

Research Paper

The Effect of Hydrogeological and Tectonic Factors on the Groundwater Resources Nearby the Kaji Salt Playa in the Sahlabad PlainReza Jahanshahi^{1*}, Seyedeh Niloufar Mirkazemi², Abdolreza Partabian³, Habib Biabangard⁴

¹ Associate Professor of Hydrogeology, School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran, Email: rezajahanshahi@ut.ac.ir

² M. Sc Student of Hydrogeology, Geology Department, Faculty of Sciences, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, Email: mirnilofar288@gmail.com

³ Associate Professor, Geology Department, Faculty of Sciences, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, Email: partabian_reza@science.usb.ac.ir

⁴ Associate Professor, Geology Department, Faculty of Sciences, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, Email: h.biabangad@science.usb.ac.ir



10.22125/iwe.2024.478017.1828

Received:
August 11, 2024
Accepted:
December 2, 2024
Available online:
December 26, 2024

Keywords:
Hydrogeochemistry,
Remote Sensing,
Saltwater Intrusion,
Shear and Tensile
lineaments

Abstract

The Kaji salt playa is located in the Sahlabad plain, 120 km southeast of Birjand and 65 km north of Nehbandan; Iran. In this research, the effect of hydrogeological and tectonic factors on the quality of groundwater in the coastal aquifer of Kaji playa has been discussed. For this purpose, the water table data in the observation wells and the groundwater quality data of 9 exploitation wells and 4 qanats were used to investigate the flow and fluctuations of the groundwater and hydrogeochemical studies. Also, using remote sensing methods on satellite images, the effect of tectonic factors on the quality of groundwater resources has been evaluated. In general, the direction of the groundwater flow is from the south of the playa towards its center, and during the years 1998-2018, the water table has dropped about 2 m. The type of groundwater in all areas is NaCl type, same playa water. The histogram of electrical conductivity of water sources also shows the decrease in the quality of groundwater. The density of wells and groundwater extraction is higher in the northwestern and western areas of the playa, and hydrochemical studies also confirm the possibility of saltwater intrusion into the aquifer. In the studied area, based on factor analysis, 3 effective factors have been identified. The first factor is geological factors in the dissolution of soluble minerals as well as saltwater intrusion of playa. The second factor is indicative of human activities, especially animal husbandry and agriculture, and the third factor is the dissolution of carbon dioxide gas in water and the concentration of carbonate species. Among the hydrogeological factors that affect the quality of groundwater resources, it can be mentioned the increase in well discharge and the volume of extraction from the aquifer, the increase in the depth of exploitation wells, reduce the distance of wells to the playa, and the existence of short waterways. Finally, the increase in the slope of the ground surface as well as the increase in shear and tensile lineaments are tectonic factors effective in reducing the quality of ground water resources.

1) Introduction

On the lake sediments belonging to the past geological periods in the alluvial plains of dry regions, there are depressions with different hydrological characteristics that are covered by seasonal waters in some years. In fact, the playa is a closed drainage system with a shallow water body, which is strongly affected by the evaporation process due to the dominance of dry conditions in its environment. Kaji salt playay is located in the Sahlabad plain, 120 km southeast of Birjand, 65 km north of Nehbandan on the Birjand-Nehbandan road. The study area is located in a dry and desert area. Its Quaternary deposits

* **Corresponding Author:** Reza Jahanshahi

Address: School of Geology, College of Science,
University of Tehran, Tehran, Iran

Email: rezajahanshahi@ut.ac.ir

Tel: +989131790969

include alluvial terraces, alluvial cone sediments, river alluvium, sand dunes and salt flat sediments. Due to the accumulation of salt and evaporative sediments in the playa, it is possible that the infiltrated water from these sediments has affected the quality of the groundwater of the aquifer. Materials and Methods

The data of this research is the information related to the water resources of exploitation, observation wells and qanats. In the study area, there are water table data of 8 observation wells and quality data of 13 ground water measurement stations (9 places related to exploitation wells and 4 places related to qanats). Also, the rainfall data of Sarbisheh rain gauge station with the statistical period from 1998 to 2019 is available. This information has been used in order to determine the flow direction and express the relationships between the data. In order to correct the satellite images in this research, in order to identify and measure the amount of absorption of the end members in the bands of satellite images, using the sieve management method, the end members in each cell are separated and classified from each other using the similarity of the radiation angle, and using the same width method. Dissonant endmembers are removed and the extra lines in the satellite image that cause errors disappear. Landsat satellite images have been used to extract the lines and analyze them, and processing and reconstruction of the images has been done by ENVI, Arc GIS and Rock Works software.

2) Results

In general, the direction of the groundwater flow is from the south of the playa towards its center, and during the years 1998-2018, the water table has dropped about 2 m. The type of groundwater in all areas is NaCl type, same playa water. The histogram of electrical conductivity of water sources also shows the decrease in the quality of groundwater. The density of wells and groundwater extraction is higher in the northwestern and western areas of the playa, and hydrochemical studies also confirm the possibility of saltwater intrusion into the aquifer. In the studied area, based on factor analysis, 3 effective factors have been identified. The first factor is geological factors in the dissolution of soluble minerals as well as saltwater intrusion of playa. The second factor is indicative of human activities, especially animal husbandry and agriculture, and the third factor is the dissolution of carbon dioxide gas in water and the concentration of carbonate species.

3) Discussion and Conclusion

The hydrochemistry of water sources in the study area showed that the type of groundwater of the aquifer in all areas and the same as the water of the salt playa is of NaCl type. The decrease in groundwater quality (increase in EC) spatially, temporally and in depth, along with the decrease in groundwater table, showed well that due to the withdrawal of groundwater and the decrease of the water level in the aquifer and the extraction of groundwater with higher salinity in the depths of the aquifer, A decrease in the quality of pumped water in the exploitation wells is happening in the region. As a result of the increase in salinity of aquifer water and ionic strength, all the samples of groundwater tend to sedimentation in relation to many minerals. Geological factors (type of particles, hydrogeological and tectonic characteristics), salt water intrusion and agricultural activities were identified as the main factors controlling the quality of groundwater near the salt playa. Among the hydrogeological factors that affect the quality of groundwater resources, we can mention: increasing the volume of extraction from the aquifer, increasing the depth of exploitation wells, the proximity of wells to wetlands, and the existence of short waterways. Among the tectonic factors effective in reducing the quality of groundwater resources, we can mention: increasing the slope of the land surface (reducing surface water infiltration) and also increasing shear and tension lines in the study area.

4) Six important references

- 1) Azizi, F., Asghari Moghaddam, A., Nazemi, A. 2019. Spatial Variation of Groundwater Salinity and Risk Assessment of Salwater Intrusion in Malekan Aquifer, Vol 15, No. 1, Spring 2019- (IR-WRR), 32-44.
- 2) Jahanshahi, R., Zare, M. 2016. Hydrochemical investigations for delineating salt-water intrusion into the coastal aquifer of Maharlou lake, Iran. African Earth Sciences, 121:16-29.
- 3) Motallebian, M., Ahmadi, H., Raoof, A., Cartwright, N. 2019. An alternative approach to control saltwater intrusion in coastal aquifers using a freshwater surface recharge canal. Contaminant Hydrology, doi.org/10.1016/j.jconhyd.2019.02/007.
- 4) Raisossadat, N., Zarrinkoub, M., Khatib, M. 2012. Geomorphology and genesis of Sahlabod playa – east of Iran. Geography and Development, Iranian Journal, 28:31-39.

5) Shojaei Baghini, S., Jahanshahi, R., Mali S. 2019. Evaluating the trace elements contamination and corrosive potential in the groundwater of south and southwest of Sirjan city, Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 8(21): 111-128.

6) Shojaei Baghini, S., Jahanshahi, R., Mali, S., Nasiri, M. 2020. Destruction of groundwater quality and the risk of saltwater intrusion in the aquifers nearby sirjan salt playa Iran. *Environmental Analytical Chemistry*, 100(6): 647–661.

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.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Regional Water Company of South Khorasan.



مقدمه

بر روی رسوبات دریاچه‌ای متعلق به دوره‌های زمین‌شناسی گذشته در دشت‌های آبرفتی مناطق خشک، فرورفتگی‌هایی با ویژگی‌های هیدرولوژیکی متفاوت وجود دارد که در بعضی از سال‌ها به‌وسیله‌ی آب‌های فصلی پوشیده می‌شوند. این فرورفتگی‌ها همان پلایا (کفه) هستند که نام خود را به این مناطق بیابانی داده‌اند (ثقفی، ۱۳۹۸). در واقع پلایا سیستم زهکشی بسته و با توده‌ی آبی کم‌عمقی است که به سبب حاکمیت شرایط خشک در محیط آن، شدیداً تحت تأثیر فرایند تبخیر قرار می‌گیرد. کفه‌های نمکی یکی از مهم‌ترین منابع انتشار گردوغبار در مناطق خشک هستند و خصوصیات کانی‌شناسی آن‌ها در این زمینه بسیار مؤثر است. افزون بر این، اثر روابط متقابل بین تغییرات منطقه‌ای الگوهای آب و هوایی و فعالیت‌های تکتونیکی، غالباً در نهشته‌های رسوب‌کرده در کف پلایا ثبت می‌شود (ثقفی، ۱۳۹۸).

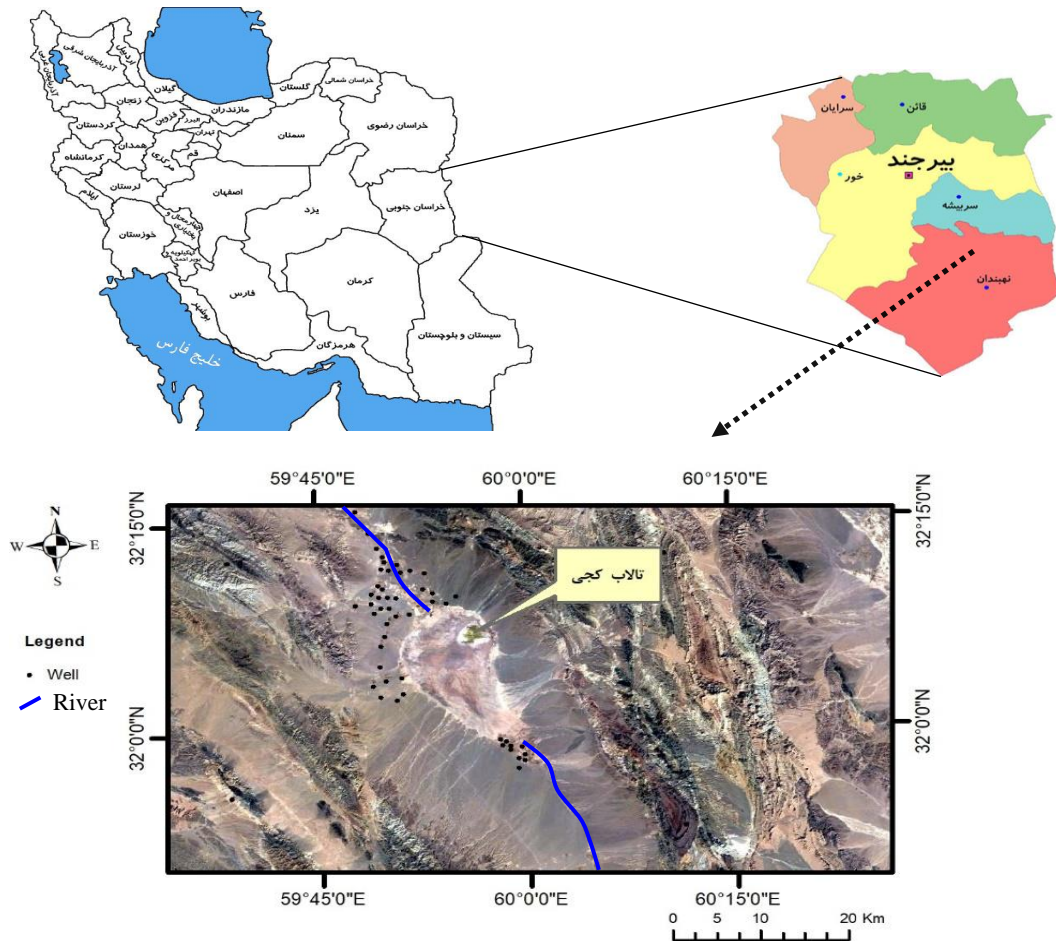
تالاب نمکی کجی در دشت سهل‌آباد در ۱۲۰ کیلومتری جنوب شرقی بیرجند، ۶۵ کیلومتری شمال نهبندان در مسیر جاده بیرجند-نهبندان قرار دارد (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه در منطقه‌ای خشک و کویری قرار گرفته است. نهشته‌های کواترنری آن شامل تراس‌های آبرفتی، رسوبات مخروط افکنه، آبرفت‌های رودخانه‌ای، تپه‌های ماسه‌ای و رسوبات کفه‌نمکی است. دو تیپ کفه‌های گلی و نمکی در این پلایا شناخته می‌شود. ضمناً سه بخش اصلی پهنه رسی، ناحیه مرطوب و قشر نمک بر روی عکس هوایی قابل جدایش می‌باشند (رئیس‌السادات و همکاران، ۲۰۱۲). از لحاظ تکتونیکی این منطقه قسمتی از پهنه زمین‌درز سیستان است که بر اثر یک رژیم تکتونیکی همگرا دچار گسل و چین‌خوردگی شده است (رئیس‌السادات و همکاران، ۲۰۱۲). مطالعات اولیه‌ی تکتونیکی نشان می‌دهد که کفه‌نمکی سهل‌آباد یک حوضه‌ی فروافتاده رومبوئدری شکل تقریباً نامتقارن بوده که بر اثر عملکرد دو سری از گسل‌های امتدادلغز راست‌گرد که از شاخه‌های سیستم گسلی نهبندان می‌باشند، به وجود آمده است. به‌عبارتی دیگر کفه‌نمکی سهل‌آباد یک ساختار حوضه کششی است که بر اثر خمیدگی گسل امتدادلغز سهل‌آباد

شکل گرفته است (رئیس‌السادات و همکاران، ۲۰۱۲). تالاب کجی به سبب داشتن دریاچه‌ای شور، اراضی مرطوب، پوسته‌های نمک سطحی و زمین‌های الگودار، چشم‌انداز ژئومورفولوژی ویژه‌ای ایجاد کرده و از سوی ساکنان مورد بهره‌برداری‌های معدنی و کشاورزی قرار می‌گیرد (ثقفی، ۱۳۹۸). بررسی اولیه این پژوهش، نشان می‌دهد بیشتر چاه‌های کشاورزی حفر شده در دشت سهل‌آباد در قسمت شمال غرب و جنوب غرب تالاب کجی و تعداد کمتری نیز در قسمت غربی آن قرار دارد (شکل ۱). با توجه به تجمع نمک و رسوبات تبخیری در تالاب احتمال داده می‌شود که آب نفوذ کرده از این رسوبات بر کیفیت آب زیرزمینی آبخوان اثر گذاشته باشند. لذا با توجه به احتمال نفوذ آب شور تالاب به آبخوان سهل‌آباد و کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی و همچنین منشأ تکتونیکی تالاب نمکی کجی (رئیس‌السادات و همکاران ۲۰۱۲) ضرورت دارد به بررسی تأثیر عوامل هیدروژئولوژیکی و تکتونیکی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی پرداخته شود. در ارتباط با کیفیت منابع آب زیرزمینی اطراف رودخانه، دریاچه و تالاب‌های شور پژوهش‌هایی در دنیا انجام شده است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

موسوی و همکاران (۱۳۹۷) در ارتباط با بررسی تغییرات شوری رودخانه نمکدان در استان ایلام بیان می‌کنند که منشأ اصلی شوری رودخانه سازند گچساران است. در ارتباط با تغییرات مکانی و فصلی ترکیب شیمیایی آب شور سطح و منافذ رسوبات دریاچه مهارلو، جنوب ایران، خسروی و همکاران (۲۰۱۸) نشان داده‌اند ترکیب شیمیایی آب دریاچه و آب منافذ رسوبات دریاچه با نوسانات سطح آب، فاصله از رودخانه‌های ورودی و عمق مرتبط هستند. این مطالعات نشان می‌دهد که شیمی آب منافذ رسوبات دریاچه عمدتاً توسط سه فرآیند: تبخیری، انحلال - رسوب‌گذاری و تکامل دیاژنتیک کربنات‌های ثانویه کنترل می‌شود. در ارتباط با ارزیابی آلودگی عناصر نادر و پتانسیل خوردگی در منابع آب زیرزمینی نواحی جنوب و جنوب‌غرب شهر سیرجان، در اطراف کفه‌نمکی خیرآباد، شجاعی باغینی و همکاران (۱۳۹۸) بیان کردند که در بین مناطق مختلف مورد مطالعه، عناصر نادر در آب زیرزمینی

در طول زمستان نشان می‌دهد که مقدار آن با توجه به زمان و نمونه‌برداری مکانی متفاوت است. نتایج نشان می‌دهد که رواناب حاصل از آب شدن برف بر کیفیت آب زیرزمینی، خاک و رشد گیاهان اثر گذاشته است. عزیزی و همکاران (۲۰۱۹) تغییرات مکانی شوری آب زیرزمینی و ارزیابی خطر نفوذ آب شور در آبخوان دشت ملکان را بررسی کرده‌اند. نتایج تحلیل حساسیت مدل به دو روش تک پارامتری و حذف پارامتر، نشان می‌دهد، پارامتر میزان تغذیه بیشترین تأثیر را بر شاخص آسیب‌پذیری دارد. امیری (۱۳۹۹) با بررسی پتانسیل نفوذ شورابه به منابع آب و نتایج مدل‌سازی جریان انتقال مواد محلول و اختلاط آب شور و شیرین در آبخوان دشت ارومیه، نشان دادند که در وضعیت کنونی، ارتباط بین آبخوان ارومیه و دریاچه ارومیه در کم‌ترین مقدار ممکن قرار دارد و احتمال نفوذ آب شور به این آبخوان بسیار کم است. در ارتباط با ارزیابی دامنه‌ی نفوذ آب شور دریاچه مهارلو به آبخوان ساحلی با ویژگی‌های آب شیمیایی، شیخی و همکاران (۱۴۰۱) نشان دادند در آبخوان مهارلو به دلیل برداشت بی‌رویه تغذیه و عدم تعادل تراز آب زمین‌شناسی، بلندی تراز ایست آبی در پهنه‌ی وسیعی از آبخوان، پایین‌تر از بلندی کف دریاچه می‌باشد. نتیجه شور شدن آب‌چاه‌ها به علت نفوذ آب شور، اختلاف چگالی آب شور و شیرین و بلکه نفوذ آب شور دریاچه به علت شیب معکوس آبی و ورود آب دریاچه است. قدیمی و همکاران (۱۴۰۲) با مطالعه تأثیر شوراب پلایای میقان اراک بر کیفیت آب زیرزمینی به روش آمار چند متغیره دانستند که شوری آب پلایای میقان و آب زیرزمینی مربوط به آنیون‌ها و کاتیون‌هایی بوده که منشأ آن‌ها طبقات گچی و نمکی بخش شمالی، قلیائیت و بیکربنات ناشی از انحلال سنگ‌های آهکی طبقات جنوبی حوضه آبریز میقان می‌باشد. ارزیابی نمودار نسبت‌های سدیم به کلراید و نمودار گیبس حاکی از نفوذ آب شور پلایای میقان بر آب زیرزمینی چاه‌های کشاورزی دشت، خصوصاً در حاشیه پلایا می‌باشد.

مناطق چاه دراز و کفه مرگ، عمدتاً غلظتی بیش از حد مجاز WHO دارند. و شاخص‌های خوردگی بیانگر خوردگی منابع آب زیرزمینی در اکثر مناطق است. جهانشاهی و زارع (۲۰۱۶) تغییرات هیدروشیمی منابع آب زیرزمینی و نفوذ آب شور به داخل آبخوان ساحلی دریاچه مهارلو را بررسی کرده‌اند. تغییرات زمانی در خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب‌های زیرزمینی پمپاژ شده از چاه‌های کشاورزی نشان می‌دهد که یک آب شور در اعماق آبخوان به سمت بالا حرکت می‌کند و سبب شده است کیفیت آب‌های زیرزمینی در منطقه کاهش یابد. در ارتباط با هیدروژئوشیمی و پایش کیفی تالاب کارستی- گچی برمشور در استان خوزستان، اکبری و همکاران (۱۳۹۸) بیان می‌کنند از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مقدار شوری و هدایت الکتریکی آب در منطقه مورد مطالعه می‌توان به افزایش تبخیر، کاهش سطح آب تالاب، افزایش افت و برداشت آب اشاره نمود. شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی و نفوذ آب شور در آبخوان ساحلی دشت شبستر در شمال شرقی دریاچه ارومیه، توسط صابری مهر و همکاران (۱۳۹۶) انجام شده است. این پژوهش نشان داده است علت شوری منابع آب زیرزمینی آبخوان، شورابه‌های به دام افتاده در رسوبات انتهایی دشت است. شجاعی باغینی و همکاران (۲۰۲۰) در ارتباط با تخریب کیفیت آب زیرزمینی و خطر نفوذ آب شور به آبخوان‌های نزدیک کفه‌نمکی سیرجان پژوهشی انجام داده‌اند. نتایج نشان داده است که میزان نفوذ آب شور کفه‌نمک در این ناحیه به درون آب شیرین آبخوان‌های مجاور، بین ۰/۱ تا ۳۰ درصد متغیر است. مطلبیان و همکاران (۲۰۱۹) تحقیقی در مورد روش جایگزینی برای کنترل نفوذ آب شور در سفره‌های ساحلی با استفاده از یک کانال تغذیه آب شیرین انجام داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد زمانی که کانال تغذیه نزدیک نوک گوه آب شور قرار دارد، دفع آب شور مؤثرتری به دست می‌آید. آقازاده و همکاران (۲۰۱۲) اثر نمک جاده و آب شور بر کیفیت منابع آب مناطق استان ارومیه را بررسی کرده‌اند. بررسی غلظت یون کلرید به‌عنوان ردیاب در نتیجه رواناب



شکل (۱): موقعیت تالاب کجی، رودخانه و چاه‌های بهره‌برداری در دشت سهل‌آباد، استان خراسان جنوبی

منطقه مورد مطالعه

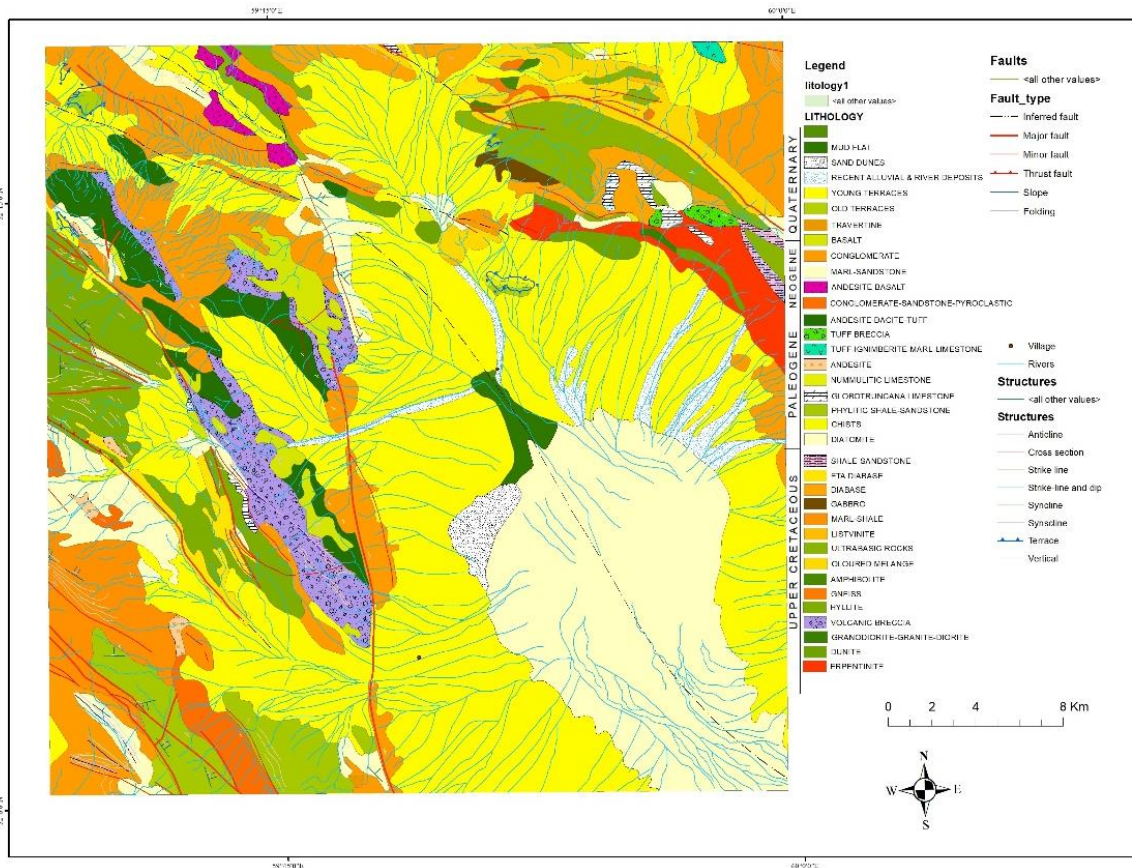
بر اساس مطالعات و اطلاعات شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی (۱۳۹۵) آبخوان سهل‌آباد از نوع آزاد بوده و از مجموع مساحت ۱۰۲۱/۴۸ کیلومترمربعی محدوده دشت، تقریباً ۵۹ درصد را پوشش می‌دهد. تغذیه آبخوان از نواحی شمال و جنوب محدوده انجام شده و در نواحی مرکزی (دق سهل‌آباد) تخلیه می‌گردد. با توجه به عمق چاه‌های پیژومتری و چاه‌های بهره‌برداری، متوسط ضخامت آبرفت در جنوب دشت زیاد بوده و بیش از ۲۰۰ متر است. ضخامت آبرفت در شرق حدود ۸۵ متر و در شمال حدود ۱۱۰ متر تعیین شده است. در قسمت غرب دشت نیز این ضخامت حدود ۳۵ متر برآورد گردیده است. بر اساس آخرین آماربرداری از منابع آب‌های زیرزمینی در دشت سهل‌آباد،

تعداد ۱۱۶ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق موجود بوده است که میزان تخلیه آن ۲/۲۸ میلیون مترمکعب در سال است. همچنین در این دشت ۱۵۱ رشته قنات موجود است که میزان تخلیه آن ۴/۲۸ میلیون مترمکعب در سال است. در این ناحیه ۷ دهانه چشمه نیز موجود بوده است که میزان تخلیه آن‌ها ۰/۱۶ میلیون مترمکعب در سال است. دشت سهل‌آباد توسط رودخانه اصلی از شمال و جنوب تغذیه می‌شود. رودخانه شمالی تحت عنوان رودخانه سهل‌آباد با طول ۵۸ کیلومتر و مساحت حوزه آبریز ۸۰۰ کیلومترمربع از دامنه‌های کوه چهل‌دختران واقع در ۵۵ کیلومتری جنوب باختری بیرجند سرچشمه گرفته و وارد دشت می‌شود. رودخانه آخوندان شاخه‌ای از رودخانه سهل‌آباد است که از دامنه‌های کوه چهل‌دختران سرچشمه گرفته و در جنوب خاوری آن وارد رودخانه سهل‌آباد می‌شود. رودخانه میان تگ از ارتفاعات کوه خیزی، باز و چهل دختر و از داخل

و رسوبات کفه‌نمکی است. دو نوع (گونه) کفه‌های گلی و نمکی در این پلایا شناخته می‌شود. با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی برگه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ بیرجند و ده سلم (شکل ۲) واحدهای سنگی محصورکننده کفه‌نمکی کچی در ارتفاعات در شمال شامل داسیت، مجموعه آمیزه رنگین، سنگ‌های اولترا بازیک، سرپانتین مربوط به کرتاسه، سنگ‌های رسوبی ائوسن شامل مارن، ماسه‌سنگ، کنگلومرا می‌باشد. ارتفاعات غربی شامل فیلیت و فیلیت‌های کواترنری کرتاسه، فلیش و سنگ‌های آواری پالئوسن، آندزیت و داسیت‌های ائوسن، شیل، ماسه‌سنگ و سنگ‌آهک دگرگون‌شده ائوسن، کنگلومرای نئوژن است. ارتفاعات شرقی را مجموعه‌ای از سنگ‌های ولکانیکی، آواری و متامورفیک کرتاسه بالائی، فیلیت، گابرو، ماسه‌سنگ و مارن ائوسن و کنگلومرای میوسن تشکیل می‌دهد. ارتفاعات جنوب مشتمل بر فیلیت پالئوسن، سنگ‌های آذرآواری الیگوسن و توده‌های نفوذی گرانیت، دیوریت و غیره است.

تشکیلات آذرین و ملانژ منشأ گرفته وارد دشت ابراهیمی در شمال غرب سهل‌آباد شده، پس از طی مسافتی از داخل آبرفت نسبتاً دانه‌درشت و پس از ملحق شدن به رودخانه سهل‌آباد به دشت منتهی می‌شود. پلایای مورد مطالعه غالباً خشک بوده ولی طی وقوع بارش‌های اتفاقی، بخشی از سطح آن تا عمق چند ده سانتی‌متر از آب پوشیده می‌شود و در واقع یکی از بزرگ‌ترین کویرها در نیمه‌ی جنوبی استان خراسان جنوبی است. متوسط بارش‌های سالانه این منطقه بر اساس اطلاعات هواشناسی نزدیک‌ترین ایستگاه (ایستگاه سینوپتیک سربیشه) طی دوره زمانی ۱۳۹۵-۱۳۸۵ حدود ۱۵۶/۶ میلی‌متر است. تغییرات زمانی بسیار زیاد ریزش‌های جوی که از خصوصیات شرایط آب و هوایی مناطق بیابانی است، در محدوده مورد مطالعه حاکمیت داشته و دامنه تغییرات دمای حداکثر ماهانه بین ۱۳ تا ۳۹ درجه سانتی‌گراد و متوسط درجه حرارت منطقه ۱۶/۲ درجه سانتی‌گراد است (ثقفی، ۱۳۹۸).

در منطقه مورد مطالعه نهشته‌های کواترنری آن شامل رسوبات مخروط افکنه، تراس‌های آبرفتی، تپه‌های ماسه‌ای



شکل (۲): نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

۱۳۷۷ تا ۱۳۹۸ موجود می‌باشد. از این اطلاعات به منظور تعیین جهت جریان، بیان روابط موجود بین داده‌ها و سایر مباحث استفاده شده‌است. با استفاده از نرم‌افزار گوگل ارث تصاویر ماهواره‌ای منطقه مطالعاتی تهیه و در نقشه‌های مختلف از جمله پراکندگی به عنوان پس زمینه استفاده شده است. جهت تصحیح تصاویر در این تحقیق جهت شناسایی و اندازه‌گیری مقدار جذب عضوهای انتهایی در باندهای تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از روش مدیریت غربالی‌ها عضوهای انتهایی موجود در هر سلول با استفاده از شباهت زاویه تابش از یکدیگر تفکیک و طبقه‌بندی می‌شوند و با استفاده از روش هم‌عرض کردن عضوهای انتهایی ناهماهنگ حذف و خطوط اضافی موجود در تصویر ماهواره‌ای که باعث ایجاد خطا می‌شود ناپدید می‌گردد. از تصاویر ماهواره‌ای لندست برای استخراج خطواره‌ها و تجزیه تحلیل آن‌ها استفاده شده است و پردازش و بازسازی تصاویر

مواد روش‌ها

داده‌های این پژوهش شامل آمار و اطلاعات مربوط به منابع آبی چاه‌های بهره‌برداری، مشاهده‌ای و قنات می‌باشد که شامل موقعیت و خصوصیات چاه‌ها (عمق چاه، نرخ پمپاژ، حجم برداشت و ساعت کارکرد)، سطح ایستابی، خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بارش است. این اطلاعات از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی و شرکت آب و فاضلاب استان خراسان جنوبی دریافت شد. در محدوده مورد مطالعه، داده‌های سطح ایستابی ۸ حلقه چاه مشاهداتی و داده‌های کیفی ۱۳ ایستگاه اندازه‌گیری کیفی آب زیرزمینی (۹ محل مربوط به چاه‌های بهره‌برداری و ۴ محل مربوط به قنات) وجود دارد (شکل ۳). همچنین داده‌های بارش ایستگاه باران سنج سریشه متعلق به شرکت آب منطقه‌ای خراسان جنوبی با دوره آماری از سال

مشاهده‌ای ترسیم شده است (شکل ۵ و شکل ۶). در بارش منطقه یک روند سینوسی فصلی دیده می‌شود اما در درازمدت روند افزایش یا کاهش خاصی مشاهده نمی‌شود. در کلیه چاه‌های مشاهداتی روند نزولی سطح ایستابی به وضوح دیده می‌شود. از آنجایی که مقدار بارش تغییرات چندانی نداشته است، کاهش حدودی ۱۰ متری متوسط سطح ایستابی به سبب برداشت از آب زیرزمینی از طریق چاه‌های بهره‌برداری ایجاد شده است. نمودار تغییرات زمانی هدایت الکتریکی منابع آب زیرزمینی نیز گویای کاهش کیفیت آب زیرزمینی (افزایش حدوداً $1000 \mu\text{s}/\text{cm}$ در هدایت الکتریکی) می‌باشد که در اثر کاهش سطح آب زیرزمینی رخ داده است.

آب زمین‌شیمی

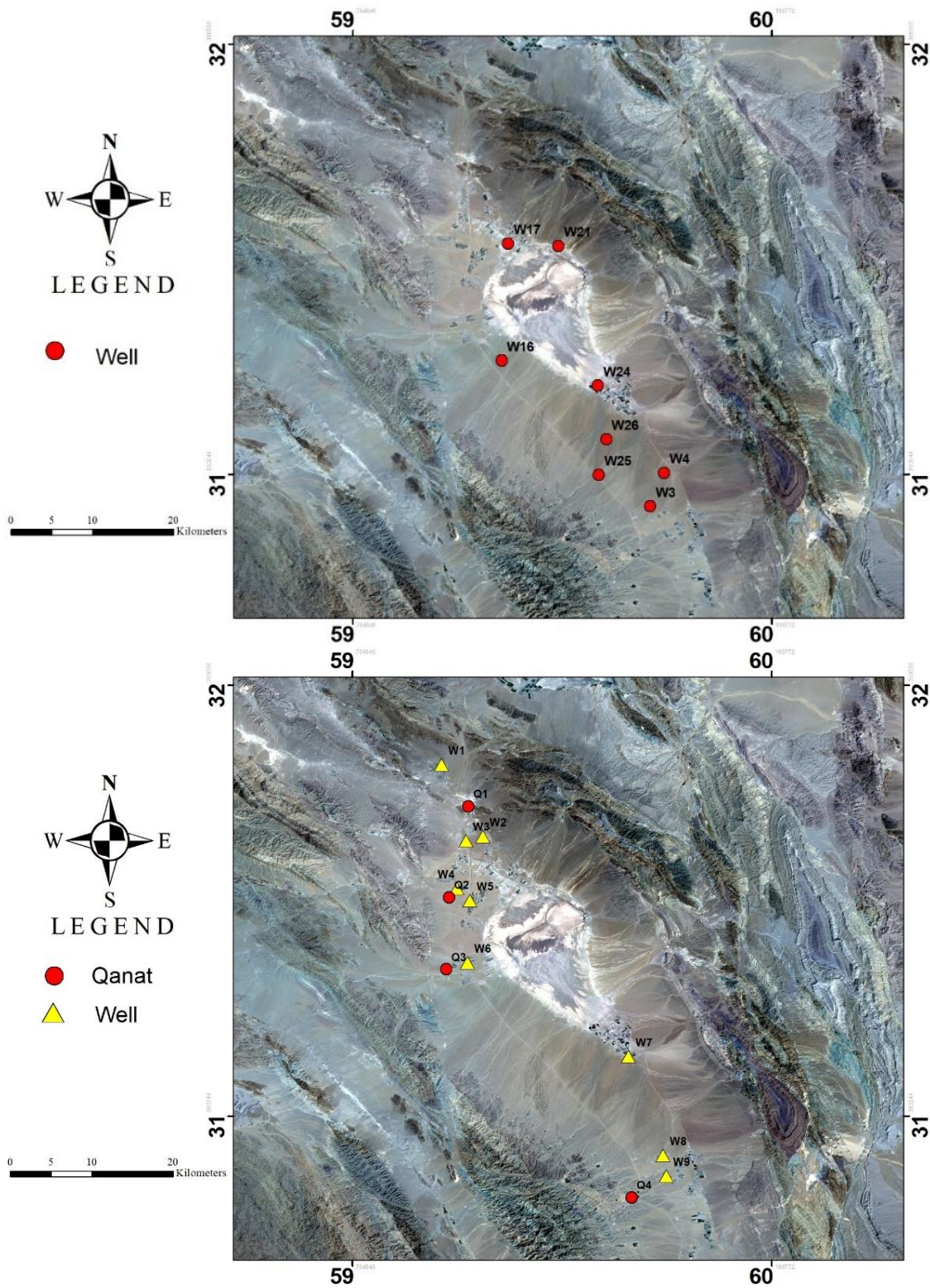
هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در سهل‌آباد یا اطراف تالاب نمکی کجی بین ۱۷۴۱ تا ۸۸۸۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر متغیر است. بیشترین مقدار هدایت الکتریکی در چاه W6 (در غرب منطقه) و کم‌ترین مقدار هدایت الکتریکی مربوط به قنات Q4 در جنوب منطقه است. در نقشه پراکندگی هدایت الکتریکی منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود این پارامتر تقریباً منطبق با جهت جریان آب زیرزمینی، از جنوب‌شرقی به سمت شمال‌غربی روند افزایشی دارد (شکل ۷).

به‌وسیله نرم‌افزار Arc GIS، ENVI و Rock Works انجام شده است.

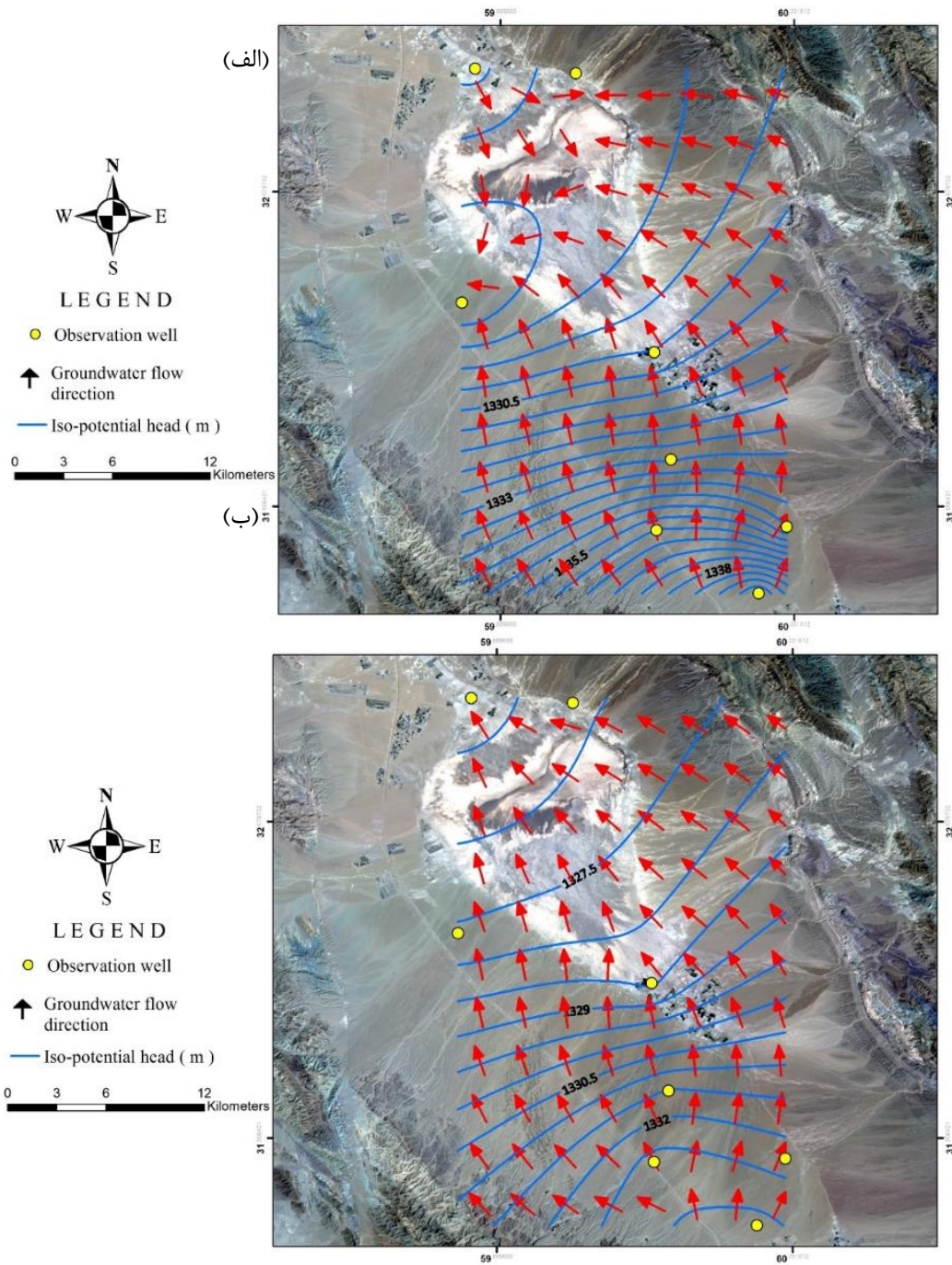
بحث و نتایج

جهت جریان آب زیرزمینی و تغییرات سطح ایستابی

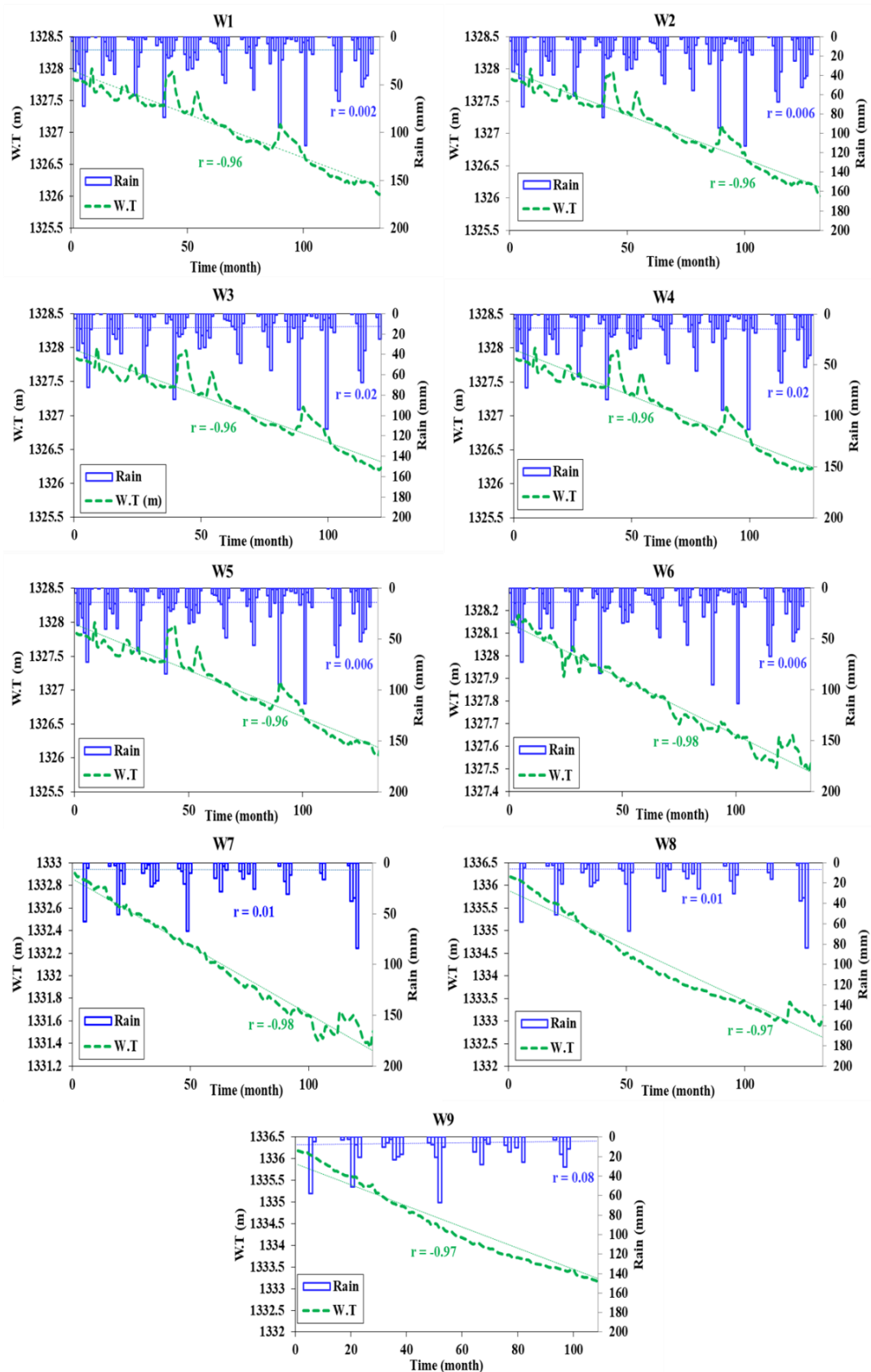
بر اساس اطلاعات سطح ایستابی چاه‌های مشاهده‌ای محدوده‌ی سهل‌آباد نقشه متوسط هم‌پتانسیل و جهت جریان آب زیرزمینی در اطراف تالاب در طی سال‌های آبی ۱۳۷۷-۱۳۷۸ و ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در شکل ۴ ترسیم شده است. بطور کلی جهت جریان آب زیرزمینی از جنوب تالاب به سمت مرکز آن است. در سال ۱۳۷۷-۷۸ جهت آب زیرزمینی در شمال تالاب نیز به سمت جنوب تالاب بوده است. در حالی که در سال ۱۳۹۷-۹۸ به دلیل برداشت از آب زیرزمینی در فاصله ۱۰ سال سطح ایستابی حدوداً ۲ متر پایین‌تر آمده است و جریان از تالاب به سمت شمال غربی و یا آبخوان ساحلی تغییر یافته است. نقشه‌ی پراکندگی چاه‌های بهره‌برداری (شکل ۱) به خوبی نشان می‌دهد تراکم چاه و برداشت آب زیرزمینی در محدوده شمال غربی و غرب تالاب بیشتر می‌باشد و لذا احتمال داده می‌شود نفوذ آب شور تالاب و کاهش کیفیت آب زیرزمینی بخصوص در ساحل شمال‌غربی و غرب آن رخ داده باشد. بدین‌منظور تغییرات زمانی بارش (دو ایستگاه سربیشه و خواجه دو چاهی)، سطح ایستابی چاه‌های مشاهداتی و هدایت الکتریکی منابع آب زیرزمینی نزدیک به چاه‌های



شکل (۳): موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای و محل‌های نمونه برداری (چاه و قنات) در منطقه مورد مطالعه

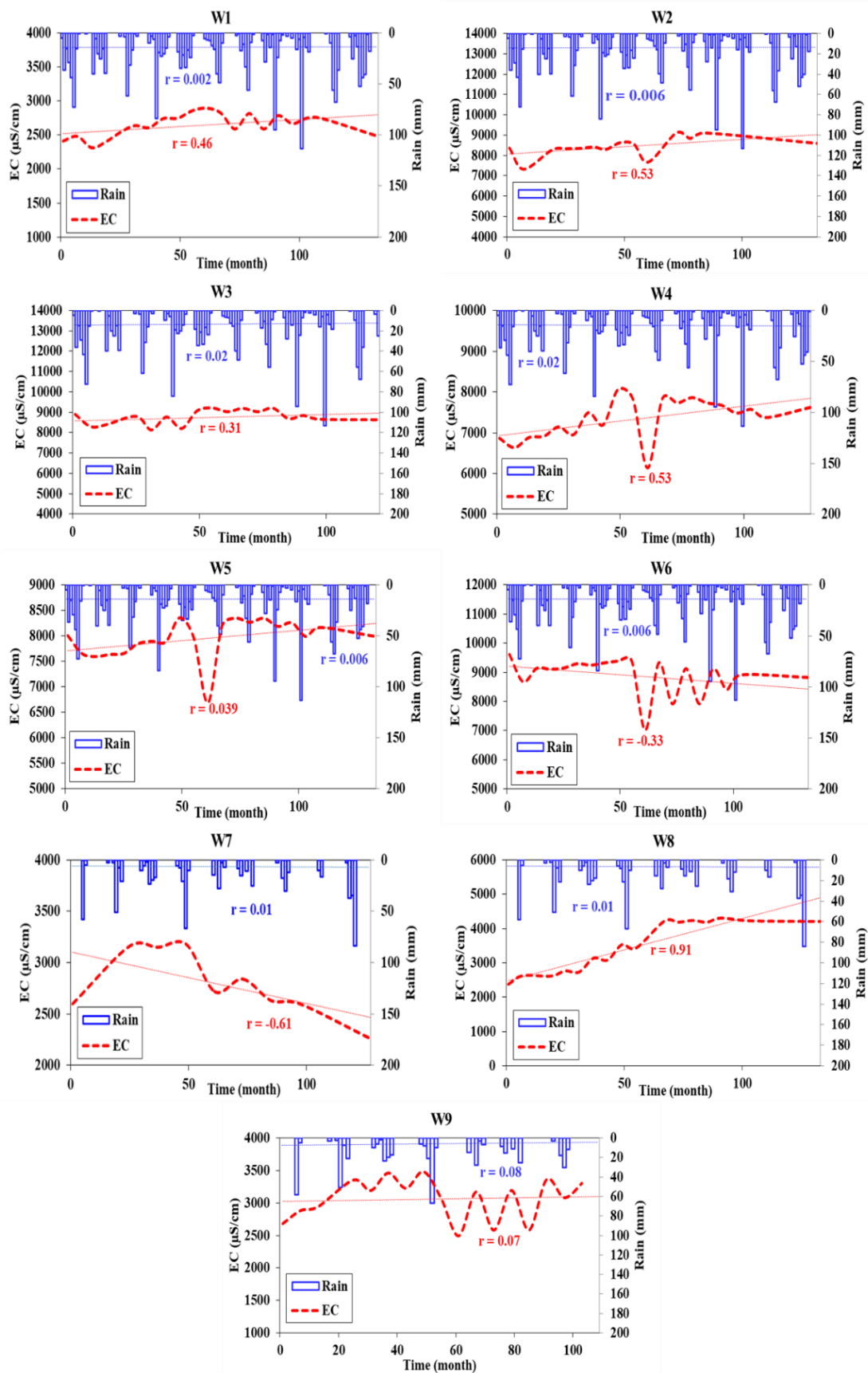


شکل (۴): جهت جریان آب زیرزمینی در اطراف تالاب کجی در سال آبی ۱۳۷۷-۷۸ (الف) و سال آبی ۱۳۹۷-۹۸ (ب)

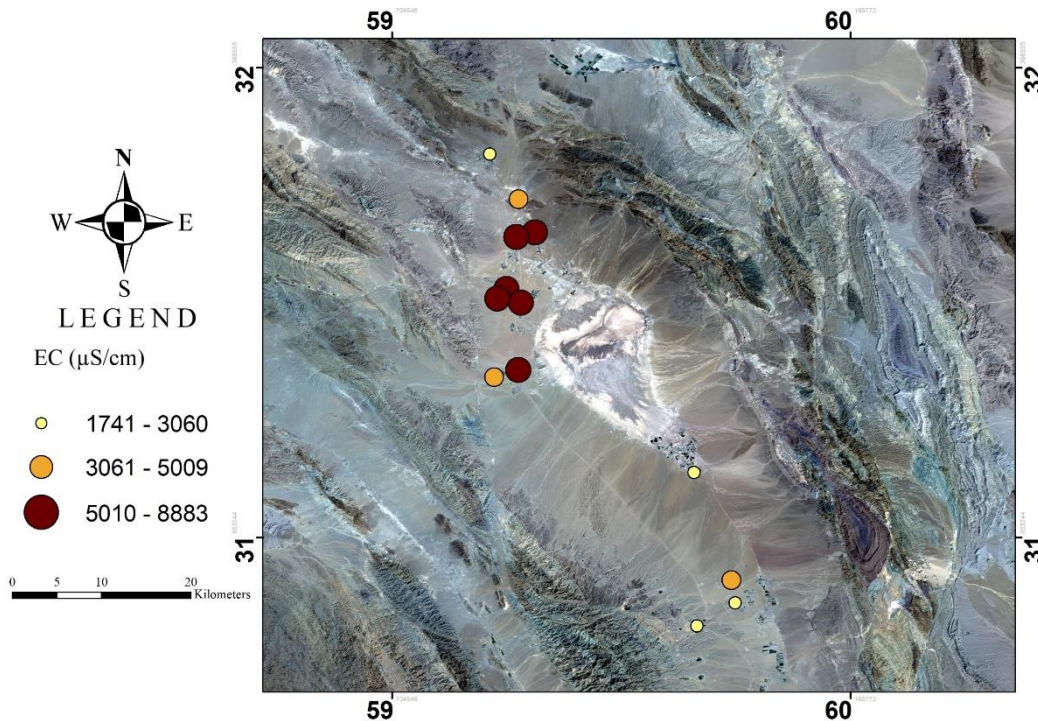




شکل (۵): نمودار تغییرات سطح ایستابی چاه‌های مشاهداتی و بارش نسبت به زمان طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸



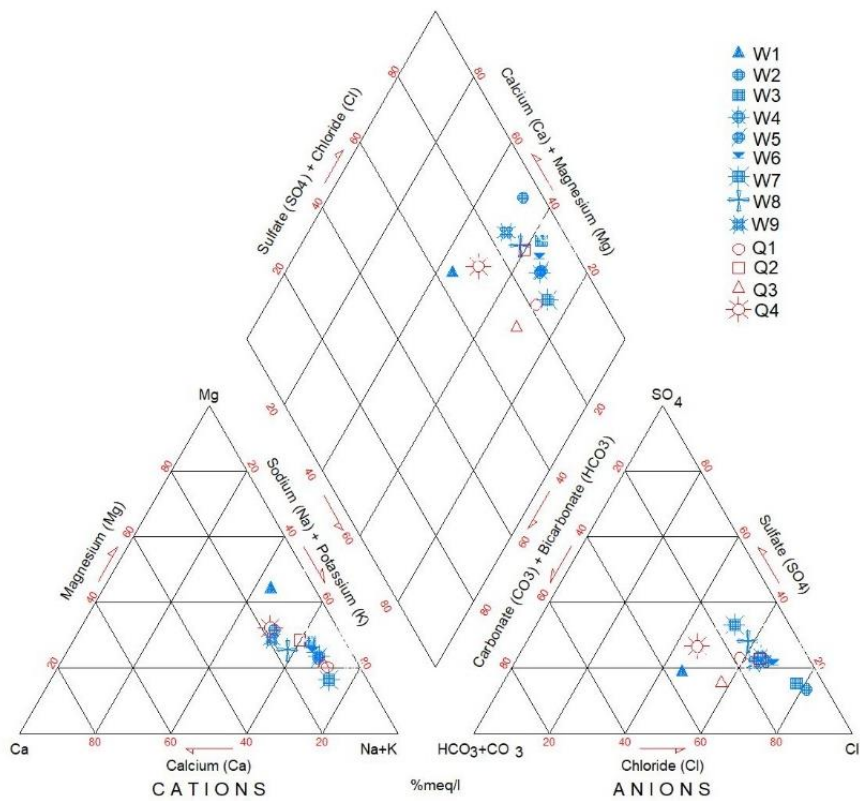
شکل (۶): نمودار تغییرات هدایت الکتریکی و بارش نسبت به زمان طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ در چاه‌های محدوده مورد مطالعه

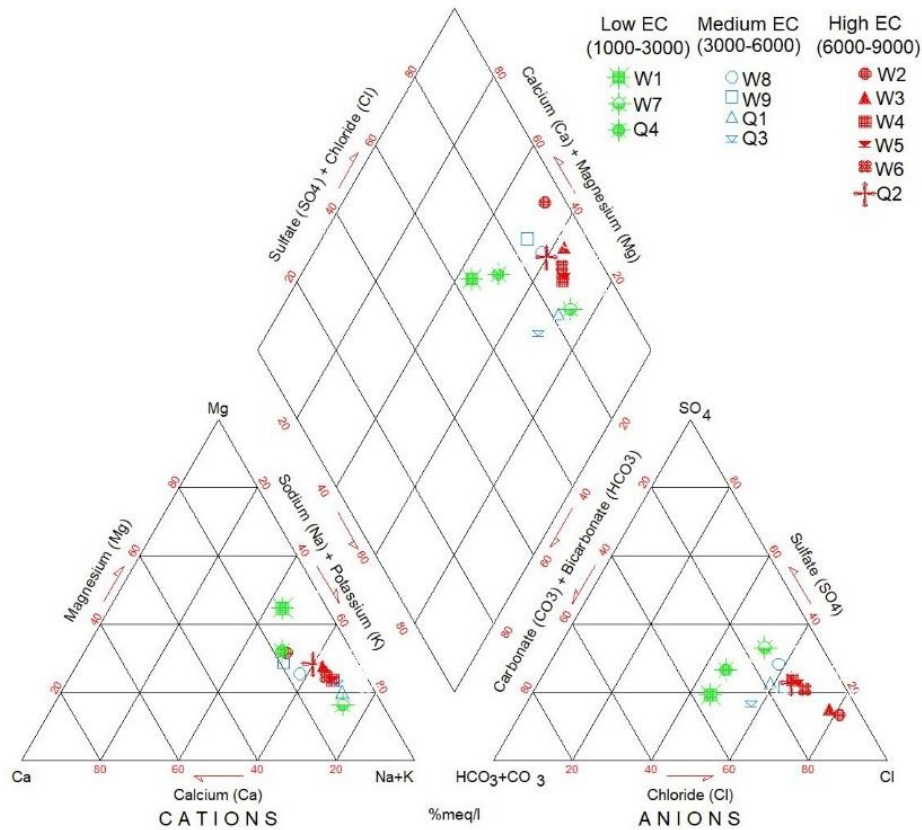


شکل (۷): نقشه پراکندگی هدایت الکتریکی در آب زیرزمینی در محدوده تالاب کجی

خاصی با افزایش EC دیده نمی‌شود. در نمودار لوزی افزایش هدایت الکتریکی همراه با جابجایی نمونه‌ها از مرکز به سمت گوشه سمت راست محدود نوع آب شور به خوبی قابل مشاهده می‌باشد. همچنین مشخص است که استخراج آب زیرزمینی بوسیله چاه، آب با شوری بیشتری نسبت به قنات از آبخوان خارج نموده است. که احتمالاً به دلیل نزدیکتر بودن چاه‌ها به کفه نمکی کجی و افزایش نرخ برداشت آب زیرزمینی نسبت به قنات باشد.

با توجه به یون‌های اصلی، نمونه‌های منابع آب زیرزمینی چاه‌ها و قنات‌ها بر روی نمودار پایپر انتقال داده شده است (شکل ۸). برای این اساس مشخص است که تیپ منابع آب از نوع NaCl می‌باشد. همچنین به منظور بررسی رابطه شوری آب زیرزمینی و موقعیت قرارگیری نمونه آب بر روی دیاگرام پایپر در شکل ۸ منابع آب براساس مقدار EC گروه بندی شدند. در دیاگرام مثلثی آنیون‌ها مشاهده می‌شود روند افزایش کلرید با افزایش هدایت الکتریکی ایجاد شده است. در دیاگرام مثلثی کاتیون‌ها روند

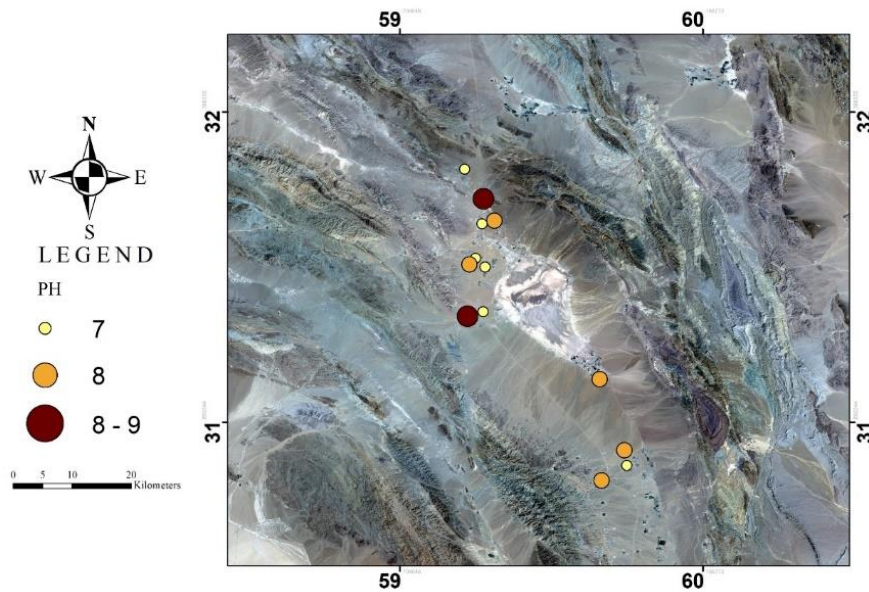




شکل (۸): موقعیت چاه‌ها و قنات‌های موجود در منطقه مورد مطالعه بر روی دیاگرام پایپر

است. به‌طور کلی در نقشه پراکندگی pH روند خاصی مشاهده نمی‌شود و تنها می‌توان گفت در غرب تالاب pH به نسبت بیشتر از دیگر مناطق دیده می‌شود (شکل ۹).

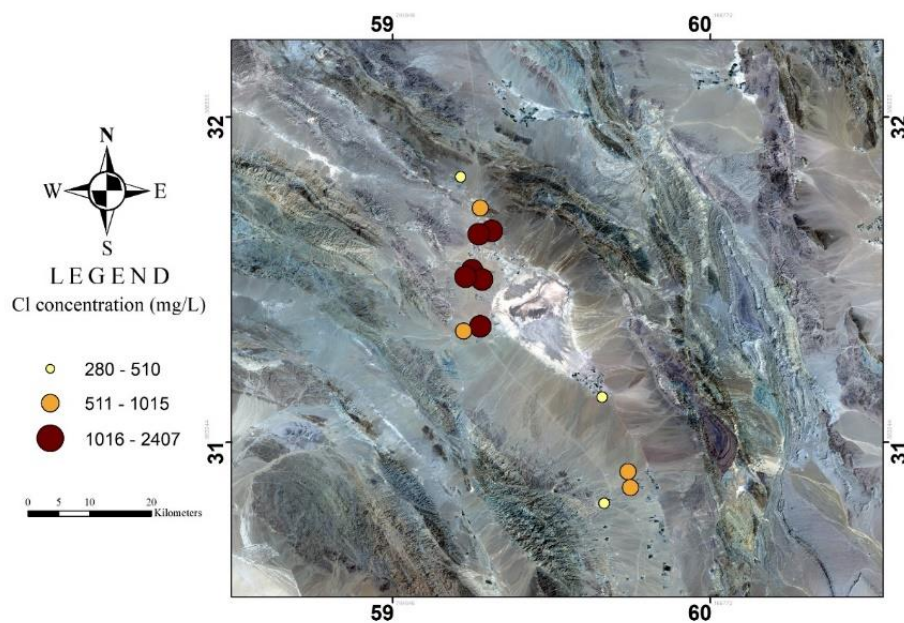
بر اساس نتایج آنالیزهای شیمیایی، میزان pH در منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بین ۷ تا ۹ متغیر است. بیشترین مقدار pH در قنات Q1 در شمال غربی و کمترین مقدار pH در چاه W9 در جنوب شرقی منطقه قرار گرفته



شکل (۹): نقشه پراکندگی pH در منابع آب زیرزمینی در محدوده اطراف تالاب کچی

کلراید در چاه W2 در شمال غربی و کمترین مقدار کلراید در قنات Q4 در جنوب تالاب قرار گرفته است. روند تغییرات کلراید با نقشه پراکندگی هدایت الکتریکی شباهت دارد و بیانگر این است که یون کلراید تأثیر زیادی در میران هدایت الکتریکی منابع آب زیرزمینی منطقه دارد.

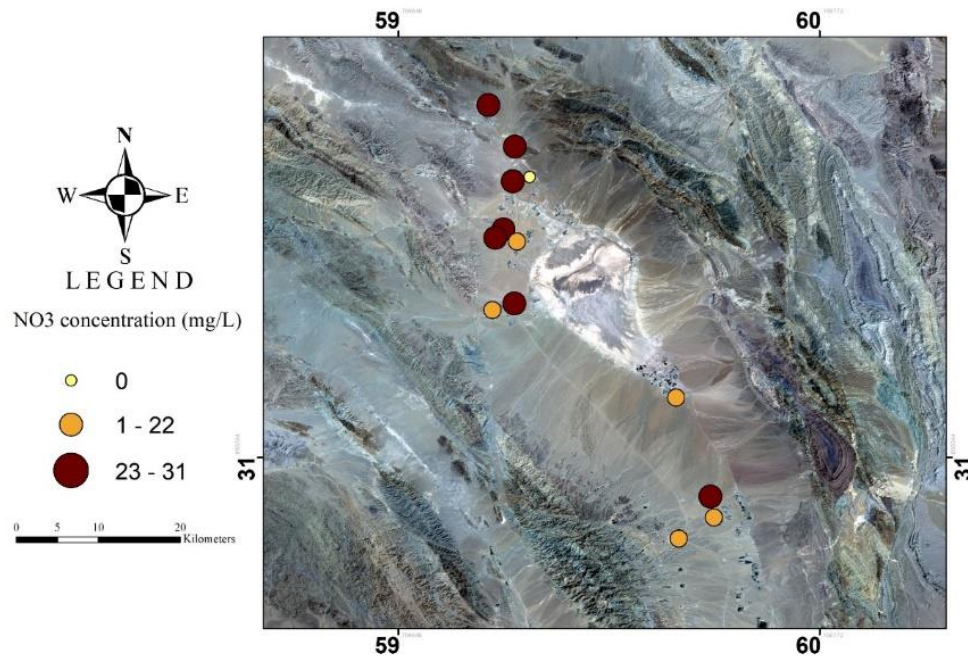
بر اساس نتایج آنالیزهای شیمیایی، میزان یون کلراید در منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بین ۲۸۰ تا ۲۴۰۷ میلی‌گرم بر لیتر متغیر بوده است. نقشه پراکندگی کلراید نشان می‌دهد که کلراید از جنوب شرقی به سمت شمال غربی افزایش یافته است (شکل ۱۰). بیشترین مقدار



شکل (۱۰): نقشه پراکندگی یون کلراید در منابع آب زیرزمینی در محدوده اطراف تالاب کچی

می‌کند. بیشترین مقدار این یون در چاه W8 در جنوب شرقی و کم‌ترین مقدار آن که صفر است در چاه W2 در شمال غربی منطقه قرار گرفته است (شکل ۱۱).

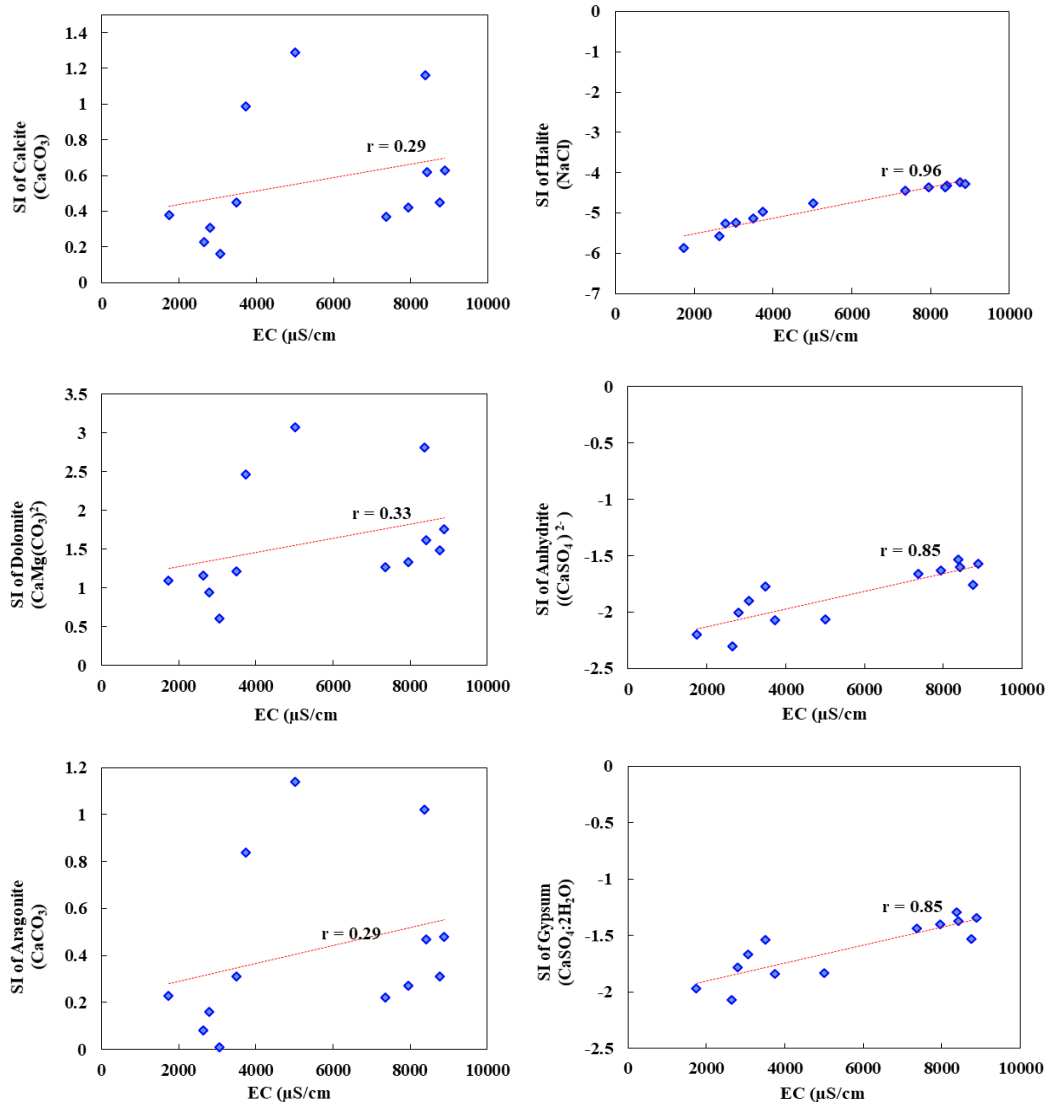
با توجه به مقادیر یون‌های اندازه‌گیری شده از نمونه‌های منابع آب زیرزمینی منطقه، میزان یون نیترات موجود در منطقه مورد مطالعه از ۰ تا ۳۱ میلی‌گرم برلیتر تغییر



شکل (۱۱): نقشه پراکندگی یون نیترات در منابع آب زیرزمینی در محدوده اطراف تالاب کچی

تغییرات روند افزایش شوری منابع آب با تغییرات اندیس اشباع کانی‌ها در نمودار شکل ۱۲ ارائه شده است و نشان می‌دهد با افزایش شوری آب و افزایش قدرت یونی، کاهش در تمایل به انحلال و یا افزایش در تمایل به رسوب کانی‌ها رخ داده است.

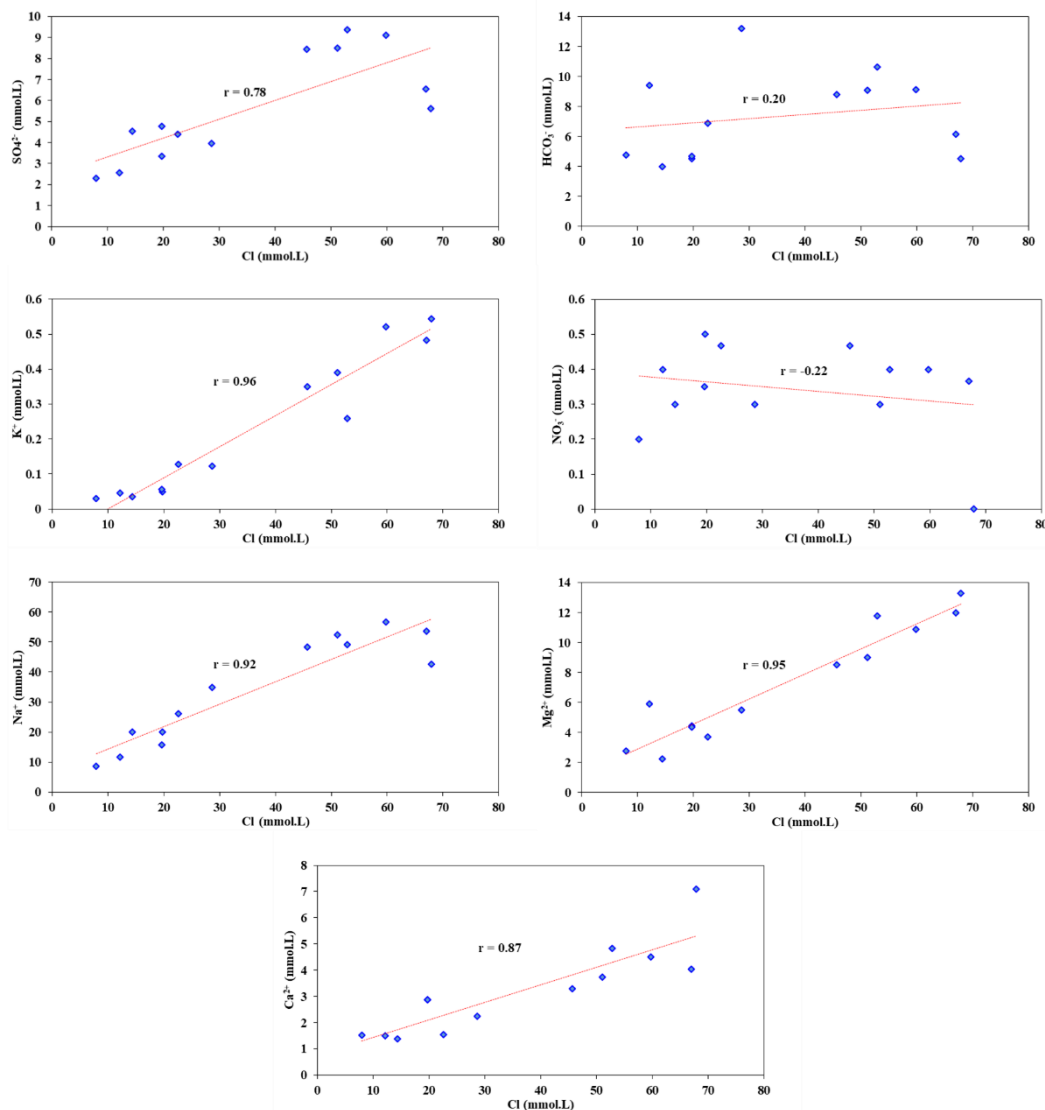
به‌منظور شناسایی عوامل مؤثر بر هیدروشیمی آب‌های زیرزمینی منطقه‌ی مورد مطالعه استفاده از اندیس اشباع می‌تواند بسیار مفید باشد. بدین منظور اندیس اشباع کانی‌های انیدریت، ژپس، دولومیت، کلسیت، هالیت و آراگونیت در ۱۳ محل نمونه‌برداری محاسبه شده است.



شکل (۱۲): مقادیر اندیس اشباع کانی‌های کلسیت، هالیت، دولومیت، انیدریت، آراگونیت و ژپس در مقابل هدایت الکتریکی نمونه‌های آب زیرزمینی در محدوده اطراف تالاب کچی

با افزایش غلظت کلراید، برای دیگر یون‌ها به جز نیترات، افزایش مقدار نیز رخ داده است. البته این رابطه امری طبیعی می‌باشد به دلیل اینکه در طی حرکت آب زیرزمینی در مسیر، غلظت عناصر هم افزایش می‌یابد. اما در خصوص نیترات می‌توان نتیجه گرفت که در منطقه مورد مطالعه غلظت این یون تابع افزایش شوری و طول مسیر حرکت آب زیرزمینی نبوده است.

با توجه به پایستار بودن یون کلراید و تمایل کم در جذب شدن و رسوب از طریق واکنش‌های شیمیایی، می‌توان روند افزایشی و کاهش غلظت دیگر یون‌های اصلی در مقایسه با کلراید را مورد بررسی قرارداد. بنابراین نمودارهای تغییرات غلظت یون‌های اصلی در منابع آب زیرزمینی در مقایسه با کلراید رسم شده که طبق آن (شکل ۱۳) دیده می‌شود که در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه،



شکل (۱۳): تغییرات یون‌های منابع آب زیرزمینی در برابر کلراید

زیاد این عامل می‌تواند انحلال کانی‌های با قابلیت انحلال بالا و همچنین نفوذ آب شور تالاب باشد که بیشترین تاثیر را بر کیفیت آب زیرزمینی گذاشته است. در عامل دوم تنها نیترات بار عاملی مثبت بالایی دارد که می‌تواند گویای فعالیت‌های انسانی بخصوص دامداری و کشاورزی باشد. عامل سوم با داشتن بار عاملی بالا با توجه به کربنات و pH، عامل کنترل کننده قلیایت و اسیدیته آب زیرزمینی بوده و شامل عوامل موثر در انحلال گاز دی اکسید کربن در آب و غلظت گونه‌های کربناته می‌باشد.

از روش تحلیل عاملی جهت شناخت عوامل و میزان اثرگذاری آن‌ها بر روی ترکیب آب زیرزمینی در مطالعه هیدروشیمی منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. مقادیر ویژه و درصد واریانس به منظور بررسی دقیق متغیرها، برای انتخاب عوامل مؤثر بر سیستم محاسبه شد. در منطقه مورد مطالعه، ۳ عامل (جدول ۱) مؤثر به‌عنوان عامل اصلی شناسایی شده‌اند که ۸۶/۷۰۷ درصد از واریانس تغییرات کل را شامل می‌شوند که از این مقدار ۵۵/۷۶۱ درصد مربوط به عامل اول می‌باشد. عامل اول بیشترین رابطه مثبت را به ترتیب با EC، Na، Cl، K، Mg، SO₄ و Ca دارد. به احتمال



جدول (۱): فاکتورهای اصلی و بار عاملی خصوصیات فیزیکوشیمیایی منابع آب زیرزمینی

	Component		
	۱	۲	۳
SO ₄	۰/۹۰۶	۰/۲۲۴	۰/۰۴۲
Cl	۰/۹۵۸	-۰/۲۰۹	-۰/۰۸۰
HCO ₃	۰/۳۹۲	۰/۱۲۹	۰/۵۸۱
CO ₃	-۰/۱۱۷	۰/۰۶۰	۰/۹۳۰
NO ₃	-۰/۰۱۸	۰/۸۴۴	۰/۲۰۵
K	۰/۹۱۵	۰/۲۱۹	-۰/۱۷۴
Na	۰/۹۸۵	۰/۰۶۱	۰/۰۹۰
Mg	۰/۹۰۹	-۰/۳۰۶	-۰/۱۰۷
Ca	۰/۷۷۵	-۰/۵۳۰	-۰/۲۰۷
pH	-۰/۲۳۱	-۰/۱۳۱	۰/۸۸۳
EC	۰/۹۹۳	-۰/۱۰۵	-۰/۰۰۲

بدست آمده است. افزایش عمق چاه سبب شده است از اعماق پایین تر آبخوان، آب زیرزمینی استخراج شود و از آنجایی که در اعماق، آب زیرزمینی شوری بیشتری دارد، آب خارج شده از چاه هدایت الکتریکی بیشتری خواهد داشت (شکل ۱۵).

- فاصله چاه تا خط ساحلی تالاب با هدایت الکتریکی منابع آب زیرزمینی رابطه منفی با ضریب همبستگی ۰/۷۵- دارد. بنابراین با نزدیک شدن به تالاب به دلیل وجود لایه های نمک و آب زیرزمینی با شوری بیشتر، افزایش هدایت الکتریکی منابع آب رخ داده است (شکل ۱۶).

- طول آبراهه با EC منابع آب زیرزمینی رابطه منفی با ضریب همبستگی ۰/۶۳- دارد. بنابراین با افزایش طول آبراهه ها افزایش نفوذ آب سطحی و تغذیه آبخوان، و در نتیجه کاهش شوری منابع آب زیرزمینی رخ داده است (شکل ۱۷).

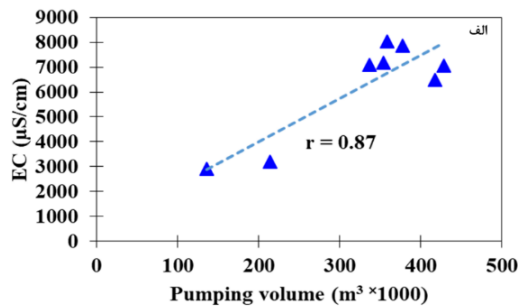
اثر عوامل تکتونیکی و هیدروژئولوژیکی بر کیفیت منابع آب

به منظور بررسی عوامل مختلف تکتونیکی و هیدروژئولوژیکی بر کیفیت منابع آب، ضریب همبستگی بین میانگین عوامل مذکور و پارامتر EC، در محدوده ای با شعاع ۱۰۰۰ متری اطراف هر منبع آب در نظر گرفته شده است:

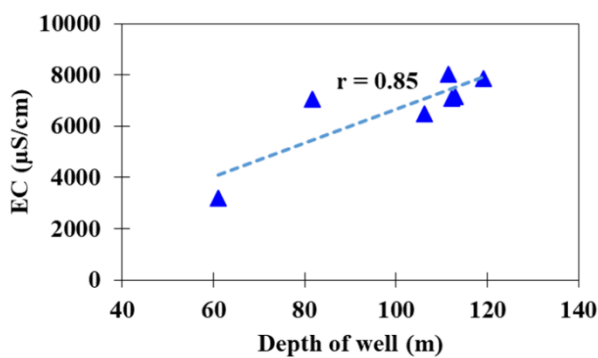
الف) بررسی رابطه عوامل هیدروژئولوژیکی

- حجم برداشت از آبخوان با EC آب زیرزمینی رابطه مثبت با ضریب همبستگی خوب (۰/۸۷) دارد. لذا در منطقه مورد مطالعه با افزایش حجم برداشت آب زیرزمینی از آبخوان ساحلی دریاچه (تالاب)، نفوذ آب شور از تالاب بیشتر شده است و سبب افزایش شوری منابع زیرزمینی شده است (شکل ۱۴).

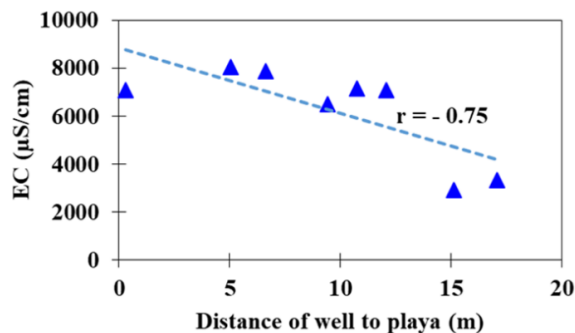
- رابطه عمق چاه های بهره برداری با هدایت الکتریکی منابع آب زیرزمینی، مثبت با ضریب همبستگی بالا (۰/۸۵)



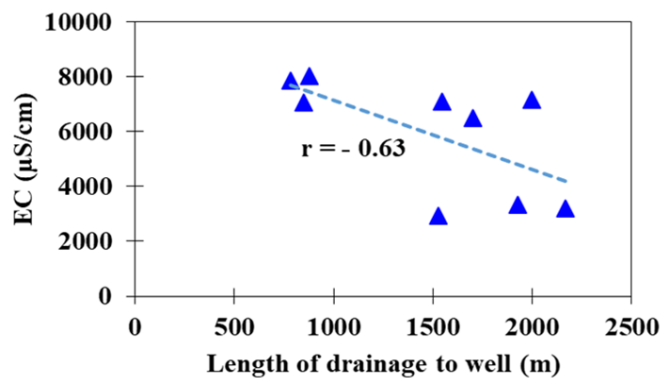
شکل (۱۴): رابطه‌ی بین هدایت الکتریکی با حجم برداشت از آبخوان در حریم یک کیلومتری.



شکل (۱۵): رابطه‌ی بین هدایت الکتریکی با عمق چاه‌های بهره‌برداری در حریم یک کیلومتری



شکل (۱۶): رابطه‌ی بین هدایت الکتریکی با فاصله چاه تا خط ساحلی تالاب در حریم یک کیلومتری



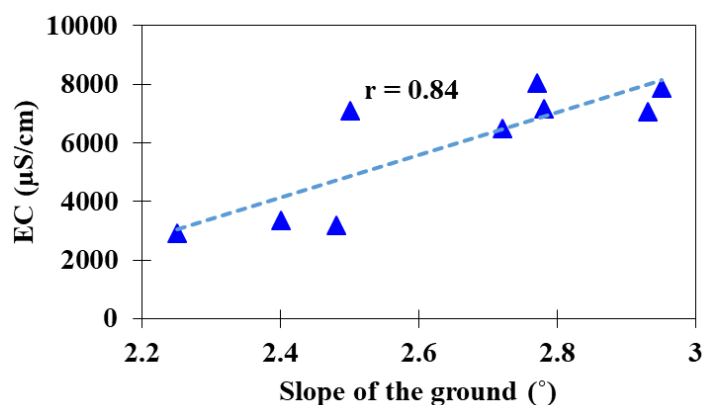
شکل (۱۷): رابطه‌ی بین هدایت الکتریکی با طول آبراهه در حریم یک کیلومتری



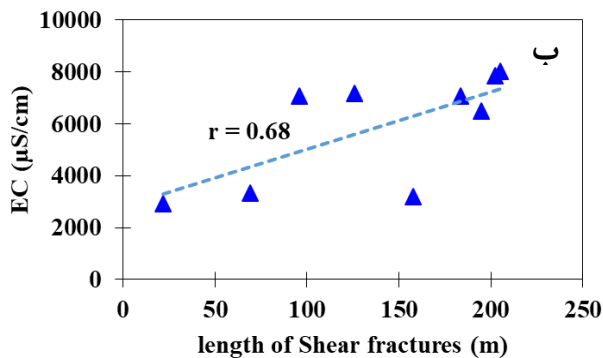
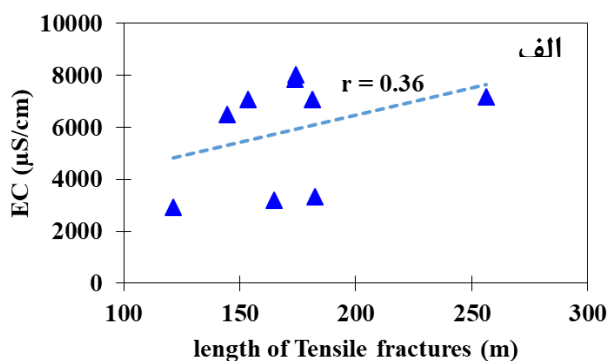
- خطواره‌های برشی و کششی با EC به ترتیب رابطه مثبت با ضریب همبستگی ۰/۶۸ و ۰/۳۶ دارد. در منطقه مورد مطالعه این شکستگی‌ها تقریباً در جهت شیب کلی توپوگرافی منطقه افزایش می‌یابد. لذا به نظر می‌آید با نزدیک شدن به تالاب کچی ضمن افزایش هدایت الکتریکی آب زیرزمینی، افزایش خطواره‌ها سبب شده است نفوذ آب شور به درون آب شیرین آبخوان ساحلی با نرخ بیشتری رخ بدهد (شکل ۱۹).

ب) بررسی رابطه عوامل تکتونیکی

- شیب سطح زمین با EC رابطه مثبت با ضریب همبستگی ۰/۸۴۳ دارد. با توجه نقشه پراکندگی هدایت الکتریکی (شکل ۱۸) مشاهده می‌شود منابع با شوری کمتر در سمت شرق و جنوب شرقی دریاچه در مناطقی که شیب توپوگرافی کمتر می‌باشد، قرار دارند. لذا به نظر می‌آید با کاهش شیب سطح زمین، نفوذ آب بارش و آب سطحی و تغذیه بیشتر سبب کاهش شوری آب زیرزمینی شده است.



شکل (۱۸): رابطه‌ی بین هدایت الکتریکی با شیب سطح زمین در حریم یک کیلومتری



شکل (۱۹): رابطه‌ی بین هدایت الکتریکی با خطواره‌های کششی (الف) و خطواره‌های برشی (ب) در حریم یک کیلومتری

نتیجه گیری

به رسوبگذاری پیدا کرده اند. عوامل زمین شناسی (جنس ذرات، خصوصیات هیدروژئولوژیکی و تکتونیکی)، نفوذ آب شور تالاب و فعالیت‌های کشاورزی، عوامل اصلی کنترل کننده کیفیت آب زیرزمینی مجاور تالاب تشخیص داده شد. از عوامل هیدروژئولوژیکی اثرگذار بر کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی می توان به: افزایش حجم برداشت از آبخوان، افزایش نرخ پمپاژ چاه‌ها، افزایش عمق چاه‌های بهره‌برداری، نزدیک بودن چاه‌ها به تالاب و وجود آبراهه‌های با طول کوتاه اشاره کرد. از عوامل تکتونیکی موثر در کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی می توان به: افزایش شیب سطح زمین (کاهش نفوذ آب سطحی) و همچنین افزایش خطواره‌های برشی و کششی منطقه مورد مطالعه اشاره نمود.

هیدروشیمی منابع آب محدوده‌ی مورد مطالعه نشان داد تیپ آب زیرزمینی آبخوان در همه نواحی و همانند آب تالاب از نوع NaCl می‌باشد. کاهش کیفیت آب زیرزمینی (افزایش EC) بصورت مکانی، زمانی و عمقی به همراه کاهش سطح ایستابی در مناطق اطراف تالاب به خوبی نشان داد که در اثر برداشت آب زیرزمینی و کاهش سطح آب در آبخوان و استخراج آب زیرزمینی با شوری بالاتر در اعماق آبخوان، یک کاهش کیفیت در آب پمپاژ شده در چاه‌های بهره‌برداری در منطقه در حال رخ دادن است. در اثر افزایش شوری آب آبخوان و قدرت یونی تمامی نمونه‌های آب زیرزمینی نسبت به بسیاری از کانی‌ها تمایل

منابع

- اکبری، ف.، باقری، ر.، ندری، آ. ۱۳۹۸. هیدروژئوشیمی و پایش کیفی تالاب کارستی-گچی برم شور در استان خوزستان، هیدروژئولوژی، دوره ۴، شماره ۱، ص ۶۹-۵۴.
- امیری، و. ۱۳۹۹. بررسی پتانسیل نفوذ شیرابه به منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل سازی عددی (مطالعه موردی: آبخوان ساحلی ارومیه)، مجله علمی-پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره ۲۶، ص ۱۸۴-۱۶۱.
- ثقفی، م. ۱۳۹۸. رابطه‌ی بین تحولات زمین‌های الگودار با تغییرات زمانی و مکانی غلظت ترکیبات شیمیایی کفه‌ی نمکی پلایای سهل‌آباد (مطالعه‌ی موردی: استان خراسان جنوبی)، جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۳۰، ص ۳۵-۱۹.
- شجاعی باغینی، س.، جهانشاهی، ر.، مالی، س. ۱۳۹۸. ارزیابی آلودگی عناصر نادر و پتانسیل خوردگی در منابع آب زیرزمینی نواحی جنوب و جنوب غربی شهر سیرجان، مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۸، شماره ۲۱، ص ۱۲۸-۱۱.
- شیخی، و.، زارع، ک.، زارع، م. ۱۴۰۱. ارزیابی دامنه‌ی نفوذ آب شور دریاچه‌ی مهارلو به آبخوان ساحلی با ویژگی‌های آب شیمیایی، پژوهش‌های آبخیزداری، دوره ۳۵، شماره ۴، شماره پیاپی ۱۳۷، ص ۶۲-۴۷.
- قدیمی، ف.، آزاديفر، س. ۱۴۰۲. تأثیر شوراب پلایای میقان اراک بر کیفیت آب زیرزمینی به روش آمار چند متغیره، یافته‌های نوین زمین شناسی کاربردی، دوره ۱۷، شماره ۳۳، ص ۹۹-۸۳.
- موسوی، م.، رستمی، ن.، کریمی، ح. ۱۳۹۷. بررسی تغییرات شوری رودخانه به روش هیدروشیمیایی در مناطق بیابانی (مطالعه‌ی موردی: رودخانه نمکدان، استان ایلام)، جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۲۶، ص ۵۶-۴۵.
- Aghazadeh, N., Nojavan, M., Asghari Mogaddam, A. 2012. Effects of road-deicing salt (NaCl) and saline water on water quality in the urmia area, Northwest of Iran. Arab J Geosci, 5(4):566-596.
- Azizi, F., Asghari Moghaddam, A., Nazemi, A. 2019. Spatial Variation of Groundwater Salinity and Risk Assessment of Salwater Intrusion in Malekan Aquifer, Vol 15, No. 1, Spring 2019- (IR-WRR), 32-44.
- Jahanshahi, R., Zare, M. 2016. Hydrochemical investigations for delineating salt-water intrusion into the coastal aquifer of Maharlou lake, Iran. African Earth Sciences, 121:16-29.



- Khosravi, R., Zarei, M., Bigalke, M. 2018. Characterizing major controls on spatial and seasonal variations in chemical composition of surface and pore brine of Maharlu lake, southern Iran. *Aquat Geochem*, doi.org/10.1007/s10498-018-9329-y.
- Motallebain, M., Ahmadi, H., Raoof, A., Cartwright, N. 2019. An alternative approach to control saltwater intrusion in coastal aquifers using a freshwater surface recharge canal. *Contaminant Hydrology*, doi.org/10.1016/j.jconhyd.2019.02/007.
- Raisossadat, N., Zarrinkoub, M., Khatib, M. 2012. Geomorphology and genesis of Sahlabod playa – east of Iran. *Geography and Development, Iranian Journal*, 28:31-39.
- Shojaei Baghini, S., Jahanshahi, R., Mali, S., Nasiri, M. 2020. Destruction of groundwater quality and the risk of saltwater intrusion in the aquifers nearby sirjan salt playa Iran. *Environmental Analytical Chemistry*, 100(6): 647–661.