, the validity of the two methods was examined by calculating the RMSE and MAE. Also, Muller's geochemical index, ecological risk, and statistical analyses were used to measure the contamination of heavy metals in the Gamasiab River sediments. Meanwhile, a zoning map and a Hot Spot analysis were provided to identify points with higher concentrations.

Results and Discussion

To examine the validity of the two methods of Kriging and Inverse Distance Weighting, RMSE, and MAE values were computed, with the Inverse Distance Weighting method outperforming the Kriging method. The results of Muller's geochemical index computation in spring indicated that the contamination of the sediments of the Gamasiab River with such elements as Chrome, copper, nickel, zinc, iron, and magnesium fell under the zero-contamination degree and in the non-contamination category; meanwhile, the sediments fell under the zero-contamination degree or the non-contamination category, except for the nickel metal-induced contamination. In all stations except for Station 14, the Nickel-metal fell under the 1-degree contamination in the non-to-medium-contamination category. The results of the ecological risk index suggested that this value varied from 4.7 to 8.16 in springs and 6.16 to 18.2 in summers. In total, the value of this index was found to be 6.26 in springs and 14.9 in summers, indicating that the Gamasiab River fell under the low-ecological risk category in terms of heavy metal concentration. Also, the zoning map of the ecological risk index suggested that in springs, all regions, except for the areas around Stations 3 and 4, held high contamination. Thus, contamination in the eastern part can be attributed to high precipitation and the surface washing of agricultural land, while contamination in the western parts can be due to the high accumulation of urban, industrial, and agricultural centers. In summers, more contamination is seen in the western parts due to stagnant flows and the accumulated industrial, residential, and urban land use. The results of the zoning map and Hot Spot analyses in springs indicated that in springs, points with high chromium and nickel concentration were in the eastern part of the river sediments, while points with high manganese concentrations were in the western part of the river. In summers, concerning all elements except for chromium, points with higher concentration and warning thresholds were in the western part of the river sediments.

Conclusion

The findings revealed that the indices provided an acceptable evaluation of the possible contamination of sediments with heavy metals. According to the results, the sediments of the eastern regions in springs and those of the western regions in summers had inappropriate qualitative status compared to other points of the river. Higher concentrations of copper and nickel in summers, compared to their values in the earth's crust, indicated the effects of human activities and the accumulation of heavy metals. In sum, the findings showed that the conditions in the region, including the entrance of urban, rural, and industrial wastewater, agricultural land drains, and the establishment of a cement factory and a slaughterhouse, in addition to natural conditions in the region, could cause sedimentary contamination. Thus, special measures need to be taken to manage contaminating sources that enter this river and to control and prevent the contamination load, especially in summers.

References

- Aghdar.H., amohammadyari, F., Basiri, R., (2016), Evaluation Groundwater quality parameters using GIS and Geostatistics (Case Study: Mehran Plain and Dehloran Ilam).69(3):566-597, In Persian.
- Ahmad, W., Alharthy, R. D., Zubair, M., Ahmed, M., Hameed, A., & Rafique, S. (2021). Toxic and heavy metals contamination assessment in soil and water to evaluate human health risk. *Scientific reports*, 11(1), 1-12.
- Ahmadali, Kh., S. Nickmehr., and A. Liaghat. (2008). Evaluation of kriging and cokriging methods for the estimation of deep soil acidity and salinity (case study: plains of Bokan), *Iranian Journal of Water Research* 2: pp: 55-64.
- Akpan, I. O, Thompson, E. A, (2013), Assessment of heavy metal contamination of sediments along the cross-river channel in Cross River state (Nigeria), *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology And Food Technology (IOSR-JESTFT)*, Volume 2, Issue 5, PP 20-28.
- Al-Yamini, MN., Sher.H., El-Sheikh, MA., Eid, EM, (2011) Bioaccumulation of nutrient and heavy metal by *Calotropis Procera* and *Citrullus colocynthis* and their potential use as contamination indicator, *Academic Journals*, Volume 6, Issue 4, PP 966-976.
- Ansarinia, F., Sadeghinia, M., Ghanei, M., Iranmanesh, Yaghoob, (2021), Assessment of Heavy metal pollution in Gandoman wetland sediments, *Journal of Wetland ecobiology*, 13(1)35-50, In Persian.
- Azhdari, Z., Hoseini, Z., (2015), Spatial variations of groundwater quality parameters using geostatistics (Case study: Segsi Plain, Isfahan), *Journal of Environmental Science and Technology*, 20(3):63-80. In Persian.
- Balakrishnan, A., Ramu, A., Murugesan, A. (2013). Spatial distribution of heavy metal concentration in groundwater in and around palk strait sea shore area using GIS techniques, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2(12): 7650-7656.
- Bayati, F., Modaberi, S., Lak, R., Saeidi, M., (2012), Environmental assessment of potentially toxic metals in sediments of the northwestern bed of the Persian Gulf (Bushehr province), 31th conference of Geosciences Conference, Geological Survey of Iran, p.10.In Persian.
- Chandrasekaran, A., Mukesh, M.V., Anantharaman, P., Tamilselvi, M., Muthukumarasamy, R., Manivel, T., Rajmohan, R. (2013). Trace Metal Concentration in Sediments of Tamirabarani River in relationships with physico chemical characteristics -a study using GIS application, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 3(2): 9-15.
- Choopani, S., Rezaei P, (2020), Evaluation of consumption and distribution of heavy metals in the sediments of Karun River in range of the fifth bridge to Farsit using geochemical data and statistical analysis. *Bi-Quarterly Journal of Applied Sedimentology*. In Persian.
- Dinpazhooh, Y., (2016), Analysis of chemical water quality trends in rivers of East Azerbaijan province. *Scientific Journal of Geography and Planning*, 20 (55), 105-124. In Persian.
- Ghasemi, S., Zareei, Gh., Ecological risk assessment of heavy metals in coastal sediments of Bandar Abbas, *Environmental Science Studies*.6 (3):3878-89. In Persian.
- Ghezelbash, M., Naseri, F., Karimi, H., Rashedi, E., (2016), - Comparison of KRIGING and IDW interpolation methods to evaluate groundwater quality parameters in relation to agricultural use using GIS (Case study: central and southern areas of Kalaleh city, Golestan province), 5th National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources. In Persian.
- Hakanson, L. (1980), Ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach, *Water Research*, 14, 975–1001.
- Hamzehnezhad, R., Khodaverdiloo, H., (2021), Quantitative Assessment of Heavy Metal Contamination in Soil, *Applied Soil Research* 52-37: (2) 8. In Persian.
- Jabbari, I., (2013), effect of land use in water quality of Alvand River in Kermanshah, *Journal of Geography and planning*.17 (44) 73-93. In Persian.
- Jamshidi Zanjani, A., Saeedi, M., (2013). Evaluation of pollution and qualitative zoning of surface sediments of Anzali wetland based on the results of heavy metal pollution measurement indicators, *Journal of Environmental Science*, 170-117: (4) 39. In Persian.
- Jie Fu, Changpo Zhao, Yupeng Luo, Chunsheng Liu, George Z. Kyzas, Yin Luo, DongyeZhao, Shuqing An, Hailiang Zhu. (2014), Heavy metals in surface sediments of the Jialu River, China: Their relations to environmental factors, *Journal of Hazardous Materials*, Volume 270, Pages 102-109.

- Kosej N, Jafarian, H.; Rahmani, A., (2020) .Evaluation of heavy metal pollution and investigation of the source of environmental pollution of sediments in Qeshm, Bandar Khumir and Bandar Raft areas of Hormozgan province in the Persian Gulf, Fisheries Science and Technology, (2): 10.151-163, In Persian.
- Liu, K., Li, C., Tang, S., Shang, G., Yu, F., & Li, Y. (2020), Heavy metal concentration, potential ecological risk assessment and enzyme activity in soils affected by a lead-zinc tailing spill in Guangxi, China, Chemosphere, 251, 126415
- Madrid, F., M., Biasioli, F., Ajmone-Marsan. (2008), Availability and Bioaccessibility of Metals in Fine Particles of Some Urban Soils, Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 55, 21-32.
- Makram, am., Negahban, S., (2020). Ecological risk assessment of heavy elements in roadside sediments in GIS environment. , Geography and environmental hazards. 9(1):17-43. In Persian.
- Mirmousavi, H., Mirian, M., (2011). Application of Geostatistical Methods in Spatial Distribution Studies of Precipitation (Case Study: Kerman Province), Scientific Journal of Geography and Planning, 16 (38), 153-178. In Persian.
- Muller, G. (1979), Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River, Geological Journal 2, 109-118,
- Nadiri, A., Shakur, S., Asghari Moghadam, A., Vediati, M., (2016). Evaluation of various interpolation methods to estimate nitrate pollution in groundwater resources (Case study: Bilordi plain, East Azerbaijan province), hydrogeomorphology, 1 (1) 71-92. In Persian.
- Nowruz Fard, P., Mortazavi.S., Asad, S., Hassanzadeh, N., (2018). Evaluation of Qeshm Island coastal sediment contamination with Cu, Pb, Zn, Cd, Ni, Cr elements using sediment quality indices. Journal of Health and Environment, 11(3) :433-448. In Persian.
- Price, E.B., N. Kabengi, and S.T. Goldstein (2019), Effects of heavy-metal contaminants (Cd, Pb, Zn) on benthic foraminiferal assemblages grown from propagules, Sapelo Island, Georgia (USA). Marine Micropaleontology, 147: p. 1-11.
- Rahmani, M., Azari, T., Molaaghajanzadeh, S., (2021), Effects of Heavy Metal Contamination Caused by Residual Leachate on Forest Soil in Babol Anjilsi Region, Iran.Journal of Geographical Research 42-31: (1) 35. In Persian.
- Saiful Islam, M.d M.d Kawser Ahmed, M KamrulIslam, M.d Habibullah -Al- Mamun, M KamrulIslam, (2015), Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country, Ecological Indicators, 48: 282-291.
- Saleh, M., Rezaei, M., Shakeri, A., Jahandari, A., (2016). Evaluation of Heavy Metal Contamination in Surface Sediments of Gamasiab Nahavand River, Environmental Geology Quarterly (39):11, 71-84. In Persian.
- Selvam, S., Venkatramanan, S., Singaraja, C. (2015), A GIS-based assessment of water quality pollution indices for heavy metal contamination in Tuticorin Corporation, Tamilnadu, India, Arabian Journal of Geosciences. 8(12): 10611-10623.
- Sharma, N., Sodhi, K. K., Kumar, M., & Singh, D. K. (2021). Heavy metal pollution: Insights into chromium eco-toxicity and recent advancement in its remediation. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, 15, 100388.
- Sobhan Ardakani, S., Jamshidi, K., Niazi, A., (2015). Evaluation of concentrations of iron, lead, cadmium and copper in sediment using Müller geochemical index (Case study: Miqan wetland) 6(20):67-78. In Persian.
- ThanhVu, Ch. Lin, Ch. Shern, Ch. Yeh, G. Giang Le, V. Tran, H. (2017). apportionment of heavy metals in sediments and water of a contaminated river in Taiwan. Ecological Indicators. Volume 82, Pages 32-42
- Venkatramanan, S.T. Ramkumar, S. Vasudevan, (2014), Heavy metal distribution in surface sediments of the Tirumalairajan river estuary and the surrounding coastal area, east coast of India, Arabian Journal of Geosciences, Volume 7, Issue 1, pp 123–130.
- Webster, R. Oliver, M.A., (2000), Geostatistics for environmental scientists, Wiley press, p. 271
- Yonghang Xu, Qinqin Sun, Liang Yi, Xijie Yin, Aijun Wang, Yunhai Li, JianChen, (2014), The source of natural and anthropogenic heavy metals in the sediments of the Minjiang River Estuary (SE China): Implications for historical pollution) ,Science of The Total Environment, Volume 493, Pages 729-736.
- Yousefi, M., Agah, H., Taghavi, L., (2020). Investigation of the concentration of heavy metals in the sediments of Chabahar region between Pazm and Ramin, Darya-e-Fonun Scientific Quarterly.19(7). In Persian.

مقاله پژوهشی



ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه گاماسیاب با استفاده از روش درون‌یابی در GIS



مریم ابراهیمیان نجف‌آبادی^۱، علیرضا ایلدرمی^{۲*}، ثمر مرتضوی^۳، ابراهیم محمدی‌منش^۴



این مقاله به صورت دسترسی باز و با لایسنس CC BY NC کرییتیو کامنز قابل استفاده است.



ارجاع به این مقاله: ابراهیمیان نجف‌آبادی، مریم؛ ایلدرمی، علیرضا؛ مرتضوی، ثمر؛ محمدی‌منش، ابراهیم؛ ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه گاماسیاب با استفاده از روش درون‌یابی در GIS. نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۷ (۸۳): ۱-۱۱.

DOI: 10.22034/GP.2023.14307



چکیده

امروزه یکی از مهم‌ترین مشکلات جهانی محیط‌زیست بخصوص در اکوسیستم‌های آبی، آلودگی ناشی از فلزات سنگین است. با توجه به این‌که رسوبات منبع اصلی برای ذخیره‌ی فلزات سنگین می‌باشند، در این مطالعه رسوبات رودخانه گاماسیاب از نظر آلودگی به فلزات سنگین کروم، مس، نیکل، روی، آهن و منگنز مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از لایه‌بندی، نتایج در جی‌آی‌اس، با دو روش کریجینگ و فاصله‌یابی وزنی معکوس، نقاط درون‌یابی شدند که نتایج حاصل، برتری روش فاصله‌یابی وزنی معکوس را نشان داد. از شاخص ژئوشیمیایی مولر، ریسک اکولوژیکی و آنالیزهای آماری برای سنجش وضعیت آلودگی فلزات سنگین در رسوبات استفاده شد. نتایج محاسبه شاخص ژئوشیمیایی مولر بیانگر آن بود که در فصل بهار رسوبات رودخانه گاماسیاب از نظر آلودگی به تمام عناصر در طبقه غیر آلوده و در فصل تابستان از نظر آلودگی به تمام فلزات به‌جز فلز نیکل در طبقه غیر آلوده قرار دارند. نتایج شاخص ریسک اکولوژیک نشان داد که رودخانه گاماسیاب از نظر غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در طبقه ریسک اکولوژیکی کم قرار می‌گیرد. بررسی نقشه پهنه‌بندی شاخص ریسک اکولوژیک و نقشه پهنه‌بندی و آنالیز نقاط داغ نشان می‌دهد که در فصل بهار نقاط با آلودگی بالا در بخش شرقی رسوبات رودخانه و در فصل تابستان در بخش غربی متمرکز شده‌اند.

کلیدواژه‌ها

رودخانه گاماسیاب، درون‌یابی، شاخص ژئوشیمیایی مولر، ریسک اکولوژیک، فلزات سنگین

دریافت شده: ۱۴۰۰/۰۹/۲۱

پذیرفته شده: ۱۴۰۰/۱۲/۰۴

منتشر شده: ۱۴۰۲/۰۲/۰۱

* نویسنده مسئول: علیرضا ایلدرمی

رایانامه: ildoromi@gmail.com

۱. دکتری محیط زیست، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

۲. استادگروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ایران.

۳. استادیارگروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ایران.

۴. دانشیار گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ملایر، ایران.

مقدمه

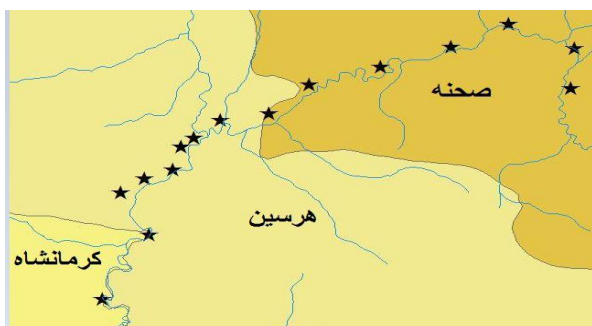
امروزه بشر به‌منظور داشتن زندگی بهتر مشکلات بسیاری را برای محیط‌زیست به وجود آورده است (دین پڑوه، ۱۳۹۵)، چنانچه آلودگی اکوسیستم‌های آبی ازجمله دریاها و رودخانه‌ها ناشی از فلزات سنگین به یک معضل زیست‌محیطی جدی در سراسر دنیا تبدیل شده است (انصاری نیا و همکاران، ۱۴۰۰). فلزات سنگین از طریق منابع انسانی ازجمله پسماندهای صنعتی، شهری و خانگی، کودهای کشاورزی و سموم دفع آفات و منابع طبیعی مانند رواناب سطحی، فرسایش خاک و نزولات جوی، وارد اکوسیستم‌های آبی می‌شوند (Sharma et al., 2021; Yonghanh et al 2014). اگرچه وجود برخی از این فلزات به‌عنوان مواد مغذی ضروری می‌باشد، اما غلظت زیاد آن‌ها در زنجیره غذایی می‌تواند باعث سمیت و اثرات زیست‌محیطی شود و اکوسیستم‌های آبی و موجودات آن‌ها را به خطر بیندازد (نوروزی فرد و همکاران ۱۳۹۷). در چند سال گذشته با توجه به مشکلات ایجاد شده بر سلامت انسان و محیط‌زیست مطالعه فلزات سنگین در محیط‌های مختلف به یک مسئله نگران‌کننده تبدیل شده است (Liu et al., 2020). ازاین‌رو سنجش وضعیت آلودگی رسوبات محیط‌های آبی، شناسایی دقیق منابع آلودگی و اعمال راهکارهای مدیریتی با توجه به نتایج ارزیابی‌های صورت گرفته به‌منظور کاهش میزان ورود آلاینده‌ها به محیط‌های آبی از اهمیت بیشتری در مقایسه با روش‌های پاک‌سازی برخوردار است (Jie et al., 2014; Al-Yamini et al 2011). رسوبات جزء تفکیک‌ناپذیر اکوسیستم‌های آبی به‌شمار می‌روند (Madrid et al. 2008) که اغلب به‌منزله مخزن نهایی تجمع فلزات سمی در محیط‌زیست‌های ساحلی به‌شمار می‌آیند (محمدیاری و همکاران، ۱۳۹۵). با استفاده از آنالیز رسوب می‌توان میزان آلودگی محیط‌های آبی را با دقت بالاتری به دست آورد (Price et al, 2019). دقت و کیفیت مطالعه رودخانه‌ها به علت غلظت بسیار کم فلزات سنگین در آب پایین است، بنابراین با توجه به غلظت بالای عناصر در رسوب می‌توان از آن‌ها به‌منظور افزایش دقت و کیفیت استفاده نمود (مکرم و همکاران، ۱۳۹۹). به منظور تعیین غلظت فلزات سنگین در آب رودخانه، آنالیز رسوبات رودخانه‌ای یکی از مناسب‌ترین روش‌هایی است که به‌منظور سنجش و نظارت بر آلودگی اکوسیستم‌های آبی می‌توان از آن استفاده کرد (جباری، ۱۳۹۲). برای ارزیابی وضعیت آلودگی خاک، آب و رسوبات به فلزات سنگین و تعیین مناطق آلوده، نمونه‌برداری امری ضروری است (Akpan et al 2013)، اما به دلیل وسعت مکانی و مشکلات مرتبط با نمونه‌های جمع‌آوری‌شده برای تعیین مناطق آلوده و مناطق در معرض آلودگی، استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱ و روش‌های زمین‌آمار^۲ مطلوب است (میرموسوی و همکاران، ۱۳۹۰). در این زمینه مطالعات مختلفی توسط محققان انجام شده است. تانهو و همکاران (۲۰۱۷) غلظت فلزات سنگین (آرسنیک، جیوه، کروم، نیکل، روی، سرب و جیوه) را در رسوبات و نمونه‌های آب جمع‌آوری شده از رودخانه هوجینگ مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. تجزیه و تحلیل شاخص آلودگی و احتمال خطر زیست‌محیطی در آب نشان داد که منشأ فلزات سنگین در رودخانه هوجینگ

شرکت‌هایی، ازجمله آبکاری فلزات، تولید پلاستیک و بسته‌بندی می‌باشد که منشأ آن‌ها صنایعی هستند که در حاشیه رودخانه متمرکز شده‌اند. یوسفی و همکاران (۱۳۹۹) نیز غلظت فلزات سنگین (آلومینیم، آهن، منگنز، کروم، وانادیم، نیکل، روی، آرسنیک، مس، سرب، کبالت و کادمیم) در رسوبات منطقه چاپهار را با استفاده از ضریب آلودگی و فاکتور غنی‌شدگی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد غلظت آرسنیک در رسوبات منطقه مورد مطالعه ۲/۵ تا ۳ بار بیش از حد آستانه این عنصر بود. غلظت‌های کروم، نیکل، کادمیم در کلیه ایستگاه‌ها به ترتیب بین ۲/۵-۱، ۵-۱ و ۴-۱ برابر بیش از حد آستانه در استانداردهای بین‌المللی در رسوبات منطقه تجمع نموده بودند. با توجه به مطالعات متعددی که در این زمینه صورت گرفته است (اقدرد و همکاران، ۱۳۹۵؛ بیاتی و همکاران ۱۳۹۵؛ جمشیدی و همکاران، ۱۳۹۲؛ چوپانی و همکاران ۱۳۹۹؛ حمزه نژاد و همکاران ۱۳۹۲؛ رحمانی و همکاران ۱۴۰۰؛ سبحان اردکانی و همکاران ۱۳۹۳؛ قاسمی و زارعی ۱۴۰۰)، هدف این مطالعه بررسی میزان غلظت فلزات سنگین کروم، مس، نیکل، روی، آهن و منگنز در رسوبات سطحی رودخانه گاماسیاب با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و اصول زمین‌آمار می‌باشد.

روش

منطقه مورد مطالعه

رودخانه گاماسیاب یکی از بزرگ‌ترین رودخانه‌های ایران در استان کرمانشاه و شاخه عمده و اصلی کرخه بوده که تا محل تلاقی با رودخانه قره‌سو به این نام خوانده می‌شود. این رودخانه از چشمه‌های آهکی جنوب شرقی نهند در غرب استان همدان، از سراب گاماسیاب سرچشمه می‌گیرد. گاماسیاب پس از دریافت جریان‌های سطحی دیگر حوضه‌های مجاور نظیر ملایر، تویسرکان و اسدآباد به صحنه در شرق استان کرمانشاه وارد می‌شود و در فرامان کرمانشاه به رود قره‌سو می‌ریزد. این رود پس از عبور از کرمانشاه و لرستان به رود کرخه می‌ریزد و در نهایت به تالاب هورالعظیم وارد می‌شود (صالح و همکاران، ۱۳۹۶).



شکل ۱: موقعیت منطقه مطالعاتی و نقاط نمونه‌برداری

روش تحقیق

جهت انجام این پژوهش از نرم‌افزارهای Arc GIS 10.2 و Spss 17 استفاده شده است. با استفاده از اطلاعات دریافتی از اداره هواشناسی استان کرمانشاه و بررسی میزان بارش دو دهه اخیر در این استان، فصل بهار به عنوان فصل پر بارش و فصل تابستان به عنوان فصل کم بارش معرفی گردید. لذا به منظور بررسی فلزات سنگین در رودخانه گاماسیاب در دو فصل پر بارش و کم بارش، پس از نمونه‌برداری در دو فصل و به دست آوردن نتایج حاصل از آنالیز داده‌های رسوب، غلظت فلزات سنگین کروم، مس، نیکل، روی، آهن و منگنز در آزمایشگاه به دست آمد.

سپس نتایج برای ورود به نرم‌افزار GIS آماده‌سازی شد و در محیط نرم‌افزار، روش‌های مختلف درون‌یابی کریجینگ و کوکریجینگ برای نتایج به دست آمده مورد بررسی قرار گرفت؛ سپس پس از انتخاب بهترین روش درون‌یابی با مقایسه میانگین مطلق اشتباهات و میانگین مجذور مربعات خطا نقشه پهنه‌بندی عناصر ترسیم گردید. در پایان با بررسی شاخص ژئوشیمیایی مولر و با کمک نقشه پهنه‌بندی عناصر، آلوده‌ترین نقاط با کمک آنالیز نقاط داغ^۱ مشخص گردید.

نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها

به منظور بررسی فلزات سنگین (کروم، مس، نیکل، روی، آهن و منگنز) در رسوبات رودخانه گاماسیاب، تعداد ۱۵ ایستگاه انتخاب و از هر ایستگاه ۳ نمونه برداشت گردید. نمونه‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شد تا که حد امکان بتوانند وضعیت آلودگی‌های ناشی از فلزات سنگین و منابع آن‌ها به رودخانه را نشان دهند. این نمونه‌ها در کیسه‌های پلاستیکی مخصوص جمع‌آوری و پس از کدگذاری در کلمن یخ قرار داده به آزمایشگاه منتقل و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تا انجام آزمایش‌ها نگهداری شد. جهت آماده‌سازی نمونه به‌منظور انجام عمل هضم، نمونه‌های رسوب در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. ۲ گرم از هر نمونه خشک شده در لوله‌های هضم ریخته شد و مقدار ۱۲ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵٪ و اسید پرکلریک ۷۰٪ Merck، آلمان با نسبت ۱:۴ به آن اضافه گردید. لوله‌های هضم به مدت یک ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد بر روی هیتر قرار داده شدند و بعد از آن به آرامی دما تا ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت افزایش یافت. محتوای هر لوله از کاغذ صافی واتمن شماره یک عبور داده شد و سپس با آب دیونیزه به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. جهت اطمینان از دقت روش هضم و رفع خطای ناشی از آماده‌سازی نمونه در هر نوبت از عملیات هضم، یک نمونه به‌عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد سپس غلظت فلزات در نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی مدل VA Computrace 797 ساخت شرکت Metrohm کشور سوئیس اندازه‌گیری گردید. در این مرحله غلظت فلزات مورد نظر در نمونه‌های شاهد نیز اندازه‌گیری شد و از مقادیر به دست آمده برای نمونه‌ها کسر گردید که میزان بازیابی نتایج بین ۹۰ تا ۹۷ درصد به دست آمد.

1. Hot Spot
2. Kriging
3. Inverse Distance Weighted

روش‌های درون‌یابی مجموعه‌ای از مدل‌های مختلف ریاضی و آماری را برای پیش‌بینی مقادیر نامعلوم بکار می‌گیرند (ندیری و همکاران، ۱۳۹۴) که در ادامه به روش‌های به‌کار گرفته شده در این پژوهش اشاره شده است.

روش‌های درون‌یابی

روش کریجینگ^۲

روش کریجینگ روش درون‌یابی پیشرفته‌ای است که برای داده‌هایی که دارای روند موضعی تعریف شده‌ای باشند، مناسب است. بهترین تخمین‌گر خطی نااریب است که بر مبنای (میانگین متحرک وزن‌دار) برای داده‌ها، درون‌یابی را انجام می‌دهد (مکرم و نگهبان، ۱۳۹۹). این روش با کمترین واریانس تخمین، درون‌یابی می‌کند و مقادیر یک متغیر را در نقاط نمونه‌برداری نشده به صورت ترکیب خطی از مقادیر همان متغیر در نقاط مختلف در نظر می‌گیرد (Balakrishnan et al 2013) برای انجام روش‌های زمین‌آمار، داده‌های مورد استفاده باید توزیع نرمال فضایی داشته باشند و میانگین و واریانس در مکان تغییر زیادی نداشته باشد (خسروانی و همکاران، ۱۴۰۰).

روش فاصله‌یابی وزنی معکوس^۳

روش فاصله‌یابی معکوس یکی از معمول‌ترین روش‌های میان‌یابی نقاط پراکنده در مکان است که اساس آن بر مبنای این فرضیه است که در یک سطح میان‌یابی، اثر یک پارامتر بر نقاط اطراف یکسان نبوده و نقاط نزدیک بیشتر و نقاط دور کمتر تحت تأثیر هستند و هر چه فاصله از مبدأ افزایش یابد اثر پارامتر کمتر می‌شود (Ahmadi et al., 2008).

ارزیابی صحت روش‌های کریجینگ و فاصله‌یابی وزنی معکوس

یک تخمین‌گر مناسب بایستی دارای خطای میانگین مربعات صفر یا نزدیک به صفر باشد و میانگین مجذور خطای آن حتی‌الامکان حداقل مقدار عددی را داشته باشد (Chandrasekaran et al 2013). هر چه این دو مقدار کوچک‌تر باشند دقت روش بیشتر است در این تحقیق با محاسبه دو آماره میانگین مطلق اشتباهات^۴ و میانگین مجذور مربعات خطا^۵ به مقایسه و ارزیابی صحت دو روش کریجینگ و فاصله‌یابی وزنی معکوس پرداخته شد که به صورت رابطه‌های زیر تعریف می‌شوند (Webster and Oliver, 2000). روشی که در آن اگر اعداد به دست آمده کوچک‌تر باشد مقادیر محاسبه شده توسط مدل و مقادیر واقعی به هم نزدیک‌تر بوده و مدل خطای کمتری دارد (Selvam et al 2015).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{x=0}^n |z(x) - z(x)| \sum_{ysfc.cvkfgt} \sum_{ysfc.cvkfgt} \frac{1}{n} \sum_{x=0}^n |z(x) - z(x)|$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [z(x_i) - \hat{z}(x_i)]^2} \quad (2)$$

4. Mean Absolute Error
5. Root Mean Square Error

$$RI = \sum_{i=1}^m Er \quad (6)$$

$$Er = Tr * Cf \quad (7)$$

$$Cf = Cs / Cn \quad (8)$$

C_n و C_s به ترتیب غلظت فلز سنگین در نمونه و مقدار زمینه است. پتانسیل ریسک اکولوژیکی هر یک از عناصر و RI بیانگر پتانسیل ریسک اکولوژیک کل فلزات (تجمیعی) است. بر اساس رویکرد هاکنسون (۱۹۸۰) Tr به صورت ضریب سمیت تعریف شده که مقادیر آن برای فلزات Pb ، Cu ، Cr و Zn ثابت و به ترتیب ۵، ۵، ۲ و ۱ بیان شده است. طبقه‌بندی نتایج محاسبه شده شاخص ریسک اکولوژیک در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: طبقه‌بندی ریسک اکولوژیک بر مبنای محاسبه RI

مقدار RI	وضعیت ریسک اکولوژیک
$RI < 150$	ریسک اکولوژیکی کم
$150 < RI < 300$	ریسک اکولوژیکی متوسط
$300 < RI < 600$	ریسک اکولوژیکی درخور ملاحظه
$RI > 600$	ریسک اکولوژیکی بسیار زیاد

منبع: (Hakanson, 1980)

شاخص ژئوشیمیایی مولر

به منظور محاسبه شدت آلودگی رسوبات با استفاده از شاخص ژئوشیمیایی مولر از رابطه ۹ و جدول ۲ استفاده شد:

$$Igeo = \log_2[(cn / (1.5 \times Bn))] \quad (9)$$

در این رابطه:

$Igeo$ = شاخص تجمع ژئوشیمیایی (شاخص شدت آلودگی در رسوبات)

Cn = غلظت ماده آلاینده در رسوبات با قطر کمتر از ۶۳ میکرون برحسب

میلی گرم بر کیلوگرم

Bn = غلظت ماده آلاینده در سنگ شیل یا غلظت اولیه عناصر در زمانی که

آلودگی وجود نداشته است برحسب میلی گرم بر کیلوگرم

ضریب ۱/۵ نیز به منظور تصحیح غلظت اولیه رسوبات به دلیل تأثیر عوامل

زمینی اعمال شده است (Muller, 1979).

جدول ۲: طبقه‌بندی کیفیت رسوبات بر اساس شاخص تجمع ژئوشیمیایی مولر

وضعیت آلودگی	درجه آلودگی	مقادیر $Igeo$
غیر آلوده	۰	≤ 0
از غیر آلوده تا آلودگی متوسط	۱	$1-0$
آلودگی متوسط	۲	$2-1$
از آلودگی متوسط تا آلودگی زیاد	۳	$3-2$
آلودگی زیاد	۴	$4-3$
از آلودگی زیاد تا به شدت آلوده	۵	$5-4$
به شدت آلوده	۶	> 5

منبع: (Muller, 1979)

آنالیز Hot spot: این آنالیز نشان‌دهنده خوشه‌بندی مکانی در مناطق نمونه‌برداری می‌باشد. به عبارتی خوشه‌بندی ابزاری برای بصری‌سازی وسعت و مدل خوشه‌بندی‌ها به شمار می‌آید (اژدری و حسینی، ۱۳۹۶). هرگاه دنبال دلایل اصلی تشکیل خوشه‌بندی هستیم توجه به مکان آن‌ها بسیار مهم است. با استفاده از آمار عمومی G می‌توان منطقه را به دو بخش نقاط داغ^۱ و نقاط سرد^۲ که به تمرکزهای مکانی معروف هستند، تفکیک نمود. یک نقطه داغ معنادار آماری باید علاوه بر داشتن ارزش بالا، توسط دیگر عوارض بارزش بالا احاطه شده باشد، این امر توسط p -value و z -score بیان می‌شود. این دو به ترتیب میزان احتمال تصادفی بودن و انحراف معیار را نشان می‌دهند (Saiful Islam et al. 2015). به بیان دیگر، امتیاز Z محاسبه شده نشان می‌دهد که کجای داده مقادیر کم و زیاد خوشه‌بندی شده‌اند. این ابزار در حقیقت به هر عارضه در چهارچوب عوارضی که در همسایگی‌اش قرار دارند نگاه می‌کند. اگر عارضه‌ای مقادیر بالا داشته باشد جالب و مهم است، ولی به تنهایی ممکن است یک لکه داغ معنادار از نظر آماری نباشد. برای اینکه یک عارضه لکه داغ تلقی شود و از نظر آماری معنادار نیز باشد باید هم خودش و هم عوارضی که در همسایگی‌اش قرار دارند دارای مقادیر بالا باشند (Venkatramanan et al 2014). جمع محلی یک عارضه و همسایگانش به‌طور نسبی با جمع کل عارضه‌ها مقایسه می‌شود. زمانی که جمع محلی به‌طور زیاد و غیرمنتظره از ای جمع محلی مورد انتظار بیشتر باشد و اختلاف به اندازه‌ای باشد که نتوان آن در نتیجه تصادف دانست، در نتیجه امتیاز Z به دست خواهد آمد، آمار عمومی G از رابطه زیر به دست می‌آید (اقدرد و همکاران، ۱۳۹۵).

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{S \sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2]}{n-1}}} \quad (3)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (4)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2} \quad (5)$$

که در این رابطه x_j ارزش عارضه j ، w_{ij} وزن مکانی بین عارضه i و j و n تعداد کل عوارض است. همچنین میزان Z -score برابر با میزان G_i^* می‌باشد.

شاخص‌های سنجش آلودگی فلزات سنگین

شاخص ارزیابی خطر اکولوژیک

شاخص ارزیابی خطر اکولوژیکی اولین بار توسط هاکنسون (۱۹۸۰) جهت ارزیابی خطر آلودگی رسوبات به‌وسیله فلزات سنگین استفاده گردید ارزیابی خطر اکولوژیک در رسوبات محیط‌های آبی به صورت زیر نشان داده می‌شود (Hakanson, 1980):

یافته‌ها

نتایج حاصل از قرائت فلزات سنگین رسوبات سطحی بستر رودخانه گاماسیاب به صورت میانگین در فصل بهار و تابستان در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است.

جدول ۳: نتایج حاصل از محاسبه فلزات سنگین رسوب رودخانه گاماسیاب در فصل بهار

فلزات	کمینه (ppm)	بیشینه (ppm)	میانگین (ppm)	انحراف استاندارد	میانگین جهانی شیل (ppm)
Cr	۵/۹۸	۵۰/۰۶	۲۱/۵۳	۱۳/۴۶	۹۰
Cu	۲/۴۲	۱۰/۵۱	۶/۸۳	۱/۴۲	۱۱/۲
Ni	۴۰/۴۵	۱۰۰/۱۳	۶۱/۷۱	۱۲/۶۶	۵۰
Zn	۲۵/۸۱	۵۶/۷۳	۳۶/۲۵	۵/۸	۹۵
Fe	۱۳۴۰	۱۷۳۷/۵	۱۵۶۱/۷	۱۰۶	۴۶۷۰۰
Mn	۱۱۲/۶	۱۷۶/۸	۱۴۸/۲۳	۱۷/۱۵	۸۵۰

با توجه به نتایج به دست آمده میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوبات در فصل پر بارش با مقایسه با میانگین شیل در مراتب پایین‌تری قرار دارد. لذا می‌توان به‌طور متوسط رودخانه را از نظر آلودگی استاندارد در نظر داشت. از طرفی در هر ایستگاه در فصل بهار کمترین غلظت کروم در ایستگاه شماره ۹ با مقدار میانگین ۸/۰۲ (ppm) و بیشترین آن در ایستگاه شماره ۱۳ با مقدار میانگین ۴۳/۷۲ (ppm) می‌باشد. کمترین غلظت مس در ایستگاه ۹ با مقدار ۵/۱۴ (ppm) و بیشترین آن در ایستگاه ۶ با مقدار ۸/۹۸ (ppm) می‌باشد. کمترین غلظت نیکل در ایستگاه ۵ با مقدار ۴۸/۷۹ (ppm) و بیشترین آن در ایستگاه ۱۵ با مقدار ۷۶/۸۷ (ppm) می‌باشد. کمترین غلظت روی در ایستگاه ۱۴ با مقدار ۲۹/۷۴ (ppm) و بیشترین آن در ایستگاه ۵ با عدد ۴۳/۵۵ (ppm) می‌باشد. کمترین غلظت آهن در ایستگاه ۱۴ با مقدار ۱۴۰۹/۱۶ (ppm) و بیشترین مقدار آن در ایستگاه ۴ با مقدار برابر ۱۶۹۵/۸۳ (ppm) می‌باشد. کمترین غلظت منگنز در ایستگاه ۱۴ با مقدار ۱۱۶/۷ (ppm) و بیشترین مقدار آن در ایستگاه ۱۱ با مقدار برابر ۱۶۵/۱۲ (ppm) می‌باشد.

جدول ۴: نتایج حاصل از محاسبه فلزات سنگین رسوب رودخانه گاماسیاب در فصل تابستان

فلزات	کمینه (ppm)	بیشینه (ppm)	میانگین (ppm)	انحراف استاندارد	میانگین جهانی شیل (ppm)
Cr	۲/۵۵	۳۳/۸۴	۱۲/۴۴	۵/۷۴	۹۰
Cu	۴/۱۱	۳۳/۹۷	۱۹/۴۵	۵/۱۲	۱۱/۲
Ni	۱۴۳/۵۷	۱۹۴/۳۶	۱۶۹/۷۲	۱۱/۲۸	۵۰
Zn	۵۰	۷۲/۳۸	۵۸/۸۲	۵/۵	۹۵
Fe	۱۵۱۸/۸	۲۲۱۱/۸	۱۷۳۰/۲	۱۱۸/۰۹	۴۶۷۰۰
Mn	۱۴۱/۵۸	۲۴۴/۲	۱۶۷/۸	۱۹/۴۹	۸۵۰

با توجه به نتایج به دست آمده میانگین غلظت تمام فلزات سنگین در رسوبات در فصل کم بارش به‌جز فلز نیکل در مقایسه با میانگین شیل در محدوده استاندارد قرار دارد. میانگین غلظت فلزات سنگین آب رودخانه گاماسیاب در ۱۵ ایستگاه نمونه‌برداری در فصل تابستان بیانگر آن است که کمترین غلظت کروم در ایستگاه شماره ۸ با مقدار میانگین ۴/۰۲ (ppm) و بیشترین آن در ایستگاه شماره ۱۴ با مقدار میانگین ۳۵/۱۶ (ppm) می‌باشد. کمترین غلظت مس در ایستگاه ۱۴ با مقدار ۶/۵۲ (ppm) و بیشترین آن در ایستگاه ۲ با مقدار ۲۸/۹۱ (ppm) می‌باشد. کمترین غلظت نیکل در ایستگاه ۱۴ با مقدار

۵۹ (ppm) و بیشترین آن در ایستگاه ۲ با مقدار ۱۸۸/۲۵ (ppm) می‌باشد. کمترین غلظت روی در ایستگاه ۱۴ با مقدار ۲۹/۷۴ (ppm) و بیشترین آن در ایستگاه ۲ با عدد ۶۵/۷۴ (ppm) می‌باشد. کمترین غلظت آهن در ایستگاه ۱۴ با عدد ۱۴۰۹/۱۶ (ppm) و بیشترین مقدار آن در ایستگاه ۲ با عدد ۱۸۳۱/۵۵ (ppm) می‌باشد. کمترین غلظت منگنز در ایستگاه ۱۴ با مقدار ۲۱۱/۵۲ (ppm) و بیشترین مقدار آن در ایستگاه ۲ با مقدار برابر ۲۱۱/۵۲ (ppm) می‌باشد.

در این پژوهش نرمال‌سازی داده‌ها با آزمون آماری کولموگروف اسمیرنوف انجام شد. سپس به‌منظور بررسی پیوستگی متغیرها از تابع واریوگرام استفاده گردید (Ahmadali et al., 2008) و این توابع به صورت جداگانه برای روش‌های کریجینگ و IDW ترسیم شد. نتایج برای ورود به نرم‌افزار GIS آماده‌سازی شد و در محیط نرم‌افزار، روش‌های مختلف درون‌یابی کریجینگ و IDW برای نتایج به دست آمده مورد بررسی قرار گرفت؛ سپس پس از انتخاب روش IDW به‌عنوان بهترین روش درون‌یابی با مقایسه RMSE و MAE، نقشه پهنه‌بندی عناصر ترسیم گردید. در پایان با بررسی شاخص ژئوشیمیایی مولر و شاخص ریسک اکولوژیک، با کمک نقشه پهنه‌بندی عناصر، آلوده‌ترین نقاط با کمک آنالیز Hot Spot مشخص گردید.

نتایج حاصل از ارزیابی دقت روش‌های درون‌یابی کریجینگ و IDW در جدول (۵) ارائه گردیده است. قزلباش و همکاران نیز در بررسی آب‌های زیر زمینی در شهرستان کلاله استان گلستان برتری روش IDW را نسبت به کریجینگ در ارزیابی پارامترهای کیفی آب نشان دادند. (قزلباش و همکاران، ۱۳۹۵)

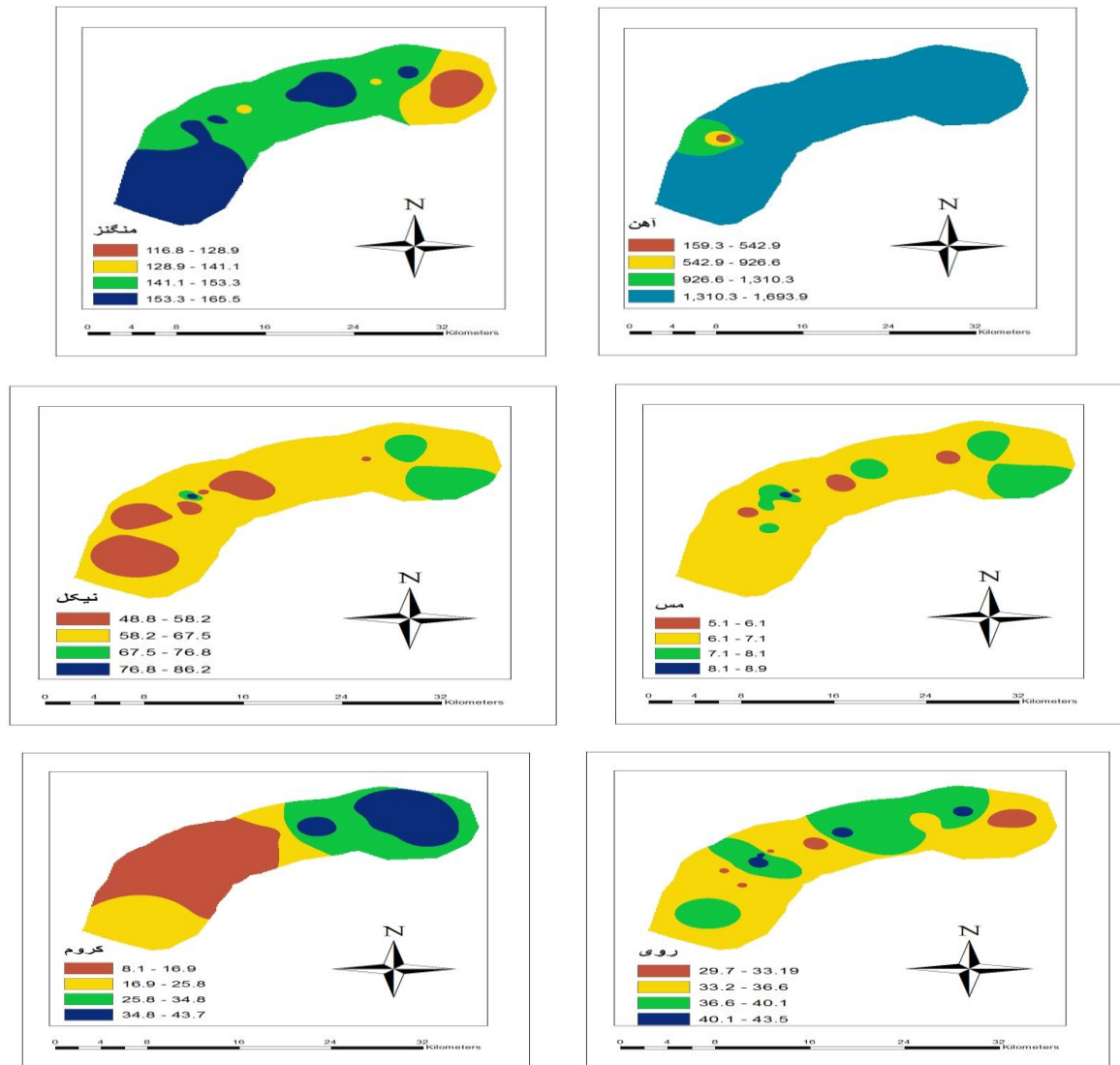
جدول ۵: نتایج ارزیابی دقت روش‌های درون‌یابی

معیار	بهار		تابستان	
	MAE	RMSE	MAE	RMSE
Cr	۰/۲	۰/۱	۰/۱۲	۰/۰۵
Cu	۰/۸۴	۰/۰۲۱	۱/۲۵	۰/۰۲
Ni	۱/۴	۰/۰۸	۱/۲۱	۰/۱۶
Zn	۰/۲۴	۰/۰۴	۰/۹۶	۰/۲۱
Fe	۴/۱	۰/۰۸۶	۶/۴۲	۰/۹۳
Mn	۰/۷۲	۰/۴۲	۱/۳۶	۰/۳۵

جهت بررسی رابطه‌ی بین فلزات سنگین اندازه‌گیری شده از تجزیه‌ی همبستگی به روش پیرسون در محیط نرم‌افزار SPSS17 استفاده شد (جدول ۶ و ۷). ($P < 0/05$).

جدول ۶: ضرایب همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین مورد مطالعه در فصل بهار

پارامترها	Cr	Cu	Ni	Zn	Fe	Mn
Cr	۱					
Cu	۰/۳۷۶*	۱				
Ni	۰/۵۶۲**	۰/۱۸۰**	۱			
Zn	۰/۲۴۲	۰/۷۴۱**	۰/۵۶۲**	۱		
Fe	۰/۰۴۲۴**	۰/۵۷۷**	۰/۳۰۷*	۰/۵۱۱**	۱	
Mn	۰/۰۷۳	۰/۵۱۶**	۰/۴۲۳**	۰/۵۵۷**	۰/۶۰۲**	۱



شکل ۲: پهنه‌بندی توزیع فلزات سنگین مورد مطالعه در رسوبات رودخانه گاماسیاب در فصل بهار با روش IDW (غلظت فلزات برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم)

انتقال آلودگی از بالا دست به مناطق مسطح و پایین دست می‌گردد. از طرفی بالا بودن فلز کروم و نیکل در بخش شرقی رودخانه به دلیل تمرکز بالای مناطق کشاورزی و پساب‌های ناشی از این مناطق در فصل بهار می‌باشد، بالا بودن فلز منگنز در بخش غربی را نیز می‌توان به دلیل وجود کارخانه سیمان در نزدیکی منطقه دانست. بودن نقطه‌ای فلز مس، نیکل، منگنز و روی در حوالی ایستگاه‌های دو تا شش در فصل بهار به دلیل وجود کشتارگاه، تجمع مناطق مسکونی و شهرک صنعتی می‌باشد. لذا می‌توان گفت که فلز منگنز، روی و کروم نیکل و مس با احتمال بیشتری از منابع انسان ساخت سرچشمه می‌گیرند و احتمالاً فلز آهن از این منابع کمتر و عمدتاً از منابع طبیعی در محدوده مورد مطالعه سرچشمه گرفته‌اند. برای دقیق‌تر شدن این یافته آنالیز Hot spot روی لایه‌ها اجرا شد (شکل ۳).

از آنالیز Hot spot برای بهتر نشان دادن مناطق با غلظت بالای عناصر استفاده شد. طبق نتایج این آنالیز (شکل ۳) نقاط با غلظت کروم و نیکل بالا در بخش شرقی رسوبات رودخانه و نقاط با غلظت بالای فلز منگنز در بخش غربی رودخانه قرار دارند. لذا صحت نتایج پهنه‌بندی (شکل ۲) تأیید می‌شود.

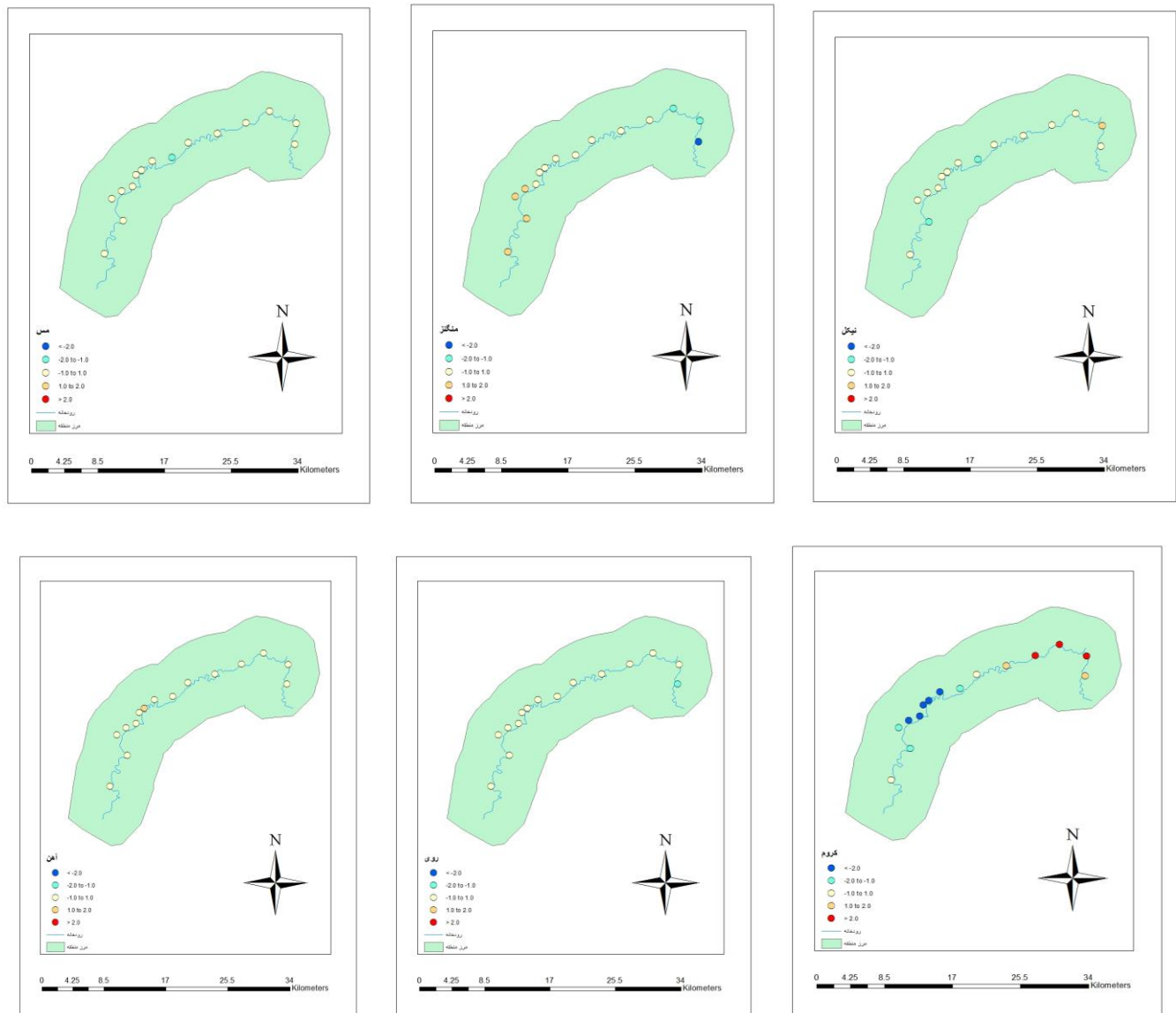
جدول ۷: ضرایب همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین مورد مطالعه در فصل تابستان

پارامترها	Cr	Cu	Ni	Zn	Fe	Mn
Cr	۱					
Cu	۰/۰۴۹	۱				
Ni	-۰/۰۴۵	۰/۲۶۸	۱			
Zn	-۰/۳۳۷*	۰/۱۷۰	۰/۷۲۸**	۱		
Fe	-۰/۲۴۸	۰/۳۴۴*	۰/۴۵۲**	۰/۱۵۷	۱	
Mn	-۰/۱۰۰	۰/۳۳۲*	۰/۴۹۶**	۰/۵۵۷**	۰/۵۴۲**	۱

** معناداری در سطح ۰/۰۵، * معناداری در سطح ۰/۰۱

شکل ۲ پهنه‌بندی توزیع فلزات سنگین مورد مطالعه در رسوبات رودخانه گاماسیاب در فصل بهار را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۲ به‌طور کلی بخش شرقی منطقه مورد مطالعه در رودخانه گاماسیاب مقادیر بیشتری از فلزات کروم، نیکل، روی، مس و آهن و بخش غربی منطقه تجمع بیشتر فلز منگنز و آهن را نشان می‌دهد. یکی از مهم‌ترین علت‌ها می‌توان به دبی بالای جریان در فصل بهار اشاره کرد که خود موجب

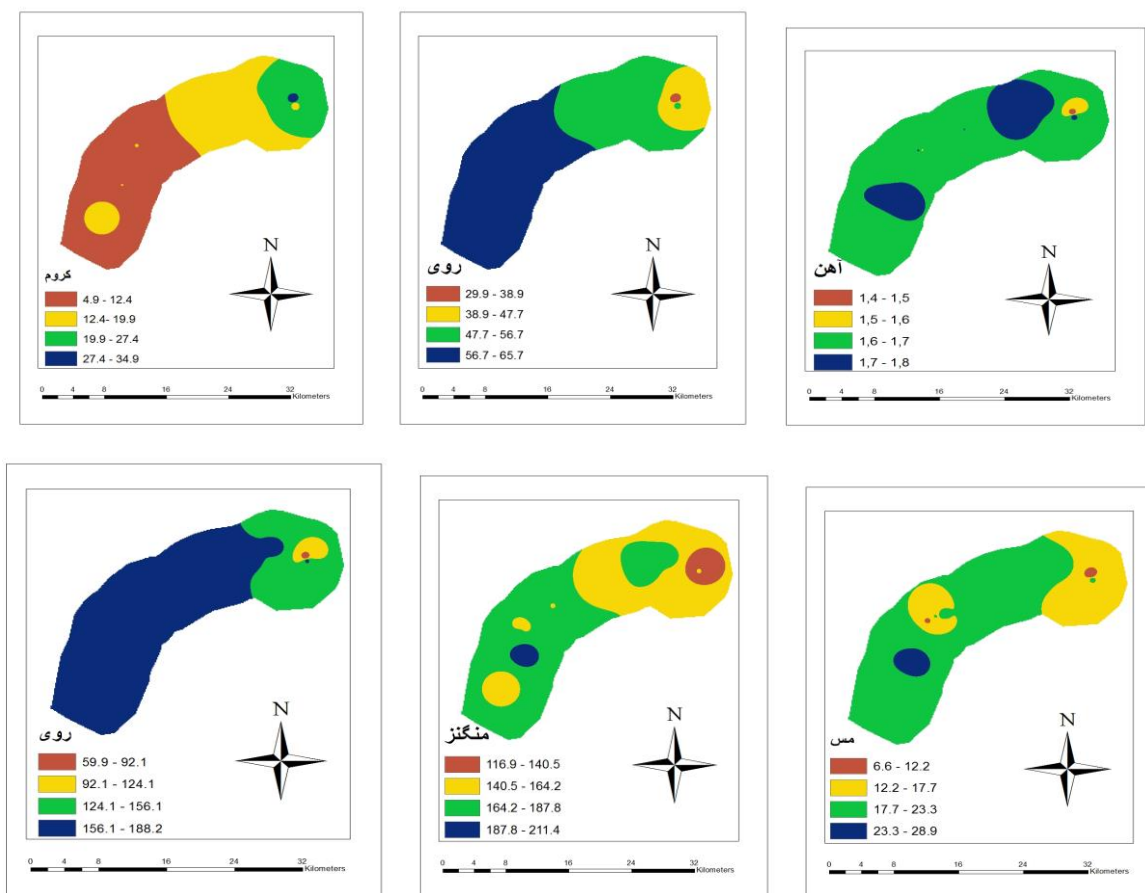


شکل ۳: نتایج آنالیز Hot spot در فصل بهار

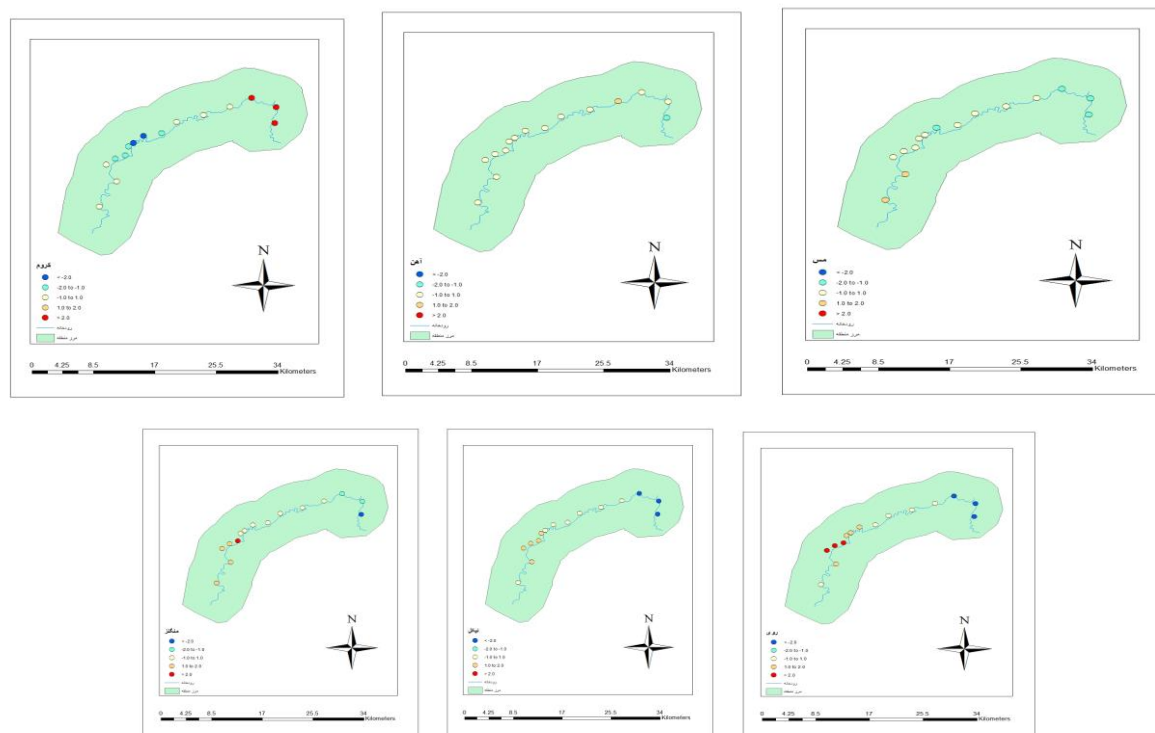
سرچشمه گرفته‌اند. برای دقیق‌تر شدن این یافته آنالیز Hot spot روی لایه‌ها اجرا شد (شکل ۴).

آنالیز Hot spot برای بهتر نشان دادن مناطق با غلظت بالای عناصر استفاده شد. طبق نتایج این آنالیز (شکل ۵) نقاط با غلظت‌های بالاتر و در آستانه هشدار برای تمامی عناصر به جز فلز کروم در بخش غربی رسوبات رودخانه در اطراف قرار گرفته است. لذا صحت نتایج پهنه‌بندی (شکل ۳) تأیید می‌شود. نتایج محاسبه شاخص ژئوشیمیایی مولر به منظور طبقه‌بندی رسوبات از نظر شدت آلودگی به عناصر مورد ارزیابی، بیانگر آن بود که رسوبات رودخانه گاماسیاب در فصل بهار از نظر آلودگی به عنصرهای مورد بررسی با درجه آلودگی صفر، در طبقه غیر آلوده قرار دارند. همچنین رسوبات رودخانه در فصل تابستان از نظر آلودگی به فلز نیکل با درجه آلودگی یک، در طبقه از غیر آلوده تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرد (جدول ۷)

با توجه به شکل ۳ به‌طور کلی در بخش غربی منطقه مورد مطالعه در رودخانه گاماسیاب در فصل کم آبی یا تابستان تجمع تمام فلزات سنگین مورد بررسی به جز کروم، غلظت بالاتری را نشان می‌دهند. بالا بودن فلز کروم، آهن و نیکل در بخش انتهایی منطقه مورد مطالعه به دلیل تمرکز بالای مناطق کشاورزی و پس آب‌های ناشی از این مناطق در فصل تابستان می‌باشد (کوسج و همکاران ۱۴۰۰). از طرفی بالا بودن نقطه‌ای فلز مس، نیکل، منگنز، آهن و روی به دلیل وجود کشتارگاه، تجمع مناطق مسکونی و شهرک صنعتی می‌باشد. در این مناطق تخلیه فاضلاب درون رودخانه صورت می‌گیرد و به دلیل دبی پایین و جریان کم رودخانه در فصل تابستان این مناطق دارای آلودگی بیشتری می‌باشند. لذا می‌توان گفت که فلز منگنز، روی و کروم نیکل و مس با احتمال بیشتری از منابع انسان ساخت سرچشمه می‌گیرند و احتمالاً فلز آهن از این منابع کمتر و عمدتاً از منابع طبیعی در محدوده مورد مطالعه



شکل ۴: پهنه‌بندی توزیع فلزات سنگین مورد مطالعه در رسوبات رودخانه گاماسیاب در فصل تابستان با روش IDW (غلظت فلزات برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم)



شکل ۵: نتایج آنالیز Hot spot در فصل تابستان

غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در طبقه ریسک اکولوژیکی کم قرار می‌گیرد.

نقشه پهنه‌بندی شاخص ریسک اکولوژیک در فصل بهار (شکل ۶) نشان می‌دهد در فصل بهار تمامی منطقه به‌جز نواحی اطراف ایستگاه‌های ۳ و ۴ آلودگی بالایی دارند. می‌توان آلودگی در بخش شرقی را به علت بارش زیاد و شستشوی سطحی زمین‌های کشاورزی دانست و از طرفی آلودگی در قسمت غربی را به دلیل تجمع بالای مراکز صنعتی شهری و کشاورزی دانست. در بین فلزات سنگین مورد مطالعه بالا بودن فلز کروم و نیکل در بخش شرقی رودخانه به دلیل تمرکز بالای مناطق کشاورزی و پس آب‌های ناشی از این مناطق در فصل بهار می‌باشد، بالا بودن فلز منگنز در بخش غربی را نیز می‌توان به دلیل وجود کارخانه سیمان در نزدیکی منطقه دانست. بودن نقطه‌ای فلز مس، نیکل، منگنز و روی در حوالی ایستگاه‌های دو تا شش در فصل بهار به دلیل وجود کشتارگاه، تجمع مناطق مسکونی و شهرک صنعتی می‌باشد. از طرفی نیز در بخش غربی منطقه مورد مطالعه در رودخانه گاماسیاب در فصل تابستان تجمع تمام فلزات سنگین مورد بررسی به‌جز کروم، غلظت بالاتری را نشان می‌دهد. (شکل ۷). نتایج محاسبه شاخص ژئوشیمیایی مولر به‌منظور طبقه‌بندی رسوبات از نظر شدت آلودگی به عناصر مورد ارزیابی، بیانگر آن بود که رسوبات رودخانه گاماسیاب در فصل بهار از نظر آلودگی به عنصرهای مورد بررسی با درجه آلودگی صفر، در طبقه غیر آلوده قرار دارند. همچنین رسوبات رودخانه در فصل تابستان از نظر آلودگی به فلز نیکل با درجه آلودگی یک، در طبقه از غیر آلوده تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرند.

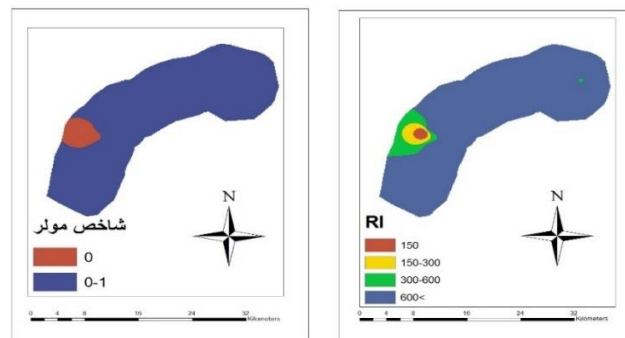
جدول ۷: مقادیر محاسبه شده شاخص مولر و طبقه‌بندی رسوبات رودخانه گاماسیاب از نظر شدت آلودگی به عنصر سنگین مورد ارزیابی

شاخص مولر						
فصل	بهار	تابستان				
عنصر	میانگین منطقه	درجه	متوسط شدت آلودگی در کل ایستگاهها	میانگین منطقه	درجه	متوسط شدت آلودگی در کل ایستگاهها
Cr	-۲/۶۴۹	۰	غیر آلوده	-۲/۳۰۵	۰	غیر آلوده
Cu	-۲/۳۰۵	۰	غیر آلوده	-۱/۷۹۵	۰	غیر آلوده
Ni	-۰/۷۲۵	۰	غیر آلوده	-۰/۷۳۵	۱	غیر آلوده تا آلودگی متوسط
Zn	-۱/۲۷۷	۰	غیر آلوده	-۱/۲۷۷	۰	غیر آلوده
Fe	-۵/۴۸۷	۰	غیر آلوده	-۵/۳۳۹	۰	غیر آلوده
Mn	-۳/۱۰۵	۰	غیر آلوده	-۲/۹۲۶	۰	غیر آلوده

نتیجه‌گیری

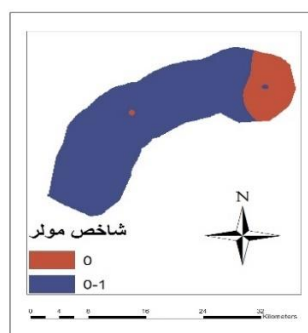
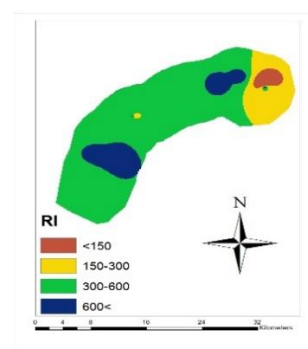
در مطالعه حاضر به بررسی غلظت فلزات سنگین (کروم، مس، نیکل، روی، آهن و منگنز) در رسوبات رودخانه گاماسیاب پرداخته شده است. سنجش وضعیت آلودگی رسوبات با شاخص‌های ریسک اکولوژیک و ژئوشیمیایی مولر ارزیابی شد. علاوه بر این پهنه‌بندی کیفی رسوبات بر اساس نتایج دو شاخص ذکر شده و نحوه توزیع غلظت فلزات در بخش‌های مختلف رودخانه در قالب

شکل ۶ پهنه‌بندی کیفی رسوبات رودخانه گاماسیاب با استفاده از شاخص ریسک اکولوژیک و شاخص ژئوشیمیایی مولر در فصل بهار را نشان می‌دهد.



شکل ۶: پهنه‌بندی کیفی رسوبات رودخانه گاماسیاب با استفاده از شاخص‌های ریسک اکولوژیک و ژئوشیمیایی مولر در فصل بهار

شکل ۷ پهنه‌بندی کیفی رسوبات رودخانه گاماسیاب با استفاده از شاخص ریسک اکولوژیک و شاخص ژئوشیمیایی مولر در فصل تابستان را نشان می‌دهد.



شکل ۷: پهنه‌بندی کیفی رسوبات رودخانه گاماسیاب با استفاده از شاخص‌های ریسک اکولوژیک و ژئوشیمیایی مولر در فصل تابستان

در این مطالعه الگوی پراکنش فلزات سمی با روش‌های زمین‌آمار مدل‌سازی شد که در نهایت IDW به‌عنوان بهترین تخمین‌گر با کمترین خطا انتخاب گردید. قزل‌باش و همکاران (۱۳۹۵) نیز IDW را به‌عنوان بهترین روش انتخاب کردند. نتایج شاخص ریسک اکولوژیک نشان داد که مقدار این شاخص از ۴/۷ تا ۸/۱۶ در فصل بهار و ۶/۱۶ تا ۱۸/۲ در فصل تابستان متغیر می‌باشد. در مجموع مقدار این شاخص در فصل بهار ۶/۲۶ و در فصل تابستان ۱۴/۹ به دست آمد که طبق جدول شماره (۱) رودخانه گاماسیاب از نظر

نقشه‌های GIS ارائه شد. نتایج حاکی از این است که شاخص‌های استفاده شده ارزیابی قابل قبولی از وضعیت احتمالی آلودگی رسوبات به فلزات سنگین را ارائه می‌دهند. بر پایه نتایج، رسوبات نواحی شرقی در فصل بهار و بخش غربی در فصل تابستان در مقایسه با سایر نقاط رودخانه وضعیت کیفی نامناسب‌تری دارند. بالا بودن غلظت عناصر مس و نیکل در فصل تابستان در مقایسه با مقدار آن‌ها در پوسته زمین تأثیر فعالیت‌های انسانی و انباشت فلزات سنگین ذکر شده را بیان می‌کند. درنهایت با توجه به نتایج پژوهش می‌توان گفت که شرایط حاکم بر منطقه از جمله ورود فاضلاب شهری، روستایی و صنعتی، زه آب اراضی کشاورزی، استقرار کارخانه سیمان و کشتارگاه در کنار شرایط طبیعی حاکم بر منطقه، سبب ایجاد آلودگی در رسوبات شده و به‌منظور کنترل این روند و جلوگیری از افزایش بار آلودگی به‌خصوص در فصل تابستان، تمهیدات ویژه‌ای در خصوص مدیریت منابع آلاینده ورودی به این رودخانه در نظر گرفته شود.

منابع

- اُردری زهرا، حسینی سید زین‌العابدین (۱۳۹۶). تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از زمین آمار (مطالعه موردی: دشت سگری، اصفهان)، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست ۸۰-۶۳: (۳) ۲۰.
- اقدرد حسین؛ محمدیاری فاطمه؛ بصیری رضا (۱۳۹۵). ارزیابی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی با استفاده از GIS و زمین‌آمار (مطالعه موردی: دشت مهران و دهلران ایلام)، نشریه محیط‌زیست طبیعی، ۵۹۷-۵۶۶: (۳) ۶۹.
- انصاری نیا مصطفی؛ صادقی نیا مجید؛ قانع محمدجواد؛ ایرانمنش یعقوب (۱۴۰۰). ارزیابی و سنجش آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب گندمان، مجله علمی پژوهشی اکوبیولوژی تالاب. ۵۰-۳۵: (۱) ۱۳.
- بیاتی فرزانه؛ مدبریسروش؛ لک راضیه؛ سعیدی محمد (۱۳۹۱). ارزیابی زیست محیطی فلزات بالقوه سمی در رسوبات بستر شمال غرب خلیج فارس (محدوده استان بوشهر)، سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمینشناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۱۰.
- جباری، ایرج. (۱۳۹۲). نقش کاربری اراضی در کیفیت آب رودخانه الوند کرمانشاه، نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی، ۱۷(۴۴)، ۷۳-۹۳.
- جمشیدی زنجانی احمد؛ سعیدی محسن (۱۳۹۲). ارزیابی آلودگی و پهنه‌بندی کیفی رسوبات سطحی تالاب انزلی بر اساس نتایج شاخص‌های سنجش آلودگی فلزات سنگین، مجله محیط شناسی، ۱۷۰-۱۵۷: (۴) ۳۹.
- چوپانی سعید؛ رضایی پیمان؛ غریب رضا. (۱۳۹۹). ارزیابی میزان آلودگی و توزیع فلزات سنگین در رسوبات رودخانه کارون در بازه پل پنجم تا فارسیت با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی و تحلیل‌های آماری. دوفصلنامه رسوب شناسی کاربردی.
- حمزه نژاد رقیه؛ خداوردیلو حبیب. (۱۴۰۰). ارزیابی کمی آلودگی فلزات سنگین در خاک، تحقیقات کاربردی خاک ۵۲-۳۷: (۲) ۸.
- دین پژوه یعقوب. (۱۳۹۵). تحلیل روند کیفیت شیمیایی آب رودخانه‌های استان آذربایجان شرقی. نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی، ۲۰(۵۵)، ۱۰۵-۱۲۴.
- رحمانی محمد؛ آذری طاهره؛ ملاآقاجانزاده ساره. (۱۴۰۰). بررسی اثرات آلودگی فلزات سنگین ناشی از شیرابه پسماند بر خاک جنگلی با استفاده از شاخص های فاکتور غنی شدگی و تجمع ژئوشیمیایی (مطالعه موردی: منطقه انجیل سی بابل)، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی ۴۲-۳۱: (۱) ۳۵.

سبحان اردکانی سهیل؛ جمشیدی، کیانا؛ نیازی علی. (۱۳۹۳). ارزیابی غلظت عناصر آهن، سرب، کادمیوم و مس در رسوب با استفاده از شاخص ژئوشیمیایی مولر (مطالعه موردی: تالاب میقان). ۷۸-۶۷: (۲۰) ۶.

صالح مریم، رضایی محسن، شاکری عطا، جهاننداری اشکان. (۱۳۹۶). ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه گاماسیاب نهاوند، فصلنامه زمین شناسی محیط زیست ۸۴-۷۱: (۳۹) ۱۱.

قاسمی صابر؛ زارعی غلامرضا. (۱۴۰۰). ارزیابی ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین در رسوبات ساحلی شهر بندرعباس، مطالعات علوم محیط زیست. ۸۹-۳۸۷۸: (۳) ۶.

قرلباش میلاد، ناصری فرزین، کریمی مله حسن، راشدی عصمت (۱۳۹۵)، مقایسه روش های درونیایی KRIGING و IDW جهت ارزیابی پارامترهای کیفی آب زیر زمینی در ارتباط با کاربرد کشاورزی به کمک GIS (مطالعه موردی: محدوده مرکزی و جنوبی شهرستان کلاله، استان گلستان)، پنجمین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار

کوسج ناصر؛ جعفریان حجت الله؛ رحمانی عبدالواحد؛ قلی پور حسنی. (۱۴۰۰). ارزیابی آلودگی فلزات سنگین و بررسی منشأ آلودگی‌های زیست محیطی رسوبات مناطق قشم، بندرخمیر و بندرلافت استان هرمزگان در خلیج فارس، علوم و فنون شیلات، ۱۶۳-۱۵۱: (۲) ۱۰.

مکرم مرضیه، نگهبان سعید. (۱۳۹۹). ارزیابی ریسک اکولوژیکی عناصر سنگین در رسوبات حاشیه جاده‌ها در محیط GIS، جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۷-۴۳: (۱) ۹.

میرموسوی، سیدحسین، میریان، مینا. (۱۳۹۰). کاربرد روش-های زمین آمار در مطالعات توزیع مکانی بارش (مطالعه موردی: استان کرمان)، نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی، ۱۶(۳۸)، ۱۷۸-۱۵۳.

ندیری عطالله، شکور صدیقه، اصغری مقدم اصغر، ودیعی میثم. (۱۳۹۴). ارزیابی انواع روش‌های درون یابی، جهت تخمین آلودگی نیترات در منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت بیلوردی، استان آذربایجان شرقی)، هیدروژئومورفولوژی، ۷۵-۹۲: (۱) ۱.

نوروزی فرد پریسا، مرتضوی ثمر، اسد صدیقه، حسن زاده نسرین (۱۳۹۷). ارزیابی آلودگی رسوبات ساحلی جزیره قشم به عناصر Cu, Pb, Zn, Cd, Ni, Cr با استفاده از شاخص های کیفیت رسوب. نشریه سلامت و محیط زیست، ۴۴۸-۴۳۳: (۳) ۱۱.

یوسفی مجید، آگاه همیرا، تقوی لعبت، ۱۳۹۹. بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوبات منطقه چابهار حد فاصل پزم تا رمین، فصلنامه علمی دریا فنون (۷) ۱۹.

- Ahmad, W., Alharthy, R. D., Zubair, M., Ahmed, M., Hameed, A., & Rafique, S. (2021). **Toxic and heavy metals contamination assessment in soil and water to evaluate human health risk**. Scientific reports, 11(1), 1-12.
- Ahmadali, Kh., S. Nickmehr., and A. Liaghat. (2008). Evaluation of kriging and cokriging methods for the estimation of deep soil acidity and salinity (case study: plains of Bokan), Iranian Journal of Water Research 2: pp: 55-64.
- Akpan, I. O, Thompson, E. A, (2013), **Assessment of heavy metal contamination of sediments along the cross-river channel in Cross River state (Nigeria)**, IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT), Volume 2, Issue 5, PP 20-28.
- Al-Yamini, MN., Sher.H., El-Sheikh, MA., Eid, EM, (2011) Bioaccumulation of nutrient and heavy metal by Calotropis Procera and Citrullus colocynthis and their potential use as contamination indicator, Academic Journals, Volume 6, Issue 4, PP 966-976.
- Balakrishnan, A., Ramu, A., Murugesan, A. (2013). **Spatial distribution of heavy metal concentration in groundwater in and around palk strait sea shore area using GIS techniques**, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2(12): 7650-7656.
- Chandrasekaran, A., Mukesh, M.V., Anantharaman, P., Tamilselvi, M., Muthukumarasamy, R., Manivel, T., Rajmohan, R. (2013). Trace Metal Concentration in Sediments of Tamirabarani River in relationships with physico chemical characteristics -a study using GIS application, International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 3(2): 9-15.
- Hakanson, L. (1980), Ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach, Water Research, 14, 975-1001.
- Jie Fu, Changpo Zhao, Yupeng Luo, Chunsheng Liu, George Z. Kyzas, Yin Luo, DongyeZhao, Shuqing An, Hailiang Zhu. (2014), **Heavy metals in surface sediments of the Jialu River, China: Their relations to environmental factors**, Journal of Hazardous Materials, Volume 270, Pages 102-109.
- Liu, K., Li, C., Tang, S., Shang, G., Yu, F., & Li, Y. (2020), Heavy metal concentration, potential ecological risk assessment and enzyme activity in soils affected by a lead-zinc tailing spill in Guangxi, China, Chemosphere, 251, 126415
- Madrid, F., M., Biasioli, F., Ajmone-Marsan. (2008), Availability and Bioaccessibility of Metals in Fine Particles of Some Urban Soils, Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 55, 21-32.
- Muller, G. (1979), Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River, Geological Journal 2, 109-118,
- Price, E.B., N. Kabengi, and S.T. Goldstein (2019), Effects of heavy-metal contaminants (Cd, Pb, Zn) on benthic foraminiferal assemblages grown from propagules, Sapelo Island, Georgia (USA). Marine Micropaleontology, 147: p. 1-11.
- Saiful Islam, M.d M.d Kawser Ahmed, M KamrulIslam, M.d Habibullah -Al-Mamun, M KamrulIslam, (2015), Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country, Ecological Indicators, 48: 282-291.
- Selvam, S., Venkatramanan, S., Singaraja, C. (2015), A GIS-based assessment of water quality pollution indices for heavy metal contamination in Tuticorin Corporation, Tamilnadu, India, Arabian Journal of Geosciences. 8(12): 10611-10623.
- Sharma, N., Sodhi, K. K., Kumar, M., & Singh, D. K. (2021). **Heavy metal pollution: Insights into chromium eco-toxicity and recent advancement in its remediation**. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, 15, 100388.
- ThanhVu, Ch. Lin, Ch. Shern, Ch. Yeh, G. Giang Le, V. Tran, H. (2017). **apportionment of heavy metals in sediments and water of a contaminated river in Taiwan**. Ecological Indicators. Volume 82, Pages 32-42
- Venkatramanan, S.T. Ramkumar, S. Vasudevan, (2014), Heavy metal distribution in surface sediments of the Tirumalairajan river estuary and the surrounding coastal area, east coast of India, Arabian Journal of Geosciences, Volume 7, Issue 1, pp 123-130.
- Webster, R. Oliver, M.A., (2000), Geostatistics for environmental scientists, Wiley press, p. 271
- Yonghang Xu, Qinqin Sun, Liang Yi, Xijie Yin, Aijun Wang, Yunhai Li, JianChen, (2014), The source of natural and anthropogenic heavy metals in the sediments of the Minjiang River Estuary (SE China): Implications for historical pollution), Science of The Total Environment, Volume 493, Pages 729-736.