

Research Article

The distribution pattern of heavy metals in the sediments of HurolAzim lagoon located in the west of Khuzestan

Seyed Ali Hashemizad^{1*}, Abbas Charchi², Fatemeh Hoseini³

1- Master's degree in environmental geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz

2- Assistant professor, Department of geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz

3- Master's degree in hydro geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz

Keywords: *Pollution, Hurolazim wetland, Heavy metals, Pollution Load Index (PLI), Modified pollution degree index (mCd)*

1-Introduction

Contrary to the growing awareness of people and countries regarding the importance of natural environments, especially wetlands, the accurate understanding of these vital and diverse habitats' importance, function, and sensitivity is still very low. Wetlands can be considered among life-giving systems that have absolutely no alternative. As fertile, rich, and unique ecosystems, wetlands can be decisive in socio-economic strategic plans. Human activities can change the geochemical cycle of heavy metals and thus cause environmental pollution. The creation of oil facilities, the drilling of oil wells, the development plan of the Azadegan oil field, and the recent fires are among the environmental hazards plaguing HurolAzim. Excessive entry of pollutants, especially heavy metals, into the study area and considering the property of bioaccumulation of heavy metals in the tissues of living organisms, especially aquatic animals, and the ability to biomagnify and accumulate in bed sediments, the risk of pollution of these metals is very high. This study studied the pollution of arsenic, lead, zinc, nickel, vanadium, and chromium metals. The creation of oil facilities, the drilling of oil wells, the development plan of the Azadegan oil field, and the recent fires are among the environmental hazards plaguing HurolAzim.

2-Material and methods

HurolAzim, or the extensive Hoveizeh wetland, is located in the west of Khuzestan at the end of the Karkheh River between the two countries of Iran and Iraq at the geographical position of 47 degrees and 30 minutes of east longitude and 31 degrees and 50 minutes of north latitude. This wetland, with an area between 550 and 700 thousand hectares, is one of the rare wetlands in the country. The formations around it consist of three: Aghajari, Mishan, and Gachsaran. The samples were taken from around the oil rigs and had an approximate 5-10 meters radius. For this purpose, 16 samples were taken from 8 stations (2 samples per station), with a depth of approximately 30-40 cm, and in a wholly flooded environment. As shown in Figure 1, sampling was done from the southeastern part of the wetland.

In this study, pollution load indices (PLI), pollution index (CF), and modified pollution degree index (mCd) were used to investigate the level of heavy metal pollution. In this research, SPSS23 software was used to analyze the statistical data. The Kolomogrov-Smirnov test was used to determine the normality of the data. The correlation coefficient is one of the most popular quantitative methods of data analysis (Chen and Popovich, 2002). The correlation of metals with each other and with PH, EC, and granulation parameters was determined in the stations. Cluster analysis is a widely used method in hydrogeochemical analysis and environmental research. In this method, a quantitative scale should be selected based on the similarity between the observations before analysis. These indicators (quantitative scale, distance, similarity) are selected according to the cluster formation algorithm, spatial nature, existing variables, and

* Corresponding author: ali.hashemi2011@gmail.com

DOI: 10.22055/aag.2024.45643.2424

Received: 2024-01-09

Accepted: 2024-06-09

measurement scale, and as a result of this operation, a tree diagram is drawn. In this diagram, similar observations are often connected with certain intervals. The smaller the distance, the greater the similarity between two connected clusters; the farther the distance, the less similar. (Güler et al., 2002).

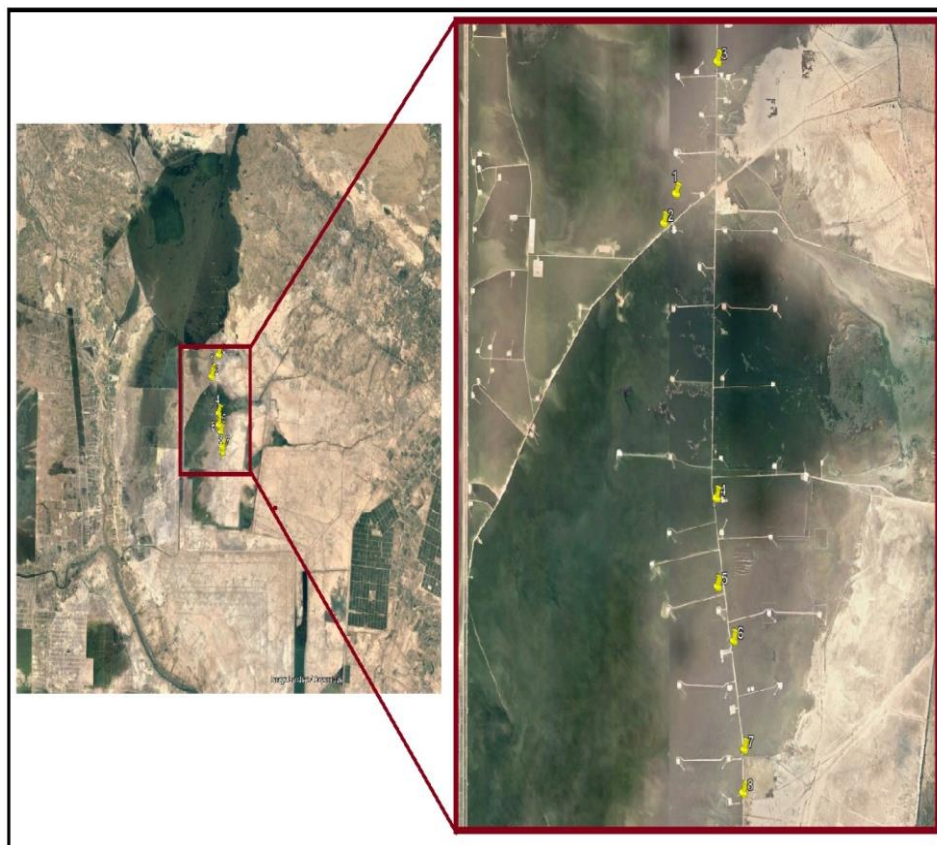


Fig.1. location of sampling station

3-Results and discussions

pH and EC indices, which are among the physicochemical properties of soil and are effective in stabilizing and releasing heavy metals into the environment, are measured by standard methods and are listed in Table 3. In all stations, the pH is slightly alkaline ($\text{pH}=7.2-8$). The highest and lowest pH values correspond to stations St10 and St1, respectively, and the average pH equals 7.84. The highest and lowest values of EC correspond to stations St7 and St3, respectively, and the average EC is equal to 696.9 (ms/cm). Areas affected by Ca, Mg, Cl, sulfate ions (SO_4), or other salts have high EC. In other words, the presence of these ions in the soil pores increases the salinity or EC of the soil (Seifi et al., 2010). The highest concentration of As (35.7 ppm) was observed in station St3. The highest concentration of Pb (64ppm) is related to station St7. The highest concentration of Zn (141 ppm) was observed in station St7. The highest concentration of Ni (75.59 ppm) corresponds to station St4. The highest concentration of V (172 ppm) was observed at the St4 station. The highest concentration of Cr (132.6 ppm) was observed in the St2 station. PH and EC values are in (ms/cm), and heavy metal concentration is in (ppm) in the studied area. A cluster analysis dendrogram was drawn, once for metals (figure 2) and once for stations (figure 3), using Minitab 16 software based on the distance matrix and Wards method. According to the dendrogram of Figure 2, the metals were divided into two clusters. Vanadium and Nickel metals are in one cluster, and Zinc, Lead, chromium, and Arsenic metals are in another cluster. The placement of vanadium and nickel metals in clusters close to each other is consistent with the Pearson correlation coefficient analysis.

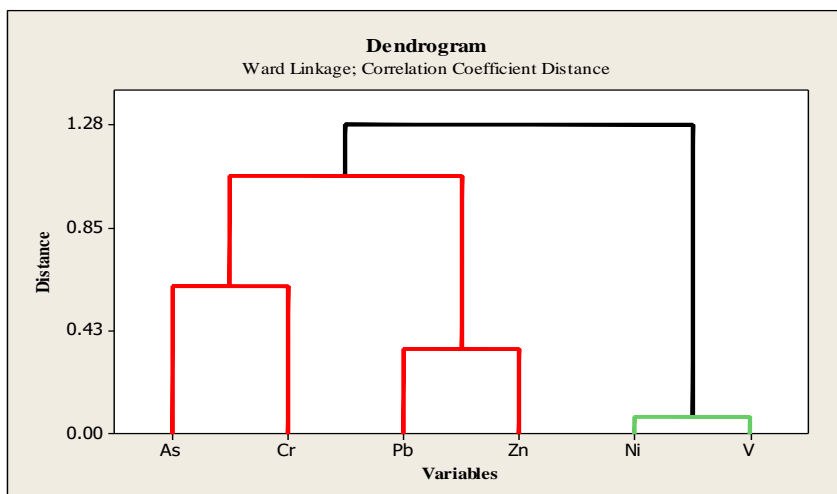


Fig. 2. Dendrogram of cluster analysis of studied heavy metals

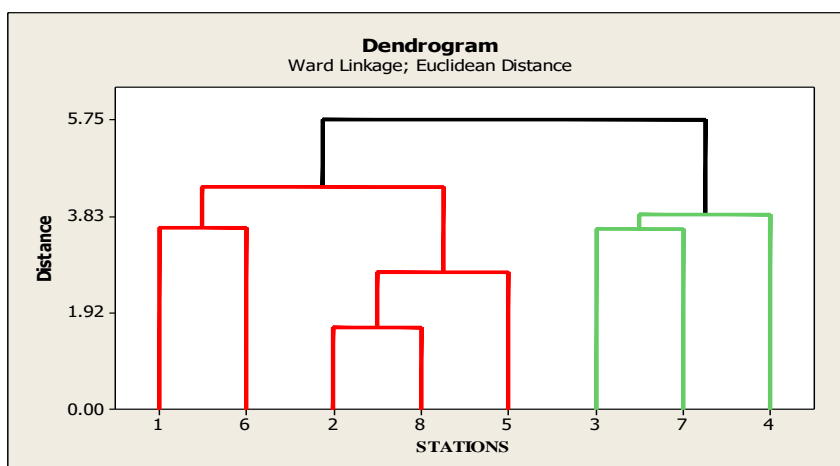


Fig. 3. Dendrogram of cluster analysis of studied stations

4- Conclusion

Based on the average pollution factor (CF), arsenic metals have low pollution intensity, and lead, zinc, nickel, vanadium, and chromium have medium pollution intensity. Based on the modified pollution degree Index (mCd), stations St1, St2, St5, St6, St7, and St8 are unpolluted to slightly polluted, and stations St3 and St4 have low pollution. According to the pollution load index (PLI), stations St1, St5, and St6 have low concentrations of metals or no pollution, and stations St2, St3, St4, St7, and St8 are polluted. Considering that sampling was done from the distances close to the oil rigs and their related excavations, part or all of the pollution in the samples can probably be attributed to oil pollution. A positive correlation exists between nickel, vanadium, lead, and zinc metals. A high correlation between metals may indicate a similar contamination level and source for these metals. Based on the cluster analysis performed for the studied metals, it was observed that the two metals, nickel, and vanadium, were placed In one cluster, and the arsenic, lead, zinc, and chromium were placed in another branch. The placement of vanadium and nickel metals in a cluster and at a close distance to each other is entirely consistent with the results of Pearson's correlation coefficient analysis. Also, based on the cluster analysis performed for the studied stations, it was observed that the stations (St3, St4, and St7) were In one cluster, and the stations (St1, St2, St5, St6, and St8) were in another cluster. This division may be based on the Intensity of pollution in the stations if the values of the combined pollution indices (CPI), the pollution load index (PLI), and the modified pollution degree index (mCd) that were used to determine the pollution In the eight stations showed high

levels of pollution in stations (St3, St4 and St7) and lower levels of pollution In stations (St1, St2, St5, St6 and St8); Therefore, it can be said with high confidence that the results of the pollution indices calculated for the eight stations are consistent with the results of the cluster analysis.

5-References

- Chen, P.Y., Popovich, P.M., 2002. Correlation: Parametric and nonparametric measures (No. 139). Sage Publications 104 P. <https://doi.org/10.4135/9781412983808>.
- Güler, C., Thyne, G.D., Mccray, J.E. Turner, A.K., 2002. Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. *Hydrogeology Journal* 10, 455-474. <http://dx.doi.org/10.1007/s10040-002-0196-6>
- Seifi, M., Alimardani, R., Sharifi, A., Akram, A., 2010. Using apparent soil electrical conductivity to improve agricultural Yield in Iran. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 2(5), 499 - 503. <https://doi.org/D=20407467-201008-201009130010-201009130010-499-503>.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Hashemizad, S.A., Charchi, A., Hoseini, F., 2025. The distribution pattern of heavy metals in the sediments of HuroAzim lagoon located in the west of Khuzestan. *Adv. Appl. Geol.* 14(4), 955-975.

DOI: 10.22055/aag.2024.45643.2424

URL: https://aag.scu.ac.ir/article_19163.html

©2025 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

الگوی پراکنش فلزات سنگین در رسوبات بخش شرقی تالاب هورالعظیم واقع در غرب خوزستان

سید علی هاشمی زاده*

دانش آموخته کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی دانشگاه شهید چمران اهواز

عباس چرچی

دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

فاطمه حسینی

دانش آموخته کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی دانشگاه شهید چمران اهواز

* ali.hashemi2011@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۹

چکیده

ورود آلاینده‌ها به ویژه فلزات سنگین به زیست بوم‌ها به خصوص تالاب‌ها، سبب ایجاد نگرانی‌های زیادی در سطح جهان شده است. با هدف بررسی تغییرات عمقی و سطحی فلزات سنگین شامل؛ آرسنیک، سرب، روی، نیکل، وانادیوم و کروم ناشی از فعالیت پروژه‌های نفتی و تعیین میزان آلاینده‌گی آنها در بخش شرقی تالاب هورالعظیم در استان خوزستان، تعداد ۱۶ نمونه از ۸ ایستگاه (هر ایستگاه ۲ نمونه) در شعاع تقریبی ۵-۱۰ متری اطراف دکل‌های نفتی و با اعماق تقریبی ۳۰-۴۰ سانتی‌متری در محیط کاملاً غرقابی و در امتداد شمالی-جنوبی حد شرقی تالاب برداشته شدند. بر اساس میانگین شاخص فاکتور آلودگی (CF)، فلز آرسنیک دارای آلودگی کم و فلزات سرب، روی، نیکل، وانادیوم و کروم دارای آلودگی متوسط می‌باشند. بر اساس شاخص بار آلودگی (PLI)، ایستگاه‌های St1، St2، St5، St6 و St8 دارای غلظت کم فلزات و یا فاقد آلودگی و ایستگاه‌های St2، St3، St4، St7 و St8 آلوده می‌باشند. ایستگاه‌های St1، St2، St5، St6، St7 و St8 بر اساس شاخص درجه آلودگی اصلاح یافته (mCd)، بدون آلودگی تا کمی آلوده و ایستگاه‌های St3 و St4 دارای آلودگی کم می‌باشند. در این پژوهش از نرم‌افزار SPSS23 جهت تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها استفاده گردید که همبستگی مثبت و بالایی بین فلزات نیکل، وانادیوم، سرب و روی وجود دارد. همبستگی بالا بین فلزات ممکن است نشان‌دهنده‌ی سطح آلودگی و منبع آلودگی مشابه برای این فلزات باشد. همچنین بر اساس آنالیز خوشه‌ای انجام شده برای ایستگاه‌های مورد مطالعه، مشاهده گردید که ایستگاه‌های (St3، St4، St7) در یک خوشه و ایستگاه‌های (St1، St2، St5، St6، St8) در خوشه دیگر قرار گرفتند. این تقسیم‌بندی ممکن است بر اساس میزان شدت آلودگی در ایستگاه‌ها صورت گرفته باشد، چنانچه مقادیر بالای آلودگی را در ایستگاه‌های (St3، St4، St7) و مقادیر پایین‌تر آلودگی را در ایستگاه‌های (St1، St2، St5، St6، St8) نشان دادند؛ با توجه به ورود فاضلاب شهری و صنعتی و زهاب کشاورزی به رودخانه کرخه که منبع تامین آب تالاب می‌باشد و نیز آتشبارهای جنگ تحمیلی و همچنین فعالیت‌های نفتی در تالاب هورالعظیم، موارد مذکور می‌توانند منشا آلاینده‌های این تالاب در نظر گرفته شوند.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، تالاب هورالعظیم، فلزات سنگین، شاخص بار آلودگی (PLI)، شاخص درجه آلودگی اصلاح شده (mCd)

۱- مقدمه

برخلاف رشد آگاهی مردم و کشورها نسبت به اهمیت محیط‌های طبیعی به‌ویژه تالاب‌ها، هنوز درک واقعی از اهمیت، کارکرد و حساسیت این زیستگاه‌های حیاتی و متنوع بسیار پایین است. درواقع تالاب‌ها را می‌توان از جمله نظام‌های حیات‌بخش به حساب آورد که مطلقاً جایگزین ندارند. تالاب‌ها به عنوان اکوسیستم‌هایی حاصلخیز، غنی و منحصر به فرد می‌توانند در برنامه‌های راهبردی اقتصادی-اجتماعی نقشی تعیین‌کننده داشته باشند.

فعالیت‌های بشر می‌توانند چرخه‌ی زمین شیمیایی فلزات سنگین را تغییر داده و در نتیجه آلودگی زیست‌محیطی ایجاد کند. اگرچه فلزات سنگین رودخانه‌ها و مصب آن‌ها از منابع طبیعی بسیاری نشأت می‌گیرد، یکی از مهم‌ترین منابع آن‌ها ورود فاضلاب شهری است. عدم وجود تصفیه فاضلاب در شهرها و رواناب‌های کشاورزی، منشأ منابع انسانی عناصر فلزی است (Aprile and Bouvy, 2008). ورود اکثر فلزات به محیط‌های آبی با ذرات ریزدانه همراه است که منجر به تجمع آن‌ها در رسوبات می‌شود (Farkas et al., 2007)؛ بنابراین، ارزیابی

فلزات در رسوبات بخش مهمی برای ارزیابی کیفیت محیط‌های آبی است (Yu et al., 2011). فلزات در رسوبات به صورت اشکال شیمیایی مختلف در ارتباط با فازهای آلی و معدنی و بسته به شرایط شیمیایی و زمین‌شناسی توزیع شده‌اند (Morillo et al., 2004; Farkas et al., 2007). تجمع فلزات در رسوبات توسط تعدادی از عوامل محیطی که شامل pH، EH، ورودی انسانی، نوع و غلظت لیگاند‌های آلی، فرایندهای هیدرولیکی و مساحت سطح در دسترس توسط تنوع در توزیع اندازه‌ی دانه کنترل می‌شود (Davies et al., 1991). با شروع قرن بیستم و تا امروز پیشرفت در کارهای معدنی و ذوب فلزات و بازده تولید مؤثرتر فلزات منجر به استفاده گسترده‌تر از فلزات سنگین شده است (Callender, 2003). تخمین زده می‌شود که بیش از ۹۵٪ کل فلز مس استخراج شده، در سال ۱۹۰۰ استخراج و ذوب شده باشد (Oorts and Alloway, 2013). تولید روی و نیکل بین سال‌های ۱۹۷۳ و ۲۰۱۰ بیش از دو برابر شده است (Alloway, 2013). تولید کروم از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۲ به صورت تصاعدی افزایش یافته است و تولید سالانه جهانی تنگستن از تقریباً صفر در سال ۱۹۰۵ به بیش از ۷۰۰۰۰ تن در سال ۲۰۱۳ افزایش یافته است (Dvoracek et al., 2017). این شواهد نشان می‌دهند که بشر در زندگی مدرن خود به صورت فزاینده‌ای به فلزات سنگین تکیه کرده است. نتیجه استفاده گسترده و به ظاهر بی‌وقفه از فلزات سنگین توسط انسان، انتشار این مواد در محیط طبیعی ما است (Callender, 2003). ارتباط بین فعالیت‌های مدرن انسان و انتشار فلزات سنگین به محیط زندگی ما به خوبی مستند شده است. مقادیر زمینه عناصر کمیاب در خاک‌های ایالات متحده (به‌عنوان مثال Boerngen and Shacklette, 1984) و در کشورهای دیگر (به‌عنوان مثال Alfaro et al., 2015) سطوح بالای فلزات سنگین در خاک‌های مرتبط با کاربری‌ها و فعالیت‌های مختلف انسانی از قبیل صنعت تا جاده‌ها و کشاورزی را گزارش کرده‌اند (Nriagu and Pacyan 1988; Oorts and Alloway, 2013).

تجمع فلزات سنگین بر روی رسوبات، آن‌ها را به‌عنوان نشانگرهای بسیار حساس برای نظارت بر آلاینده‌های درگیر نمایان می‌سازد، زیرا آن‌ها به عنوان حامل و ذخیره کننده‌ی آلاینده‌ها در محیط آبریزان عمل می‌کنند. بزرگ‌ترین منابع انسانی این فلزات دفع فاضلاب شهری و صنعتی است (Pereira et al., 2015). به‌طور کلی فلزات سنگین جزء طبیعی محیط‌های آبی هستند و غلظت طبیعی آن‌ها در اکوسیستم‌ها نشان‌دهنده فعالیت‌های سالم اکوسیستم است (Ntakirutimana et al., 2013). با این حال، هنگامی که فلزات سنگین با غلظت‌های زیاد در اکوسیستم‌های آبریزان مانند آب و رسوب منتشر می‌شوند، به دلیل ویژگی‌های اکوتوکسیک و ذخیره، تمایل به بزرگنمایی زیستی دارند. در نتیجه غلظت‌های بالای چنین فلزاتی در اکوسیستم ممکن است باعث مسمومیت انسان از طریق زنجیره‌های غذایی شوند رسوبات به‌عنوان یک مخزن برای فلزات سنگین، به دلیل واکنش‌های طبیعی به‌عنوان یک نشانگر مهم برای ارزیابی سلامتی اکوسیستم آبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. رسوبات حاوی ۹۰٪ فلزات سنگین در محیط آبی هستند (Camargo et al., 2015). همچنین رسوبات به‌عنوان یک منبع ثانویه فلزات در نظر گرفته می‌شوند که ممکن است در نتیجه تغییرات محیطی مانند pH، شوری، پتانسیل احیا، محتوای معدنی و آلی زیست‌توده، این فلزات را به ستون آب برگردانند (Souza et al., 2015).

تالاب‌ها هرکجا که وجود داشته باشند به‌عنوان اسفنج طبیعی در چشم‌اندازها، در جذب رواناب و تصفیه‌ی آب سطحی عمل می‌کنند و به‌این ترتیب رسوبات، مواد مغذی و سایر آلاینده‌ها را جذب می‌کنند (Johnston, 1991). فعالیت‌های انسانی در تالاب‌ها و در نزدیکی آن‌ها پتانسیل بزرگی برای ایجاد اختلال در عملکرد تالاب‌ها و تخریب وضعیت آن‌ها دارد و در نتیجه از خدمات اکوسیستمی تالاب کاسته می‌شود. تالاب‌ها منبع مهمی برای معیشت جوامع اطراف آن هستند که عملکردهای اکولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی زیادی را دارا می‌باشند (Mafabi et al., 1998).

تالاب هورالعظیم به دلیل اهمیت فراوان و شرایط خاص زیست‌محیطی، همواره مورد تهدید قرار گرفته است؛ به‌کارگیری مواد منفجره مختلف، انفجارات آتشبارها، آتش‌سوزی‌های مکرر و استفاده از مواد شیمیایی در جنگ تحمیلی عراق علیه ایران، صدمات جدی به هور وارد نمود. در حال حاضر توسعه کشاورزی در اطراف تالاب که به‌ناچار با مصرف سموم و کودهای شیمیایی همراه می‌باشد، بر مشکلات این تالاب افزوده است. ایجاد تأسیسات نفتی و حفاری چاه‌های نفتی، طرح توسعه میدان نفتی آزادگان و نیز آتش‌سوزی‌های اخیر، از جمله مخاطرات زیست‌محیطی می‌باشند که گریبان گیر هورالعظیم شده‌اند.

بارندگی‌های سالانه تغذیه می‌شود. اختلاف حداقل و حداکثر سطح آب در فصول مختلف سال معادل ۷/۲ متر و حداکثر عمق آب در مرز ایران حدود ۸ متر اندازه‌گیری شده است.

اطلاعات نشان می‌دهند در ایستگاه پای پل در طول سال به‌طور متوسط ۱۸۰ مترمکعب بر ثانیه آب عبور می‌کند. حجم سالانه‌ی آب عبوری ۵۶۷۶ میلیون مترمکعب بر بالغ می‌گردد. به‌عبارت‌دیگر؛ با فرض پخش این حجم آب در پهنا تالاب بدون در نظر گرفتن بارندگی و میزان آبی که از طریق کانال‌های ارتباطی از رودخانه‌ی کارون وارد زیرحوضه می‌گردد، ارتفاع سطح آب حاصل به‌طور متوسط معادل ۶۵۲ میلی‌متر آب خواهد بود. ضریب تغییرات جریان سالانه در این منطقه معادل ۳۹٪ است که مؤید بی‌نظمی نسبی در آبدهی رودخانه در سال‌های مختلف است (Behrouzi Rad, 2008).

۲-۱-۴- زمین‌شناسی منطقه

هورالعظیم در دشت آبرفتی زاگرس قرار دارد و بستر آن از رسوبات ریزدانه‌ای مانند سیلت و رس تشکیل شده است که محیطی مناسب برای حفظ آب و زیستگاه موجودات فراهم می‌کند. آب تالاب عمدتاً از رودخانه کرخه تأمین می‌شود و بارندگی‌های فصلی و ارتباط با دجله نیز در پایداری آن نقش دارند. این تالاب به‌عنوان مخزنی طبیعی، رسوبات رودخانه‌های بالادست را تثبیت کرده و در کنترل فرسایش خاک و تنظیم جریان آب مؤثر است. همچنین، وجود ذخایر نفت و گاز در زیر تالاب به اهمیت اقتصادی آن افزوده است (Behroozirad, 2008).

وجود فرورفتگی در منطقه هورالعظیم و بالآمدگی در منطقه میشداغ واقع در نواحی شمالی هور نشان می‌دهند که این منطقه متأثر از فعالیت‌های تکتونیکی است. ناحیه مذکور در حاشیه جنوب کمر بند چین‌خورده فعال زاگرس قرار دارد. همان‌طوری که معروف است زلزله‌های شدید و متعددی در نواحی مختلف این کمر بند رخ داده است. از جمله این نواحی محدوده گسل میشداغ واقع در نواحی شمالی هور می‌باشد. در گوشه شمال غربی این گسل زلزله‌ای با بزرگی حدود ۵/۵ درجه با مقیاس ریشتر تاکنون رخ داده است. زلزله فوق‌نشان‌دهنده فعالیت تکتونیکی منطقه مجاور نواحی شمالی تالاب هورالعظیم می‌باشد (Fooladvand, 2011).

ورود بیش‌ازحد آلاینده‌ها، به‌خصوص فلزات سنگین به ناحیه مورد مطالعه و با توجه به خاصیت زیست‌انباشت پذیری فلزات سنگین در بافت‌های موجودات زنده، مخصوصاً آبزیان و قابلیت بزرگنمایی زیستی و نیز انباشت در رسوبات بستر، خطر آلاینده‌ی این فلزات بسیار بالا می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه؛ نقشه و پراکندگی نقاط

۲-۱-۱- موقعیت جغرافیایی تالاب هورالعظیم

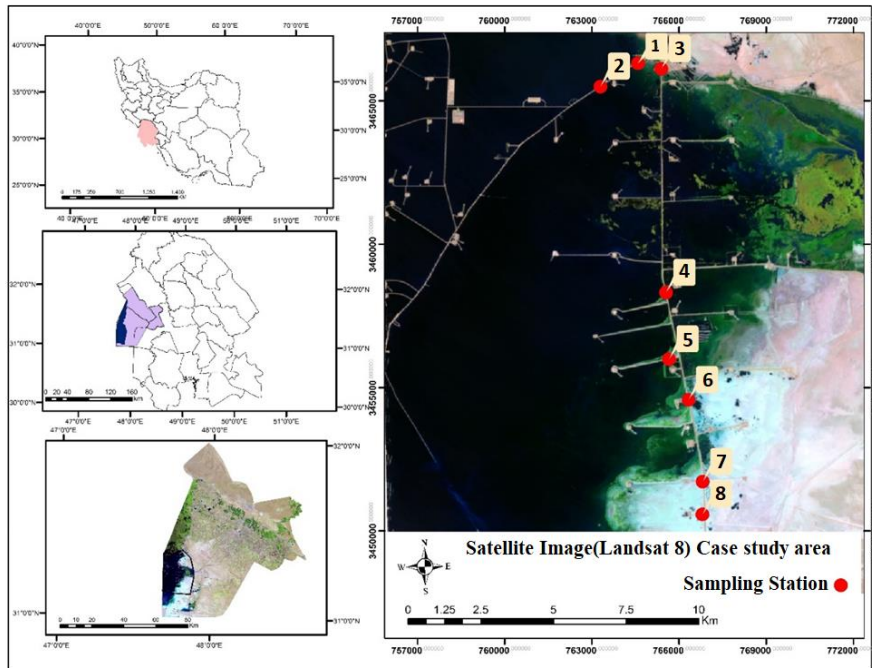
این تالاب به علت مجاورت با شهر هویزه، در ایران به هورالهویزه و در عراق به هورالعظیم معروف شده است. این تالاب با توجه به شرایط توپوگرافی منطقه‌ی شمال خلیج فارس، که دارای زمین‌های پستی می‌باشند، همراه با تالاب هورالعماره در کشور همسایه (عراق)، مجموعه‌ی منحصربه‌فرد تالاب‌های بین‌النهرین را به وجود آورده‌اند. در حاشیه و اطراف تالاب جمعاً ۱۳۴ روستا وجود دارند که علاوه بر فعالیت در بخش کشاورزی و دامداری، به شکار و صید پرندگان و آبزیان نیز می‌پردازند. از نظر تاریخ طبیعی منطقه‌ای، هورالهویزه پس از پیوند بین آب‌های دو رودخانه‌ی پرآب کرخه و دجله از قرن پنجم به بعد تشکیل شده است. هورالعظیم یا تالاب بزرگ هویزه در غرب خوزستان در انتهای رودخانه‌ی کرخه بین دو کشور ایران و عراق در موقعیت جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه‌ی طول شرقی و ۳۱ درجه و ۵۰ دقیقه‌ی عرض شمالی واقع شده است.

۲-۱-۲- مساحت تالاب

این تالاب با وسعتی بین ۵۵۰ تا ۷۰۰ هزار هکتار از تالاب‌های کم‌نظیر کشور می‌باشد. از کل وسعت این تالاب نزدیک به دوسوم آن در خاک عراق و یک‌سوم آن در خاک ایران قرار دارد. به‌طور کلی نوسانات سالانه‌ی مساحت هور تابع میزان ورودی آب و تبخیر بوده و وسعت آن در فصل بهار به حداکثر خود می‌رسد. وسعت تالاب در فصول مختلف سال و حتی در طی سال‌های مختلف دچار نوسان می‌شود. بر اساس اطلاعات مرکز سنجش‌ازدور ایران، هورالعظیم دارای ۹۰ کیلومتر طول و ۴۵ کیلومتر عرض می‌باشد (Behrouzi Rad, 2008).

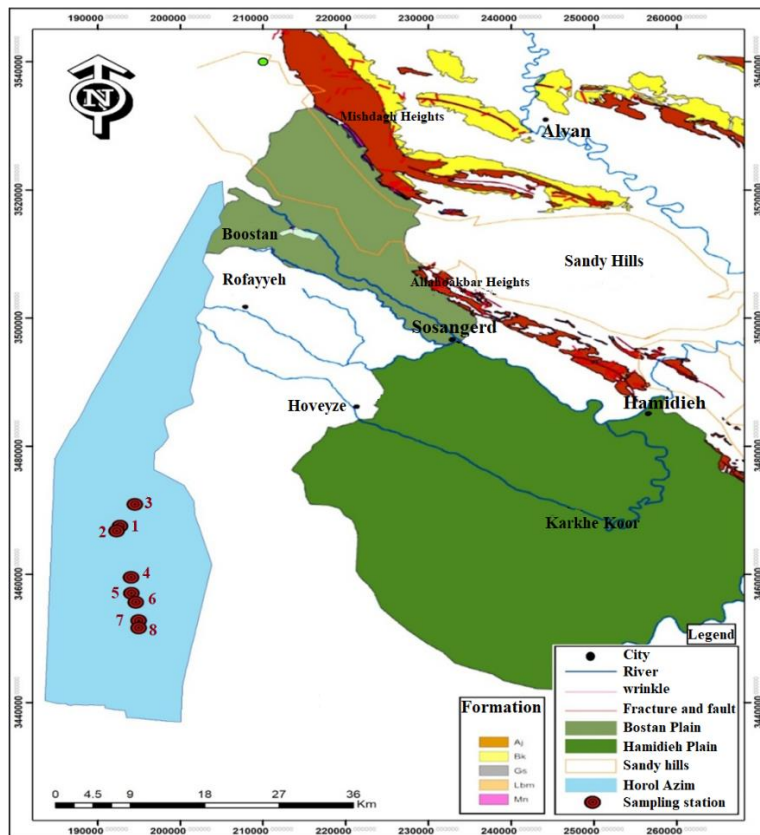
۲-۱-۳- منابع تأمین آب تالاب هورالعظیم

بخش غربی این تالاب به‌وسیله‌ی رودخانه‌ی دجله در جنوب عماره در خاک عراق و بخش شرقی آن از رودخانه‌ی کرخه و



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه (امتداد شمال به جنوب بخش شرقی تالاب)

Fig. 1. Area of study (The north to south extension of the eastern part of the wetland)



شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

Fig. 2. Geological map of the studied area

۲-۱-۵- رسوب در تالاب

سالانه حدود ۹ میلیون تن رسوب از حوضه‌ی علیای کرخه حمل و به مناطق پایین دست انتقال می‌یابد. بررسی توزیع ماهانه‌ی مقادیر رسوب در ایستگاه جلوگیری حاکمی از آن است که از کل ۹ میلیون تن متوسط سالانه‌ی مواد جامد ۴۱ درصد مربوط به فروردین و ۶۲ درصد مربوط به ماه‌های فروردین و اردیبهشت و بالآخره ۸۰ درصد مربوط به سه‌ماهه‌ی اسفند تا پایان اردیبهشت است و سهم ۹ ماه دیگر سال تنها ۲۰ درصد از کل میانگین سالانه‌ی وزن مواد جامد را تشکیل می‌دهد. آمارهای موجود از رسوب گویای تحولاتی است که به‌خصوص در شرایط سیلابی در مسیر رودخانه و در پهنه‌ی دشت خوزستان به وقوع می‌پیوندد. به‌طوری‌که وزن متوسط مواد جامد سالانه در ایستگاه جلوگیری یعنی در مدخل دشت ۸ میلیون تن، در ایستگاه واسط یعنی پای پل ۱۶ میلیون تن و در ایستگاه حمیدیه ۵/۱۵ میلیون تن برآورد شده است. مقایسه‌ی این ارقام، فعالیت شدید رودخانه‌ی کرخه را در فرسایش مسیر در داخل دشت نشان می‌دهد که ناشی از مکانیسم جریان آب در پیچ‌های رودخانه می‌باشد. به‌طور کلی مقدار رسوب با کاهش شیب رودخانه کاهش می‌یابد که در مورد کرخه نیز این وضعیت صدق می‌کند، اما در مورد بار معلق دقیقاً این وضعیت برعکس بوده، به‌طوری‌که در حدفاصل ایستگاه‌های جلوگیری و پای پل میزان غلظت در واحد دبی به‌طور متوسط تقریباً دو برابر افزایش می‌یابد که این امر مؤید فرسایش‌پذیری حوضه‌ی میانی در این فاصله می‌باشد. در

فاصله‌ی پای پل و حمیدیه همین وضع منتهی با شدت کمتر حاکم است. این مواد بالآخره در حاشیه هورالعظیم رسوب می‌کند (Behrouzi Rad, 2008).

۲-۲- جمع‌آوری و آماده‌سازی نمونه‌ها

۲-۲-۱- نمونه برداری (دی‌ماه ۱۳۹۸)

در این پژوهش با توجه به شرایط خاص تالاب هورالعظیم و فعالیت‌های پروژه‌های نفتی و برای مطالعه تأثیر این فعالیت‌ها بر آلاینده‌ی تالاب، نمونه‌ها از اطراف دکل‌های نفتی و با شعاع تقریبی ۵-۱۰ متری برداشت شده است. برای این کار تعداد ۱۶ نمونه از ۸ ایستگاه (هر ایستگاه ۲ نمونه) و با اعماق تقریبی ۳۰-۴۰ سانتی‌متری و در محیط کاملاً غرقابی برداشته شدند. نمونه برداری در تاریخ ۱۳۹۸/۱۰/۰۹ انجام گردید.

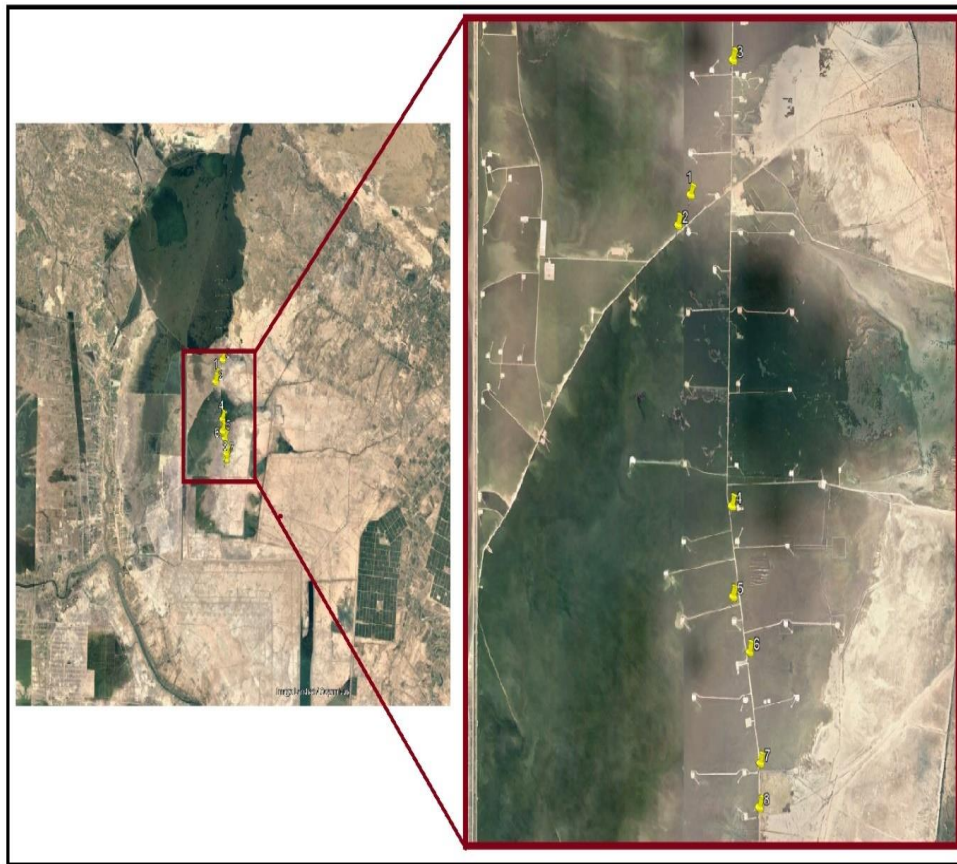
۲-۲-۲- آماده‌سازی نمونه‌ها

از هر ایستگاه به تعداد ۲ نمونه تکراری برداشته شده و پس از برداشت نمونه‌ها بدون هیچگونه آنالیز صحرائی، آن‌ها را به آزمایشگاه انتقال داده و هواخشک گردیدند. سپس نمونه‌های تکراری که خشک و کلوخه شده اند، مخلوط گردیده و توسط هاون چینی کوبیده و پودر گردیدند. برای تهیه ذرات کوچک‌تر از ۶۳ میکرون از الک ۲۳۰ مش استفاده شد. نمونه‌ها در پلاستیک‌های زیپ کیپ قرار داده شده و برای آنالیز به آزمایشگاه ارسال شدند. نمونه‌ها به روش طیف سنجی جذب اتمی آنالیز گردیدند. عدم قطعیت اندازه‌گیری در فاصله اطمینان ۹۵٪ و $K=2$ محاسبه شده است.

جدول ۱- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 1. Geographical coordinates of the studied stations

Coordinates	station no.	Coordinates	station no.
N 31° 12.471' E 47° 47.296'	5	N 31° 18.066' E 47° 46.789'	1
N 31° 11.697' E 47° 47.698'	6	N 31° 17.645' E 47° 45.961'	2
N 31° 10.146' E 47° 47.958'	7	N 31° 17.953' E 47° 47.292'	3
N 31° 9.528' E 47° 47.936'	8	N 31° 13.730' E 47° 47.270'	4



شکل ۳- موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری
Fig. 3. Location of sampling station

Cbackground: غلظت زمینه طبیعی فلز

مقادیر CF محاسبه شده برای فلزات سنگین منطقه مورد مطالعه در جدول ۲ و نقشه‌های هم ارزش منطقه مورد مطالعه آورده شده است.

۱-۲-۲-۲- شاخص آلودگی CF

مقادیر این شاخص با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌گردد و سطوح آلودگی بر اساس جدول ۳-۱ مشخص می‌شود.

$$CF = C_{metal} / C_{background} \quad (\text{رابطه ۱})$$

Cmetal: غلظت فلز اندازه‌گیری شده در نمونه خاک

جدول ۲- رده‌بندی سطوح آلودگی بر اساس فاکتور آلودگی (CF)

Table 2. Pollution level classification based on pollution factor (CF)

variation range CF	Intensity of pollution
$CF \leq 1$	Low
$1 \leq CF \leq 3$	Medium
$3 \leq CF \leq 6$	Much
$CF \geq 6$	Very much

۲-۲-۲-۲- شاخص بار آلودگی (PLI)

این شاخص معیاری برای تعیین بار آلودگی در منطقه مورد نظر است و از رابطه‌ی ۲ محاسبه می‌شود.

$$PLI = (CF1 \times CF2 \times \dots \times CFn)^{1/N} \quad (\text{رابطه ۲})$$

CF: فاکتور آلودگی

N: تعداد آلودگی (فلزات ایستگاه‌های مورد نظر)

$PLI < 1$ باشد نشان‌دهنده بار با غلظت کم فلزات و نبود

آلودگی است.

$PLI \approx 0$ باشد نشان‌دهنده غلظت فلزات سنگین نزدیک

به غلظت زمینه است.

$PLI > 1$ باشد حاکی از آلوده بودن منطقه است.

شاخص درجه آلودگی اصلاح یافته (mCd)

این شاخص برای اولین بار توسط Parker و Abraham (۲۰۰۸)

ارائه شد. با استفاده از این شاخص، آلودگی چندفلزی

نمونه رسوب را می‌توان به‌جای ارزیابی آلودگی ناشی از یک فلز

در یک نمونه بررسی کرد.

$$mCd = \sum_{i=1}^n cf / n \quad (\text{رابطه ۳})$$

n تعداد فلزات و cf فاکتور آلودگی ارائه‌شده توسط

Hankson (۱۹۸۰) است که برای ارزیابی آلودگی فلزات

سنگین استفاده می‌گردد.

۲-۳- آنالیز آماری داده‌ها توسط نرم افزار SPSS

در این پژوهش از نرم‌افزار SPSS23 جهت تجزیه و تحلیل آماری

داده‌ها استفاده گردید. برای تعیین نرمال بودن داده‌ها از آزمون

کولوموگروف-اسمیرنوف استفاده گردید. ضریب همبستگی یکی

از محبوب‌ترین روش‌های کمی تجزیه و تحلیل داده‌هاست (Chen

and Popovich, 2002). تعیین همبستگی فلزات با یکدیگر و

با پارامترهای pH، EC و دانه‌بندی در ایستگاه‌ها صورت گرفته

است.

آنالیز خوشه‌ای یا تحلیل خوشه‌ای یکی از روش‌های

پرکاربرد در تحلیل هیدروژئوشیمی و پژوهش‌های

زیست‌محیطی است. در این روش قبل از تحلیل، باید یک

مقیاس کمی بر پایه‌ی همخوانی (تشابه) بین مشاهدات انتخاب

کرد. این شاخص‌ها (مقیاس کمی، فاصله، تشابه) با توجه به

الگوریتم تشکیل خوشه‌ها، ماهیت مکانی، متغیرهای موجود و

مقیاس اندازه‌گیری انتخاب‌شده و در نتیجه‌ی این عملیات، یک

نمودار درختی ترسیم می‌شود.

در این نمودار اغلب مشاهدات مشابه با فواصل مشخص به

یکدیگر متصل می‌شوند. هرچه فاصله کمتر باشد نشان‌دهنده‌ی

تشابه بیشتر بین دو خوشه متصل به هم و فواصل دورتر

نشان‌دهنده‌ی تشابه کمتر می‌باشد. (Gule et al., 2002).

۳- بحث

۳-۱- بررسی غلظت فلزات سنگین و خواص

فیزیکوشیمیایی منطقه مورد مطالعه

شاخص‌های pH و EC که از جمله خواص فیزیکوشیمیایی خاک

هستند و در تثبیت و رهاسازی فلزات سنگین به محیط

تأثیرگذار می‌باشند، توسط روش‌های استاندارد اندازه‌گیری و در

جدول ۳ آورده شده‌اند. در تمامی ایستگاه‌ها pH کمی قلیایی

(pH=7.2-8) می‌باشند. بیشترین و کمترین مقدار pH به

ترتیب مربوط به ایستگاه‌های St10 و St1 و میانگین pH برابر

با 7.84 می‌باشد. بیشترین و کمترین مقدار EC به ترتیب مربوط

به ایستگاه‌های St7 و St3 و میانگین EC برابر با 696.9

(ms/cm) می‌باشد. مناطقی که تحت تأثیر یون‌های Ca، Mg،

Cl و سولفات (SO4) و یا نمک‌های دیگر می‌باشند، EC بالایی

دارند. به‌عبارتی دیگر حضور این یون‌ها در منافذ خاک، شوری

یا EC خاک را افزایش می‌دهند (Seifi et al., 2010). در ادامه

مقادیر pH، EC برحسب (ms/cm) و غلظت فلزات سنگین

برحسب (ppm) در منطقه مورد مطالعه در جدول ۳ آورده شده

است.

بیشترین غلظت As (35.7 ppm) در ایستگاه St3 مشاهده

گردید. اگرچه بیشترین مسائل و مشکلات محیطی ناشی از

حرکت آرسنیک در محیط‌زیست، به‌وسیله‌ی عوامل طبیعی به

وجود می‌آیند، اما فعالیت‌های انسانی نظیر معدنکاری، استفاده

از سوخت‌های فسیلی، آفت‌کش‌های آرسنیک و علف‌کش‌ها نیز

در افزایش این عنصر در محیط پیرامون، بی‌تأثیر نمی‌باشند

در افزایش این عنصر در محیط پیرامون، بی‌تأثیر نمی‌باشند

(Smedley and Kinniburgh, 2005). بیشترین غلظت Pb

(64ppm) مربوط به ایستگاه St7 می‌باشد.

هنگامی که انسان در ایجاد یا تشدید آلودگی آرسنیک

دخیل باشد، تقریباً همیشه می‌توان علت را در معدن‌کاری یا

فعالیت‌های مرتبط با معدن جستجو کرد. آرسنیک در حالات

اکسیداسیون مختلفی وجود دارد که آرسنیک (III) و (V)

رایج‌ترین اشکال آن هستند. مشابه بسیاری از شبه‌فلزات، شیوع

گونه‌های خاص آرسنیک تا حد زیادی به pH و شرایط ردوکس

ماتریسی که در آن وجود دارد بستگی دارد. گونه‌بندی نیز در

در ایستگاه St7 مشاهده گردید. بیشترین غلظت Ni (75.59 ppm) مربوط به ایستگاه St4 می‌باشد. بیشترین غلظت V (172 ppm) در ایستگاه St4 مشاهده گردید.

تعیین سمیت آرسنیک مهم است. مواد معدنی آرسنیک عمدتاً به صورت سولفیدها، اکسیدها و فسفات‌ها در محیط وجود دارند (Garelick et al., 2008). بیشترین غلظت Zn (141 ppm)

جدول ۳- مقادیر pH، EC برحسب (ms/cm) و غلظت فلزات سنگین برحسب (ppm) در منطقه مورد مطالعه
Table 3. pH, EC values in (ms/cm) and concentration of heavy metals in (ppm) in the study area

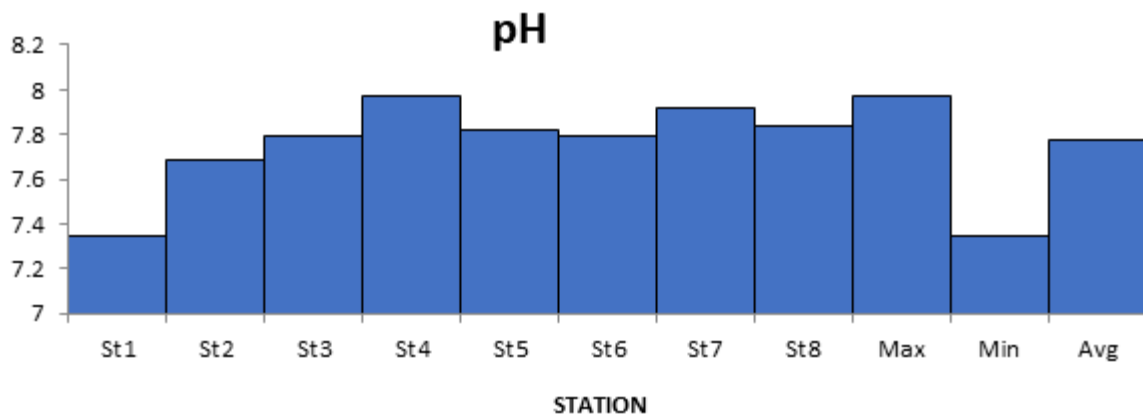
As	Pb	Zn	Ni	V	Cr	Fe	EC	pH	Station
4.1	20	101	61.07	129	105.7	33840	1.45	7.35	St1
9.6	35	93	51.37	133	132.6	33460	1.83	7.69	St2
35.7	51	124	49.37	129	123.7	31840	1.97	7.79	St3
21.5	58	104	75.59	172	118.1	37780	1.45	7.97	St4
7.7	21	96	63.71	149	71.1	37500	2.23	7.82	St5
3.3	17	73	38.36	107	98.5	21940	3.11	7.79	St6
3.7	64	141	53.32	139	101	35540	2.22	7.92	St7
4.5	60	93	50.87	126	130	30600	5.46	7.84	St8
35.7	64	141	75.59	172	132.6	37780	5.46	7.97	Maximum
3.3	20	73	38.36	107	98.5	21940	1.45	7.35	Minimal
11.2	40.7	103.1	55.4	135.5	115.8	32812.5	2.46	7.77	Average

مقادیر CF برای فلز Zn در ایستگاه‌های St2، St6 و St8 دارای شدت آلودگی کم و در ایستگاه‌های St1، St3، St4 و St5 دارای شدت آلودگی متوسط می‌باشد. مقادیر CF برای فلز Ni در تمامی ایستگاه‌ها به‌استثنای ایستگاه St4 دارای شدت آلودگی کم و در ایستگاه St4 دارای شدت آلودگی متوسط می‌باشد. مقادیر CF برای فلز V در ایستگاه‌های St1، St3، St6 و St8 دارای شدت آلودگی کم و در ایستگاه‌های St2، St4، St5 و St7 دارای شدت آلودگی متوسط می‌باشد. مقادیر CF برای فلز Cr در تمامی ایستگاه‌ها دارای شدت آلودگی متوسط می‌باشد. بر اساس میانگین مقادیر CF برای فلزات مورد مطالعه می‌توان بیان کرد که آرسنیک و نیکل دارای شدت آلودگی کم و فلزات سرب، روی، وانادیم و کروم دارای شدت آلودگی متوسط می‌باشند. فاکتور آلودگی (CF) برای فلزات مورد مطالعه از روند زیر تبعیت می‌کند (جدول ۴):

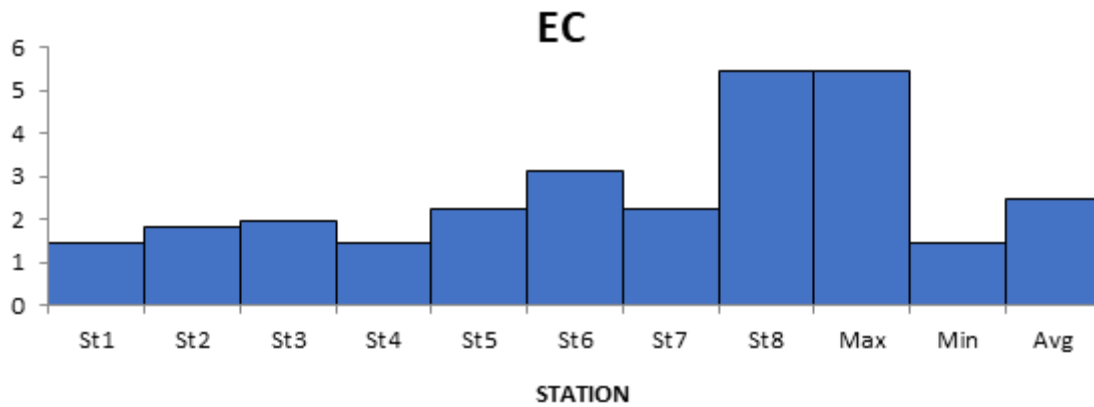
Pb>Cr>Zn>V>As>Ni

بیشترین غلظت Cr (132.6ppm) در ایستگاه St2 مشاهده شده است. با وجود اهمیت کروم در صنایع، آلودگی ناشی از آن نگران‌کننده است. کروم به حالت‌های مختلفی وجود دارد (Cr(0)، Cr(III)، بی‌خطر و Cr(VI) سمی). غلظت کم کروم برای رشد گیاهان مفید است، اما تجمع آن مضر است. سمیت کروم باعث کاهش جوانه‌زنی، کندی رشد، کاهش محصول، اختلال در فتوسنتز و جهش ژنتیکی در گیاهان و بیماری در انسان و حیوان می‌شود (Ukhurebor et al., 2021).

مقادیر CF برای فلز As در تمامی ایستگاه‌ها به‌جز ایستگاه St3 و St4 دارای شدت آلودگی کم و در ایستگاه‌های St3 و St4 دارای شدت آلودگی متوسط می‌باشد. مقادیر CF برای فلز Pb در ایستگاه‌های St1 و St6 دارای شدت آلودگی کم، در ایستگاه‌های St2، St3، St4، St5 دارای شدت آلودگی متوسط و در ایستگاه‌های St7 و St8 دارای شدت آلودگی زیاد می‌باشد.



شکل ۴- نمودار هیستوگرام pH
Fig. 4. pH histogram chart



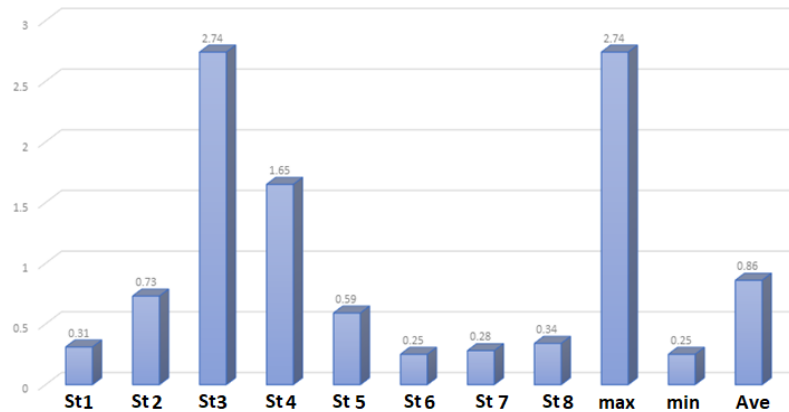
شکل ۵- نمودار هیستوگرام EC
Fig. 5. EC histogram chart

جدول ۴- مقادیر شاخص فاکتور آلودگی (CF) در منطقه مورد مطالعه

Table 4. Pollution factor index values in the study area

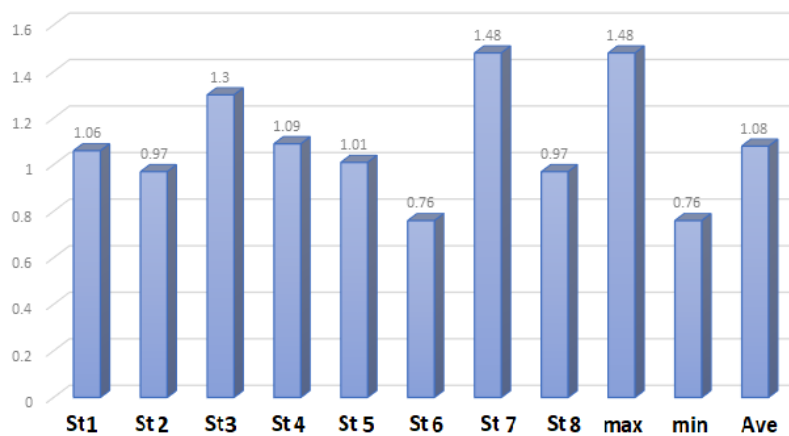
Cr	V	Ni	Zn	Pb	As	Station
1.17	0.99	0.89	1.06	1.00	0.31	St1
1.47	1.02	0.75	0.97	1.75	0.73	St2
1.37	0.99	0.72	1.3	2.55	2.74	St3
1.31	1.32	1.11	1.09	2.9	1.65	St4
1.3	1.14	0.93	1.01	1.05	0.59	St5
1.09	0.82	0.56	0.76	0.85	0.25	St6
1.12	1.06	0.78	1.48	3.2	0.28	St7
1.44	0.97	0.74	0.97	3.00	0.34	St8
1.47	1.32	1.11	1.48	3.2	2.74	Maximum
1.09	0.82	0.56	0.76	0.85	0.25	Minimal
1.28	1.03	0.81	1.08	2.03	0.86	Average

As



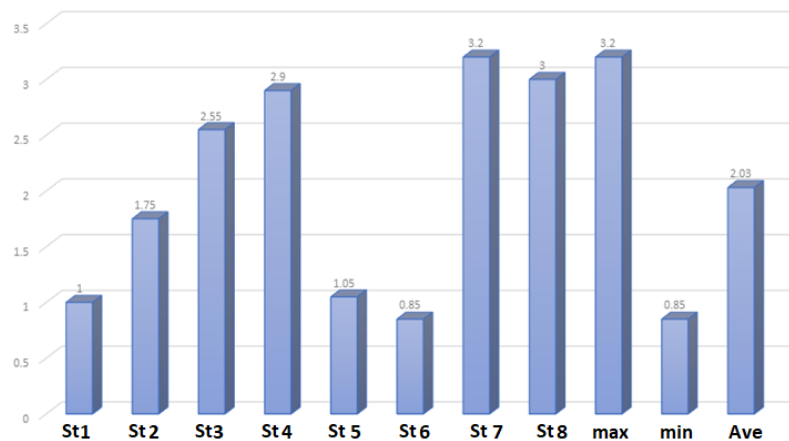
شکل ۶ - مقادیر شاخص فاکتور آلودگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه - آرسنیک
Fig. 6. Pollution factor index values in the studied stations-Arsenic

Zn

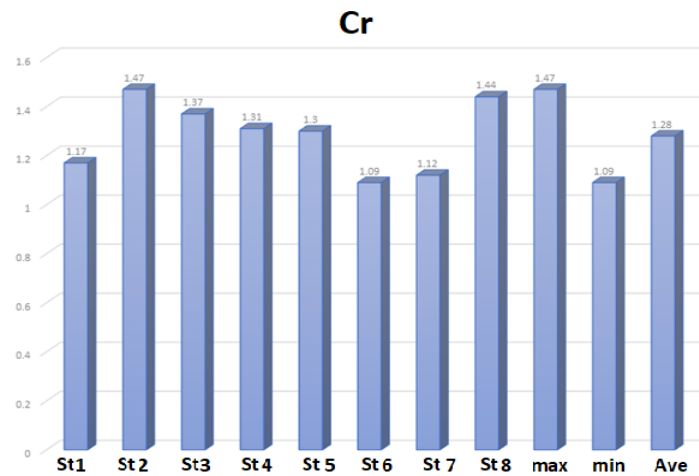


شکل ۷ - مقادیر شاخص فاکتور آلودگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه - روی
Fig. 7. Pollution factor index values in the studied stations-Zinc

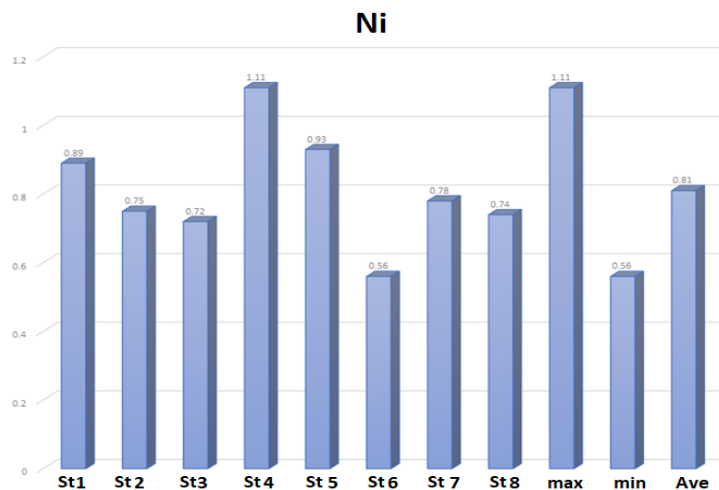
Pb



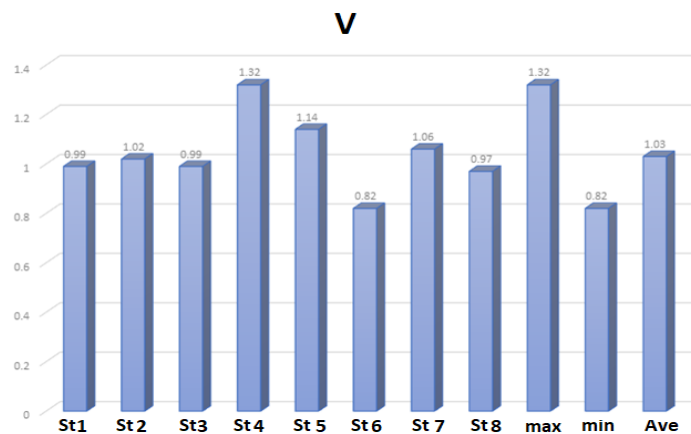
شکل ۸ - مقادیر شاخص فاکتور آلودگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه - سرب
Fig. 8. Pollution factor index values in the studied stations-Lead



شکل ۹ - مقادیر شاخص فاکتور آلودگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه - کروم
Fig. 9. Pollution factor index values in the studied stations-Chromium



شکل ۱۰ - مقادیر شاخص فاکتور آلودگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه - نیکل
Fig. 10. Pollution factor index values in the studied stations-Nickel



شکل ۱۱ - مقادیر شاخص فاکتور آلودگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه - وانادیوم
Fig. 11. Pollution factor index values in the studied stations-Zinc

است، بیشتر از 0.05 باشد با اطمینان می توان گفت که فلزات دارای توزیع نرمال می باشند.

۲-۳- تعیین همبستگی فلزات با یکدیگر و با پارامترهای EC، pH و دانه بندی در ایستگاهها

مقادیر ضریب همبستگی پیرسون در جدول ۸ آمده است. بر اساس داده های این جدول مشخص گردید که همبستگی مثبت و بالایی بین دو فلز وانادیوم (V) و نیکل (Ni) ($P < 0.01, r = 0.930$) و نیز همبستگی مثبت و بالایی بین دو فلز سرب (Pb) و روی (Zn) ($P = 0.05, r = 0.807$) وجود دارد. همبستگی بالا بین عناصر می تواند ناشی از ورود این عناصر از طریق منابع مشترک مانند ورود از طریق اتمسفر یا مواد مادری باشد (Kapusta et al., 2011). همچنین همبستگی بالا بین فلزات ممکن است نشان دهنده ی سطح آلودگی و منبع آلودگی مشابه برای این فلزات باشد (Sun et al., 2010). همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که بین اندازه ذرات رسوبات و غلظت فلزات سنگین ارتباط معناداری وجود ندارد.

شاخص بار آلودگی (PLI) در ایستگاههای St1، St5 و St6 فاقد آلودگی یا دارای غلظت کم فلزات و ایستگاههای St2، St3، St4، St7 و St8 در سطح آلوده قرار می گیرند. مقادیر PLI برای ایستگاههای مورد مطالعه از روند زیر تبعیت می کند:

$$St4 > St3 > St2 > St7 > St8 > St5 > St1 > St6$$

بر اساس شاخص درجه آلودگی اصلاح یافته (mCd)، تمامی ایستگاهها به جز St3 و St4 دارای سطح بدون آلودگی تا آلودگی بسیار کم و در ایستگاههای St3 و St4 دارای شدت آلودگی کم می باشند. شدت آلودگی ایستگاهها از روند زیر تبعیت می کند:

$$St3 > St4 > St7 > St8 > St2 > St5 > St1 > St6$$

مقادیر این آزمون برای فلزات مورد مطالعه در جدول ۷ آورده شده است. با توجه به مقادیر محاسبه شده مشخص گردید که به جز فلز آرسنیک، تمامی فلزات دارای توزیع نرمال می باشند. فلز آرسنیک نیز با استفاده از رابطه ی Log در نرم افزار SPSS23 نرمال گردید. در این جدول چنانچه سطح معنی داری (Significance Level) که در جدول با Sig مشخص شده

جدول ۵- مقادیر و سطوح شاخص بار آلودگی (PLI) در منطقه مورد مطالعه

Table 5. Values and levels of pollution load index (PLI) in the study area

Pollution level	PLI	Station number
Low concentration of metals or no pollution	0.58	St1
infected	1.18	St2
infected	2.97	St3
infected	3.16	St4
Low concentration of metals or no pollution	0.92	St5
Low concentration of metals or no pollution	0.28	St6
infected	1.11	St7
infected	1.00	St8

جدول ۶- مقادیر و سطوح آلودگی شاخص mCd در منطقه مورد مطالعه

Table 6. Values and levels of mCd index in the study area

Pollution level	mCd	Station number
No pollution to very little pollution	0.9	St1
No pollution to very little pollution	1.11	St2
Low pollution	1.61	St3
Low pollution	1.56	St4
No pollution to very little pollution	1.00	St5
No pollution to very little pollution	0.72	St6
No pollution to very little pollution	1.32	St7
No pollution to very little pollution	1.24	St8

جدول ۷ - مقادیر آزمون کولوموگروف-اسمیرنوف برای فلزات مورد مطالعه

Table 7. values of the Kolomogrov-Smirnov test for the studied metals

Metal	Statistic	Df	Sig
AS	0.231	7	0.15*
Pb	0.215	7	0.15
Zn	0.232	7	0.15
Ni	0.201	7	0.15
V	0.186	7	0.15
Cr	0.161	7	0.15

This is a lower bound of the true significance *

جدول ۸ - مقادیر ضریب همبستگی پیرسون بین فلزات و با پارامترهای pH، EC و دانه بندی در ایستگاه های مورد مطالعه

Table 8. Pearson correlation coefficient values between metals and pH, EC and granulation parameters in the studied stations

	As	Pb	Zn	Ni	V	Cr	pH	EC	دانه بندی
As	1								
Pb	0.333	1							
Zn	0.324	0.807*	1						
Ni	0.200	0.192	0.183	1					
V	0.313	0.389	0.307	0.930**	1				
Cr	0.389	0.307	-0.006	0.143	0.220	1			
pH	0.232	0.616	0.264	0.087	0.398	0.116	1		
EC	0.197	0.271	0.421	0.334	0.366	0.157	0.112	1	
Grading	0.187	-0.353	-0.501	0.131	0.206	0.236	0.427	0.514	1

* و ** به ترتیب نشان دهنده همبستگی در سطح ۵٪ و ۱٪ می باشند.

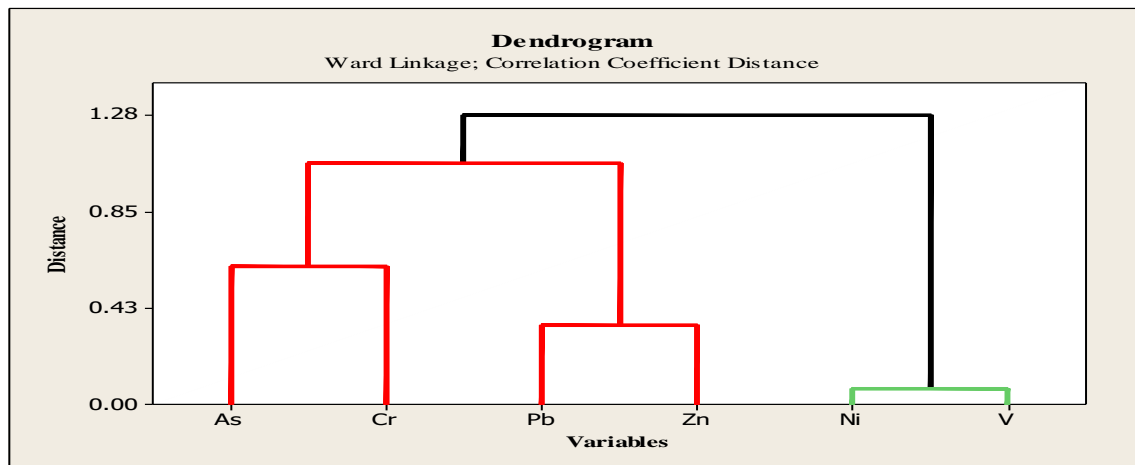
۳-۳- آنالیز خوشه ای سلسله مراتبی

در این بخش از پژوهش، دندروگرام آنالیز خوشه ای یک بار برای فلزات (شکل ۱۲) و یک بار برای ایستگاه ها (شکل ۱۳) و با استفاده نرم افزار Minitab 16 بر اساس ماتریس فاصله و به روش Ward ترسیم گردید. بر اساس دندروگرام شکل ۱۲ فلزات به دو خوشه تقسیم گردیدند. فلزات وانادیم و نیکل در یک خوشه و فلزات روی، سرب، کروم و آرسنیک در خوشه ای دیگر

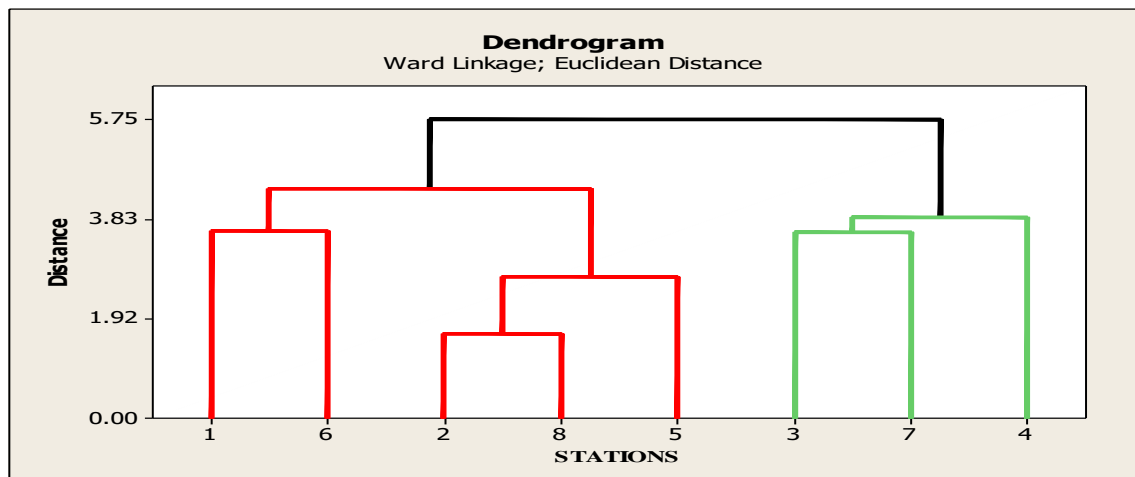
قرار گرفته اند. قرارگیری فلزات وانادیوم و نیکل در یک خوشه و با فاصله ای نزدیک به هم کاملاً بر آنالیز ضریب همبستگی پیرسون منطبق می باشد. بر اساس دندروگرام شکل ۱۳ ایستگاه ها در دو خوشه قرار گرفته اند. ایستگاه های (St3، St4 و St7) در یک خوشه و ایستگاه های (St1، St2، St5، St6 و St8) در خوشه ای دیگر قرار گرفتند. این تقسیم بندی ممکن است

و مقادیر پایین تر آلودگی را در ایستگاه‌های (St1, St2, St5, St6 و St8) نشان دادند.

بر اساس میزان شدت آلودگی در ایستگاه‌ها صورت گرفته باشد، مقادیر بالای آلودگی را در ایستگاه‌های (St3, St4 و St7)



شکل ۱۲- دندروگرام آنالیز خوشه‌ای فلزات سنگین مورد مطالعه
Fig. 12. Dendrogram of cluster analysis of studied heavy metals



شکل ۱۳- دندروگرام آنالیز خوشه‌ای ایستگاه‌های مورد مطالعه
Fig. 13. Dendrogram of cluster analysis of studied stations

احتمال بالایی می‌توان بخشی یا تمام آلودگی موجود در نمونه‌ها را به آلودگی نفتی نسبت داد. بر اساس شاخص بار آلودگی (PLI) ایستگاه‌های St1, St5 و St6 دارای غلظت کم فلزات یا فاقد آلودگی و ایستگاه‌های St2, St3, St4, St7 و St8 آلوده می‌باشند. همبستگی مثبت و بالایی بین فلزات نیکل، وانادیوم، سرب و روی وجود دارد. همبستگی بالا بین فلزات ممکن است نشان‌دهنده‌ی سطح آلودگی و منبع آلودگی مشابه برای این فلزات باشد.

۴- نتیجه‌گیری

بر اساس میانگین فاکتور آلودگی (CF)، فلز آرسنیک دارای شدت آلودگی کم و فلزات سرب، روی، نیکل، وانادیوم و کروم دارای شدت آلودگی متوسط می‌باشند. بر اساس شاخص درجه آلودگی اصلاح یافته (mCd)، ایستگاه‌های St1, St2, St5, St6, St7 و St8 بدون آلودگی تا کمی آلوده بوده و ایستگاه‌های St3 و St4 دارای آلودگی کم می‌باشند. با توجه به اینکه نمونه برداری از فواصل نزدیک به دکل‌های نفتی و حفاری‌های مربوط به آن‌ها صورت گرفته است، به

ایستگاه‌ها صورت گرفته باشد، چنانچه مقادیر شاخص‌های آلودگی ترکیبی (CPI)، شاخص بار آلودگی (PLI) و شاخص درجه آلودگی اصلاح یافته (mCd) که برای تعیین آلودگی در ایستگاه‌های هشتگانه به‌کاربرده شده بودند، مقادیر بالای آلودگی را در ایستگاه‌های (St3، St4 و St7) و مقادیر پایین‌تر آلودگی را در ایستگاه‌های (St1، St2، St5، St6 و St8) نشان دادند؛ بنابراین با اطمینان بالایی می‌توان گفت که نتایج شاخص‌های آلودگی موردحاسبه برای ایستگاه‌های هشتگانه بر نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌ای، منطبق می‌باشند.

بر اساس آنالیز خوشه‌ای انجام‌شده برای فلزات مورد مطالعه، مشاهده گردید که دو فلز نیکل و وانادیوم در یک خوشه و فلزات آرسنیک، سرب، روی و کروم در شاخه دیگر قرار گرفتند. قرارگیری فلزات وانادیوم و نیکل در یک خوشه و با فاصله‌ای نزدیک به هم کاملاً بر نتایج آنالیز ضریب همبستگی پیرسون منطبق می‌باشد. همچنین بر اساس آنالیز خوشه‌ای انجام‌شده برای ایستگاه‌های مورد مطالعه، مشاهده گردید که ایستگاه‌های (St3، St4 و St7) در یک خوشه و ایستگاه‌های (St1، St2، St5، St6 و St8) در یک خوشه دیگر قرار گرفتند. این تقسیم‌بندی ممکن است بر اساس میزان شدت آلودگی در

مراجع

- Abraham, G., Parker, R., 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from tamaki estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment* 136, 227-38. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9678-2>.
- Alfaro, M.R., Montero, A., Ugarte, O.M., do Nascimento, C.W., de Aguiar Accioly, et al., 2015. Background concentrations and reference values for heavy metals in soils of Cuba. *Environmental Monitoring and Assessment* 187(1), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4198-3>.
- Aprile, F., Bouvy, M., 2008. Distribution and enrichment of heavy metals in sediments at the tapacurá river basin, North Eastern Brazil. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology* 12(1), 1-8. <https://doi.org/10.14210/bjast>.
- Behroozirad, B., 2008. Wetlands of Iran (2nd Ed.). Geographical Organization of the Armed Forces 812 P.
- Boerngen, G., Shacklette, T., 1984. Element concentrations in soils and other surficial materials of the conterminous United States. *Journal of Environmental Protection* 1270, 1-10. <https://doi.org/10.3133/PP1270>.
- Callender, E., 2003. Heavy metals in the environment-historical trends, *Treatise on Geochemistry* 9, 67-105. <https://doi.org/10.1016/b0-08-043751-6/09161-1>.
- Camargo, J., Feitosa, A., Galvao, B., 2015. Use, development and improvements in the protocol of whole-sediment toxicity identification evaluation using benthic copepods. *Marine Pollution Bulletin* 91(2), 511-517. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.10.015>.
- Chaharlang, B.H., Bakhtiari, A.R., Mohammadi, J., Farshchi, P., 2017. Geochemical fractionation and pollution assessment of Zn, Cu, and Fe in surface sediments from Shadegan Wildlife Refuge, southwest of Iran. *Environmental Science and Pollution Research International* 24(26), 21334-21350. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9547-7>.
- Chai, L., Li, H., Yang, Z., Min, X., Liao, Q., Liu, Y., Xu, J., 2017. Heavy metals and metalloids in the surface sediments of the xiangjiang river, Hunan, China: distribution, contamination, and ecological risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research International* 24(1), 874-885. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7872-x>.
- Chen, P.Y., Popovich, P.M., 2002. Correlation: Parametric and nonparametric measures (No. 139). Sage Publications 104 P. <https://doi.org/10.4135/9781412983808>.
- Choi, J., Peters, M., Mueller, R., 2011. Correlational analysis of ordinal data: from Pearson's r to Bayesian polychoric correlation. *Asia Pacific Education Review* 11(4), 459-466. <http://dx.doi.org/10.1007/s12564-010-9096-y>.
- Davies, P., Babcock, R., 1991. Effects of sedimentation on settlement of acropora millepora. *Coral Reefs* 9(4), 205-208. <https://doi.org/10.1007/bf00290423>.
- Dvoracek, J., Sousedikova, R., Vratny, T., Jurekova, Z., 2017. Global tungsten demand and supply forecas. *Archives of Mining Sciences* 62, 3-12. <https://doi.org/10.1515/amsc-2017-0001>.

- Farhat, H.I., 2019. Impact of drain effluent on surficial sediments in the Mediterranean Coastal Wetland: sedimentological characteristics and metal pollution status at lake Manzala. Egypt. Journal of Ocean University of China 18(4), 834-848. <http://dx.doi.org/10.1007/s11802-019-3608-0>.
- Farkas, A., Erratico, C., Vigano, L., 2007. Assessment of the environmental significance of heavy metal pollution in surficial sediments of the River Po. Chemosphere 68(4), 761-768. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.12.099>.
- Firouzshahian, N., Payandeh, Kh., Sabz Alipour, S., 2018. Evaluation of heavy metal contamination (nickel, cadmium, vanadium) in water and sediments of Horul Azim wetland of Khuzestan, Animal Environment Scientific Research Quarterly 11(4), 359-368. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.27171388.1398.11.4.48.4>.
- Fooladvand, S., Sayad, GH., Hemadi, K., Moazed, H., 2011. Assessing Changes in Quality and Quantity of Entering Stream to Hor-Al-Azim Wetland Regarding Karkhe Dam Construction. Engineering and Irrigation Sciences 36(4), 1-8. <https://sid.ir/paper/216947/fa>.
- Garelick, H., Jones, H., Dybowska, A., Valsami-Jones, E. 2008. Arsenic pollution sources. Reviews of environmental contamination volume 197: International perspectives on arsenic pollution and remediation 17-60.
- Ghanavati, N., Nazarpour, A., De Vivo, B., 2019. Ecological and human health risk assessment of toxic metals in street dusts and surface soils in Ahvaz, Iran. Environmental Geochemistry and Health 41(2), 875-891. <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0184-y>.
- Güler, C., Thyne, G.D., Mccray, J.E. Turner, A.K., 2002. Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. Hydrogeology Journal 10, 455-474. <http://dx.doi.org/10.1007/s10040-002-0196-6>.
- Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. Water Research, 14, 975-1001. [http://Dx.Doi.Org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](http://Dx.Doi.Org/10.1016/0043-1354(80)90143-8).
- Harikumar, P.S., Nasir, U.P., Rahman, M., 2009. Distribution of heavy metals in the core sediments of a tropical wetland system. International Journal of Environmental Science Technology 6(2), 225-232. <http://dx.doi.org/10.1007/BF03327626>.
- Herlihy, A. T., Sifneos, J. C., Lomnický, G. A., Nahlik, A. M., Kentula, M. E., Magee, T. K., Trebitz, A. S., 2019. The response of wetland quality indicators to human disturbance indicators across the United States. Environmental Monitoring and Assessment 191(1), 1-21. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10661-019-7323-5>.
- Hojati, S., 2017. Pollution assessment and source apportionment of arsenic, lead and copper in selected soils of Khuzestan Province, southwestern Iran. Arabian Journal of Geosciences 10, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3316-2>.
- Hormozinejad, F., Rastmanesh, F., Zarasvandi, A., 2015. Evaluation of the pollution of trace elements (nickel, iron, zinc, chromium, manganese and lead) in the soils around Khuzestan Steel Industries Complex, Journal of Economic Geology 8(2), 415-429. <https://doi.org/10.22067/econg.v8i2.36862>.
- Jiang, X., Xiong, Z., Liu, H., Liu, G., Liu, W., 2017. Distribution, source identification, and ecological risk assessment of heavy metals in wetland soils of a river-reservoir system. Environmental Science and Pollution Research 24(1), 436-444. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7775-x>.
- Johnston, A., 1991. Sediment and nutrient retention by freshwater wetlands: effects on surface water quality, Critical Reviews in Environmental Control 21(5-6), 491-565. <https://doi.org/10.1080/10643389109388425>.
- Kapusta, P., Lukaszewska, S., Stefanowicz, A., 2011. direct and indirect effects of metal contamination on soil biota in a Zn-Pb Post-Mining And Smelting Area (S Poland). Environmental Pollution 159(6), 1516-1522. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.015>.
- Khoramzade, E., Moarefi, M., Halee, C., 2019. Equilibrium Adsorption Study of CO₂ and N₂ on Synthesized Zeolites 13X, 4A, 5A, and Beta. Journal of Chemical and Engineering Data 64(12), 5648-5664. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jced.9b00690>.
- Leung, H.M., Duzgoren-Aydin, N.S., Au, C.K., Krupanidhi, S., Fung, K.Y., Cheung, K.C., Tsui, K., 2017. Monitoring and assessment of heavy metal contamination in a constructed wetland in Shaoguan (Guangdong Province, China): bioaccumulation of Pb, Zn, Cu and Cd in aquatic and terrestrial

- components. *Environmental Science and Pollution Research International* 24(10), 9079-9088. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6756-4>.
- Mafabi, P., 2000. The role of wetland policies in the conservation of waterbirds: the case of Uganda, *Journal of African Ornithology* 71(1-2), 96-98. <https://doi.org/10.1080/00306525.2000.9639880>.
- Morillo, J., Usero, J., Gracia, I., 2004. Heavy metal distribution in marine sediments from the southwest coast of Spain. *Chemosphere* 55(3), 431-442. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.10.047>.
- Nriagu, J., Pacyna, J.M., 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, Water and Soils By Trace Metals. *Nature* 333(6169), 134-139. <https://doi.org/10.1038/333134a0>.
- Ntakirutimana, T., Guo, J., Du, G., Gao, X., 2013. Pollution and potential ecological risk assessment of heavy metals in a lake. *Polish Journal of Environmental Studies* 22(4), 1129-1134. <https://www.researchgate.net/publication/282407323>.
- Oorts, K., Alloway, B., 2013. Heavy Metals in Soils. *Environmental Pollution* 22, 367-394. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7-13>.
- Payandeh, K., Velayatzadeh, M., 2019. Determining of the heavy metals cobalt, chromium, manganese, selenium and molybdenum in sediments of Hurolazim wetland in Khuzestan province using pollution indices. *Journal of Wetland Ecobiology* 11(40), 83-96. <https://sid.ir/paper/361858/fa>.
- Pourkhbaz, H., Jawanmardi, S., Youssef Nia, H., Islamic, M., Makroni, S., Aqdar, H., 2016. Environmental assessment of heavy metal pollution in the soils around Behbahan Cement Factory, *Geography and Environmental Planning Magazine* 27(3), 87-106. <https://doi.org/10.22108/gep.2017.97971>.
- Rastmanesh, F., Mousavi, M., Zarasvandi, A., Edraki, M., 2017. Investigation of elemental enrichment and ecological risk assessment of surface soils in two industrial port cities, southwest Iran. *Environmental Earth Sciences* 76(20), 1-13. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12665-017-7046-2>.
- Rastmanesh, F., Shalhaf, F., Moradi, R., Prinzhofer, A., 2020. Health risk assessment of heavy metals in Ahvaz oilfield using environmental indicators. *International Journal of Environmental Science and Technology* 17(12), 4669-4678. <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-020-02811-z>.
- Seifi, M., Alimardani, R., Sharifi, A., Akram, A., 2010. Using apparent soil electrical conductivity to improve agricultural Yield in Iran. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 2(5), 499 - 503. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7-13>.
- Şen, A., Pereira, H., Olivella, M.A., Villaescusa, I. 2015. Heavy metals removal in aqueous environments using bark as a biosorbent. *International Journal of Environmental Science and Technology* 12(1), 391-404. <http://dx.doi.org/10.1007%2Fs13762-014-0525-z>.
- Smedley, P., Kinniburgh, D.G., 2005. Arsenic in groundwater and the environment. in: Selinus, O., Ed., *Essentials of Medical Geology*, Elsevier, Amsterdam, 263-299.
- Souza, I., Araujo, G., Agrosience, E., Feitosa A., 2015. Using an integrated approach to assess the sediment quality of an estuary from the semi-arid coast of Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 104(1-2), 70-82. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.02.009>.
- Sun, Y., Zhou, Q., 2009. Spatial, sources and risk assessment of heavy metal contamination of urban soils in typical regions of Shenyang, *Journal of Hazardous Materials* 174, 455-62. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.09.074>.
- Ukhurebor, K.E., Aigbe, U.O., Onyancha, R.B., Nwankwo, W., Osibote, O.A., Paumo, H.K., Siloko, I.U., 2021. Effect of hexavalent chromium on the environment and removal techniques: a review. *Journal of Environmental Management* 280, 111809.
- Vaezi, A.R., Karbassi, A.R., Valavi, S., Ganjali, M.R., 2015. Ecological risk assessment of metals contamination in the sediment of the Bamdezh wetland, Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology* 12(3), 951-958. <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-014-0710-0>.
- Yu, G., Liu, Y., Yu, S., Wu, S., 2011. Inconsistency and comprehensiveness of risk assessments for heavy metals in urban surface sediments. *Chemosphere* 85(6), 1080-1087. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.07.039>.