



Integration of Hydrochemical And Statistical Methods to Evaluate The Chemical Quality of Groundwater Resources in the Zeydon Plain, Khuzestan Province

Saeideh Firoozi¹ | Nasrullah Kalantari² | Hadi Mohammadi³

1. PhD Student, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
2. Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
3. PhD Student, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

✉Corresponding Author: N.kalantari@scu.ac.ir

Received:
09 March 2024

Accepted:
12 May 2024

Published:
19 March 2024

Keywords:

*Zeydon,
plain aquifer,
hydrochemistry,
statistical methods,
factor analysis.*

Extended abstract

Introduction

The Zeydon Plain with an area of approximately 370 Km² is located in the southwest of Behbahan city and at a distance of approximately 180 km from Ahvaz city in Khuzestan province. The geological formations in the study area include Gachsaran, Mishan, Aghajari and Bakhtiari. The Zohreh River is an important surface water resource in the area and to some extent recharging some parts of the Zeydon plain and virtually partially discharging the aquifer. The main purpose of this research is to detect the hydrogeochemical characteristics of groundwater resources and to determine the geogenic and human activities affecting the groundwater quality of the area. To reach the goal, a combination of graphical and statistical methods has been taken into account. The dominant water type in the plain is sodium chloride and the principal component analysis (PCA) and Hierarchical cluster analysis (HCA), indicated two geogenic factors. The first factor depicted the strong relationship between sodium and chloride and the second factor displayed a robust correlation between calcium and sulphate.

Material and method

To assess the hydrochemical quality of groundwater, from 11 sampling stations samples were collected and analyzed for major ions in the spring of 1400.

Cite this article: Firoozi, S., Kalantari, N. & Mohammadi, H. (2024). Integration of Hydrochemical And Statistical Methods to Evaluate The Chemical Quality of Groundwater Resources in the Zeydon Plain, Khuzestan Province. *Journal of Aquifer and Qanat Title*, 4 (2), 187-204. DOI: [http:// 10.22077/jaaq.2024.7402.1069](http://10.22077/jaaq.2024.7402.1069)



Copyright: © 2024 by the authors. Licensee Journal of Aquifer and Qanat. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The well log, Piper diagram, iso-potential diagrams, and the composite diagrams, were used to evaluate the hydrochemical quality of the groundwater and the ionic exchange characteristics of the Ziduon plain groundwater. In addition, to evaluate the hydrochemical quality of groundwater, statistical methods such as factor analysis, correlation and cluster analysis were used. In this investigation, GIS, AqQa, SPSS20 and Phreeqc I 2.15 were used to prepare iso-value and Piper's diagrams, compute the saturation index and perform statistical methods.

Result and Discussion

The piezometer log observations display coarse grains (gravel and sand) in the southeast, while along the flow direction, the grains are gradually changed into fine ones (silt and clay). The Zohreh River trending east-west in the Zydoun plain plays a role in gaining and losing water concerning the Zydoun aquifer and in turn impacts the groundwater quality of the aquifer. Groundwater flow is directed to the northeast-south-west in the upper part of the area and directed east-west in the downstream.

The groundwater is alkaline and pH ranges between 7 and 7.4 and electrical conductivity varies between 1929 and 4400 micromhos/cm. Based, on Piper's diagram the dominant water type in the large part of the plain is sodium-chloride and the end member of the evolutionary sequence of the anion is chloride. The iso-value map of TDS and major ions exhibited a gradual increase in salinity in the flow direction, but water quality close to the Bakhtiari formation is in good condition in comparison to other parts of the area.

To depict the geochemical processes governing the groundwater quality in the area, composite diagrams, ion exchange and saturation index were accounted for. Two variable composite diagrams, including (Ca+Mg)-(SO₄+HCO₃) vs. Na-Cl and Na-Cl vs. EC were used to distinguish ion exchange and both the variable diagrams indicated ion exchange and reverse ion exchange. The samples in the central part towards the northwest of the plain displayed ion exchange while in the southeast and the vicinity of the Zohreh river reverse ion exchange was observed. The samples of the Zydoon plain were supersaturated concerning calcite and dolomite reflecting calcite and gypsum dissolution while the samples were under saturation about gypsum and halite.

Based on the correlation matrix and Pearson's coefficient of the chemical parameters, it was realized high correlation between sodium and chloride ions indicating the dissolution of evaporite minerals in the aquifer, and the high correlation between calcium and sulfate could be due to the dissolution of gypsum and anhydrite of the Gachsaran formation in the study area. The hierarchical cluster analysis displayed 11 variables and classified them into different clusters. Based on the cluster analysis method, sodium and chloride variables as well as electrical conductivity and total solutes are placed in a cluster as the first effective factor responsible for the hydrochemical behavior of the groundwater system in the region. Due to the strong correlation among calcium, sulfate and magnesium variables, it could be considered as the second factor that influences groundwater quality. According to the correlation of the variables with the use of the cluster diagram, the groundwater resources of the area can be classified into two groups as shown in the figure below.

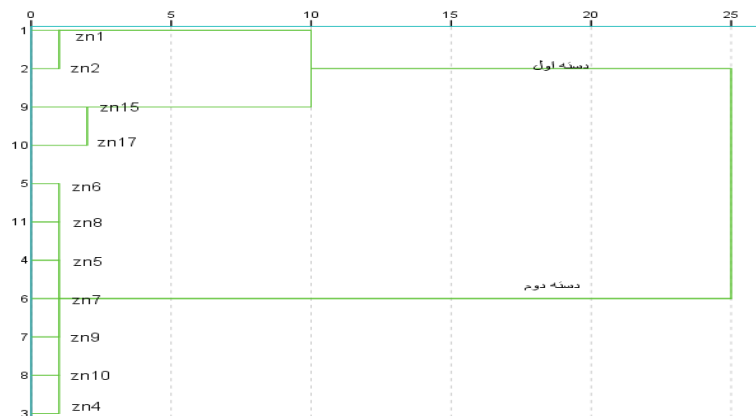


Fig 1. Cluster diagram of groundwater samples - Spring 1400.

Conclusion

Comparison of the equivalent value maps of the total dissolved salts and the direction of the groundwater flow confirms the increase in groundwater salinity in the direction of the flow and towards the centre of the plain, but in general, the quality of the groundwater in the southeastern part and in the vicinity of the Bakhtiari formation is better than the central part of the plain. According to Piper's chart, the type of water in most parts of the area is sodium-chloride and the sodium-sulfate type has been observed in only two places. Most of the samples of the Zeydon aquifer are supersaturated with regards to calcite and dolomite indicating precipitation of these minerals and under saturation about gypsum and halite depicting the dissolution of them. Both ion exchange and reverse ion exchange were taken part in the area and this phenomena along with precipitation and dissolution of minerals are influencing the hydrochemical characteristics of the groundwater.

The principal component analysis revealed a strong correlation among the TDS, Na and Cl. This correlation in turn illustrates halite dissolution and salinity of groundwater. According to the Hierarchical cluster analysis, the groundwater quality of the area is placed into two groups. The first group is composed of two subgroups. Subgroup 1 includes samples Zn1 and Zn2 and the water type was sodium-sulfate in subgroup 2 samples Zn15 and Zn17 exhibited calcium-chloride water type. The samples Zn4, Zn5, Zn6, Zn7, Zn9, Zn10 and Zn10 were situated in group 2 and the water type was sodium-chloride. Based on the Scree method, the first and the second components represented 57.3 and 25.85 % variation respectively. The first component related to the EC, Na and Cl shows the dissolution of the evaporated gypsum and the embraced halite particles. Therefore, the salinity of groundwater is mainly related to the dissolution of the evaporated rocks and the recharge from the Zoreh River.



تلفیق روش‌های هیدرو شیمیایی و آماری جهت ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت زیدون، استان خوزستان

سعیده فیروزی^۱ | نصرالله کلانتری^۲ | هادی محمدی^۳

۱. دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.
۲. استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
۳. دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

✉ نویسنده مسئول: N.kalantari@scu.ac.ir

چکیده

دشت زیدون با مساحت تقریبی ۳۷۰ کیلومتر مربع، در جنوب غرب شهرستان بهبهان در فاصله تقریباً ۱۸۰ کیلومتری شهرستان اهواز در استان خوزستان واقع شده است. به منظور شناخت ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی و تعیین عوامل طبیعی مؤثر بر کیفیت آن، از ۱۱ نقطه در بهار ۱۴۰۰ نمونه‌برداری انجام شده است. در این مطالعه جهت بررسی پارامترهای مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت زیدون از تلفیق روش‌های گرافیکی شامل نمودار پایپر و نمودار هم‌ارزش و نمایه‌های اشباع و روش‌های آماری شامل تحلیل عاملی، ضرایب همبستگی و تحلیل خوشه‌ای استفاده شده است. در گام اول با استفاده از داده‌های گردآوری‌شده، نمودار پایپر و نمودارهای هم‌ارزش ترسیم گردید و با لاگ‌های ترسیم شده از بخش‌های مختلف دشت مقایسه شد و در گام بعدی از روش تحلیل عاملی جهت به‌دست آوردن جدول ماتریس همبستگی براساس ضریب پیرسون برای پارامترهای شیمیایی استفاده شد که میزان همبستگی بین یون‌های سدیم و کلرید ($R^2=0.942$) و همچنین کلسیم و سولفات ($R^2=0.949$) نشان داده شده است. در نهایت نتایج به‌دست آمده از روش‌های هیدروشیمیایی با نتایج حاصل از روش آماری مورد مقایسه قرار گرفت و در هر دو روش کیفیت آب زیرزمینی دشت زیدون یکسان مشاهده شده است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۹

کلیدواژه‌ها:

آبخوان دشت زیدون، هیدرو شیمی، روش‌های آماری، تحلیل عاملی.

مقدمه

رشد جمعیت و تغییرات اقلیمی در بسیاری از مناطق جهان به‌ویژه در شهرهای بزرگ و در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک منجر به کمبود آب شده است (Wolf et al., 1988). بنابراین، حفاظت کمی و کیفی از منابع آب زیرزمینی که امروزه جهت مصارف مختلف مورد بهره برداری قرار می‌گیرد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. آب زیرزمینی به‌وسیله عوامل متعددی مانند: شیمی اتمسفر، زمین شناسی منطقه، پوشش گیاهی و عوامل انسانی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. برخی از مواد معدنی مانند سازنده‌ای کربناته و تبخیری در آب زیرزمینی به‌سرعت حل می‌شوند و باعث تغییر ترکیب آب زیرزمینی می‌شوند، در حالی که مواد معدنی دیگر مانند سیلیکات‌ها آهسته‌تر حل می‌شوند و تأثیر کمتری در ترکیب آب زیرزمینی دارند. دما نیز نقش حیاتی، در کنترل ترکیب شیمیایی و بیولوژیکی آب زیرزمینی دارد. مطالعات گذشته نشان داده است که کیفیت آب‌های زیرزمینی اغلب، با توجه به واکنش آب با رسوبات یا سنگی که از میان آنها عبور می‌کند تحت تأثیر قرار می‌گیرند (Lazhar Belkhir et al., 2010).

در این تحقیق از تلفیق دو روش گرافیکی و آماری جهت بررسی کیفی آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه استفاده شده است، چون هیچ‌یک از روش‌های گرافیکی قدرت تمایز بین گروه‌ها و میزان شباهت در بین آنها را ندارند، در صورتی که در روش‌های آماری محدودیتی از این لحاظ وجود ندارد و کاربرد این روش‌ها در مطالعات آب‌های زیرزمینی روز به‌روز گسترده‌تر می‌شود. محدودیتی که اغلب روش‌های آماری نسبت به روش‌های گرافیکی دارند، این است که اطلاعاتی راجع به ترکیب شیمیایی نمونه‌ها ارائه نمی‌کنند و نتایج آنها (روش آماری) را نمی‌توان به‌سرعت در تفسیر روند و فرآیندهای مربوط به مسائل هیدرو شیمیایی به کار برد. استفاده از دو روش گرافیکی و آماری باعث می‌شود که مزایای هر روش باقی بماند و محدودیت‌های هر روش کمتر شود (Guler et al., 2002). دین‌پژوه (Dinpajoh, 2022) با استفاده از روش آماری خوشه‌ای کیفیت آبخوان دشت خوی را به ۴ ناحیه تقسیم بندی کردند و براساس این پژوهش بیش از ۵۰ درصد آبخوان کیفیت شیمیایی مطلوبی دارد. نتایج

حاصل از پژوهش کلانتری و همکاران (Kalantari et al., 2022) در دشت باغملک با استفاده از روش آماری HCA و PCA برای داده‌های کیفی در دوره ۱۰ ساله نشان داد که چاه‌های منطقه در سه گروه قرار می‌گیرند و هدایت الکتریکی با سولفات و کلسیم بیشترین همبستگی را دارد و دو عامل اصلی در تغییرات کیفیت آب زیرزمینی منطقه مؤثر بوده که عامل اول بیشترین درصد تغییرات را شامل می‌شود. عبادتی (Ebadati, 2015) تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت ایوانکی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که کیفیت آب در منطقه غرب در مناسب‌ترین حالت و در منطقه شرق و جنوب به‌علت نزدیکی به توده‌های تبخیری دارای ضعیف‌ترین کیفیت آب زیرزمینی می‌باشند. اقدر و محمدیاری (Aghdar and Mohamadyari, 2014) روش آماری تحلیل خوشه‌ای را برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت دهلران و مهران مورد استفاده قرار دادند و چاه‌های موجود در دشت را به سه گروه تقسیم کردند. عامل مؤثر بر کیفیت آب در این دشت را واکنش بین آب و سازند گچساران تشخیص دادند و گروه دوم بهترین کیفیت و گروه اول بدترین کیفیت آب زیرزمینی را نشان داده‌اند. چیت‌سازان و همکاران (Chitsazan et al., 2018) با استفاده از روش مولفه‌های اصلی و تحلیل عاملی، آلودگی نیترات آبخوان دشت کرج را بررسی کردند. براساس نتایج به‌دست آمده نیترات بیشترین همبستگی با کلرید و کمترین همبستگی را با سدیم و سولفات نشان داده است و دو عامل زمین زاد و انسان زاد در کیفیت آبخوان تأثیر گذار می‌باشند. جلالی و همکاران (Jalali et al., 2012) جهت تشخیص وضعیت هیدروژئوشیمیایی و روند شوری در سفره آبدار دشت خوی از روش‌های آماری و هیدرو شیمیایی استفاده کردند. نتایج حاصله نشان داد که سه عامل مؤثر بر کیفیت منابع آب زیرزمینی وجود دارد. عامل اول و دوم تأثیر سازنده‌ای زمین شناسی و عامل سوم فعالیت‌های انسانی در نتیجه کشاورزی بوده است. کلانتری و همکاران (Kalantari et al., 2021) در ارزیابی وضعیت هیدرو ژئوشیمی آب زیرزمینی آبخوان عقیلی با تأکید بر روش‌های آماری چند متغیره به این نتیجه رسیدند که تیپ غالب آب زیرزمینی در این آبخوان

براساس روش اقلیم نمای آمبرژه (Alizadeh, 2003)، اقلیم منطقه مورد مطالعه نیمه خشک معتدل است. دشت زیدون ناودیس نامتقارن پلانژداری است که در میان دو تاقدیس پازنان در شمال و تاقدیس رگ سفید در جنوب منطقه قرار گرفته است. روند دو تاقدیس و همچنین ناودیس به موازات روند کلی زاگرس می باشد. سازنده ای موجود در منطقه مورد مطالعه شامل سازند گچساران، میشان، آغا جاری و کنگلومرای بختیاری است (شکل ۱). رودخانه زهره و خیرآباد مهم ترین و اصلی ترین رودخانه های موجود در منطقه مورد مطالعه می باشند. رودخانه خیرآباد پس از تلاقی با رودخانه ی زهره با روند تقریباً جنوب شرقی - شمال غربی از مرکز دشت زیدون عبور می کند. بلندترین نقطه ارتفاعی در حوضه ی زیدون، در ارتفاع ۴۹۰ متری از سطح دریا قرار دارد و پست ترین نقطه ارتفاعی، با ارتفاع ۵ متر از سطح دریا واقع در خروجی دشت است.

نمونه برداری و آنالیز شیمیایی نمونه ها

در این تحقیق به منظور بررسی کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در بهار ۱۴۰۰ از ۱۱ نقطه به نحوی که پراکنش مناسب در دشت را داشته باشند (شکل ۱)، نمونه برداری انجام شد. در محل نمونه برداری پارامترهای هدایت الکتریکی، دما و PH اندازه گیری گردید و نمونه ها پس از جمع آوری جهت تعیین غلظت عناصر عمده (Ca, Mg, Na, K, HCO₃, SO₄, Cl) به آزمایشگاه سازمان آب و برق استان خوزستان ارسال شدند. در طول مراحل نمونه برداری، کنترل و تضمین کیفیت نمونه برداری براساس روش استاندارد (EPA, 2006) انجام شده است (جدول ۱). نتایج آنالیز شیمیایی نمونه های آب دشت زیدون در جدول (۲) ارائه شده است. جهت صحت سنجی نتایج آنالیز نمونه های دشت زیدون میزان درصد خطا تعیین گردید. میزان خطای اندازه گیری شده ۱/۱ درصد محاسبه شده است که از مقدار مجاز ۵ درصد کمتر بوده و قابل قبول است.

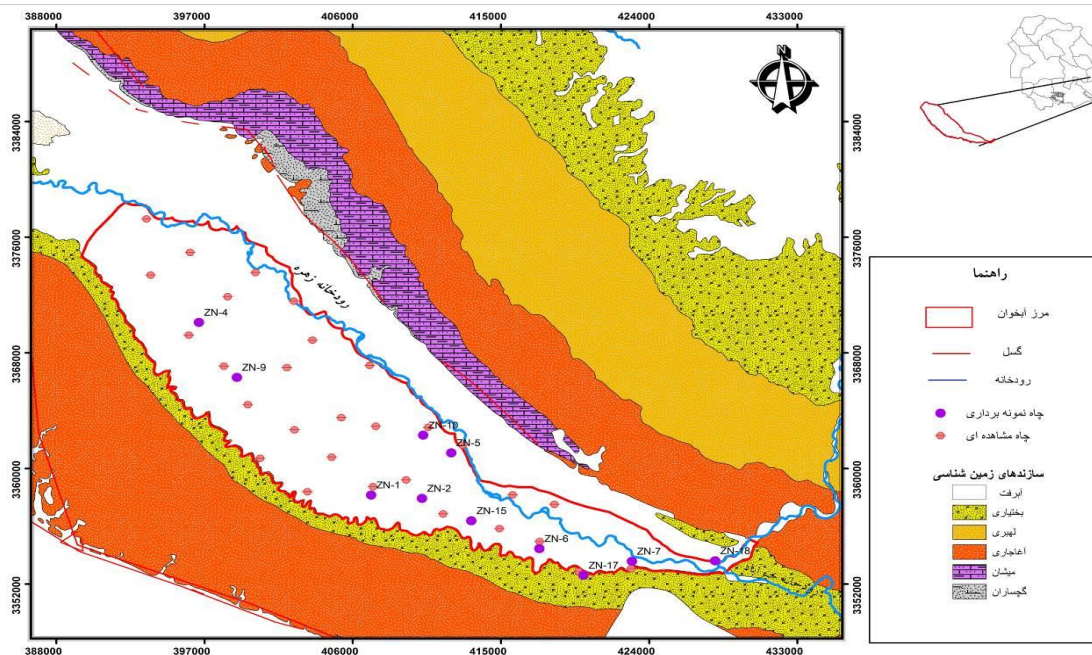
کلرید-سدیم است. نتایج حاصل از روش HCA نشان داد که نمونه های آب زیرزمینی در دو خوشه قرار می گیرند. همچنین با استفاده از روش PCA مشاهده گردید که کیفیت آب زیرزمینی تحت تأثیر دو عامل می باشند که عامل اول با ۸۲/۸ درصد تغییرات، بیشترین تأثیر را دارد.

(Wu et al., 2021) برای دسته بندی پارامترهای کیفی هانگ - جینگی در مغولستان از تحلیل خوشه ای جهت دسته بندی پارامترهای کیفی استفاده کرده است و دیانگرام پایپر و پارامترهای شاخص اشباع در دوران بارانی و خشک تفاوت ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی را نشان می دهد (Igbah and Tanko, 2019). با استفاده از روش آماری HCA، آب زیرزمینی منطقه ابوجا در نیجریه را در ۴ خوشه قرار دادند (Zaho et al., 2012). کیفیت آب دریاچه Baiyangdian در چین را با استفاده از تکنیک های چند منظوره مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسیدند که در بخش غربی آلودگی بیشتری در اثر تخلیه فاضلاب خانگی و پساب صنعتی رودخانه Fuhe که در نزدیکی این دریاچه قرار گرفته است، مشاهده می شود (Alberto et al., 2000). از داده های ۲۲ پارامتر رودخانه سوکویا آرژانتین در طی دو سال جهت بررسی تغییرات مکانی و زمانی استفاده کرده است و با روش آماری CA و PCA اطلاعات را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و براساس روش PCA به ۱۳ پارامتر نیاز بوده تا ۷۱ درصد تغییرات مکانی و زمانی را نشان دهد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

دشت زیدون با مساحت تقریبی ۳۷۰ کیلومتر مربع، بین طول جغرافیایی ۴۹°۴۲' تا ۵۰°۱۵' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰°۱۶' تا ۳۰°۴۱' شمالی در جنوب غرب شهرستان بهبهان در فاصله تقریباً ۱۸۰ کیلومتری شهر اهواز در استان خوزستان قرار دارد. میانگین دمای سالانه این دشت ۲۶.۳۴ و میانگین بارندگی سالانه ۳۱۰.۸۱ میلی متر است. با توجه به این داده ها و



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و موقعیت محل‌های نمونه‌برداری دشت زیدون.
 Fig 1. Geological map of the study area and sample locations of the Zeydon plain.

جدول ۱. روش‌های مورد استفاده جهت اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت شیمیایی.

Table 1. Methods used to measure chemical quality parameters.

حد استاندارد Standard Limit	روش استفاده Instructions	واحد Unit	نماد Symbol	پارامترهای کیفیت آب Water Quality Parameters
≥ 8	پتانسیومتری	pH unit	pH	pH
-	EC متر	ms/m	EC	هدایت الکتریکی
500	تیترومتریک	mg/L	TH	سختی کل
250	تیترومتریک	mg/L	Ca	کلسیم
50	تیترومتریک	mg/L	Mg	منیزیم
200	فتومتری	mg/L	Na	سدیم
-	فتومتری	mg/L	K	پتاسیم
400	تیتراسیون	mg/L	Cl	کلراید
400	اسپکتوفتومتر	mg/L	SO4	سولفات

جدول ۲. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت زیدون.

Table 2. Results of chemical analysis of groundwater samples in the Zeydon plain.

pH	EC (s/cm)	TDS (mg/l)	Cl	SO4	HCO3	K (meq/l)	Na	Mg	Ca	Sample
7	4100	2829	18/76	27/32	3/15	0/14	23/36	7/09	18/89	ZN-1
7	4090	2822	18/68	26/71	3/5	0/15	23/36	6/95	18/69	ZN-2
7/2	3260	2086	20/61	10/44	3/47	0/1	23/92	10/83	9/3	ZN-4
7/5	4190	2682	29/51	11/97	3/15	0/13	27/4	4/42	13/04	ZN-5
7/4	2940	1882	19/57	8/83	2/7	0/11	18/16	3/92	9/28	ZN-6
7/3	3330	2131	23/57	8/78	2/58	0/09	22/8	3/02	9/36	ZN-7
7/2	4400	2816	30/55	14/09	3/53	0/15	31/08	6/7	10/6	ZN-9
7/2	4450	2848	31/81	11/89	3/58	0/15	31/72	4/86	10/9	ZN-10
7/2	1925	1290	8/2	10/74	2/69	0/11	8/42	3/34	10/08	ZN-15
7/2	3960	2614	21/72	18/75	2/36	0/27	23/1	7/84	11/96	ZN-17
7/4	2970	1901	17/62	10/57	2/62	0/10	18/16	3/3	9/6	ZN-18

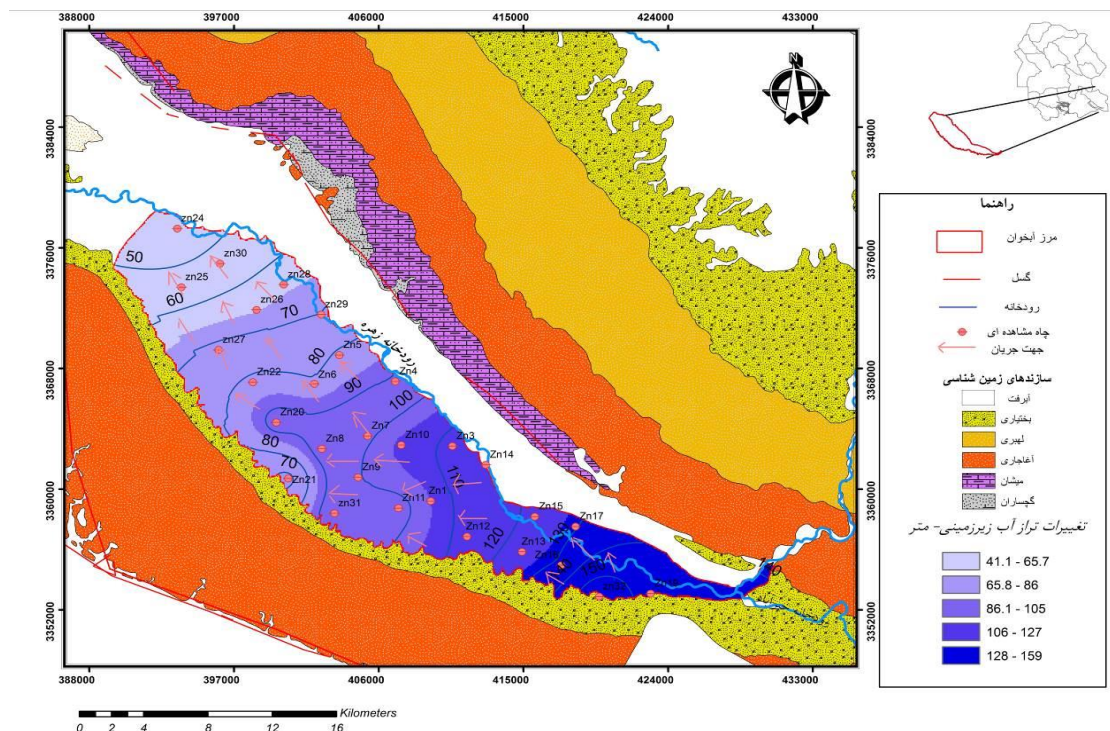
شیمیایی منطقه بردازیم. همان گونه که شکل (۲) مشاهده می شود بیشترین عمق سطح آب زیرزمینی در بخش جنوب شرقی دشت و کمترین عمق در بخش شمال غربی دشت است و جهت جریان از جنوب شرق به سمت شمال غرب دشت می باشد. با استفاده از پارامتر مجموع املاح آب زیرزمینی نقشه هم ارزش مجموع املاح شکل (۳) تهیه شده است. مقدار املاح در مسیر جریان آب زیرزمینی، از جنوب شرق به سمت مرکز افزایش یافته است ولی در قسمت شمال غرب از غلظت املاح کاسته می شود. بررسی لاگ چاه های مشاهده ای شکل (۴) نشان می دهد که در قسمت جنوب شرقی دشت رسوبات درشت دانه گراول و ماسه ناشی از فرسایش سازند بختیاری وجود دارد و به تدریج در مسیر جریان و در مجاورت رودخانه زهره به طرف مرکز دشت، در اثر انحلال سازنده ای گچساران و میشان، رسوبات ریز دانه رس و سیلت مشاهده می شود که این رسوبات ریزدانه باعث افزایش مقدار املاح آب زیرزمینی در مرکز دشت شده اند.

در این پژوهش، با استفاده از دیاگرام پایپر و نمودارهای هم ارزش و لاگ سازنده ای زمین شناسی منطقه و نمودارهای چند متغیره به بررسی کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی و تبدلات یونی دشت زیدون پرداخته شده است. سپس با استفاده از روش های آماری مانند تحلیل عاملی و تحلیل خوشه ای سهم هر یک از عوامل مؤثر در کیفیت آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت. جهت تهیه نمودارهای هم ارزش از نرم افزار GIS، برای ترسیم نمودار پایپر از نرم افزار AqQa و جهت تهیه نمایه های شاخص اشباع از نرم افزار Phreeqc I 2.15 و همچنین برای انجام روش های آماری از نرم افزار SPSS20 استفاده شده است.

نتایج و بحث

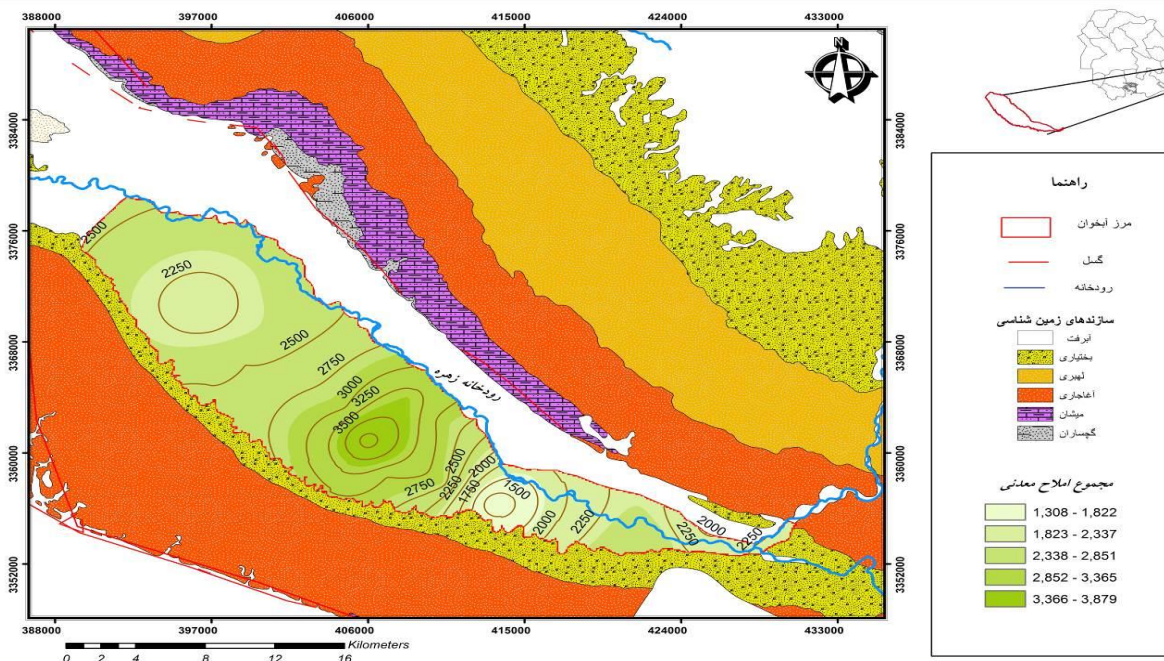
الف) بررسی های هیدروژئوشیمیایی

به منظور شناسایی تغییرات تراز آب زیرزمینی و جهت جریان آب از میانگین داده های سطح آب چاه های مشاهده ای استفاده شده است، تا با استفاده از نقشه جهت جریان آب زیرزمینی به بررسی های هیدرو



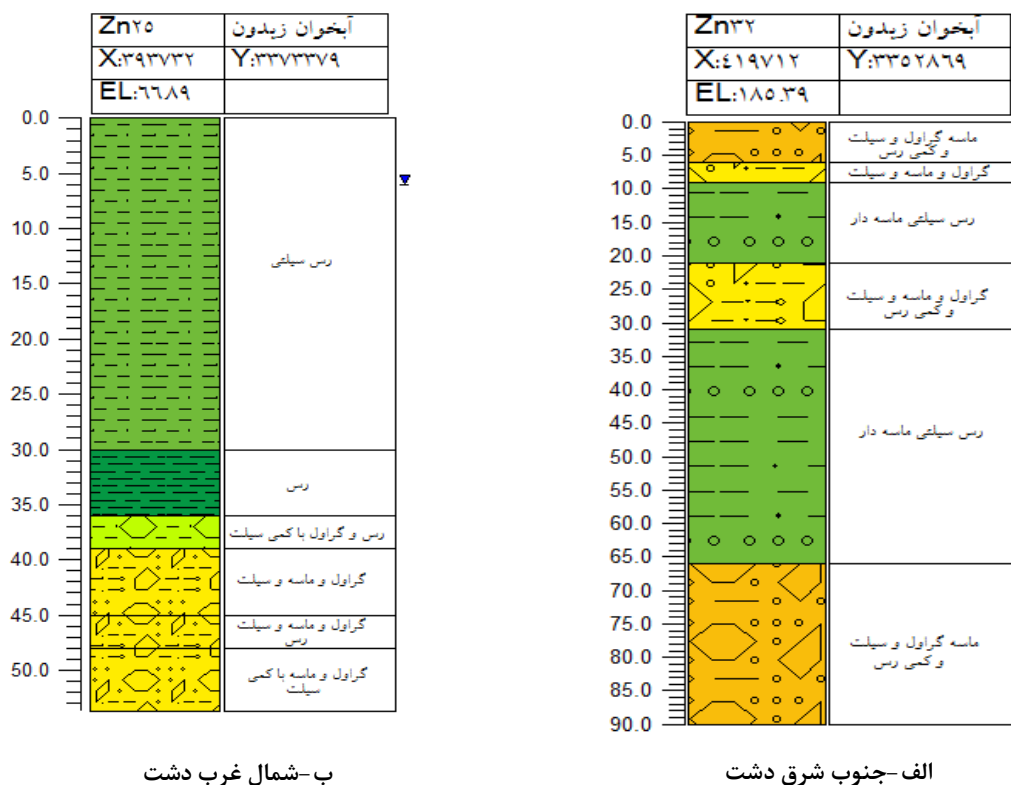
شکل ۲. نقشه سطح آب زیرزمینی و جهت جریان دشت زیدون.

Fig 2. The map of groundwater level and flow direction of the Zeydon plain.



شکل ۳. نقشه هم ارزش مجموع املاح آب زیرزمینی دشت زیدون.

Fig 3. The map of the total dissolved solid of the Zeydon Plain.



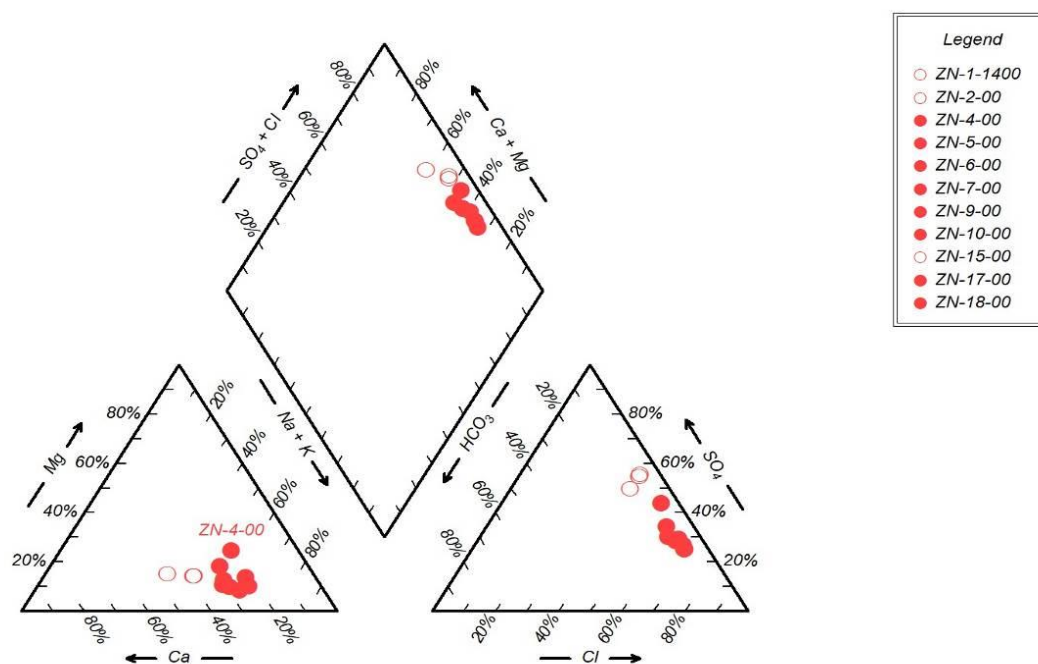
شکل ۴. الف-ب) نمونه‌ای از لاگ چینه‌ای پیزومترهای دشت زیدون.

Fig 4. a-b) example of the stratified log of piezometers in the Zeydon Plain.

نمودار پایپر

مطالب فوق، به دلیل وفور مقدار هالیت محلول، سکناس سولفات در منطقه بارز نبوده و به طور کلی در بخش های وسیعی از دشت آخرین سکناس تکاملی مشاهده می شود و فقط در چند محل نمونه برداری Zn 15 و Zn 1 و Zn 2 که در قسمت جنوب شرقی دشت تیپ سولفات مشاهده می شود.

جهت تعیین تیپ غالب آب زیرزمینی دشت زیدون از نمودار پایپر استفاده شده است. با توجه به شکل (۵) تمایل نمونه ها به رأس کلرید در مثلث سمت راست است و در بخش های وسیعی از دشت آخرین سکناس تکاملی آنیونی (کلروره) مشاهده می شود. تیپ غالب آب زیرزمینی در دشت زیدون سدیم کلرید است. بنابراین، با توجه به



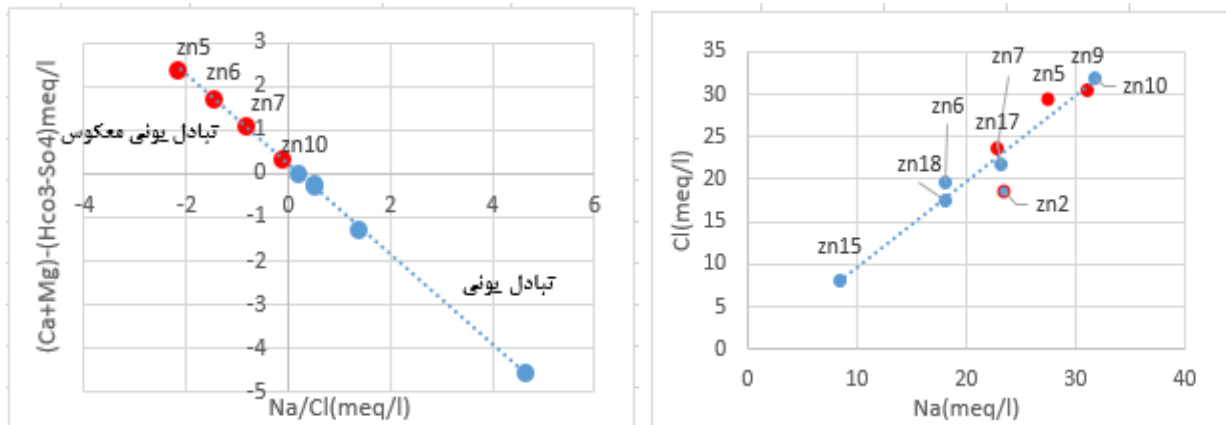
شکل ۵. نمودار پایپر نمونه های آب زیرزمینی دشت زیدون.

Fig 5. Piper diagram of groundwater samples in Zeydon Plain.

زیرزمینی نقش مهمی دارند و در شناسایی فرآیندهای ژئوشیمیایی حاکم بر کیفیت آب زیرزمینی دارای اهمیت ویژه ای می باشند. در آبخوان هایی که دارای رس مونت موریلونیت هستند، امکان تبادل یونی یا نرم شدگی طبیعی وجود دارد و در این حالت Ca و Mg از آب خارج می شوند و Na جای آنها را می گیرد و آنیون ها بدون تغییر باقی می مانند (Hounslow, 1995). در تبادلات یونی معکوس جذب سدیم توسط کانی ها اتفاق می افتد و کلسیم و منیزیم وارد آب زیرزمینی می شوند. جهت بررسی تبادلات یونی دشت زیدون نمودارهای دو متغیره $(Ca+Mg)-(SO_4+HCO_3)$ در مقابل Na-Cl و نمودار Na-Cl در مقابل EC ترسیم شده است.

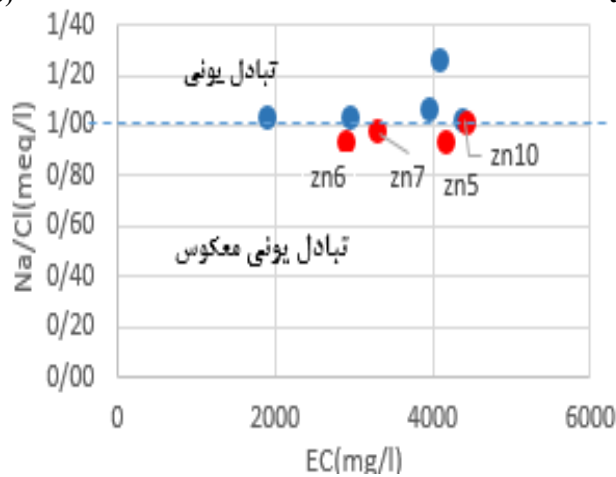
ارزیابی فرآیندهای ژئوشیمیایی حاکم بر منطقه

در بررسی فرآیندهای ژئوشیمیایی حاکم بر منطقه از نمودارهای ترکیبی، نمودارهای تبادلات یونی و نمایه های اشباع استفاده شده است. با توجه به رابطه خطی بین یون کلرید و سدیم در نمودار ترکیبی Na-Cl (شکل ۶ الف)، می توان به نفوذ آب شور حاصل از انحلال نمک طعام پی برد. رابطه خطی این نمودار دلالت بر منشأ یکسان این دو یون که ناشی از انحلال کانی های تبخیرهای است، دارد. ذکر این نکته لازم است که غلظت سدیم بیش از کلرید نشان دهنده تبادل یونی عادی و غلظت کلرید بیش از سدیم نشان دهنده تبادل یونی معکوس می باشد. تبادلات یونی در ایجاد غلظت عناصر اصلی محلول در سفره آب



(ب)

b)



(ج)

c)

(الف)

a)

شکل ۶. الف، ب و ج) نمودارهای تبادلات یونی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت زیدون.

Fig 6. a, b and c) Diagrams of ion exchanges of groundwater samples of the Zeydon Plain.

قرار گرفته‌اند و نسبت مولی Na/Cl بالاتر از یک را نشان می‌دهد اما در قسمت جنوب شرقی و محل تغذیه دشت توسط رودخانه زهره نمونه‌های آب با کدهای $Zn 6$ و $Zn 7$ و در قسمت مرکز در مجاور رودخانه نمونه‌های آب با کد $Zn 5$ و $Zn 10$ که در زیر خط $1:1$ قرار گرفته است تبادل یونی معکوس را نشان می‌دهد، که در اثر دگرسانی فلدسپات‌ها و کانی‌های رسی، تبادل یونی کلسیم و منیزیم، به جای سدیم اتفاق افتاده است و نسبت مولی Na/Cl کمتر از یک را نشان می‌دهد.

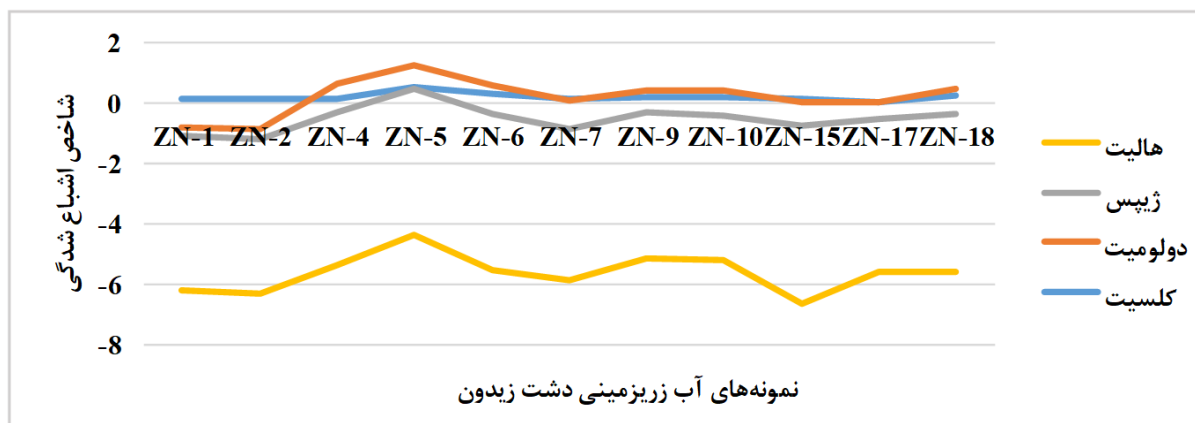
شاخص اشباع

جهت شناسایی احتمال انحلال و رسوب کانی‌های موجود در آب زیرزمینی از نمایه‌های اشباع استفاده می‌شود. اگر

براساس (شکل ۶ ب) نمونه‌هایی که در امتداد خط $1:1$ قرار دارند، انحلال غالب کلسیت، دولومیت، ژیپس و نمونه‌هایی که در زیر و بالای خط $1:1$ قرار گرفته‌اند به ترتیب نشان دهنده تبادل یونی عادی و تبادل یونی معکوس هستند. در (شکل ۶ ج) نمودار دو متغیره Na/Cl در مقابل EC ترسیم شده است و نسبت مولی Na/Cl نشان می‌دهد که از انحلال هالیت چه مقدار سدیم تولید شده است. نمونه‌هایی که در قسمت مرکز دشت به سمت شمال غرب دشت قرار گرفته‌اند بر اثر انحلال هالیت و جانشینی کلسیم به جای سدیم موجود در کانی‌های رسی و ورود سدیم به آب زیرزمینی، تبادل یونی عادی اتفاق افتاده است و نمونه‌های این قسمت دشت بالای خط $1:1$

معکوس اتفاق افتاده است، کانی‌های رسی باعث تبادل یونی کلسیم و منیزیم به جای سدیم موجود در آب شده است. همچنین اکثر نمونه‌های دشت زیدون نسبت به دولومیت حالت فوق اشباع دارند که ناشی از عبور آب زیرزمینی از مناطق ژپیس و انیدریتی است که در نتیجه آن سولفات آب زیرزمینی به حد اشباع رسیده است و مقدار Ca و Mg نیز افزایش یافته است و این امر باعث افزایش یون منیزیم و فوق اشباع شدن شاخص اشباع دولومیت شده است. شاخص اشباع ژپیس و هالیت در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت زیدون زیر صفر است که تحت اشباع بودن آب زیرزمینی را نشان می‌دهد و ناشی از انحلال کانی‌های تبخیری سازند آغاچاری می‌باشد. توانایی انحلال کانی‌های ژپیس و هالیت خیلی بیشتر از کلسیت و دولومیت است و به‌سختی به مرحله فوق اشباع می‌رسند. کمترین مقدار نمایه اشباع در نمونه‌های Zn 7 و Zn 15 دیده می‌شود که در قسمت جنوب شرقی دشت و در مجاورت سازند بختیاری قرار گرفته‌اند و نسبت به ژپیس و هالیت تحت اشباع هستند.

شاخص اشباع برای یک کانی بیشتر از صفر باشد این کانی در آب حالت فوق اشباع دارد و ممکن است در آب رسوب کند و اگر شاخص اشباع کمتر از صفر باشد آب نسبت به آن کانی تحت اشباع است و می‌تواند انحلال یابد (Rajmohan and Elango, 2004). در این پژوهش جهت تعیین تعادل شیمیایی بین کانی‌های اصلی آبخوان دشت زیدون شاخص اشباع کلسیت، دولومیت، ژپیس و هالیت توسط نرم‌افزار phreeqc محاسبه شده است. همان طور که در شکل شماره (۷) مشاهده می‌شود، مقدار شاخص اشباع کلسیت و دولومیت در اکثر نمونه‌ها بیشتر از صفر است و حالت فوق اشباع را دارد که نشان دهنده رسوب کلسیت و دولومیت در آب زیرزمینی است. لازم به ذکر است که PH نمونه‌ها قلیایی است و در این PH، عمدتاً کلسیت و دولومیت شروع به رسوب‌گذاری می‌کنند. شاخص اشباع مثبت کلسیت در نمونه‌های آب زیر زمینی دشت زیدون ناشی از انحلال سیمان آهکی بین ذرات آبرفتی سازند کنگلومرای بختیاری و میان لایه‌های آهکی سازند آغاچاری و کلسیم موجود در کانی ژپیس سازند گچساران است. علاوه بر این در نمونه‌هایی که تبادل یونی



شکل ۷. شاخص اشباع کلسیت و دولومیت، ژپیس و هالیت.

Fig 7. Saturation index of calcite and dolomite, gypsum and anhydrite.

بیشترین اهمیت در منشأ تغییرات در اطلاعات را داراست و آخرین عامل، دارای کمترین تأثیر در تغییرات پارامترهای شیمیایی می‌باشد. در این پژوهش جهت انجام تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS ابتدا جدول ماتریس همبستگی براساس ضریب پیرسون برای پارامترهای شیمیایی تهیه گردید (جدول ۳) و سپس مولفه‌های اصلی و درصد تغییرات ارائه شده است (جدول

ب) بررسی‌های آماری

۱) تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)

یکی از روش‌های آماری چند متغیره، تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) می‌باشد و به عنوان یک روش ریاضی جهت کاهش حجم داده‌ها در نظر گرفته می‌شود (Chitsazan et al., 2018). براساس ارزش یا بیشترین مقدار بردار ویژه، تقسیم بندی عامل‌ها صورت می‌گیرد و عامل اول

کلرید ($R^2=0.942$) و همچنین کلسیم و سولفات ($R^2=0.949$) است، که همبستگی بالای یون‌های سدیم و کلرید نشان‌دهنده انحلال کانی‌های تبخیری در سفره‌آبدار است و انحلال هالیت در سفره آبدار باعث آزاد شدن یون‌های Na و Cl می‌شود. همبستگی بالا بین کلسیم و سولفات ناشی از انحلال ژئوپس و انیدریت از سازند گچساران در منطقه مورد مطالعه است. بار عاملی مثبت بالای متغیر هدایت الکتریکی و حضور در عامل دوم با یون‌های اصلی، نشان دهنده تأثیر غلظت عناصر در تغییرات این متغیر است. بار عاملی مثبت بالای EC و TDS و بار منفی بالا در PH، نشان دهنده ی فعال بودن واکنش آب و سنگ در آبخوان است.

۴. همبستگی بین متغیرها می‌تواند ارتباط هیدرو شیمیایی و کیفیت آب را نشان دهد (Wu et al., 2014). براساس ماتریس همبستگی اگر ضریب همبستگی (r) بزرگ‌تر از ۰/۰۷ باشد، پارامترها دارای همبستگی بسیار قوی می‌باشند و ضریب همبستگی متوسط را نیز می‌توان بین ۰/۰۵ تا ۰/۰۷ در نظر گرفت و ضریب همبستگی کمتر از ۰/۰۳ به عنوان عدم همبستگی بین پارامترها تلقی می‌گردد (Guey-Shin et al., 2011). با توجه به جدول (۳) بین مقادیر هدایت الکتریکی و مجموع املاح با عناصر کلرید و سدیم همبستگی بسیار بالایی مشاهده می‌شود. این همبستگی، عامل شوری و نامطلوب شدن کیفیت آب زیرزمینی، ناشی از بالا بودن غلظت این عناصر را نشان می‌دهد. میزان همبستگی بین یون‌های سدیم و

جدول ۳. ماتریس ضرایب همبستگی متغیرهای هیدرو شیمیایی بهار ۱۴۰۰.

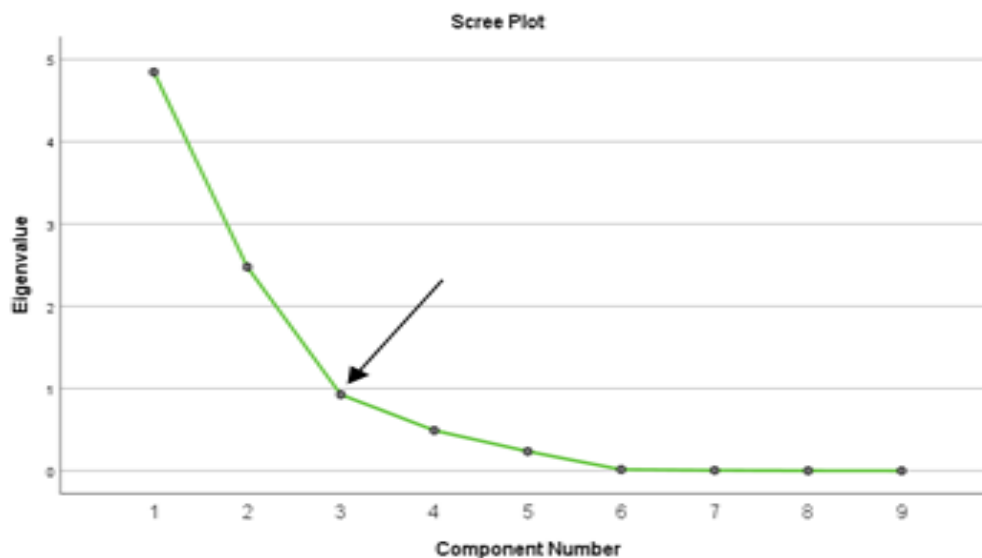
Table 3. Matrix of correlation coefficients of hydrochemical variables in Spring 1400.

PH	EC	TDS	Cl	SO4	HCO3	Na	Mg	Ca	Variables
								1	Ca
							1	.280	Mg
						1	.355	.170	Na
					1	.633	.458	.332	HCO3
				1	.263	.162	.426	.949	SO4
			1	-.112	.479	.942	.105	-.067	Cl
		1	.722	.604	.561	.870	.398	.601	TDS
	1	.988	.817	.478	.566	.928	.368	.479	EC
1	-.249	-.362	.225	-.783	-.389	-.071	-.524	-.658	PH

عامل مورد ارزیابی قرار گرفت و عامل یک بیشترین تغییرات را نشان می‌دهد که به علت تأثیر پارامترهای هدایت الکتریکی و کلرید و سدیم می‌باشد. در جدول (۴) همبستگی بالایی میان سدیم و کلرید مشاهده می‌شود که می‌توان به فرآیندهای شیمیایی و واکنش سنگ و آب و انحلال کانی‌های تبخیری سازند آغاچاری در منطقه اشاره کرد و مولفه اول را به عنوان مولفه شوری در نظر گرفت. در عامل دو همبستگی بالای بین سولفات و کلسیم وجود دارد که می‌توان ناشی از تعامل آب زیرزمینی و سازند گچساران دانست و همچنین وجود این فاکتورها را می‌توان به انحلال کانی‌های سولفات مانند ژئوپس و انیدریت نسبت داد.

نمودار اسکری (پله‌ای)

ساده‌ترین روش برای تعیین تعداد مولفه‌ها، استفاده از نمودار اسکری است، نمودار اسکری تغییرات مقادیر ویژه را در ارتباط با عامل‌ها نشان می‌دهد. چنانچه مقادیر ویژه در نمودار کمتر از یک باشد معیاری برای شناسایی تعداد مولفه است (Ghadimi, 2017). با توجه به شکل (۸) مشاهده می‌شود که از عامل سوم به بعد تغییرات مقدار ویژه کم شده است و می‌توان دو عامل را به‌عنوان عوامل مهم که بیشترین نقش را ایفا می‌کنند، در نظر گرفت. در جدول (۴) اجزای عوامل این دو مولفه و واریانس آن‌ها نشان داده شده است که به‌ترتیب مولفه اول (۵۷/۰۳) و مولفه دوم (۲۵/۸۵) درصد تغییرات را نشان می‌دهند. بیش از ۸۰ درصد تغییرات کیفی آب زیرزمینی، توسط ۲



شکل ۸. نمودار اسکری نمونه‌های آب زیرزمینی دشت زیدون.

Fig 8. Screen diagram of groundwater samples of the Zeydon Plain.

جدول ۴. نتایج تجزیه به عوامل (پس از چرخش واریماکس).

Table 4. Factorization results.

عامل ۲ Component2	عامل ۱ Component1	متغیرها variables
-0.213	0.992	Na
-0.252	0.962	Cl
0.330	0.920	EC
0.463	0.855	TDS
0.340	0.636	HCO3
0.956	0.120	SO4
-0.897	-0.768	PH
0.890	0.151	Ca
0.539	0.299	Mg
2.582	5.703	مقدار ویژه
25.82	57.03	درصد تغییرات
82.85	57.03	درصد تغییرات تجمعی

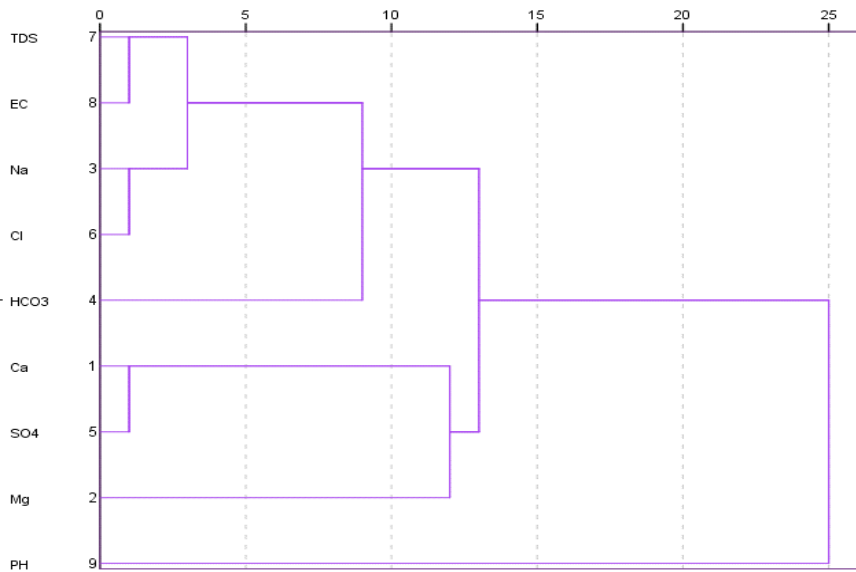
به تنهایی در یک گروه قرار گرفته است. پارامترهای که در یک خوشه قرار گرفته‌اند وابستگی بیشتری به یکدیگر دارند و مربوط به یک نوع سنگ است و در اثر فرسایش مقدار مشخصی از هر پارامتر، در چاه‌ها مشاهده شده است. با توجه به لاگ چاه‌های دشت زیدون شکل (۴) می‌توان گفت که عناصر کلسیم، منیزیم، سولفات و کربنات ناشی از انحلال سازنده‌ای کربناته و آهکی و سیمان میان لایه کنگلومرای سازند بختیاری و سازنده‌ای سولفات‌ه ژپیس و انیدریت است. همچنین قرارگیری سدیم و کلرید در یک خوشه را می‌توان به منشأ مشترک آنها که در اثر انحلال

۲) تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی (HCA)

در این تحقیق با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی، ۱۱ متغیر مورد نظر در خوشه‌های مختلف دسته بندی شدند که در شکل (۹) مشاهده می‌شود. براساس روش تحلیل خوشه‌ای متغیرهای سدیم و کلرید و همچنین هدایت الکتریکی و مجموع املاح به عنوان اولین عامل مؤثر در هیدرو شیمی منطقه، در یک خوشه قرار گرفته‌اند. متغیرهای کلسیم، سولفات و منیزیم به عنوان دومین عامل به علت همبستگی قوی، در نظر گرفته شده است و هر سه متغیر در یک خوشه قرار گرفته‌اند. اسیدیته

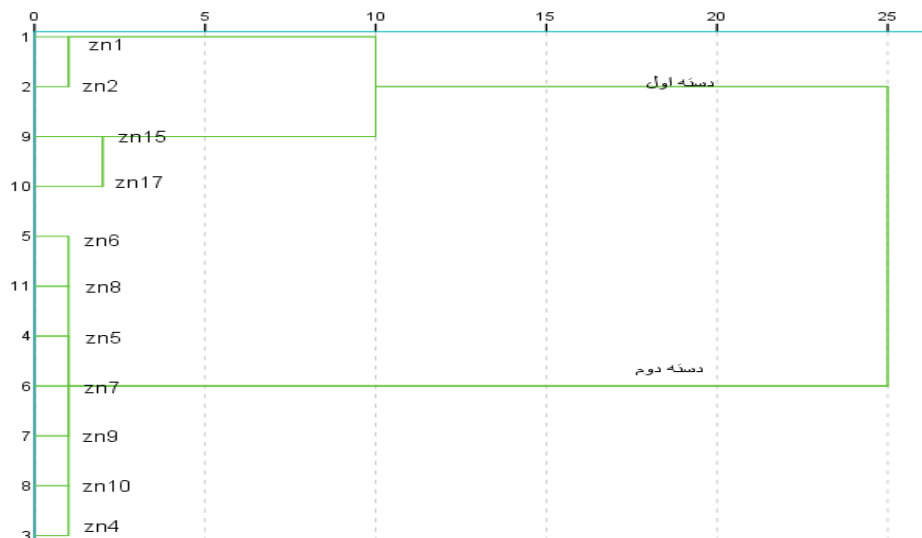
17 در یک زیرگروه قرار گرفته‌اند. این نمونه‌ها در مجاور سازند بختیاری قرار گرفته‌اند و تیپ آب در نمونه‌های Zn 1 و Zn 2 سولفات سدیک و در نمونه‌های Zn 15 و Zn 17 کلروره کلسیک است.
 ۲- گروه دوم: نمونه‌های Zn 4، Zn 5، Zn 6، Zn 7، Zn 9، Zn 10، Zn 18 و Zn در این گروه قرار گرفته‌اند و تیپ آب در این نمونه‌ها کلروره سدیک می‌باشد.

کانی‌های تبخیری رخ می‌دهد، نسبت داد. پس از بررسی میزان همبستگی متغیرها با استفاده از نمودار خوشه‌ای، اقدام به دسته بندی چاه‌های منطقه با استفاده از روش خوشه‌ای شده است که در شکل (۱۰)، دو گروه مشاهده می‌شود.
 ۱- گروه اول: این گروه شامل دو زیرگروه است. نمونه‌های Zn 1 و Zn 2 در یک زیر گروه و نمونه‌های Zn 15 و Zn



شکل ۹. نمودار خوشه‌ای متغیرهای هیدرو شیمی - بهار ۱۴۰۰.

Fig 9. Cluster diagram of hydrochemical variables- Spring 1400.



شکل ۱۰. نمودار خوشه‌ای نمونه‌های آب زیرزمینی - بهار ۱۴۰۰.

Fig 10. Cluster diagram of groundwater samples - Spring 1400.

نمونه‌برداری انجام شده است و با استفاده از روش گرافیکی (نقشه هم‌ارزش مجموع املاح آب زیرزمینی و لاگ چینه‌ای دشت، نمودارهای تبادلات یونی، شاخص

نتیجه‌گیری

در این پژوهش جهت بررسی کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی دشت زیدون از ۱۱ نقطه در فصل بهار ۱۴۰۰

on new findings in agricultural sciences, natural resources and environment. March 25, Tehran.

Alberto, W.D., D.M. Del Pilar, A.M. Valeria, P.S. Fabiana, H.A. Cecilia and B.M. de Los Angeles. (2000). Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality. A case study: Suqui'a river basin (Córdoba Argentina). *Water Research*. 35, 2881-2894.

Alizadeh, A., (2003) *Principles of applied hydrology*. Astan Quds Publishing House., fourth edition.

Belkhiri, B., Boudoukha, A., Mouni, L., Baouz, T., (2010)- Multivariate statistical characterization of groundwater quality in Ain Azel plain, Algeria, *African Journal of Environmental Science and Technology* Vol. 4, 526-534.

Chitsazan, M., Eilbaighi, M., Pourtabari, M.R., (2018). Evaluation of groundwater nitrate pollution based on the ma components method and factor analysis (Case study: Karaj plain aquifer). *Journal of Ecohydrology* 4, 1119-1133.

Dinpajoh, E., (2022). Clustering observation wells of Dasht Khoi aquifer in terms of water quality using, *Hydrogeology*, 7(1), 25-41.

Ebadati, N., (2014), investigation of qualitative changes in Ivanki Plain underground water resources. *Journal of Eco-Hydrology* (2), 394-383.

Ghadimi, F., (2016). *The use of multivariate statistical methods in the analysis of earth science and environmental data*. First edition, Arak University of Technology Publications, 76.

Guler, c., Thyne, G. D., McCray, J. E. & Turner, A. K., (2002) - Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data, *Hydrogeology Journal*, 10, 455-474.

Guey-Shin, Sh, Bai-You, Ch, Chi-Ting, Ch, Pei-Hsuan, Y, Tsun-Kuo, Ch, (2011). Applying Factor Analysis Combined with Kriging and Information Entropy Theory for Mapping and Evaluating the Stability of Groundwater Quality Variation in Taiwan Int. *J. Environ. Res. Public Health*, 8, 1084-1109.

Hounslow, A., (1995). *Water quality data: analysis and interpretation*. CRC press.

Igibah, Ch., Tanko, j., (2019). Assessment of urban groundwater techniques: a case study in the Abuja, quality using Piper trilinear and multivariate North-central, *Nigeria. Environmental Systems Research*, 8, (14),

Jalali L, Asghari Moghaddam A (2012) Determination of hydrogeochemical status and salinity trend in the aquifer of Khoy plain using statistical and hydrologic methods. *Ecological Journal* 39(2), 113-122.

Kalantari, N., Shakhzadeh, E., Mohamadi, H., (2022). Evaluation of the hydrogeochemical status of the underground water of the Aghili aquifer with

اشباع و نمودار پایپر) و روش های آماری (PCA و HCA)، کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی نقشه های هم ارزش مجموع املاح معدنی و جهت جریان، مؤید افزایش املاح آب زیرزمینی در جهت جریان و به سمت مرکز دشت است و بر این اساس کیفیت آب زیرزمینی در بخش جنوب شرقی دشت و در مجاورت سازند بختیاری نسبت به مرکز دشت بهتر است. با استفاده از نمودار پایپر تیپ آب در اغلب قسمت های دشت، کلروره سدیک (کلرید سدیم) می باشد و فقط در دو محل تیپ سولفات سدیک مشاهده شده است. شاخص اشباع نشان می دهد که اکثر نمونه های دشت زیدون نسبت به دولومیت و کلسیت فوق اشباع و در حال رسوب گذاری است و نسبت به ژپس و هالیت تحت اشباع و در حال انحلال می باشند. نمودار تبادل یونی نشان دهنده تبادل یونی معکوس در نمونه های بخش جنوب شرقی دشت می باشد. همچنین با استفاده از روش خوشه بندی تمام نمونه های آب زیرزمینی به جز نمونه های Zn 1 و Zn 2 و Zn 15 و Zn 17 که در یک دسته قرار گرفته اند، تیپ کلرید سدیم را نشان می دهند. در نمونه های Zn 1 و Zn 2 تیپ آب سولفات سدیک و در نمونه های Zn 15 و Zn 17 تیپ آب کلروره کلسیک است. همچنین بررسی روش تحلیل عاملی، نشان دهنده ۲ عامل زمین زاد است. در عامل یک ارتباط قوی میان سدیم و کلرید وجود دارد که می توان به فرایندهای شیمیایی و انحلال کانی های تبخیری در منطقه اشاره کرد. در عامل دو ارتباط قوی بین سولفات و کلسیم مشاهده می شود که می توان به انحلال کانی های سولفات مانند ژپس در سازند گچساران نسبت داد. با توجه به مطالب فوق نتیجه می شود که نتایج حاصل از روش های گرافیکی و آماری منطبق بر یکدیگر می باشند و عامل اصلی تغییر کیفیت آب زیرزمینی در دشت ناشی از انحلال هالیت و میان لایه های تبخیری سازند آغاچاری و همچنین انحلال سیمان آهکی سازند کنگلومرای بختیاری می باشد.

منابع

Aqdar, H., and Mohammadyari, F., (2014). *Using the cluster analysis statistical method to assess the quality of underground water in the Mehran and Dehlan plains*. The first international conference

- emphasis on statistical methods. *Hydrogeology*, 6(2), 95-108.
- Kalantari, N., Irani, E., Mohamadi, H., (2022). Quantitative and qualitative investigation of the Baghmolek aquifer using statistical analysis methods, hydrochemical methods and GIS. *Hydrogeology*, 7(1), 11-24.
- Rajmohan, N., Elango, L., (2004). Identification and evolution of hydrogeochemical processes in the groundwater environment in an area of the Palar and Cheyyar River Basins, Southern India. *Environmental Geology*, 46(1), 47-61.
- Wolfe, D.W., Henderson, D.w., Hsiao, T.c., and Alvins, A., (1988), "Interactive effect on senescence of maize", Photosynthetic decline and longevity of individual leaves. *Agron. J.* 80, 865-870.
- Wu, J., Li, P., Qian, H., Duan, Z., Zhang, X., (2014), Using correlation and multivariate statistical analysis to identify hydrogeochemical processes affecting the major ion chemistry of waters: a case study in Laoheba phosphorite mine in Sichuan, China. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(10), 3973-3982.
- Wu, C., Feng, C., Wu, X., Zhu, G., Zhang, Y., (2021). Hydrogeochemical characterization and quality assessment of groundwater using self-organizing maps in the Hangjinqi gasfield area, Ordos Basin, NW China. *Geoscience Frontiers*, 12(2), 781-790.
- Zhao, Y., Xia, X., Yang, Z., Wang, F., (2012). Assessment of Water Quality in Baiyangdian Lake using multivariate statistical techniques. *Procedia Environmental Sciences*, 6. 1213-1226.

