Research Paper

The Effective Factors on the Groundwater Quality in the Saravan Area, South Iran

Halimeh Damani [1], Reza Jahanshahi[2*], Sasan Bagheri[3] Mohammad Reza Mirbalouchzehi [4]

[1] M.Sc. Student of Hydrogeology, Department of Geology, Faculty of Science, University of Sistan and Baluchestan, Iran. halimedamani1991@gmail.com
[2] Associate Professor of Hydrogeology, Department of Geology, Faculty of Science, University of Sistan and Baluchestan, Iran. jahanshahireza@science.usb.ac.ir 0000-0003-2931-2377
[3] Associate Professor of Tectonic, Department of Geology, Faculty of Science, University of Sistan and Baluchestan, Iran. sasan.bagheri@science.usb.ac.ir
[4] Ph.D of Chemistry, Sistan and Baluchestan Water and Wastwater Co., Iran. daneshmir@yahoo.com

10.22125/IWE.2024.434517.1780

Received:
January 7, 2024
Accepted:
April 9, 2024
Available online:
June 29, 2024

Keywords:
Hydrogeochemistry, Saturation index, factor analysis

Abstract

This research has studied the hydrochemistry and quality of groundwater resources in Saravan area, located in Sistan and Baluchistan province. According to the hydrograph of the water table, ground water level (from 2014 to 2019) has decreased (-7.88 m) and the direction of the ground water movement is from northwest to southeast. Based on time series analysis, the delay time between rainfall and water table is about one or two months, which indicates relatively good permeability in the alluvial aquifer. According to the EC map, the quality of groundwater has decreased from west to east, and the groundwater of qanat's has better quality than the exploitation wells. In the groundwater of the studied areas, there are three types of water: NaCl, NaSO4 and NaCl (HCO3). In general, there is an increase in chloride and sodium from qanat water resources to wells in the studied area. Also, increasing the depth of the well has increased the percentage of chloride and sodium. According to the distribution map of discharge of wells, groundwater extraction in the west area is mor than the east region. Based on the results of the factor analysis, two main factors affecting the quality of the aquifers have been identified, the first factor is the dissolution of minerals, which controls the quality of water sources and the second factor is the factors controlling the acidity/alkalinity. According to the analysis of the saturation index values of minerals, most of the groundwater samples tend to dissolve anhydrite, gypsum, aragonite and halite and they affect the chemistry of the groundwater. However, most of the samples are supersaturated and saturated for calcite and dolomite, and these minerals tend to settle in the studied area.

1. Introduction

Groundwater is one of the most important sources of water supply in arid and semi-arid regions, considering the limitation of water resources in the whole world, the study of water quality helps to

* **Corresponding Author:** Reza Jahanshahi
Address: Department of Geology, Faculty of Science, University of Sistan and Baluchestan, Iran,
Email: jahanshahireza@science.usb.ac.ir
Tel: +989131790969

identify and use it as best as possible. In many plains of Iran, the quality of groundwater has decreased due to excessive extraction of groundwater for agricultural development.

Since the development of urbanization and agriculture in Saravan region is dependent on groundwater resources, it is very important to investigate the factors affecting the quality of water resources. Therefore, based on the data of the water tale, qualitative and quantitative ground waterresources in Saravan Plain (and Sibsuran Plain and Jalq region for comparison with Saravan Plain) research has been conducted.

2. Materials and Methods

The study regions are located in the east of Sistan and Baluchistan province and in the southeast of Iran, and they are located in Mashkil watershed with an approximate area of 2815 Km^2. In order to carry out this research in Saravan plain, Sibsuran plain and Jalq region, from the qualitative data of the results of chemical analysis of groundwater resources in 17 locations sampled from semi-deep wells and qanats in the region, quantitative data of water table of 54 observation wells, the amount of harvesting and working hours and rainfall values of Hoshk and Jalq stations have been used.

3. Results

According to the hydrograph of the water table, ground water has decreased. Time series analysis showed that the delay time between rainfall and water table is about one or two months, which indicates relatively good permeability in the alluvial aquifer. According to the EC map, the quality of groundwater has decreased from west to east, and the groundwater of qanat's has better quality than the exploitation wells. In the groundwater of the studied areas, there are three types of water: NaCl, NaSO4 and NaCl (HCO3). In general, there is an increase in chloride and sodium from qanat water resources to wells in the studied area. Also, increasing the depth of the well has increased the percentage of chloride and sodium. According to the distribution map of discharge of wells, groundwater exctration in the west area is mor than the east region. According to the analysis of the saturation index values of minerals, most of the groundwater samples tend to dissolve anhydrite, gypsum, aragonite and halite and they affect the chemistry of the groundwater. However, most of the samples are supersaturated and saturated for calcite and dolomite, and these minerals tend to settle in the studied area.

4. Discussion and Conclusion

In the two regions of Saravan and Sibsuran, the movement and direction of the ground waterflow follows the topography of the ground's surface and is from the northwest to the southeast. In the studied areas, water extraction and annual discharge are more in the center and urban areas, and the reason for digging many wells in the area is the drawdown in water table. The amount of discharge of exploitation wells, working hours and annual harvest in Sibsuran aquifer is more than Saravan plain, and for this reason, the most temporal and spatial changes of water level have been created in Sibsuran plain. Chloride water type is the most widespread in the groundwater of the studied areas and the decrease in the quality of the water in the area is more in the center of the urbanized part of two plains. The water quality in the qanats is better than the wells in the area. Based on the two-variable graphs, the concentration of chloride ion in the groundwater of the studied area with the concentration of sulfate, potassium, sodium, magnesium and calcium ions has a relatively good increasing trend. While for the carbonate ion, an increasing trend with a lower slope is observed. Finally, the main factor controlling the quality of groundwater resources in the study areas is the influence of geological units, which has intensified the rate of decrease in the quality of ground water due to human factors (groundwater extraction). Six important references

5. Six important references

1) Ahmadi, S., Jahanshahi, R., Moeini, V., Mali, S. 2018. Assessment of hydrochemistry and heavy metals pollution in the groundwater of Ardestan mineral exploration area, Iran. Environmental Earth Sciences, 77:212

2) Ahmadi, S., Jahanshahi, R., Moeini, V., Mali, S. 2018. Evaluation of groundwater resources quality in the Ardestan mining area, Isfahan provine, Iran (in Persian). Quaternary Journal of Iran. Vol. 3, No. 4.

3) Alghamdi, A.G., Anwar A.A., Mosaed A.M., and H.M. Ibrahim. 2023. Impact of climate change on hydrochemical properties and quality of groundwater for domestic and irrigation purposes in arid environment: A case study of Al-Baha region, Saudi Arabia. Environmental Earth Sciences,82(1): 39.

4) Benadela, L., Belkacem B., and L. Gaidi. 2022. Multivariate analysis and geochemical investigations of groundwater in a semi-arid region, case of superficial aquifer in Ghriss Basin, Northwest Algeria. Journal of Groundwater Science and Engineering,10(3): 233-249.

5) Khawla, K., and H. Mohamed. 2020. Hydrogeochemical assessment of groundwater quality in greenhouse intensive agricultural areas in coastal zone of Tunisia: Case of Teboulba region. Groundwater for sustainable development, 10: 100335.

6) Subba Rao, N., Deepali, M.A., Dinakar, I.C.B., Sunitha, B.R., and T. Balaji. 2017. Geochemical characteristics and controlling factors of chemical composition of groundwater in a part of Guntur district, Andhra Pradesh, India. Environmental earth sciences, 76: 1-22.

Todd, D. K., and L.W. Mays 2005. Groundwater Hydrology, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc

Conflict of Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال چهاردهم. شماره پنجاه و شش .تابستان۱۴۰۳

عوامل موثر بر کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه سراوان، جنوب شرق ایران

حلیمه دامنی[۱]، رضا جهانشاهی[۲]*، ساسان باقری[۳]، محمدرضا میربلوچزهی[۴]

تاریخ ارسال:۱۴۰۲/۱۰/۱۷
تاریخ پذیرش:۱۴۰۳/۰۱/۲۰

مقاله پژوهشی

چکیده

این تحقیق به مطالعه هیدروشیمی و کیفیت منابع آب زیرزمینی در منطقه سراوان، پرداخته است. با توجه به هیدروگراف میانگین سطح ایستابی، تراز سطح آب زیرزمینی (از سال ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۹) کاهش حدودا ۸ متری داشته است. زمان تأخیر بین بارش و اثر آن بر سطح ایستابی حدوداً یک یا دو ماه محاسبه شده است که نشان‌دهنده نفوذپذیری نسبتا خوب در آبخوان آبرفتی است. با توجه به هدایت الکتریکی، تغییرات کیفیت آب زیرزمینی از غرب به شرق در این مناطق رخ داده است و آب‌زیرزمینی قنوات کیفیت بهتری نسبت به چاه‌های بهره‌برداری برخوردار هستند. زیرا از یک طرف مادر چاه قنوات در محل بالاست آبخوان و درون مخروط افکنه‌ها که آب زیرزمینی کیفیت بهتری دارند، حفر شده اند و از طرف دیگر سیستم زهکشی قنوات به نحوی است که فقط آب زیرزمینی مازاد بالاتر از تراز دهنه قنات، خارج می شود و آب‌های زیرزمینی عمیق‌تر آبخوان که شوری بیشتری دارد را خارج نمی‌کند. در آب‌زیرزمینی سه رخساره آب NaCl, NaSO4 و NaCl(HCO3) وجود دارد. به‌طور کلی روند افزایش نسبت درصد کلراید و سدیم از منابع آب قنوات به سمت منابع آب چاه در نمودار پایپر قابل مشاهده است. همچنین افزایش عمق چاه‌های برداشت سبب افزایش نسبت درصد کلراید و سدیم در آب زیرزمینی خروجی از چاه شده است. بر مبنای نقشه‌های پراکندگی دبی و برداشت از آبخوان، متوسط میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی در غرب دشت بیشتر از شرق منطقه می‌باشد. براساس تحلیل عاملی، دو عامل اصلی مؤثر برکیفیت آبخوان شناسایی شده‌اند که عامل اول انحلال کانی‌ها می‌باشد که کیفیت منابع آب را کنترل می‌کند و عامل دوم عوامل کنترل کننده اسیدیته/قلیائیت منابع آب می‌باشد. اکثر نمونه‌های آب زیرزمینی، نسبت به انیدریت، ژیپس، آراگونیت و هالیت تحت اشباع و آب زیرزمینی تمایل به حل کردن این سه کانی دارد. اکثر نمونه‌ها نسبت به کلسیت و دولومیت فوق اشباع و اشباع و این کانی‌ها تمایل به ته‌نشست در منطقه مورد مطالعه دارند.

واژه‌های کلیدی: آب زمین شیمی، اندیس اشباع، تحلیل عاملی

۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد آب زمین شناسی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. ایمیل: halimedamani1991@gmail.com

۲ - دانشیار هیدروژئولوژی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ، زاهدان، ایران. ایمیل: jahanshahireza@science.usb.ac.ir

۳ - دانشیار تکتونیک، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. ایمیل: sasan.bagheri@science.usb.ac.ir

۴ - دکتری شیمی، شرکت آب و فاضلاب استان سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. ایمیل: daneshmir@yahoo.com

مقدمه

آب‌های زیرزمینی یکی از مهمترین منابع تامین آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند، با توجه به محدودیت منابع آب در کل دنیا، مطالعه کیفیت آب به شناسایی و استفاده هر چه بهتر آن کمک می‌کند. در بسیاری از دشت‌های ایران، کیفیت آب زیرزمینی به دلیل برداشت بی‌رویه از آبخوان‌ها در جهت توسعه کشاورزی، کاهش یافته است.

از آنجایی که در منطقه سراوان توسعه شهرنشینی و کشاورزی وابسته به منابع آب زیرزمینی می‌باشد، بررسی عوامل موثر بر کیفیت منابع آب اهمیت زیادی دارد. براین اساس پژوهش برمبنای داده‌های سطح ایستابی، کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی در دشت سراوان و مقایسه آن با مناطق مجاور (دشت سیب‌سوران و منطقه جالق) انجام شده است.

پژوهش‌های مشابهی در راستای کیفیت منابع آب زیرزمینی در سطح ایران و جهان انجام شده است: بطور مثال لشکری و لشکری پور (۱۳۹۰) به بررسی کیفیت دشت ایرانشهر و تاثیر سازند زمین‌شناسی بر کیفیت آب با نمونه‌برداری از ۲۲ حلقه چاه انتخابی پرداختند. در این تحقیق با توجه به موضوع گسترش اراضی کشاورزی و اینکه متوسط بارندگی سالانه برابر ۱۰۲ میلی‌متر بوده وشرایط آب و هوایی گرم و خشک در منطقه حاکم است آب‌های زیرزمینی تنها منبع تامین آب هستند در اثر برداشت بی‌رویه از آبخوان تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی در این دشت محسوس می‌باشد و همچنین تغییرات تیپ آب ممکن است متاثر از عوامل زمین‌شناسی و بعضا تبادل کاتیونی با سازندهای مجاور باشد. خردناروئی و همکاران (۱۳۹۹) مطالعاتی را در آبخوان دشت ایرانشهر با هدف بررسی تاثیر خشکسالی بر سطح آب زیرزمینی انجام دادند. برای انجام این پژوهش از آمار بارندگی ایستگاه‌های بارش در منطقه و داده-های تراز سطح آب زیرزمینی مرتبط به ۲۴ حلقه چاه پیزومتری استفاده شد. نتایج نشان داد که خشکسالی نرمال، متوسط و شدید در منطقه حاکم بوده است و همچنین سطح آب زیرزمینی آبخوان به طور متوسط حدود ۲/۵ متر در طی ۵ سال کاهش یافته است. القمدی و همکاران (۲۰۲۳) تأثیر تغییر اقلیم بر خواص هیدروشیمیایی و کیفیت آب‌های زیرزمینی برای اهداف خانگی و آبیاری در محیط خشک منطقه البهاء، عربستان سعودی را مورد مطالعه قرار دادند. که دلیل آن بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی، افزایش دما و کاهش بارندگی منجر به پایین آمدن کیفیت آب‌های زیرزمینی شده و متعاقبا بر سلامت انسان و بهره‌وری کشاورزی تأثیر می‌گذارد. بنابراین، برای ارزیابی تناسب آب‌های زیرزمینی برای مصارف خانگی و آبیاری، نمونه‌های آب زیرزمینی از ۸۸ نقطه در منطقه صراط البهاء عربستان سعودی جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد که اکثر نمونه‌های آب زیرزمینی دارای خطرات شوری متوسط تا زیاد بودند. بنابراین توصیه می‌شود که شیوه‌های مدیریتی مناسب برای بهینه‌سازی استفاده از آب‌های زیرزمینی و کاهش پتانسیل تاثیر بیشتر در کیفیت آب اعمال شود. تخلیه آب‌های زیرزمینی باید کنترل شود و به شدت از حفر چاه‌های جدید جلوگیری شود. احمدی و همکاران (۱۳۹۶) ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی منطقه معدنی اردستان، استان اصفهان را انجام دادند؛ طبق نمودار شولر و ویلکوکس، کیفیت آب زیرزمینی در بیشتر مناطق برای آشامیدن و کشاورزی مناسب است؛ اما با توجه به پتانسیل تولید زه‌آب اسیدی در اثر اکسایش کانی‌هایی همانند پیریت در هنگام استخراج ماده معدنی در آینده، ممکن است کیفیت منابع آب اردستان تحت تأثیر قرار گیرد. خاولا و محمد (۲۰۲۰) هیدروشیمی آب زیرزمینی در مناطقی با فعالیت‌های کشاورزی شدید در منطقه ساحلی تونس را بررسی کردند. جهت انجام این تحقیق از ۴۶ نمونه آب استفاده شد و نتایج نشان‌دهنده‌ی شوری بالا و غلظت زیاد عناصر کمیاب در آب زیرزمینی منطقه بود. همچنین غلظت عناصر کادمیوم و نیترات بالاتر از حد مجاز برای آبیاری در منطقه تونس بود. سوبا رائو و همکاران (۲۰۱۷) مطالعه‌ای در ارتباط با هیدروشیمی و ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی برای نوشیدن و کشاورزی را در یک شهر در شمال هند انجام داد. نمونه‌ها از یک منطقه نیمه‌خشک در شمال هند طبق استاندارد انجمن بهداشت آمریکا مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج حاصله طبیعت شور آب زیرزمینی منطقه را به غلظت بالای نمک‌های محلول نسبت داد. اکثریت نمونه¬ها غلظت فلوراید زیر حد مجاز استاندارد آب آشامیدنی سازمان بهداشت جهانی را نشان داد و آبیاری برای اکثر محصولات کشاورزی به جز گونه‌های حساس مناسب تشخیص داده شد. بنادلا و همکاران (۲۰۲۲) ویژگی‌های هیدروشیمیایی آبخوان کم عمق منطقه نیمه خشک واقع در شمال غربی الجزایر و شناسایی عوامل اصلی حاکم بر کیفیت آب زیرزمینی را بررسی کردند. این تحقیق از ۳۳ نمونه آب حاصل شده، نشان داد با توجه به میزان بارندگی کم و برداشت زیاد از منابع آب و فعالیت‌های انسانی بخصوص کشاورزی بر کیفیت آب منطقه تاثیر گذاشته و

آب‌های منطقه دارای کلراید بسیار بالا می‌باشند. عوامل طبیعی که بر شیمی آب منطقه تاثیر گذاشته عبارتند از هوازدگی سنگ‌های کربناته و سیلیکاتها، انحلال و تبخیر هالیت و تبخیر و تبادل کاتیونی.

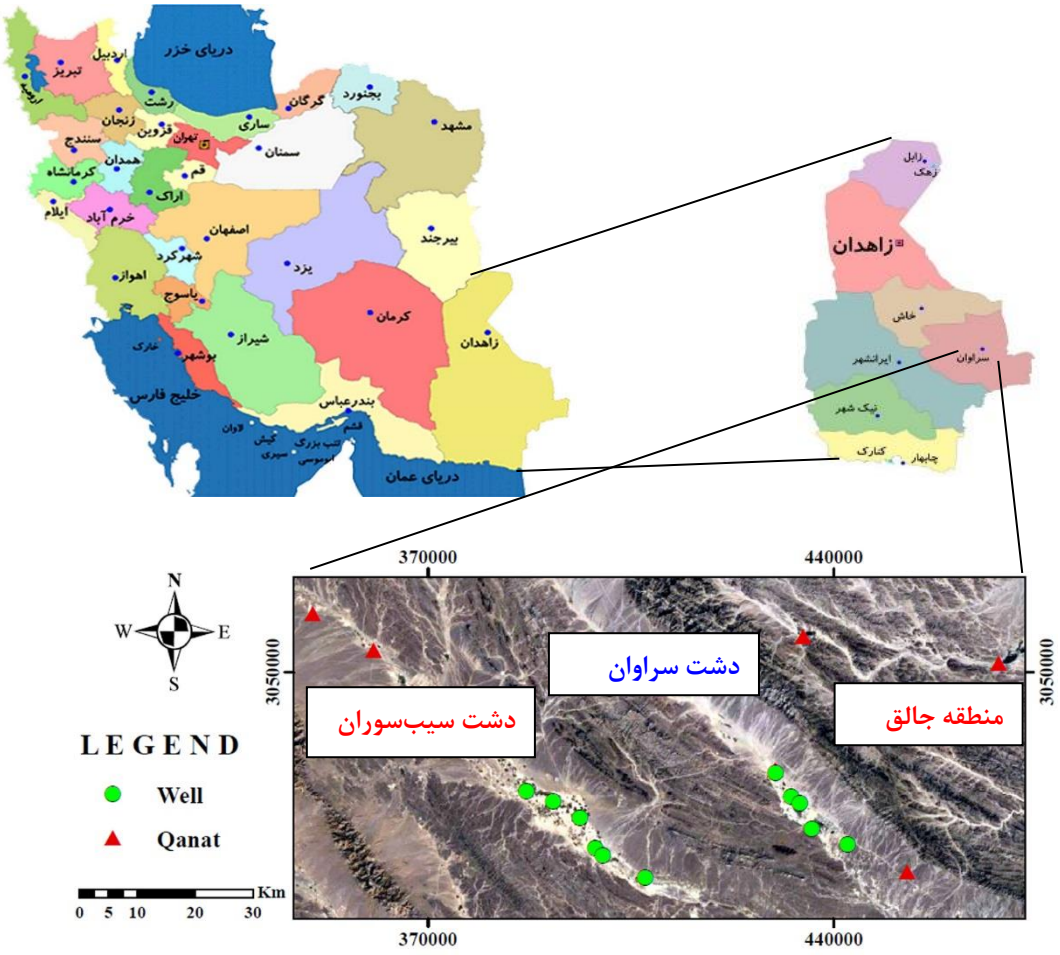
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

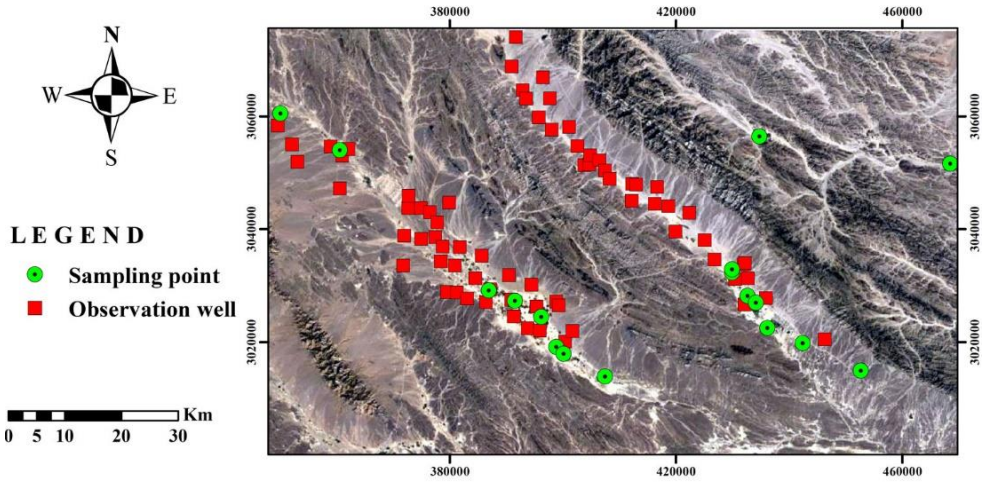
منطقه مطالعاتی در محدوده طول جغرافیایی ´´۰۰ ´۳۰ °۶۱ تا ´´۴۸ ´۱۶ °۶۲ و عرض جغرافیایی ´´۶۰ ´۰۸ °۲۷ تا ´´۲۴ ´۲۹ °۲۷ در شرق استان سیستان و بلوچستان (جنوب شرقی ایران) و در حوزه آبریز ماشکیل با وسعت تقریبی ۲۸۱۵ کیلومتر مربع قرار گرفته‌اند. رودخانه فصلی سیمیش تنها رودخانه فصلی بوده که از ارتفاعات بادامکوه (با ارتفاع حداکثر ۲۶۱۸ متر) واقع در ۳۸ کیلومتری شمال باختری سراوان سرچشمه می‌گیرد و پس از عبور از خط العقر دشت سراوان در جنوب خاوری آن با رودخانه روتک تلاقی نموده و پس از پیوستن شاخه اصلی ماشکیل، رودخانه ماشکیل را تشکیل می‌دهد (شکل ۱) (شرکت آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۷). آب و هوای شهرستان سراوان گرم و خشک، بیابانی، کویری و کم باران است در زمستان هوا معتدل و متوسط بارندگی در سال ۱۰۰ میلیمتر است. حوزه آبریز سراوان یا سیمیش رود از نظر زمین‌شناسی جزء حوزه فلیشی خاور ایران است و عمده نهشته‌های آن از جنس فلیش است. محدوده سراوان از دیدگاه زمین شناختی در زون مکران در جنوب فرورفتگی جازموریان قرار دارد. مرز غربی این منطقه گسل میناب، مرز جنوبی آن دریای عمان و مرز شرقی آن گسل چمن در کشور پاکستان می‌باشد. در حد شمالی آن گسل‌ها و تراست‌هایی با روند شرقی - غربی وجود دارند که گسل بشاگرد یکی از مهمترین آنها است. در امتداد این شکستگی‌ها، با بیرون‌زدگی‌های وسیع نمایان می‌باشد. قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه را آمیزه‌های رنگی تشکیل می‌دهند که به کرتاسه فوقانی پالئوسن تعلق دارند (به نقل از شرکت آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۷). روی تشکیلات زمین شناختی یاد شده، رسوبات ضخیم فلیش مانند ائوسن و الیگوسن وجود دارد که تناوبی از شیل، ماسه سنگ، مارن، فورش‌سنگ و کنگلومرا می‌باشد.

داده‌های پژوهش

جهت انجام این پژوهش در دشت سراوان، دشت سیب‌سوران و منطقه جالق از داده‌های کیفی نتایج آنالیز شیمیایی منابع آب زیرزمینی در ۱۷ محل نمونه‌برداری شده از چاه‌های نیمه‌عمیق و قنات‌های منطقه (شکل ۱)، داده کمی تراز سطح ایستابی ۵۴ حلقه چاه مشاهده‌ای (شکل ۲)، میزان برداشت و ساعت کارکرد و مقادیر بارش ایستگاه هوشک استفاده شده است. پارامترهای دما، هدایت الکتریکی و pH منابع آب در هنگام نمونه‌برداری و در محل اندازه‌گیری شدند. در زمان نمونه‌برداری از ظروف با حجم ۱ لیتری پلی‌اتیلن استفاده شد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه مقادیر کاتیون و آنیون اصلی اندازه‌گیری شدند. غلظت کاتیون‌های کلسیم و منیزیم با استفاده از روش حجم‌سنجی نرمال، تعیین شد. کاتیون‌های سدیم و پتاسیم با استفاده از نورسنج شعله‌ای اندازه‌گیری شده‌اند. غلظت آنیون بیکربنات به روش حجم‌سنجی بدست آمد. میزان کلراید به روش مور از طریق حجم‌سنجی تعیین گردید. اندازه‌گیری آنیون سولفات با استفاده از کلرید باریم به‌وسیله دستگاه کدرسنج انجام‌شده است.



شکل(۱): نقشه پراکندگی محل‌های نمونه‌برداری منابع آب از چاه‌ها و قنوات در منطقه مورد مطالعه

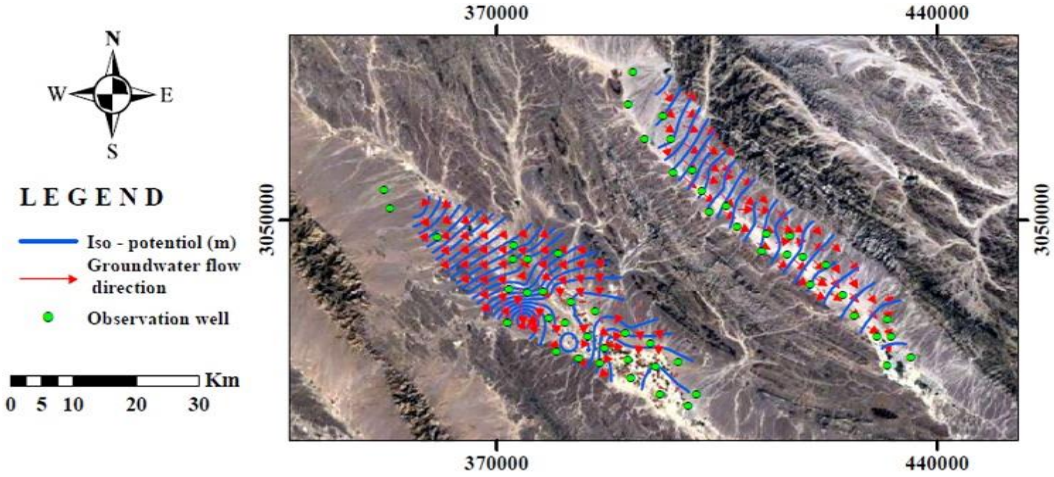


شکل (۲): نقشه پراکندگی چاه‌های مشاهده‌ای و محل‌های نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه

بحث و نتایج

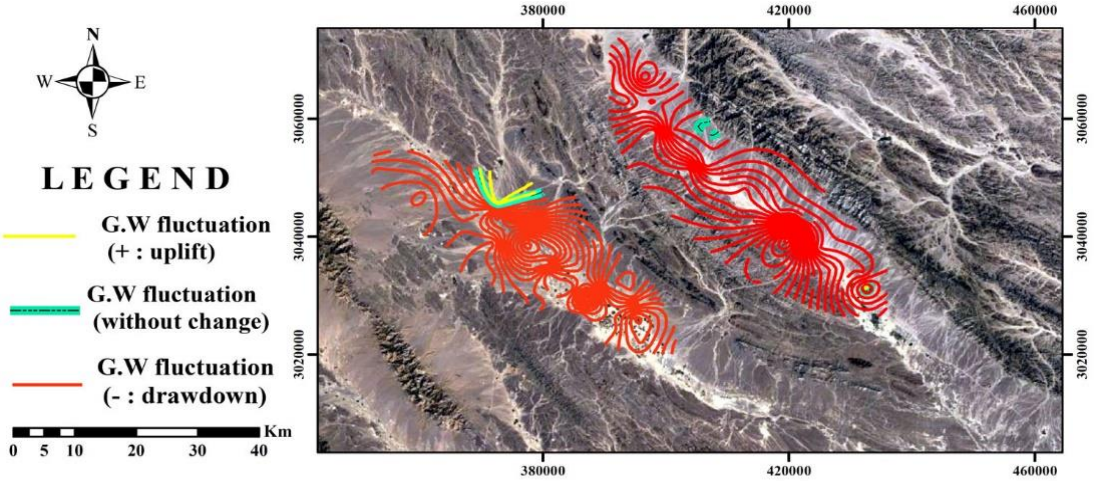
جهت جریان آب زیرزمینی

نقشه خطوط هم‌پتانسیل و جهت جریان آب زیرزمینی براساس متوسط سطح ایستابی چاه‌های مشاهده‌ای در دشت سراوان و دشت سیب‌سوران در سال ۱۳۹۹ ترسیم شده است (شکل ۳). بطور کلی در هر دو منطقه آب زیرزمینی از شمال‌غربی به‌سمت جنوب شرقی جریان دارد. این جهت جریان‌ها از توپوگرافی سطح زمین تبعیت کرده است.



شکل(۳):. نقشه هم‌پتانسیل و خطوط جریان آب‌زیرزمینی در سال ۱۳۹۹ در دو منطقه سراوان و سیب‌سوران

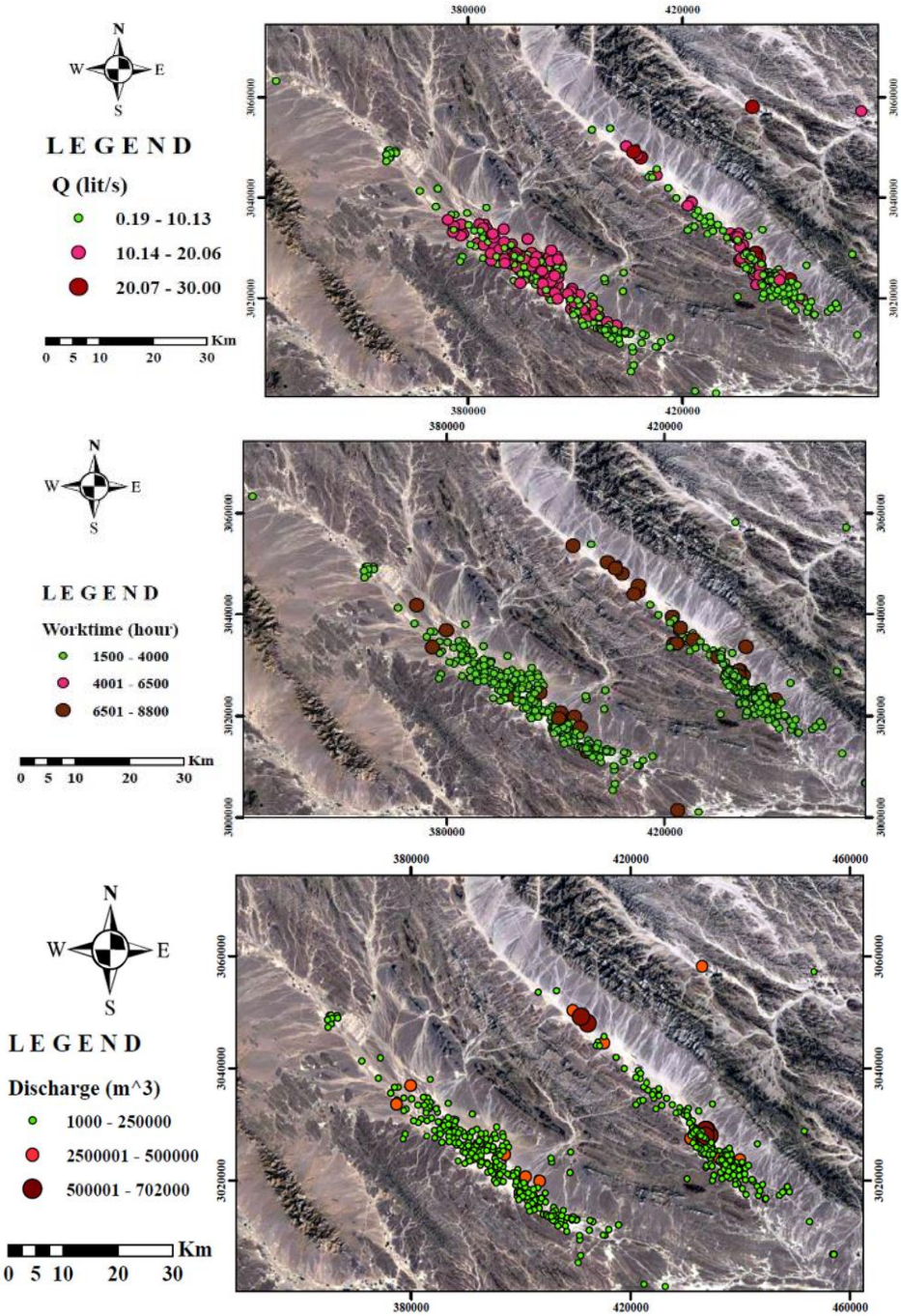
اختلاف تراز سطح ایستابی بین سال ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۹ در منطقه سراوان و سیب‌سوران (شکل ۴) نشان می‌دهد بطور کلی در کل منطقه افت سطح ایستابی تا ۷/۸۸- متر اتفاق افتاده است. بیشترین افت در دشت سیب‌سوران منطقه دیده می‌شود که بیشترین برداشت آب زیرزمینی نیز طی این سال‌ها در این قسمت از منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در قسمت شرق اختلاف افت زیاد نمی‌باشد چون برداشت آب زیرزمینی در این قسمت از منطقه کمتر بوده است.



شکل (۴): اختلاف خطوط هم‌پتانسیل سطح ایستابی بین سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۹ در دشت سراوان و سیب‌سوران

میزان برداشت از آب زیرزمینی

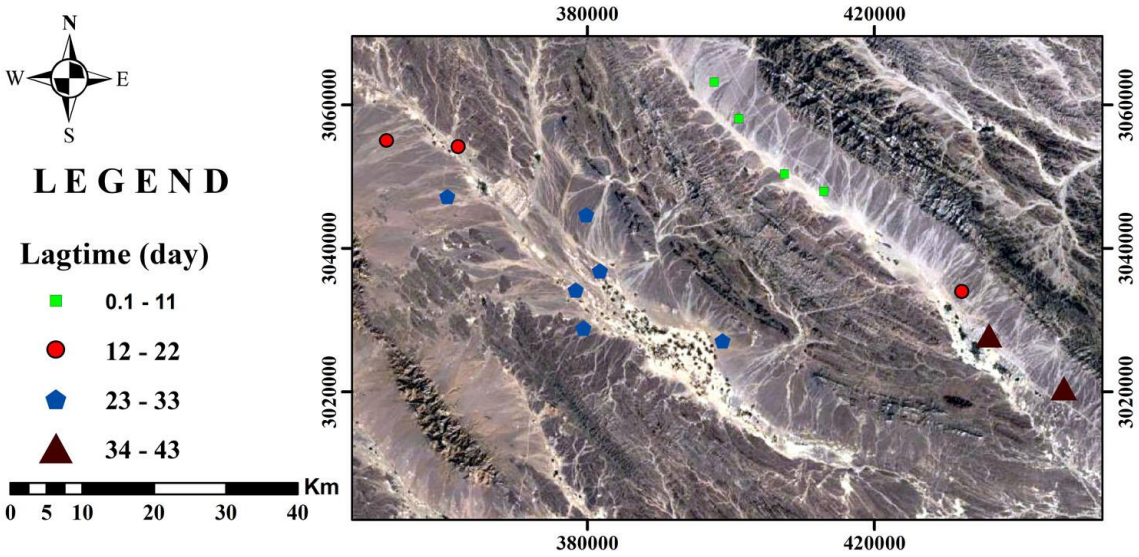
نقشه پراکندگی دبی، ساعت کارکرد و تخلیه سالانه از چاه‌های بهره‌برداری در منطقه مورد مطالعه در شکل ۵ ارائه شده است. در قسمت دشت سراوان دبی چاه‌های بهره‌برداری از مقادیر ۰/۱۹ تا ۳۰ لیتر بر ثانیه و در دشت سیب‌سوران از مقادیر ۱۰/۱۴ تا ۲۰/۰۶ لیتر بر ثانیه متغیر می‌باشد. لذا بیشترین دبی خروجی چاه‌ها در غرب یا دشت سیب‌سوران می‌باشد. بیشتر ساعت کارکرد در سال در غرب و شرق منطقه در حدود ۴۰۰-۱۵۰۰ است. تخلیه سالانه در مناطق مورد مطالعه عمدتا مقادیر ۲۵۰۰۰-۱۰۰۰ مترمکعب را به خود اختصاص داده است.



شکل(۵): نقشه پراکندگی پارامترهای دبی، ساعت کارکرد و تخلیه سالانه چاه‌های بهره‌برداری در مناطق مورد مطالعه

رابطه تغییرات بارندگی و سطح ایستابی

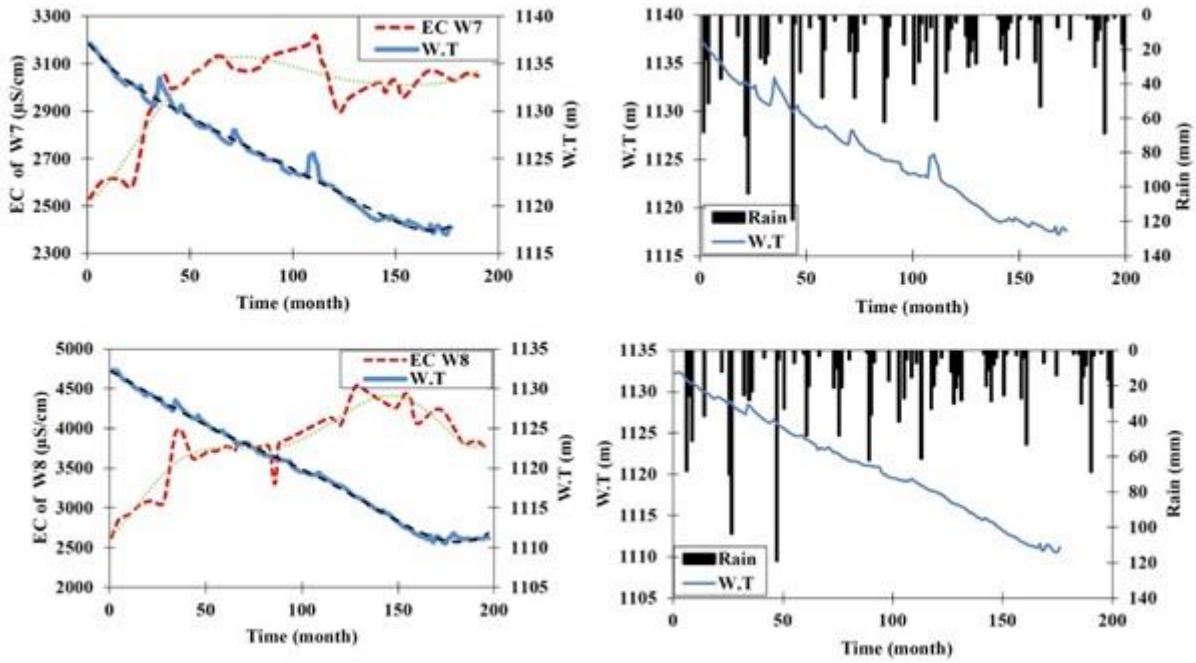
براساس روش کوهرنسی- فاز دیاگرام تاخیر زمانی بین اثر بارندگی بر سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی محاسبه شده و نقشه پراکندگی آن در شکل ۶ نشان داده شده است. کمترین تاخیرزمانی (حدودا کمتر از ۱۱ روز) در بالادست دشت سراوان دیده می‌شود و بطور کلی به سمت پایین دست مناطق مطالعاتی و همچنین در محدوده نواحی مسکونی تاخیر زمانی افزایش یافته است. این افزایش تاخیر زمانی احتمالا به دلیل کاهش اندازه ذرات و کاهش نرخ نفوذ در پایین دست و همچنین توسعه شهرنشینی (مناطق با پوشش سیمان، آسفالت و ایزوگام) ایجاد شده است.



شکل (۶):پراکندگی تأخیر زمانی بین تغییرات بارندگی و سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در مناطق مورد مطالعه

رابطه تغییرات سطح ایستابی و کیفیت آب

تغییرات زمانی، بارش، سطح ایستابی و هدایت الکتریکی آب زیرزمینی برخی از چاه‌های مشاهده‌ای منطقه مورد مطالعه از سال ۱۳۸۱ تا سال ۱۳۹۹ در شکل ۷ ترسیم شده است. در میزان تغییرات زمانی بارش روند فصلی مشاهده می‌شود اما روند که به‌خوبی نمی‌شود. در حالی‌کاهشی یا افزایش طی مدت دیده روند کاهشی سطح ایستابی در مناطق مورد مطالعه رخ داده است. همچنین دیده می‌شود هم‌زمان با کاهش سطح تراز آب زیرزمینی در اثر برداشت از دو آبخوان سراوان و سیب‌سوران، روند افزایش هدایت الکتریکی (افزایش شوری) و یا کاهش کیفیت آب زیرزمینی اتفاق افتاده است.



شکل(۷): نمودار تغییرات زمانی هدایت الکتریکی، بارش و سطح ایستابی در مناطق مورد مطالعه

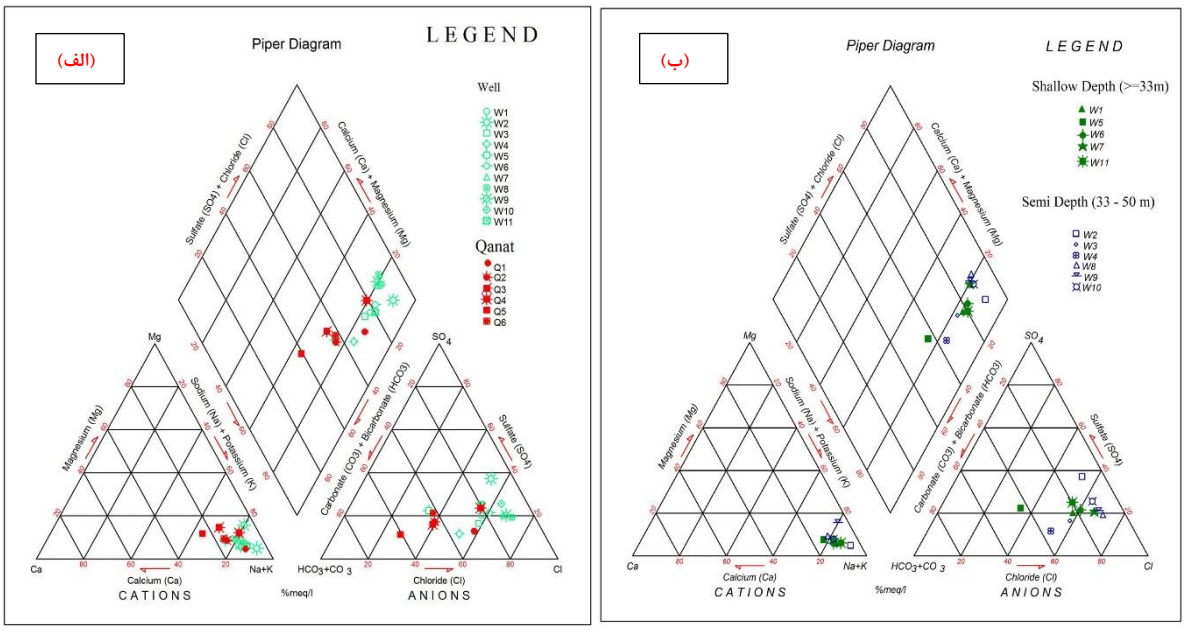
آب‌زمین‌شیمی منابع آب زیرزمینی

با استفاده از نمودار پایپر (شکل ۸) مشخص است که در آب‌زیرزمینی مناطق مورد مطالعه سه رخساره آب NaCl, NaSO4 و NaCl(HCO3) وجود دارد. به‌طور کلی دیده می‌شود روند افزایش کلراید و سدیم از منابع آب قنوات به منابع آب چاه در مناطق مورد مطالعه رخ داده است. به منظور اثر عمق چاه بر تیپ آب زیرزمینی، نوع چاه کم عمق و نیم عمیق نمونه‌های آب بر روی نمودار پایپر در شکل ۸ مشخص شده است. بر اساس آن دیده می‌شود که افزایش عمق چاه سبب افزایش درصد کلراید و سدیم شده است. نقشه پراکندگی رخساره نمونه‌های آب در شکل ۹ نشان می‌دهد که تیپ کلروسدیک عمدتا در محدوده سراوان و جالق و رخساره کلرو-بیکربنات سدیک در دشت سیب‌سوران گسترش یافته است.

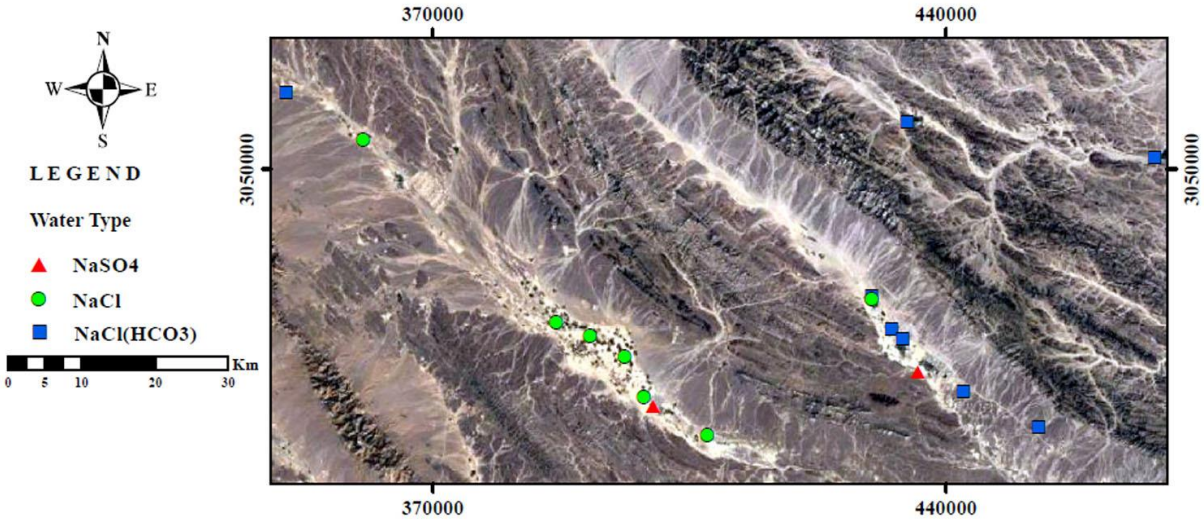
هدایت الکتریکی آب زیرزمینی (شکل ۱۰) در مناطق مورد مطالعه حدودا بین ۵۰۰ تا ۹۵۰۰ میکروموهس بر سانتی‌متر متغیر می‌باشد. کمترین مقدار هدایت الکتریکی در قنات Q5 در شرق منطقه سراوان و بیشترین مقدار آن در چاه W2 در دشت سراوان مشاهده می‌شود. مقدار pH منابع آب محدوده مطالعاتی ۷/۴ تا ۷/۹ متغیر است و بطور کلی از بالادست به سمت پایین دست دو دشت کاهش آن دیده می‌شود (شکل ۱۰). در آب زیرزمینی مناطق مورد مطالعه، کلسیم غلظتی بین ۱۷/۳۴ تا ۱۰۲/۶۲ میلی‌گرم در لیتر دارد. کمترین غلظت در قنات Q2 و بیشترین غلظت مربوط به چاه W10 می‌باشد (شکل ۱۱). پراکندگی غلظت کلسیم در منطقه جالق کمتر بوده و در دو منطقه سراوان و سیب‌سوران تفاوت چندانی با هم ندارند. مقدار منیزیم از غلظت ۵/۸۶ تا ۵۴/۹۱ میلی‌گرم در لیتر متغیر است. مشابه با کلسیم کمترین غلظت یون منیزیم در قنات Q2 و بیشترین غلظت به چاه W10 مربوط می‌شود (شکل ۱۱). یون سدیم از غلظت ۶۶/۰۱ تا ۱۷۸۹/۴ میلی‌گرم در لیتر در منابع آب زیرزمینی تغییر کرده است و یون پتاسیم غلظتی بین ۲/۴۸ تا ۳۳/۶۳ میلی‌گرم در لیتر دارد. نقشه پراکندگی این دو مشابه هدایت الکتریکی است و از هدایت الکتریکی پیروی می‌کند (شکل ۱۱).

در منابع آب مناطق مطالعاتی یون کلراید از غلظت ۴۶/۰۵ تا ۱۶۳۹/۶۱ میلی‌گرم در لیتر در حال تغییر است (شکل ۱۲). کمترین و بیشترین غلظت به ترتیب مربوط به قنات Q5 و چاه W2 در قسمت شرق و مرکز منطقه مطالعاتی می‌باشد. بطور کلی در آب زیرزمینی منطقه سیب‌سوران، کلراید بیشتری نسبت به منطقه سراوان دیده می‌شود. یون کربنات از غلظت ۰/۰۰۱ میلی‌گرم تا ۵/۴۵ میلی‌گرم در لیتر متغیر است. نقشه پراکندگی یون کربنات (شکل ۱۲) نشان می‌دهد که دو دشت از شمال غرب به جنوب شرق روند افزایشی دارد و در چاه W2 بیشترین غلظت و در چاه‌های W1 و W7 کمترین غلظت دیده می‌شود. در منابع آب زیرزمینی یون بی‌کربنات از غلظت ۱۵۰/۳۵ تا ۴۹۵/۷۶ میلی‌گرم در لیتر در حال تغییر است (شکل ۱۲). بیشترین غلظت مربوط به چاه W1 و W2 و کمترین غلظت مربوط به قنات Q2 است. بازه مقدار یون سولفات در آب زیرزمینی مناطق مورد مطالعه از غلظت ۲۵/۳۱۵ تا ۱۵۵۵/۰۲ میلی‌گرم در لیتر تغییر یافته است. بیشترین غلظت یون سولفات در چاه W2 و کمترین آن در قنات Q5 دیده می‌شود (شکل ۱۲). نقشه پراکندگی این یون نشان می‌دهد هر چند حداکثر غلظت این یون در منطقه سراوان دیده می‌شود اما بطور کلی منابع آب محدوده سیب‌سوران سولفات بیشتری در مقایسه با منطقه سراوان دارد.

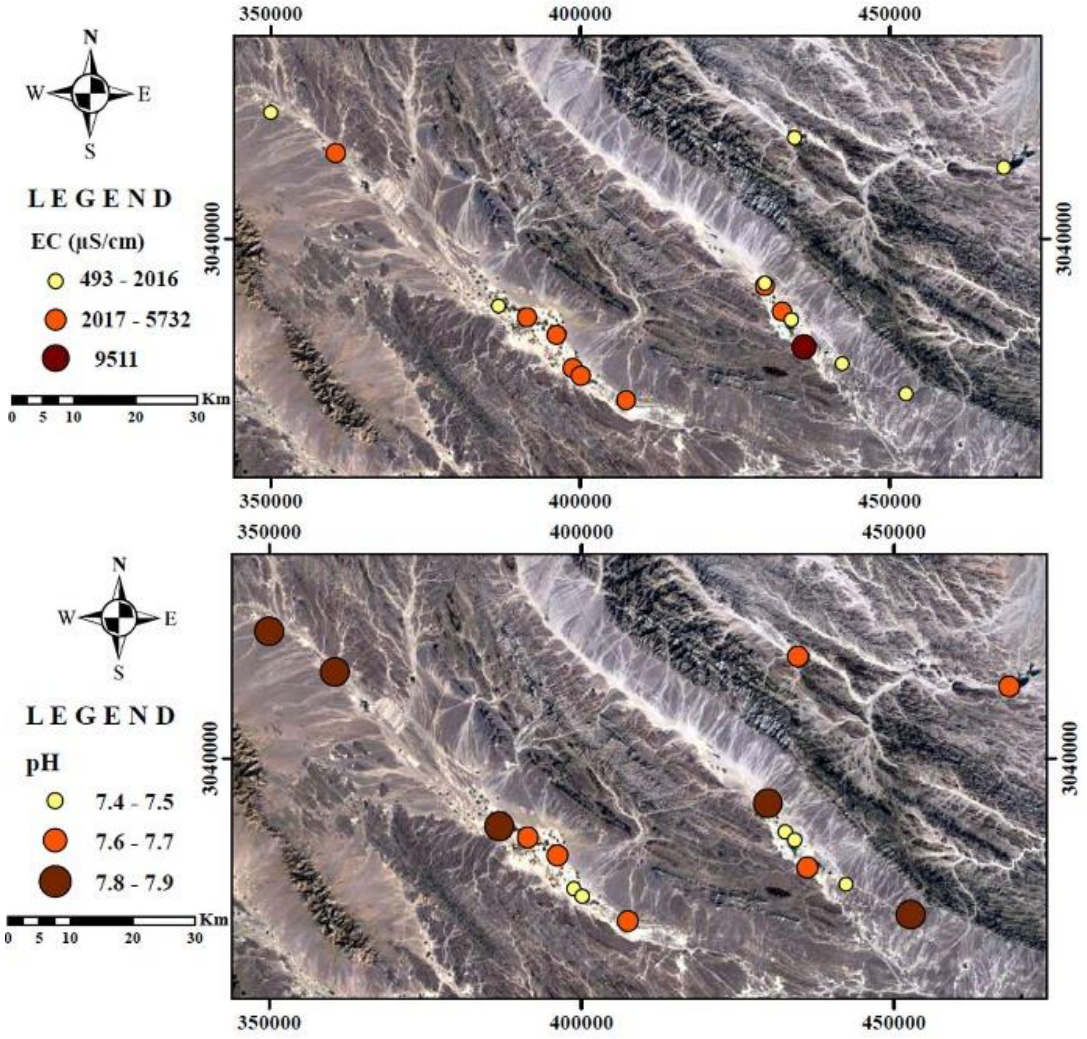
معمولا در طول مسیر حرکت آب زیرزمینی مقدار یون کلراید افزایش می‌یابد زیرا این یون پایستار بوده و در واکنش‌های شیمیایی شرکت نمی‌کند. براساس این ویژگی است که در مدل‌سازی انتقال جرم در آب زیرزمینی از یون کلراید جهت واسنجی پارامترهای پراکنش طولی و عرضی آبخوان استفاده می‌شود. لذا، می‌توان غلظت کلراید را معیاری از طول طی شده مسیر آب زیرزمینی در نظر گرفت (تاد و میز، ۲۰۰۵). براین اساس نمودارهای دو متغیره غلظت یون کلراید با غلظت یون‌های اصلی ترسیم شده است (شکل ۱۳). یون‌های سولفات، پتاسیم، سدیم، منیزیم و کلسیم روند افزایشی نسبتا خوبی با یون کلراید دارند. در حالی‌که برای یون کربنات روند افزایشی با شیب کم‌تر دیده می‌شود. علت آن می‌تواند به دو دلیل باشد: ۱- انحلال کانی‌های کربنات‌دار در طول مسیر آب زیرزمینی؛ آب نسبت به بیکربنات یا کربنات در مقایسه با کلراید زودتر به حالت اشباع می‌رسد و بعد از مدتی انحلال بی‌کربنات و کربنات رخ نمی‌دهد و یا حتی تمایل به رسوب دیده می‌شود ۲- تغییرات pH باعث تغییر در مقدار بی‌کربنات می‌شود.



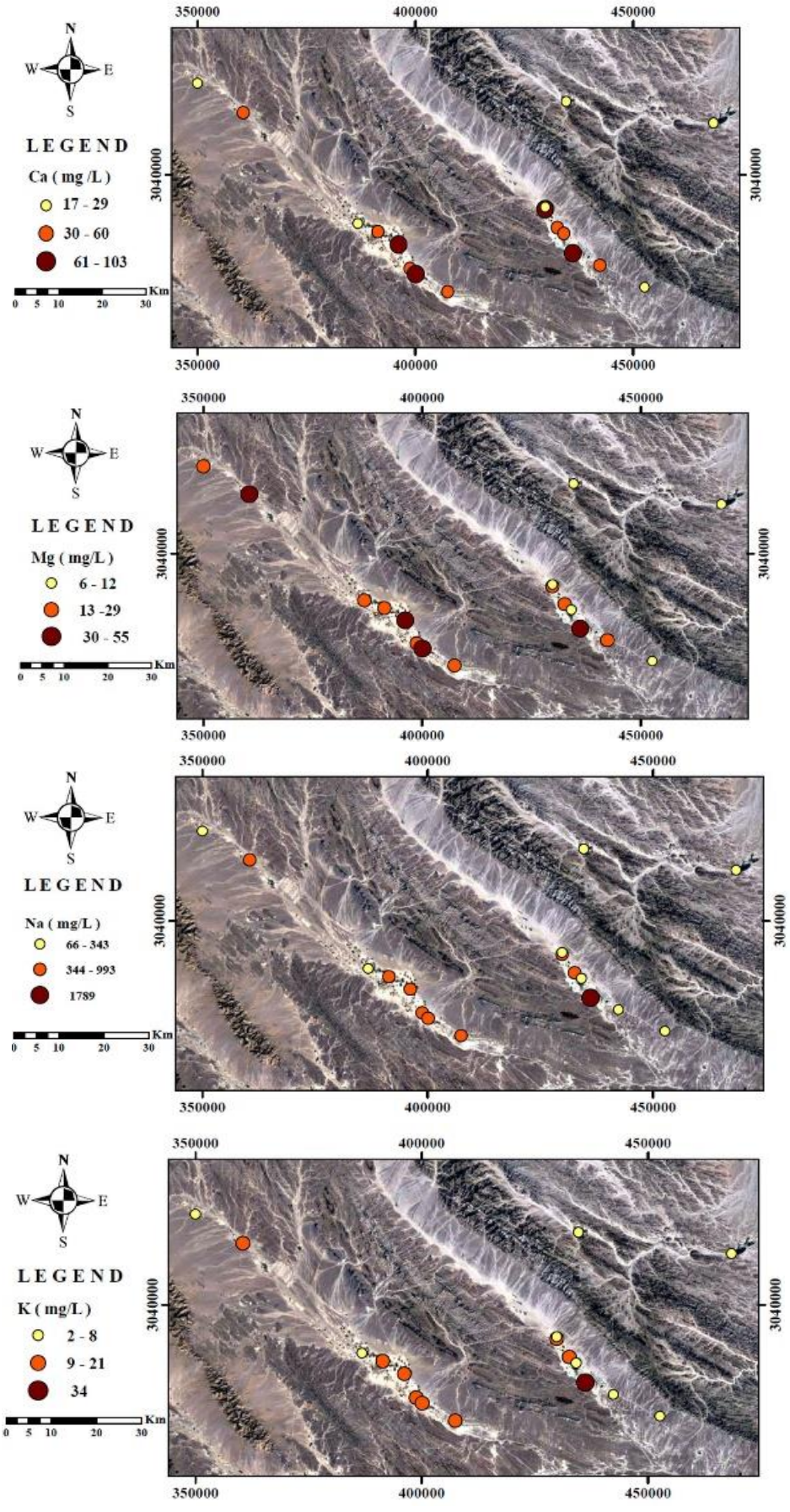
شکل(۸): نمودار پایپر نمونه‌های کلی آب زیرزمینی در مناطق مورد مطالعه



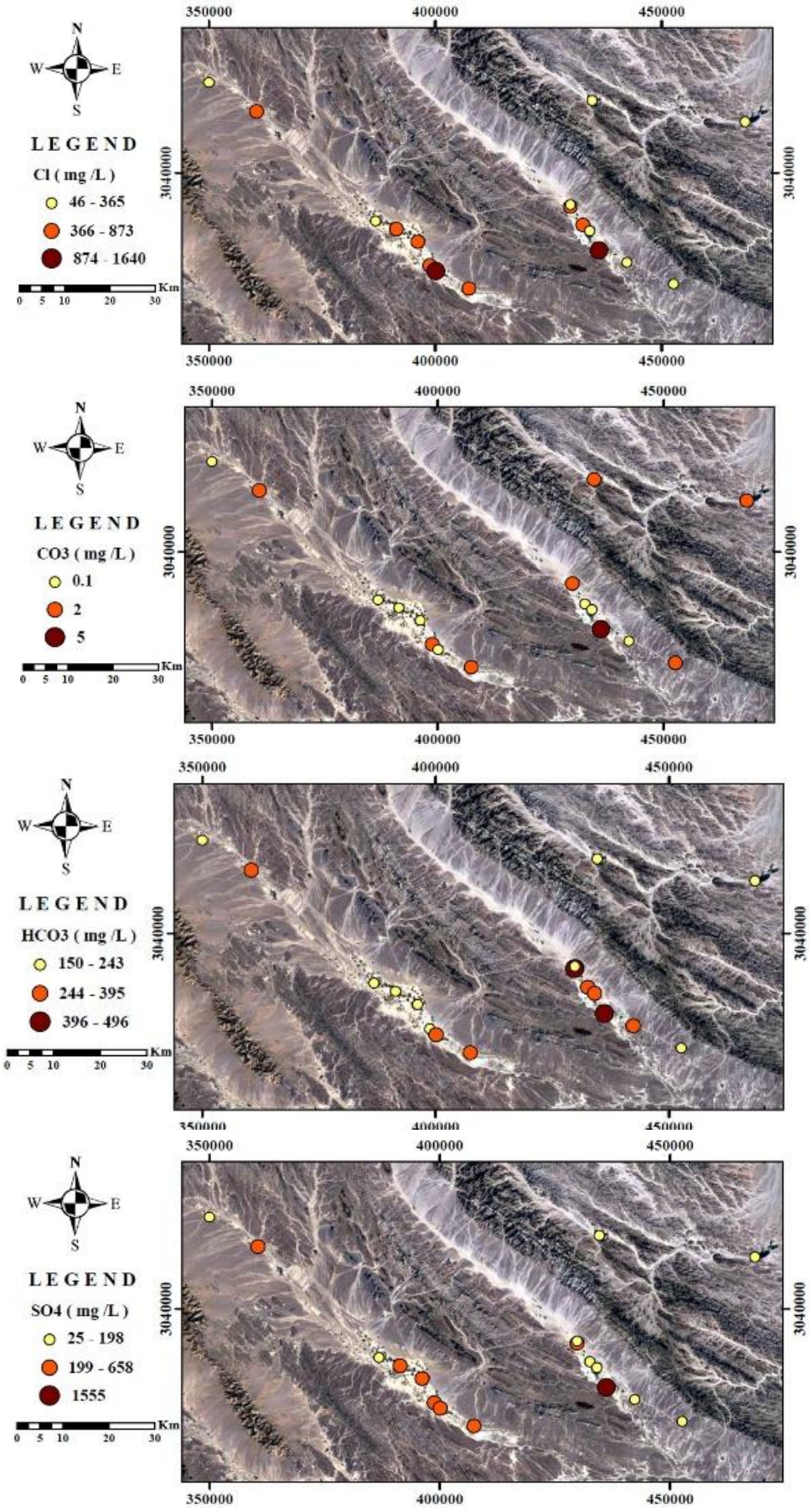
شکل (۹):. نقشه پراکندگی نوع آب زیرزمینی در مناطق مورد مطالعه



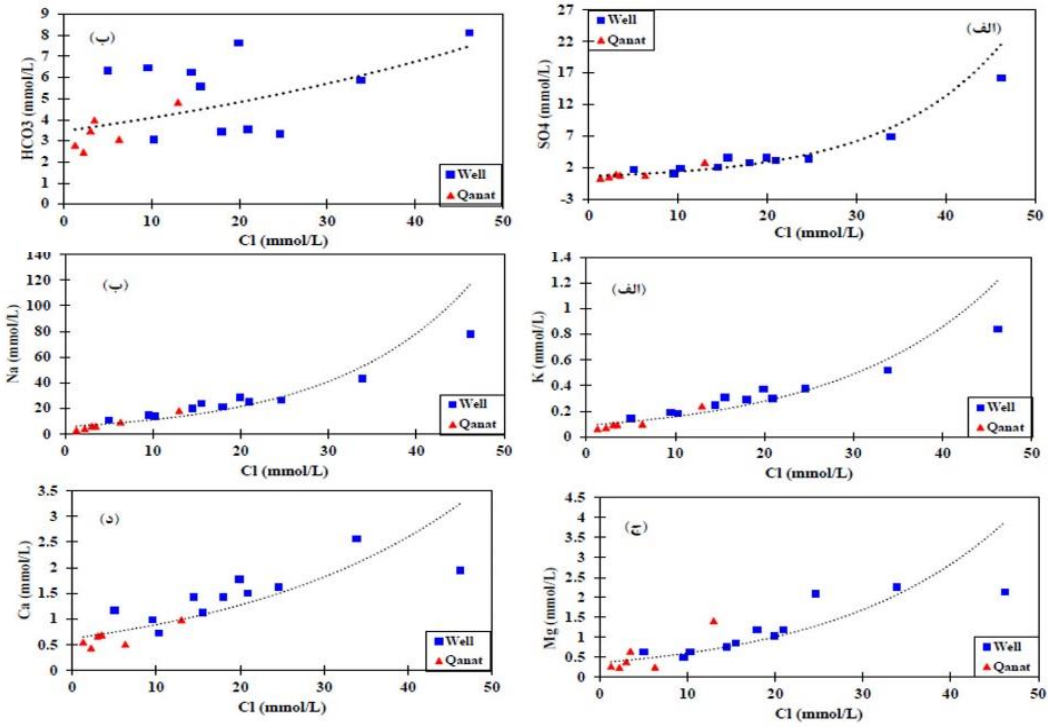
شکل (۱۰): نقشه پراکندگی EC و pH در آب زیرزمینی مناطق مورد مطالعه


N
W
E
S
LEGEND
Ca (mg /L)
17 - 29
30 - 60
61 - 103
Km
0 5 10 20 30
350000
400000
450000
3040000
LEGEND
Mg (mg/L)
6 - 12
13 -29
30 - 55
LEGEND
Na (mg/L)
66 - 343
344 - 993
1789
LEGEND
K (mg/L)
2 - 8
9 - 21
34

شکل (۱۱): نقشه پراکندگی کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم در آب زیرزمینی مناطق مورد مطالعه


N
W
E
S
LEGEND
Cl (mg /L)
46 - 365
366 - 873
874 - 1640
Km
0 5 10 20 30
350000
400000
450000
3040000
LEGEND
CO3 (mg /L)
0.1
2
5
LEGEND
HCO3 (mg /L)
150 - 243
244 - 395
396 - 496
LEGEND
SO4 (mg /L)
25 - 198
199 - 658
1555

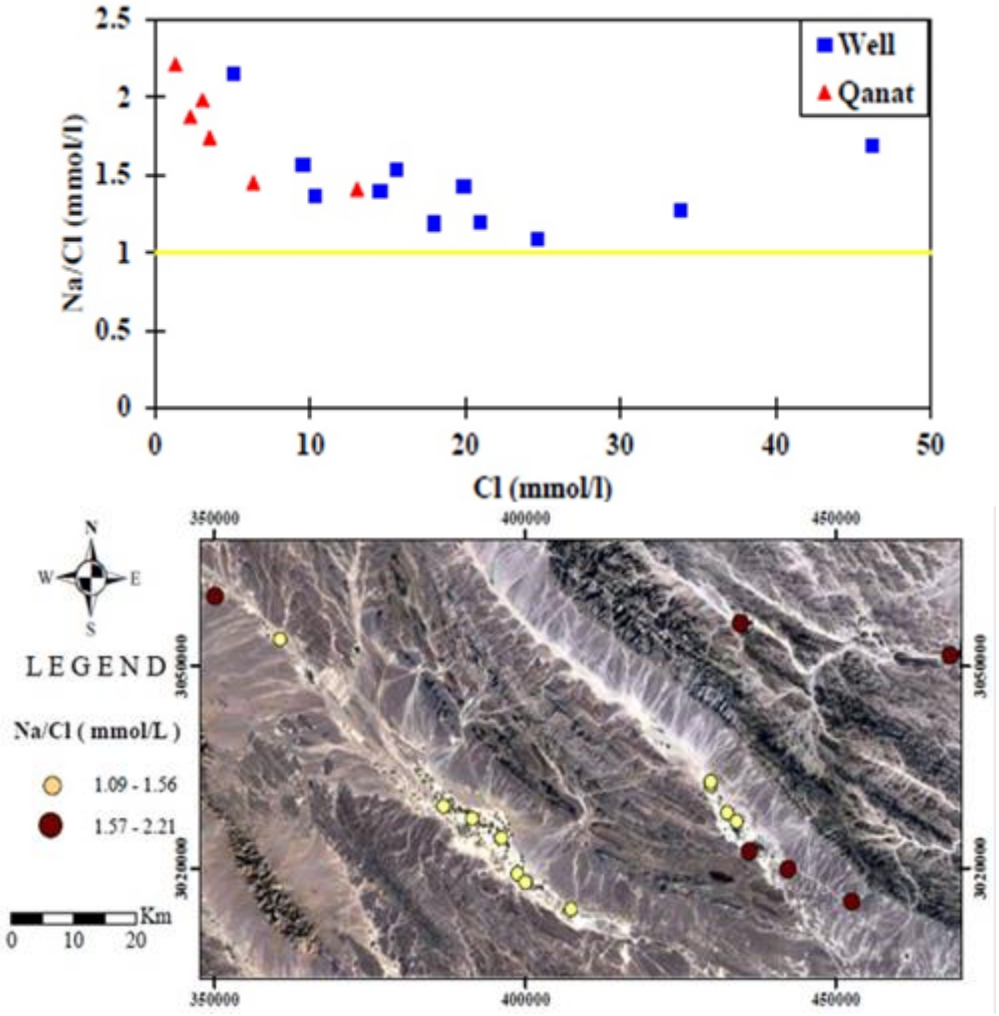
شکل (۱۲:نقشه پراکندگی کلراید، کربنات، بی‌کربنات و سولفات در آب زیرزمینی مناطق مورد مطالعه



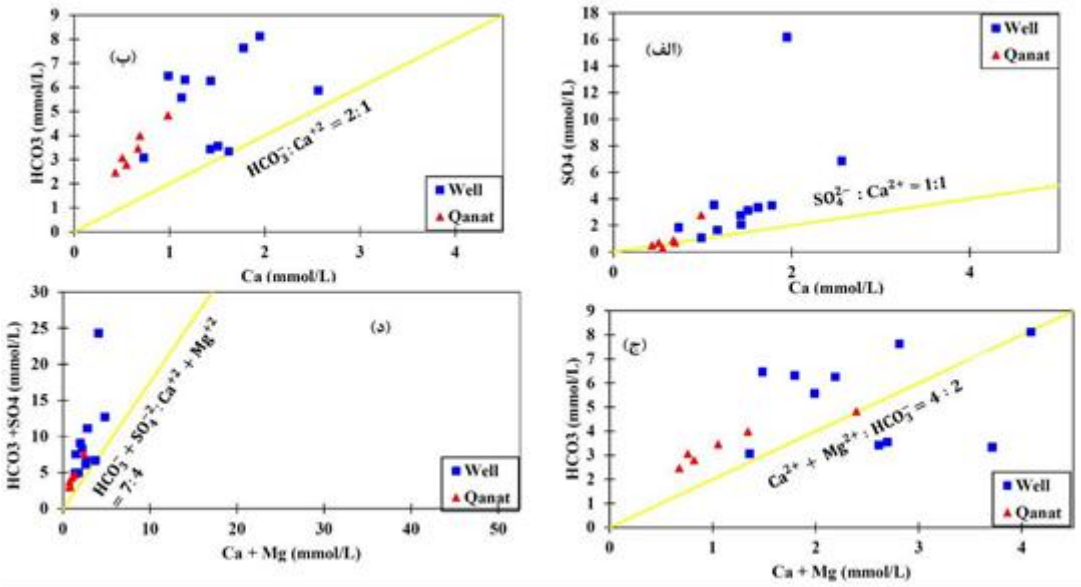
شکل (۱۳): نمودار تغییر یون‌های اصلی در برابر کلرید در منابع آب منطقه مورد مطالعه

جهت فهم تأثیر فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی برکیفیت آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نسبت‌های یونی مد نظر قرار گرفته است. از مقدار نسبت مولی Na/Cl می‌توان به منشأ سدیم در آب زیرزمینی منطقه پی برد. در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود که نسبت مولی Na/Cl بیشتر نمونه‌ها بالای عدد ۱ می‌باشند و این نشان می‌دهد به جز هالیت منشاهای دیگری سبب ورود سدیم به آب زیرزمینی منطقه شده است؛ که محتمل‌ترین آن هوازدگی‌های سیلیکاتهای سدیم‌دار می‌باشد. نقشه پراکندگی این نسبت در شکل ۱۴ بیان می‌کند در منطقه سراوان اثر هوازدگی سیلیکات‌ها بر شیمی آب زیرزمینی بیش از منطقه سیب‌سوران است.

در شکل ۱۵الف نمودار سولفات در مقابل کلسیم نشان می‌دهد که نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بالای خط نسبت ۱:۱ قرار گرفته اند. لذا به جز انحلال ژیپس بخشی از کلسیم در منابع دیگر به آب زیرزمینی ورود کرده است. نمودار کلسیم در مقابل بی‌کربنات در شکل ۱۵ ب و ج نیز بیان می‌کند انحلال کلیست و دولومیت نیز همه کلسیم و منیزیم آب زیرزمینی را تامین نمی‌کند. شکل ۱۵د نشان می‌دهد انحلال هم زمان ژیپس کلسیت و دولومیت و همچنین سلیکات‌های کلسیم‌دار در منطقه رخ داده است



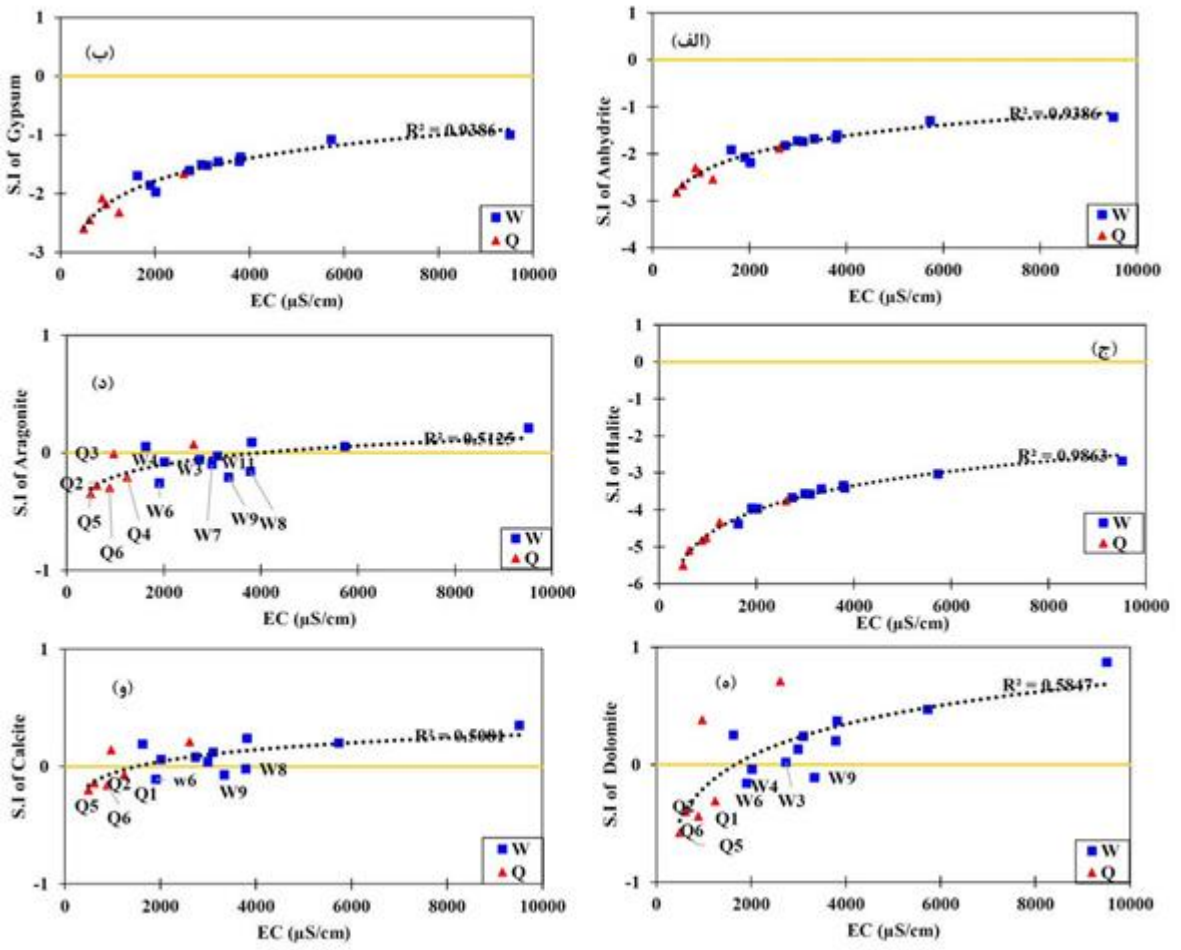
شکل (۱۴): نمودار نسبت مولی Na/Cl در مقابل Cl و نقشه پراکندگی آن



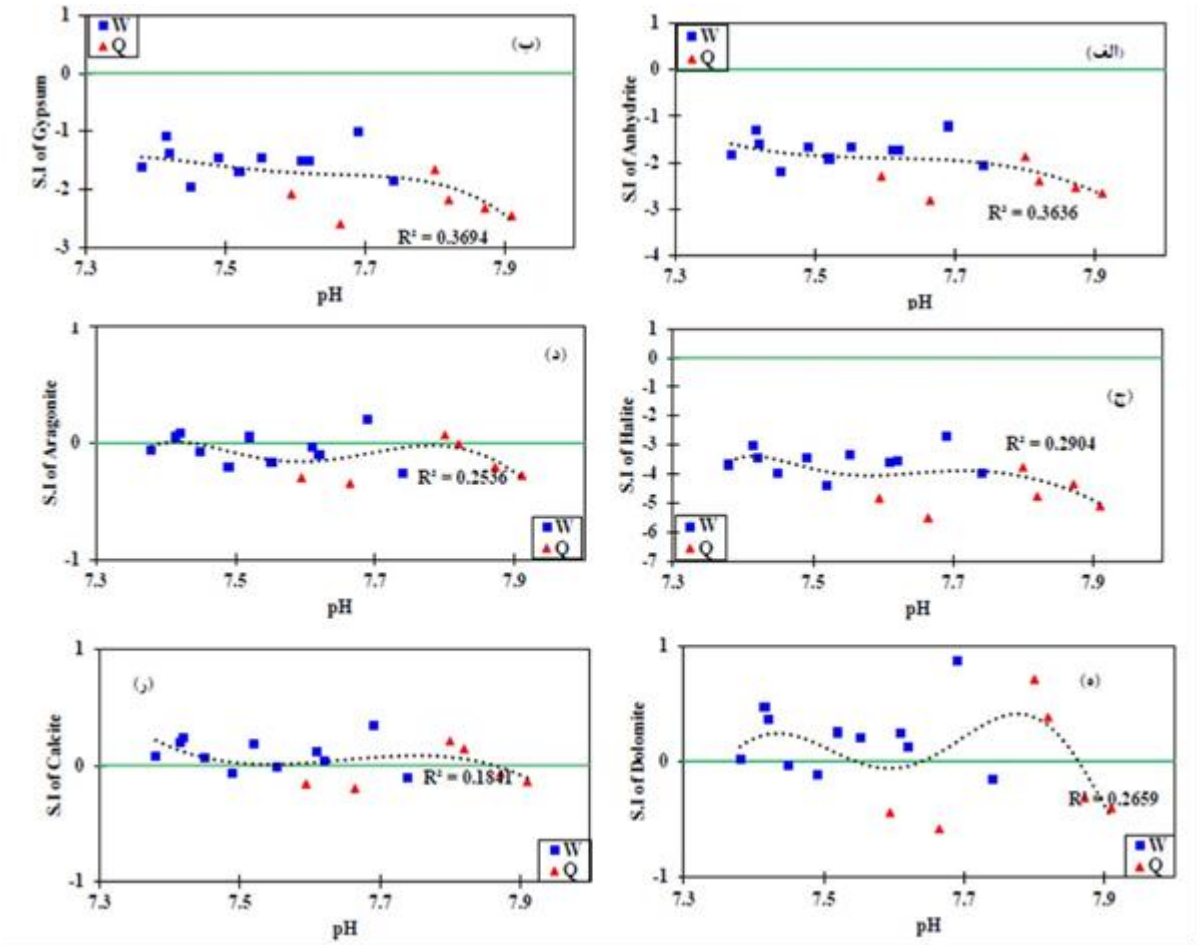
شکل (۱۵): نمودار نسبت‌های یونی یون‌های اصلی

با محاسبه اندیس اشباع برخی از کانی‌های معمول موجود در واحدهای زمین شناسی دیده می‌شود که در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه کانی‌های انیدریت، ژیپس و هالیت اندیس اشباع منفی داشته و تمایل به انحلال دارند (شکل ۱۶). در حالی‌که کانی‌های کربناته آراگونیت، دولومیت و کلسیت در بیشتر موارد به حالت اشباع و یا فوق اشباع هستند (شکل ۱۶). کانی آراگونیت در محل قنات‌های Q2،Q3،Q54و Q6 و چاه‌های W3 ، W4 ، W6 ، W7 ، W8،W9و W11 تحت اشباع می‌باشد و لذا حل شدن این کانی در آب زیرزمینی رخ می‌دهد (شکل ۱۶). کانی دولومیت در نمونه قنات‌های Q2،Q1 ، Q5 و Q6 و چاه‌های W6،W4 و W9حالت تحت اشباع دارند و در چاه W3 این کانی بصورت اشباع می‌باشد (شکل ۱۶). کانی کلسیت در نمونه‌های Q1، Q2 وQ6 ،Q5 ،W6 ،W8 و W9 تحت اشباع دیده می‌شوند (شکل ۱۶). بطور کلی با افزایش شوری منابع آب، افزایش اندیس اشباع کانی‌ها رخ داده است و این اندیس‌ها در منابع آب چاه‌ها بیش از منابع آب قنوات می‌باشد.

رابطه اندیس اشباع کانی‌ها با افزایش مقدار pH در منابع آب در شکل ۱۷ ارائه شده است. بطور کلی یک رابطه معکوس دیده می‌شود. به عبارت دیگر با افزایش قلیایت منابع آب کاهش اندیس اشباع و یا افزایش تمایل به انحلال بیشتر شده است



شکل (۱۶): مقادیر اندیس اشباع کانی‌های انیدریت (الف)، ژیپس(ب)، هالیت (ج)، آراگونیت (د)، دولومیت (ه) و کلسیت (و) در مقابل افزایش شوری منابع آب



شکل (۱۷):اندیس اشباع در مقابل pH انیدریت (الف)، ژیپس (ب)، هالیت (ج)، آراگونیت (د)، دولومیت (ه) کلسیت (و)

ضریب همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی منابع آب منطقه مورد مطالعه به روش پیرسون در جدول ۱ ارائه شده است. پارامترهایی که ضریب همبستگی آن‌ها بالای ۰/۶ است؛ دارای همبستگی نسبتا خوبی می‌باشند. یون سولفات بیشترین ضریب همبستگی مثبت را با یون‌های Na، K، Ca، Mg، Cl، HCO3 و CO3 به ترتیب برابر با ۰/۹۷۷، ۰/۹۵۶، ۰/۶۴۹، ۰/۷۹۵، ۰/۹۱، ۰/۶۰۲و ۰/۷۸۴دارد. pH با همه عنصرها رابطه منفی دارند به جز یون بی‌کربنات که کمترین مقدار در بین یون‌ها را دارا می‌باشد. کلراید با همه یون‌ها رابطه مثبت دارد اما بیشترین ضریب همبستگی با یون پتاسیم می‌باشد.

برای بررسی تاثیرگذاری عوامل روی ترکیب آب زیرزمینی از روش تحلیل عاملی استفاده شده است (جدول ۲). در منطقه مورد مطالعه ۲ عامل موثر، که مقادیر ۸۸/۴۳۸ تغییرات واریانس کل آن می‌باشد، شناسایی شده‌اند. در عامل اول همه یون‌ها به جز کربنات بار بالایی دارند. لذا عامل اول انحلال کانی‌ها می‌باشد که کیفیت منابع آب را کنترل می‌کند. با توجه به بار عاملی بالای pH در عامل دوم، این مولفه عوامل کنترل کننده اسیدیته/قلیات منابع آب می‌باشد؛ که معمولا انحلال کانی‌های کربناته را شامل می‌شود.

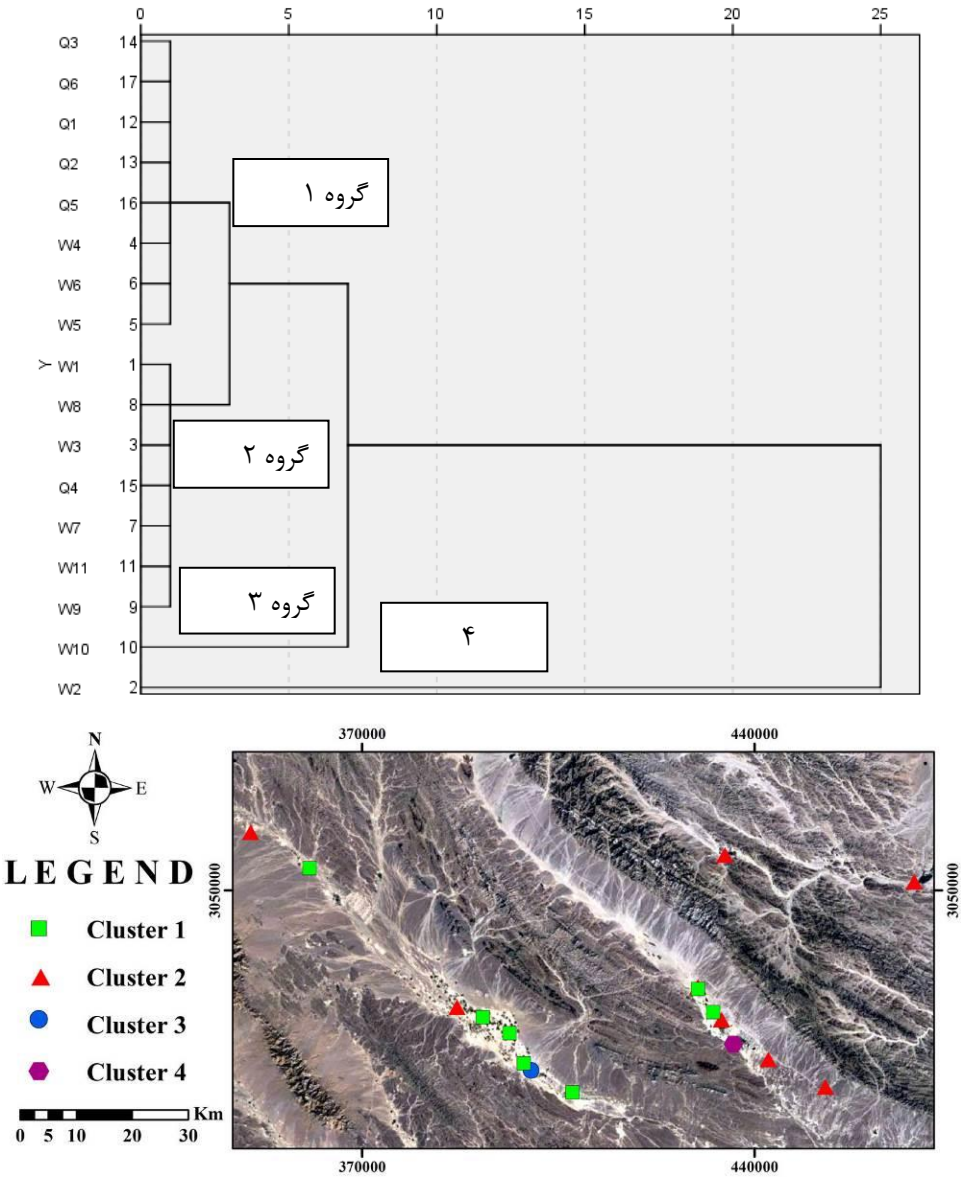
جدول (۱): ضریب همبستگی پیرسون بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی منابع آب منطقه مورد مطالعه

	Na	K	Ca	Mg	Cl	Hco3	Co3	So4	pH
Na	۱								
K	۰/۹۹۴	۱							
Ca	۰/۷۶۸	۰/۸۲	۱						
Mg	۰/۸۵۶	۰/۸۸۹	۰/۸۹۱	۱					
Cl	۰/۹۷۱	۰/۹۸۵	۰/۸۷	۰/۹۲۴	۱				
Hco3	۰/۶۴۶	۰/۶۳۸	۰/۵۴۸	۰/۴۵۸	۰/۵۵۶	۱			
Co3	۰/۶۸۲	۰/۶۱۱	۰/۱۱۵	۰/۳۴۸	۰/۵۴۳	۰/۲۸۹	۱		
So4	۰/۹۷۷	۰/۹۵۶	۰/۶۴۹	۰/۷۹۵	۰/۹۱	۰/۶۰۲	۰/۷۸۴	۱	
pH	-۰/۲۷۸	-۰/۳۲۲	-۰/۶۵۱	-۰/۳۲۱	-۰/۳۵۶	-۰/۵۴۹	۰/۲۸	-۰/۱۳۴	۱

جدول(۲): ضرایب تحلیل عاملی

	Component	
	۱	۲
Na	۰/۹۸۶	۰/۱۵۲
K	۰/۹۹۲	۰/۰۷۹
Ca	۰/۸۵۵	-۰/۴۳۳
Mg	۰/۹۰۱	-۰/۰۸۳
Cl	۰/۹۸۰	۰/۰۱۸
HCO3	۰/۶۸۷	-۰/۲۶۸
CO3	۰/۵۷۴	۰/۷۴۴
SO4	۰/۹۴۰	۰/۳۱۲
pH	-۰/۴۰۱	۰/۸۴۰

در تحلیل خوشه‌ای طبقه‌بندی نمونه‌های آب زیرزمینی از طریق شباهت‌ها با توجه به ویژگی‌های هیدروشیمیایی انجام شده است (شکل ۱۸) گروه اول چاه‌های W5، W6، W4 و قنات‌های Q1، Q2، Q3، Q6 و Q5 با تیپ آب NaCl (HCO3)، گروه دوم شامل چاه‌های و قنات W9، W1، W7، Q4، W3، W8 و W11 با تیپ آب NaCl ، گروه سوم چاه W2 و گروه چهارم چاه W10 با تیپ آب NaSO4 تشخیص داده شده است.



شکل (۱۸): نمودار خوشه‌ای برمبنای یون‌های اصلی و نقشه پراکندگی آن در منطقه مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

در دو منطقه سراوان و سیب‌سوران حرکت و جهت جریان آب زیرزمینی از توپوگرافی سطح زمین پیروی کرده و از طرف شمال‌غربی به سوی جنوب‌شرقی است. در مناطق مورد مطالعه برداشت آب، تخلیه سالانه و دبی در مرکز و قسمت شهرنشینی بیشتر می‌باشد و دلیل حفر چاه‌های زیاد در منطقه، افت سطح ایستابی رخ داده است. میزان دبی چاه‌های بهره‌برداری، ساعت کارکرد و برداشت سالیانه در آبخوان سیب‌سوران بیش از از دشت سراوان می باشد و به همین دلیل در دشت سیب‌سوران بیشترین تغییرات زمانی و مکانی سطح ایستابی ایجاد شده است. رخساره کلروره بیشترین گسترش را آب زیرزمینی مناطق مورد مطالعه دارد و کاهش کیفیت آب زیرزمینی در منطقه بیشتر در مرکز قسمت شهرنشینی دو دشت می‌باشد و در قنات‌ها کیفیت آب بهتر از چاه‌های منطقه می‌باشد. زیرا از یک طرف مادر چاه قنوات در بالاست آبخوان و درون مخروط افکنه که آب زیرزمینی کیفیت بهتری دارد، حفر شده اند و از طرف دیگر سیستم زهکشی قنوات به نحوی است که فقط آب زیرزمینی مازاد بالاتر از تراز دهنه قنات خارج می شود و آب‌های زیرزمینی عمیق‌تر آبخوان که شوری بیشتری دارد را خارج نمی‌کند. بر اساس نمودارهای دو متغیره غلظت یون کلراید در آب‌زیرزمینی منطقه مورد

مطالعه با غلظت یون‌های سولفات، پتاسیم، سدیم، منیزیم و کلسیم روند افزایشی نسبتا خوبی با یون کلراید دارند. در حالیکه برای یون کربنات روند افزایشی با شیب کم‌تر دیده می‌شود. در نهایت عامل اصلی کنترل کننده کیفیت منابع آب زیرزمینی در مناطق مطالعاتی تاثیر واحدهای زمین شناسی می‌باشد که در ادامه براثر عوامل انسانی (برداشت آب زیرزمینی) نرخ کاهش کیفیت آب زیرزمینی را تشدید کرده است. لذا پیشنهاد می‌گردد به منظور کاهش اثرات نامطلوب برداشت از منابع آب در مناطق مورد مطالعه، محدودیت عدم پمپاژ آب زیرزمینی از چاه W2 اعمال گردد و مطالعات و طرح‌های آبخیزداری در بالادست این دو منطقه، جهت مهار سیلاب‌ها و نفوذ آن به آبخوان مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

احمدی، س.، جهانشاهی، ر.، معینی، و. و مالی، س. ۱۳۹۶. ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی منطقه معدنی اردستان، استان اصفهان. فصلنامهٔ کواترنری ایران، دورهٔ ۳، شمارهٔ ۴، ص ۴۰۳- ۳۸۷.

خردناروئی، ص.، روحی‌مقدم، ع.، نهتانی، م. و سرگزی، ح. ۱۳۹۹. بررسی تاثیر خشکسالی بر کیفیت آبخوان دشت ایرانشهر با استفاده از شاخص SPI و روش شولر. نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری، دوره:۱۴، شماره ۵۱، ص ۵۸-۴۹.

شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان. ۱۳۹۷. گزارش آب زیرزمینی دشت سراوان.

لشکری، م. و لشکری‌پور، غ. ۱۳۹۰. بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت ایرانشهر و تاثیر سازند زمین‌شناسی بر کیفیت آب. سی امین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی، تهران.

Alghamdi, A.G., Anwar A.A., Mosaed A.M., and H.M. Ibrahim. 2023. Impact of climate change on hydrochemical properties and quality of groundwater for domestic and irrigation purposes in arid environment: A case study of Al-Baha region, Saudi Arabia. Environmental Earth Sciences,82(1): 39.

Benadela, L., Belkacem B., and L. Gaidi. 2022. Multivariate analysis and geochemical investigations of groundwater in a semi-arid region, case of superficial aquifer in Ghriss Basin, Northwest Algeria. Journal of Groundwater Science and Engineering,10(3): 233-249.

Todd, D. K., and L.W. Mays 2005. Groundwater Hydrology, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc.

Khawla, K., and H. Mohamed. 2020. Hydrogeochemical assessment of groundwater quality in greenhouse intensive agricultural areas in coastal zone of Tunisia: Case of Teboulba region. Groundwater for sustainable development, 10: 100335.

Subba Rao, N., Deepali, M.A., Dinakar, I.C.B., Sunitha, B.R., and T. Balaji. 2017. Geochemical characteristics and controlling factors of chemical composition of groundwater in a part of Guntur district, Andhra Pradesh, India. Environmental earth sciences, 76: 1-22.