

Research Article

Investigating how to recharge in the karst spring using hydrogeology and isotope studies (case study: Sangvil anticline)

Hossein Abedian^{1*}, Atiyeh Mojiri¹

1-Zayandab Consulting Engineers CO.

Keywords: *Karst, Khederzende spring, Recession curve, Stable isotopes (18O, 2H).*

1-Introduction

The physicochemical and isotopic parameters of the springs are essential because they represent the primary characteristics of precipitation and the history of groundwater flow in the karst. Among the types of existing aquifers, karst aquifers show suitable conditions for recharge (Simsek et al., 2008). Still, due to the permeability distribution, hydraulic head, and different recharge rates in other parts of the aquifer, the hydrogeological investigation of these aquifers is challenging (Bonacci, 1993; Nur Ozyurt and Serdar Einsiedl, 2005). The analysis of the recession curve of karst springs, especially the shape and coefficient of the recession curve, provides valuable information about the hydrodynamic and hydrogeological characteristics of the karst aquifer (Kalantari et al., 2011; Mohammadi Behzad et al., 2015; Mir Hassani et al., 2017). After precipitation, the water level of diffuse springs increases, and at the same time, as this grows, the hydrochemical parameters also change depending on the flow type.

In general, in conduit systems, the range and the coefficient of changes are higher, but in diffuse systems, these ranges and the coefficient of changes are lower (Shuster and White, 1971; Jacoboen and Lonqmuir, 1974; Karimi and Raeisi, 2003; Karami, 2010).

The Jahrom-Asmari limestone aquifer of the Sangvil anticline includes dolomite layers and thick to medium calcareous dolomite layers with a thickness of about 800 meters. Surface karst effects in the study area are mainly in the form of fissured karrens. Regarding the karst hydrological works, It can also mention the existence of permanent springs downstream of the river.

The largest outlet of this aquifer, Khederzende spring, with an average discharge of 450 liters per second, is discharged from near the contact of the Razak marl formation with the Asmari-Jahrom carbonate formation. In this research, hydrogeology and isotope studies have investigated the way of recharge in the Khederzende karst spring.

2-Material and methods

The study area is located in Chahar Mahal & Bakhtiari province on the Beheshtabad River. Asmari-Jahrom limestones are in the form of an anticline with a northwest-southeast plunge on the right flank of the Beheshtabad dam reservoir, and the dam reservoir is in contact with the limestones of this area. The discharge of two Khederzende and SPL springs was measured weekly, the degree of determination of physicochemical parameters, springs of Khederzende, SPL, boreholes of PR1, PR2, OB5, and OB7 were measured monthly to carry out hydrogeological studies. In addition, precipitation samples were collected monthly and sent to the laboratory to carry out isotopic studies. The (LGR Laser spectroscopy) method was used for the isotope analysis of the collected samples.

To investigate the flow system in Jahrom-Asmari formation, karst, discharge, hydrochemical, and

* Corresponding author: hoseinkhf@gmail.com

DOI:10.22055/AAG.2023.42168.2323

Received: 2022-10-31

Accepted: 2023-02-04

environmental isotope data of springs, boreholes, precipitation, and river were studied.

The interpretation and analysis of the recession curve of selected springs in the study area, analysis and investigation of physicochemical parameters, drawing of local meteoric water line, and determination and interpretation of the isotopic composition of water sources have been used to determine how to recharge Khederzende spring.

3-Results and discussions

3-1- Determining the type of flow using the recession curve

Based on the measurements and studies, the recession curve of the springs was drawn to determine the flow type. The recession curves of both Khederzende and SP_L springs indicate the intermediate flow (diffuse-conduit) in these springs.

3-2- Determining the type of flow using physicochemical parameters and environmental isotopes

One of the ways to differentiate between the diffuse and conduit flow is to interpret the temporal changes of the physicochemical parameters. Therefore, Khederzende and SPL springs, boreholes of PR1 and PR2 on the north flank, and boreholes of OB5 and OB7 on the south flank were used to determine the type of flow using physicochemical parameters. According to the change coefficients of the studied parameters, as well as the results of the recession curve, it indicates the existence of an intermediate karst system, a diffuse-conduit flow.

The local meteoric water line was drawn (Figure 1), and the following equation with a 96% correlation was obtained for the precipitation of the studied anticline catchment area using the precipitation samples.

$$\delta D = 6.3\delta 18O + 14.98 \quad \text{equation 1}$$

The local meteoric water line has a lower slope than the global and Mediterranean water lines, which indicates the local influencing conditions in the studied area. As shown in Figure (1), the water samples are mainly located in the range with low δD and $\delta 18O$ compared to the local meteoric water line of the area, which shows recharge from snow and high altitudes. In addition, the samples of the boreholes of the southern flank are very close to the samples of the Khederzende spring, which indicates the more significant influence of the south flank in the recharge of the Khederzende spring.

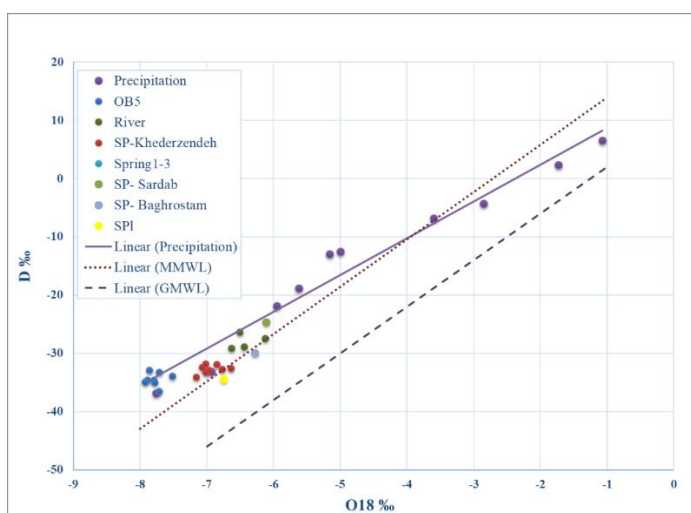


Fig. 1. The position of the measured samples compared to the local meteoric water line

Studies show that there is no point in recharge (sinkhole) in the aquifer, and the joint and fracture system mainly recharge in the Jahrom-Asmari limestones. Therefore, the isotopes of the anticline aquifer have lower values than the local meteoric water line and the river. Conflanking the high effect of precipitation and low temperature on the precipitation isotopes of the range, it can be concluded that the months with a low number of precipitation occurrences and high precipitation volume and snow recharge determine the

isotopic composition of the anticline aquifer. This way, precipitations with low volume and high isotope composition penetrate less into the aquifer.

4-Conclusion

Physicochemical and isotopic studies of Jahrom-Asmari formation show the flow distribution in the intermediate and diffuse range. The flow in the first stage is a function of joint and fissure. In the next stage, it is a function of dissolution. In addition, stable environmental isotopes indicate recharge from precipitation with high volume and low isotope amount and recharge from snow in high altitudes. The similarity of the isotopes of the boreholes on the southern flank to the stable isotopes of the spring indicates the higher contribution of the current on the south flank to the recharge of the largest outlet of the anticline (Khederzende spring). In the end, the result shows that it is possible to use environmental isotopes, along with other physicochemical parameters, in addition to the history of the flow, can be used to characterize the karst flow system.

References

- Bonacci, O., 1993. Karst springs hydrographs as indicators of karst aquifers. *Hydrological Sciences Journal–Journal Des –Sciences Hydrologiques* 38(1), 51–62. <https://doi.org/10.1080/02626669309492639>.
- Kalantari, N., Mohammadi Behzad, H.R., Charchi, A., Keshavarzi, M.R., 2011. Karst springs as the simplest tool for determining hydrogeological characteristics Karst aquifers, a case study of Bibi Talkhon spring, Khuzestan province. *Iranian Journal of Advanced applied Geology* 1(2), 90-100.
- Karami, G.H., 2002. Assessment of heterogeneity and flow systems in karstic aquifers using pumping test data, PhD. thesis University of Newcastle, Newcastle upon Tyne.
- Karimi, H., Raeisi, E., Zare, M., 2003. Hydrodynamic Behavior of the Gilan karst Spring, west of Zagros, Iran. *Kave & Karst Science* 30(1), 15-22.
- Mir Hasani, Gh., Bagheri, R., Nik Ghoghagh, Y., 2017. Hydrogeology of Karstic Springs in Kalaleh Region, Golestan Province. *Iranian Journal of Ecohydrolog* 5(2), 387-397. <https://sid.ir/paper/254026/fa>.
- Mohammadi Behzad, H.R., Charch, A., Kalantari, N., 2015. Investigating the hydrogeological behavior of Sabzeab karst spring, northeast of Khuzestan province. *Iranian Journal of Advanced applied Geology* 1 (2), 90-100. <https://doi.org/10.22055/AAG.2015.11281>.
- Nur Ozyurt, N., Serdar Bayari, C., 2008. Temporal variation of chemical and isotopic signals in major discharges of an alpine karst aquifer in Turkey implications with respect to response of karst aquifers to recharge. *Hydrogeology Journal* 16, 297–309. <https://doi.org/10.1007/s10040-007-0217-6>.
- Shuster, E.T., White, W.B., 1971. Seasonal fluctuations in the chemistry of limestone springs: A possible means for characterizing aquifers. *Journal of Hydrology* 14, 93–128. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(71\)90001-1](https://doi.org/10.1016/0022-1694(71)90001-1).
- Simsek, C., Elci, A., Gunduz, O., Erdugan, B., 2008. Hydrogeological and hydrochemical characterization of a karstic mountain region. *Environmental Geology* 54, 291-308. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0817-4>.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Abedian, H., Mojiri, A., 2023. Investigating how to recharge in the karst spring using hydrogeology and isotope studies (case study: Sangvil anticline). *Adv. Appl. Geol.* 13(3), 757-771.

DOI: 10.22055/AAG.2023.42168.2323

URL: https://aag.scu.ac.ir/article_18256.htm

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

بررسی تغذیه در چشمه کارستی با استفاده از مطالعات هیدروژئولوژی و ایزوتوپی (مطالعه موردی: تاقدیس سنگویل)

حسین عابدیان*

شرکت مهندسی مشاور زاینده آب

عطیه مجیری

شرکت مهندسی مشاور زاینده آب

* hoseinkhf@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۵

چکیده

پارامترهای فیزیکوشیمیایی و ایزوتوپی چشمه‌ها از پارامترهای مهم در مطالعات هیدروژئولوژی می‌باشد، زیرا بیانگر ویژگی‌های اولیه بارش و سرگذشتی است که آب طی حرکت خود در کارست طی می‌کند. برای بررسی سیستم جریان در کارست سازند جهرم- آسماری در محدوده تاقدیس سنگویل در استان چهارمحال و بختیاری اطلاعات دبی، هیدروشیمی و ایزوتوپ‌های محیطی چشمه‌ها، گمانه‌ها، بارش و رودخانه مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید نوع جریان کارست محدوده عمدتاً تابع درز و شکستگی و نوع جریان در محدوده، حدواسط و افشان می‌باشد. از آنجایی که استفاده از مطالعات ایزوتوپی در تکمیل مطالعات هیدروژئولوژی و تشخیص نوع جریان، در کنار سایر پارامترها مفید می‌باشد، بر اساس مطالعات صورت گرفته در این پژوهش خط آب جوی در محدوده تاقدیس سنگویل به صورت رابطه $\delta D = 6.3 \delta 18O + 14.8$ با همبستگی ۹۶ درصد حاصل گردید. میانگین مقدار اکسیژن ۱۸ در آب‌های جوی و منابع آبی به ترتیب برابر با ۴/۵۶- و ۷/۰۶- پرمیل و میانگین مقدار دوتریوم در آب‌های جوی و منابع آبی به ترتیب برابر با ۱۳/۸۲- و ۳۲/۰۶- پرمیل است. در پژوهش حاضر، بررسی ایزوتوپ‌های محیطی نشان داد آبخوان تاقدیس سنگویل دارای مقادیر منفی اکسیژن ۱۸ و دوتریوم نسبت به خط بارش محلی می‌باشد و بارش‌هایی با حجم بالا و تغذیه برف ترکیب ایزوتوپی آبخوان تاقدیس را مشخص می‌سازد. به این ترتیب بارش‌هایی با حجم کم و مقدار ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ و دوتریوم بالا، کمتر در آبخوان نفوذ می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: کارست، چشمه خدرزنده، منحنی فرود، ایزوتوپ‌های پایدار ($18O$, $2H$)

۱- مقدمه

تغییرات زمانی پارامترهای فیزیکوشیمیایی می‌باشد، بطوریکه آبدهی چشمه‌ها پس از بارندگی در جریان مجرای نسبت به افشان سریع‌تر به حداکثر می‌رسد و بعد از پیک به سرعت کاهش می‌یابد در حالی که در جریان افشان این کاهش تدریجی می‌باشد (Jacobson and Langmuir, 1974). همچنین بر اساس نوع جریان پاسخ هیدروشیمیایی چشمه نسبت به بارندگی متفاوت می‌باشد.

پس از بارندگی آبدهی چشمه‌های افشان و مجرای افزایش پیدا می‌کند و همزمان با این افزایش پارامترهای هیدروشیمیایی نیز بسته به نوع جریان دستخوش تغییر می‌گردد. به طور کلی در سیستم‌های مجرای تغییرات سریع‌تر و ضریب تغییرات نیز بیشتر است ولی در سیستم‌های افشان این تغییرات کندتر و ضریب تغییرات آن نیز کمتر است (Shuster and White,)

در بین انواع آبخوان‌های موجود، آبخوان‌های کارستی شرایط مناسبی برای تغذیه نشان می‌دهند (Simsek et al., 2008) اما به دلیل توزیع نفوذپذیری، بار هیدرولیکی و نرخ تغذیه متفاوت در بخش‌های مختلف آبخوان، بررسی هیدروژئولوژیکی این آبخوان‌ها بسیار دشوار است (Bonacci, 1993; Nur, 2008; Ozyurt and Serdar Bayari, 2008). تجزیه و تحلیل منحنی فرود چشمه‌های کارستی، به ویژه شکل و نرخ افت منحنی فرود، اطلاعات سودمندی از خصوصیات هیدرودینامیکی و هیدروژئولوژیکی آبخوان کارستی در اختیار می‌گذارند (Kalantari et al, 2011; Mohammadi Behzad et al, 2015; MirHasani et al, 2017).

یکی از راهکارهای تمایز جریان افشان و مجرای تفسیر

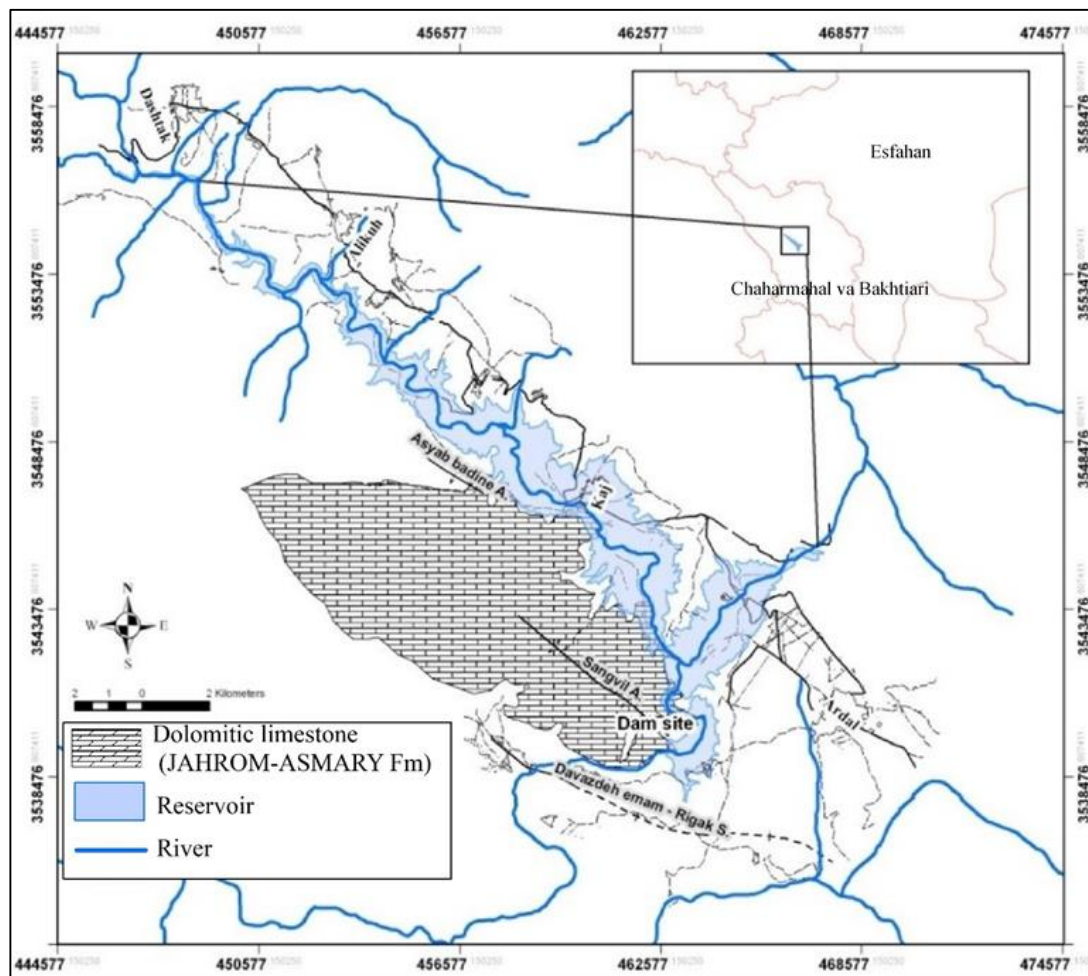
میلی‌متر، متوسط بارش سالانه در تاقدیس سنگویل ۷۱۷ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت محدوده مورد مطالعه ۱۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Abedian, 2019).

محدوده مطالعاتی از نظر زمین‌شناسی در زون زاگرس قرار دارد. آهک‌های جهرم - آسماری تاقدیس سنگویل شامل لایه‌های دولومیتی و دولومیت آهکی ضخیم تا متوسط لایه، سازند مارنی رازک و سازند کنگلومرای بختیاری از سازندهای محدوده مورد مطالعه می‌باشند (زاینده‌آب، ۱۳۸۵). چشمه‌های مهم موجود در تاقدیس سنگویل، در یال جنوبی تاقدیس با مجموع آبدهی میانگین حدود ۸۵۰ لیتر بر ثانیه است (Abedian, 2019). شکل (۱) موقعیت آهک‌های جهرم- آسماری که به شکل یک تاقدیس با روند شمال غربی- جنوب شرقی است را در محدوده مطالعاتی نشان می‌دهد.

1971; Jacobson and Langmuir, 1974; Karimi and Raeisi, 2003; Karami, 2002). در این مطالعه با استفاده از پارامترهای فیزیکوشیمیایی و ایزوتوپ‌های محیطی سیستم جریان در آبخوان کارستی جهرم- آسماری در تاقدیس سنگویل مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲- محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه با مختصات جغرافیایی ۵۰ درجه و ۲۴ دقیقه و ۴۴ ثانیه طول غربی تا ۵۰ درجه و ۴۳ دقیقه و ۴۳ ثانیه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۵۸ دقیقه و ۵۵ ثانیه عرض جنوبی تا ۳۲ درجه و ۹ دقیقه و ۴۱ ثانیه عرض جنوبی در استان چهارمحال و بختیاری و در ۱۵۰۰ متری غرب روستای شیخ محمود و در فاصله حدود ۲۷۰۰ متر از محل تلاقی دو رودخانه کوه‌رنگ و بهشت‌آباد، روی رودخانه بهشت‌آباد واقع است. متوسط بارش سالانه در حوضه آبریز بهشت‌آباد ۴۶۹



شکل ۱- موقعیت آهک‌های جهرم- آسماری در محدوده مورد مطالعه
Fig. 1. The location of Jahrom- Asmari limestone in the study area

۳- روش پژوهش

پس از بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی محدوده، گزارشات و آمار و اطلاعات موجود، بازدید صحرایی در چندین نوبت نیز صورت گرفت. به منظور انجام مطالعات هیدروژئولوژی، دبی دو چشمه خدرزنده و SP_L به صورت هفتگی و در جهت تعیین پارامترهای فیزیکوشیمیایی، اندازه‌گیری آبدهی و خصوصیات هیدروشیمیایی چشمه‌های خدرزنده، SP_L، گمانه‌های PR1، PR2، OB5 و OB7 به صورت ماهیانه انجام و به آزمایشگاه آب منطقه‌ای اصفهان ارسال گردید (جدول ۱). در راستای انجام مطالعات ایزوتوپی نیز در محدوده تاقدیس در دو منطقه، بارانسنج‌هایی در ارتفاع ۱۸۰۰ و ۲۳۰۰ متری نصب و نمونه‌برداری بارش به صورت تجمعی در فصل تر سال آبی ۹۶-۱۳۹۵ با تواتر ماهیانه انجام و به آزمایشگاه انرژی اتمی ارسال گردید (شکل ۲). همچنین از چشمه خدرزنده (SP5) به صورت ماهیانه (۸ نمونه) و از گمانه (OB5) در ۵۰۰ متری مشرف به چشمه به صورت ماهیانه (۸ نمونه) و از چشمه‌ها، گمانه‌ها و رودخانه‌های محدوده نیز در اردیبهشت ماه ۱۳۹۶ نمونه‌برداری به صورت استاندارد در ظروف مناسب انجام و به آزمایشگاه انرژی اتمی ارسال شد (جدول ۲). جهت آنالیز ایزوتوپی نمونه‌های برداشت شده از روش (Laser LGR spectroscopy) استفاده شده است. موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده در شکل (۳) نمایش داده شده است.

۳-۱- منحنی فرود

تجزیه و تحلیل بخش فرود هیدروگراف، کمک شایانی در مورد

شناخت سیستم درونی آبخوان می‌نماید. متداول‌ترین فرمول جهت توصیف یال نزولی هیدروگراف توسط مایلت ارائه شده است (Maillet, 1905):

$$Q = Q_0 e^{-\alpha t} \quad \text{رابطه ۱}$$

پارامتر بدون بعد α نشان دهنده ضریب تخلیه است و از معادله زیر محاسبه می‌گردد (Milanovic, 1981).

$$\alpha = \frac{\text{Log}Q_0 - \text{Log}Q_t}{0.4343t} \quad \text{رابطه ۲}$$

معمولاً در منحنی فرود چشمه‌های کارستی بیش از یک ضریب فرود وجود دارد. در ابتدای دوره فرود شیب منحنی بیشتر بوده و مقدار ضریب فرود α بزرگ است با گذشت زمان شیب منحنی فرود کمتر شده و ضرایب فرود کوچکتر می‌گردد ($\alpha_2, \alpha_3, \dots$). ضریب فرود بزرگتر نماینده تخلیه سریع آب از مجاری بزرگ آبخوان (سیستم مجرای) و ضرایب فرود کوچکتر نماینده تخلیه کندتر آب از درز و شکاف‌ها و منافذ ماتریکس آبخوان در نظر گرفته می‌شود. در کارست‌های توسعه یافته معمولاً سه شیب و در کارست‌های با سیستم افشان اغلب یک شیب وجود دارد (Milanovic, 1981; Sauter, 1992). با توجه به بررسی‌هایی که تا کنون بر روی منحنی فرود چشمه‌های کارستی انجام شده است، مقدار ضریب فرود بیش از ۰/۱ بیانگر وجود سیستم جریان مجرای، بین ۰/۱ تا ۰/۰۱ بیانگر وجود جریان حد واسط (افشان - مجرای) و کمتر از ۰/۰۱ بیانگر وجود جریان افشان می‌باشد (Veini, 1997; Karanjac and Altug, 1980).

جدول ۱- مشخصات نقاط اندازه‌گیری شده جهت مطالعات هیدروژئولوژی و پارامترهای فیزیکوشیمیایی

Table 1. Specifications of measured points for hydrogeological and physicochemical studies

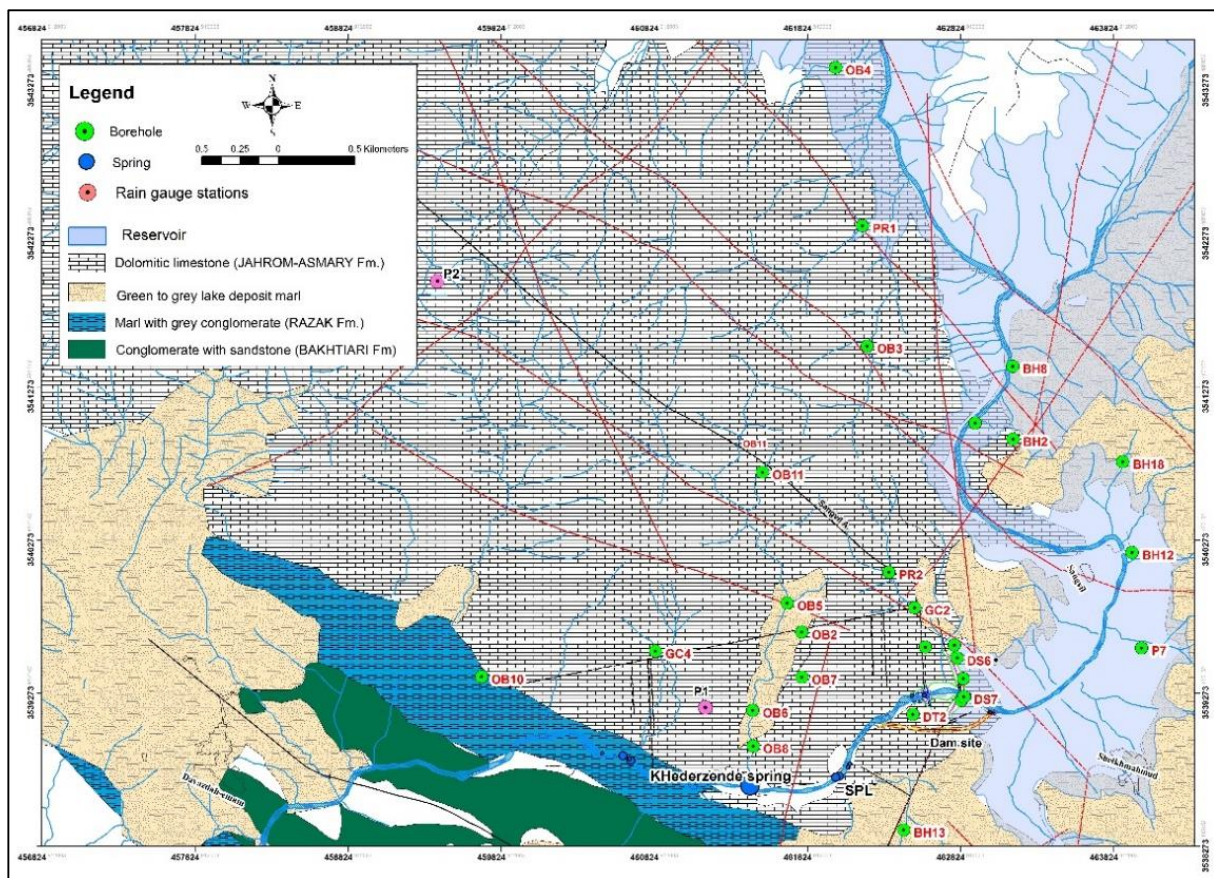
Name	Type	UTM	
		X	Y
Khederzende (SP5)	Spring	461427	3538638
SP ₁	Spring	462085	3538786
PR1	Borehole	462184	3542325
PR2	Borehole	462358	3540063
OB5	Borehole	461694	3539861
OB7	Borehole	461790	3539378



شکل ۲- نحوه نمونه برداری ایزوتوپی از بارش
Fig. 2. The method of isotope sampling of precipitation

جدول ۲- مشخصات نقاط اندازه گیری شده جهت مطالعات ایزوتوپی
Table 2. Specifications of measured points for isotopic studies

Name	Type	UTM	
		X	Y
P1	Precipitation	461164	3541439
P2	Precipitation	461259	3538887
Khederzende (SP5)	Spring	461427	3538638
SP ₁	Spring	462085	3538786
SP-Sardab	Spring	453738	3550260
SP-Baghrostan	Spring	467001	3545178
Koohrang	River	462252	3543777
Kiar	River	462842	3540509
Beheshtabad	River	463515	3541967
Sabsekoh	River	462328	3533897
PR1	Borehole	462184	3542325
PR2	Borehole	462358	3540063
OB2	Borehole	461789	3539672
OB3	Borehole	462216	3541540
OB4	Borehole	462009	3543358
OB5	Borehole	461694	3539861
OB6	Borehole	461468	3539161
OB7	Borehole	461790	3539378
OB8	Borehole	461472	3538928
OB11	Borehole	461531	3540716



شکل ۳- موقعیت گمانه ها و چشمه ها در محدوده سازند جهرم - آسماری، اقتباس از برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی اردل

Fig. 3. Location of boreholes and springs in Jahrom- Asmari Formation, adapted from 1:100000 Ardal geological sheet

۴- نتایج و بحث

۴-۱- هیدروژئولوژی

آبخوان آهک‌های جهرم - آسماری تاقدیس سنگویل شامل لایه‌های دولومیتی و دولومیت آهکی ضخیم تا متوسط لایه به ضخامت حدود ۸۰۰ متر می‌باشد. سیماهای سطحی کارست پیشرفته از قبیل آب‌فروچاله (Sinkhole)، چاه قائم (Shaft)، پولیه (polje)، در این محدوده مشاهده نشده و آثار کارست سطحی اکثراً به صورت کارن‌های شکافی است (Zayandab, 2006). در مورد آثار هیدروژئولوژی کارست نیز می‌توان به وجود چشمه‌های دائمی در پایین دست رودخانه اشاره کرد. نتایج بیان در این تاقدیس بیانگر این است که در صورتیکه مناطق تغذیه آبخوان تمامی رخنمون‌های سنگی کربناته یال شمالی و جنوبی (معادل ۷۵ کیلومتر مربع) با میزان نفوذ ۵۰ درصد و متوسط بارش سالانه ۷۱۷ میلی‌متر (بر اساس خطوط همباران)، آبخوان تاقدیس دارای پتانسیل آبدهی متوسط ۸۵۰ لیتر بر ثانیه و معادل ۲۷ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد (Abedian, 2019).

2019) که با توجه به اندازه‌گیری دبی خروجی چشمه‌های تاقدیس (چشمه‌های خدرزنده و SPL) با واقعیت انطباق دارد. بزرگترین خروجی این آبخوان، چشمه خدرزنده با دبی متوسط ۴۵۰ لیتر بر ثانیه از نزدیک کنتاکت سازند مارنی رازک با سازند کربناته جهرم- آسماری تخلیه می‌گردد.

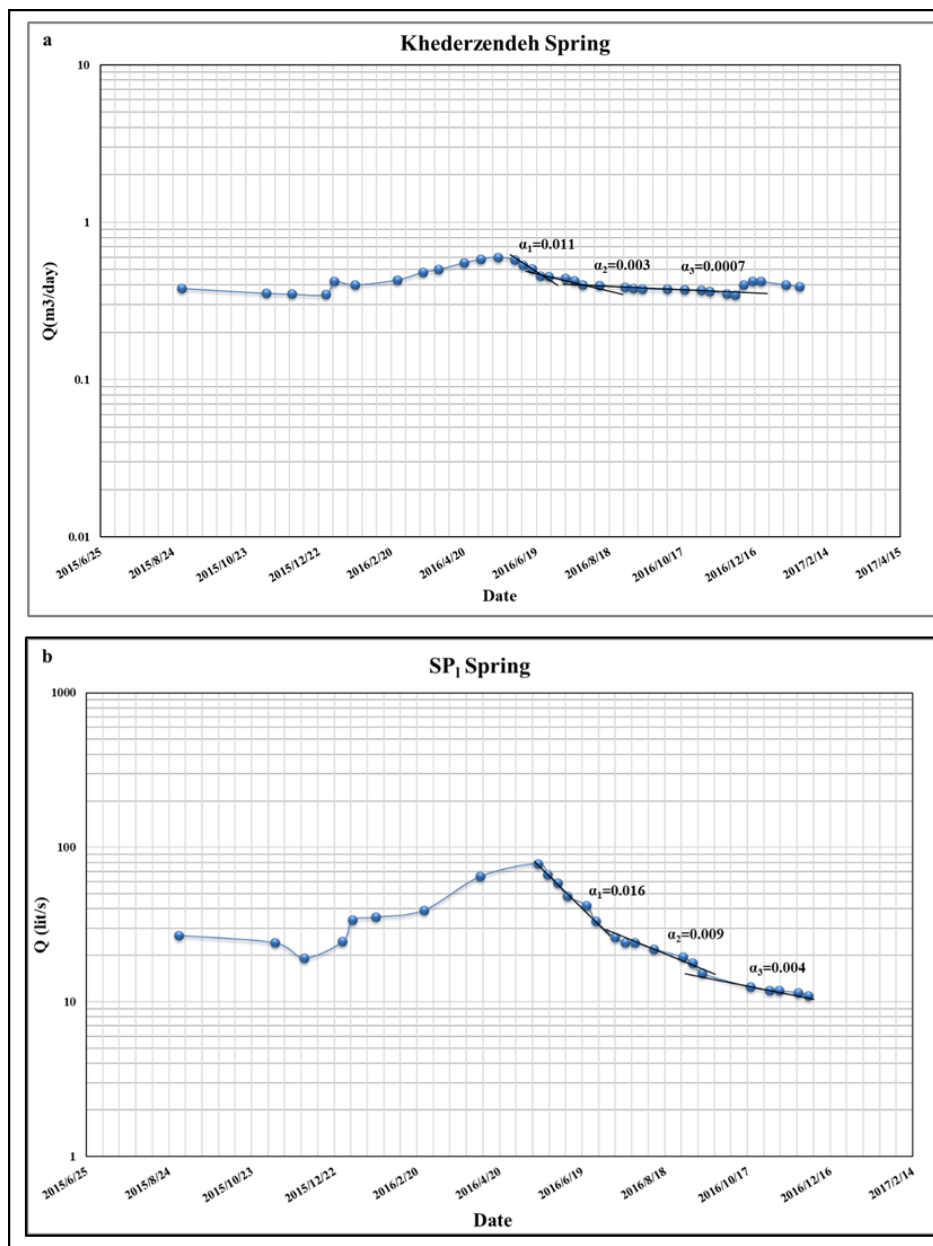
۴-۲- تعیین نوع جریان با استفاده از منحنی فرود

همان‌طور که پیش‌تر نیز گفته شد، برای تعیین نوع جریان به این روش اندازه‌گیری دبی به صورت ماهیانه و هفتگی از دو چشمه مهم تاقدیس صورت پذیرفت. همان‌طور که در شکل (۴) نمایش داده شده است منحنی فرود چشمه خدرزنده دارای سه شیب است. $\alpha 1$ با شیب $0/011$ نشان دهنده جریان حدواسط و $\alpha 2$ و $\alpha 3$ با ضریب $0/003$ و $0/007$ نمایانگر جریان افشان و چشمه SPL نیز دارای سه شیب $\alpha 1$ با شیب $0/016$ نشان دهنده جریان حدواسط و $\alpha 2$ و $\alpha 3$ با ضریب $0/009$ و $0/004$ نمایانگر جریان افشان در این تاقدیس است.

مطابق با ضرایب تغییرات پارامترهای بررسی شده پارامترهای آنیون و کاتیون عمدتاً دارای ضریب تغییرات ۱۰ تا ۲۰ درصد، دبی چشمه خدرزنده به عنوان بزرگترین خروجی آبخوان حدود ۱۵ درصد تغییرات و اسیدیته و هدایت الکتریکی چشمه‌ها و گمانه‌ها به عنوان مهم‌ترین پارامترهای کیفی دارای ضریب تغییرات حدود ۵ درصد می‌باشد که همانند نتایج منحنی فرود نشان دهنده وجود سیستم کارستی حدواسط، جریان مجرایی - افشان است.

۳-۴- تعیین نوع جریان با استفاده از پارامترهای فیزیکوشیمیایی و ایزوتوپ‌های محیطی

برای تعیین نوع جریان، پارامترهای فیزیکوشیمیایی از چشمه خدرزنده و چشمه SPL، گمانه‌های PR1 و PR2 در یال شمالی و گمانه‌های OB5 و OB7 در یال جنوبی به صورت ماهیانه اندازه‌گیری گردید. میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات ۱۲ ماه برداشت از این منابع مطابق با جدول‌های (۳) و (۴) می‌باشد.



شکل ۴- نمودار نیمه لگاریتمی (a) چشمه خدرزنده و (b) چشمه SPL
 Fig. 4. Semi- logarithmic chart (a) Khederzende spring and (b) SPL spring

جدول ۳- میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات پارامترهای فیزیکوشیمیایی چشمه‌ها

Table 3. Mean, standard deviation and coefficient of variation of physicochemical parameters of springs

Spring	SP5			SP _L		
Number	N=12			N=12		
PARAMETER	Ave	SD	CV	Ave	SD	CV
Calcium (me/l)	2.5	0.34	13.63	2.6	0.3	12.9
Magnesium (me/l)	1.2	0.18	15.03	1.5	0.2	15.2
Sodium (me/l)	4.2	0.62	14.76	4.3	0.6	14.7
Potassium(me/l)	0.1	0.02	17.74	0.1	0.0	14.4
Bicarbonate (me/l)	3.2	0.39	12.33	3.4	0.3	8.0
Sulfate (me/l)	1.3	0.08	5.83	1.4	0.1	5.4
Chloride (me/l)	3.9	0.21	5.40	4.1	0.3	6.2
Dissolved Solids (me/l)	574.5	36.3	6.3	603.6	39.93	6.62
Conductivity (μm/cm)	794.1	21.7	2.7	802.0	824.0	11.4
pH	8.1	0.3	4.0	8.1	0.3	4.3
T (°c)	13.1	0.2	1.8	13.0	0.2	1.2
Q (lit/s)	438.7	69.4	15.8	35.3	16.9	47.9

جدول ۴- میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات پارامترهای فیزیکوشیمیایی گمانه‌ها

Table 4. Mean, standard deviation and coefficient of variation of physicochemical parameters of boreholes

Spring	PR1			PR2			OB5			OB8		
Number	N=12			N=12			N=12			N=12		
Parameter	Ave	SD	CV	Ave	SD	CV	Ave	SD	CV	Ave	SD	CV
Calcium (me/l)	1.8	0.27	14.74	2.3	0.38	16.45	2.0	0.3	13.2	1.5	0.20	12.87
Magnesium (me/l)	1.5	0.24	16.13	1.6	0.29	18.06	1.6	0.3	16.9	1.3	0.21	15.54
Sodium (me/l)	0.1	0.02	15.41	2.8	0.53	18.84	2.4	0.4	15.8	0.2	0.03	17.74
Potassium(me/l)	0.2	0.04	19.14	0.1	0.01	15.51	0.1	0.0	22.3	0.1	0.03	21.65
Bicarbonate (me/l)	2.4	0.16	6.72	2.9	0.20	6.78	2.9	0.3	12.0	2.3	0.19	8.42
Sulfate (me/l)	1.0	0.08	7.94	1.3	0.23	17.28	1.2	0.1	11.3	0.6	0.12	20.8
Chloride (me/l)	0.4	0.08	19.17	3.2	0.21	6.55	1.8	0.2	12.2	0.4	0.06	15.60
Dissolved Solids (me/l)	284.8	14.07	4.94	503.4	28.20	5.60	404.6	28.02	6.93	252.2	19.53	7.74
Conductivity (μm/cm)	397.4	48.34	12.16	529.0	26.75	5.06	523.8	26.41	5.04	0.3	0.02	6.88
pH	8.1	0.37	4.63	8.0	0.41	5.06	8.1	0.41	5.12	8.1	0.36	4.45
T (°c)	15.1	1.13	7.48	15.1	1.51	10.02	15.5	0.84	5.38	15.5	0.84	5.38
WT (m)	141.3	1.1	0.8	171.3	0.94	0.55	220.8	0.83	0.38	220.8	0.83	0.38

جوی محلی شیب کمتر از خط آب جهانی (GMWL) و مدیترانه‌ای (MMWL) دارد که نشان دهنده شرایط تاثیر گذار محلی در محدوده مورد مطالعه است. همچنین تغییرات اکسیژن ۱۸ نمونه‌های بارندگی نسبت به ارتفاع حدود ۰/۱۹ پرمیل (permil) در هر ۱۰۰ متر با همبستگی حدود ۷۰ درصد (با استفاده از نمونه‌های آب ۵ چشمه و ارتفاع حوضه آبرگیر آن‌ها)، تغییرات اکسیژن ۱۸ نمونه‌های بارندگی نسبت به حجم بارش حدود ۱/۳ پرمیل (permil) در هر ۲۰ میلی‌متر بارش و با همبستگی پایین (حدود ۲۵ درصد) و تغییرات اکسیژن ۱۸ نمونه‌های بارندگی نسبت به دما حدود ۰/۹ پرمیل (permil) در هر ۵ درجه تغییر دما است.

در بررسی‌های ایزوتوپی محدوده از بارش، بارانسنج در محدوده تاقدیس در دو منطقه در ارتفاع ۱۸۰۰ و ۲۳۰۰ متری نصب و نمونه‌برداری به صورت تجمعی ماهیانه انجام و به آزمایشگاه انرژی اتمی ارسال گردید. موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده در محدوده مطابق با شکل (۳) می‌باشد.

با استفاده از نمونه‌های بارش مطابق با اطلاعات جدول (۵) خط بارش محلی محدوده (Local Meteoric Water Line) ترسیم گردید (شکل ۴)، و معادله زیر با همبستگی ۹۶ درصد برای بارش محدوده حوضه آبرگیر تاقدیس مورد مطالعه حاصل گردید.

$$\delta D = 6.3\delta^{18}O + 14.98$$

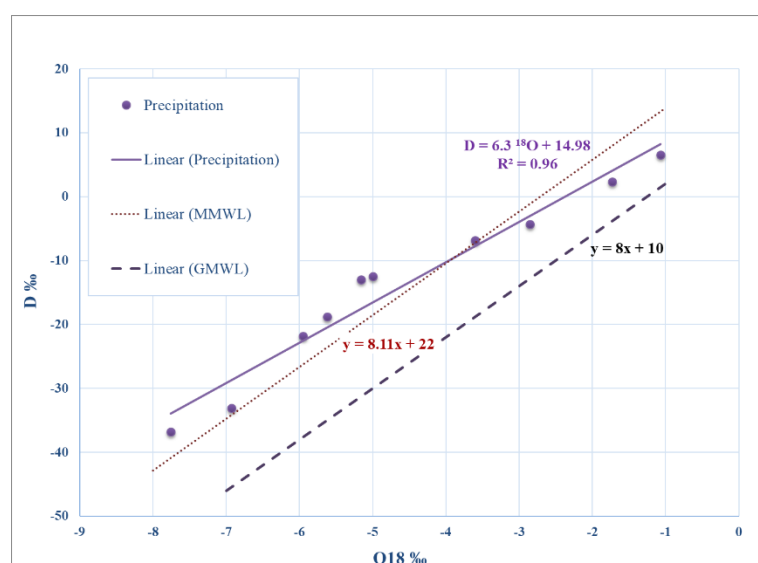
رابطه ۳

همان طور که در شکل (۵) نشان داده شده است، خط آب

جدول ۵- ایزوتوپ‌های محیطی اندازه‌گیری شده از نمونه‌های بارش

Table 5. Measured environmental isotopes from precipitation samples

Name	Date	D (per mil)	Uncertainty	O18 (per mil)	Uncertainty
P1	1395/10	2.37	0.35	-1.73	0.11
P1	1395/11	-21.85	0.4	-5.95	0.15
P1	1395/12	-12.95	0.4	-5.16	0.15
P1	1396/01	-36.79	0.88	-7.76	0.1
P1	1396/02	-4.3	0.94	-2.85	0.16
P2	1395/10	-6.84	0.66	-3.6	0.13
P2	1395/11	-12.5	0.59	-5	0.14
P2	1395/12	-18.81	0.91	-5.62	0.13
P2	1396/01	-33.12	0.66	-6.93	0.21
P2	1396/02	6.53	0.74	-1.07	0.1



شکل ۵- نمودار خط بارش محلی محدوده مورد مطالعه

Fig. 5. Local meteoric water line of the study area

میزان انحراف معیار در بارندگی تاقدیس بسیار بالاست این در صورتی است که اطلاعات ماهیانه ایزوتوپ چشمه خدرزنده و گمانه OB5 دارای انحراف معیار بسیار پایین و حداقل و حداکثر داده‌ها بسیار نزدیک به هم می‌باشد (جدول ۸).

مطالعات نشان می‌دهد با توجه به اینکه تغذیه به صورت نقطه‌ای (sink hole) در آبخوان وجود ندارد و تغذیه عمدتاً توسط سیستم درز و شکستگی در آهک‌های جهرم - آسماری انجام می‌گردد، انتظار می‌رفت تفریق ایزوتوپی بیشتری در ترکیب ایزوتوپ‌های بارش‌های نفوذی انجام گردد، ولی ایزوتوپ‌های آبخوان تاقدیس دارای مقادیر کمتری نسبت به خط آب جوی محلی و رودخانه می‌باشد. با توجه به تاثیر زیاد حجم بارش و تاثیر کم دما بر ایزوتوپ‌های بارش محدود می‌توان نتیجه گرفت ماه‌های با تعداد بارش کم و حجم بارش بالا و تغذیه برف ترکیب ایزوتوپی آبخوان تاقدیس را تعیین می‌کند. به این ترتیب بارش‌های با حجم کم و مقدار ایزوتوپ بالا کمتر در آبخوان نفوذ می‌کنند. همچنین بررسی تغییرات ایزوتوپی ماهیانه چشمه و گمانه نشان می‌دهد برای تعیین نوع جریان می‌توان از ایزوتوپ‌های محیطی استفاده کرد. مطابق شکل (۷) هر چند ضریب تغییرات زیر ۵ درصد بوده ولی روند تغییرات معنی‌دار می‌باشد، بخصوص از دوتریم که با توجه به سبک‌تر بودن دارای حساسیت بیشتری در محدوده حوضه آبرگیر چشمه است.

تغییرات ترکیب ایزوتوپی به تاریخچه آب از زمان تبخیر از اقیانوس‌ها، تشکیل ابر، زمان بارش و چگونگی نفوذ به داخل زمین بستگی دارد. این تغییرات می‌تواند جهت تعیین زمان تغذیه، سرعت جریان و مشخص نمودن اثر جریان‌های سریع استفاده گردد (Mazor, 2004). علاوه بر تاثیر دما، رطوبت، ارتفاع، نوع بارش و ... در تغییرات ایزوتوپی، نوع جریان نیز بر ترکیب ایزوتوپی تاثیر گذار می‌باشد (Clark and Fritz, 1997).

در تغذیه افشان با توجه به اینکه تبخیر بیشتری در زون غیراشباع انجام می‌گردد، تفکیک بیشتر انجام شده و در نتیجه این نوع تغذیه نسبت به تغذیه نقطه‌ای دارای ایزوتوپ‌های سنگین بیشتری می‌باشد (Alsaaran, 2006). محتوای ایزوتوپی چشمه خدرزنده (SP5) و گمانه (OB5) و چشمه‌ها، گمانه‌ها و رودخانه‌های محدوده در جدول‌های (۶) و (۷) ارائه گردیده است. همان‌طور که در شکل (۶) نشان داده شده، موقعیت ایزوتوپ‌های نمونه‌های آب نسبت به خط آب محلی محدوده ترسیم شده است. مطابق شکل نمونه‌های آب نسبت به خط آب جوی محدوده عمدتاً در محدوده با دوتریم و اکسیژن ۱۸ پایین قرار گرفته است که تغذیه از برف و ارتفاعات مرتفع را نشان می‌دهد. همچنین نمونه‌های گمانه‌های یال جنوبی بسیار نزدیک به نمونه‌های چشمه خدرزنده است که خود بیانگر تاثیر بیشتر یال جنوبی در تغذیه چشمه خدرزنده می‌باشد.

مطابق با اطلاعات ماهیانه ایزوتوپی ایستگاه‌های بارانسجی

جدول ۶- ایزوتوپ‌های محیطی چشمه خدرزنده (SP5) و گمانه (OB5)

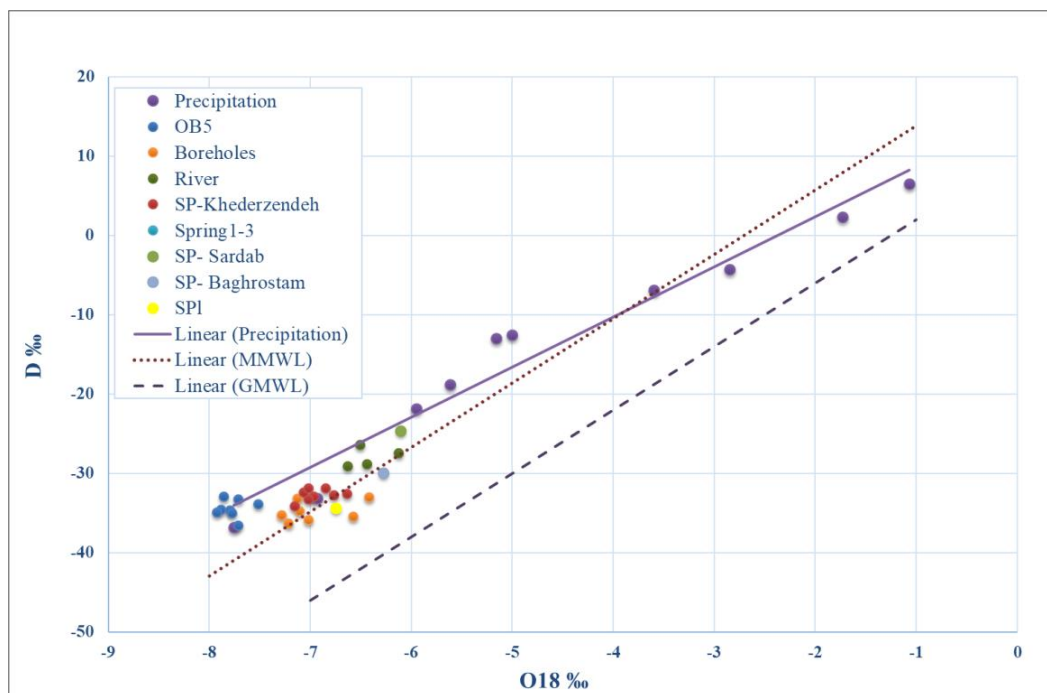
Table 6. Environmental isotopes of Khederzende spring (SP5) and borehole (OB5)

Name	Date	D (per mil)	Uncertainty	O18 (per mil)	Uncertainty
OB5	1395/09	-33.22	1	-7.72	0.12
OB5	1395/10	-32.91	0.7	-7.86	0.13
OB5	1395/11	-34.53	1.09	-7.89	0.1
OB5	1395/12	-34.58	0.7	-7.8	0.09
OB5	1396/01	-34.86	0.95	-7.93	0.08
OB5	1396/02	-33.87	0.61	-7.52	0.22
OB5	1396/03	-34.99	0.88	-7.78	0.14
OB5	1396/04	-36.49	0.87	-7.72	0.2
SP5	1395/09	-32.91	0.59	-6.97	0.17
SP5	1395/10	-34.07	0.92	-7.16	0.24
SP5	1395/11	-33.19	0.79	-7.02	0.19
SP5	1395/12	-32.33	0.53	-7.07	0.13
SP5	1396/01	-31.84	1.06	-6.85	0.15
SP5	1396/02	-31.81	0.59	-7.02	0.12
SP5	1396/03	-32.54	1.16	-6.64	0.32
SP5	1396/04	-32.74	0.89	-6.77	0.23

جدول ۷- ایزوتوپ‌های محیطی چشمه‌ها و گمانه‌ها در اردیبهشت ماه

Table 7. Environmental isotopes of springs and boreholes in May

Name	Date	D (per mil)	Uncertainty	O18 (per mil)	Uncertainty
SP-Sardab	1396/02	-24.59	0.79	-6.11	0.08
SP-Baghostam	1396/02	-29.92	0.95	-6.28	0.16
SP1	1396/02	-34.38	0.67	-6.75	0.16
Kohrang-river	1396/02	-28.83	1.06	-6.44	0.11
Kiar-river	1396/02	-29.08	0.53	-6.63	0.66
Beheshtabad-river	1396/02	-27.43	1.16	-6.13	0.06
Sabsekoh-river	1396/02	-26.34	0.72	-6.51	0.21
PR1	1396/02	-36.27	0.84	-7.22	0.16
PR2	1396/02	-35.2	0.78	-7.29	0.27
OB2	1396/02	-33.16	0.82	-7.13	0.16
OB3	1396/02	-34.74	0.97	-7.11	0.22
OB4	1396/02	-25.86	0.85	-5.54	0.19
OB6	1396/02	-35.4	0.72	-6.58	0.1
OB7	1396/02	-33.58	0.49	-6.58	0.19
OB8	1396/02	-32.97	0.7	-6.42	0.21
OB11	1396/02	-35.81	0.88	-7.02	0.17



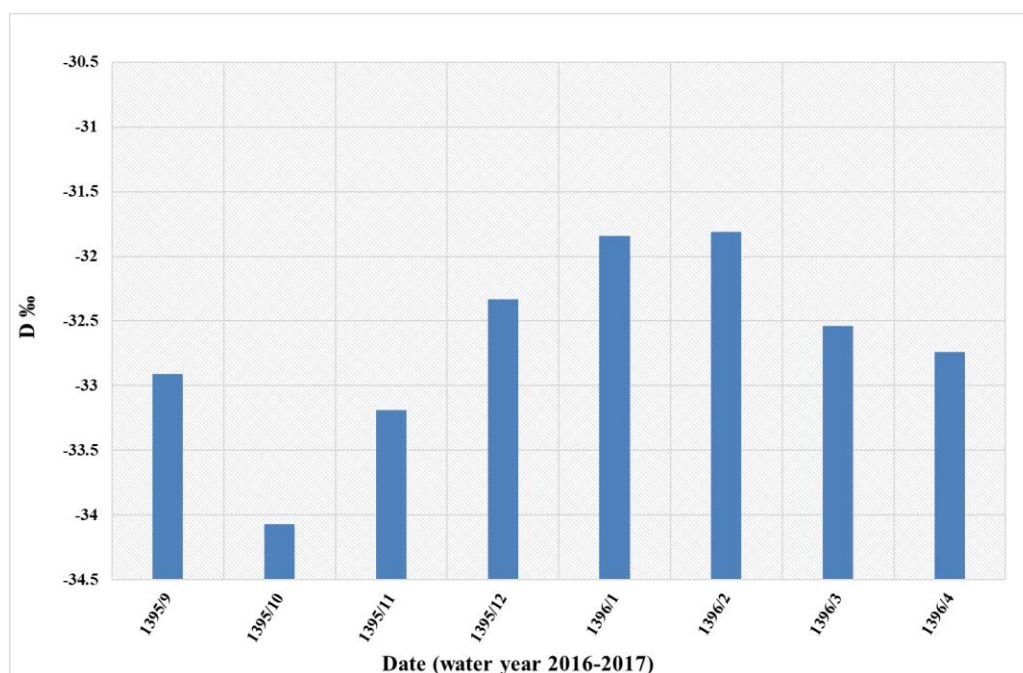
شکل ۶- موقعیت نمونه‌های اندازه‌گیری شده نسبت به خط آب جوی محدوده

Fig. 6. The position of the measured samples compared to the local meteoric water line

جدول ۸- میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات بارندگی نسبت به گمانه (OB5) و چشمه خدرزنده (SP5)

Table 8. Mean, standard deviation and coefficient of variation of precipitation compared to borehole (OB5) and Khederzende spring (SP5).

Name	OB5		SP5		P1		P2	
Number	8		8		5		5	
Parameter (permil)	D	O18	D	O18	D	O18	D	O18
MIN	-36.49	-7.93	-34.07	-7.16	-36.79	-7.76	-33.12	-6.93
MAX	-32.91	-7.52	-31.81	-6.64	2.37	-1.73	6.53	-1.07
Average	-34.4	-7.8	-32.7	-6.9	-14.7	-4.7	-22.1	-5.0
SD	1.13	0.13	0.74	0.17	15.34	2.42	16.60	3.08
CV	3.3	1.7	2.3	2.5	104.3	51.5	113.1	50.3



شکل ۷ - تغییرات ماهیانه دوتریم چشمه خدرزنده (سال آبی ۹۶-۹۵)

Fig. 7. Monthly changes of the deuterium of Khederzende spring (water year 2016-2017)

شبهات ایزوتوپ‌های گمانه‌های یال جنوبی به ایزوتوپ‌های پایدار چشمه نشان از بالاتر بودن سهم جریان در یال جنوبی در تغذیه بزرگترین خروجی تاقدیس (چشمه خدرزنده) است. در نهایت می‌توان گفت استفاده از ایزوتوپ‌های محیطی در کنار سایر پارامترهای فیزیکوشیمیایی علاوه بر سرگذشت جریان، در مشخصه سازی سیستم جریان کارستی می‌توان استفاده نمود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از همکاری شرکت مهندسی مشاور زاینده‌آب و مساعدت‌های کارمندان آن در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

۵- نتیجه گیری

مطالعات فیزیکوشیمیایی و ایزوتوپی سازند چهارم- آسماری در تاقدیس سنگویل نشان دهنده نوع جریان در محدوده حد واسط و افشان است و جریان در مرحله اول تابع درز و شکاف و در مرحله بعد انحلال می‌باشد. با بررسی نتایج ایزوتوپی حاصل از نمونه‌های بارش برداشت شده، خط ایزوتوپی آب جوی محدوده مطالعاتی تاقدیس سنگویل در استان چهارمحال و بختیاری با معادله $\delta D = 6.3 \delta 18O + 14.8$ (رابطه ۳) بدست آمد. همچنین ایزوتوپ‌های محیطی پایدار بیانگر تغذیه از بارش‌هایی با حجم بالا و مقدار ایزوتوپ کم و تغذیه از برف در ارتفاعات می‌باشد.

مراجع

- Abedian, H., Karami G.H., Haji Karimi., 2019. Effect of Scale in Identification of Flow Type in Karst: Case Study Jahrom-Asmari Limestone's in Right-Side of Beheshtabad Dam, Ph.D Thesis, Shahroud University of Technology, Iran (In Persian).
- Alsaran, N.A., 2006. Using environmental isotopes for estimating the relative contributions of groundwater recharge mechanism in an arid basin. Central Saudi Arabia. *The Arabian Journal for Science and Engineering* 31, 3-13.
- Bonacci, O., 1993. Karst springs hydrographs as indicators of karst aquifers. *Hydrological Sciences Journal–Journal Des –Sciences Hydrologiques* 38(1), 51–62. <https://doi.org/10.1080/02626669309492639>.
- Clark, I., Fritz, P., 1997. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. CRC Press, Lewis, New York.
- Jacobson, R.L., Langmuir, D., 1974. Controls on the quality variations of some carbonate spring waters. *Journal of Hydrology* 23, 247 – 265. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(74\)90006-7](https://doi.org/10.1016/0022-1694(74)90006-7).
- Kalantari, N., Mohammadi Behzad, H.R., Chahchi, A., Keshavarzi, M.R., 2011. Karst spirings as the simplest tool for determining hydrogeological characteristics karst aquifers, a case study of Bibi Talkhon spring, Khuzestan province. *Journal of Advanced Applied Geology* 1(2), 90-100.
- Karami, G.H., 2002. Assessment of heterogeneity and flow systems in karstic aquifers using pumping test data, PhD. thesis University of Newcastle, Newcastle upon Tyne.
- Karanjac, J., Altug, A., 1980. Karstic spring recession hydrograph and water temperature analysis: Oymapinar Dam Project, Turkey. *Journal of Hydrology* 45(3-4), 203-217. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(80\)90020-7](https://doi.org/10.1016/0022-1694(80)90020-7).
- Karimi, H., Raeisi, E., Zare, M., 2003. Hydrodynamic Behavior of the Gilan karst Spring, west of Zagros, Iran. *Cave & Karst Science* 30(1), 15-22.
- Mazor, E., 2004. *Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology*, third edition, Marcel Dekker, Inc.
- Milanovic, P.T., 1981. *Karst hydrogeology*. Littleton, CO: Water Resources Publications, p.434.
- MirHasani, Gh., Bagheri, R., Nik Ghoghagh, Y., 2017. Hydrogeology of Karstic Springs in Kalaleh Region, Golestan Province. *Iranian Journal of Ecohydrolog* 5(2), 387-397. <https://sid.ir/paper/254026/fa>.
- Mohammadi Behzad, H.R., Charch, A., Kalantari, N., 2015. Investigating the hydrogeological behavior of Sabzeab karst spring, northeast of Khuzestan province. *Journal of Advanced Applied Geology* 1(2), 90-100. <https://doi.org/10.22055/AAG.2015.11281>.
- Nur Ozyurt, N., Serdar Bayari, C., 2008. Temporal variation of chemical and isotopic signals in major discharges of an alpine karst aquifer in Turkey implications with respect to response of karst aquifers to recharge. *Hydrogeology Journal* 16, 297–309. <https://doi.org/10.1007/s10040-007-0217-6>.
- Sauter, M., 1992. Quantification and forecasting of regional groundwater flow and transport in a karst aquifer (Gallusquelle, Malm, SW Germany), Ph.D Thesis, Tibingen Geowissenschaftliche Arbeiten.
- Shuster, E.T., White, W.B., 1971. Seasonal fluctuations in the chemistry of limestone springs: A possible means for characterizing aquifers. *Journal of Hydrology* 14, 93–128. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(71\)90001-1](https://doi.org/10.1016/0022-1694(71)90001-1).
- Simsek, C., Elci, A., Gunduz, O., Erdugan, B., 2008. Hydrogeological and hydrochemical characterization of a karstic mountain region. *Environmental Geology* 54, 291-308. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0817-4>.
- Veini, G., 1997. *Geomorphology hydrogeology geochemistry and evolution of the karst Lower Glen Rose aquifer*, South-central Texas. Ph.D thesis, Pennsylvania state University, USA.
- Zayandab Consulting Engineers Co., 2006. Geological Report of the Reservoir and Dam Site Beheshtabad, (In Persian).