

Determining the origin of brines with hydro-geochemical methods (case study: Downstream of Seymareh dam, Ilam Province)

Homayoun Moghimi^{1*}, Fartash Ravesh²

1- Department of Geology, Faculty of Basic Science, Payam e Noor University, Tehran, Iran

2- Master of Hydrogeology, Faculty of Basic Sciences, Payam e Noor University, Tehran, Iran

Keywords: Seymareh dam, Oilfield brine, Basic exchange index, Hounslow's plot, Sulin's graph

1-Introduction

Natural water is a solution that contains exposure to atmospheric and soil gases, mixing with other waters and reactions to the biosphere and lithosphere. Based on this subject, many researchers focused on: determining the origin of groundwater salinity which can affect the geochemical impacts of Asmari's Formation oil reservoirs in water resources Karst Masjed Soleyman (Mirzaei et al., 2015), evaluation of salinity and arsenic in Sahand dam Basin (Nadiri et al., 2015), hydro-geochemical characteristics of Tabriz Aquifer using hydrochemical models and statistical methods (Barzegar et al., 2016), evaluation of groundwater salinity in the plain Malekan coastal aquifer (Azizi et al., 2017) and determining the origin of water salinity in the spring of Garoo and anticlinal Asmari Formation using hydrochemical parameters (Chitsazan et al., 2016). Bouzourra et al. (2014) used Hounslow's plot to determine the salinity origin of a coastal aquifer in northeastern Tunisia. Zayed et al. (2017) investigated the origin of groundwater with Sulin's graph in a region in the west of the Nile River Delta (Egypt).

2- Geographical location and geology of Seymareh dam site

The dam is constructed on the Seymareh River at Ilam Province (SW of Iran). The dam site is located 40 km northwest of Dareh Shahr and 95 km southeast of Ilam, and its geographical coordinates are located at 47° 12' 7" East and latitude 33° 17' 32" North (Fig. 1).

The rock masses of the dam and power plant and all structures associated with the Seymareh Dam belong to the Asmari Formation. Three units of this Formation can be identified as follows:

Upper Asmari: This unit is outcropped in the upper parts of the Ravandi anticline.

Middle Asmari; In general, the central Asmari unit is about 220 meters thick.

Lower Asmari: This unit has a slight outcrop downstream of the diversion tunnel outlet and near the Ravandi anticline. Above the Asmari Formation, the Gachsaran Formation (Miocene-Pliocene) is exposed. The recent or quaternary sediments are coarse-grained, fine-grained lake sediments, and old alluvial sediments (Fig. 2) (MQEC2, 1990).

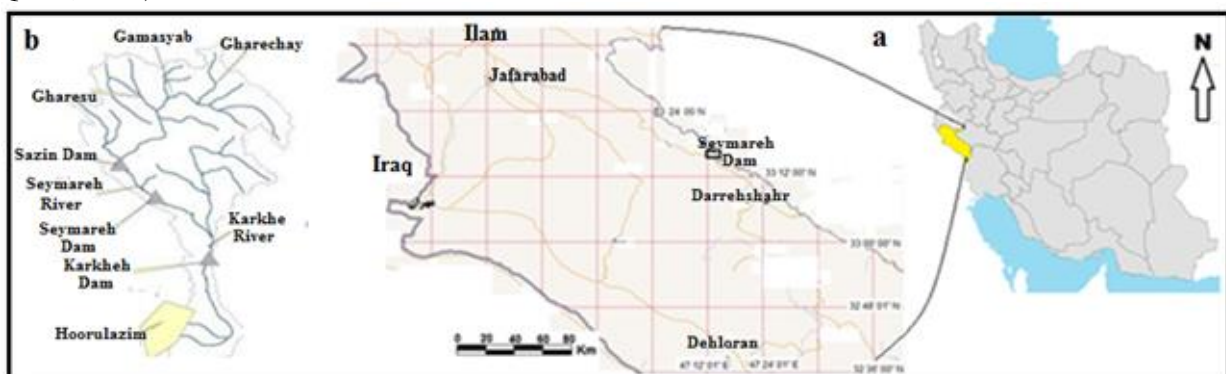


Fig. 1. Geographical location of Seymareh Dam in Ilam (a) and Seymareh River basin area (b).

*Corresponding author: homayounmoghimi@pnu.ac.ir

DOI: 10.22055/AAG.2020.33519.2120

Received 2020-05-07

Accepted 2020-07-03

3- Materials and Methods

In order to analyze the chemical changes of groundwater and river water in the area of Seymareh Dam, the results of chemical analysis of 13 springs and 19 observation wells (Fig. 2) were used before and after the dam (2017). In this study four hydro-geochemical methods have been used.

Due to the fact that in the results of the chemical analyzes studied, the concentration of Br <0.01 was reported, so the Cl and Na elements and the Schoeller Index Basic Exchange (IBE) were used to detect oil brine (IBE = (Cl-Na)/Cl). Concentration units in this regard are in mole. The amount of brine oil is IBE \geq 0.129 (Hounslow, 1995). The weight ratio of Na/Cl is used to distinguish brine formation from oil brines (Leonard and Ward, 1962). The weight ratio of Na/Cl in brine formation more than 0.6 and less than 0.6 is brine oil. Sulin (1946) introduced a diagram to determine the genesis of water and the distinction between atmospheric water and water trapped during deposition between layers. This diagram consists of two equal squares and each square is divided into two triangles (Fig. 3a). The square on the top right represents marine water genesis ($MgCl_2$ and $CaCl_2$) with $rNa/rCl < 1$. Left square represents the genesis of atmospheric water and the $rNa/rCl > 1$ is (Salman et al., 2013). Based on the major compounds in water, Hounslow (1995) presented a diagram of the distinction between salt marshes (Fig. 3b).

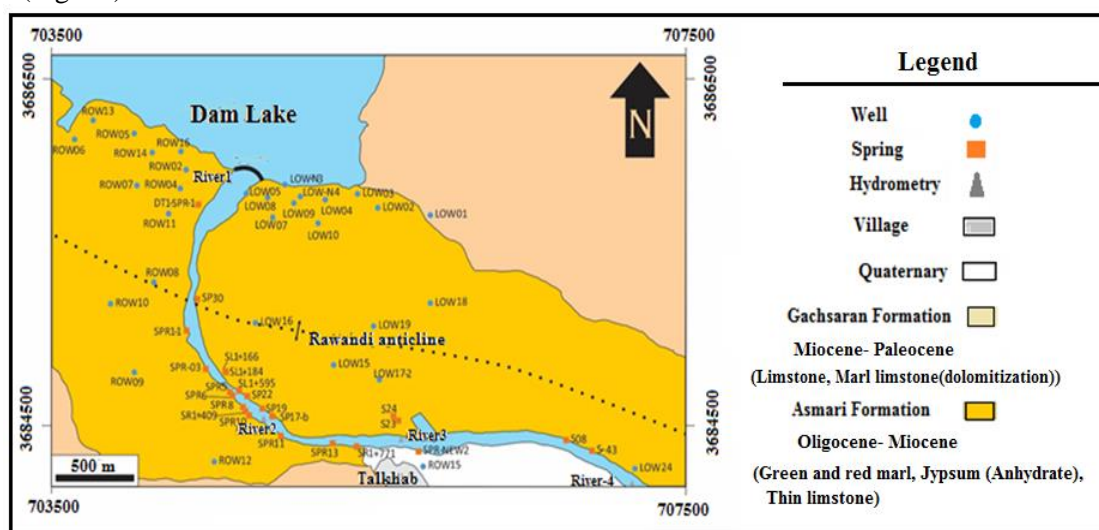


Fig. 2. Geological map and location of sampling points in the area of Seymareh Dam.

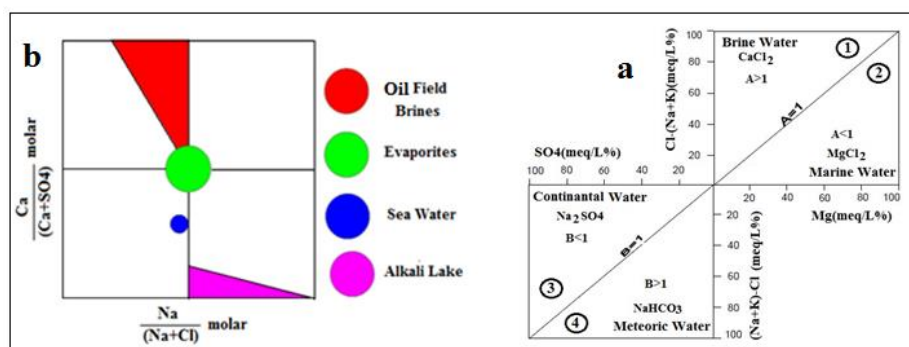


Fig. 3. (a) Sulin graph and (b) Hounslow diagram.

4- Results discussion

There are differences between pre-and post- impounding correlation, which are stronger after impounding, and it also appears that determining the correlation of parameters is another case, and that is the source of these waters that are not fed from a reservoir. The results of calculating the Schoeller Index Base Exchange (IBE) for exemplars studied showed that before the impounding of the dam (Fig 4a), groundwater in three wells (red), one on the right-wing of the dam and two wells in the left bank of the dam, has been contaminated to oil brines. Based on calculations, the contaminated areas have been far more and 19 in the oil-brine after the impounding of the dam. This number of 13 springs and six wells show pollution to oil brine (Fig 4b).

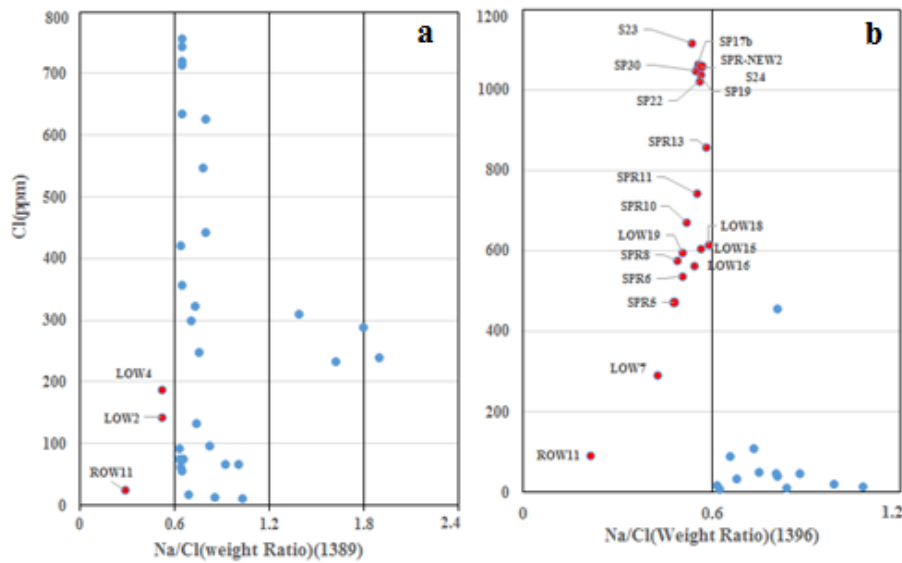


Fig. 4. weight ratio Na/Cl to Cl in observation wells and springs before (a) and after (b) impounding dam.

Out of a total of 32 sampling points from observed springs and wells in 2017, 17 points based on the IBE Schoeller method show the influence of salts in oil. In order to determine the source of groundwater in Seymareh Dam, Sulin graph was drawn before and after impounding for selected points (Fig. 5). In 2010 out of 13 springs, one spring is located in the area of triangle 3 of the graph, representing the unconfined basin and the waters of meteoric origin, and the rest of the springs are in triangle number 2 of the graph. After impounding (2017), all springs in the Sulin graph were placed in triangle number 1, indicating a wholly enclosed deep geological basin and an indicator of the old marine waters trapped during sedimentation.

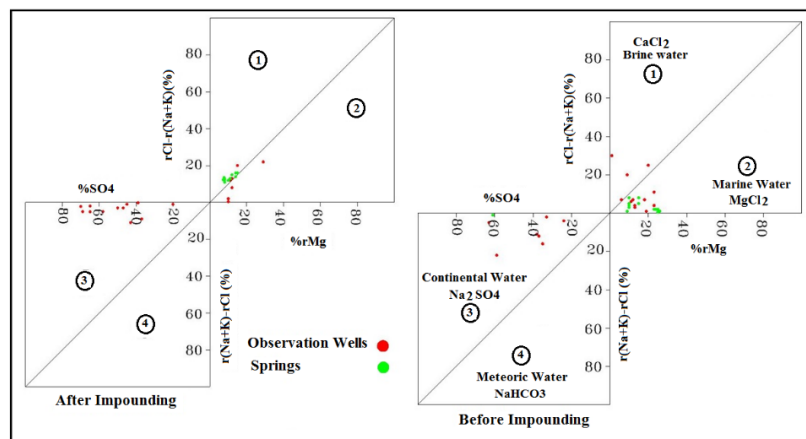


Fig. 5. Sulin's graph of observation wells and springs before and after impounding dam.

Observing wells before dewatering in the Sulin graph observed four wells in triangle number 1, 8 wells in triangle number 2 and 7 wells in triangle number 3. After impounding, three wells are placed in triangle number 1 and 4 wells are placed in triangle number 2 and 12 wells are placed in triangle number 3. The Wilcox diagram is used to evaluate the quality of river water for irrigation. In the Seymareh River, downstream of the dam, there are four samplings and flow meter stations. The results of the chemical analysis of the last station (No. 4) were used. This station is shown in Figure 2 called RIVER 4. During the study period, the river water of sulfate to chloride has changed due to salt sources downstream. Since 2014, the quality of river water based on Wilcox classification is not suitable for irrigation, and due to the presence of salt springs downstream, this trend seems to continue. In order to understand that the water quality of Seymareh River, when placed in the C4-S4 category, the EC and SAR charts were mapped against the time of salinity (2014) to be predicted using regression diagrams (Fig. 6).

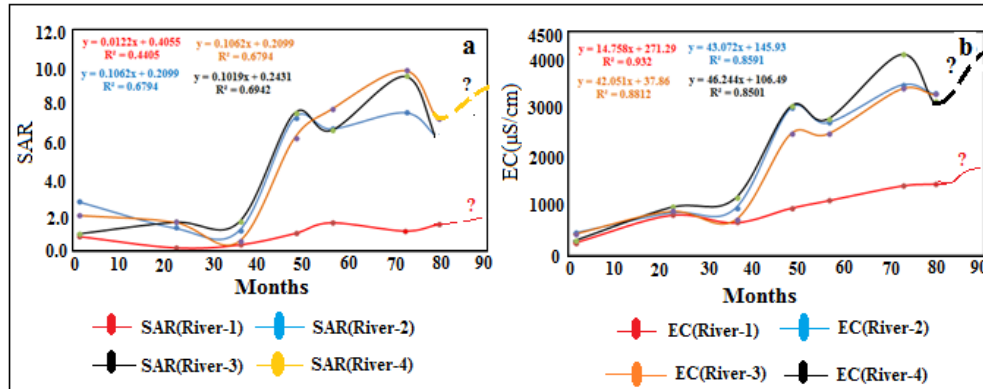


Fig. 6. EC and SAR diagrams from 2011 to 2017 in Seymareh River.

5-Conclusion

In this study, one of the problems is the increase in oil dispersion and its constructions after impounding. Four computational and graphical methods based on the results of the chemical analysis of 19 wells and 13 springs were used before and after the dam impounding to detect oil-brine in Seymareh dam. The results show that in 2010, before the impounding of the dam, three wells have demonstrated a view of aquifer contamination to oil brine. Over time in 2017 and with the expansion of oil brine downstream, 12 springs are also contaminated with oil brine. According to the temporal base exchange map, the points of the bumps or peaks of the contour lines match the observation wells in the left-wing of the dam. The hydraulic connection between the oil and principal aquifer is established through these wells, and due to the groundwater movement from above hand downward, oil brine has been expanded downstream. According to the same type of water, areas with CaCl_2 water type correspond to the ridges or peaks of the IsoIBE map contour lines.

For this reason, until 2017, the aquifer area contaminated with oil-brine downstream of the dam was 1.8 Km^2 . The water flow path from the dam reservoir to downstream is visible in the water type map. Analyses results show that since 2014 river water quality is not suitable for irrigation based on Wilcox classification, and due to the presence of salt springs downstream, the process continues. Based on the EC and SAR graphs vs temporal river salinity (2014) and the regression formula, the graphs are predicted to be in 2022 of the river water quality category to C4-S4. Based on the interpretation of the results, the scope of the study is influenced by oil formations of the Seymareh dam area, and the Gachsaran Formation in the region also increases the saltwater resources, including sulfate. In order to monitor the spread of oil brine and the contaminated area downstream of the dam, it is suggested that the map of oil brines spread in the coming years. It is also necessary to evaluate isotopically and tracing in springs and observation wells to determine the catchment area of springs and compare groundwater age.

References

- Azizi, F., Asgharimoghadam, A., Nazemi, A., 2017. Assessing the salinity of groundwater and explaining the origin of ions in the coastal plain of Malekan using ionic ratios. *Ecology journal* 43, 454 – 437 (in Persian).
- Barzegar, R., Asgharimoghadam, A., Najib, M., Kazemian, N., 2016. Investigation of hydro-geochemical characteristics of Tabriz plain aquifer using hydro-chemical models and statistical methods. *Sciences and Engineering of Iranian Watershed Management* 10(32), 39-50 (in Persian).
- Bouzourra, H., Bouhlila, R., Elango, L., Slama, F., Ouslati, N., 2014. Characterization of mechanisms and processes of groundwater salinization in irrigated coastal area using statistics, GIS, and hydro-geochemical investigations. *Environmental Science and Pollution Research* 22, 2643–2660.
- Chitsazan, M., Shacheri, Sh., Mizae, S., Abudi, S., 2016. Determining the source of water salinity in Cheshmeh Garou and Anticline Asmari using hydro-chemical parameters. *Iran Water Resources Research* 13, 196-202 (in Persian).
- Hounslow, A.W., 1995. *Water quality data Analysis and Interpretation*, Lewis Publishers, 396p.
- Leonard, A. R., Ward, P. E., 1962. Use of Na/Cl ratios to distinguish oil-field from salt spring brines in western Oklahoma, U. S., *Geological Survey Professional Paper*, 45Q-B, P. B12-127.
- Mahab Qods Consulting Engineering Co., 1999. *Geological Engineering Report, Phase 2, Simreh Dam and Power Plant Project*, pp.221 (in Persian).

- Mirzaee, S., Zarasavandi, A., Orang, M., 2015. The Impact of geochemical Asmari Oil Reservoirs on Masjed Soleiman karst water resources. *Advanced Applied Geology* 518, 1-14 (in Persian).
- Nadiri, A., Asgharimoghadam, A., Sadeghi Aghdam, F., Naderi, K., 2015. Evaluation of salinity and arsenic as destructive factors of surface and groundwater quality (Sahand dam catchment area). *Hydro-geomorphology* 4, 79-99 (in Persian).
- Salman, S.A., Melegy, A.A., Shaban, A.M., Hassaan, M.M., 2013. Hydro-geochemical Characteristics and classification of Groundwater in Sohag Governorate, Egypt. *Journal of Applied Sciences Research* 9(1), 758-769.
- Schoeller, H., 1955. *Geochemi des eaux souterraines*. *Revue de l'Institut Francais du Petrole* 10, 181-213.
- Sulin, V.A., 1946. *Waters of Petroleum Formations in the System of Nature Waters*. Gostoptekhizdat, Moskow, pp. 96 (in Russian).
- Wilcox, L.V., 1955. *Classification and use of irrigation waters*, Circular 969, USDA (Department of Agriculture), Washington, USA.
- Zayed, M.A., Elhdad, A.M.A., 2017. Evaluation of ground water quality, hydro chemical facies and ionic ratios in Kom Hamada City, Al-Beheira Governorate (Western Nile Delta), Egypt. *Journal of Water Research* 138, 300-325.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Moghimi, H., Ravesh, F., 2021. Determining the origin of brines with hydro-geochemical methods (case study: Downstream of Seymareh dam, Ilam Province). *Adv. Appl. Geol.* 11(3), 493-513.
DOI: 10.22055/AAG.2020.33519.2120
url: https://aag.scu.ac.ir/article_15871.html?lang=en

تعیین منشا شورابه‌ها با روش‌های هیدروژئوشیمیایی (مطالعه موردی: پایین دست سد سیمره، استان ایلام)

همایون مقیمی*

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

فرناش راوش

کارشناس ارشد آب زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۳

*homayounmoghimi@pnu.ac.ir

چکیده

ساختمان سد سیمره در ۴۰ کیلومتری شمال غربی شهرستان دره شهر و در استان ایلام واقع شده است. در این تحقیق منشأ شورابه‌های پایین دست سد سیمره با بررسی نتایج شیمیایی و با استفاده از دو روش محاسباتی شاخص تبادل پایه شولر، نسبت وزنی (Na/Cl) و دو روش گرافیکی نمودار هانسلو و گراف سولین مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج به دست آمده از این روش‌ها تطابق زیادی نشان می‌دهد. این بررسی نشان می‌دهد بخشی از آبخوان به شورابه‌های نفتی آلوده شده است که آب آلوده از طریق چشمه‌ها به درون رودخانه سیمره زهکش می‌شود و این امر باعث کاهش کیفیت آب رودخانه برای مصارف کشاورزی شده است. بر اساس نقشه‌های هم‌ارز شاخص تبادل پایه و هم‌تیپ آب، ارتباط هیدرولیکی بین شورابه‌های نفتی و آبخوان از طریق چاه‌های مشاهده‌ای برقرار شده است. براساس تفسیر نتایج، محدوده مطالعاتی متأثر از شورابه‌های نفتی منطقه سد سیمره قرار گرفته و همچنین سازند گچساران موجود در منطقه نیز باعث افزایش املاح منابع آب از جمله سولفات شده است. بر این اساس تا سال ۱۳۹۶ مساحت آبخوان آلوده شده، ۱/۸ کیلومتر مربع بوده است. بررسی کیفیت آب آبیاری رودخانه سیمره در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ نشان می‌دهد که از سال ۱۳۹۳ کیفیت آب رودخانه بر اساس طبقه بندی ویلکاکس جهت آبیاری مناسب نیست. بر اساس رگرسیون نمودارهای عددی SAR و EC نسبت به زمان، پیش بینی می‌شود که در سال ۱۴۰۱ رده کیفی آب رودخانه به رده C4-S4 برسد.

کلمات کلیدی: سد سیمره (ایلام)، شورابه نفتی، شاخص تبادل پایه، نمودار هانسلو، گراف سولین

مقدمه

انسان، میزان فعالیت آنها از منطقه‌ای به منطقه دیگر متغیر است. مهم‌ترین منابع خاص شورشدگی آب زیرزمینی در مقیاس ناحیه‌ای شامل آب‌های زیرزمینی شور طبیعی، انحلال هالیت، نفوذ آب شور دریا، شورابه‌های میادین نفتی، فعالیت‌های کشاورزی، تراوش نمک و نمک پاشی جاده‌ها است.

در تعیین منابع شوری آب زیرزمینی روش‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی (ژئوالکتریک) کاربرد بیشتری دارند. روش‌های ژئوشیمیایی (ایزوتوپی و غیرایزوتوپی) در مناطقی با بیش از یک منبع احتمالی برای شوری آب زیرزمینی کارا تر است. در روش ژئوشیمی غیرایزوتوپی به دلیل تشابه و همپوشانی^۵ محدوده غلظت عناصر و نسبت‌های آنها در برخی موارد، منابع مختلف شوری آب زیرزمینی همیشه قابل تمایز نمی‌باشد. به منظور کاهش همپوشانی بین داده‌ها، از ترکیب پارامترها و عناصر مختلف به وسیله روش‌های ترسیمی و آماری استفاده می‌شود و همبستگی بین آنها از طریق فرایندهای فیزیکی و شیمیایی در محیط آبخوان، تشریح می‌گردد. بر این اساس جهت انتخاب بهترین

آب‌های طبیعی حاوی کانی‌های حل شده‌ای است که در اثر تماس با گازهای اتمسفر و خاک، اختلاط با سایر آب‌ها و واکنش با بیوسفر و لیتوسفر وارد آن شده‌اند. واژه شوری^۱ اغلب برای کل نمک‌های حل شده (گونه‌های یونی) در آب بکار می‌رود و مفهومی برای بیان کیفیت آب جهت کاربردهای کشاورزی یا مصارف انسان و دام است (Keyhomayoon et al., 2012). همانطور که در مطالعه Drever (۲۰۰۵) مشخص شده است، شوری به طور مستقیم از طریق سنجش کل اجزای حل شده یا توزین جامدات باقی مانده پس از تبخیر (TDS) و به صورت غیر مستقیم از هدایت الکتریکی^۲ یا واکنش پتانسیل خود القایی^۳ تعیین می‌شود. طبق نظر Richter و Kreitler (۱۹۹۳) منابع مختلفی برای شورشدگی^۴ آب زیرزمینی وجود دارد که با توجه به شرایط طبیعی یا تغییرات ایجاد شده توسط

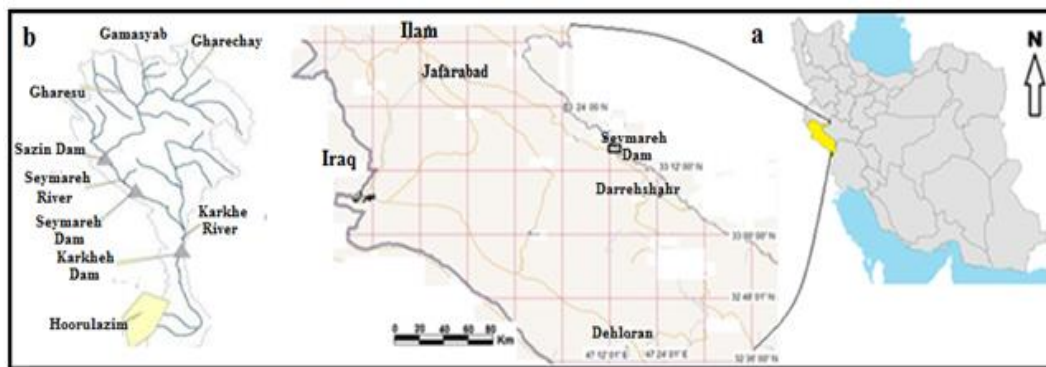
- 1 - Salinity
- 2 - Electrical conductivity
- 3 - Spontaneous potential response
- 4 - Salinization

5 - Overlapping

رودخانه‌های سیمره و کشکان سرشاخه‌های رود کرخه هستند و حوزه آبریز بالای آن را با وسعت ۳۸۰۰۰ کیلومتر مربع تشکیل می‌دهند. همان‌طور که در شکل a1 دیده می‌شود، رود سیمره به طول ۴۱۷ کیلومتر و شیب ۰/۳ درصد از به هم پیوستن رودخانه‌های قره سو و گاماسیاب تشکیل شده است. ساختگاه سد سیمره در ۴۰ کیلومتری شمال غربی شهرستان دره شهر و در ۹۵ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان ایلام و در مختصات جغرافیایی "۷'-۱۲'-۴۷° شرقی و عرض جغرافیایی "۱۷'-۳۲'-۳۳° شمالی واقع شده است (شکل b1). این سد از نوع بتنی دوقوسی به ارتفاع ۱۳۰ متر از بستر رودخانه و حدود ۱۸۰ متر از سنگ بستر طراحی شده است. رقوم تاج سد در تراز ۷۳۰ متری از سطح دریاهای آزاد قرار داشته و طول تاج سد ۲۰۲ متر و حجم مخزن سد ۳/۲ میلیارد متر مکعب می‌باشد. منطقه ساخت سد در بخش جنوب غربی زاگرس چین خورده است. وجود تنگه‌های کم عرض حاصل از فرسایش رودخانه سیمره یکی از اشکال ریخت‌شناسی ویژه در منطقه می‌باشد. سد سیمره، نیروگاه و کلیه سازه‌های وابسته به آن بر روی سازند آسماری (الیگوسن-میوسن) ساخته شده است (شکل ۲). لیتولوژی غالب این سازند در محدوده سد آهک و آهک مارنی (دولومیتی) است که در سه بخش آسماری بالایی (ضخامت ۵۰ تا ۵۵ متر)، آسماری میانی (ضخامت ۲۲۰ متر) و آسماری پایینی (ضخامت حدود ۱۲ متر) رخنمون دارد (Mahab Qods Consulting Engineering, 1999). در بالای سازند آسماری، سازند گچساران با سن میوسن - پلیوسن قرار گرفته است. این سازند متشکل از لای سنگ و مارن‌های قرمز و سبز زیتونی، ژپیس (انیدریت) و بین لایه‌های نازک آهک فسیل‌دار است که در برخی قسمت‌ها لایه‌های ضخیم نمک نیز در آن دیده می‌شود. رسوبات عصر حاضر در گستره مورد مطالعه شامل رسوبات آبرفتی درشت دانه، رسوبات دریاچه‌ای ریزدانه، رسوبات واریزه‌ای (سنگ ریزش‌ها) و رسوبات آبرفت قدیمی رودخانه سیمره می‌باشد که در چند افق در طول مسیر رودخانه به ضخامت‌های متغییر تشکیل یافته‌اند (شکل ۲). تاق‌دیس راوندی مهمترین عارضه زمین ساختی محدوده پروژه سد سیمره است که با سطح محوری قائم (چین راست) سد سیمره بر روی یال شمالی آن ساخته شده است (شکل ۲). بر اساس درزه‌نگاری تفصیلی و دقیق سطحی و غیرسطحی، دو دسته درزه اصلی و یک دسته درزه فرعی همراه با سیستم لایه‌بندی در ساختگاه سد سیمره وجود دارد که دسته درزه‌های اصلی این منطقه عموماً به موازات و عمود بر محور چین خوردگی شکل گرفته‌اند و می‌توانند معرف سیستم درزه‌های کششی باشند (Mahab Qods Consulting Engineering, 1999).

اجزاء شیمیایی در تمایز دقیق‌تر منابع شورشدگی از نمودارهای دو متغیره و محاسبه نسبت‌های جرمی به روش سعی و خطا استفاده می‌شود (Keyhomayoon, 2011). شناخت منشا و مکانیسم فرایند شورشدگی در یک آبخوان به منظور جلوگیری از تخریب آینده منابع آب ضروری است. بر این اساس تحقیقات زیادی در زمینه تعیین منشأ شوری آب زیرزمینی انجام شده است که می‌توان به تأثیر زمین شیمیایی مخازن نفتی آسماری بر منابع آب کارستی مسجد سلیمان (Mirzaee et al., 2015)، ارزیابی شوری و آرسنیک حوضه آبریز سد سهند (Nadiri et al., 2015)، بررسی ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی آبخوان دشت تبریز با استفاده از مدل‌های هیدروژئوشیمیایی و روش‌های آماری (Barzegar et al., 2016)، ارزیابی شوری آب زیرزمینی در آبخوان ساحلی دشت ملکان (Azizi et al., 2017) و تعیین منشأ شوری آب در چشمه گرو و تاق‌دیس آسماری با استفاده از پارامترهای هیدروژئوشیمیایی (Chitsazan et al., 2016) اشاره کرد. Bouzourra و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از نمودار Hounslow (۱۹۹۵) منشأ شوری آبخوان ساحلی در شمال شرقی تونس را مشخص کردند. Zayed و همکاران (۲۰۱۷) با بهره‌گیری از گراف Sulin (۱۹۴۶) منشأ آب‌های زیرزمینی را در منطقه‌ای در غرب دلتای رودخانه نیل (مصر) بررسی کردند. همچنین، Awadh و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از گراف سولین منشأ شورابه‌های مخازن نفتی زوبیر در جنوب عراق را تعیین کردند. بررسی لاگ زمین شناسی مغزه‌های حفاری چاه‌های مشاهده‌ای و گمانه‌های اکتشافی پرده آب بند سد سیمره نشان دهنده وجود مواد نفتی در برخی از درزه‌های برداشت شده از سازند آسماری است. آنالیز نتایج شیمیایی رودخانه سیمره در پایین دست سد نشان می‌دهد که تیپ آب رودخانه از سولفات کلسیک قبل از آب‌گیری سد در سال ۱۳۸۹ به کلروره سدیک بعد از آب‌گیری سد در سال ۱۳۹۶ تغییر یافته است. از آنجایی که آب رودخانه سیمره در پایین دست سد برای آبیاری زمین‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد لذا ساز و کار تغییرات شیمیایی آب رودخانه به لحاظ زیست محیطی حائز اهمیت می‌باشد. براین اساس و با توجه به گسترش سازند گچساران بویژه در ساحل چپ رودخانه سیمره و همچنین وجود مواد نفتی در برخی از درزه‌های برداشت شده، منشأ شورابه‌های (نفتی و یا سازندی) موثر در کیفیت آب رودخانه در تحقیق حاضر بررسی شده است.

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی ساختگاه سد سیمره

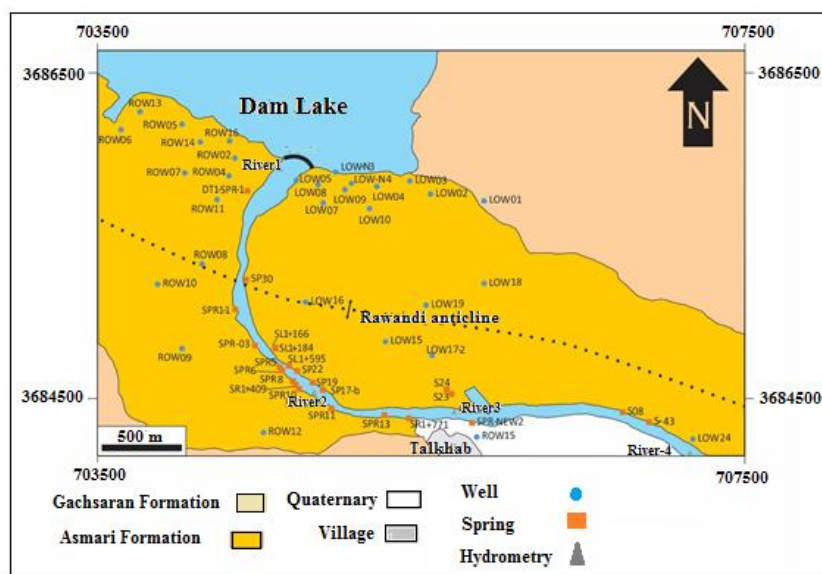


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی سد سیمره در ایلام و ایران (a) و با حوضه آبریز رودخانه سیمره (b).

Fig. 1. Geographical location of Seymareh Dam in Ilam and Iran (a) and Seymareh River basin area (b).

مرتبط بوده و در مواردی نیز در امتداد لایه بندی واحدهای رسوبی دیده می‌شوند. میزان آبدی این چشمه‌ها قبل از آگیری از کمتر از یک لیتر بر ثانیه (غالباً چشمه‌های کوچک فصلی) تا حداکثر ۱۴۰ لیتر بر ثانیه (اولین چشمه واقع در جناح راست) متغییر بوده است (Mahab Qods Consulting Engineering, 1999). ولی پس از آگیری سد میزان تخلیه آنها عموماً بیشتر شده و در موردی به ۷۸۰ لیتر بر ثانیه در چشمه‌ای واقع در جناح چپ سد (چشمه S24) رسیده است. بررسیهای هیدروژئوشیمیایی چشمه‌ها قبل از آگیری نشان می‌دهد، چشمه‌های واقع در جناح راست سد از نوع سولفات کلسیک هستند در حالیکه چشمه‌های ساحل چپ از نوع کلروره سدیک می‌باشند.

وجود نواحی کارستی در سازندهای آسماری (ساختگاه سد) و گچساران (مخزن سد) یکی از مشخصه‌های بارز هیدروژئولوژی محدوده ساختگاه سد سیمره است. بخشهای کارستی در سنگهای آهکی، دولومیتی و ژیبسی مشاهده می‌شود. آثار کارست در سطح به صورت چاه‌های کارستی و حفراتی با اندازه متوسط و کوچک مشاهده می‌شوند. در گمانه‌های اکتشافی وجود این حفرات در مغزه‌های به دست آمده از واحدهای زمین‌شناسی در رقوم ارتفاعی ۵۵۰ تا ۶۵۰ متری دیده می‌شود. این رقوم ۵۰ متر بالاتر و پایین‌تر از سطح رودخانه با تراز ۶۰۰ متر بالاتر از سطح دریا را نشان می‌دهد. وجود چشمه‌های متعدد کارستی به ویژه در پائین دست محل سد از نشانه‌های بارز عملکرد انحلال‌های کارستی در واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه است. بیشتر این چشمه‌ها با سیستم گسلها و شکستگی‌های اصلی



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی و موقعیت مکانی نقاط نمونه‌برداری از چاه‌های مشاهده‌ای و چشمه‌ها در محدوده سد سیمره.

Fig. 2. Geological map and location of sampling points of observation wells and springs in the area of Seymareh.

مواد و روش‌ها

آبگیری سد سیمره در تاریخ ۱۳۹۰/۰۱/۲۶ آغاز شده است. نمونه برداری از آب چشمه‌های پایین دست و چاه‌های مشاهده‌ای از اسفند ماه سال ۱۳۸۹ انجام گردیده و از اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۰ از رودخانه سیمره در پایین دست سد و از خرداد ماه ۱۳۹۱ از مخزن سد، به طور ماهانه، توسط موسسه تحقیقات آب نمونه برداری شده است. اندازه‌گیری پارامترهایی مانند دما (ترموتر)، pH (pH متر) و EC، T.D.S (هدایت سنج) در محل نمونه برداری و کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در آزمایشگاه موسسه تحقیقات منابع آب وزارت نیرو انجام گرفته است. به منظور تحلیل و بررسی تغییرات شیمیایی آب زیرزمینی و آب رودخانه در محدوده سد سیمره، از نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های ۱۳ چشمه و ۱۹ حلقه چاه مشاهده‌ای (شکل ۲) قبل از آبگیری سد (۱۳۸۹) و بعد از آن (۱۳۹۶) استفاده شده است. در تحلیل و بررسی این نتایج از نرم افزارهای Aqion، Aq.QA، Surfer، phreeqc، SPSS و Excel استفاده گردیده است.

در این تحقیق به منظور تعیین منشأ شوری آب زیرزمینی در محدوده سد سیمره، از چهار روش هیدروژئوشیمیایی استفاده گردیده و نتایج حاصل با یکدیگر مقایسه شده است. برای تشخیص شورابه‌های نفتی معمولاً از نسبت Br/Cl استفاده می‌شود. با توجه به این که در نتایج آنالیزهای شیمیایی مورد بررسی غلظت $Br < 0.01$ گزارش شده، لذا از عناصر Na و Cl شاخص تبادل پایه IBE^A شولر برای تشخیص شورابه‌های نفتی استفاده گردیده است (رابطه ۱). واحدهای غلظت در این رابطه بر حسب مول است. در شورابه‌های مناطق نفتی مقدار $IBE \geq 0.129$ است (Hounslow, 1995).

$$IBE = \frac{Cl - Na}{Cl} \quad (\text{رابطه ۱})$$

Leonard (۱۹۶۲) از نسبت وزنی Na/Cl برای تمایز شورابه‌های سازندی از شورابه‌های نفتی استفاده کردند. نسبت وزنی Na/Cl در شورابه‌های سازندی بیش از ۰/۶ و در شورابه‌های نفتی به کمتر از ۰/۶ می‌رسد. همچنین این نسبت با افزایش میزان کلر در شورابه‌های نفتی کاهش می‌یابد. دلیل پائین بودن نسبت وزنی سدیم به کلر در شورابه‌های نفتی تبادل یونی سدیم و خروج آن از محیط در طی زمان می‌باشد. لذا با خروج و کاهش مقادیر سدیم در محیط شورابه نفتی و عدم واکنش کلر با سایر یون‌ها سبب کاهش مقدار سدیم و افزایش مقدار کلر می‌شود. از دیگر مشخصات شورابه‌های نفتی کم بودن سولفات در مقایسه با شورابه‌های سازندی است (Mirzaee et al., 2015). Sulin (۱۹۴۶) نموداری جهت تعیین زایش آب و تمایز بین

آبهای جوی و آبهایی که در هنگام رسوب‌گذاری در بین لایه‌ها به دام افتاده‌اند (آبهای فسیلی - آبهای ذاتی) معرفی کرد. محورهای این نمودار بر اساس درصد میلی‌اکی والان بر لیتر (meq/l) آنیون‌ها و کاتیون‌ها تقسیم بندی شده‌اند. این نمودار شامل دو مربع مساوی است (شکل a۳) و هر مربع نیز به دو مثلث تقسیم می‌شود (جدول ۱). مربع سمت راست بالا نشان دهنده زایش آب دریایی است ($MgCl_2$ و $CaCl_2$) و در آن $rNa/rCl < 1$ می‌باشد. مربع سمت چپ نشان دهنده زایش آب‌های جوی است ($NaHCO_3$ و Na_2SO_4) و در آن $rNa/rCl > 1$ می‌باشد (Salman et al., 2013). Hounslow (۱۹۹۵) بر اساس ترکیبات عمده موجود در آب، نمودار تمایز شورابه‌ها را ارائه کرد (شکل b۳). در این نمودار محور عمودی نسبت مولی $Ca/(Ca+SO_4)$ و محور افقی نسبت مولی $Na/(Na+Cl)$ را نشان می‌دهد (شکل b۳). در نمودار هانسلو (Hounslow, 1995)، شورابه‌های نفتی، محلول‌های تبخیری (شورابه‌های سازندی)، آب دریا و دریاچه‌های قلیایی به صورت مجزا مشخص می‌شود.

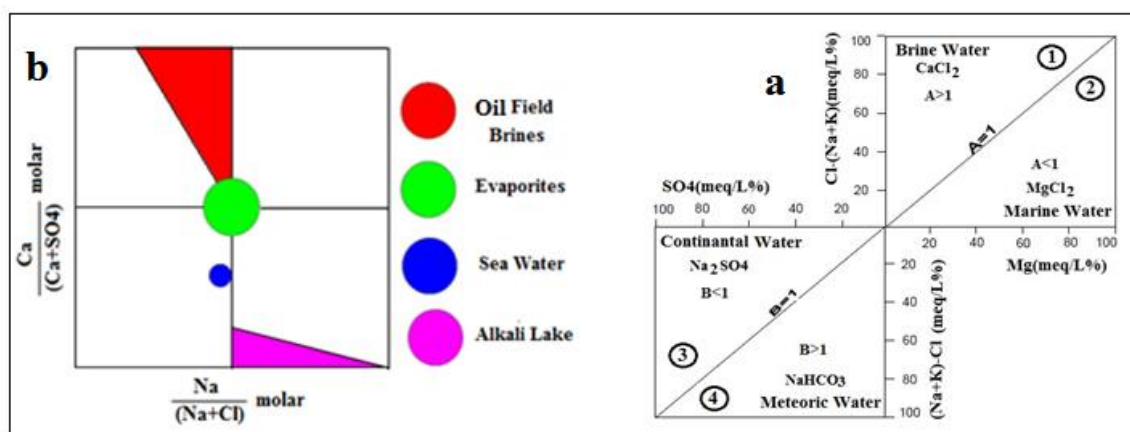
بحث

تقریباً در تمام محیط‌های زمین‌شناسی در اثر فرایندهای هیدروژئوشیمیایی در سازندها، احتمال ایجاد آب شور به صورت طبیعی وجود دارد. ترکیب شیمیایی آب‌های شور در نتیجه فرایندهای شیمیایی مختلف، در محدوده وسیعی تغییر می‌کند. در حوضه‌های شورابه‌ای به دلیل تفاوت در خصوصیات جریان ورودی و واکنش‌های رسوبی، کلراید، سولفات و کربنات آنیون‌های غالب، سدیم و کلسیم (در بخش‌های عمیق) نیز کاتیون‌های غالب هستند. در این حوضه‌ها غلظت‌های سدیم و کلراید همبستگی بالایی نشان می‌دهند (شکل a۴ و b). همچنین پراکندگی نسبتاً بالای کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در مقابل کلراید، بویژه SO_4 و Ca در مقابل Cl (بعد از آبگیری، شکل b۴)، از تفاوت‌های قابل توجه بین شورابه‌های نفتی و سایر شورابه‌ها می‌باشد (Richter and Kreitler, 1993). تفاوت‌هایی بین همبستگی قبل و بعد از آبگیری مشاهده می‌شود که بعد از آبگیری همبستگی‌ها قوی‌تر و همین‌طور به نظر می‌رسد همبستگی پارامترها مورد دیگری را هم مشخص می‌کند و آن منشأ این آبها است که از یک مخزن تغذیه نمی‌شوند و به همین دلیل با توجه به شکل a۴ و b، احتمال وجود تغذیه از شورابه‌های نفتی، شورابه‌های سازندی و دیگر آبهایی که در اعماق مختلف وجود دارند در محدوده مطالعاتی دیده می‌شود.

جدول ۱- مشخصه محیط و تیپ آب بر اساس ضرایب و دیاگرام سولین (Awadh, 2019).

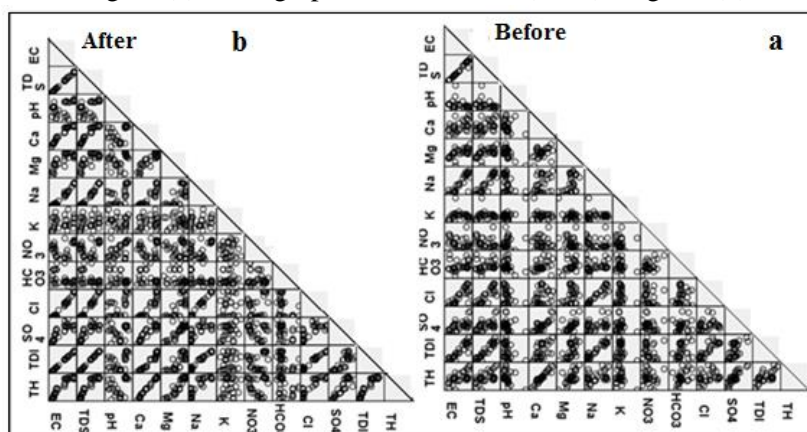
Table 1. Characteristic of the environment and water type based on the coefficients and diagrams of Sulin.

Characteristic of the environment	Water Type	Coefficient	Ratio	Sulin triangle
A>1; water from marine origin in confined, and very deep basin, and from the family (Ca-Chloride). Closed reduction type, completely closed deep geological environment, a sign for good oil and gas, alternative groundwater and surface completely isolated without water	CaCl ₂	A1=[Cl-(Na+K)]/Mg>1	(Na+K)/Cl<1	1
A<1; water from marine origin in semi-confined basin. Its family Mg-Chloride, Redox type, marine environment, the oil and ground is not connected, good sealing conditions, exist in oil and gas field inside in most cases	MgCl ₂	A2=[Cl-(Na+K)]/Mg<1		2
B>1; represents meteoric origin(continental) and its family from Na+K-bicarbonate, Surface water, continental environment, not conducive to the accumulation of oil and gas preservation, poor closed environment reflection	Na ₂ SO ₄	B1=[(Na+K)-Cl]/SO ₄ <1	(Na+K)/Cl>1	3
B<1; represents a meteoric origin and its family from Na+K- Sulphate. Reduction oxidation, mostly wet freshwater lacustrine sedimentary facies, good sign of oil gas, pH > 8, alkaline water	NaHCO ₃	B2=[(Na+K)-Cl]/SO ₄ >1		4



شکل ۳- (a) گراف سولین و (b) نمودار هانسلو (۱۹۹۵).

Fig. 3. (a) Sulin graph and Hounslow (1995) diagram (b).

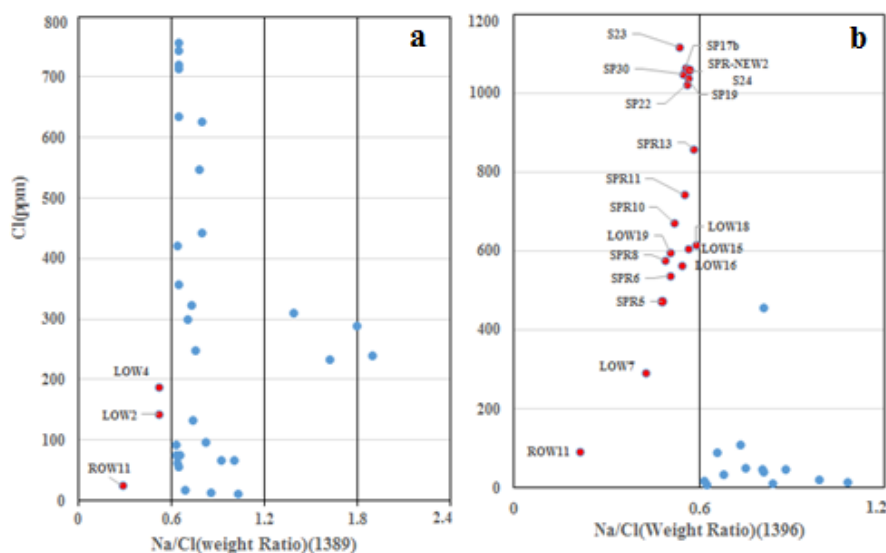


شکل ۴- رابطه آنیون‌ها و کاتیون‌های داده‌های منابع آب در قبل (a) و بعد از (b) آبیگری سد.

Fig. 4. The relationship between anions and cations of water resource data before (a) and after (b) impounding of the dam.

شده به شورابه‌های نفتی بعد از آبیگری سد (شکل b5) به مراتب بیشتر و به ۱۹ مورد رسیده است. به طوری که از این تعداد ۱۳ چشمه و ۶ چاه مشاهده ای آلودگی به شورابه های نفتی را نشان می‌دهند. شکل ۶ نمودار نسبت وزنی Na/Cl به کلر در چاه های مشاهده‌ای و چشمه‌ها را قبل (۱۳۸۹) و بعد (۱۳۹۶) از آب گیری نمایش می‌دهد. محاسبات انجام گرفته بر اساس نسبت وزنی Na/Cl نیز، نتایج به دست آمده از شاخص تبادل پایه شولر را تایید می‌کند (جدول ۲).

همچنین، با توجه به این که محدوده غلظت اجزای شیمیایی در شورابه‌های نفتی بسیار بیشتر از سایر شورابه‌هاست، محدوده غلظت یون‌ها و پارامترهای شیمیایی در داده‌های مورد بررسی احتمال وجود شورابه‌های نفتی را بیشتر می‌کند. نتایج حاصل از محاسبه شاخص تبادل پایه شولر برای نمونه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که قبل از آبیگری سد (شکل a5)، آب‌برزمینی در سه چاه مشاهده‌ای (قرمز)، یکی در جناح راست سد و دو چاه مشاهده‌ای در جناح چپ سد، به شورابه‌های نفتی آلوده شده است. براساس محاسبات، مناطق آلوده



شکل ۵- نمودار نسبت وزنی Na/Cl به کلر در چاه‌های مشاهده‌ای و چشمه‌ها قبل (a) و بعد (b) از آب گیری سد.

Fig. 5. Chart weight ratio Na/Cl to chloride in observation wells and springs before (a) and after (b) impounding.

دیگر فوق اشباع بودن ضعیف محیط آب زیرزمینی از کلسیت به دلیل وجود سولفات در ساختار کانی‌های آبخوان و فرایند De-dolomitization است (Alley, 1993). از مجموع ۳۲ نقطه نمونه‌برداری از چشمه‌ها و چاه‌های مشاهده‌ای در سال ۱۳۹۶ (بعد از آب‌گیری)، ۱۷ نقطه بر اساس روش IBE شولر، نفوذ شورابه‌های نفتی را نشان می‌دهند. این مورد توسط محاسبه نسبت‌های یونی (بر حسب meq/l) تایید می‌گردد (جدول ۳). به منظور تعیین منشأ آب زیرزمینی در سد سیمره، گراف سولین قبل و بعد از آبیگری برای نقاط انتخابی (چاه و چشمه) ترسیم شده است (شکل ۷). مطابق گراف سولین، در سال ۱۳۸۹ (قبل از آبیگری) از مجموع ۱۳ چشمه، یک چشمه در محدوده مثلث شماره ۳ گراف که نشان دهنده حوضه نامحصور و نمایان‌گر آب‌هایی با منشأ جوی است، قرار گرفته است و مابقی چشمه‌ها در مثلث شماره ۲ گراف که نشان دهنده حوضه نیمه محصور و نمایان‌گر آب‌هایی با منشأ دریایی است، قرار دارند.

مقایسه منشأ شورابه‌ها با روش پیشنهادی لئونارد و وارد (نسبت وزنی Na/Cl) و روش پیشنهادی شولر (IBE) با یکدیگر تطابق خوبی نشان می‌دهد (جدول ۲). با توجه به گسترش سازند گچساران در محدوده مورد مطالعه (شکل ۲)، انحلال لایه‌های نمکی سازند گچساران منشأ شورابه‌های سازندی در سد سیمره می‌باشد. اندیس اشباع محاسبه شده با استفاده از مدل‌سازی هیدروژئوشیمیایی برای کانی‌های هالیت (شکل a6)، ژپس (شکل b6)، کلسیت و دولومیت حاکی از وجود شرایط ژئوشیمیایی مناسب برای انحلال هالیت و ژپس (اندیس اشباع منفی) و رسوب کلسیت و دولومیت (اندیس اشباع اندکی مثبت) است. افزایش غلظت یون‌های کلراید ناشی از انحلال نهشته‌های هالیت ($SI_{Halite} \ll 0$) و سولفات بدلیل انحلال ژپس ($SI_{Gypsum} < 0$)، سبب افزایش شوری آب زیرزمینی، تبادل یونی معکوس و تشکیل رخساره‌های Na-Cl، Ca-SO₄ و Ca-Cl در آبخوان شده است. اندیس اشباع اندکی مثبت برای کلسیت (۱ - ۰/۵) و اندکی منفی برای دولومیت (۰/۱ - تا -۱/۵) نشان دهنده وجود شرایط هیدروژئوشیمیایی مناسب برای آغاز شروع کلسیت است. به عبارت

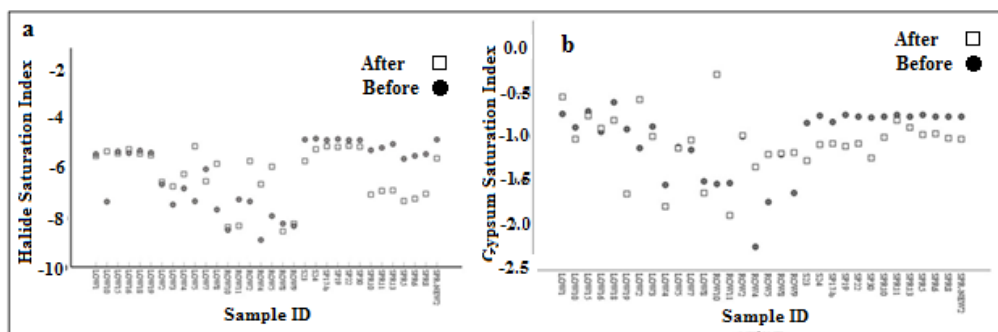
جدول ۲- محاسبه شاخص تبادل پایه شولر و نسبت وزنی Na/Cl قبل و بعد از آب گیری سد.

Table 2. Calculation of Schoeller Index Base Exchange and Na/Cl weight ratio before and after impounding.

		Before impounding (2010)				After impounding(2017)						
	Sample	Water Type	IBE		Na/Cl		Sample	Water Type	IBE		Na/Cl	
Observation Wells	ROW02	Na-Cl	-0.090	Brine F.	0.705	Brine F.	ROW02	Ca-SO4	-0.22		0.796	
	ROW04	Ca-OH	-0.524		0.985		ROW04	Ca-HCO3	0.036		0.61	
	ROW05	Na-Cl	-0.129	Brine F.	0.733	Brine F.	ROW05	Ca-HCO3	-0.541		0.986	
	ROW08	Ca-HCO3	-0.544		1.006		ROW08	Ca-SO4	-0.651		1.078	
	ROW09	Ca-HCO3	-0.270		0.832		ROW09	Ca-HCO3	0.035		0.605	
	ROW10	Ca-HCO3	0.002		0.667		ROW10	Ca-SO4	-0.403		0.874	
	ROW11	Ca-HCO3	0.588	Brine Oil	0.282	Brine Oil	ROW11	Ca-Cl	0.627	Brine Oil	0.246	Brine Oil
	LOW1	Na-SO4	-1.476		1.604		LOW1	Na-Cl	-0.276	Brine F.	0.827	Brine F.
	LOW2	Ca-SO4	0.199	Brine Oil	0.517	Brine Oil	LOW2	Ca-SO4	-0.111		0.717	
	LOW3	Ca-SO4	-0.238		0.806		LOW3	Ca-SO4	-0.23		0.804	
	LOW4	Ca-Cl	0.208	Brine Oil	0.515	Brine Oil	LOW4	Ca-Cl	0.07	Brine F.	0.605	Brine F.
	LOW5	Na-Cl	-0.201	Brine F.	0.778	Brine F.	LOW5	Ca-SO4	-0.193		0.771	
	LOW7	Ca-Cl	-0.102	Brine F.	0.714	Brine F.	LOW7	Ca-Cl	0.347	Brine Oil	0.422	Brine Oil
	LOW8	Na-Cl	-0.072	Brine F.	0.696	Brine F.	LOW8	Ca-SO4	-0.044		0.666	
	LOW10	Na-Cl	-0.107	Brine F.	1.361	Brine F.	LOW10	Ca-SO4	-0.438		0.922	
	LOW15	Na-Cl	-0.191	Brine F.	0.775	Brine F.	LOW15	Na-Cl	0.135	Brine Oil	0.582	Brine Oil
	LOW16	Na-Cl	-0.173	Brine F.	0.761	Brine F.	LOW16	Na-Cl	0.164	Brine Oil	0.545	Brine Oil
	LOW18	Na-Cl	-1.730	Brine F.	1.770	Brine F.	LOW18	Na-Cl	0.119	Brine Oil	0.589	Brine Oil
	LOW19	Na-Cl	-1.884		1.870		LOW19	Na-Cl	0.22	Brine Oil	0.503	Brine Oil
Springs	SPR5	Ca-SO4	0.052		0.624		SPR5	Ca-Cl	0.238	Brine Oil	0.492	Brine Oil
	SPR6	Ca-SO4	0.041		0.616		SPR6	Na-Cl	0.193	Brine Oil	0.522	Brine Oil
	SPR8	Ca-SO4	0.063		0.605		SPR8	Na-Cl	0.247	Brine Oil	0.489	Brine Oil
	SPR10	Ca-SO4	0.052		0.609		SPR10	Na-Cl	0.201	Brine Oil	0.519	Brine Oil
	SPR11	Ca-SO4	-0.074		0.897		SPR11	Na-Cl	0.153	Brine Oil	0.549	Brine Oil
	SPR13	Na-Cl	-0.029	Brine F.	0.608	Brine F.	SPR13	Na-Cl	0.103	Brine F.	0.581	Brine Oil
	SPR-New2	Na-Cl	0.059	Brine F.	0.613	Brine F.	SPR-New2	Na-Cl	0.206	Brine Oil	0.513	Brine Oil
	SP30	Na-Cl	0.039	Brine F.	0.623	Brine F.	SP30	Na-Cl	0.202	Brine Oil	0.517	Brine Oil
	SP22	Na-Cl	0.028	Brine F.	0.628	Brine F.	SP22	Na-Cl	0.213	Brine Oil	0.512	Brine Oil
	SP19	Na-Cl	0.045	Brine F.	0.621	Brine F.	SP19	Na-Cl	0.199	Brine Oil	0.52	Brine Oil
	SP17b	Na-Cl	0.038	Brine F.	0.623	Brine F.	SP17b	Na-Cl	0.143	Brine Oil	0.556	Brine Oil
	S24	Na-Cl	0.028	Brine F.	0.629	Brine F.	S24	Na-Cl	0.177	Brine Oil	0.532	Brine Oil
	S23	Na-Cl	0.037	Brine F.	0.627	Brine F.	S23	Na-Cl	0.175	Brine Oil	0.534	Brine Oil

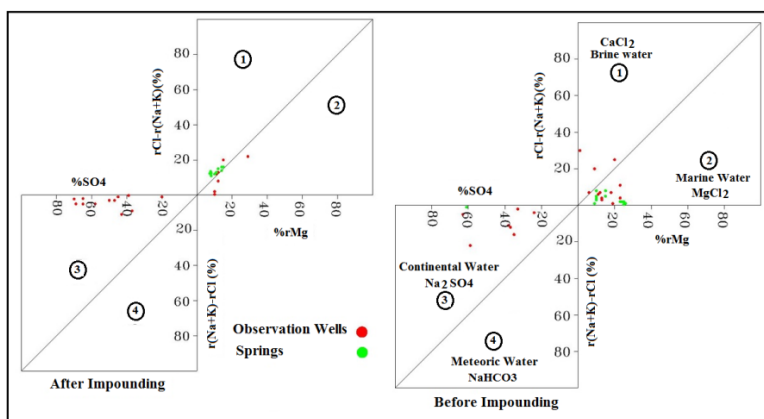
است. پس از آبیگری (شکل b8)، ۳ چشمه در محدوده شورابه‌های نفتی قرار می‌گیرند و مابقی نشان دهنده اختلاط شورابه‌های نفتی با آب‌هایی با منشأ تبخیری و یا شورابه‌های سازندی است. قبل از آب‌گیری (شکل a8)، تعداد ۶ چاه در محدوده شورابه‌های نفتی و یک چاه در محدوده اختلاط شورابه‌های نفتی و سازندی قرار می‌گیرد. پس از آبیگری (شکل b8)، تعداد ۴ چاه در محدوده شورابه‌های نفتی و ۳ چاه در محدوده اختلاط شورابه‌های نفتی و سازندی قرار می‌گیرد. همانگونه که پیشتر ذکر شد از مجموع ۳۲ نقطه نمونه‌برداری از چشمه‌ها و چاه‌های مشاهده‌ای در سال ۱۳۹۶ (بعد از آب‌گیری)، ۱۷ نقطه بر اساس روش IBE شولر، نفوذ شورابه‌های نفتی را نشان می‌دهند. آلوده شدن آبخوان در این ۱۷ نقطه به شورابه‌های نفتی، از طریق مقایسه چهار روش مورد بحث تایید می‌شود (جدول ۴). به منظور درک صحیح‌تر از گسترش شورابه‌های نفتی و جهت حرکت آب زیرزمینی در سد سیمره، نقشه هیدروایزوپیز (شکل ۱۰) و نقشه هم‌ارز تبادل پایه شولر (IsoIBE) (شکل ۱۱) در سال ۱۳۹۶ ترسیم شده و سپس هر دو نقشه بر روی نقشه پایه سد منتقل گردیده است.

پس از آب‌گیری (سال ۱۳۹۶)، کلیه چشمه‌ها در گراف سولین در مثلث شماره ۱ قرار گرفتند که نشان دهنده حوضه کاملاً محصور عمیق زمین شناسی و نمایان‌گر آب‌های دریایی قدیمی که در هنگام رسوب‌گذاری به دام افتاده‌اند (آب‌های دریایی قدیمی یا فسیلی، شورابه‌های نفتی)، می‌باشد. با بررسی گراف سولین چاه‌های مشاهده‌ای در قبل از آب‌گیری، ۴ چاه در مثلث شماره ۱ (نمایان‌گر شورابه‌های نفتی)، ۸ چاه در مثلث شماره ۲ (نمایان‌گر آب‌هایی با منشأ دریایی) و ۷ چاه در مثلث شماره ۳ (نمایان‌گر آب‌هایی با منشأ جوی) قرار می‌گیرند. پس از آبیگری، ۳ چاه در مثلث شماره ۱ (نمایان‌گر شورابه‌های نفتی)، ۴ چاه در مثلث شماره ۲ (نمایان‌گر آب‌هایی با منشأ دریایی) و ۱۲ چاه در مثلث شماره ۳ (نمایان‌گر آب‌هایی با منشأ جوی) قرار می‌گیرند (شکل a7 و b). برای تمایز بین شورابه‌ها با منشاهای مختلف در سد سیمره نمودار Hounslow (۱۹۹۵) چشمه‌ها و چاه‌های مشاهده‌ای قبل و بعد از آبیگری ترسیم شده است (شکل a8 و b). مطابق نمودار ترسیم شده برای نقاط نمونه برداری، قبل از آبیگری سد (شکل a8)، ۲ چشمه در محدوده شورابه‌های نفتی قرار می‌گیرند و مابقی نشان دهنده شورابه‌های سازندی و یا آب‌هایی با منشأ تبخیری



شکل ۶ - اندیس اشباع کانی هالیت (a) و انیدرید (b) در نمونه‌های محدوده مورد بررسی قبل و بعد از آب‌گیری سد.

Fig. 6. Halite (a) and anhydride (b) mineral saturation index in samples of the studied area before (a) and after (b) impounding of the dam.



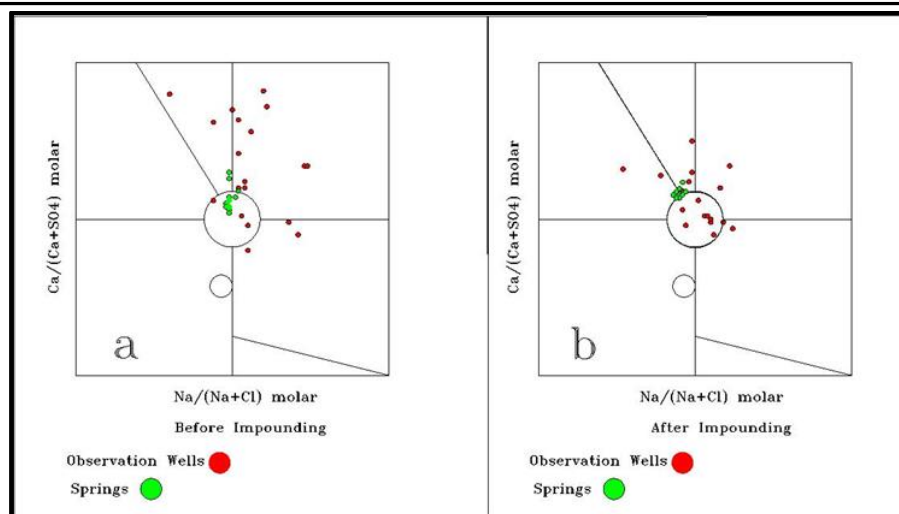
شکل ۷ - گراف سولین چشمه‌ها و چاه‌های مشاهده‌ای در قبل و بعد از آبیگری.

Fig. 7. Sulin's Graph of observation wells and springs before and after impounding of the dam.

جدول ۳- نتیجه محاسبه نسبت های یونی در نمونه های نشان دهنده نفوذ شورابه های نفتی بعد از آبیگری سد.

Table 3. The result of the calculation of ionic ratios in the samples indicating the infiltration of oil brine after impounding of the dam.

Stone origin	Ca/Mg	result	Ca/ (HCO ₃ +SO ₄)	result	Na<Cl	result	HCO ₃ /SumAnion<0.8, Sulfate low	result	Na/(Na+Cl) TDS>500	Sample No;
Lime stone	4.012	Infiltration Brine	1.1	Ionic Reverse Softening, Seawater, Brine	Na<Cl	Sea water, Brine	0.06	Ionic Reverse Softening, Seawater	0.45	S24
Lime stone	3.271	Infiltration Brine	1.1	Ionic Reverse Softening, Seawater, Brine	Na<Cl	Sea water, Brine	0.06	Ionic Reverse Softening, Seawater	0.46	SPR11
Lime stone	3.626	Infiltration Brine	1.1	Ionic Reverse Softening, Seawater, Brine	Na<Cl	Sea water, Brine	0.06	Ionic Reverse Softening, Seawater	0.44	SPR-NEW2
Lime stone	3.189	Infiltration Brine	1.1	Ionic Reverse Softening, Seawater, Brine	Na<Cl	Sea water, Brine	0.09	Ionic Reverse Softening, Seawater	0.43	SPR5
Lime stone	3.135	Infiltration Brine	1.1	Ionic Reverse Softening, Seawater, Brine	Na<Cl	Sea water, Brine	0.08	Ionic Reverse Softening, Seawater	0.45	SPR6
Lime stone	3.113	Infiltration Brine	1.1	Ionic Reverse Softening, Seawater, Brine	Na<Cl	Sea water, Brine	0.08	Ionic Reverse Softening, Seawater	0.43	SPR8
Lime stone	3.218	Infiltration Brine	1.1	Ionic Reverse Softening, Seawater, Brine	Na<Cl	Sea water, Brine	0.07	Ionic Reverse Softening, Seawater	0.44	SPR10
Lime stone	3.67	Infiltration Brine	1.1	Ionic Reverse Softening, Seawater, Brine	Na<Cl	Sea water, Brine	0.05	Ionic Reverse Softening, Seawater	0.44	SP30
Lime stone	3.727	Infiltration Brine	1.1	Ionic Reverse Softening, Seawater, Brine	Na<Cl	Sea water, Brine	0.05	Ionic Reverse Softening, Seawater	0.44	SP22
Lime stone	3.951	Infiltration Brine	1.1	Ionic Reverse Softening, Seawater, Brine	Na<Cl	Sea water, Brine	0.05	Ionic Reverse Softening, Seawater	0.44	SP19
Lime stone	3.987	Infiltration Brine	1.3	Ionic Reverse Softening, Seawater, Brine	Na<Cl	Sea water, Brine	0.05	Ionic Reverse Softening, Seawater	0.46	SP17B
Lime stone	4.121	Infiltration Brine	1.2	Ionic Reverse Softening, Seawater, Brine	Na<Cl	Sea water, Brine	0.05	Ionic Reverse Softening, Seawater	0.45	S23
Lime stone	3.313	Infiltration Brine	1.2	Ionic Reverse Softening, Seawater, Brine	Na<Cl	Sea water, Brine	0.14	Ionic Reverse Softening, Seawater	0.39	LOW7
Lime stone	3.176	Feeding the aquifer from Limestone, dolomit	0.9	Ionic Reverse Softening, Seawater, Brine	Na<Cl	Sea water, Brine	0.07	Ionic Reverse Softening, Seawater	0.46	LOW15
Lime stone	3.378	Infiltration Brine	1.1	Ionic Reverse Softening, Seawater, Brine	Na<Cl	Sea water, Brine	0.08	Ionic Reverse Softening, Seawater	0.46	LOW16
Dolomite	2.94	Infiltration Brine	1.1	Ionic Reverse Softening, Seawater, Brine	Na<Cl	Sea water, Brine	0.08	Ionic Reverse Softening, Seawater	0.44	LOW19
Dolomite	2.00	Infiltration Brine	1.0	Ionic Reverse Softening, Seawater, Brine	Na<Cl	Sea water, Brine	0.30	50<TDS<500 Analysis Error	0.27	ROW11



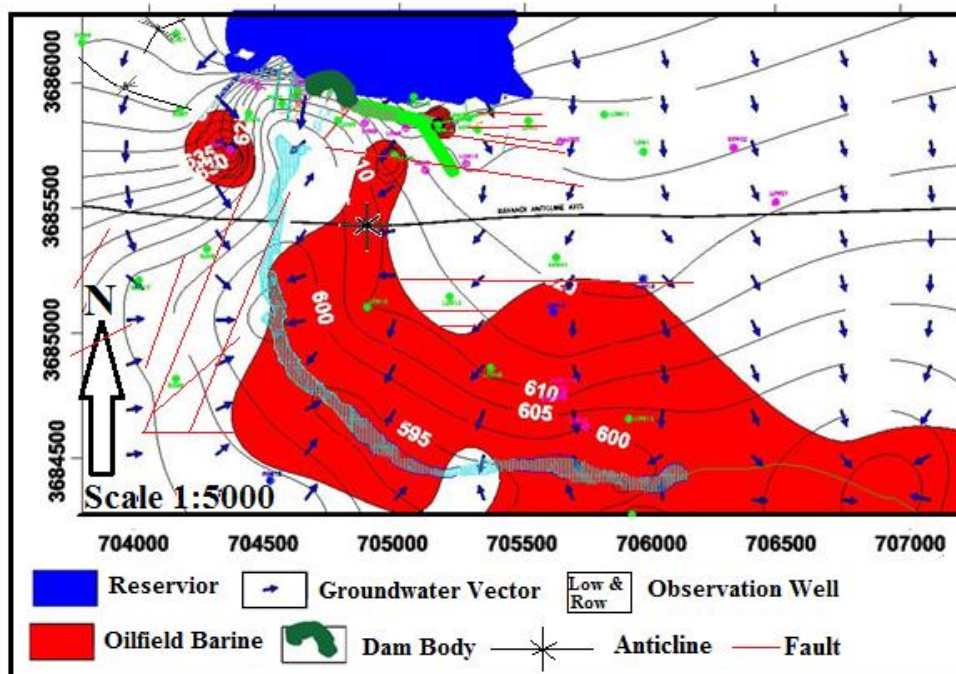
شکل ۸- نمودار هانسلو (۱۹۹۵) چشمه‌ها و چاه‌های مشاهده‌ای قبل (a) و بعد از آبگیری (b) سد.

Fig. 8. Hounslow (1995) chart for observation wells and springs before (a) and after (b) impounding of the dam.

جدول ۴- خلاصه چهار روش مورد بررسی برای تعیین منشأ شورابه‌های سد سیمره پس از آبگیری (۱۳۹۶).

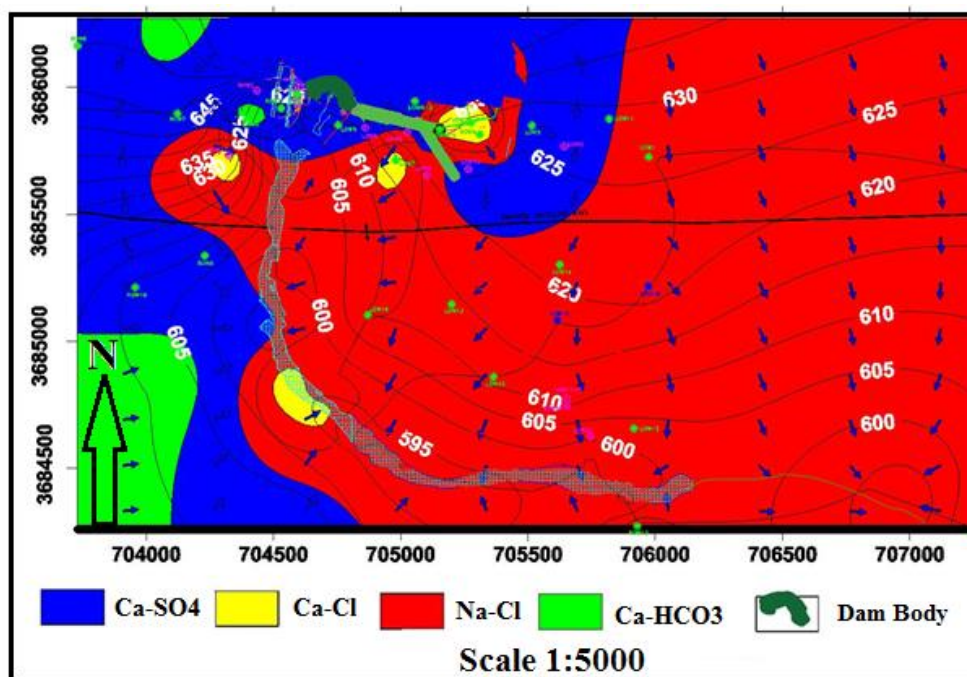
Table 4. Summary of the four methods studied to determine the origin of the brines of Seymareh Dam after impounding (2017).

Origin of Brine With Hounslow's plot	Origin of Brine With Sulin's graph	Origin of Brine With Weight ratio Na/Cl	Origin Brine With IBE	Water type	Sample No:
Mixing of oil and Formation Brines	Confined basin, old sea water or fossil water	Oil Brines	Oil Brines	Na-Cl	S24
Mixing of oil and Formation Brines	Confined basin, old sea water or fossil water	Oil Brines	Oil Brines	Na-Cl	SPR11
Mixing of oil and Formation Brines	Confined basin, old sea water or fossil water	Oil Brines	Oil Brines	Na-Cl	SPR-NEW2
Mixing of oil and Formation Brines	Confined basin, old sea water or fossil water	Oil Brines	Oil Brines	Na-Cl	SPR5
Mixing of oil and Formation Brines	Confined basin, old sea water or fossil water	Oil Brines	Oil Brines	Na-Cl	SPR6
Mixing of oil and Formation Brines	Confined basin, old sea water or fossil water	Oil Brines	Oil Brines	Na-Cl	SPR8
Mixing of oil and Formation Brines	Confined basin, old sea water or fossil water	Oil Brines	Oil Brines	Na-Cl	SPR10
Mixing of oil and Formation Brines	Confined basin, old sea water or fossil water	Oil Brines	Oil Brines	Na-Cl	SP30
Mixing of oil and Formation Brines	Confined basin, old sea water or fossil water	Oil Brines	Oil Brines	Na-Cl	SP22
Mixing of oil and Formation Brines	Confined basin, old sea water or fossil water	Oil Brines	Oil Brines	Na-Cl	SP19
Oil Brines	Confined basin, old sea water or fossil water	Oil Brines	Oil Brines	Na-Cl	SP17B
Oil Brines	Confined basin, old sea water or fossil water	Oil Brines	Oil Brines	Na-Cl	S23
Mixing of oil and Formation Brines	Confined basin, old sea water or fossil water	Oil Brines	Oil Brines	Ca-Cl	LOW7
Evaporites, brines formation	Semi-confined basin, new marine water	Oil Brines	Oil Brines	Na-Cl	LOW15
Oil Brines	Confined basin, old sea water or fossil water	Oil Brines	Oil Brines	Na-Cl	LOW16
Mixing of oil and Formation Brines	Confined basin, old sea water or fossil water	Oil Brines	Oil Brines	Na-Cl	LOW19
Mixing of oil and Formation Brines	Semi-confined basin, new marine water	Oil Brines	Oil Brines	Ca-Cl	ROW11



شکل ۹- نقشه هیدروایزوپیز و هم ارز شاخص تبادل پایه در سد سیمره و اطراف آن.

Fig. 9. Map of the groundwater level and the equivalent of Index Base Exchange Seymareh Dam and its surroundings (development of oil brines).



شکل ۱۰- نقشه هم تیپ آب در سد سیمره (۱۳۹۶).

Fig. 10. Map of the water type in the Seymareh Dam (1396).

رنگ). لذا همانگونه که ارتباط هیدرولیکی شورابه‌های نفتی با آبخوان اصلی از طریق سه چاه مشاهده‌ای ROW11، LOW7 و LOWN-4 که بر اساس نقشه IsoIBE استنباط گردیده بود، تایید می‌گردد. از آنجایی که آب رودخانه سیمره در پایین دست، به طور گسترده جهت مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد و با توجه به وجود چشمه‌های شور در پایین دست، کیفیت آب آبیاری رودخانه از سال ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۶ مورد ارزیابی قرار گرفت. در آب آبیاری مقدار سدیم از اهمیت خاصی برخوردار است. سدیم با خراب کردن ساختمان خاک، نفوذ پذیری را کاهش می‌دهد و پس از آبیاری از سطح رویی خاک به بخش‌های زیرین رفته و باعث سخت شدن خاک در قسمت‌های بالایی می‌شود (Moghimi, 2006). مهمترین معیارهای کیفی در طبقه بندی آب از نظر کشاورزی، شوری و مقدار سدیم موجود در آن می‌باشد. زیرا این دو نه تنها بر رشد گیاهان موثرند، بلکه تناسب آب را از نظر آبیاری و تاثیر آن بر نفوذپذیری خاک را مشخص می‌سازند (Alizadeh, 2015). شوری با معیار هدایت الکتریکی (EC¹) و سدیم با معیار نسبت جذبی سدیم (SAR¹¹) سنجیده می‌شود (رابطه ۲)؛ در این رابطه مقادیر کاتیون‌ها بر حسب meq/l می‌باشند:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca+Mg)/2}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

به همین منظور از نمودار Wilcox (۱۹۹۵) برای بررسی کیفیت آب رودخانه جهت مصرف آبیاری استفاده شده است (شکل ۱۱). در رودخانه سیمره، در پایین دست سد چهار ایستگاه نمونه‌برداری و دبی سنجی وجود دارد که از نتایج آنالیز شیمیایی هر چهار ایستگاه استفاده و مکان این ایستگاه‌ها بر روی شکل ۲ دیده می‌شود (نمونه‌ها از زمان‌هایی انتخاب شده است که دریاچه‌های سد بسته و نیروگاه سد نیز غیر فعال بوده است). اولین ایستگاه (River-1) در نزدیکی مخزن سد قرار دارد و بقیه به ترتیب در راستای جریان رودخانه سیمره مکانیابی شده‌اند. با توجه به آگیری سد سیمره از اوائل ۱۳۹۰ در یک بازه زمانی ۷ ساله نمونه‌برداری از رودخانه سیمره برای تعیین مشخصات کیفی آن با کمک نمودار ویلکاکس انجام گرفته است. در شکل ۱۱ و جدول ۵ مشخصات کیفی رودخانه سیمره ارائه شده است. همانگونه که در جدول ۵ دیده می‌شود، روند تیپ آب در همه ایستگاه‌ها در اوائل آگیری سد دارای کیفیت خیلی خوب تا خوب و از C1S1 تا C2S2 در تغییر است ولی با گذشت زمان و تکمیل آگیری، تیپ آب به سمت بد (C4S3) حرکت کرده است. با توجه به شرایط زمین شناسی، تکتونیکی و مخصوصا پس از آگیری حجم آب موجود در سد، تغییراتی را در کمیت و کیفیت آب سطحی و زیرزمینی داده است. از

برای ترسیم نقشه هیدروایزوپیز از اطلاعات موجود سطح آب ۳۲ چاه مشاهده‌ای در سال ۱۳۹۶ و برای ترسیم نقشه هم ارز تبادل پایه شولر (Iso IBE) از نتایج شیمیایی موجود ۳۲ چاه مشاهده‌ای و ۲۳ چشمه در سال ۱۳۹۶ استفاده شده است. با بررسی نقشه شکل ۹ موارد زیر را می‌توان بیان کرد:

- ۱- آب، پرده آب بند را در هر دو جناح دور زده و به سمت پایین دست حرکت می‌کند. بخشی از آب هم از پرده آب بند عبور می‌کند.
- ۲- در یال شمالی تاقدیس راوندی، روند حرکت آب زیرزمینی با برخورد به گسل در جناح چپ و گسل دیگری در جناح راست به سمت رودخانه تغییر می‌کند. این گسلها روند تقریبا " شرقی - غربی دارند و شیب آنها ۸۰-۸۵ درجه می‌باشد.
- ۳- در یال جنوبی تاقدیس راوندی در جناح چپ، گسل‌های موجود آب را به سمت رودخانه زهکش می‌کنند. این گسل‌ها همگی دارای روند شرقی - غربی هستند و شیب آنها از ۶۰ تا ۸۵ درجه متغیر می‌باشد. در جناح راست گسل‌ها اکثرا " دارای روند شمال شرق - جنوب غرب هستند و روند حرکت آب زیرزمینی با برخورد به این گسل‌ها نیز تغییر می‌کند.
- ۴- با توجه به زهکش شدن آب توسط گسل‌ها به سمت رودخانه یا سطح اساس فرسایش در پایین دست، می‌توان ظهور چشمه‌های جدیدی را پس از آگیری در پایین دست سد پیش بینی کرد (Ravash, 2019).
- ۵- بر اساس نقشه IsoIBE، نقاط برآمدگی یا قله خطوط کنتوری، منطبق بر چاه‌های مشاهده‌ای ROW11، LOW7 و LOWN-4 می‌باشد. در واقع ارتباط هیدرولیکی بین شورابه‌های نفتی و آبخوان اصلی از طریق این چاه‌ها برقرار شده است و با توجه به بردار حرکت آب زیرزمینی از بالا دست به سمت پایین دست، شورابه‌های نفتی به سمت پایین دست گسترش یافته‌اند.
- ۶- مساحت آبخوان آلوده به شورابه‌های نفتی در پایین دست سد، بر اساس نقشه IsoIBE، تا سال ۱۳۹۶، ۱/۸ کیلومتر مربع محاسبه شد. نقشه هم تیپ آب سد سیمره در سال ۱۳۹۶ ترسیم شده و سپس بر روی نقشه پایه سد منتقل گردیده است (شکل ۱۰). بر اساس آنالیز نتایج شیمیایی مخزن سد، تیپ آب مخزن در سال ۱۳۹۶ سولفات کلسیک می‌باشد، لذا می‌توان مسیر اصلی حرکت آب از مخزن به سمت پایین دست را بر روی نقشه مشاهده کرد (محدوده آبی رنگ). نکته دیگر این که در گراف سولین، تیپ آب، آبهای که معرف آبهای دریایی قدیمی (آبهای فسیلی) می‌باشند، به صورت تیپیک کلروره کلسیک می‌باشد. همانگونه که از نقشه هم تیپ آب مشاهده می‌شود، مناطقی که دارای تیپ آب کلروره کلسیک هستند با نقاط برآمدگی یا قله خطوط کنتوری نقشه IsoIBE منطبق هستند (محدوده زرد

10- Electrical Conductivity

11- Sodium Absorption Ratio(SAR)

مشکلات و چالش‌هایی باشد که هر چه سریعتر باید با راهکارهای مدیریتی و عملی حل شود.

این رو کیفیت آب رودخانه به سمت پائین دست رودخانه در طول زمان (طی ۷ سال گذشته) بدتر شده و با توجه به مصرف آب در بخش‌های مختلف (کشاورزی، شرب و صنعت)، این می‌تواند یکی از

جدول ۵- کیفیت آب رودخانه سیمره بر مبنای طبقه‌بندی ویلکاکس.

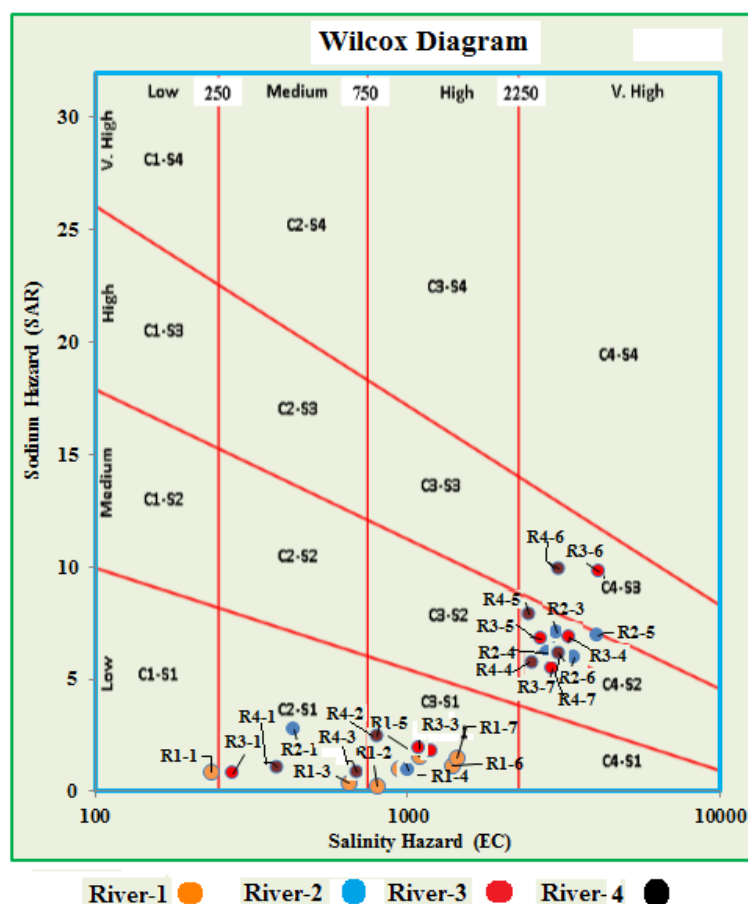
Table 5. The water quality of Seymareh River is based on Wilcox classification(R; River).

Date	Location	Water Type	Wilcox(R-1)	Quality	Location	Water Type	Wilcox(R-2)	Quality
1390/02/04	RIVER 1	Mg-SO4	C1-S1	V. Good	RIVER 2	Na-Cl	C2-S1	Good
1391/10/17	RIVER 1	Mg-SO4	C2-S1	Good	RIVER 2	--	--	--
1392/12/21	RIVER 1	Mg-HCO3	C3-S1	Suitable	RIVER 2	Mg-HCO3	C3-S1	Suitable
1393/12/11	RIVER 1	Mg-SO4	C3-S1	Suitable	RIVER 2	Na-Cl	C4-S2	Unsuitable
1394/08/30	RIVER 1	Mg-SO4	C3-S1	Suitable	RIVER 2	Na-Cl	C4-S2	Unsuitable
1395/12/18	RIVER 1	Mg-SO4	C3-S1	Suitable	RIVER 2	Na-Cl	C4-S2	Unsuitable
1396/07/23	RIVER 1	Mg-SO4	C3-S1	Suitable	RIVER 2	Na-Cl	C4-S2	Unsuitable

Date	Location	Water Type	Wilcox(R-3)	Quality	Location	Water Type	Wilcox(R-4)	Quality
1390/02/04	RIVER 3	Ca-SO4	C2-S1	Good	RIVER 4	Na-SO4	C2S1	Good
1391/10/17	RIVER 3	Mg-SO4	C3-S1	Suitable	RIVER4	Mg-SO4	C3S1	Suitable
1392/12/21	RIVER 3	Mg-Cl	C3-S1	Suitable	RIVER 4	Ca-HCO3	C2S1	Good
1393/12/11	RIVER 3	Na-Cl	C4S2	Unsuitable	RIVER 4	Na-Cl	C4S2	Unsuitable
1394/08/30	RIVER3	Na-Cl	C4S2	Unsuitable	RIVER 4	Na-Cl	C4S2	Unsuitable
1395/12/18	RIVER 3	Na-Cl	C4S3	Unsuitable	RIVER 4	Na-Cl	C4S3	Unsuitable
1396/07/23	RIVER 3	Na-Cl	C4S2	Unsuitable	RIVER 4	Na-Cl	C4S2	Unsuitable

نمودار ویلکاکس از این نظر مهم است که آب رودخانه از لحاظ کیفی که تحت تاثیر عوامل زیادی از قبیل، میزان حجم مخزن، شرایط اقلیمی (تغییرات بارش، افزایش درجه حرارت و ...)، سازندهای زمین شناسی و تکنیک محدوده مطالعاتی (گسل و چین خوردگی) قرار دارد، چگونه خواهد بود و در آینده با توجه به تغییراتی که ایجاد می‌شود چگونه رفتار خواهد کرد. در همین راستا دو نمودار در شکل ۱۲ ترسیم شده است. از سال ۱۳۹۳ به بعد، کیفیت آب رودخانه بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس جهت آبیاری مناسب نبوده و با توجه به وجود چشمه‌های نمکی در پایین دست، به نظر می‌رسد این روند ادامه داشته باشد. در طبقه بندی ویلکاکس بدترین نوع رده آب به لحاظ کیفی، C4-S4 می‌باشد. برای اینکه آبی به لحاظ کیفی دارای رده مذکور باشد باید حداقل عدد SAR آب ۱۲ و EC آن بیش از $EC > 3000 \mu S/cm$ باشد. منحنی هر چهار ایستگاه هیدرومتری را بر مبنای زمان شور شدن (۱۳۹۳) آنها بر اساس ای سی در مقابل زمان (به ماه) و عدد SAR در مقابل زمان (به ماه) ترسیم شده است.

در شکل ۱۱، نمودار ویلکاکس برای چهار ایستگاه هیدرومتری در رودخانه سیمره ترسیم شده است. همانگونه که در نمودار دیده می‌شود، بیشترین به کمترین تراکم به ترتیب در بخش‌های C4S2, C3S1, C2S1 قابل مشاهده است. از طرف دیگر River-1 که نزدیک مخزن سد هست تا حدود کمی متاثر شده و تیپ آب آن در این دوره هنوز قابل استفاده است. زیرا به احتمال زیاد این ایستگاه بیشتر از طریق مخزن و تا حدودی نیز از طریق چشمه‌ها و آب زیرزمینی بالا دست تغذیه می‌شود. در حالیکه به سمت River-4 تیپ آب به غیر قابل استفاده تبدیل می‌شود. در مدت زمان مورد بررسی تیپ آب رودخانه از سولفات به کلروره تغییر کرده است که این فرایند به سبب وجود چشمه‌های نمکی در پایین دست می‌باشد. تیپ آب رودخانه تابع تیپ آب چشمه‌هایی است که به درون آن زهکش می‌شوند. چشمه‌ها بواسطه نفوذ شورابه‌های نفتی آلوده گشته‌اند. با توجه به TDS بسیار بالای شورابه‌های نفتی ($TDS > 100000$) (Schoeller, 1955) mg/l ، حتی اندک نفوذ آنها به داخل آبخوان‌ها نیز به شدت کیفیت آب زیرزمینی را تخریب می‌کند. ترسیم



شکل ۱۱- نمودار ویلکاکس ۴ ایستگاه هیدرومتری رودخانه سیمره از اردیبهشت ۱۳۹۰ الی مهرماه ۱۳۹۶.

Fig. 11. Wilcox diagram of four hydrometric stations of Seymareh River from May 2011 to October 2017.

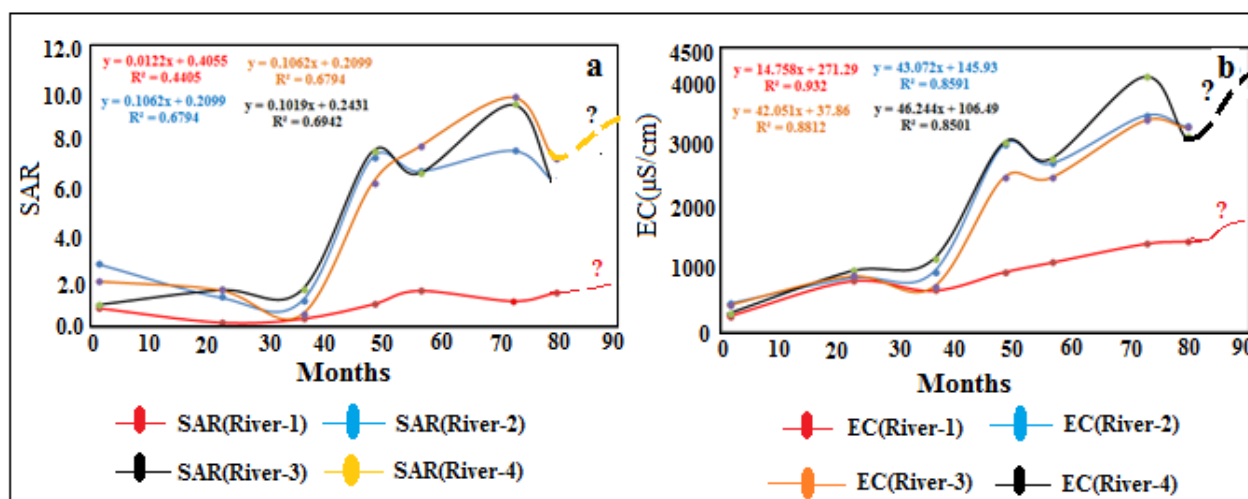
نتیجه گیری

با توجه به اهمیت سد سیمره از لحاظ کشاورزی، شرب و تولید برق در راستای منافع اقتصادی محلی و کشوری لازم است با دقت بیشتری مسائل و مشکلات خود سد و همینطور مشکلات زیست محیطی، فرهنگی و اجتماعی که بوجود آورده مورد بررسی قرار گیرد. در محدوده مطالعاتی بدلیل شرایط موجود کیفیت آب رودخانه کاهش یافته و تا حدود زیادی غیر قابل استفاده شده است. در این مطالعه یکی از مشکلات این سد پس از آبیگری افزایش و پراکندگی شورابه-های نفتی و سازندی است. برای تشخیص شورابه‌های نفتی در سد سیمره از ۴ روش محاسباتی و گرافیکی براساس نتایج آنالیز شیمیایی ۱۹ حلقه چاه مشاهده‌ای و ۱۳ چشمه در قبل و بعد از آبیگری سد استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در سال ۱۳۸۹، قبل از آبیگری سد، ۳ چاه مشاهده‌ای آلودگی آبخوان به شورابه‌های نفتی را نشان داده‌اند. با گذشت زمان در سال ۱۳۹۶ و با گسترش شورابه‌های نفتی به پایین دست، ۱۲ چشمه نیز به شورابه‌های نفتی آلوده گشته-

برای پی بردن به اینکه کیفیت آب رودخانه سیمره چه موقع در رده C4-S4 قرار می‌گیرد، با کمک نمودار ترسیمی و با استفاده از رگرسیون نمودارها با درصد بالایی پیش بینی کرد (شکل ۱۲). با توجه به فرمول رگرسیون نمودارها، عدد SAR رودخانه با گذشت ۹۶ ماه (۸ سال) از سال ۱۳۹۳، به حدود ۱۲ می‌رسد (شکل ۱۲). همچنین پس از گذشت ۸ سال از سال ۱۳۹۳، EC رودخانه به حدود $\mu\text{S}/\text{cm}$ ۴۵۰۰ الی ۵۰۰۰ خواهد رسید و این یعنی بعد از ۹۶ ماه در سال ۱۴۰۱ رده کیفی آب رودخانه به رده C4-S4 خواهد رسید که این نامناسب و بدترین آب جهت هر نوع مصرف می باشد (Ravesh, 2019). البته با توجه به نمودارها ایستگاه ۱- ۹۶ ماه بعد از سال ۱۳۹۳ هنوز کیفیت خوب تا نسبتا خوب را دارد که این می تواند به دلیل نفوذ آب مخزن به رودخانه باشد که سبب کاهش نفوذ آب شور چشمه ها می شود. ولی از ایستگاه ۲- به بعد همگی به بیش از $\mu\text{S}/\text{cm}$ ۴۵۰۰ می‌رسد. این می تواند بدلیل اختلاط چشمه های آب شور با آب رودخانه باشد.

(مشخصه آبهای فسیلی در گراف سولین) هستند با نقاط برآمدگی یا قله خطوط کنتوری نقشه IsoIBE منطبق هستند. لذا با توجه به مطالعات صورت گرفته فعلی تا کنون ارتباط هیدرولیکی شورابه‌های نفتی با آبخوان اصلی از طریق سه چاه مشاهده‌ای ROW11، LOW7 و LOWN-4، تایید می‌گردد. ولی به احتمال زیاد بدلیل ساختار زمین شناسی پیچیده (گسل و چین خوردگی‌ها) این ارتباط بسیار وسیع است.

اند. بر اساس نقشه هم ارز تبادل پایه، نقاط برآمدگی یا قله خطوط کنتوری، منطبق بر چاه‌های مشاهده‌ای در جناحین سد (ROW11، LOW7 و LOWN-4) می‌باشد. در واقع ارتباط هیدرولیکی بین شورابه‌های نفتی و آبخوان اصلی از طریق این چاه‌ها برقرار شده است و با توجه به بردار حرکت آب زیرزمینی از بالا دست به سمت پایین دست، شورابه‌های نفتی به سمت پایین دست گسترش یافته اند. بر اساس نقشه هم تیپ آب، مناطقی که دارای تیپ آب کلروره کلسیک



شکل ۱۲- نمودار EC و SAR نسبت به زمان از اردیبهشت سال ۱۳۹۰ تا مهرماه سال ۱۳۹۶ در چهار ایستگاه رودخانه سیمره.

Fig. 12. EC and SAR diagrams in relation to time from May 2011 to September 2017 in four stations of Seymareh River.

پیش‌بینی می‌شود در سال ۱۴۰۱ رده کیفی آب رودخانه به رده C4- S4 (نامناسب) برسد (بجز ایستگاه-۱). براساس تفسیر نتایج، محدوده مطالعاتی متأثر از شورابه‌های نفتی منطقه سد سیمره قرار گرفته و همچنین سازند گچساران موجود در منطقه نیز باعث افزایش املاح منابع آب از جمله سولفات شده است. به منظور پایش گسترش شورابه‌های نفتی و مساحت آلوده شده در پایین دست سد، پیشنهاد می‌گردد نقشه گسترش شورابه‌های نفتی در سالهای آتی تهیه گردد. همچنین لازم است سن سنجی ایزوتوپی و ردیابی در چشمه‌ها و چاه‌های مشاهده‌ای برای تعیین حوضه آبرگیر چشمه‌ها و مقایسه سن آبهای زیرزمینی انجام گردد.

به همین دلیل تا سال ۱۳۹۶ مساحت آبخوان آلوده شده به شورابه‌های نفتی در پایین دست سد، ۱/۸ کیلومتر مربع می‌باشد. در نقشه هم تیپ آب مسیر اصلی جریان آب از مخزن سد به سمت پایین دست، به وضوح قابل مشاهده است. کیفیت آب آبیاری رودخانه سیمره در گذر زمان از سال ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۶ مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که از سال ۱۳۹۳ کیفیت آب رودخانه بر اساس طبقه بندی ویلکاکس جهت آبیاری مناسب نیست و با توجه به وجود چشمه‌های نمکی در پایین دست، به نظر می‌رسد این روند ادامه داشته باشد. بر اساس نمودار EC و SAR در مقابل زمان رودخانه از زمان نمکی شدن آن (۱۳۹۳)، و با توجه به فرمول رگرسیون نمودارها،

منابع

- Alizadeh, A., 2015. Principles of Applied Hydrology, Imam Reza University Press, p. 942 (in Persian).
- Alley, W., M., 1993. Regional Groundwater Quality, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Awadh, S., Al Auweidy, M., AlYaseri, A., 2019. Hydrochemistry as a tool for interpreting brine origin and chemical equilibrium in oilfields: Zubair reservoir southern Iraq case study. Applied Water Science 9(65), 1-12.

- Azizi, F., Asgharimoghadam, A., Nazemi, A., 2017. Assessing the salinity of groundwater and explaining the origin of ions in the coastal plain of Malekan using ionic ratios. *Ecology Journal* 43(3), 454 – 437 (in Persian).
- Barzegar, R., Asgharimoghadam, A., Najib, M., Kazemian, N., 2016. Investigation of hydrogeochemical characteristics of Tabriz plain aquifer using hydrochemical models and statistical methods. *Sciences and Engineering of Iranian Watershed Management* 10(2), 39-50 (in Persian).
- Bouzourra, H., Bouhlila, R., Elango, L., Slama, F., Ouslati, N., 2014. Characterization of mechanisms and processes of groundwater salinization in irrigated coastal area using statistics, GIS, and hydrogeochemical investigations. *Environmental Science and Pollution Research* 22(4), 2643–2660.
- Chitsazan, M., Shacheri, Sh., Mizae, S., Abudi, S., 2016. Determining the source of water salinity in Cheshmeh Garou and Anticline Asmari using hydrochemical parameters. *Iran Water Resources Research* 13, 196-202 (in Persian).
- Drever, J.I., 2005. *Surface and Groundwater, Weathering and Soils, Treatise on Geochemistry* 5, Elsevier.
- Hounslow, A.W., 1995. *Water quality data Analysis and Interpretation*, Lewis Publishers, 396p.
- Keyhomayoon, Z., 2011. The impact of industrial and agricultural activities on groundwater quality and simulation of contaminant transport in the range Lenjanat. PhD Thesis, Department of Earth Sciences, University of Shahid Beheshti (in Persian).
- Keyhomayoon, Z., Naseri, H.R., Nakhaee, M., 2012. Identification of groundwater salinity sources in Lenjanat plain of Isfahan. *Journal of Environmental Sciences* 9(3).
- Leonard, A.R., Ward, P.E., 1962. Use of Na/Cl ratios to distinguish oil-field from salt spring brines in western Oklahoma, U. S., Geological Survey Professional Paper, 45Q-B, P. B12-127.
- Mahab Qods Consulting Engineering Co., 1999. The second phase Engineering geological report of the dam and Powerhouse Seymareh project, 221p (in Persian).
- Mirzaee, S., Zarasavandi, A., Orang, M., 2015. The Impact of geochemical Asmari Oil Reservoirs on Masjed Soleiman karst water resources. *Advanced Applied Geology Journal* 5, 1-14 (in Persian).
- Moghimi, H., 2006. *Hydrogeochemistry*, Payame Noor University press, p218 (in Persian).
- Nadiri, A., Asgharimoghadam, A., Sadeghi aghdam, F., Naderi, K., 2015. Evaluation of salinity and arsenic as destructive factors of surface and groundwater quality (Sahand dam catchment area). *Hydrogeomorphology* 4, 79-99 (in Persian).
- Ravash, F., 2019. Using of Water Pressure Test Results to Calculate of Seepage through Grouting Curtain of Seymareh Dam at Ilam Province of Iran. M.Sc Thesis, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Payame Noor University, pp.140 (in Persian).
- Richter, B.C., Kreitler, C.W., 1993. *Geochemical Techniques for Identifying Source of Ground-Water Salinization*, C.K.Smoley.
- Salman, S.A., Melegy, A.A., Shaban, A.M., Hassaan, M.M., 2013. Hydrogeochemical Characteristics and classification of Groundwater in Sohag Governorate, Egypt. *Applied Sciences Research* 9(1), 758-769.
- Schoeller, H., 1955. *Geochemi des eaux souterraines*. *Revue de l'Institut Francais du Petrole* 10, 181-213.
- Sulin, V.A., 1946. *Waters of Petroleum Formations in the System of Nature Waters*. Gostoptekhizdat, Moskow, 96pp (in Russian).
- Wilcox, L., V., 1955. Classification and use of irrigation waters. Circular 969. USDA (Department of Agriculture), Washington, USA.
- Zayed, M.A., Elhdad, A.M.A., 2017. Evaluation of ground water quality, hydro chemical facies and ionic ratios in Kom Hamada City, Al-Beheira Governorate (Western Nile Delta), Egypt. *Journal of Water Research* 138, 300-325.

