

Research Article**The distribution and contamination of minor ions and elements in the water resources of the Sarduiyeh plain, Kerman Province, Iran**Nozhat Mahmoodinejad¹, Reza Jahanshahi^{1*}, Sepideh Mali²

1- Geology Department, Faculty of Sciences, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

2- Faculty of Geosciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Keywords: Water contamination, Drinking water standard, Thermal spring, Pollution index, Hazard quotient assessment**1- Introduction**

Rare elements can enter surface and groundwater due to the impact of several human activities such as agriculture, energy production, industry, production, mining, and etc. Contamination of water resources by trace elements threatens aquatic environments and human health (Yang et al., 2018; Lopez et al., 2019; Reis et al., 2019). In recent years, much attention has been paid to assessing trace element pollution in groundwater and surface water (Jahanshahi and Zare, 2015; Ahmadi et al., 2018). Regarding the pollution of rare elements, nitrate and fluoride in water resources, various researches have been done in Iran and the world which can be mentioned: Ruckart et al. (2008), Baily et al. (2011), Jahanshahi and Zare (2015), Amarloei et al. (2014), Bahmani et al. (2015), Ledesma-Ruiz and Mahlkhecht (2017), Ahmadi et al. (2018), Qasemi et al. (2018), Radfard et al. (2018), Azhdarpoor et al. (2019), Yousefi et al. (2019), Biddau et al. (2019), Kawagoshi et al. (2019), Naderi et al. (2020), Caroline et al. (2020), Caroline et al. (2020), and Parrone et al. (2020).

The quality and quantity of groundwater resources in the Sarduiyeh plain in Kerman Province are very suitable for drinking and agricultural uses, and based on this, the development of agriculture and urbanization is taking place. Therefore, due to the increasing development of agriculture, mining and hot springs in this area. Hence, it is vital to study trace elements and ions in the area's water resources to study management plans for water resources and drinking water. Therefore, the purpose of this study is to investigate the contamination of water resources in Sarduiyeh plain.

2- Materials and methods

Forty-three sites, including wells, springs, qanat and rivers, have been sampled to measure some trace elements and minor-ions in groundwater and surface water sources.

Spatial variability map of ions, hierarchical cluster, principal component analysis, and the pollution index has been used (Caerio et al., 2005; Hajizadeh et al., 2011; Jahanshahi and Zare, 2015) to assess the extent of contamination of some trace elements and minor ions in the groundwater resources of the region.

Moreover, in order to investigate the hazard level of nitrate and fluoride in the water resources, the hazard quotient of these ions for three age groups of infants, children and adults has been calculated and studied (Khan et al., 2016; Ullah et al., 2017; Radfard et al., 2018; Qasemi et al., 2018).

3-Results and discussion

The average concentration of these parameters demonstrated the following decreasing trend: $\text{NO}_3 > \text{F} > \text{B} > \text{Ba} > \text{Fe} > \text{Cu} > \text{Mn}$. Cu, B, NO_3 and Mn concentrations in all points were below the drinking water standard, and there was no contamination with these elements in the area. Barium concentration was lower than the drinking water standard except in two thermal springs. Fe concentration was less than the drinking standard in all areas except

* Corresponding author: jahanshahireza@science.usb.ac.ir

DOI: 10.22055/AAG.2021.36203.2189

Received 2020-12-28

Accepted 2021-04-17

one of the river samples. The amount of fluoride in spring SP1 and two thermal springs were observed above the drinking water standard. While in some samples, aluminium had a concentration lower than the standard. The study area's surface and groundwater resources had a medium pollution level using the pollution index. According to the evaluation of nitrate and fluoride consumption in water resources as drinking water for three age groups (adults, children, and infants), it was observed that water consumption in a year in terms of nitrate was not dangerous for any age group but more than one year was dangerous for some age groups in some areas in terms of nitrate. While for fluoride, consuming water resources for more than two years was harmful to health in most samples. In this region, low correlations between the concentrations of rare elements were observed due to unsuitable geochemical conditions and heterogeneity in the lithological composition and groundwater outflow from multiple hard-rock aquifers. Moreover, two factors of mineral dissolution with high solubility and agricultural activities were influential in minor elements.

4- Conclusions

Although the quality of groundwater and surface water resources of Sardouyeh plain is very suitable for drinking and agricultural uses in terms of salinity, there may be elements and ions in such quality water resources that make water unfavorable for drinking purposes. The spatial distribution map of ions and elements considered in the study shows that spatial variations have a trendless distribution concentration, and therefore the source of contamination of each is a point type. In this region, low correlations between the concentrations of rare elements were observed due to unsuitable geochemical conditions and heterogeneity in the lithological composition and groundwater outflow from multiple hard-rock aquifers. Moreover, two factors of mineral dissolution with high solubility and agricultural activities were influential in minor elements in the study area. Also, nitrate, boron, copper and manganese parameters in all water resources of the Sarduiyeh area have less concentration than the standard of world health drinking water, while the concentration of fluoride, barium and iron in some places is higher than the standard. Therefore, according to the pollution index, surface and groundwater resources in the study area have a moderate pollution level.

Furthermore, nitrate and fluoride hazard quotient assessment for the three age groups (adults, children and infants) in the study area's water resources showed that the region's water resources for one year in terms of nitrate are not dangerous for any age group. Also not dangerous for adults for two years; however, it is dangerous for children and infants at some points to use for two years. In terms of fluoride in water resources, water consumption within one year was safe for adults but dangerous for infants and children. Therefore, while consuming some water sources for more than two years, there is a risk for all three age groups. However, in general, the water of the study area is drinkable in most areas and has a deficient level of pollution. However, in the future, due to the increase in population, mining activities, human factors, lack of standard sewage wells, increase in agricultural activities and increase in the number of wells for drinking and agricultural water in the region, the desired quality of water resources can be reduced.

References

- Ahmadi, S., Jahanshahi, R., Moein, V., Mali, S., 2018. Assessment of hydrochemistry and heavy metals pollution in the groundwater of Ardestan mineral exploration area, Iran. *Environmental Earth Sciences* 77, 21.
- Amarloei, A., Nazeri, M., Sayeh Miri, K., Nourmoradi, H., Khodarahmi, F., 2014. Investigation on the Concentration of Nitrate and Nitrite in Ilam ground waters. *Scientific Journal of Ilam University of Medical Sciences* 22(4), 34-41.
- Azhdarpoor, A., Radfard, M., Pakdel, M., Abbasnia, A., Badeenezhad, A., Mohammade, A., Yousefi, M., 2019. Assessing fluoride and nitrate contaminants in drinking water resources and their health risk assessment in a semiarid region of southwest Iran. *Desalination and Water Treatment* 149, 43-51.
- Bahmani, O., Al Mohammad, S., Bahmani, A., 2015. Evaluation of Vulnerability of the Nitrate Pollution in Aquifer of Hamedan-Bahar. *Journal of Sabzevar University of Medical Sciences* 22(2), 387-396.
- Baily, A., Rock, I., Watson, C.J., Fenton, O., 2011. Spatial and temporal variations in groundwater nitrate at an intensive dairy farm in south-east Ireland: Insights from stable isotope data. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 144, 308-318.
- Biddau, R., Cidu, R., Pelo, S.D., Carletti, A., Ghiglieri, G., Pittalis, D., 2019. Source and fate of nitrate in contaminated groundwater systems: Assessing spatial and temporal variations by hydrogeochemistry and multiple stable isotope tools. *Science of the Total Environment* 647, 1121-1136.



- Caerio, S., Costa, M.H., Ramos, T.B., Fernandes, F., Silveira, N., Coimbra, A., et al., 2005. Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: An index analysis approach. *Ecological Indicators* 5(2), 155-69.
- Caroline, S., Santana Diango, M., Montalvan Olivares Vinnícius, H.C., Silva Francisco, H., Luzardo, M., Fermin, G., Velasco, Raildo, M., Jesus, de., 2020. Assessment of water resources pollution associated with mining activity in a semi-arid region. *Journal of Environmental Management* 273, 111148.
- Hajizadeh, N.H., Karami, G.H., Saadat, S., 2011. A study on chemical properties of groundwater and soil in ophiolitic rocks in Firuzabad, east of Shahrood, Iran: with emphasis to heavy metal contamination. *Environmental Monitoring and Assessment* 174, 573-58.
- Jahanshahi, R., Zare, M., 2015. Assessment of heavy metals pollution in groundwater of Golgohar iron ore mine area, Iran. *Environmental Earth Sciences* 74, 505-520.
- Kawagoshi, Y., Suenaga, Y., Chi, N.L., Hama, T., Ito, H., Van Duc, L., 2019. Understanding nitrate contamination based on the relationship between changes in groundwater levels and changes in water quality with precipitation fluctuations. *Science of the Total Environment* 657, 146-153.
- Khan, Z.I., Ahmad, K., Ashraf, M., Shoaib, N., Parveen, R., Bibi, Z., Mustafa, I., Noorka, I.R., Tahir, H.M., Akram, N.A., 2016. Assessment of toxicological health risk of trace metals in vegetables mostly consumed in Punjab, Pakistan. *Environmental Earth Sciences* 75, 433.
- Ledesma-Ruiz, R., Mahlkecht, J., 2017. Geochemical and isotopic characterization of groundwater in Tecate, Baja California, Mexico. *Procedia Earth and Planetary Science* 17, 516 - 519.
- Lopez, R., Hallat, J., Castro, A., Miras, A., Burgos, P., 2019. Heavy Metal Pollution in Soils and Urban-Grown Organic Vegetables in the Province of Sevilla, Spain. *Biological Agriculture & Horticulture* 35, 219-237.
- Naderi, M., Jahanshahi, R., Dehbandi, R., 2020. Two distinct mechanisms of fluoride enrichment and associated health risk in springs' water near an inactive volcano, southeast Iran. *Ecotoxicology and Environmental* 195, 110503.
- Parrone, D., Ghergo, S., Frollini, E., Rossi, D., Preziosi, E., 2020. Arsenic-fluoride co-contamination in groundwater: Background and anomalies in a volcanic-sedimentary aquifer in central Italy. *Journal of Geochemical Exploration* 217, 106590.
- Qasemi, M., Afsharnia, M., Farhang, M., Bakhshizadeh, A., Allahdadi, M., Zarei, A., 2018. Health risk assessment of nitrate exposure in groundwater of rural areas of Gonabad and Bajestan, Iran. *Environmental Earth Sciences* 77(15), 551.
- Radfard, M., Rahmatinia, M., Akbari, H., Hashemzadeh, B., Akbari, H., Adibzadeh, A., 2018. Data on health risk assessment of fluoride in water distribution network of Iranshahr, Iran. *Data in Brief* 20, 1446-1452.
- Reis, M.M., Santos, L.D.T., da Silva, A.J., de Pinho, G.P., Montes, W.G., 2019. Metal contamination of water and sediments of the Vieira river, montes claros, Brazil. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 77, 27-536.
- Ruckart, P.Z., Henderson, A.K., Black, M.L., Flanders, W.D., 2008. Are nitrate levels in groundwater stable over time?, *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 18, 129-133.
- Ullah, Z., Naz, A., Saddique, U., Khan, A., Shah, W., Muhammad S., 2017. Potentially toxic elements concentrations and human health risk assessment of food crops in Bajaur Agency, Pakistan. *Environmental Earth Sciences* 76, 482.
- Yang, Q., Li, Z., Lu, X., Duan, Q., Huang, L., Bi, J., 2018. A review of soil heavy metal pollution from industrial and agricultural regions in China: pollution and risk assessment. *Science of the Total Environment* 642, 690-700.
- Yousefi, M., Ghalehaskar, S., Baghal Asghari, F., Ghaderpoury, A., Dehghani, M., Ghaderpoori, M., Mohammadi, A., 2019. Distribution of fluoride contamination in drinking water resources and health risk assessment using geographic information system, northwest Iran. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 107, 104408.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Mahmoodinejad, N., Jahanshahi, R., Mali, S., 2022. The distribution and contamination of minor ions and elements in the water resources of the Sarduiyeh plain, Kerman province, Iran. *Adv. Appl. Geol.* 12(2), 238-258.

DOI: 10.22055/AAG.2021.36203.2189

url: https://aag.scu.ac.ir/article_16817.html?lang=en



پراکندگی و آلودگی یون‌ها و عناصر فرعی در منابع آب دشت ساردوئیه، استان کرمان

نزهت محمودی نژاد

دانشجوی کارشناسی ارشد آب‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

رضا جهانشاهی*

دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

سپیده مالی

دانشجوی دکتری آب‌شناسی، دانشگاه صنعتی شاهرود

*jahanshahireza@science.usb.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۸

چکیده

این پژوهش به بررسی آلودگی برخی عناصر نادر و یون‌های فرعی در ۴۳ محل از منابع آب زیرزمینی و سطحی در منطقه ساردوئیه در استان کرمان می‌پردازد. در این منطقه با دلائل عدم وجود شرایط مناسب ژئوشیمیایی، ناهمگنی در ترکیب سنگ‌شناسی منطقه و خروج آب زیرزمینی از آبخوان‌های سنگی متعدد همبستگی بالایی بین غلظت عناصر دیده نمی‌شود. همچنین عامل انحلال کانی‌های با خاصیت انحلال‌پذیری بالا و فعالیت‌های کشاورزی عوامل تاثیرگذار در وجود عناصر و یون‌های فرعی هستند. غلظت B ، Cu ، NO_3 و Mn در همه نقاط کمتر از حد استاندارد بهداشت آب آشامیدنی می‌باشند و آلودگی با این عناصر در کل منطقه وجود ندارد. غلظت Ba در تمام مناطق به جز در دو چشمه آبگرم کمتر از حد استاندارد آب آشامیدنی است. غلظت Fe در تمام مناطق به جز در یکی از محل‌های رودخانه کمتر از حد استاندارد آب است. مقدار فلوراید در محل چشمه $SP1$ و دو چشمه آبگرم بیش از حد استاندارد دیده می‌شود. در حالیکه آلومینیوم در برخی نمونه‌ها غلظت کمتر از حد استاندارد آب دارد. با استفاده از اندیس آلودگی می‌توان گفت که منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از سطح آلودگی متوسطی برخوردار هستند. با توجه به ارزیابی مصرف نیتрат و فلوراید موجود در منابع آب بعنوان آب آشامیدنی برای سه گروه سنی (بزرگسالان، کودکان و نوزادان) مشاهده می‌شود که مصرف آب در طی یک سال از لحاظ نیترات هیچ خطری برای هیچ گروه سنی ندارد. در حالیکه باتوجه به فلوراید، مصرف منابع آب بیشتر از دو سال در اکثر نمونه‌ها برای سلامتی مضر است.

کلمات کلیدی: آلودگی آب، استاندارد آب آشامیدنی، چشمه آبگرم، شاخص‌های آلودگی، ارزیابی تهدید سلامت

مقدمه

عناصر کمیاب در اثر تأثیر چندین فعالیت انسانی به عنوان مثال کشاورزی، تولید انرژی، صنعت، تولید، استخراج معادن و غیره می‌توانند وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی شود. آلودگی منابع آب توسط عناصر کمیاب به دلیل سمیت، ماندگاری و تجمع بیولوژیکی این آلاینده‌ها، خطر واقعی برای محیط‌های آبی و سلامت انسان دارند (Reis et Lopez et al., 2019; Yang et al., 2018; al., 2019). در سال‌های اخیر توجه زیادی به ارزیابی آلودگی عناصر کمیاب در آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی شده است (Ahmadi et al., 2018; Jahanshahi and Zare, 2015). به منظور ارزیابی عناصر نادر به ویژه در منابع آب زیرزمینی به عنوان منبع تأمین آب شرب و کشاورزی در کشورهای خشک و نیمه خشک مانند ایران، چندین شاخص معرفی شده است که از

جمله می‌توان به شاخص ارزیابی فلزات سنگین اشاره کرد. این شاخص آلودگی ابزاری مناسب برای ارزیابی کلی آلودگی منابع آب زیرزمینی است. در رابطه با آلودگی عناصر نادر در منابع آب تحقیقات گوناگونی در سطح ایران و جهان انجام شده است که می‌توان به: Baily و همکاران (۲۰۱۱)، Jahanshahi و Zare (۲۰۱۵)، Amarloei و همکاران (۲۰۱۴)، Bahmani و همکاران (۲۰۱۵)، Ledesma-Ruize و Mahlkhecht (۲۰۱۷)، Ahmadi و همکاران (۲۰۱۸)، Biddau و همکاران (۲۰۱۹)، Kawagoshi و همکاران (۲۰۱۹)، Naderi و همکاران (۲۰۲۰)، Caroline و همکاران (۲۰۲۰) و Parrone و همکاران (۲۰۲۰) اشاره کرد. همچنین آلودگی نیترات و فلوراید نیز در آب‌های زیرزمینی به دلیل اثرات فراگیر و نامطلوب آن بر سلامت انسان، یکی از نگرانی‌های جهانی می‌باشد (Ruckart et al.,

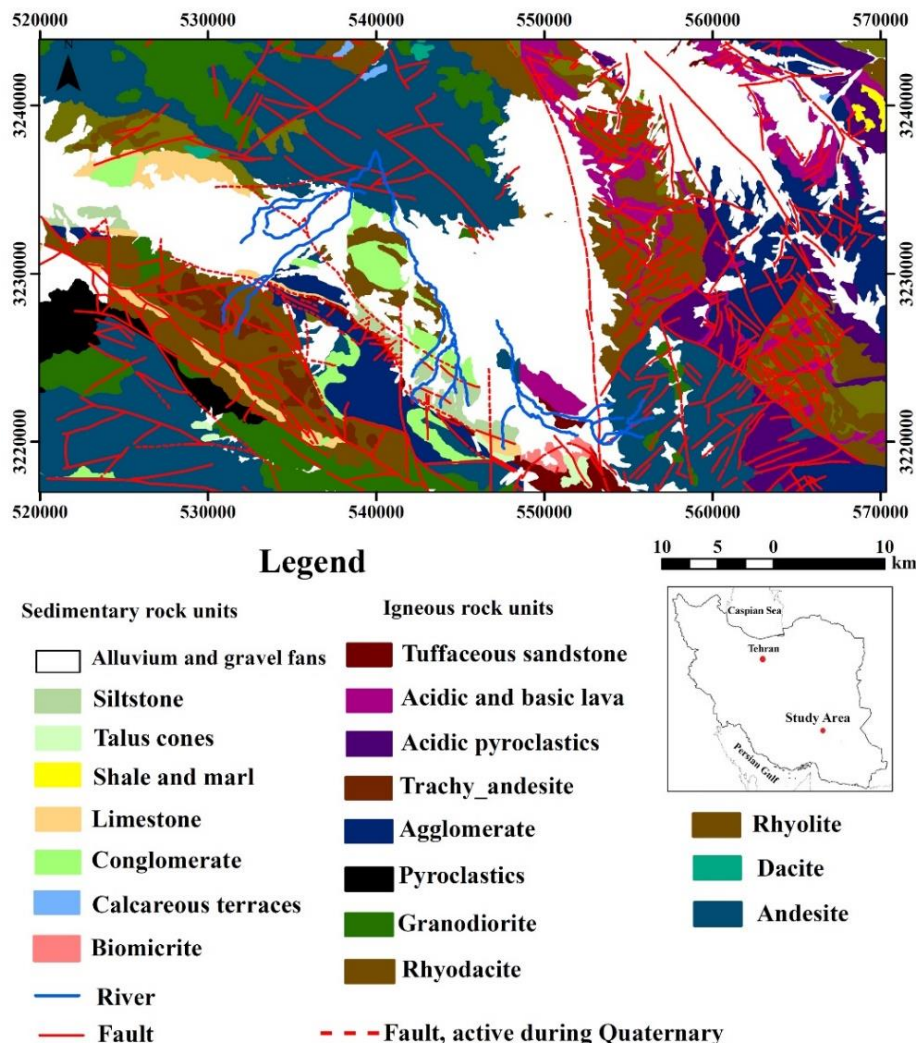
بسیاری دارد. لذا هدف از این پژوهش بررسی آلودگی منابع آب منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

دشت ساردوئیه به مرکزیت شهر درب‌بهشت در استان کرمان، شهرستان جیرفت و در مسیر جاده بافت - جیرفت، در فاصله ۸۵ کیلومتری جیرفت واقع شده است. بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ خانه‌خاتون و ساردوئیه (Dimitriyevic et al., 1973) منطقه مورد مطالعه شامل واحدهای سنگی آندزیت بازالت و آذرآوری‌های متعلق به ائوسن زیرین است. همچنین کنگلومرا، ماسه‌سنگ توفیتی و رسوبات توریدایتی و رسوبات کواترنر نیز حضور دارند. همه‌ی این واحدها بالاترین واحد مجموعه از سنگ‌های آذرین ائوسن کرمان را تشکیل می‌دهند (شکل ۱).

۲۰۰۸). در دهه‌های اخیر، آگاهی از خطرات بهداشتی مرتبط با وجود یون‌های خطرناک مانند نیترات و فلوراید در بروز مشکلات و بیماری‌های افزایش یافته است. لذا جهت بررسی میزان مصرف چنین یون‌هایی از شاخص ارزیابی تهدید سلامت استفاده می‌شود و تحقیقات گوناگونی در سطح ایران و جهان انجام شده است که می‌توان به: Qasemi و همکاران (۲۰۱۸)، Yousefi و همکاران (۲۰۱۹)، Azhdarpoor و همکاران (۲۰۱۹) و Radfard و همکاران (۲۰۱۸) اشاره کرد.

کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی دشت ساردوئیه در استان کرمان در حال حاضر بسیار مناسب مصارف آشامیدن و کشاورزی است و بر این اساس توسعه کشاورزی و شهرنشینی در حال رخ دادن است. بنابراین به دلیل توسعه روز افزون صنعت کشاورزی، معدنکاری و چشمه آبگرم در این ناحیه، بررسی غلظت عناصر کمیاب و یون‌های فرعی منابع آب منطقه جهت مطالعات پایه‌ای طرح‌های مدیریتی کیفی منابع آبی و مصارف آشامیدنی اهمیت



شکل ۱- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (Dimitriyevic et al, 1973).

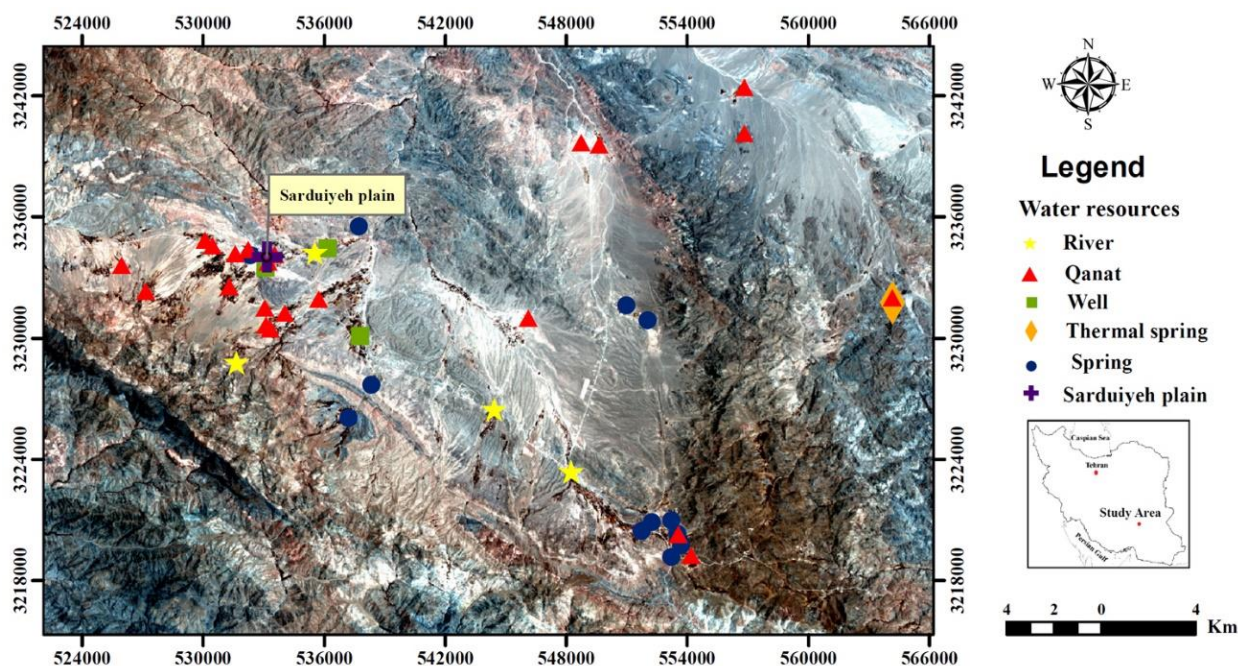
Fig. 1. Geology map of the study area (according to Dimitriyevic et al, 1973).

مقطر و آب محل نمونه برداری شستشو داده شدند و سپس با استفاده از فیلترهای ۰/۴۵ میکرومتر تخت یا سر سرنگی، آب هر محل فیلتر و ظروف مربوطه پر شدند. از جمله مزایای استفاده از فیلتر این است؛ که تقریباً از ورود تمام جلبکها و باکتریها و بیشتر مواد جامد معلق در آب جلوگیری می کند. نمونهها به دو دسته ظروف مربوط به کاتیونها و آنیونها تقسیم بندی شدند. به آب نمونههای کاتیونی بعد از فیلتر حدود ۱ سانتی متر مکعب اسید نیتریک غلیظ ۶۵٪ افزوده شد و به آب ظروف آنیونی هیچ ماده افزودنی اضافه نگردید (شکل ۴). لازم به ذکر است؛ که باید با افزودن اسید، pH نمونه آب به زیر ۲ برسد و این اضافه نمودن باید بلافاصله بعد از نمونه برداری انجام شود. پس از انتقال نمونههای آب به آزمایشگاه عناصر نادر از طریق دستگاه ICP-MS و اندازه گیری نیترات، فلوراید و فسفات با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شده است (جدول ۱). پارامترهای هدایت الکتریکی (EC) و pH نمونههای آب در محل نمونه برداری اندازه گیری شدند (جدول ۱). اندازه گیری هدایت الکتریکی با استفاده از دستگاه قابل حمل EC meter مارک AQUA مدل TC 485 با دقت یک میکرومومس بر سانتی متر انجام گرفت. مقادیر pH نمونههای آب به وسیله دستگاه الکتریکی قابل حمل pH meter مارک WalkLAB مدل TI900 با دقت ۰/۰۱ اندازه گیری شد.

این دشت دارای ۴۴ رشته قنات و ۲۰ دهنه چشمه است. همچنین تعداد چاههای غیر مجاز زیادی وجود دارد اما در دادههای آمار برداری شرکت آب منطقه ای استان کرمان تنها به ۴ حلقه چاه کم عمق و ۳ حلقه چاه عمیق اشاره شده است. در این تحقیق، بررسیهای اولیه و نمونه برداری از منابع آب زیرزمینی و سطحی منطقه، در بهار ۱۳۹۷، نشان می دهد هدایت الکتریکی منابع آب در محدوده ای بین ۱۳۳ تا ۱۶۴۳ میکرومومس بر سانتی متر متغیر است. همچنین در این منطقه یک چشمه آبگرم (به اسم گور) با میانگین دمایی ۴۸ درجه سانتی گراد وجود دارد، که تقریباً بیشترین میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی ناحیه را دارا است.

روش کار

به منظور اندازه گیری برخی از عناصر کمیاب و یونهای فرعی در منابع آب زیرزمینی و سطحی از ۴۳ محل شامل چاه، چشمه، قنات و رودخانه نمونه برداری شده است (شکل ۳). از این نقاط ۲۲ محل مربوط به قنات، ۱۲ محل مربوط به چشمه های آب سرد، ۲ محل مربوط به چشمه های آبگرم، ۳ محل مربوط به چاه های بهره برداری و ۴ محل مربوط به آب های سطحی رودخانه است. در مرحله نمونه برداری ظروف ۳۰۰ سی سی پلی اتیلن نو و تمیز با آب



شکل ۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه و محل های نمونه برداری از منابع آب.

Fig. 2. Study area and water sampling points.



شکل ۳- نمونه برداری از منابع آب قنات (a)، چشمه (b)، رودخانه (c) و چشمه آبگرم گور (d) در منطقه مورد مطالعه.
 Fig. 3. Water sampling process from qanat (a), spring (b) river (c) and thermal spring (d) in the study area.

یافته‌ها و بحث

به منظور ارزیابی پراکندگی یون‌ها و عناصر فرعی در منابع آب، توزیع غلظت‌ها بر روی تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه تهیه و مورد بررسی قرار گرفته است:

پراکندگی پارامترهای فیزیکوشیمیایی هدایت الکتریکی و pH

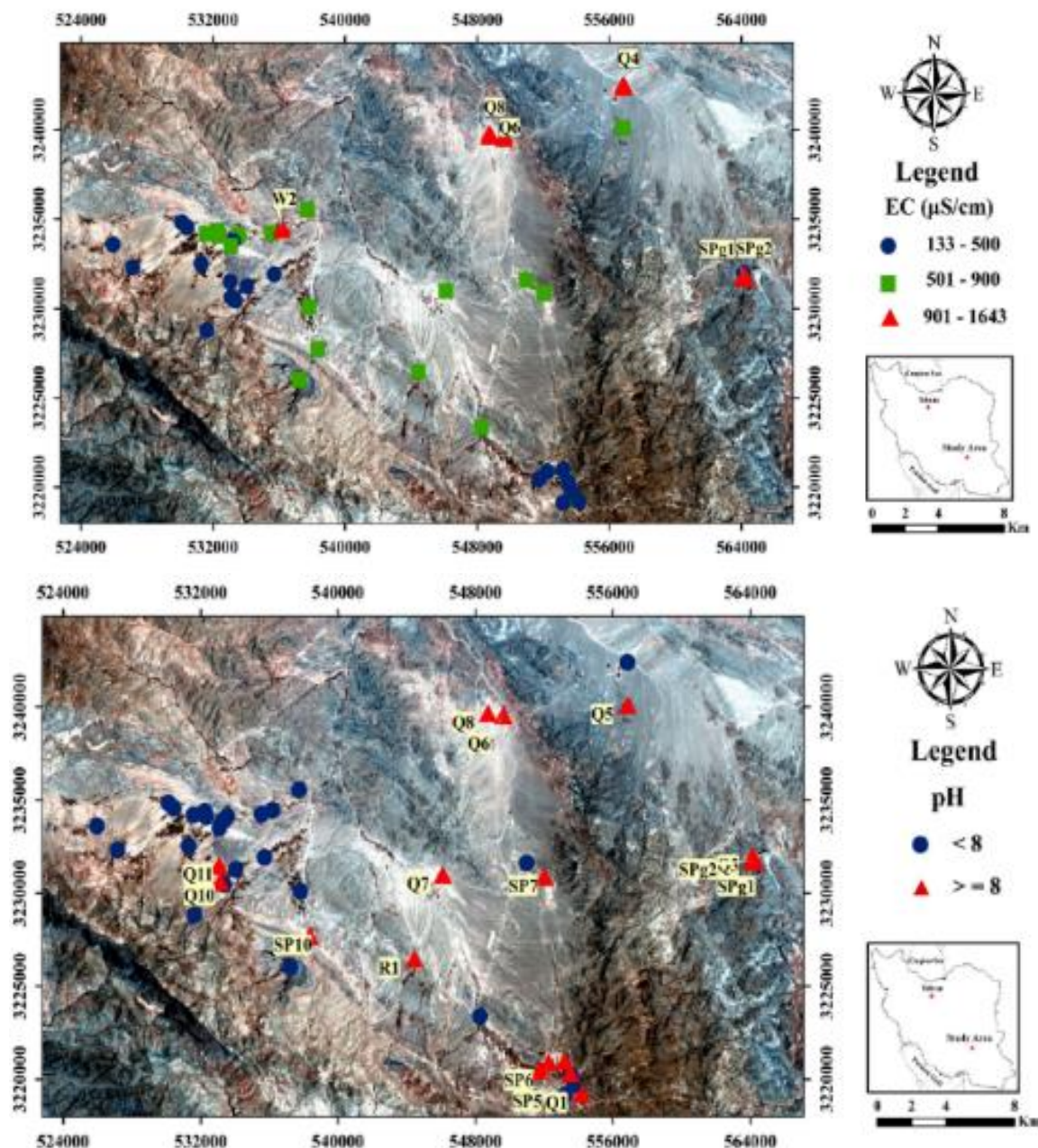
بر اساس نتایج آنالیزهای شیمیایی، میزان هدایت الکتریکی در منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بین ۱۶۴۳ تا ۱۳۳ میکروموس بر سانتی‌متر متغیر است. نقشه پراکندگی هدایت

الکتریکی (شکل ۴) نشان می‌دهد که در بخش جنوبی و غربی منطقه مقدار هدایت الکتریکی کم است و میزان هدایت الکتریکی در شرق و شمال منطقه افزایش پیدا کرده است. بیشترین مقدار هدایت الکتریکی در غرب منطقه در محل W2 در شرق منطقه در دو چشمه آبگرم و در شمال منطقه در محل‌های Q6، Q4 و Q8 قابل مشاهده است. بیشترین و کمترین مقدار pH در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۸/۵ و ۷/۱۵ است. همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، مقدار pH در سمت غرب منطقه، کمتر از دیگر نقاط است.

جدول ۱- مقادیر هدایت الکتریکی (pH، $\mu\text{S/cm}$) و غلظت برخی از یون‌ها و عناصر نادر برحسب میلی‌گرم بر لیتر در منابع آب منطقه.

Table 1. Electrical conductivity ($\mu\text{S/cm}$), pH and concentration of ions and trace elements (in mg/L) in water resources of the study area.

Code	EC	pH	F	NO3	PO4	Cu	B	Ba	Fe	Mn	Code	EC	pH	F	NO3	PO4	Cu	B	Ba	Fe	Mn
Q1	340	8.23	0.03	0.81	0.81	0.05	0.1	0.1	0.02	0.002	R1	527	8.02	0.15	3.31	0.97	0.02	0.1	0.03	0.02	0.002
Q2	277	7.99	0.11	6.69	0.84	0.02	0.09	0.02	0.07	0.002	R2	674	7.71	0.17	10.50	0.92	0.02	0.1	0.05	0.02	0.002
Q3	496	8.22	0.29	4.28	0.84	0.03	0.15	0.02	0.04	0.002	R3	768	7.41	0.1	4.42	1.13	0.02	0.2	0.05	0.3	0.002
Q4	960	7.15	0.45	11.59	1.19	0.02	0.4	0.02	0.05	0.002	R4	133	7.68	0	0.89	0.00	0.02	0.02	0.02	0.2	0.002
Q5	552	8.12	0.2	8.85	0.72	0.02	0.2	0.2	0.02	0.002	SP1	458	7.95	1.56	1.14	1.15	0.02	0.4	0.02	0.02	0.02
Q6	1421	8.05	0.26	14.88	2.38	0.02	0.6	0.03	0.02	0.002	SP2	406	7.95	0.09	16.14	1.28	0.02	0.1	0.1	0.04	0.002
Q7	695	9.09	0.2	9.59	1.08	0.02	0.2	0.02	0.02	0.002	SP3	295	8.11	0.02	1.42	0.63	0.04	0.08	0.08	0.02	0.002
Q8	1111	8.17	1.02	13.52	2.34	0.1	0.8	0.02	0.1	0.002	SP4	415	8.00	0.18	2.75	1.09	0.02	0.09	0.09	0.02	0.002
Q9	365	7.89	0.06	15.81	1.17	0.02	0.04	0.04	0.02	0.002	SP5	478	8.20	0.38	5.45	1.15	0.02	0.1	0.1	0.1	0.03
Q10	268	8.35	0.61	14.72	2.18	0.03	0.02	0.02	0.02	0.002	SP6	482	8.18	0.21	1.75	1.85	0.02	0.07	0.07	0.02	0.002
Q11	308	8.01	0	8.77	0.75	0.02	0.04	0.03	0.08	0.002	SP7	535	8.08	0.23	3.64	1.07	0.02	0.2	0.2	0.04	0.002
Q12	495	7.59	0.59	17.17	3.53	0.02	0.04	0.03	0.02	0.002	SP8	708	7.94	0.34	8.01	0.94	0.02	0.2	0.2	0.02	0.002
Q13	500	7.39	0	4.17	0.71	0.3	0.02	0.02	0.03	0.002	SP9	508	7.35	0	0.35	1.49	0.02	0.02	0.02	0.02	0.002
Q14	573	7.39	0.08	8.24	1.08	0.02	0.1	0.06	0.07	0.002	SP10	579	8.20	0.37	1.72	0.99	0.02	0.1	0.1	0.05	0.002
Q15	667	7.43	0.21	5.78	2.52	0.02	0.2	0.6	0.05	0.002	SP11	635	7.8	0.63	18.50	2.00	0.02	0.02	0.02	0.03	0.002
Q16	605	7.69	0.5	9.04	0.97	0.02	0.2	0.05	0.1	0.002	SP12	746	8.54	0.23	0.95	1.30	0.02	0.2	0.2	0.06	0.04
Q17	461	7.64	0.12	7.79	0.96	0.02	0.1	0.05	0.04	0.002	SPg1	1595	8.05	1.82	0.00	2.80	0.02	1.7	1.7	0.03	0.002
Q18	368	7.69	0.07	14.85	0.49	0.02	0.06	0.02	0.05	0.002	SPg2	1643	8.48	1.98	2.94	1.96	0.02	1.7	1.7	0.03	0.002
Q19	355	7.65	0.31	13.14	0.66	0.02	0.03	0.02	0.02	0.002	W1	739	8.67	0.33	9.06	2.12	0.04	0.1	0.1	0.03	0.002
Q20	359	7.74	0.1	3.37	0.66	0.02	0.04	0.02	0.05	0.002	W2	1183	7.61	0.22	22.14	1.62	0.02	0.2	0.2	0.03	0.002
Q21	361	7.56	0.16	0.00	1.19	0.02	0.02	0.02	0.08	0.002	W3	671	7.69	0.37	4.70	1.26	0.02	0.3	0.3	0.02	0.002
Q22	463	7.75	0.9	8.32	0.70	0.02	0.04	0.02	0.05	0.002											



شکل ۴- نقشه پراکندگی EC و pH در منابع منطقه مورد مطالعه.

Fig. 4. Spatial distribution maps of EC and pH in the water resources.

بر لیتر است که به صورت پراکنده در منطقه قابل مشاهده است. بیشترین میزان غلظت نیترات در منطقه مورد مطالعه ۲۲/۱۴ میلی گرم قابل Q12 و W2، SP11، در غرب منطقه در نقاط مشاهده هستند. بجز در نقطه SP2 که مقدار بالایی از نیترات را نشان می دهد؛ در جنوب منطقه، حد پایین نیترات مشاهده می شود. طبق تحقیقات اگر غلظت نیترات بیشتر از ۱۰ میلی گرم بر لیتر بر حسب نیتروژن باشد، نشان دهنده آلودگی در اثر فعالیت های انسانی است. لذا در برخی نقاط که میزان غلظت نیترات بیشتر از حد مجاز است؛ فعالیت های انسانی سبب ایجاد آلودگی نیترات در منابع آب زیرزمینی شده اند.

فلوراید (F^{-})

بیشترین مقدار فلوراید در منطقه مورد مطالعه ۱/۹۸ میلی گرم بر لیتر می باشد. همان گونه که در شکل ۵a مشاهده می شود به جز در چهار نقطه SPg2، SPg1، SP1، Q8 که بیشترین مقدار فلوراید را نشان می دهند؛ در اکثر نقاط منطقه مورد مطالعه مقدار فلوراید کمتر از ۰/۹۵ میلی گرم بر لیتر است. نقشه پراکندگی یون فلوراید نشان می دهد که تغییرات فلوراید در منطقه از روند خاصی پیروی نمی کند.

نیترات (NO_3^{-})

با توجه به نقشه پراکندگی نیترات در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه (شکل ۵b) کمترین میزان غلظت نیترات پایین تر از ۸ میلی گرم

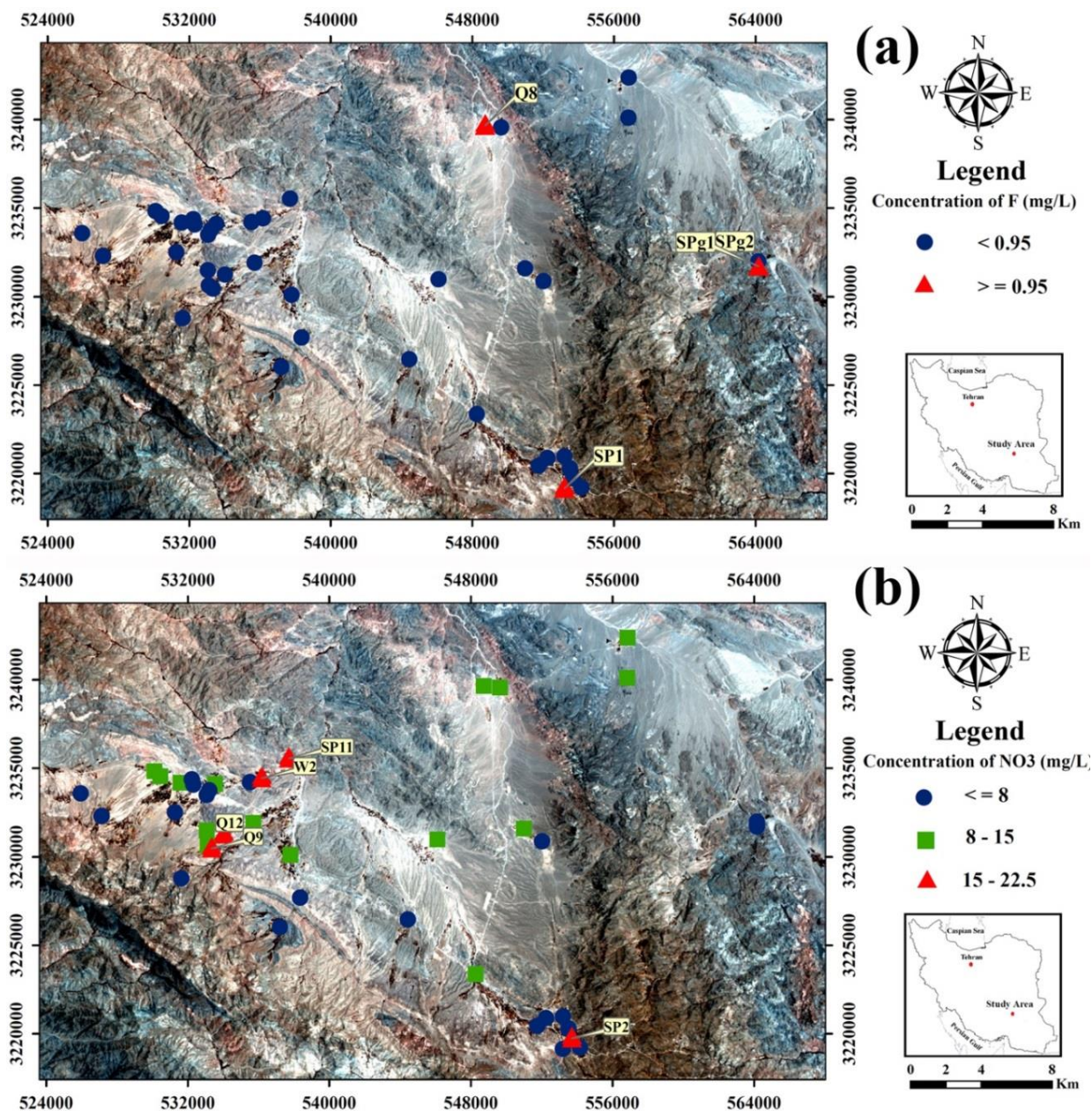
فسفات (PO_4^{2-})

بیشترین مقدار فسفات در منطقه مورد مطالعه ۳/۵ میلی گرم بر لیتر است. همان طور که در شکل ۵ مشاهده می شود، بیشترین میزان غلظت فسفات در جنوب منطقه در نقطه SP6، در شرق منطقه در دو چشمه آبگرم، در شمال منطقه در نقاط Q6 و Q8 و در غرب منطقه در نقاط Q15، Q10، SP11، W2، W1 دیده شده است. حد مجاز فسفات در آب آشامیدنی کمتر از ۰/۰۳ میلی گرم بر لیتر است و لذا

میزان غلظت این یون در منطقه مورد مطالعه در تمام نقاط بیشتر از حد مجاز می باشد.

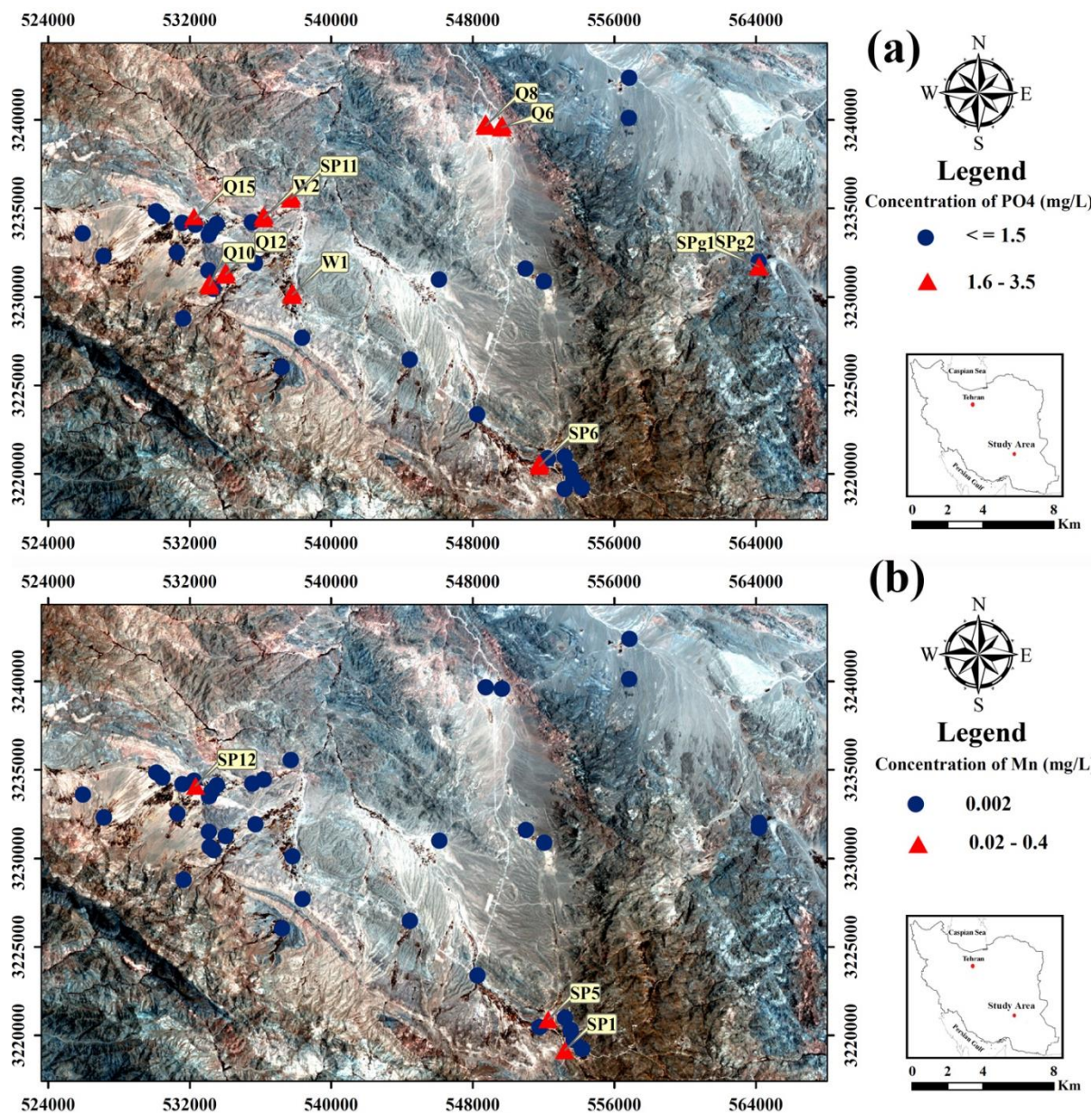
منگنز (Mn^{2+})

بیشترین و کمترین مقدار منگنز در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۰/۰۴ و ۰/۰۲ میلی گرم بر لیتر است. با توجه به نقشه پراکندگی منگنز در شکل ۵ غلظت منگنز به جز در سه نقطه SP1، SP5 و SP12 که بیشترین میزان غلظت منگنز را نشان می دهند؛ در کل منطقه تقریباً برابر ۰/۰۰۲ میلی گرم بر لیتر است.



شکل ۵- نقشه پراکندگی یون فلوراید (a) و نیترات (b) در منابع آب.

Fig. 5. Spatial distribution maps of F (a) and NO_3 (b) in the water resources.



شکل ۶- نقشه پراکندگی یون فسفات (a) و منگنز (b) در منابع آب.
 Fig. 6. Spatial distribution maps of PO₄ (a) and Mn (b) in the water resources.

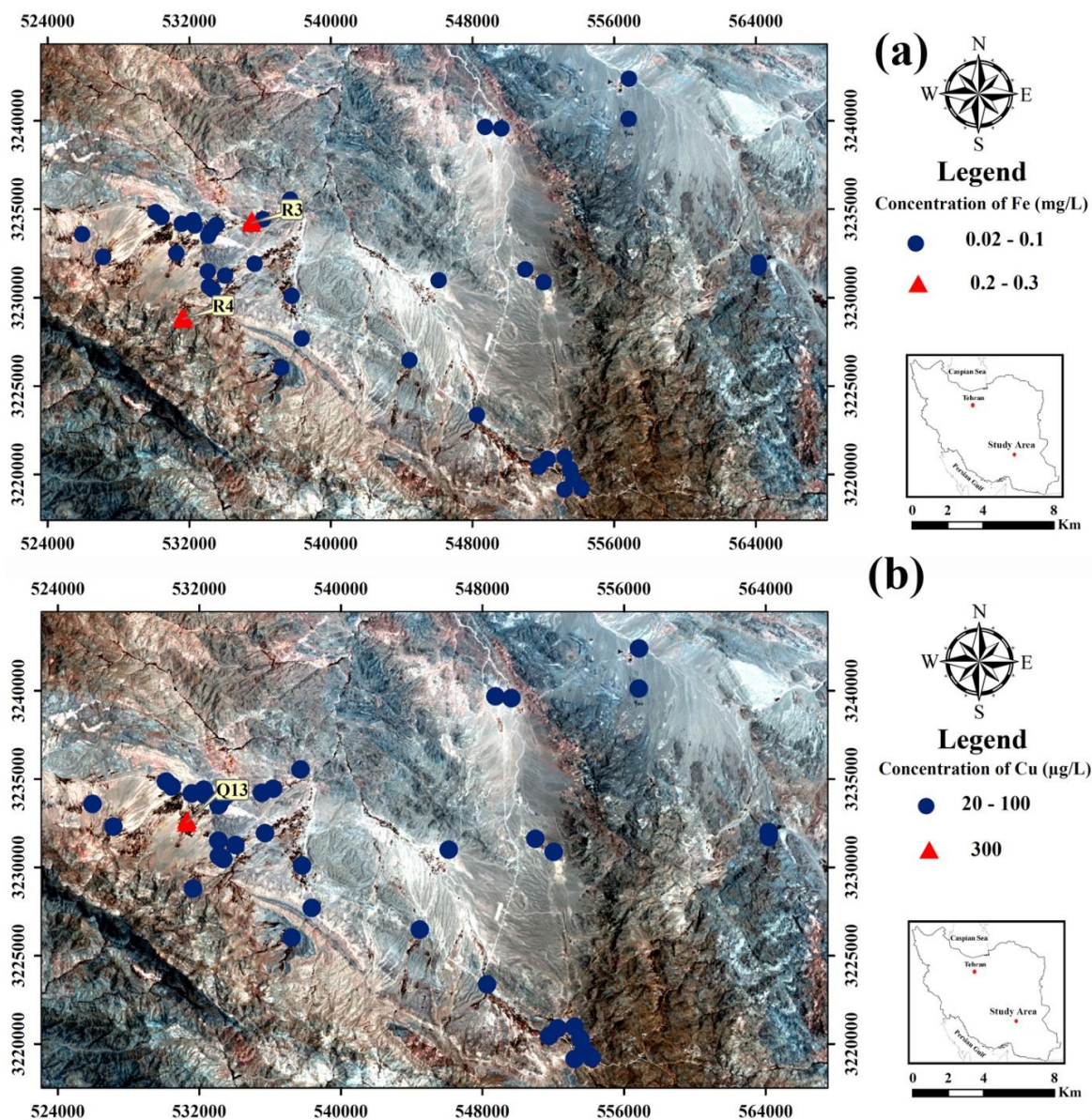
۱/۳ است. در نتیجه بیشترین میزان آهن در آب‌های سطحی منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود.

مس (Cu)

بیشترین و کمترین مقدار مس در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۳۰۰ و ۲۰ میکروگرم بر لیتر است. همانگونه که در شکل ۷b مشاهده می‌شود، میزان مس در کل منطقه در محدوده ۱۰۰-۲۰ میکروگرم بر لیتر می‌باشد. نقشه پراکندگی مس نشان می‌دهد که بیشترین مقدار مس در قنات Q13 است. استاندارد آب آشامیدنی حد مجاز مس را در آب برابر با ۱/۳ میلی‌گرم بر لیتر در نظر گرفته است. بنابراین از این نظر آلودگی در منابع آب دیده نمی‌شود.

آهن (Fe)

با توجه به اندازه‌گیری آهن در آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، بیشترین مقدار این عنصر ۰/۳ و کمترین مقدار این عنصر ۰/۰۲ میلی‌گرم بر لیتر است. نقشه پراکندگی آهن در شکل ۷a نشان داده شده است. طبق آنالیزهای انجام گرفته، به جز در دو نقطه R3 و R4 که در قسمت غرب منطقه قرار دارند و بیشترین مقدار یون آهن را نشان می‌دهند؛ تقریباً میزان آهن در منطقه در محدوده ۰/۰۱-۰/۰۲ میلی‌گرم بر لیتر است. طبق استاندارد آب آشامیدنی حداکثر غلظت آهن در آب باید برابر ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر باشد که فقط در نقطه R3 برابر



شکل ۷- نقشه پراکندگی یون‌های آهن (a) و مس (b) در منابع آب.

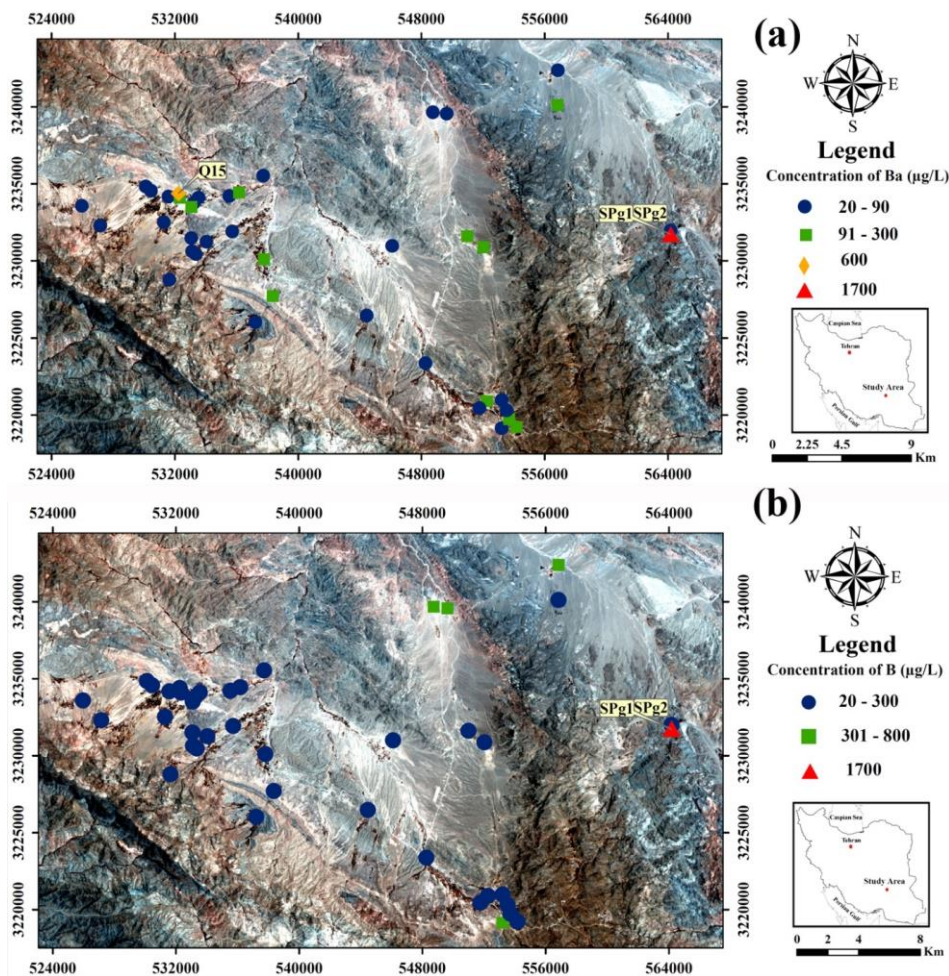
Fig. 7. Spatial distribution maps of Fe (a) and Cu (b) in the water resources.

باریم (Ba)

عنصر باریم در نمونه آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه غلظتی بین ۲۰ تا ۱۷۰۰ میکروگرم بر لیتر دارد. همان‌گونه که در شکل ۸a مشاهده می‌شود، در منطقه میزان غلظت باریم کم است و به سمت مرکز مقدار این یون افزایش پیدا می‌کند. در شرق منطقه در دو چشمه آبگرم بیشترین مقدار باریم مشاهده می‌شود و در غرب منطقه فقط در نقطه Q15 مقدار این یون ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. طبق استاندارد آب آشامیدنی حد مجاز این یون ۲ میلی‌گرم بر لیتر است. با توجه به این استاندارد، مشاهده می‌شود که در دو چشمه آبگرم و در نقطه Q15 و در دیگر نقاط منطقه میزان این یون بیشتر از حد مجاز است.

بر (B)

بیشترین غلظت برم در منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه ۱۷۰۰ میکروگرم و کمترین آن ۲۰ میکروگرم در لیتر است. با توجه به نقشه پراکندگی در شکل ۸b مشاهده می‌شود، که میزان غلظت این عنصر در کل منطقه در محدوده بین ۲۰ تا ۳۰۰ میکروگرم بر لیتر می‌باشد و به تدریج از غرب به شرق منطقه و همچنین از جنوب به شمال منطقه میزان آن افزایش پیدا می‌کند و بیشترین مقدار آن در دو چشمه آبگرم مشاهده می‌شود.



شکل ۸- نقشه پراکندگی یون‌های باریم (a) و بور (b) در منابع آب.

Fig. 8. Spatial distribution maps of Ba (a) and B (b) in the water resources.

در حد ۰/۴۴۰ و ۰/۳۹۵ دارد. مس با تمامی عناصر ضریب همبستگی منفی دارد. بر بیشترین ضریب همبستگی را با Ba دارد. به طور کلی باریم، آهن، منگنز با هیچ کدام از عناصر همبستگی نشان نمی‌دهند. پایین بودن همبستگی های بین عناصر و یونهای فرعی در آب زیرزمینی منطقه می‌تواند به دو دلیل ایجاد شده باشد. ۱. عدم ایجاد شرایط ژئوشیمیایی لازم در انحلال مقادیر زیاد و همزمان عناصر از سنگ‌ها و کانی‌های مختلف. منابع آب زیرزمینی منطقه pH نزدیک به حالت خنثی دارند و شرایط همچون پایین بودن pH مانند زه آب‌های اسیدی دیده نمی‌شود. در حالت خنثی، آزادسازی انحلال‌پذیری عناصر بسیار پایین است و اگر انحلال کانی‌ها رخ دهد ممکن است از نوع انحلال‌های ناهمسان کانی‌ها باشد که برخی از عناصر تشکیل دهنده کانی وارد آب شود و برخی در ساختار کانی باقی می‌ماند. ۲. هرچند منابع آب زیرزمینی در یک منطقه و نزدیک به هم قرار دارند، اما به دلیل ناهمگنی در ترکیب سنگ‌شناسی منطقه و اینکه ممکن است آب زیرزمینی از آبخوان‌های سنگی متعدد و بدون ارتباط هیدرولیکی با یکدیگر خارج می‌شود، عناصر موجود در منابع آب منشأ یکسان نداشته باشند.

بررسی ضریب همبستگی

ضریب همبستگی پیرسون بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و غلظت یون‌ها و عناصر مختلف در منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به نتایج، pH با یون‌های نیترات، مس و آهن رابطه ضعیف و منفی دارد و بیشترین ضریب همبستگی را با F و B به ترتیب برابر با ۰/۳۱۷ و ۰/۳۲۰ نشان می‌دهند. هدایت الکتریکی رابطه مثبت و قوی با B دارد و رابطه مثبت و متوسطی با F و Ba دارد و با بقیه عناصر رابطه مثبت پایین یا بدون همبستگی را نشان داده است. در حالیکه با pH رابطه منفی و ضعیفی دارد زیرا با کاهش pH آب، افزایش پتانسیل انحلال کانی‌ها و در نتیجه افزایش هدایت الکتریکی را در پی خواهد داشت. بنابراین همبستگی منفی بین EC و دیگر عناصر با pH امری طبیعی است.

فلوراید با B ضریب همبستگی مثبتی بالا (۰/۸۱۳) و با Ba ضریب همبستگی مثبتی متوسط (۰/۶۹۹) نشان داده است. در حالیکه با نیترات، مس و آهن رابطه منفی، و با منگنز و فسفات همبستگی ضعیفی دارد. نیترات به جز با فسفات که ضریب همبستگی ضعیف مثبت (۰/۲۹۰) دارد، با تمامی عناصر دیگر ضریب همبستگی منفی نشان داده است. فسفات ضریب همبستگی مثبتی پایینی را با B و Ba به ترتیب

جدول ۲- میزان همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی منابع آب منطقه مورد مطالعه.

Table 2. Pearson correlation matrix for hydrochemical variables.

	pH	EC	F	NO3	PO4	CU	B	Ba	Fe	Mn
pH	1									
EC	0.096	1								
F	0.317	0.611	1							
NO3	-0.096	0.121	-0.068	1						
PO4	0.076	0.552	0.466	0.290	1					
CU	-0.137	-0.010	-0.077	-0.064	-0.066	1				
B	0.320	0.844	0.813	-0.145	0.440	-0.032	1			
Ba	0.263	0.684	0.699	-0.247	0.395	-0.085	0.880	1		
Fe	-0.255	-0.067	-0.130	-0.161	-0.212	-0.039	-0.050	-0.111	1	
Mn	0.003	-0.011	0.117	-0.227	-0.028	-0.063	-0.008	-0.022	0.077	1

تحلیل عاملی

در این تحقیق از روش تحلیل عاملی برای شناخت عوامل و میزان تاثیرگذاری آنها بر روی ترکیب آب زیرزمینی استفاده شده است. جهت بررسی دقیق متغیرها، برای انتخاب عوامل مؤثر بر سیستم، مقادیر ویژه و درصد واریانس محاسبه شد. در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه ۳ عامل مؤثر، که مقادیر بیشتر از یک دارند، به عنوان عامل اصلی شناسایی شده‌اند، که ۶۳/۷٪ از واریانس کل را شامل می‌شوند (جدول ۳). به طوری که از این مقدار ۳۷/۳٪ مربوط به عامل یک است. درصد هر یک از پارامترها نشان از اهمیت آن پارامتر در هیدروشیمی منطقه دارد. با

توجه به جدول ۸ عامل اول مقادیر هدایت الکتریکی، فلوراید، فسفات، بر و باریم و را کنترل می‌کند و با آنها رابطه مثبت دارد و به احتمال بالا مربوط به انحلال کانی‌ها با انحلال پذیری بالا می‌باشد. در عامل دوم بار عاملی نترات بالاست و بار عاملی فسفات متوسط است. به نظر می‌آید این عامل فعالیت‌های انسانی همچون کشاورزی در منطقه باشد. در عامل سوم بار عاملی pH مثبت و بالاست و مربوط به عواملی همچون انحلال کانی‌های کربناته است که سبب می‌شود خاصیت قلیائیت منابع آب افزایش یابد. در این عامل، بار عاملی آهن منفی است و لذا افزایش خاصیت قلیائیت موجب انحلال پذیری آهن شده است.

جدول ۳- ماتریس چرخشی عاملی هر یک از پارامترهای فیزیکوشیمیایی و عناصر در آب زیرزمینی منطقه.

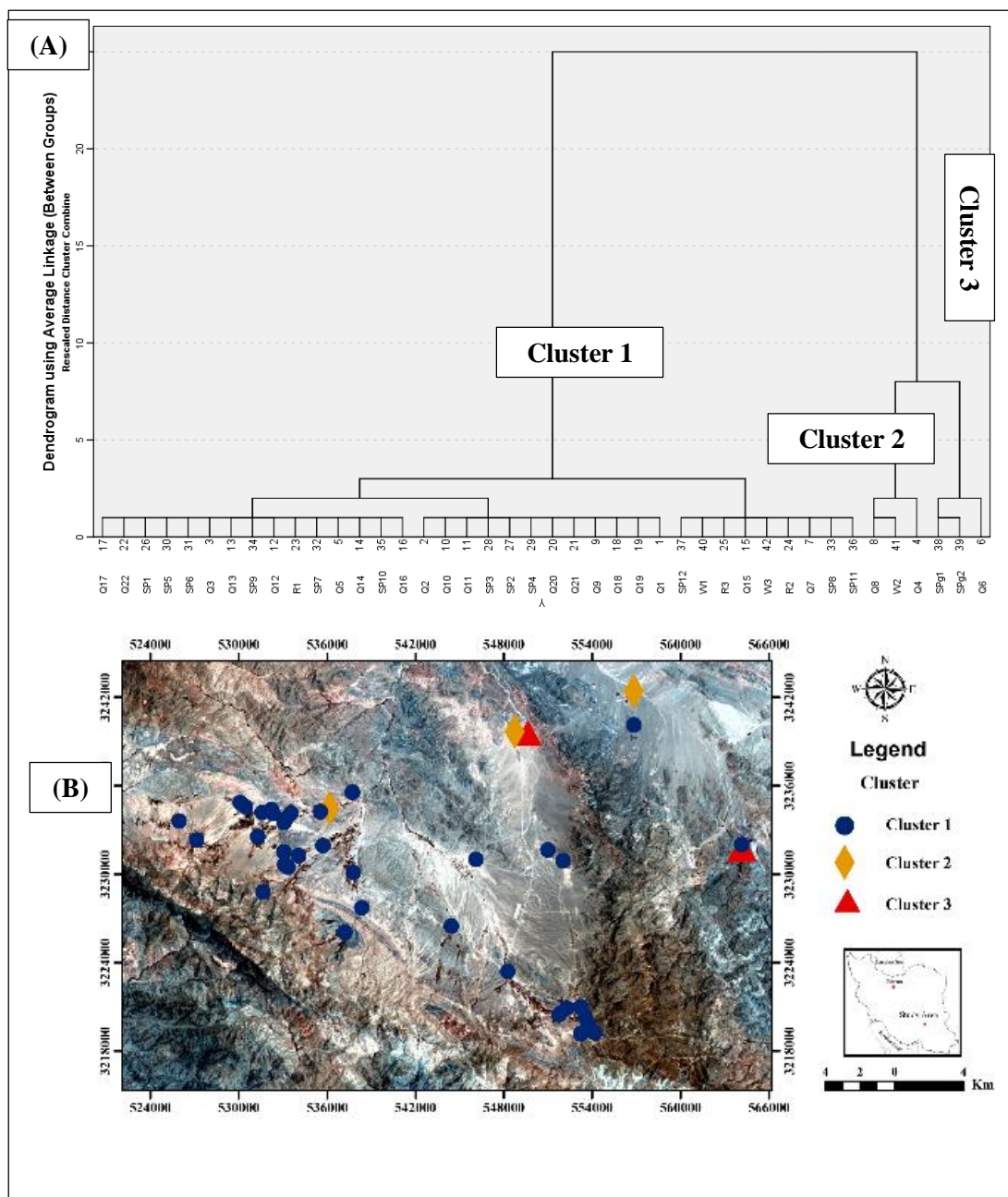
Table 3. Component loadings of each variable using principal component analysis.

Rotated Component Matrix			
	1	2	3
pH	0.206	-0.207	0.782
EC	0.883	0.212	-0.078
F	0.840	-0.056	0.185
NO3	-0.090	0.890	-0.004
PO4	0.601	0.536	0.044
Cu	-0.014	-0.148	-0.095
B	0.962	0.101	0.105
Ba	0.882	-0.172	0.144
Fe	-0.032	-0.280	-0.760
Mn	0.040	-0.398	-0.155
Variability (%)	36.040	14.693	12.968
Cumulative %	36.040	50.732	63.700

خوشه بندی

خوشه یک قرار گرفته‌اند و با توجه به نقشه پراکندگی خوشه‌ها مشاهده می‌شود که در غرب و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه قرار دارند. خوشه دوم شامل نمونه‌های Q4، Q8 و W2 می‌باشد. خوشه سوم شامل دونمونه آبگرم و قنات Q6 است و به گروه شباهت ریشه ای دارند. به طور کلی خوشه دوم و سوم هر دو شامل نمونه‌هایی با هدایت الکتریکی بالاتر نسبت به نمونه‌های خوشه یک هستند.

تحلیل خوشه‌ای به روش‌های متنوعی صورت می‌گیرد. در این مطالعه از روش HCA برای گروه‌بندی نمونه‌های آب زیرزمینی استفاده شده است. شکل ۹ نمودار شاخه درختی یا دندوگرام حاصل از روش خوشه‌بندی HCA بر اساس مشخصات فیزیکوشیمیایی منابع آب را نشان می‌دهد. با توجه به این خوشه‌بندی نمونه‌های آب زیرزمینی به سه گروه تقسیم شده‌اند. همانگونه که مشاهده می‌شود اکثر نمونه‌ها در



شکل ۹- نمودار شاخه درختی خوشه‌بندی منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه (a) و نقشه توزیع خوشه‌بندی در منطقه مطالعاتی (b).
 Fig. 9. Dendrogram of the Q-mode hierarchical (a) distribution map of cluster analysis (b) in the study area.

شاخص ارزیابی آلودگی

به منظور ارزیابی وسعت آلودگی عناصر نادر در منابع آب زیرزمینی منطقه از شاخص ارزیابی فلزات سنگین (Heavy metal index: HEI) استفاده شده است. با محاسبه این شاخص آلودگی، می توان نسبت به رتبه بندی کلی کیفیت آب براساس آلودگی و درک بهتر از شرایط کیفی آب اقدام کرد (Caerio et al, 2005). این شاخص ارزیابی با رابطه ۱ محاسبه می شود:

$$HEI = \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{S_i} \quad (1)$$

که در آن M_i و S_i به ترتیب مقدار غلظت اندازه گیری شده و حداکثر غلظت مجاز (MAC) پارامتر i ام هستند (جدول ۴). با توجه به این شاخص اگر غلظت حتی یک عنصر خاص بالاتر از مقدار S_i مربوطه باشد ($M_i > S_i$)، آب نمی تواند مورد استفادهی آشامیدنی قرار گیرد. بنابراین، مقدار ۱ برای M_i آستانه هشداردهنده است (Jahanshahi and Zare, 2015)؛ حتی در مورد جایی که M_i کمتر از S_i برای تمام پارامترها است (Hajizadeh et al., 2011). با در نظر گرفتن این شاخص، مقادیر نتایج اندیس های ارزیابی آلودگی HEI منابع آب منطقه مورد مطالعه محاسبه و در جدول ۵ ارائه شده است. لازم به ذکر است در این تحقیق $HEI > 1$ به عنوان یک آستانه هشداردهنده در نظر گرفته شده است.

جدول ۴- غلظت های مجاز (مقدار مجاز استاندارد و حداکثر مقدار مطلوب) برای هر پارامتر براساس استاندارد بهداشت جهانی (WHO) 2011 ($\mu\text{g L}^{-1}$).
Table 4. Concentration limits, i.e., the standard permissible value (S) and highest desirable value (I) for each parameter, were taken from the WHO (2011) standard ($\mu\text{g L}^{-1}$).

	Cu	B	Ba	Mn	AL	Fe	NO3	F
Standard limit (s)	1000	5000	1000	300	200	300	50000	1500
Desirable limit (I)	50	0	0	100	0	100	10000	750

جدول ۵- نتایج اندیس های ارزیابی آلودگی HEI.

Table 5. The results of pollution evaluation index of HEI.

Name	HEI	Name	HEI	name	HEI
Q1	0.42	Q16	2.12	SP2	0.83
Q2	0.66	Q17	1.58	SP3	0.39
Q3	0.72	Q18	1.18	SP4	0.53
Q4	1.05	Q19	0.77	SP5	1.12
Q5	0.87	Q20	0.53	SP6	0.52
Q6	1.13	Q21	0.57	SP7	0.90
Q7	0.68	Q22	1.27	SP8	0.93
Q8	2.10	R1	0.51	SP9	0.28
Q9	1.05	R2	0.73	SP10	1.11
Q10	1.24	R3	2.07	SP11	1.59
Q11	1.01	R4	0.85	SP12	2.05
Q12	1.50	W1	0.99	SPg1	3.67
Q13	1.11	W2	1.81	SPg2	3.88
Q14	2.26	W3	1.74	Max	3.88
Q15	2.27	SP1	1.50	Min	0.28

عناصر در کل منطقه وجود ندارد. غلظت Ba فقط در دو چشمه آبگرم و غلظت F در محل دو چشمه آبگرم و SP1 بیشتر از حد استاندارد بهداشت آب آشامیدنی WHO می باشد. غلظت Fe در R3 کمتر از حد استاندارد بهداشت آب آشامیدنی WHO، و در بقیه مکان ها بیشتر از حد استاندارد بهداشت آب آشامیدنی است. در نهایت استفاده از اندیس آلودگی HEI نشان می دهد (شکل ۱۰) که بطور کلی منابع آب

غلظت عناصر نادر و یون های فرعی در جدول ۶ آورده شده است. میانگین غلظت عناصر نادر و یون های فرعی به ترتیب از بیشتر به کمتر عبارت است: $NO_3 > F > B > Ba > Fe > Cu > Mn$. نیترات در میان عناصر و یون ها بیشترین غلظت را در منطقه دارد. غلظت Cu، B، NO_3 و Mn در همه نقاط کمتر از حد استاندارد بهداشت آب آشامیدنی WHO می باشند و لذا با توجه به جدول ۴ آلودگی با این

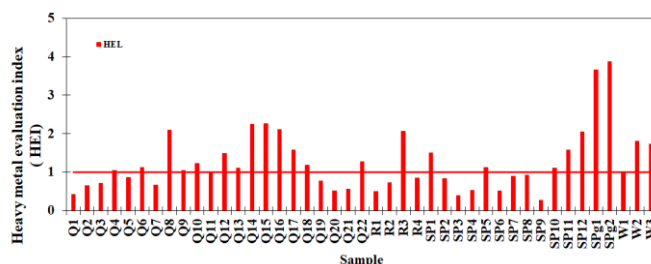
(شکل ۱۱)، نمونه‌های با اعداد کمتر از ۰/۲۸ در سطح کم خطر، بین ۰/۲۸ - ۳/۸۸ سطح خطر متوسط و بیشتر از ۳/۸۸ در سطح خطر بالا دسته‌بندی شده‌اند. پراکندگی شاخص‌های آلودگی در منطقه در شکل ۱۲ نشان داده شده است و از دیدگاه این معیار، منطقه مورد مطالعه از نظر توزیع خطر آلودگی، عمدتاً در سطح کم و متوسط قرار دارد.

سطحی و زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از سطح آلودگی پایینی برخوردارند. شاخص HEI دارای مقدار میانگین ۱/۳۰ و بین ۰/۲۸ و ۳/۸۸ متغیر است. براساس شکل ۱۰ برخی از نمونه‌ها در بالای خط آستانه هشدار $HEI > 1$ قرار گرفته‌اند. بر این اساس نمونه‌های آب آلوده هستند. براساس معیار میانگین و دو برابر میانگین این شاخص

جدول ۶- پارامترهای آماری غلظت برخی از عناصر نادر و یون‌های فرعی بر حسب میکروگرم در لیتر در منابع آب منطقه مورد مطالعه.

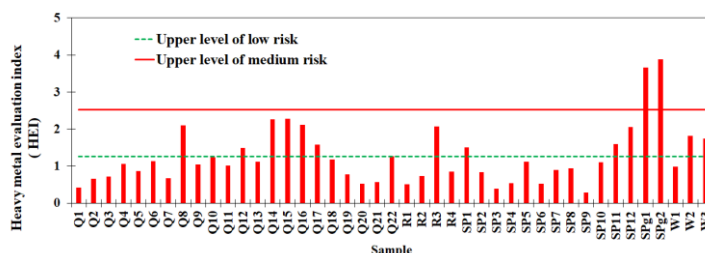
Table 6. The statistical parameters of concentration for ions and trace elements (in $\mu\text{g/L}$) in the water samples.

F	NO3	Fe	AL	Mn	Ba	B	Cu	
1980	22140	300	300	40	1700	1700	300	Max
0	0	20	20	2	20	20	20	Min
391.77	7628.82	49.76	69.77	4.71	188.88	249.11	36.22	Average



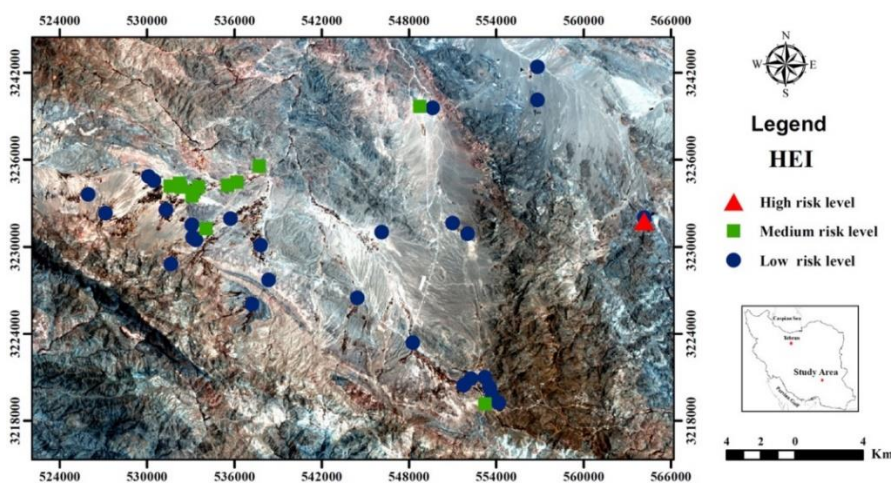
شکل ۱۰- اندیس آلودگی HEI در نمونه‌های آب در مقایسه با حد آستانه برابر با ۱.

Fig. 10. The HEI of water samples compared with wrong threshold value of HEI = 1.



شکل ۱۱- اندیس آلودگی HEI در نمونه‌های آب زیرزمینی بر حسب معیار سطح خطر (سطح خطر کم، متوسط و زیاد).

Fig. 11. The HEI of water samples indicating the samples with low, medium and high risk level.



شکل ۱۲- پراکندگی اندیس HEI در منطقه مورد مطالعه.

Fig. 12. Spatial distribution map of HEI in the water resources.

ارزیابی تهدید سلامت (Hazard quotient) نیترات و فلوراید

در این پژوهش جهت بررسی سطح تهدید نیترات و فلوراید در منابع آب زیرزمینی و سطحی میزان تهدید این یون‌ها برای سه رده سنی نوزاد، کودک و بزرگسال به وسیله روابط ۲ و ۳ محاسبه و مورد بررسی قرار گرفته است (Radfard et al., Qasemi et al., 2018).

$$CDI = \frac{C \times DI \times F \times ED}{BW \times AT} \quad (2)$$

$$HQ = \frac{CDI}{RFD} \quad (3)$$

که در این رابطه CDI مقدار متوسط دریافتی یون نیترات و یا فلوراید، C غلظت یون در آب، DI میزان مصرف روزانه آب، F دفعات مواجهه، ED طول مدت مواجهه، BW جرم بدن، AT متوسط زمان مواجهه برای بروز اثرات غیر سرطانی و RFD مقدار دریافتی یون در مرجع می‌باشد (جدول ۸).

مقادیر HQ در بزرگسالان، کودکان و نوزادان، برای خطر مصرف نیترات در آب طی یک و دو سال محاسبه شده است. با توجه به شکل a۱۲ که نشان‌دهنده میزان خطر مصرف نیترات در آب طی یکسال برای سه گروه سنی (بزرگسال، کودکان و نوزادان) می‌باشد، مصرف آب برای نوزادان، بزرگسالان و کودکان HQ کمتر از یک دارد و باعث ایجاد خطر نمی‌شود. درحالی‌که مصرف آب نمونه W2 در طی یکسال برای کودکان و نوزادان یک تهدید محسوب می‌شود. با توجه به شکل b۱۳ مشاهده می‌شود، که مصرف آب منطقه در مدت زمان دو سال برای بزرگسالان

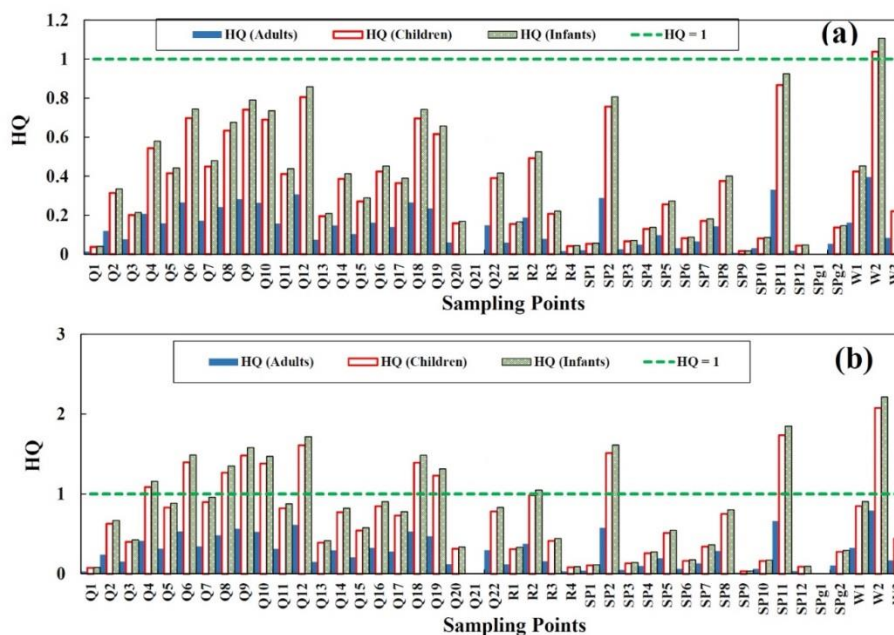
HQ کمتر از یک دارد و مصرف آن خطرناک نیست. برای گروه سنی نوزادان و کودکان مصرف آب در مدت زمان دو سال از محل‌های Q4، W2 و Sp11، Sp2، Q19، Q18، Q12، Q10، Q9، Q8، Q6 خطرناک است و احتمالاً باعث بروز مشکل می‌شود. مصرف آب نمونه R2 در مدت دو سال فقط برای نوزادان باعث بروز مشکل می‌شود. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که مصرف آب منطقه در مدت زمان یک سال خطر ندارد؛ اما مصرف بیشتر از یک سال در بعضی از محل‌ها از نظر نیترات خطرناک است و این خطر مخصوصاً برای دو گروه سنی نوزادان و کودکان بیشتر است.

مقادیر HQ خطر مصرف فلوراید در آب طی یک و دو سال برای بزرگسالان، کودکان و نوزادان محاسبه شده است. با توجه به شکل a۱۴ مصرف آب منطقه در همه محل‌های نمونه‌برداری در مدت یک سال هیچ خطری برای بزرگسالان ندارد؛ اما مصرف آب از محل‌های Q8، Q22، Sp1، Spg1 و Spg2 به مدت زمان یک سال برای سلامتی گروه سنی نوزادان و کودکان خطر دارد. در شکل b۱۴ مقدار HQ خطر مصرف فلوراید در آب طی دو سال در سه گروه سنی مورد مقایسه شده است. مصرف آب از چشمه‌های آب گرم و Sp1 در این مدت زمان برای هر سه گروه سنی خطر دارد. همچنین مصرف نمونه Q8 برای هر سه گروه سنی تهدید محسوب می‌شود. در نمونه‌های Q4، Sp11، Q10، Q12، Q16 و Q22 مقدار HQ برای گروه سنی کودکان و نوزادان بزرگتر از یک است و مصرف این آب در مدت زمان دو سال برای سلامتی این دو گروه سنی مضر است. به طور کلی در منطقه مورد مطالعه، باتوجه به میزان فلوراید در منابع آب، مصرف بیشتر از دو سال از اکثر منابع آب، برای سلامتی مضر است.

جدول ۸- پارامترهای مورد استفاده جهت ارزیابی تهدید سلامت مواد غیر سرطان‌زا (Khan et al., 2016; Ullah et al., 2017).

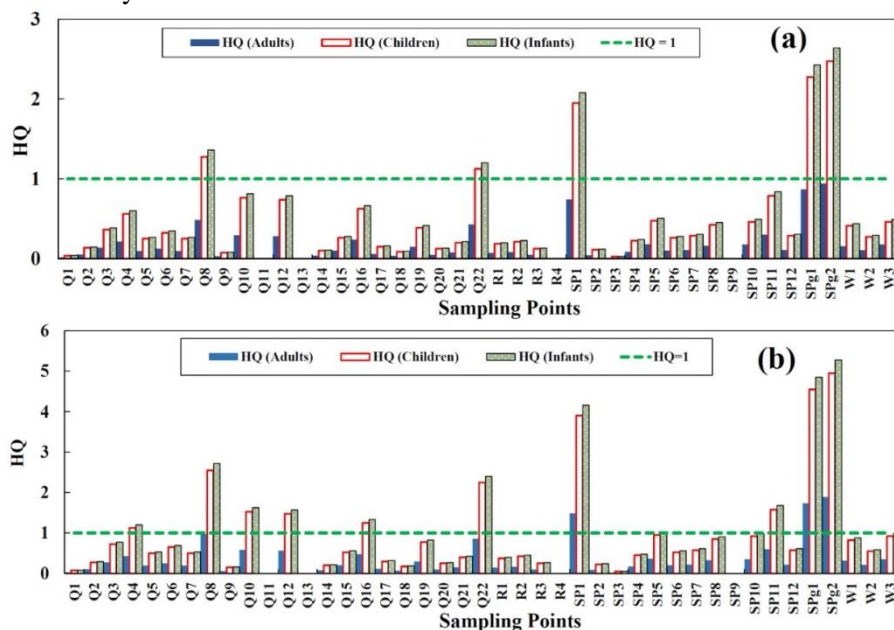
Table 8. Parameters used for measurement the hazard quotient (HQ) as index of the non-carcinogenic risk of fluoride and nitrate (Khan et al., 2016; Ullah et al., 2017).

(mg/Kg/day)(RFD)		(AT)	(F)	(BW)	(ED)	(DI)	Ages
Nitrate	Fluoride	(day)	(day/ year)	(Kg)	(years)	(L/day)	
1.6	0.06	365	365	10	1	0.8	Infant
1.6	0.06	3650	365	20	10	1.5	Child
6.1	0.06	14600	365	70	40	2	Adult



شکل ۱۳- ارزیابی خطر مصرف نیترات در آب منطقه مورد مطالعه، برای نوزادان، کودکان و بزرگسالان.

Fig. 13. Water samples vs HQ of nitrate for three age groups infants, children and adults for consume during 1 year (a) and 2 years (b) in the study area.



شکل ۱۴- ارزیابی خطر مصرف فلوراید در آب منطقه مورد مطالعه، برای نوزادان، کودکان و بزرگسالان.

Fig. 14. Water samples vs HQ of fluoride for three age groups infants, children and adults for consume during 1 year (a) and 2 years (b) in the study area.

وجود شرایط ژئوشیمیایی مانند پایین بودن pH منابع آب زیرزمینی در انحلال مقادیر زیاد و همزمان عناصر از سنگ‌ها و کانی‌های مختلف. در حالت خنثی، آزادسازی انحلال‌پذیری عناصر بسیار پایین است و اگر انحلال کانی‌ها رخ دهد ممکن است از نوع انحلال‌های ناهمسان کانی‌ها باشد که برخی از عناصر تشکیل دهنده کانی وارد آب شود و برخی در ساختار کانی باقی می‌ماند. ۲. به دلیل ناهمگنی در ترکیب سنگ‌شناسی منطقه و اینکه ممکن است آب زیرزمینی از آبخوان‌های سنگی متعدد و بدون ارتباط هیدرولیکی با یکدیگر خارج می‌شود، عناصر موجود در

نتیجه گیری

هر چند در حال حاضر کیفیت منابع آب زیرزمینی و سطحی دشت ساردوئیه از نظر شوری بسیار مناسب مصارف آشامیدن و کشاورزی است اما ممکن عناصر و یون‌های فرعی در چنین منابع آبی با کیفیت وجود داشته باشند که سبب نامطلوبی آب جهت مصارف آشامیدنی گردد. پژوهش نشان می‌دهد به دو دلیل پایین بودن همبستگی‌های بین عناصر و یونهای فرعی در آب زیرزمینی منطقه رخ داده است. ۱. عدم

سطح آلودگی متوسطی برخوردار هستند. ارزیابی خطر مصرف نیترات و فلوراید برای سه گروه سنی (بزرگسالان، کودکان و نوزادان) در منابع آب منطقه مورد مطالعه نشان داد که مصرف آب منطقه در طی یک سال از لحاظ نیترات برای هیچ گروه سنی هیچ خطری ندارد و همچنین در طی دو سال برای بزرگسالان خطرناک نیست؛ اما برای گروه سنی کودکان و نوزادان در بعضی از محلها مصرف آن طی ۲ سال خطرناک می‌باشد. همچنین از نظر فلوراید در منابع آب، مصرف آب طی یک سال برای گروه سنی بزرگسالان بی‌خطری، اما برای گروه سنی نوزادان و کودکان خطرناک تشخیص داده شد. در حالی که مصرف بیشتر از دو سال از برخی از منابع آب برای هر سه گروه سنی احتمال خطر وجود دارد. بهر حال هرچند به طور کلی آب منطقه مورد مطالعه در اکثر مناطق قابل شرب است و از سطح آلودگی خیلی کمی برخوردار می‌باشد؛ اما در آینده به علت افزایش جمعیت، فعالیت‌های معدن‌کاری، عوامل انسانی، نبودن چاه‌های فاضلاب استاندارد، افزایش فعالیت‌های کشاورزی و افزایش تعداد چاه برای مصارف شرب و کشاورزی آب منطقه، کاهش کیفیت مطلوب منابع آب قابل پیش بینی خواهد بود.

منابع آب منشا یکسان نداشته باشند. مطالعه آماری نشان داد که دو عامل انحلال کانی‌های با خاصیت انحلال‌پذیری بالا و فعالیت‌های کشاورزی عوامل تاثیرگذار در وجود عناصر و یون‌های فرعی در منابع آب زیرزمینی شده است و شرایط حالت خنثی و قلیایی منابع آب عامل غلظت پایین یا خروج عناصری همچون آهن شده است. با توجه خوشه‌بندی نمونه‌های آب زیرزمینی را می‌توان به سه گروه تقسیم کرد. خوشه اول در غرب و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه قرار دارند. خوشه دوم و سوم شباهت ریشه‌ای دارند و این دو گروه شامل منابع آب زیرزمینی با هدایت الکتریکی بالاتر نسبت به نمونه‌های خوشه یک هستند. نقشه پراکندگی یون‌ها و عناصر مدنظر در پژوهش نشان می‌دهد که تغییرات مکانی غلظت توزیعی بدون روند دارند و لذا منبع آلودگی هر کدام از آنها نوع نقطه‌ای می‌باشد. پارامترهای نیترات، بور، مس و منگنز در کلیه منابع آب منطقه ساردوئیته غلظتی کمتر از حد استاندارد آب آشامیدنی بهداشت جهانی دارند؛ در حالی که غلظت فلوراید، باریم و آهن در بعضی از نقاط بیشتر از حد استاندارد است. با توجه به اندیس آلودگی HEI منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از

منابع

- Ahmadi, S., Jahanshahi, R., Moein, V., Mali, S., 2018. Assessment of hydrochemistry and heavy metals pollution in the groundwater of Ardestan mineral exploration area, Iran. *Environmental Earth Sciences* 77, 21.
- Amarloei, A., Nazeri, M., Sayeh Miri, K., Nourmoradi, H., Khodarahmi, F., 2014. Investigation on the Concentration of Nitrate and Nitrite in Ilam ground waters. *Scientific journal of Ilam University of Medical Sciences* 22(4), 34-41.
- Azhdarpoor, A., Radfard, M., Pakdel, M., Abbasnia, A., Badeenezhad, A., Mohammade, A., Yousefi, M., 2019. Assessing fluoride and nitrate contaminants in drinking water resources and their health risk assessment in a semiarid region of southwest Iran. *Desalination and Water Treatment* 149, 43-51.
- Bahmani, O., Al Mohammad, S., Bahmani, A., 2015. Evaluation of Vulnerability of the Nitrate Pollution in Aquifer of Hamedan-Bahar. *Journal of Sabzevar University of Medical Sciences* 22(2), 387-396.
- Baily, A., Rock, I., Watson, C.J., Fenton, O., 2011. Spatial and temporal variations in groundwater nitrate at an intensive dairy farm in south-east Ireland: Insights from stable isotope data. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 144, 308-318.
- Biddau, R., Cidu, R., Pelo, S.D., Carletti, A., Ghiglieri, G., Pittalis, D., 2019. Source and fate of nitrate in contaminated groundwater systems: Assessing spatial and temporal variations by hydrogeochemistry and multiple stable isotope tools. *Science of the Total Environment* 647, 1121-1136.
- Caerio, S., Costa, M.H., Ramos, T.B., Fernandes, F., Silveira, N., Coimbra, A., et al., 2005. Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: An index analysis approach. *Ecological Indicators* 5(2), 155-69.
- Caroline, S., Santana, Diango M., Montalvan Olivares, Vinnícus H.C., Silva, Francisco H., Luzardo, M., Fermin, G., Velasco, Raildo M., Jesus, de., 2020. Assessment of water resources pollution associated with mining activity in a semi-arid region. *Journal of Environmental Management* 273, 111148.
- Dimitrijevic M.D., 1973. Geology of Kerman region. Geological Survey of Iran, Report 52, 334 pp.
- Dutkiewicz, A., Herczeg, A.L., Dighton, J.C., 2000. Past changes to isotopic and solute balances in a continental playa: clues from stable isotopes of lacustrine carbonates. *Chemical Geology* 165, 309-329.
- Hajizadeh, N.H., Karami, G.H., Saadat, S., 2011. A study on chemical properties of groundwater and soil in ophiolitic rocks in Firuzabad, east of Shahrood, Iran: with emphasis to heavy metal contamination. *Environmental Monitoring and Assessment* 174, 573-58.
- Jahanshahi, R., Zare, M., 2015. Assessment of heavy metals pollution in groundwater of Golgohar iron ore mine area, Iran. *Environmental Earth Sciences* 74, 505-520.

- Kawagoshi, Y., Suenaga, Y., Chi, N.L., Hama, T., Ito, H., Van Duc, L., 2019. Understanding nitrate contamination based on the relationship between changes in groundwater levels and changes in water quality with precipitation fluctuations. *Science of the Total Environment* 657, 146–153.
- Khan, Z.I., Ahmad, K., Ashraf, M., Shoaib, N., Parveen, R., Bibi, Z., Mustafa, I., Noorka, I.R., Tahir, H.M., Akram, N.A., 2016. Assessment of toxicological health risk of trace metals in vegetables mostly consumed in Punjab, Pakistan. *Environmental Earth Sciences* 75, 433.
- Ledesma-Ruiz, R., Mählknecht, J., 2017. Geochemical and isotopic characterization of groundwater in Tecate, Baja California, Mexico. *Procedia Earth and Planetary Science* 17, 516 – 519.
- Lopez, R., Hallat, J., Castro, A., Miras, A., Burgos, P., 2019. Heavy Metal Pollution in Soils and Urban-Grown Organic Vegetables in the Province of Sevilla, Spain. *Biological Agriculture & Horticulture*, 01448765, 2019.1590234.
- Naderi, M., Jahanshahi, R., Dehbandi, R., 2020. Two distinct mechanisms of fluoride enrichment and associated health risk in springs' water near an inactive volcano, southeast Iran. *Ecotoxicology and Environmental* 195, 110503.
- Parrone, D., Ghergo, S., Frollini, E., Rossi, D., Preziosi, E., 2020. Arsenic-fluoride co-contamination in groundwater: Background and anomalies in a volcanic-sedimentary aquifer in central Italy. *Journal of Geochemical Exploration* 217, 106590.
- Qasemi, M., Afsharnia, M., Farhang, M., Bakhshizadeh, A., Allahdadi, M., Zarei, A., 2018. Health risk assessment of nitrate exposure in groundwater of rural areas of Gonabad and Bajestan, Iran. *Environmental Earth Sciences* 77(15), 551
- Radfard, M., Rahmatinia, M., Akbari, H., Hashemzadeh, B., Akbari, H., Adibzadeh, A., 2018. Data on health risk assessment of fluoride in water distribution network of Iranshahr, Iran. *Data in Brief* 20, 1446-1452.
- Reis, M.M., Santos, L.D.T., da Silva, A.J., de Pinho, G.P., Montes, W.G., 2019. Metal contamination of water and sediments of the vieira river, montes claros, Brazil. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 77, 27–536.
- Ruckart, P.Z., Henderson, A.K., Black, M.L., Flanders, W.D., 2008. Are nitrate levels in groundwater stable over time?. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 18, 129–133.
- Ullah, Z., Naz, A., Saddique, U., Khan, A., Shah, W., Muhammad S., 2017. Potentially toxic elements concentrations and human health risk assessment of food crops in Bajaur Agency, Pakistan. *Environmental Earth Sciences* 76, 482.
- World Health organization (WHO), 2011. *Guidelines for Drinking Water Quality*. 4th ed.
- Yang, Q., Li, Z., Lu, X., Duan, Q., Huang, L., Bi, J., 2018. A review of soil heavy metal pollution from industrial and agricultural regions in China: pollution and risk assessment. *Science of the Total Environment* 642, 690–700.
- Yousefi, M., Ghalehaskar, S., Baghal Asghari, F., Ghaderpoury, A., Dehghani, M., Ghaderpoori, M., Mohammadi, A., 2019. Distribution of fluoride contamination in drinking water resources and health risk assessment using geographic information system, northwest Iran, *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, Regulatory Tox.



©2022 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.