Shahid Chamran University of Ahvaz
OPEN ACCESS Adv. Appl. Geol. Autumn 2025, Vol. 15 (3): 33 - 52

Research Article

Investigating the effect of geological formations on water quality indicators (drinking and irrigation) of the Qolyan River in the Qalikuh region of Lorestan

Amirsaeid Hosseini[1]*,Mehrab Rashidi[2], Seyedeh Akram Jooybari[3]

1- M. Sc, Geological Operations, Exploration Management, National Iranian Oil Company, Tehran, Iran
2- Head of Hydrocarbon Systems Department, Exploration Management, National Iranian Oil Company, Tehran, Iran
3- PhD in sedimentology and sedimentary petrology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

Keywords: geoelectric sounding, transmissivity, transverse resistance, pomping test, Specific yield.

1-Introduction

Chananeh plain, with an area of 636 $Km^{2,}$ is located 25 km southwest of Dezful and 120 km west of Ahvaz. In this area, geological formations related to the Cenozoic period and mainly the Tertiary period can be observed. According to the available evidence and previous studies, the aquifer of the study area is unconfined. Based on the general results and evidence, the constituents of the aquifer are a mixture of coarse-grained sediments of sand, gravel and silt, and clay materials. in some areas the percentage of fine-grained sediments is low and in some parts is higher. Therefore, this area has the minimum specific resistance values. In this study, the results of geoelectric findings were applied to estimate the specific yield parameter and aquifer transmissivity. Then, the information related to the pumping test of several piezometers and well logs of exploitation wells was applied to calculate the hydrodynamic parameters of the study area. These values are compared with those obtained at the sounding points adjacent to these monitoring wells. In this area, where there is no pumping test information, the transverse resistance is a quantity whose rate of change is proportional to the permeability of the aquifer (Samadi and Nakhaei, 2012).

2-Material and methods

Numerous analytical models in the aquifer have predicted the flow. When a well pumps an unconfined aquifer, the horizontal and vertical components of the flow are formed in the aquifer, and the dropped cone expands (Mohamadi and Nasimi, 2012).

In this study, the Newman method was used to analyze the pumping test results (Neuman, 1972). Neuman (1972), assuming that the amount of drop in the aquifer is small compared to the saturation thickness of the aquifer and the specific yield is much greater than the storage coefficient, presented changes in free water level as the upper boundary condition in the two-dimensional differential equation and hydraulic analytical relationships of wells in the unconfined aquifer (Walton, 1988).

By using the geoelectric method, which includes the electrical resistance of the water in the void spaces (ρ_w) and total electrical resistance in the saturated (ρ_{sat}) and unsaturated zones (ρ_{unsat}) of the aquifer, the specific yield can be obtained by the Archi equation (equation 1). The m and n factors are related to the degree of cementation of the grains that make up the aquifer.

$$S_y = \left(\frac{\rho_w}{\rho_{sat}}\right)^{\frac{1}{m}} * \left[\left[1 - \left(\frac{\rho_{sat}}{\rho_{unsat}}\right)^{\frac{1}{n}}\right]\right] \quad \text{(Equation 1)}$$

* Corresponding author: a.saeedhosseini@gmail.com
DOI:10.22055/aag.2025.48525.2492
Received: 2024-12-16
Accepted: 2025-06-30

The electrical resistance of water in void spaces can be measuring the amount of electrical conductivity (µmohs / cm) and calculated using the following equation (Frohlich and Kelly, 1988).

$$\rho_w = \frac{10^4}{EC}$$ (Equation 2)

3-Results and discussion

The analytical relationship obtained by Niwas and Singhal (1981) between the aquifer transmissivity and the transverse resistance using Ohm and Darcy's law is the basis of geoelectric work.

To calculate the transmissivity values at the location of each sounding, the transverse resistance (RT) diagram of these points was drawn in comparison with the transmissivity parameter (T) calculated by the pumping test method at the corresponding points, and the relationship between these two parameters was extracted: T=0.9742RT-8.0342). Finally, using this relation, the transmissivity values at the location of each point have been calculated. Changes in this parameter from 30 m2/day to 670 m2/day in the adjacent Bakhtiari and Lahbari formations are evident. Geoelectric methods have also recorded specific yield changes (calculated using the Archie equation) from 0.02 to 0.18. These values have been validated using the pumping test and well log results, and the final results have shown a good correspondence (Tables 1 and 2).

Table 1. Comparison of specific yield calculated by pumping test and geoelectric methods at piezometers adjacent to exploratory wells

Pumping test results					Geoelectric results				
Location	utmx	utmy	Sy	T	Sounding number	utmx	utmy	Sy	T
Doselgh	212134	3568989	0.006	548	58	214077	3566819	0.06	537.5
Saabiyeh	214935	3555210	0.06	420	47	215262	3553918	0.08	376.32
Raghiveh	218556	3563057	0.14	627	51	218929	3562780	0.13	558.7
Mahareb	221011	3544708	0.011	411	64	221673	3543769	0.04	367.03
Ankoosh	232155	3562080	0.16	550	66	234894	3560436	0.16	508.2

Table 2. transmissivity values calculated using the log wells of Chenaneh plain at some geoelectric soundings

borehole logs				**Geoelectric**	
exploitation wells	thickness	Permeability coefficient	transmissivity	Sounding number	transmissivity
L9	20	20	400	66	508.2
L12	35	8.5	297.5	31	374
L28	25	10	250	55	287
L37	10	4	40	26	22

4-Conclusion

In the present study, 66 vertical electrical soundings (VES) were carried out using the Schlumberger electrode array to determine the status of Chananeh plain, located in Khuzestan province. The relationship between the transverse resistance calculated at the location of each sounding and the transmissivity obtained from the pumping test results is linear. It shows a 94% coefficient of correlation. Therefore, by extracting the equation between these two parameters, it is possible to calculate the transmissivity at the location of

each sounding. Aquifer transmissivity, from 30 m2/day for sections containing sandy and fine-grained materials to 670 m2/day for sections adjacent to the Karkheh River deposits northeast of the plain, gravel, and sand. Specific yield changes according to VES results and their validation by the pumping test results vary from 0.02 in the western and northwestern parts to 0.18 in the northern and northeastern parts. Therefore, according to the calculated hydrodynamic coefficients, the north and northeastern regions of Chananeh plain are in better condition. This results from more erosion of Bakhtiari (Conglomerate) formation in this area.

According to Table 1, the amount of specific yield calculated from the two methods is different in some areas. This is probably due to the considerable distance between the two regions being compared. In addition, according to Table 2, the amount of transmissivity calculated from the two methods is a slight difference. This can be ignored due to the lower accuracy of good logs of exploration wells. According to this study and other research, in areas of the aquifer that do not have pumping tests, the VES method is more effective for estimating hydrodynamic parameters.

References

Archie, G.E., 1942. The Electrical Resistivity Logs as and Aid in determining some Reservoir characteristics Petroleum Technology. Techical Report 1422 American Institute of Mining and Metallurgical Engineering 146, 54-62.

Frohlich, R.K., Kelly, W.E., 1988. Estimates of Specific Yield with the Geoelectrical Resistivity Method in Glacial Aquifers. Journal of Hydrol 97,33-44.

Mohamadi, Z., Nasimi, A., 2012. Investigation of differences between different methods of pumping test analysis in estimating free aquifer hydrodynamic coefficients. Journal of Advanced Applied Geology 2, 9-10.

Niwas, S., Singhal, D.C., 1985. Aquifer transmissivity of porous media from resistivity data. Journal of Hydrology 82, 143-153.

Neuman, S.P., 1972. Theory of flow in unconfined aquifers considering delayed gravity response of the water table. Water Resources Research 4, 1031-1045.

Walton, W.C., 1988, Practical Aspects of Ground Water Modeling, Third edition. National Water Well Association, p. 350-368.

Samadi, L., Nakhaei, M., 2012. Determination of groundwater characteristics of Shirin Ab plain in southwestern Iran by electrical resistance method. Iranian Journal of Geology 21, 44-46.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:
Hosseini, A., Rashidi, M., Jooybari, A., 2025. Investigating the effect of geological formations on water quality indicators (drinking and irrigation) of Qolyan River in Qalikuh region of Lorestan. Adv. Appl. Geol. 15 (3), 33-52.
DOI:10.22055/aag.2025.48525.2492
https://aag.scu.ac.ir/article_20432.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

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر شاخص های کیفی آب (شرب و آبیاری) رودخانه قُلیان منطقه قالیکوه لرستان

امیرسعید حسینی
کارشناس ارشد عملیات زمین‌شناسی، مدیریت اکتشاف، شرکت ملی نفت ایران، تهران، ایران
محراب رشیدی
رئیس اداره سیستم‌های هیدروکربنی، مدیریت اکتشاف، شرکت ملی نفت ایران، تهران، ایران
سیده اکرم جویباری
کارشناس مطالعات زمین شناسی، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب ایران، شرکت ملی نفت ایران، اهواز، ایران
hajhosseini@gmail.com
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۹

چکیده
منطقه قالیکوه لرستان حاوی بزگترین منابع هیدروکربنی نامتعارف(شیل‌های نفتی) در ایران است که از نظر اکولوژیکی جانوری و گیاهی نیز شرایط ویژه‌ای به خصوص در نواحی‌مرتفع دارد. آب کشاورزی و شرب نواحی پایین‌دست این منطقه از نواحی مرتفع تغذیه می‌شود. آبراهه‌های (فصلی و دائمی) این منطقه، آب رودخانه‌های قُلیان و رودبار الیگودرز را تغذیه می‌کنند. این رودخانه‌ها از سرشاخه های رودخانه بختیاری هستند. رودخانه بختیاری و رودخانه سزار(ایران)، از سرشاخه های اصلی رودخانه مهم دِز می باشند. لذا در این تحقیق ۱۵نمونه از آب آبراهه های دائمی با استفاده از آنالیزهای آزمایشگاهی ارزیابی‌شدند. طبق بررسی شاخص‌های کیفی WQI، DWQI و IWQI که بر اساس پارامترهای مختلف انجام شده‌است، آب منطقه دارای بالاترین کیفیت در ایستگاه P_1 است، زیرا درصد دولومیتی‌شدن سنگ‌ها در آن بیشتر است و پائین‌ترین کیفیت مربوط به ایستگاه‌های G_7 است، زیرا در این ایستگاه سنگ‌های بستر آهکی‌تر بوده و آبرفت‌های عهد حاضر در آن گسترش بیشتری یافته‌اند. طبق نمودارهای دومتغیره؛ پدیده‌های انحلال، هوازدگی، تبخیر و تبادل‌یونی معکوس بیشترین نقش را در تغییرات کیفی آب اکثر ایستگاه‌ها داشته‌اند به جزء ایستگاه‌های P_6 و P_7 که تحت تأثیر چرای‌مفرط دام و فعالیت‌های انسانی قرار گرفته‌اند. طبق مطالعات آماری، یون‌های محلول در آب (به خصوص NO_3^- با منشاء انسان‌زاد و زمین‌زاد) متأثر از شرایط محیطی و عوامل زمین‌زاد حاکم بر منطقه می باشند و پارامترهای TDS، TH، EC بیشترین نقش را در تغییرات کیفی‌آب داشته‌اند.

واژه های کلیدی: *رودخانه قُلیان، شاخص‌های کیفی آب، شیل‌های نفتی، قالیکوه، نمودارهای پراکندگی*

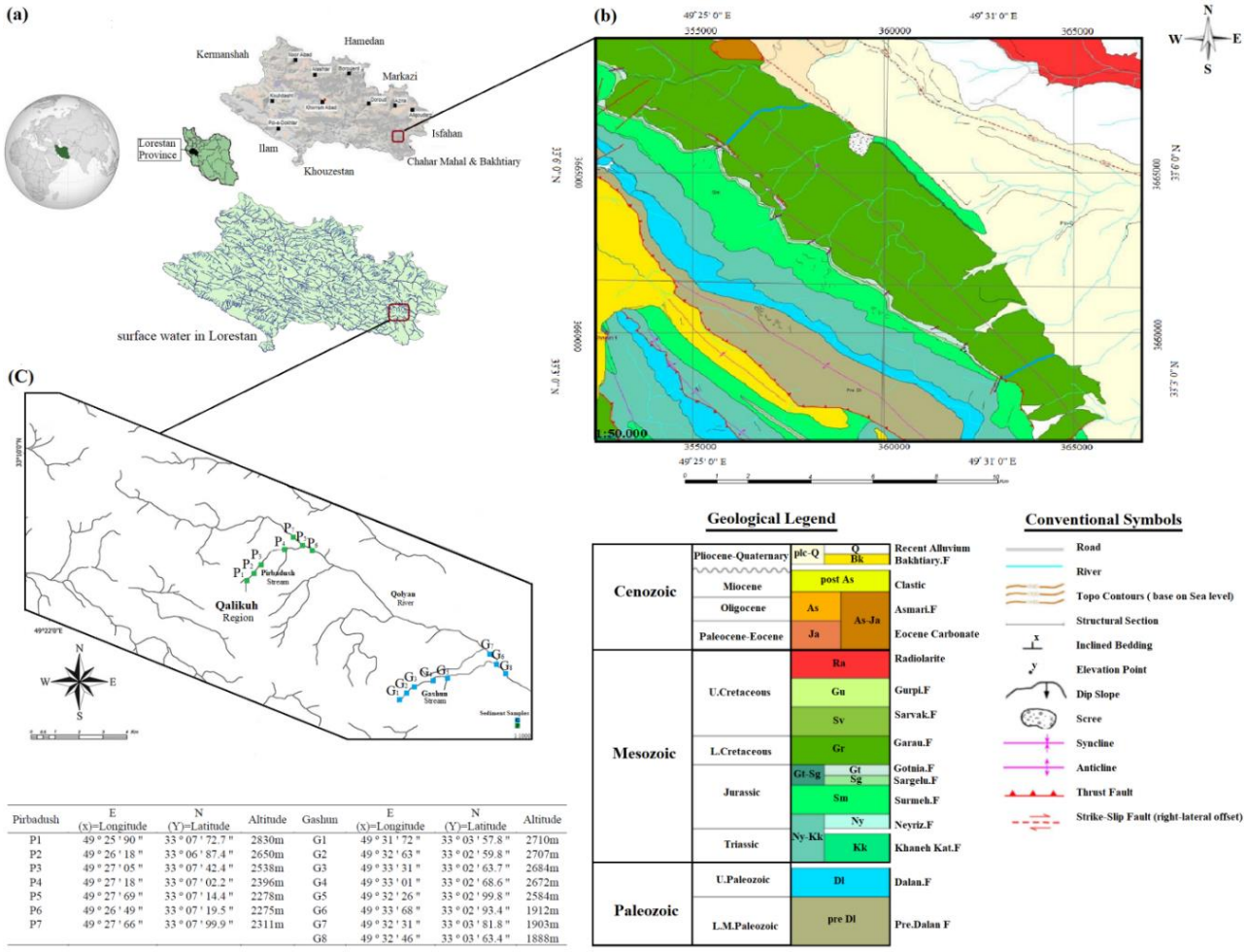
۱-مقدمه
آب به‌عنوان یکی از ضروری‌ترین نیازهای زندگی انسان، نقش حیاتی در حفظ سلامتی و بقا دارد. همچنین، کیفیت آب برای کشاورزی و تولیدات غذایی نیز حیاتی است و آب ناسالم می‌تواند به خاک و محصولات کشاورزی آسیب برساند و به این ترتیب زنجیره غذایی را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین، حفظ و بهبود کیفیت آب یکی از الزامات اساسی برای پایداری محیط زیست و سلامت عمومی است. با بررسی و مطالعه کیفیت منابع آبی، می‌توان آلودگی‌های موجود در آب را شناسایی و به موقع اقداماتی برای جلوگیری از انتشار و افزایش آن‌ها انجام داد. مشکل کیفیت منابع آب در ایران یکی از چالش‌های مهم و بحرانی است که به دلایل متعددی از جمله افزایش جمعیت، توسعه صنعتی، کشاورزی ناپایدار و تغییرات اقلیمی به وجود آمده و تشدید شده‌است. کاهش منابع آبی، مدیریت نادرست و برداشت بی‌رویه از آب‌های سطحی و زیرزمینی، به ویژه در مناطق خشک- نیمه‌خشک ایران، منجر به کاهش کیفیت آب شده است. علاوه بر فعالیت‌های انسانی و تغییرات کاربری اراضی (Akbarzadeh, 2022)، کیفیت منابع آب می‌تواند انعکاسی از عوامل غیرانسانی مختلف مانند فرآیندهای زمین‌شناسی (تبادل یونی، انحلال و فرسایش نهشته‌ها، هوازدگی) و ساختار زمین(تنوع سازندها، جنس سنگها، بافت رسوبات) و اقلیم باشد (Yousefi et al., 2016) که بر کیفیت آب تاثیر منفی گذاشته و بر مقدار کاتیون‌ها و آنیون‌ها و پارامترهای شیمیایی آنها کاسته یا افزوده شود (Tajbakhshian et al., 2021;

Mohammadihadi et al., 2021). در این خصوص، رودخانه‌ها به عنوان یکی از منابع اساسی تأمین آب‌برای مصارف گوناگون مطرح می‌باشند (Nazaryan and Gigloo., 2015) و عدم توجه به کیفیت آب می‌تواند منجر به خسارت‌های بهداشتی و اقتصادی زیادی شود (Chen et al., 2019). در برخی از نقاط لرستان نیز اُفت کیفی آبهای زیرزمینی حاصل فرایندهای غیرانسانی مانند سازندهای زمین شناسی (Rostami Zarinabadi et al., 2014) است که در مورد آبهای‌سطحی نیز صدق می‌کند و تحت تأثیر سازندهای زمین‌شناسی (Amiri, 2021)، هوازدگی (Khalili and Asadi., 2020)، خشکسالی (Ghassemi Dehnavi et al., 2016) و اقلیم (Hassanzadeh et al., 2021) سیر نزولی را نشان داده است. در برخی از نقاط علاوه بر فرآیندهای غیرانسانی و طبیعی (بارش، پوشش‌گیاهی، فرسایش‌خاک، هوازدگی و زمین‌شناسی)، فرایندهای انسانی (فاضلاب‌های شهری، پساب‌های کشاورزی، فعالیت‌های صنعتی) نیز باعث اُفت کیفی منابع آب‌زیرزمینی (Zeinivand, 2022) و آب‌های‌سطحی (Hasanvand and Forghani Tehrani., 2019) شده‌است. آبهای سطحی بیشتر از آبهای زیرزمینی تحت تاثیر آلودگی قرار می‌گیرند. طبق مطالعات گذشته در منطقه قالیکوه لرستان کیفیت آب منطقه بیشتر دستخوش فرآیندهای غیرانسانی بوده‌است و به مقدار جزئی فرآیندهای انسانی در آن دخیل هستند. این تغییرات کیفی آب با زمین‌شناسی منطقه مرتبط است و طبیعت توانایی برقراری تعادل بین فرایندهای فیزیکوشیمیایی سیستم آب-رسوب را داشته‌است (Hosseini et al., 2021). بیشتر یون‌های آب این منطقه (به غیر از نیترات) حاصل فرایندهای‌غیرانسانی (هوازدگی و انحلال) هستند (Rashidi and Hosseini. 2023) و افزایش یون نیترات ($NO3^-$) در آب منطقه به عوامل زمین‌زاد (گسترش شیل‌های نفتی و فرسایش نهشته‌های کواترنری) و عوامل انسان‌زاد (چرای دام) بستگی دارد (Hoseini et al., 2023). منطقهٔ قالیکوه عاری از فعالیت‌های انسانی به خصوص در نواحی‌مرتفع است. افزایش نیترات در مناطق عاری از هرگونه فعالیت‌انسانی می‌تواند مرتبط با رسوبات تبخیری و آلی و یا گسترش رسوبات تخریبی و سازندهای بختیاری و آبرفت‌های عهد حاضر و فرسایش باشد (Hosseinimarandi et al., 2013). سازندهای گچساران، بختیاری و آبرفت‌های عهد حاضر، حساس به فرسایش می‌باشند (Fathizad et al., 2016). شیل‌های سیاه (شیل‌های نفتی) حاوی ایزوتوپ‌های مختلفی از نیتروژن هستند که در شرایط احیایی دریاهای عمیق تشکیل شده‌اند که با عملکردهای زمین‌ساختی و استقرار در محیط‌های نسبتاً اکسیدان، نیتروژن آنها با از بین‌رفتن سیانوباکتری گِلوئوکامپسومورفیا ـ پریسکا (Gloeocampsomorphia-Prisca) به نیترات تبدیل می‌شود (Kiipli, 2013). بر اساس شواهد عینی در حین نمونه‌برداری در برخی از نواحی‌پست منطقه (P6، P7) فعالیت‌های دامی مشاهده شده است. ریزجانداران موجود در فضولات‌دام، ترکیبات نیتراته (آمونیوم، ازت) را به نیترات تبدیل می‌کنند که حاصل فرایند نیتراتی‌شدن (Nitrification) است، در نتیجه یون‌های آمونیوم ($NH4^+$) به وسیله باکتری‌های نیتروزوموناس (Nitrosomonas) و نیتروباکتر اکسیده می‌شوند. حاصل این اکسیداسیون ابتدا به نیتریت ($NO2^-$) و سپس نیترات ($NO3^-$) تبدیل‌می‌شود (Singh et al., 2007). افزایش یون نیترات در آبهای‌زیرزمینی اراضی کشاورزی با کاهش سطح ایستابی آب، مرتبط است (Mousavi et al., 2016) در حالیکه در آب‌های‌سطحی با قرابت به مناطق مسکونی رابطه مستقیم دارد (Mahmoudi et al., 2016). هدف از این تحقیق بررسی نتایج داده‌ها بر اساس شاخص‌های کیفی، نمودارهای پراکندگی و تحلیلهای آماری است تا عوامل آلاینده آب منطقه مشخص شوند. بی‌شک نتایج این تحقیق می‌تواند به تصمیم‌های مدیریتی مرتبط با منابع آبی منطقه کمک‌های شایانی نماید.

۲-زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در استان لرستان و ۳۵ کیلومتری جنوب باختری شهر الیگودرز قرار دارد (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه از نظر زمین شناسی ساختاری در پهنه زاگرس مرتفع واقع شده است. در این منطقه شیل‌های نفتی رخنمون دارند که در برخی از سازندها مانند سرگلو (ژوراسیک‌بالایی) و گرو (کرتاسه‌پایینی) گسترش یافته‌اند، ضمن‌آنکه سازندهای دوران پالئوزوئیک تا دوران سنوزوئیک (از رسوبات ماقبل سازند دالان تا آبرفت‌های عهد حاضر زمان کواترنری) و سازندهای تبخیری مانند گوتنیا (ژوراسیک بالایی) در منطقه قابل رؤیت هستند (شکل ۱). قدیمی‌ترین واحدهای سنگی منطقه قالیکوه طبقات تفکیک نشده پالئوزوئیک‌زیرین می‌باشند که به صورت واحدهای سنگی قبل از دالان معرفی شده‌اند. جوان‌ترین واحدهای رسوبی نیز

پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌های جوان، آبرفت‌های عهدحاضر، رسوبات منفصل (بستر آبراهه‌ها و رودخانه‌ها) و واریزه‌ها (Q) می‌باشند که پهنه دشت و سطح اغلب دره‌ها و دامنه‌ها را پوشش می‌دهند. سازندهای گرو (Gr) و کنگلومرای‌بختیاری (Bk) نیز گسترده‌ترین واحدهای سنگی منطقه می‌باشند. سنگ‌های بستر مسیر آبراهه‌های مورد مطالعه در این تحقیق در سازندهای سرگلو (Sg)، گوتنیا (Gt)، گرو (Gr)، بختیاری کنگلومرای‌بختیاری (Bk) و آبرفت‌های عهد حاضر (Q) قرار گرفته‌اند. منطقه مورد مطالعه حاوی بزرگترین منابع هیدروکربنی نامتعارف (شیل‌های نفتی) در ایران است(Pourshaban et al,. 2021). از طرفی این منطقه زیست‌بوم جانوری و گیاهی منحصری دارد که در ارتفاعات از ساختار بکری برخوردار است و دارای رودخانه و شاخاب‌های آبی زیادی از جمله رودخانه قلیان می‌باشد. رودخانه قُلیان یکی از سرشاخه‌های اصلی رود دِز است که در ادامه وارد استان خوزستان شده و در نهایت به خلیج‌فارس منتهی می‌شود، لذا آب این رودخانه تأمین‌کننده آب شرب و کشاورزی شهرهای پایین دست است. وجود شیل‌های نفتی در این محدوده و جریان‌یافتن رودخانه قلیان بر روی این نهشته‌ها اهمیت مطالعه کیفیت آب این رودخانه را دو چندان کرده‌است. به دلیل ساختار کوهستانی منطقه قالیکوه، آبراهه‌های این محدوده نامنظم و دندریتی است که به صورت فصلی و دائمی هستند و از سرشاخه‌های اصلی رودخانه دز محسوب می شوند.



Pirbadush	E (x)=Longitude	N (Y)=Latitude	Altitude	Gashm	E (x)=Longitude	N (Y)=Latitude	Altitude
P1	49 ° 25 ' 90 "	33 ° 07 ' 72.7 "	2830m	G1	49 ° 31 ' 72 "	33 ° 03 ' 57.8 "	2710m
P2	49 ° 26 ' 18 "	33 ° 06 ' 87.4 "	2650m	G2	49 ° 32 ' 63 "	33 ° 02 ' 59.8 "	2707m
P3	49 ° 27 ' 05 "	33 ° 07 ' 42.4 "	2538m	G3	49 ° 33 ' 31 "	33 ° 02 ' 63.7 "	2684m
P4	49 ° 27 ' 18 "	33 ° 07 ' 02.2 "	2396m	G4	49 ° 33 ' 01 "	33 ° 02 ' 68.6 "	2672m
P5	49 ° 27 ' 69 "	33 ° 07 ' 14.4 "	2278m	G5	49 ° 32 ' 26 "	33 ° 02 ' 99.8 "	2584m
P6	49 ° 26 ' 49 "	33 ° 07 ' 19.5 "	2275m	G6	49 ° 33 ' 68 "	33 ° 02 ' 93.4 "	1912m
P7	49 ° 27 ' 66 "	33 ° 07 ' 99.9 "	2311m	G7	49 ° 32 ' 31 "	33 ° 03 ' 81.8 "	1903m
				G8	49 ° 32 ' 46 "	33 ° 03 ' 63.4 "	1888m

شکل ۱- (a) موقعیت منطقه قالیکوه در ایران و حوضه آبریز خلیج فارس-دریای عمان، (b) نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰.۰۰۰ منطقه و (c) موقعیت شماتیک ایستگاه های نمونه برداری.

Fig.1- (a) the location of Qalikuh region in Iran and the Persian Gulf-Oman Sea watershed basin (b) Geological map 1:50,000 of the area, and (b) schematic location of sampling stations.

۳-روش مطالعه

۳-۱- نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها

پس از انجام مطالعات اولیه در منطقه و استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰۰ (NIOC.exp, 2011) مشخص‌شد که فقط دو آبراهه گشون(Gashun) و پیربادوش(Pirbadush) به صورت دائمی جریان‌دارند و آبراهه‌های دیگر به صورت فصلی هستند و از نظر تأمین آب رودخانه قُلیان اهمیت چندانی ندارند. لذا با تعیین مسیر جریان های سطحی، نقاط نمونه‌برداری مشخص شدند. با انتخاب محل نمونه‌ها، نمونه‌برداری مطابق استاندارد تعریف شده (ISO: International Organization for Standardization, 1985) از آبهای‌سطحی در یک‌مرحله (به دلیل وجود یخبندان در بیشتر مواقع سال و صعب العبور بودن منطقه) انجام‌گرفت و نمونه‌ها در ظروف اسیدیته پلی‌اتیلن ۱/۵لیتری که قبلا با اسید نیتریک ۱۰٪ و آب مقطر (نسبت ۱:۱) شستشو داده شده‌بود، از مرکز جریان‌رود برداشت شدند و درجه حرارت (T^oC) آنها توسط دماسنج در زمان نمونه‌برداری ثبت‌گردید و در کمتر از ۲۴ساعت و به دور از نور مستقیم و حرارت، به آزمایشگاه پژوهشگاه صنعت نفت منتقل شدند. در آزمایشگاه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب و غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها با استفاده از روشهای ASTM، St.Method، MMS و... ارزیابی شدند. در این مطالعه سختی‌کل (TH) توسط نرم افزار AqQa محاسبه شد و عوامل کیفی آب با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (WHO: World Health Organization, 2004 & 2011) مقایسه شدند.

۳-۲- شاخص‌های کیفی آب

شاخص‌های کیفی آب روش‌هایی هستند که در مدیریت کیفی آب از آنها استفاده می‌شود و می‌توان مناطقی را که در معرض آلودگی هستند را شناسایی‌کرد و منابع آب را مدیریت کرد .در ارزیابی و پایش کیفیت آبهای سطحی روش‌های مختلفی وجود دارد که یکی از آنها، شاخص‌های کیفی آب می‌باشد (Pashazadeh Laleh et al., 2021). استفاده از شاخص‌های کیفیت آب (WQI) یکی از روش‌های معمول در بررسی کیفیت آب رودخانه‌ها است (Faryabi, 2018). در این پژوهش پس از نمونه‌برداری و آنالیزهای فیزیکوشیمیایی آب منطقه، به بررسی کیفیت آب بر اساس شاخص‌های کیفی پرداخته‌شد. به طور کلی دو گروه شاخص کیفی وجود دارد: شاخص‌هایی که با افزایش آلودگی، عدد شاخص آنها نیز افزایش می‌یابد (مانند WQI، DWQI) که به شاخص‌های کیفی کاهشی (decreasing) معروف هستند. شاخص‌هایی که با افزایش آلودگی، عدد شاخص آنها کاهش می‌یابدکه شاخص‌های‌کیفی افزایشی(increasing) معروف می‌باشند (مانند IWQI). شاخص‌های کیفی آب ابزارهای مهمی برای ارزیابی و مدیریت کیفیت آب هستند. این شاخص‌ها با تجمیع و تحلیل داده‌های مختلف مرتبط با پارامترهای کیفیت آب، به‌طور ساده و قابل فهم وضعیت کلی آب را ارائه می‌دهند. این ابزارها به تصمیم‌گیران، مدیران منابع‌آب و محققان کمک می‌کنند تا کیفیت آب را به‌طور سریع ارزیابی کرده و مشکلات بالقوه را شناسایی کنند.

پیش از استفاده و تحلیل نتایج کیفی آب، لازم است از صحت اندازه‌گیری‌ها و نبود خطا اطمینان حاصل شود. بر این اساس، مجموع غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی (meq/l) در هر منبع آبی باید تقریباً برابر باشد؛ این تعادل را موازنه یونی می‌نامند. چنانچه واحد اندازه گیری یون ها بر حسب mgr/l باشد باید به meq/l تبدیل شود. عدم کیفیت مناسب آب می‌تواند با خطا در اندازه‌گیری یون های آب مرتبط باشد. یکی از روش‌های متداول، تعیین موازنهٔیونی با استفاده از درصد اختلاف (%D: Percentage difference) است(Ighalo et al, 2021) که از رابطه (۱) قابل محاسبه‌است در این رابطه وجود حداکثر درصد اختلاف 10± نشاندهندهٔ قابل‌قبول بودن نتایج است (Ta M et al, 2020).

$$CBE = \frac{\sum Cation - \sum Anion}{\sum Cation + \sum Anion} \times 100 \quad (۱) \text{ رابطه}$$

شاخص کیفیت آب (WQI: Water Quality Index)، شاخص توسعه یافته‌ای‌است که در آن مقادیر زیادی از داده‌های کیفی آب به یک عدد واحد تبدیل می‌شود تا وضعیت کیفی آب مشخص‌شود. در محاسبهٔ این شاخص دو عامل وزن و کیفیت پارامتر دخیل می‌باشند و از یون های اصلی، کل مواد جامد حل شده (TDS)، سختی‌کل آب (TH) و هدایت‌الکتریکی (EC) استفاده می‌شود (Ghaleni and Moghaddam., 2022). پارامترهای این شاخص بر اساس اهمیت نسبی آنها در تعیین کیفیت آب برای استفاده انسانی ارائه‌شده به وسیله سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2004)، وزن‌دهی شده‌اند (Houatmia et al., 2016). محاسبه این شاخص سه مرحله دارد (Lateef, 2011). مرحلهٔاول"وزن‌دهی"است که وزن

خاصی متناسب با اهمیت نسبی هر پارامتر برای آن در نظر گرفته‌می‌شود (Saleh et al., 2017) و مرحلۀدوم "محاسبه وزن‌نسبی" است که از (رابطه ۲) محاسبه می‌شود. در این معادله، ωi وزن واحد هر پارامتر و n تعداد پارامترها است. با استفاده از مجموع وزن واحد پارامترها (∑ωi)، وزن نسبی (Wi) واحد هر پارامتر با استفاده از (رابطه ۲) مشخص می‌شود. مجموع برابر با یک وزن نسبی (Wi) پارامترها مؤید وزن‌دهی صحیح (ωi) به هریک پارامترها است (۱) که در این تحقیق با میزان0.999 و (D:Difference=0.001)، وزن‌دهی قابل تأیید است. مرحله سوم "محاسبه مقیاس نرخ کیفیت (Qi: Quality Index)" است که با تقسیم غلظت هر پارامتر(Ci) در هر نمونه آب بر مقدار استاندارد آن پارامتر(Si) بر مبنای سازمان بهداشت جهانی (WHO-2004) و (رابطه ۳) محاسبه می‌شود (Alqawati et al., 2017).

سپس با استفاده از وزن نسبی (Wi) و نرخ کیفیت (Qi) برای هر پارامتر SLi (زیر شاخصی از پارامتر nام) از رابطه ۴ محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از مجموع شاخص کیفیت (Sli) و رابطه (۵) میزان شاخص محاسبه می‌شود، سپس بر اساس وزن نسبی پارامترها (Wi)، طبقه‌بندی کیفی آب بر مبنای شاخص WQI انجام می‌شود (جدول۴) تا درجه کیفیت آب تعیین گردد (Mohammed et al., 2023).

$$\boldsymbol{W_i} = \frac{\boldsymbol{\omega_i}}{\sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{\omega_i}}$$ (رابطه ۲)

$$Q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100$$ (رابطه ۳)

$$\mathrm{SLi} = W_i \times Q_i$$ (رابطه۴)

$$WQI = \sum SL_i$$ (رابطه ۵)

جدول ۱- وزن نسبی (Wi) پارامترهای فیزیکوشیمیایی برای شاخص WQI (Mohammed et al., 2023)

Table 1- Relative weight (W_i) of physicochemical parameters for WQI index (Mohammed et al., 2023)

WQI				
	Physicochemical Parameters	$\boldsymbol{S_i}$ (mg/l) WHO (2004)	$\boldsymbol{\omega_i}$	$\boldsymbol{W_i}$ $\boldsymbol{\omega_i}/\sum\boldsymbol{\omega_i}$
1	pH	6.5-8.5	4	0.108108
2	EC	500-1500	4	0.108108
3	TDS	500-1500	5	0.135135
4	TH	500	2	0.054054
5	K^+	≤ 12	1	0.027027
6	Na^+	≤ 200	2	0.054054
7	Mg^{2+}	50-150	2	0.054054
8	Ca^{2+}	70-200	2	0.054054
9	Cl^-	≤ 250	3	0.081081
10	SO_4^{2-}	≤ 500	4	0.108108
11	NO_3^-	≤ 50	5	0.135135
12	HCO_3^-	≤ 400	3	0.081081
			∑ωi=37	$\sum\boldsymbol{W_i}$=0.999 D = 0.001

شاخص کیفیت آب شرب (DWQI: Drinking Water Quality Index)، به عنوان مفیدترین شاخص برای اندازه‌گیری کیفیت کلی آب‌های سطحی جهت مصارف شرب محسوب می‌شود. مقدار محاسبه شده نرخ کیفیت (Qi) برای استفاده در این شاخص به مقدار غلظت هر پارامتر در آب‌های سطحی(Ci) به استاندارد هر پارامتر (Si) برای آب آشامیدنی در آب‌های سطحی مطابق با استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO-2011) بستگی دارد (Alqarawy et al., 2022)که از (رابطه ۳) محاسبه می‌شود. برای محاسبۀ وزن نسبی (Wi) هر پارامتر از ضریب تناسب (K: Proportioncoefficient)که از (رابطه ۶) به دست می‌آید استفاده می شود (Jesuraja et al., 2021). در مرحلۀ بعدی با استفاده از نسبت ضریب تناسب (K) به مقدار استاندارد هر پارامتر (Si) برای آب آشامیدنی که از رابطۀ (۷) به دست می‌آید، مقدار وزن نسبی (Wi) هر پارامتر محاسبه می‌شود (Khalili et al., 2021). مجموع برابر با یک وزن نسبی (Wi) پارامترها مؤید صحت محاسبات است (جدول ۲). سپس با استفاده از وزن نسبی (Wi) و نرخ کیفیت (Qi) هر پارامتر

میزان شاخص کیفیت آب آشامیدنی با استفاده از (رابطه ۸) محاسبه می‌شود (Gad et al., 2022) و طبقه‌بندی کیفی آب شرب بر مبنای شاخص DWQI انجام می‌شود (جدول ۴). در نتیجه محاسبهٔ این شاخص شامل مراحل زیر است: در ابتدا، "محاسبه ضریب تناسب (K) و مقدار وزن نسبی (Wi) بر اساس استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (Si) برای هر پارامتر"، و در مرحله دوم، "محاسبه شاخص کیفی آب از طریق مجموع ضریب وزن نسبی (Wi) و نرخ کیفیت (Qi) پارامترها"، تا در نهایت طبقه‌بندی کیفی آب انجام شود (Gad et al., 2022).

$$K = \frac{1}{\sum \frac{1}{S_i}} \quad (۶ \text{ رابطه}) \qquad W_i = \frac{K}{S_i} \quad (\text{رابطه ۷})$$

$$DWQI = \sum_{i=1}^{n} W_i \times \left(\frac{C_i}{S_i} \times 100\right) \quad (\text{رابطه ۸})$$

جدول ۲- وزن نسبی(W_i) پارامترهای فیزیکوشیمیایی برای شاخص DWQI (Gad et al.,2022)

Table 2- Relative weight (W_i) of physicochemical parameters for DWQI index (Gad et al.,2022)

DWQI				
Physicochemical Parameters		Si (mg/l) WHO (2011)	1/Si	(Wi) unit weight
1	pH	8.5	0.117647	0.415
2	EC	1500	0.000667	0.002
3	TDS	500	0.002	0.007
4	TH	500	0.002	0.007
5	K^+	12	0.083333	0.294
6	Na^+	200	0.005	0.018
7	Mg^{2+}	50	0.02	0.071
8	Ca^{2+}	75	0.013333	0.047
9	Cl^-	250	0.004	0.014
10	SO_4^{2-}	250	0.004	0.014
11	NO_3^-	50	0.02	0.071
12	HCO_3^-	120	0.008333	0.029
13	CO_3^{2-}	350	0.002857	0.01
		∑(1/Si)=0.283		∑(Wi)=1
		1/∑(1/Si)= K=3.53		D = 0

شاخص کیفیت آب برای آبیاری (IWQI: Irrigation Water Quality Index)،شاخصی است که بر اساس پنج پارامتر هدایت الکتریکی، سدیم، کلر، بیکربنات و نسبت جذب سدیم (SAR: Sodium Adsorption Ratio)، برای مصارف کشاورزی کاربرد دارد (Meireles et al., 2010). این پارامترها بر اساس مطالعات مختلف صورت گرفته در سامانهٔ آب‌های سطحی تعیین شده‌اند (Mohammed Muthanna, 2011). در این شاخص مقدار زیرشاخص‌ها و وزن نسبی (Wi) مربوط به هر پارامتر با توجه به پارامترهای کیفی آب آبیاری پیشنهادی ارائه شده توسط کمیتهٔ مشاوران دانشگاه کالیفرنیا (UCCC: University of California Committee of Consultants, 1974) و معیارهای معین، مشخص شده‌است (Sheykhi et al., 2014). برای محاسبهٔ این شاخص ابتدا نسبت جذب سدیم را با استفاده از نسبت های یونی +Mg2، +Ca2، +Na بر حسب meq/l و رابطهٔ (۹) محاسبه می‌شود (Spandana et al., 2013). هرچند طبق دستورالعمل سازمان غذا و کشاورزی (FAO: Food and Agriculture Organization, 2018) شوری آبهای‌سطحی محدودیت‌های اجرایی برای آبیاری ایجاد نمی‌کند ولی در بسیاری از موارد این آبها می‌توانند مشکلات نفوذپذیری بالقوه ایجادکنند و نقش نسبت جذب سدیم آب در میزان کیفیت آن مشخص است (Rasouli et al., 2012). مرحلهٔ دوم "محاسبهٔ نرخ کیفیت (Qi) پارامترها است که با توجه به جدول زیر (جدول ۳) (رابطه ۱۰ به دست می‌آید (Adimalla et al., 2020). مرحلهٔ سوم که از طریق مجموع ضریب نرخ کیفیت و مقدار وزن نسبی پارامترها، میزان شاخص IWQI با استفاده از رابطهٔ ۱۱ مشخص می‌شود (Batarseh et al., 2021) تا طبقه‌بندی کیفی آب کشاورزی بر مبنای این شاخص انجام شود (جدول ۴). در رابطهٔ (رابطه ۱۱)، IWQI پارامتر بدون بُعدی است که دامنه تغییرات

آن ۱۰۰-۰ است که Qi کیفیت پارامتر iام، Wi وزن بهنجارشدهٔ پارامتر iام به عنوان تابعی از اهمیت آن در تغییرپذیری کیفیت آب می باشد (Kumar and Dua, 2009). برای سهولت درمحاسبهٔ این شاخص می‌توان با استفاده از حدود مقادیر اندازه‌گیری شده از نرخ کیفیت (Qi) و وزن نسبی (Wi)تعیین شده‌ای استفاده کرد که در آن مقادیر qi بر اساس غلظت هر پارامتر و مطابق با کیفیت آب آبیاری بنا شده‌است (جدول ۳). میزان کاربری آب‌کشاورزی بر اساس میزان محدودیت آن برای خاک و گیاه مشخص‌می‌شود (Rowe and Abdel-Magid, 2020).

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+}+Mg^{2+}}{2}}} \quad \text{(رابطه ۹)}$$

$$Q_i = q_{imax} - \frac{[x_{ij}-x_{inf}]\times q_{iamp}}{x_{iamp}} \quad \text{(رابطه ۱۰)}$$

qimax: بیشترین مقدار هر طبقه (بر حسب Qi)، qiamp:دامنه طبقات (برحسب Qi)

xiamp: دامنه پارامتر موردنظر در هر طبقه، xinf: کمترین مقدار پارامتر موردنظر در هر طبقه، xij: مقدار پارامتر موردنظر

$$IWQI = \sum_{i=1}^{n} Q_i \times W_i \quad \text{(رابطه ۱۱)}$$

جدول ۳- مقادیر محدودهٔ کیفیت (Q_i) و وزن نسبی (W_i) پارامترهای آبهای سطحی در محاسبهٔIWQI (Rowe and Abdel-Magid, 2020)

Table 3- Quality range values (Q_i) and relative weight (W_i) of surface waters parameters in the calculation of IWQI (Rowe and Abdel-Magid, 2020).

q_i	EC	Na+	Cl^-	HCO_3^-	SAR
	µs/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
85-100	200-750	< 70	< 140	< 90	< 3
60-85	750-1500	70-140	140-250	90-275	3-6
35-60	1500-3000	140-210	250-360	275-520	6-12
0-35	> 3000	> 210	> 360	> 520	> 12
∑(Wi) =1	0.211	0.204	0.194	0.202	0.189

جدول ۴- طبقه بندی کیفی آب بر مبنای شاخص‌ها

Table 4- Water quality classification based on indicators

WQI		DWQI		IWQI	
< 50	Excellent	0-25	Excellent	85-100	No restriction: NR
100-50	Good	26-50	Good	70-85	Low restriction: LR
200-100	Poor	51-75	Poor	55-70	Moderate restriction: MR
300-200	very Poor	76-100	very Poor	40-55	High restriction: HR
> 300	Unsuitable	> 100	Unsuitable	0-40	Severe restriction: SR

۳-۳- تعیین منشاء یون‌های آب

فعالیت‌های انسانی (Anthropogenic Activities)، تعویض یونی (Ion Exchange)، انحلال(Dissolution) و هوازدگی (Weathering) سنگ‌ها، تبخیر(Evaporation) از جمله عوامل و فرآیندهای عمده مؤثر بر کیفیت آب می‌باشند (Asghari Moghaddam et al., 2018) که برای بررسی تأثیر هر کدام از این عوامل، باید نمودارهای دو متغیره مربوط به نمونه‌ها رسم شود (Arum et al., 2018).

به منظور تعیین نوع تعویض یونی از نمودار پراکندگی ($Ca2^+$+$Mg2^+$ / $HCO3^-$+$SO42^-$) استفاده می‌شود. در این نمودار چنانچه نمونه‌ها در بالای خط تعادل قرار گیرند، آب پدیدهٔ تبادل یونی معکوس را متحمل شده‌است (Kumar et al., 2006) اگر $HCO3^-$+$SO4^{2-}$<10 باشد انحلال کلسیت ($CaCO3$) و دولومیت ($CaMg(CO3)2^-$) و اگر 10 < $HCO3^-$+$SO4^{2-}$ باشد انحلال ژیپس ($CaSO4.2H2O$) و انیدریت ($CaSO4$) فرایند غالب می‌باشد (Zhang et al., 2012). انیدریت، توانایی افزایش یون سولفات در آب یک منطقه را دارد (Karimi et al., 2017) و انحلال و هوازدگی دولومیت باعث افزایش Mg^{2+} در آب می‌شود (Hounslow, 2018). تغییرات افزایشی میزان کاتیون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} در آب‌های

سطحی می‌تواند با انحلال سنگ‌های کربناته مانند سنگ آهک ($CaCO_3$) و دولومیت ($CaMg(CO_3)^{2-}$) مرتبط باشد (Sajadi et al., 2023). اگر در سیستم آب فرآیند تبخیر غالب باشد و فرض کنیم که هیچ‌گونه کانی در آب رسوب نکرده است، نمودار پراکندگی نسبت کلراید به سدیم (Cl^-/Na^+) ثابت خواهد ماند. این ثابت بودن نمودار نشان‌دهنده تأثیر فرآیند تبخیر و تعرق بر ترکیب آب است. چنانچه نمونه‌ها دربالای خط تعادل ۱:۱ قرار بگیرند نشان‌دهنده تعویض یونی معکوس می‌باشد (Kumar et al., 2009). برای تعیین اثر فعالیتهای انسانی بر آب از نمودار پراکندگی ($HCO3^-/T(Cation)$) استفاده می‌شود (Barzegar et al., 2016). در این نمودار اگر انحلال سیلیکات‌ها و کربنات‌ها فرایند عمده کنترل‌کننده شیمی‌آب باشد، نسبت ۱:۱ بین $HCO3^-$ و کل کاتیون‌ها (T.Cation) خواهد بود و نمونه‌هایی که نزدیک خط ۱:۱ هستند، بیانگر تأثیر انحلال کانی‌ها در آب می‌باشند در حالی که نمونه‌هایی که دورتر و زیر این خط باشند فرایندهای ثانویه مانند فعالیت‌های انسانی را بیان می‌کنند.

۴-۳- تحلیل‌های آماری چندمتغیره

با استفاده از این تکنیک‌ها می‌توان عواملی که ممکن است سیستم‌های آبی را تحت تأثیر قرار دهند، شناسایی‌کرد (Wang and Zhang., 2010). پس در ابتدا به نرمال‌سازی‌داده‌ها در نرم‌افزارSPSS پرداخته‌شد. با این تحلیل‌ها می‌توان روابط میان متغیرهای مختلف را درک‌کرد و منابع آلودگی را مشخص‌نمود و اثرات بلندمدت فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی را بر منابع آبی پیش‌بینی و مدیریت کرد و به حفظ و بهبود کیفیت منابع آبی ارتقاء بخشید. یکی از این تحلیل‌ها، تحلیل مؤلفه‌اصلی (Principal Component Analysis:PCA) است که در آن رابطهٔ همبستگی بین متغیرهای مختلف اندازه‌گیری می‌شود و برای مؤلفه‌هایی که دارای بیشترین مقدار پراکندگی یا واریانس از واریانس کل هستند، بیشترین امتیاز در نظر گرفته‌می‌شود (Tijani and Onodera., 2009). تجزیه و تحلیل خوشه‌ای (CA: Cluster Analysis) یکی از مهم‌ترین روش‌ها جهت طبقه‌بندی است که از ضریب‌همبستگی به دست می‌آیدکه عدم وجود ارتباط میان شاخه‌ها نشان‌دهندهٔ نبود منشاء یکسان برای آنها است و نتایج آن می‌توانند با ضریب‌همبستگی پیرسون (Pearson Correlation Coefficient) مطابقت داشته باشند (Micó et al., 2008).

۴-نتایج

در این تحقیق آنالیزها بر حسب mg/l محاسبه شدند تا غلظت (Ci) یون‌ها و پارامترهای فیزیکی ـ شیمیایی آب منطقه بررسی شوند. در ترسیم برخی از نمودارها و محسابات واحدها بر حسب الزام به meq/l تبدیل شدند. بیشترین و کمترین تغییرات غلظت پارامترها و یون‌ها به ترتیب مربوط به آب ایستگاه‌های P1 و G7 است (جدول ۵).

در این پژوهش قبل از بررسی میزان شاخص‌ها و ترسیم نمودارها، برای اطلاع از وجود یا عدم وجود خطا در اندازه‌گیری با تبدیل واحد mg/l به meq/l یون‌ها، به بررسی موازنهٔ یونی کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی آب پرداخته شد تا با استفاده از رابطه (۱) و محاسبه درصد اختلاف (%D)، میزان خطای احتمالی در اندازه‌گیری یونهای آب مشخص‌شود که با وجود حداکثر درصد اختلاف ± 10 نتایج این پژوهش قابل استناد می‌باشند (جدول ۵).

۴-۱- محاسبهٔ شاخص های کیفی

در این مطالعه بر اساس شاخصWQI که مطابق استانداردهای سازمان بهداشت جهانی محاسبه‌شد، کیفیت آب منطقه به طور میانگین در حد خیلی ضعیف(very Poor) است و کمترین کیفیت مربوط به ایستگاه G7 است به نحوی که در حد غیرقابل آشامیدن(Unsuitable) رسیده‌است و بهترین کیفیت مربوط به آب ایستگاه P1 است (جدول ۶). این شاخص عمدتاً برای ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود؛ بنابراین، در این تحقیق که به ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی پرداخته شده، نتایج حاصل از این شاخص کیفیت کمتری را نشان داده‌اند. دلیل این امر آن است که آب‌های زیرزمینی به دلیل محافظت در برابر عوامل محیطی و انسانی نسبت به آب‌های سطحی از کیفیت بالاتری برخوردارند.

جدول ۵- غلظت (C_i) پارامترهای مورد مطالعه(mg/l) و محاسبهٔ درصد اختلاف یون‌ها (meq/l)

Table 5- Concentration (Ci) of the parameters studied (mg/l) and calculating the percentage difference of ions (meq/l)

Stn	pH	EC	TDS	TH	K^+	Na+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl	SO_4^{2-}	NO_3	HCO_3^-	CO_3^{2-}	∑Anion	∑Cation	%D
	-	µmhos/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	meq/l	meq/l	(±10)
G1	7.9	350	240	202.3	0.54	0.76	11.4	62.23	4	90	1.8	0.011	77.19	4.56	4.04	-5.97
G2	7.8	340	235	212.6	0.49	0.83	9.91	68.79	4	54	2.6	0.01	73	3.68	4.24	6.97
G3	7.8	350	245	211.2	0.48	0.87	10.17	67.81	4	80	2.2	0.01	73	4.22	4.22	-0.01
G4	7.9	375	260	229.3	0.5	0.8	9.41	76.3	4	85	2.4	0.01	73	4.32	4.57	2.71
G5	7.9	392	275	236.8	0.51	0.75	8.54	80.76	8	86	2.4	0.011	75.99	4.56	4.72	1.71
G6	7.7	421	290	287.9	1.58	4.86	11.19	96.88	12	18	11	0.02	135.91	5.37	5.93	4.9
G7	7.6	530	267	405.8	7.39	9.89	13.66	140	10	30	0.3	0.029	198.78	7.47	8.63	7.19
G8	7.7	386	265	243.7	1.5	7.83	6.54	86.79	16	18	6.2	0.016	107.77	4.48	5.18	7.22
P1	7.8	280	194	196	0.3	0.64	3.94	72.01	4	6	5.5	0.014	95.8	3.48	3.9	5.58
P2	7.8	325	228	230.5	0.55	1.07	2.88	87.57	4	10	6.1	0.016	107.77	3.97	4.60	7.28
P3	7.9	310	218	193.6	0.29	0.67	2.26	82.48	6	6	4.8	0.016	109.57	3.98	4.25	3.18
P4	7.9	305	215	222.3	0.32	0.73	2.07	85.77	4	6	3.9	0.016	108.37	3.87	4.43	6.65
P5	7.9	360	258	276.4	0.35	0.89	2.25	95.25	6	18	4.3	0.016	107.77	4.16	4.98	8.91
P6	7.9	328	236	210.4	0.65	1.63	2.58	100.12	4	14	6.9	0.017	189.98	6.45	5.29	-9.87
P7	7.8	358	256	243.8	0.56	1.46	2.73	113.14	8	18	10	0.017	189.98	7.03	5.94	-8.34

جدول ۶- نتایج حاصل از محاسبهٔ شاخص‌های کیفی آب

Table 6- The results of the calculation of water quality indicators

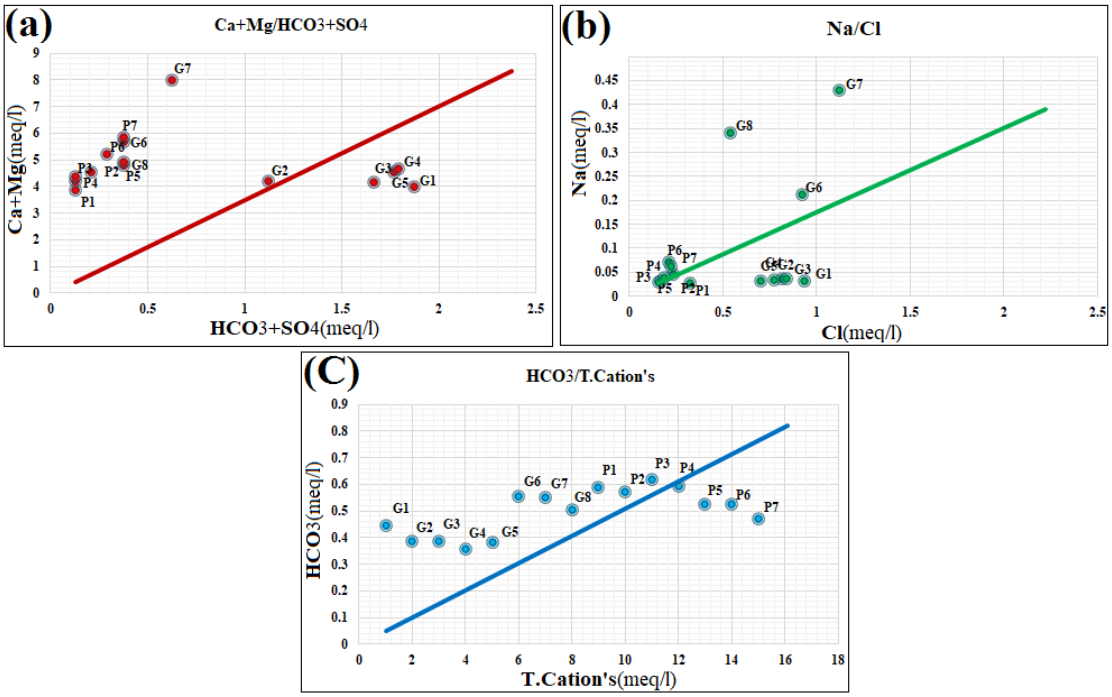
Bedrocks Formation	Quality Indicators		WQI ∑(Qi * Wi)		DWQI ∑(Qi * Wi)		IWQI ∑(Qi * Wi)	
Sargelu	Station	G_1	257.5	Very Poor-Unsuitable	52.23	Poor	83.41	Low Restriction
Sargelu		G_2	246.5		51.38		83.7	
Gutnia		G_3	256.7		51.29		83.42	
Garau		G_4	270.5		52.39		82.7	
Garau		G_5	277.8		53.1		79.63	
Bakhtiari & Quaternary.A		G_6	301.06		57.17		81.98	
Bakhtiari & Quaternary.A		G_7	385.9		72.81		78.68	
Quaternary Alluvium		G_8	272.9		54.86		83.69	
Sargelu		P_1	219		50.66		85.4	
Gutnia		P_2	243.3		52.32		84.13	
Garau		P_3	226.7		51.6		84.61	
Garau		P_4	231.1		51.73		84.69	
Bakhtiari		P_5	260.1		52.65		83.19	
Bakhtiari		P_6	251.6		54.2		84.06	
Quaternary Alluvium		P_7	275.6		54.82		80.61	
			Ave: 265.1	very Poor Unsuitable	Ave: 54.21	Poor	Ave : 82.92	L.R

در محاسبهٔ شاخصDWQI پارامترها با استفاده از استانداردهای سازمان بهداشت جهانی-۲۰۱۱ محاسبه‌شدند. نتایج حاصل از این شاخص تعیین‌کنندهٔ کیفیت آب در حد ضعیف برای مصارف شرب می‌باشد (جدول ۶). نتایج شاخص IWQI حاکی از محدودیت‌کم (low Restriction) آب منطقه جهت استفاده در کشاورزی است (جدول ۶) و باید از آن برای رشد گیاهان حساس به شوری اجتناب کرد. ضمن‌آنکه آب این منطقه، قابلیت استفاده در خاک‌هایی با بافت روشن و با

نفوذپذیری متوسط دارد ولی در خاک‌هایی با درصد رس بالا باید در مصرف آن جانب احتیاط را رعایت‌کرد. هدایت‌الکتریکی در همه نمونه‌ها کمتر از ۷۰۰ می‌باشد و در هر نوع بافتی از خاک و برای آبیاری همه گیاهان مناسب است و نسبت جذب سدیم نیز در همه نمونه‌ها کمتر از ۶ و عالی است.

۴-۲-تشخیص منشاء یون‌های آب با استفاده از نمودارهای دو متغیره

در این تحقیق برای تشخیص منشاء یون‌های آب از نمودارهای دو متغیره استفاده شده‌است که نتایج آن‌ها به شرح زیر است: نمودار $HCO3^{-}+SO4^{2-}$ /$Ca^{2+}+Mg^{2+}$ حاکی از آن است که در اکثر نمونه‌ها (به جزء G1، G3، G4، G5) تبادل‌یونی معکوس رخ داده‌است. از آنجاییکه اکثر نمونه‌ها در اطراف خط تعادل این نمودار نمی‌باشند و میزان $HCO3^{-}+SO4^{2-}<10$ است، انحلال کانی‌های کلسیتی و دولومیتی در افت‌کیفی آب مؤثرتر از انحلال کانی‌های ژیپسی و انیدریتی است. ولی در G2 به دلیل قرابت به خط تعادل؛ انحلال کلسیت، دولومیت، انیدریت و ژیپس در آب رخ داده است (شکل ۲). با بررسی نمودار Na^{+}/Cl^{-}، مشخص‌شد که تبخیر در تغییرات کیفی آب منطقه بی تأثیر نبوده است و بعضی از نمونه‌ها در محدودهٔ خط ثابت (۱:۱) قرار دارند و در اکثر نمونه‌ها (به جزء G1، G2، G3، G4، G5) تبادل‌یونی معکوس رخ داده‌است (شکل ۲). طبق نمودار پراکندگی ($HCO3^{-}$/T(Cation))، انحلال سیلیکات‌ها و کربنات‌ها از فرآیندهای عمدهٔ کنترل‌کنندهٔ شیمی‌آب در این منطقه می‌باشند ولی کیفیت آب نمونه‌های P5، P6، P7 با توجه به فاصله‌ای که از خط ثابت این نمودار دارند و شواهد عینی (چرای‌مفرط دام)، تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار گرفته‌است(شکل ۲).



شکل ۲- (a) نمودارهای پراکندگی تشخیص منشاء یون‌های آب تبادل یونی:G_1, G_3, G_4, G_5، (b) انحلال:G_6, G_7, G_8 و (c) فرآیندهای انسانی: P_5, P_6. P_7

Fig 2. (a) Scatter diagrams for detecting the origin of water ions Ion Exchange: G_1, G_3, G_4, G_5, (b) Dissolution: G_6, G_7, G_8, and (c) Anthropogenic Activities: P_5, P_6, P_7.

۵-بحث

۵-۱- ارتباط سنگ‌بستر با میزان کیفیت آب

سنگ‌های سازند سرگلو، سنگ‌بستر آبراهه‌ها در ایستگاه‌های G1، G2، P1 را تشکیل می‌دهند. لیتولوژی غالب این سازند را شیل‌های هیدروکربن‌دار حاوی پیریت با میان لایه‌هایی از سنگ‌آهک‌های نازک-متوسط لایه دولومیتی-چرتی تشکیل می‌دهد. شیل‌های این سازند به دلیل وجود پیریت و چرت، مقاوم‌تر هستند. سنگ‌بستر مقاوم‌تر می‌تواند باعث کند شدن فرآیند فرسایش و کاهش ورود رسوبات و آلاینده‌ها به آب شود،

اما در عین حال ممکن است مواد معدنی خاصی به داخل آب وارد کرده و کیفیت آن را کاهش دهد. در مسیر ایستگاه‌های G3، P2 انیدریت‌های سازند گوتنیا قرار دارند. انیدریت‌های این سازند به صورت متناوب با لایه‌هایی از شیل و سنگ‌آهک قرار دارند. این ترکیب سنگی می‌تواند در فرآیندهای انحلالی نقش مهمی ایفا کند و به طور مستقیم بر ترکیب شیمیایی آب اثر بگذارد. انیدریت‌ها به‌ویژه در محیط‌های خشک و تبخیری ممکن است به تشکیل رسوبات نمکی در آب کمک کنند، که می‌تواند باعث کاهش کیفیت آب شود. سازند گرو در مسیر ایستگاه‌های G4، G5، P3، P4 رخنمون دارد. از این رو سنگ‌بستر این نقاط را افق‌های شیلی حاوی ندول‌های‌چرت و نهشته‌های‌آهکی نازک-متوسط لایه تشکیل می‌دهد. ترکیب سنگ‌شناسی این سازند می‌تواند تأثیرات مشابهی به سازندهای قبلی داشته باشد، زیرا شیل‌ها و چرت‌ها معمولاً به‌عنوان سنگ‌های مقاوم در برابر فرسایش شناخته می‌شوند و تغییرات شیمیایی آنها می‌تواند کیفیت آب را تحت تأثیر قرار دهد. ایستگاه‌های G5، G6، G7، G8، P5، P6، P7 در مسیر سازند بختیاری و مخروط افکنه‌های جوان، آبرفت‌های عهدحاضر، رسوبات منفصل و واریزه‌های کواترنری قرار دارند. در ایستگاه‌های G6، G7 رسوبات عهد حاضر همراه با لایه‌هایی از ماسه‌سنگ‌های آهکی، سیلتستون، مارن و انیدریت سازند بختیاری رؤیت شدند و آب منطقه در این ایستگاه‌ها(به خصوص G7) کمترین کیفیت را دارند که بی‌ارتباط با قابلیت فرسایش‌پذیری بیشتر سنگ‌بستر در این ایستگاه‌ها نمی‌باشد (جدول ۶). در این مناطق، سنگ بستر به‌طور عمده از رسوبات آبرفتی و واریزه‌های کواترنری تشکیل شده است که قابلیت فرسایش بالاتری دارند. این ویژگی می‌تواند به‌ویژه در ایستگاه‌هایی مانند G7 که آب منطقه کمترین کیفیت را دارد، تأثیر منفی داشته باشد. فرسایش‌پذیری بالای این سنگ‌ها باعث ورود بیشتر رسوبات و مواد آلی به آب می‌شود که می‌تواند به افزایش آلاینده‌ها و کاهش کیفیت آب منجر شود. بنابراین، ترکیب لیتولوژی کف رودخانه در این مناطق نشان‌دهنده‌ی آن است که سنگ‌های مقاوم‌تر مانند شیل‌های پیریت‌دار و سنگ‌آهک‌ها معمولاً باعث بهبود کیفیت آب می‌شوند، در حالی که سنگ‌های فرسایش‌پذیرتر مانند انیدریت‌ها و رسوبات آبرفتی و واریزه‌ای باعث کاهش کیفیت آب می‌شوند. این روند در ایستگاه‌هایی مانند G7 که در مسیر سازند بختیاری و مخروط افکنه‌های جوان قرار دارد، بیشتر مشهود است و به وضوح نشان می‌دهد که فرسایش بیشتر سنگ‌بستر در این مناطق نقش قابل توجهی در کاهش کیفیت آب ایفا می‌کند.

۵-۲-تحلیل‌های آماری

به منظور تحلیل‌های آماری در این تحقیق، به همبستگی بین پارامترها با محاسبهٔ ضریب پیرسون پرداخته‌شد (جدول ۷). بررسی روند همبستگی بین پارامترهای مورد مطالعه حاکی از همبستگی مثبت معنادار بین اکثر پارامترها می‌باشد. ولی $NO3^-$ با هیچکدام از پارامترها رابطهٔ در سطح معنی‌داری ندارد. همبستگی معنادار بین اکثر پارامترهای کیفی آب به دلیل تأثیرات مشترک فرایندهای شیمیایی، فیزیکی و منابع آلاینده مشابه است. مواد معدنی و شیمیایی موجود در آب اغلب از یک منبع یا فرآیند مشابه وارد آب می‌شوند، مانند انحلال کانی‌ها یا آلودگی‌های انسانی، که باعث تغییرات هماهنگ در ترکیب آب می‌شود. این امر باعث همبستگی مثبت میان پارامترها می‌شود، زیرا تغییرات در یک پارامتر معمولاً با تغییرات در دیگر پارامترها مرتبط است. از سویی دیگر افزایش $NO3^-$ مرتبط با فعالیت های زمین‌زاد(Geogenic) یا محیطی(Environmental) و فرآیندهای انسانی باشد.

بررسی تحلیل مولفه اصلی منجر به شناسایی سه فاکتور گردید که ۸۹٪ از کل واریانس را شامل می‌شوند. فاکتور اول که مهمترین فاکتور است،۵۶٪ از کل واریانس را تشکیل می‌دهد، شش پارامتر (Ca^{2+}، K^+، TH، EC، $CO3^{2-}$ و Na^+) را تشکیل می‌دهد که اکثر پارامترها با یکدیگر رابطهٔ مثبت معناداری دارند، به جزء pH که با پارامترهای دیگر فاکتور اول رابطهٔ منفی با سطح معناداری بالا دارد. فاکتور دوم با ۲۱٪ از کل واریانس شامل Mg^{2+} و $SO4^{2-}$ است. فاکتور سوم که ۱۱٪ از کل واریانس را شامل می‌شود با یون نیترات، کلرید و TDS رابطه مثبت معنی دار دارند (جدول ۱۰ سولفات و منیزیم معمولاً از انحلال کانی‌هایی مانند دولومیت و انیدریت به آب وارد می‌شوند که در سازندهایی مانند گوتنیا و بختیاری وجود دارند. این سازندها به دلیل داشتن لایه‌های انیدریتی و دولومیتی می‌توانند منبع این یون‌ها باشند. بنابراین، فاکتور دوم می‌تواند به نوعی مرتبط با ترکیب سازندهای زمین‌شناسی باشد که تاثیرات آن‌ها بر کیفیت آب قابل مشاهده است.عدم همبستگی یا همبستگی ضعیف نیترات با پارامترهای دیگر و استقرار آن در یک فاکتور

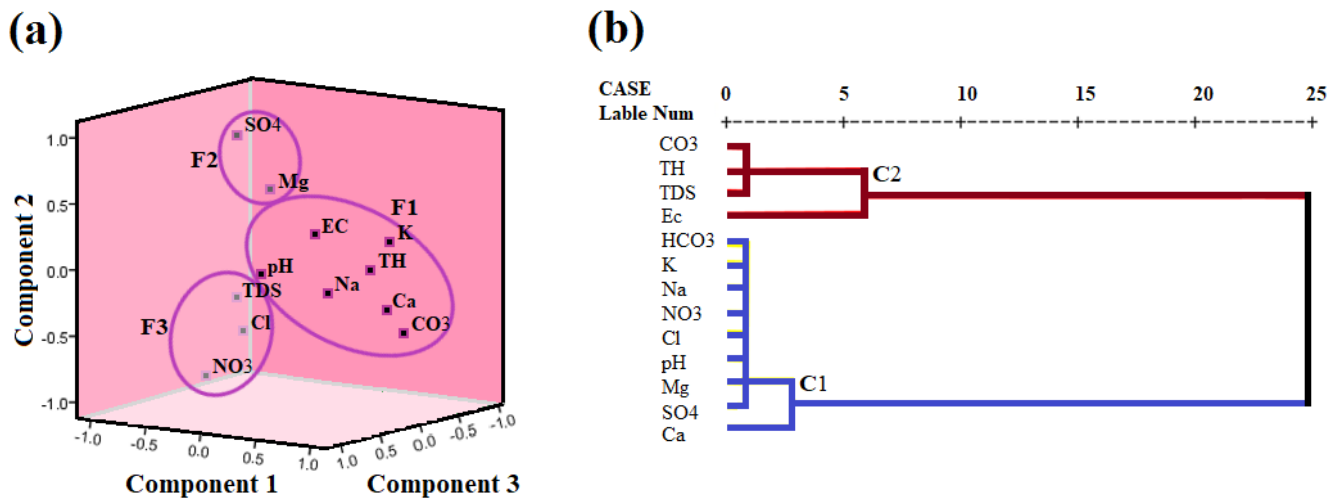
مجزا به دلیل شرایط تشکیل متفاوت آن در منطقه است (شکل ۳).

در ادامه مباحث قبلی، آزمون آماری تحلیل خوشه‌ای با روش تحلیل سلسله مراتبی صورت‌گرفت که با توجه به ضریب پیرسون و همچنین تحلیل‌مؤلفه‌اصلی که دارای نتایج مشابه‌اند، به نظر می‌رسد تحلیل خوشه‌ای توان تفکیک ضعیفی نسبت به آزمون‌های آماری ذکر شده دارد. نتایج آنالیز خوشه‌بندی منجر به شناسایی ۲شاخه در محدوده ۵ تا ۱۰ گردید (شکل ۳). مطابق این نمودار، پارامترهای TH، TDS و $CO3^{2-}$ رابطهٔ نزدیکی بهم دارند که به همراه EC در یک شاخه قرار گرفته‌اند.

جدول ۷- ضریب همبستگی (پیرسون) پارامترهای کیفی نمونه‌های آب

Table 7- Correlation coefficient (Pearson) of qualitative parameters of water samples

	NO_3^-	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl^-	SO_4^{2-}	K^+	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	TDS	TH	pH	EC
NO_3^-	1												
HCO_3^-	0.509	1											
CO_3^{2-}	-0.111	-0.065	1										
Cl^-	0.347	-0.034	0.513	1									
SO_4^{2-}	-.590*	-.658**	-0.121	-0.213	1								
K^+	-0.281	-0.086	.904**	0.435	-0.075	1							
Na^+	0.015	-0.015	.792**	.797**	-0.209	.849**	1						
Mg^{2+}	-0.428	-.734**	0.441	0.245	.662**	.532*	0.449	1					
Ca^{2+}	0.03	0.19	.931**	0.48	-0.403	.806**	.706**	0.1	1				
TDS	0.129	-0.263	.584*	.652**	0.335	0.367	0.504	.538*	0.424	1			
TH	-0.111	-0.065	1.000**	0.513	-0.121	.904**	.792**	0.441	.931**	.584*	1		
pH	-0.135	0.06	-.703**	-.655**	0.233	-.758**	-.860**	-0.485	-.584*	-0.368	-.703**	1	
EC	-0.196	-0.272	.910**	.596*	0.204	.864**	.805**	.692**	.742**	.775**	.910**	-.676**	1



شکل ۳- (a) نمودار سه بعدی تحلیل مؤلفهٔ اصلی، (b) و نمودار خوشه‌ای پارامترهای آب

Fig 3. 3D plot of Principal Component Analysis (a) and plot of Cluster Analysis (b) of water parameters

جدول ۸- نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی

Table 8- The results of principal components analysis

Rotated Component Matrix[a]			
	Component		
	1	2	3
K^+	0.941	0.271	0.131

Rotated Component Matrix[a]			
CO_3^{2-}	0.94	-0.247	0.115
TH	0.926	0.132	0.249
Ca^{2+}	0.917	-0.128	0.142
Na^{+}	0.793	0.039	0.498
EC	0.735	0.428	0.498
pH	-0.705	0.004	-0.463
SO_4^{2-}	-0.362	0.91	0.128
Mg^{2+}	0.251	0.806	0.393
NO_3^{-}	-0.153	-0.796	0.476
TDS	0.227	0.311	0.828
Cl^{-}	0.4	-0.171	0.816
% of Variance	56	21	11

Extraction Method: Principal Component Analysis.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

۶-نتیجه‌گیری

طبق نتایج حاصل از محاسبهٔ شاخص WQI، کیفیت آب منطقه از خیلی ضعیف-غیرقابل آشامیدن از نواحی مرتفع به سمت نواحی پست که با گسترش رسوبات آبرفتی کواترنری و سنگ‌های سازند بختیاری توأم است، تغییر کرده‌است. ولی با استناد به نتایج حاصل از شاخص DWQI، کیفیت آب شرب منطقه تا حد ضعیف ارتقاء یافته‌است. محدودیت کم آب منطقه جهت آبیاری، حاصل نتایج حاصل از شاخص IWQI است که با توجه به میزان قابل‌قبول EC و SAR آب منطقه، محدودیتی برای کشاورزی از آب وجود ندارد. با ترسیم نمودارهای دو متغیره مشخص‌شد، انحلال نقش مؤثری در تغییرات یونی آب منطقه داشته‌است و انحلال کانی‌های سیلیکاته (کانی‌های رسی، کوارتز و فلدسپار) و سپس کانی‌های کربناته (کلسیت-دولومیتی) سنگ‌های بستر و فرآیند تبادل یونی معکوس از مهم‌ترین عوامل تغییرات کیفی در آب منطقه هستند و چرای مفرط دام تنها عامل انسانی مؤثر بر کیفیت آب منطقه است که با تغییرات $NO3^{-}$ همخوانی دارد. ضمن‌آنکه تغییرات $NO3^{-}$ آب علاوه بر عوامل انسانی به عوامل زمین‌زاد (گسترش رسوبات آبرفتی کواترنری در نواحی پایین‌دست و رخنمون شیل‌های نفتی سازندهای گرو و سرگلو در نواحی‌مرتفع) نیز بستگی دارد. بررسی روند همبستگی بین پارامترهای مورد مطالعه حاکی از عدم همبستگی $NO3^{-}$ با پارامترهای دیگر است که بی‌ارتباط به فعالیت‌های انسانی در کنار عوامل زمین‌زاد منطقه نیست. تحلیل مؤلفهٔ اصلی پارامترهای مورد مطالعه نیز منجر به شناسایی سه فاکتور شد که در آن $NO3^{-}$ و Mg^{2+}، $SO4^{2-}$ در فاکتورهای مجزا قرار گرفته‌اند که تغییرات Mg^{2+} و $SO4^{2-}$ می‌تواند مرتبط با انحلال سنگ‌های دولومیت و انیدریت سازند گوتنیا و میانلایه‌های انیدریتی سازند بختیاری باشد. نتایج تحلیل خوشه‌ای نشان از اثر مهم پارامترهای TH، TDS، $CO3^{2-}$ بر کیفیت آب منطقه دارند که به همراه EC در یک شاخه قرار گرفته‌اند که حاصل افزایش Na^{+}، $Ca2^{+}$، Mg^{2+} موجود در سنگ‌های با میان لایه‌های آهکی، کانی‌های رسی و نهشته‌های آبرفتی پراکنده در سطح منطقه است.

با بررسی عوامل کیفی آب می‌توان نتیجه‌گیری کلی کرد که رخنمون شیل‌های‌نفتی به تنهایی تاثیری بر کیفیت‌آب منطقه ندارند و فرسایش‌پذیری سازند بختیاری و آبرفت‌های عهد حاضر نقش مؤثری داشته‌است. با توجه به فعالیت‌های نادر انسانی در منطقه، بیشتر تغییرات کیفی‌آب متأثر از نوع سنگ‌بستر، تنوع‌سازندی و شرایط فیزیکوشیمیایی (انحلال و هوازدگی) و جغرافیایی و محیطی حاکم بر منطقه است. در نتیجه با بررسی‌های تکمیلی در طول مسیر حرکت آبهای سطحی این منطقه باید عوامل تأثیرگذار را شناسایی کرد و با ارائهٔ راهکارهای مدیریتی و مطالعات علوم‌محیطی، زمین‌شناسی، سنجش از دور (Remote Sensing)، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS: Geographic Information System)، هیدرولوژی و اکولوژی؛ شرایط مساعد برای مصارف مختلف از ذخایر آبی و احیاء اکوسیستم‌های طبیعی در این منطقهٔ بکر را فراهم ساخت.

تشکر و قدردانی

از معاونت محترم مدیردر علوم زمین(دکتر معلمی) و رئیس ادارهٔ کل زمین‌شناسی (دکتر عبداللهی‌فرد)، رئیس و همکاران محترم

ادرۀ پژوهش و فناوری مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران (دکتر حاجیان و ...) و کارکنان آزمایشگاه پژوهشکدۀ محیطزیست و بیوتکنولوژی پژوهشگاه صنعت نفت که در انجام این پژوهش همکاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

Adimalla, N., Dhakate, R., Kasarla, A. Taloor, A.K., 2020. Appraisal of groundwater quality for drinking and irrigation purposes in Central Telangana, India. Groundwater for Sustainable Development 10, 100334. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100334

Akbarzadeh, P. Nikoo, S., 2022. Effects of Land Use Change on Groundwater Quality (Case Study: Damghan Watershed). Iranian Journal of Ecohydrology 9(2), 437-459. https://10.22059/IJE.2022.340711.1622

Alqarawy, A., El Osta, M., Masoud, M., Elsayed, S. Gad, M., 2022. Use of hyperspectral reflectance and water quality indices to assess groundwater quality for drinking in arid regions, Saudi Arabia. Water 14 (15), 2311. https://www.mdpi.com/2073-4441/14/15/2311

Alqawati, M., Elquysy, M., Nabil Darwesh, M.S., Hamdaoui, F., Kherrati, I., El Kharrim, K., Belghyti, D., 2017. Hydrogeochemical study of groundwater quality in the west of Sidi Allal Tazi, Gharb area, Morocco. Journal of Materials and Environmental Science 9 (1), 293-304. https://doi:10.26872/jmes.2018.9.1.33

Amiri, V., 2021. Hydrogeochemical Assessment and Identification of Controlling Factors of Chemical Composition of Spring Waters in Alashtar Plain, Lorestan Province. Journal of Applied Research in Geographical Sciences 21(63), 271-289. https://jgs.khu.ac.ir/article-1-3592-en.html

Arum, Z., Farghani Tehrani, G. Kazemi, Gh.A., 2018. Investigation of hydrochemistry and groundwater quality in Dasht Bukan aquifer, West Azarbaijan province. Advanced Applied Geology 8(1), 13-32 (in Persian). https://aag.scu.ac.ir/article_14205.html

Asghari Moghaddam, A., Nourallahi, S., Barzegar, R., Fijani, E., Kazemian, N., Soltani, S., 2018. Evaluation of effective processes on groundwater quality of Meshgin-Shahr plain by integration of geochemical and statistical methods. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering 12(43), 30-39. https://jwmsei.ir/article-1-720-en.html

Barzegar, R., Asghari Moghaddam, A., Tziritis, E., 2016. Assessing the hydrogeochemistry and water quality of the Aji-Chay River, northwest of Iran. Environmental Earth Sciences 75, 1-15. https://doi.org/10.1007/s12665-016-6302-1

Batarseh, M., Imreizeeq, E., Tilev, S., Al Alaween, M., Suleiman, W., Al Remeithi, A.M., Al Tamimi, M.K. Al Alawneh, M., 2021. Assessment of groundwater quality for irrigation in the arid regions using irrigation water quality index (IWQI) and GIS-Zoning maps: Case study from Abu Dhabi Emirate, UAE. Groundwater for Sustainable Development 14, 100611. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100611

Chen, B., Wang, M., Duan, M., Ma, X., Hong, J., Xie, F., Zhang, R., Li, X., 2019. In search of key: Protecting human health and the ecosystem from water pollution in China. Journal of Cleaner Production 228, 101-111. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.228

Edition, F., 2011. Guidelines for drinking-water quality. WHO Chronicle 38(4), 104-8. https://ISBN: 978-92-4-154995-0.

Fao, F.A.O.S.T.A.T., 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. https://faostat. fao. org, pp.403-403

Faryabi, M., 2018. Assessing the hydrochemical evolution of surface waters in Halilrood basin: The use of physicochemical parameters and multivariate statistical techniques. Irrigation and Water Engineering 8(3), 185-200. https://www.waterjournal.ir/article_74093.html?lang=fa

Fathizad, H., Karimi, Tavakoli, H.M., 2016. Role of sensitivity of erosion the geological formations at erosion rate and sediment yield (case study: Sub-basins of Doviraj river, Ilam province). Journal of Watershed Management Research 7(13), 193-208. http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jwmr.7.13.208

Gad, M., Saleh, A.H., Hussein, H., Farouk, M. Elsayed, S., 2022. Appraisal of surface water quality of Nile River using water quality indices, spectral signature, and multivariate modeling. Water 14(7), 1131. https://doi.org/10.3390/w14071131

Ghaleni, M.M., Moghaddam, H.K., 2022. Introducing a New Drinking Water Quality Index for Surface Water Resources Using Multivariate Analysis (Case Study: Sefidroud River). Water and Soil 36(4), 439-458. https://doi: 10.22067/JSW.2022.77413.1177

Ghassemi Dehnavi, A., Sarikhani, R., Hosseini, S.H., Ahmadnejad, Z., Ebrahimi, B., 2016. Qualitative and quantitative evaluation of surface water using statistical analysis in Azna River, Lorestan. Environment and Water Engineering 2(4), 306-321. https://www.magiran.com/p1741915

Hasanvand, N., Forghani Tehrani, G., 2019. Geochemical study of water and sediments in the Badavar River, Lorestan Province: environmental implications. Journal of stratigraphy and sedimentology research 35(4), 105-128. https:// 10.22108/JSSR.2019.118373.1112

Hassanzadeh, R., Komasi, M., Ahmadi, M., 2021. Evaluation and analysis of climate change on the quantity and quality water resources in Lorestan province (Case study of Khorram River). https://doi:10.21203/rs.3.rs-740864/v1

Hoseini, A., Hakimi Asiabar, S., Salavati, M., 2023. Effect of vegetation and soil erosion on the hydro-geochemical quality of surface waters: Case study: Qolyan River catchment area, Qalikuh region, Lorestan. Hydrogeomorphology 10(34), 191-167. https://doi.org/10.22034/hyd.2023.55146.1677

Hosseini, A., Hakimi Asiaber, S., Salavati, M., 2021. Investigation of hydro-geochemical quality of surface water for drinking water use (Case study: Qalikuh region, Lorestan province, southwest of Iran). Quaternary Journal of Iran 7(1), 649-669. https://doi.org/10.22034/irqua.2021.702415

Hosseinimarandi, H., Mohammadnia, M., Rousta, M.J., Hataf, B., 2013. Study the groundwater nitrate pollution in the Mian-Jungle region, Fasa, Iran. Iran-Water Resources Research 8(3), 88-92. https://www.iwrr.ir/article_16698.html

Houatmia, F., Azouzi, R., Charef, A., Bédir, M., 2016. Assessment of groundwater quality for irrigation and drinking purposes and identification of hydrogeochemical mechanisms evolution in Northeastern, Tunisia. Environmental Earth Sciences 75(9), 746. https://doi:10.1007/s12665-016-5441-8

Hounslow, A., 2018. Water quality data: analysis and interpretation. CRC Press. https://doi:10.1201/9780203734117

Ighalo, J.O., Adeniyi, A. G., Marques, G., 2021. Artificial intelligence for surface water quality monitoring and assessment: a systematic literature analysis. Modeling Earth Systems and Environment 7(2), 669-681. https://doi.org/10.1007/s40808-020-01041-z

ISO, Water quality – Sampling – .1985. Part 3: Guidance on the preservation and handling of samples. Italy). International Journal of Earth Sciences 100, 1569-1587. https://www.iso.org/standard/82273.html

Jesuraja, K., Selvam, S., Murugan, R., 2021. GIS-based assessment of groundwater quality index (DWQI and AWQI) in Tiruchendur Coastal City, Southern Tamil Nadu, India. Environmental Earth Sciences 80, 1-17. https://doi:10.1007/s12665-021-09542-5

Karimi, S., Mohammadi, Z., Samani, N., 2017. Evaluation of hydrochemical characteristics of groundwater and salinity evolution in Semnan Plain. Hydrogeology 2 (1), 1-19. https://doi.org/10.22034/hydro.2017.5237

Khalili, R., Montaseri, H., Motaghi, H. Jalili, M.B., 2021. Water quality assessment of the Talar River in Mazandaran Province based on a combination of water quality indicators and multivariate modeling. Water and Soil Management and Modelling 1 (4), 30-47. https://doi.org/10.22098/mmws.2021.9322.1033

Khalili, Z. Asadi, N., 2020. Survey of Hydro-geochemical Quality of Important Rivers in Azna, Lorestan Province, Iran. Journal of Environmental Science Studies 5 (1), 2420-2427. https://www.jess.ir/article_105820.html?lang=fa

Kiipli, E., Kiipli, T., 2013. Nitrogen isotopes in kukersite and black shale implying Ordovician-Silurian seawater redox conditions. Oil Shale 30(1), 60. http://doi: 10.3176/oil.2013.1.06

Kumar, A. Dua, A., 2009. Water quality index for assessment of water quality of river Ravi at Madhopur (India). Global journal of environmental sciences 8 (1). http://dx.doi.org/10.4314/gjes.v8i1.50824

Kumar, S.K., Rammohan, V., Sahayam, J.D., Jeevanandam, M., 2009. Assessment of groundwater quality and hydrogeochemistry of Manimuktha River basin, Tamil Nadu, India. Environmental monitoring and assessment 159, 341-351. https://doi.org/10.1007/s10661-008-0633-7

Kumar, M., Ramanathan, A.L., Rao, M.S. Kumar, B., 2006. Identification and evaluation of hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Delhi, India. Environmental Geology 50, 1025-1039. http://dx.doi.org/10.1007/s00254-006-0275-4

Mahmoudi, M., Nadiri, A.A., Asghari Moghaddam, A., Pourakbar, M., Moradian Haredasht, A., 2016. Survey of water resources of Shiramin plain using multivariate statistical methods. Journal of Water and Soil Conservation. 23(3), 289-302. https://doi.org/10.22069/jwfst.2016.3199

Meireles, A.C.M., Andrade, E.M.D., Chaves, L.C.G., Frischkorn, H., Crisostomo, L.A., 2010. A new proposal of the classification of irrigation water. Revista Ciência Agronômica 41, 349-357. http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902010000300005

Micó, C., Recatalá, L., Peris, M., Sánchez, J., 2008. Discrimination of lithogenic and anthropogenic metals in calcareous agricultural soils: a case study of the lower Vinalopó region (SE Spain). Soil & Sediment Contamination 17(5), 467-485. https://doi.org/10.1080/15320380802304367

Mohammadihadi, H., Kalantari, N., Anbari, A., Pahlavanizadeh, S., 2021. Hydrochemical assessment of the Jareh Dam water resources: using multivariate statistical techniques and hydrochemical methods. Advanced Applied Geology 10(4), 620-633. https://doi.org/10.22055/aag.2020.29692.1993

Mohammed, A.I., Naimi, S., Dawood, A.S., 2023. Evaluation of the drinking and irrigation quality of groundwater in Basrah, Iraq. Journal of Ecological Engineering 24(9). http://dx.doi.org/10.12911/22998993/169177

Mohammed Muthanna, N., 2011. Quality assessment of Tigris River by using water quality index for irrigation purposes. European Journal of Scientific Research 57(1), 15-28. https://www.researchgate.net/publication/260942886

Mousavi, F., Yaghoubi, M., Chitsazan, M., 2016. Land use management by assessing aquifer vulnerability in Khovayes Plain using the DRASTIC and SINTACS models. http://www.wwjournal.ir/article_12186.html

National Iranian Oil Company (Exploration Management). 2011. Petroleum Geochemistry of Oil Shales (middle Jurassic-lower Cretaceous) from west Iran .Project report. 700p (in Persian)

Nazaryan, S., Farid Gigloo, B., 2015. Chemical quality survey and trends of water quality parameters at nodeh station of Gorganroud River, Golestan Province of Iran. Irrigation and Water Engineering 5(3), 80-91. https://www.waterjournal.ir/article_73668.html?lang=fa

Pashazadeh Laleh, Z., Jafari, H. Vaezi Hir, A.R., 2021. Assessment of Aji-Chay River Pollution in Tabriz Plain Area Using Water Quality Indices. Water and Soil 34 (6), 1203-1218. https://doi.org/10.22067/jsw.v34i6.80732

Pourshaban, A., Yazdi, M., Adabi, M.H., Daryabandeh, M., 2021. Factors affecting trace elements enrichment and its interaction with organic materials in Qalikouh oil shale, Lorestan, western Iran. Applied Sedimentology 9 (18), 76-96. doi: 10.22084/psj.2021.23708.1275

Rashidi, M., Hosseini, A., 2023. Examining the Hydro-Geochemical Quality and Origin of Water Ions in the Qolyan River of the Qalikuh Region in Lorestan Province, Iran. Hydrogeology 8(1), 114-136. https://10.22034/HYDRO.2023.55807.1285

Rasouli, F., Kiani Pouya, A., Cheraghi, S.A.M., 2012. Hydrogeochemistry and water quality assessment of the Kor–Sivand Basin, Fars province, Iran. Environmental monitoring and assessment 184, 4861-4877. https://doi.org/10.1007/s10661-011-2308-z

Rostami ZarinAbadi, A., Forghani Tehrani, G. Karami, G., 2014. Evaluation Characteristics Hydrochemical of Groundwater Romeshgan Plain, Lorestan, Iran. Advanced Applied Geology 4(3), 33-41. https://aag.scu.ac.ir/article_10914.html?lang=fa

Rowe, D.R., Abdel-Magid, I.M., 2020. Handbook of wastewater reclamation and reuse. CRC Press. https://doi.org/10.1201/9780138752514

Sajadi, Z., Kalantari, N., Charchi, A., Mousavi, S.S., 2023. Investigating the hydraulic relationship of karst structures with hydrogeochemical and isotopic methods of water resources in Izeh region, north of Khuzestan province. Hydrogeology 7(2), 121-142. https://doi.org/10.22034/hydro.2022.48953.1254

Saleh, S.M., Al-Alaiy, S.G., Abdul-Razzak, B., 2017. Application of water quality index to assessment of groundwater quality. University of Aden Journal of Natural and Applied Sciences 21(1), 125-134. https://doi.org/10.47372/uajnas.2017.n1.a13

Sheykhi, V., Moore, F., Shakeri, A., 2014. Characterization and Quality Index of Kor River Water. Environmental Sciences Research Institute 12 (1), 103-114 (in Persian). https://scj.sbu.ac.ir/article_97402.html

Singh, R.S., Tripathi, N., Singh, S.K., 2007. Impact of degradation on nitrogen transformation in a forest ecosystem of India. Environmental monitoring and assessment 125, 165-173. https://doi.org/10.1007/s10661-006-9249-y

Spandana, M.P., Suresh, K.R., Prathima, B., 2013. Developing an irrigation water quality index for Vrishabavathi command area. International Journal of Engineering Research & Technology 2, 821-830. https://IJERTV2IS60422

Ta, M., Zhou, X., Guo, J., Wang, X., Wang, Y., Xu, Y. 2020. The Evolution and Sources of Major Ions in Hot Springs in the Triassic Carbonates of Chongqing, China. Water 12 (4), 1194. https://doi.org/10.3390/w12041194

Tajbakhshian, M., Mosaedi, A., Mahmudy Gharaie, M.H., Moussavi Harami, S.R., 2021. The role of geological formations lithology on surface and groundwater quality of Shirin Darreh dam watershed. Iranian Journal of Ecohydrology 8(4), 1025-1044. https://doi.org/10.22059/ije.2022.330188.1546

Tijani, M.N. Onodera, S., 2009. Hydrogeochemical assessment of metals contamination in an urban drainage system: a case study of Osogbo township, SW-Nigeria. Journal of Water Resource and Protection 1 (3), 164. https://doi:10.4236/jwarp.2009.13021

UCCC (University OF California Committee of Consultants), 1974. Guidelines for Interpretations of Water Quality for Irrigation. Technical Bulletin, University of California Committee of Consultants, California, USA, p. 20-28

Wang, Y.B., Zhang, X.Q., 2010, June. Effect of pH and temperature on absorption-desorption of Cu^{2+} in soil nearby a copper tailings yard. In 2010 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, p. 1-3). https://doi.org/10.1109/ICBBE.2010.5516809

World Health Organization, editor. 2004. International Statistical Classification of Diseases and related health problems: Alphabetical index. World Health Organization. https://ISBN 92 4 154638 7

Yousefi, H., Mohammadi, A., Noorollahi, Y., Sadatinejad, S.J., 2016. Qualitative evaluation of surface water resources of Hiv basin. Iranian Journal of Ecohydrology 3 b (2), 141-149. https://doi.org/10.22059/ije.2016.59641

Zeinivand, H., 2022. Evaluation of groundwater quality for different uses, case study: Delfan plain. Geographic Space 22(78), 55-71. http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-3568-en.html

Zhang, B., Song, X., Zhang, Y., Han, D., Tang, C., Yu, Y., Ma, Y., 2012. Hydrochemical characteristics and water quality assessment of surface water and groundwater in Songnen plain, Northeast China. Water Research 46(8), 2737-2748. https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.02.033