Summer 2020, Vol 10 (2): 284-293 Adv. Appl. Geol. OPEN ACCESS

Evaluation of transverse fault performance in inter-basin water transport using isotopic and color tracking studies, case study: Dimeh spring, Koohrang

Ebrahim Gholami[1*], Ali Akbar Saba[1], Ali Yassaghi[2], Mohammad Mahdi Khatib[1], Haji Karimi[3]

1- Geology Department, University of Birjand, Birjand, Iran
2- Geology Department, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran
3- Rangeland and Watershed Department, Ilam University, Ilam, Iran

Keywords: Karst spring, Dye tracing, Isotope studies, Transverse fault

1-Introduction

Dimeh spring emerges from the Zarab Anticline, Zagros Mountains (Iran), and the mean annual discharge is ~2.5 m3/s. The region has a semi-arid climate. A rainy season starts in October and usually ends in May, with snowfall common on the higher ground between December and February. The mean annual precipitation of the study area is about 1357 mm (Karimi Vardanjani et al., 2017). However, preliminary evaluations suggest that the spring recharge is from the Zarab Anticline, but in several previous dyes tracing tests, the dye was injected in the Zarab anticline was not seen in the Dimeh Spring (Janparvar, 2001; Pourab Co, 2012). Then, in order to find the catchment area of this spring, the present study has focused on tectonic aspects.

2-Methodology

In this study, the dye tracing techniques were employed to determine the flow path and isotope studies used to determine the catchment elevation. The transverse fractures extended from Zardkooh Mountains (Karoon River basin) to the Dimeh spring area (Zayandeh Rood River basin) were identified. Then, field surveys were carried out to identify areas that could be used for dye injection. Accordingly, a sinking spring in the Khadang Valley (Zardkooh Mountains) was selected for injection. Then, based on empirical formulas (Karimi Vardanjani, 2014), the required dye value was calculated, and 30 kg of Uranine dye was injected. Samples were collected from the main springs of the area for two months, and they were tested for Uranine. The rain was sampled twice a year at three different altitudes, and the samples were analyzed for Oxygen-18 isotope.

3- Results and discussion

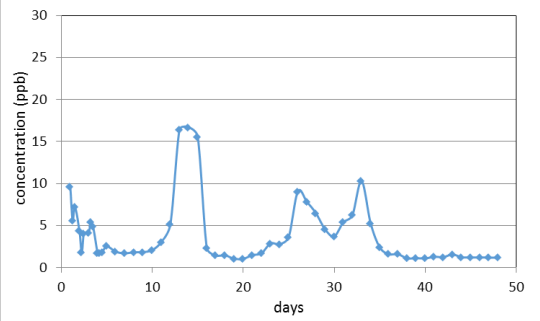
As shown in Fig. 1, unlike previous tests, the dye was observed in Dimeh spring. There are two sharp peaks in the dye concentration-time diagram at the 26 and 33 days after injection. Furthermore, the relationship between elevation and $\delta^{18}O$ in precipitation shows that a big part of Dimeh spring waters recharges in Zardkooh Mountains. Some provisional water balance estimates have also been made to confirm this further.

4-Conclusion

This study shows that tectonic structures such as transverse faults can play an essential role in inter-basin groundwater transport. Two flow paths are identified in the Zardkooh Mountain Range:
A: The main route: Flow to the springs at the foot of the Zardkooh Mountains. Due to their low elevation, these springs constitute the main base level of the Zardkooh zone.
B: Second route to Dimeh spring: Due to the structural relationship between the Zardkooh karst aquifer and Dimeh spring through Khadang transverse fault zone, a network is formed that transfers part of the Zardkooh water to Dimeh spring.

*Corresponding author: egholami@birjand.ac.ir
DOI: 10.22055/AAG.2020.30984.2038
Received 2019-09-06
Accepted 2020-01-21

CC BY NC



ISSN: 2717-0764

Fig 1. The dye concentration-time diagram of Dimeh spring.

References

Janparvar, M., 2001. Hydrogeology of Zarab Anticline Springs. MSc Thesis, Shiraz University, Shiraz, Iran.

Karimi Vardanjani, H., 2014. Karst hydrogeology and Geomorphology, Eram Shiraz publications (in Persian).

Karimi Vardanjani, H., Chitsazan, M., Karimi, H., Charchi, A., Ford., 2017. Initial assessment of recharge areas for large karst springs - a case study from the central Zagros Mountains, Iran. Hydrogeology Journal, DOI: 10.1007/s10040-017-1703-0.

Pourab Consulting Engineers Co., 2012. Dimeh spring studies, Dye tracing report.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Gholami, E., Saba, A.A., Yassaghi, A., Khatib, M.M., Karimi, H., 2020. Evaluation of transverse fault performance in inter-basin water transport using isotopic and color tracking studies, case study: Dimeh spring, Koohrang. Adv. Appl. Geol. 10(2), 284-293.
DOI: 10.22055/AAG.2020.30984.2038
url: https://aag.scu.ac.ir/article_15339.html?lang=en

CC BY NC

بررسی عملکرد گسل‌های عرضی در انتقال آب بین حوضه‌ای با استفاده از مطالعات ایزوتوپی و ردیابی رنگی، مطالعه موردی: چشمه دیمه، کوهرنگ

ابراهیم غلامی *
دانشکده علوم زمین، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
علی اکبر صبا
دانشکده علوم زمین، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
علی یساقی
دانشکده علوم زمین، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
محمد مهدی خطیب
دانشکده علوم زمین، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
حاجی کریمی
گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۱۵ تاریخ پذیرش : ۱۳۹۸/۱۰/۳۰
**egholami@birjand.ac.ir*

چکیده

چشمه دیمه به عنوان سرچشمه اصلی رودخانه زاینده رود با آبدهی حدود ۲،۵ متر مکعب بر ثانیه از تاقدیس زراب واقع در استان چهارمحال و بختیاری، شهرستان چلگرد خارج می شود. به دلیل اهمیت این چشمه به لحاظ تأمین آب شرب جمعیت کثیری از ساکنان پایین دست، به منظور تعیین حریم کمی و کیفی آن تاکنون چندین آزمایش ردیابی رنگی در این تاقدیس انجام شده که در هیچکدام از آنها رنگ در چشمه دیمه دیده نشده است. بدین جهت، در مطالعه حاضر با فرض تغذیه این چشمه از کوه‌های زردکوه، جنبه های تکتونیکی منطقه از جمله انتقال آب از طریق شکستگی‌های عرضی مدنظر قرار گرفت. لذا پس از شناسایی شکستگی‌های عرضی که تا حوالی چشمه دیمه ادامه یافته اند، نسبت به تزریق ۳۰ کیلوگرم رنگ اورانین در یکی از این دره ها به نام دره خدنگ اقدام شد که بر خلاف آزمایشات قبلی، نتایج آنالیزها بیانگر مشاهده رنگ در چشمه می‌باشد. علاوه بر این، بررسی نمودار ارتفاع – ترکیب ایزوتوپی بارش نیز بیانگر ارتفاع متوسط کوه‌های زردکوه جهت تغذیه چشمه می‌باشد.

کلمات کلیدی: *چشمه کارستی، ردیابی رنگی، مطالعات ایزوتوپی، دره خدنگ، شکستگی‌های عرضی*

مقدمه

شناخت حوضه تغذیه و مسیرهای جریان منتهی به چشمه‌های کارستی همیشه جزء چالش‌های هیدروژئولوژی مناطق کارستی بوده است. این امر بدان جهت دارای اهمیت است که تعیین حوضه آبگیر هم به لحاظ کمی در مدیریت آبخوان‌ها اهمیت دارد و هم به لحاظ کیفی نقش اصلی را در تعیین حریم کیفی منابع آب کارستی دارا می‌باشد. با این وجود، ماهیت هتروژن آبخوان‌های کارستی از یک طرف و نقش مهم ساختارهای زمین‌شناسی و تکتونیکی از طرف دیگر باعث گردیده است که تعیین حوضه آبگیر چشمه-های بزرگ کارستی به آسانی صورت نپذیرد. مخصوصاً در مورد چشمه‌های بزرگی که بیلان تاقدیس آهکی بالادست آنها جواب‌گوی حجم آبدهی آنها نمی‌باشد، شناسائی مناطق آهکی اطراف که احتمالاً می‌توانند آب نفوذ یافته در خود را به طرق مختلف اعم از جریان معمول در جهت شیب هیدرولیکی و یا جریان متمرکز از طریق خطوط جریان ناشی از عملکرد تکتونیک به سمت چشمه هدایت نمایند، جز مطالعات مهم و بعضاً پیچیده کارست قلمداد می-شود. به عنوان مثال، کریمی وردنجانی و همکاران با انجام بررسی‌های ایزوتوپی و هیدروشیمیایی بر نقش گسل مفارون در انتقال آب از تاقدیس-های محال باخ و .... به سمت تاقدیس کینو و نهایتاً چشمه سوسن سرخاب تأکید کرده‌اند (Karimi Vardanjani et al., 2017). همچنین محمدی بهزاد (Mohammadi Behzad, 2016) طی مطالعات خود تاقدیس‌های شمال‌شرق خوزستان را از طریق شکستگی‌های تکتونیکی عامل تأمین آب چشمه سبزاب معرفی نموده است.

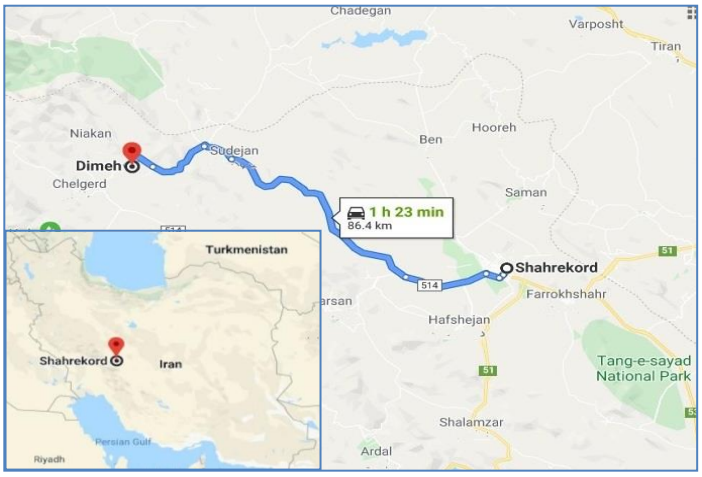
چشمه‌های کارستی یکی از منابع اصلی تأمین آب شرب در نواحی خشک و نیمه خشک ایران هستند. چشمه کارستی دیمه در جنوب غربی ایران واقع شده است و منبع اصلی تغذیه رودخانه زاینده‌رود است. به‌همین دلیل توجه به حفاظت حرایم کمی و کیفی این چشمه اهمیت خاص دارد. در سال‌های گذشته با حفر سه تونل در نواحی مجاور چشمه، بخشی از آب سرشاخه‌های بزرگترین رود ایران، کارون، به طرف رودخانه زاینده رود منتقل شده است. به لحاظ اهمیت این چشمه، مطالعات متعددی بر روی حوضه آبگیر آن انجام شده است. با توجه به این که چشمه دیمه از پلانج تاقدیس زرآب خارج می - شود، فرض اول این است که چشمه از این تاقدیس تغذیه می‌شود. با این وجود در طی دو مرحله ردیابی رنگی با مواد رنگی اورانین و رودامین که در سال ۱۳۸۰ در این تاقدیس انجام شده (Janparvar, 2001)، رنگ در

چشمه دیمه مشاهده نشده است. فرضیه دوم این بوده که به دلیل حجم بالای آبخوان، رنگ چنان رقیق شده که در چشمه دیمه قابل اندازه‌گیری نبوده است. لذا در سال ۱۳۹۲ مقدار ۱۵ کیلوگرم رنگ در یک فروچاله در فاصله ۱۱ کیلومتر چشمه تزریق شد که در طی آن نیز رنگ در چشمه دیمه مشاهده نگردید (Pourab Co, 2012). فرضیه بعدی که در مقاله حاضر به آن پرداخته می‌شود این است که حوضه اصلی تغذیه‌کننده چشمه دیمه کوه-های پوشیده از برف زردکوه هستند. هر چند بین این کوه‌ها و چشمه دیمه به دلیل وجود سازندهای نفوذناپذیر ارتباط ظاهری وجود ندارد، لیکن وجود گسل‌های عرضی منتهی به این چشمه این فرض را تقویت نمود که چشمه مزبور حداقل بخشی از آب خود را از زردکوه دریافت می‌نماید. در مقاله حاضر با استفاده از مطالعات ردیابی رنگی و ایزوتوپی در رابطه با منطقه تغذیه و تعیین مسیر جریان چشمه اظهار نظر می‌گردد.

جایگاه ساختاری و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

چشمه دیمه با موقعیت جغرافیایی ۴۲۶۲۴۶ و ۳۵۹۶۲۰۳ در مختصات UTM، در ارتفاع ۲۲۲۰ متری از سطح دریا در جنوب غرب ایران در ۱۰ کیلومتری شهر چلگرد مرکز شهرستان کوهرنگ قرار گرفته است. منطقه کوهرنگ از لحاظ هواشناسی یک ناحیه ویژه در ایران است. به طوری که در حوالی این منطقه میزان بارش سالانه در مقایسه با نواحی خشک مجاور بسیار بالاست. متوسط بارش سالیانه ایستگاه چلگرد حدود ۱۳۵۷ میلیمتر می باشد. با این وجود در سال آبی ۲۰۱۷-۲۰۱۸، این منطقه با بارش حدود ۷۵۰ میلیمتر یکی از خشک ترین سال های تاریخ خود را سپری نموده است.

منطقه مورد مطالعه از لحاظ زمین‌شناسی قسمتی از زون زاگرس مرتفع می‌باشد. کمربند چین -راندگی زاگرس بعنوان بخش بیرونی کوهزایی زاگرس شامل دو قلمرو ساختاری می‌باشد. اولین قلمرو را کمربند راندگی‌های فلسی شکل (Imbricated thrust belt) یا کمربند زاگرس مرتفع (High zagros belt) یا پهنه خردشده (Crush zone) نیز می نامند. قلمرو دوم به کمربند ساده چین‌خورده زاگرس (Zagros simply folded belt) معروف است. این دو قلمرو توسط گسل زاگرس مرتفع (HZF) از یکدیگر جدا می‌شوند (Nemati and Yassaghi 2010). پدیده تفکیک کرنش، متاثر از بردار حرکتی مایل صفحه آفریقا- عربی نسبت به خرده قاره ایران، بر قلمرو زاگرس مرتفع تاثیرگذار بوده است (Authemayou et al., 2006) و باعث ایجاد گسل‌ها و شکستگی‌های برشی در سازندهای کربناته توالی‌های رسوبی دوران‌های مختلف زمین‌شناختی این قلمرو شده است. رخنمون‌های اصلی کارستی این ناحیه شامل تاقدیس زراب، کوه‌های زردکوه و تاقدیس بهلش می‌باشند. چشمه دیمه از پلانج تاقدیس زراب از سازند خانه کت خارج می‌شود. مشخصات اصلی چشمه‌های مهم منطقه در جدول (۱) ارائه شده است. زردکوه با حداکثر ارتفاع ۴۲۲۰ متر برخی از بلندترین قله‌های رشته کوه زاگرس را در خود جای داده و تنها یخچال دائمی این رشته کوه در این کوهستان واقع شده است. واحدهای سنگ‌چینه‌ای رخنمون یافته در حوضه به ترتیب سنی از قدیم به جدید عبارتند از سازندهای: سری هرمز، سازند میلا، سازند ایلبیک، سازند زردکوه، سازند فراقان، سازند دالان، سازند خانه-کت، سازند نیریز- سرمه، سازند گرو، سازندایلام- سروک، سازند گورپی- امیران، سازندآسماری- جهرم، سازند آغاجاری، سازند بختیاری و رسوبات عهدحاضر. رخنمون سازندهای زمین‌شناسی محدودهٔ مورد بررسی در شکل (۲) ارائه گردیده است. مهم‌ترین عناصر ساختاری منطقه مورد مطالعه، گسل های اردل (MRF) و بازفت (HZF) می‌باشند. گسل اردل با طول حدود ۱۵۰ کیلومتر و راستای شمال‌غربی- جنوب‌شرقی درمحدوده اردل و ناغان در دامنه جنوب‌غربی کوه‌های زرآب، سالدوران وکوه‌سوخته قرار دارد. اختلاف ارتفاع کوه زرآب وکوه سالداروان با روستاهای دشتک و کاج در شمال‌غربی اردل در یک فاصله کوتاه از ویژگی‌های مهم عملکرد گسل اردل می‌باشد. در راستای این گسل در شمال‌غربی اردل در محدوده کاج و دشتک بیرون‌زدگی نمکی مشاهده می‌شود. گسل بازفت از دامنه جنوب‌غربی ارتفاعات زردکوه عبور کرده و یک گسل معکوس با مولفه حرکتی راستالغز راستگرد می‌باشد. رودخانه بازفت در راستای گسل بازفت و به موازات بخش جنوب‌غربی آن جریان دارد. این گسل باعث رخنمون سازندهای دوران اول وگنبدهای نمکی پرکامبرین و راندگی آنها بر روی کنگلومرای بختیاری که جوان‌ترین سازند منطقه می‌باشد، گردیده است. این گسل نقش مهمی را در شکل‌گیری ارتفاعات زردکوه که جزء بلندترین قلل کشور می‌باشد، دارد. طول این گسل درحدود ۱۷۰ کیلومتر و شیب آن به سمت شمال‌شرق می‌باشد. این گسل با عملکرد راندگی از گسل‌های اصلی زاگرس بوده و مرز میان زاگرس مرتفع و زاگرس چین خورده می‌باشد.



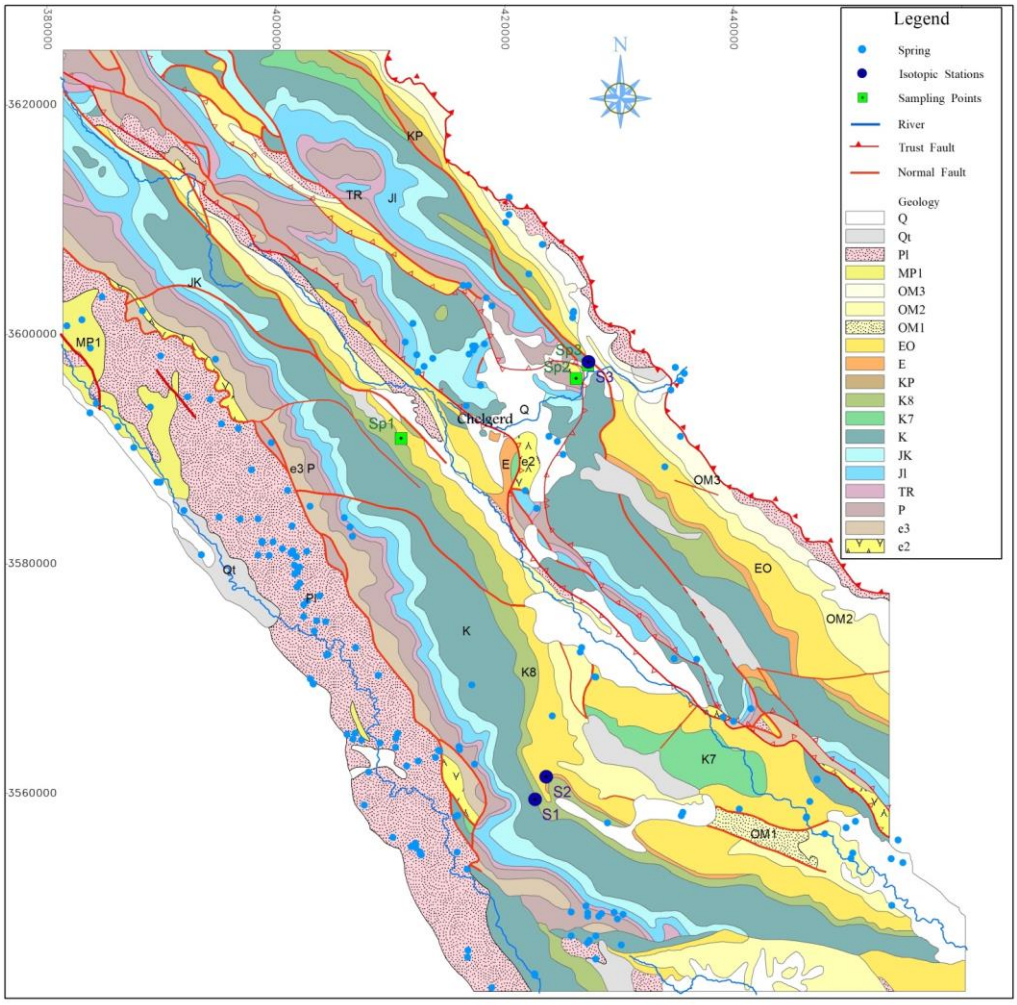
شکل۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

Fig. 1. Geographical location of the study area.

روش کار

بر اساس مطالعه Casini و همکاران (۲۰۱۱) در پهنه ساده چین‌خورده زاگرس شکستگی‌ها در سازند سروک- ایلام با توجه به زمان تشکیل به سه گروه تقسیم‌بندی می‌شوند: شکستگی‌های همزمان با رسوب‌گذاری، شکستگی-های همزمان با چین‌خوردگی و شکستگی‌های پس از چین‌خوردگی. شکستگی-های همزمان با رسوب‌گذاری در کرتاسه پایانی و همزمان با رسوب‌گذاری در رژیم زمین‌ساخت کششی در نهشته‌های حاشیه شمالی ورقه عربی بوجود آمده-اند. شکستگی‌های همزمان با چین‌خوردگی طی دگرشکلی فشاری حاصل وارونگی زمین‌ساختی (Inversion tectonics) از مایستریشتین تا پایان میوسن در نهشته‌های حاشیه غیر فعال ورقه عربی شکل گرفته‌اند که از آن جمله می‌توان به گسل اصلی معکوس زاگرس، گسل زاگرس مرتفع (گسل بازفت)، گسل پیشانی کوهستان و شکستگی‌های مزدوج عرضی اشاره کرد. دسته دیگر شکستگی‌های پس از چین‌خوردگی هستند که حاصل تغییر جهت بردار همگرایی ورقه عربی نسبت به اوراسیا می‌باشند که این تغییر جهت یک مولفه حرکت راستالغز را به شکستگی‌های قبلی از جمله بر شکستگی‌های مزدوج عرضی اعمال نموده و باعث بازفعالی (Re-activate) این شکستگی-های قدیمی شده است و همین پدیده بالاخص در محل تلاقی این شکستگی‌ها فضای مناسب توسعه مجاری کارستی را فراهم آورده است. در این پژوهش با تمرکز بر روی یکی از این خطواره‌های عرضی بازفعال شده به نام پهنه گسلی خدنگ، سعی شده است تا نقش این پهنه گسلی بر توسعه فضاهای کارستی و انتقال آب بین حوضه‌ای به شکل طبیعی از حوضه آبریز کارون به حوضه آبریز زاینده رود بررسی شود.

جهت امکان‌سنجی اولیه، بیلان محدوده آهکی زردکوه با آبدهی چشمه‌های این محدوده مقایسه گردید. به‌منظور انجام مطالعات بیلان، لازم است سایر چشمه‌های مهم منطقه که متأثر از زردکوه می‌باشند نیز مورد بررسی قرار گیرند. لذا قبل از ردیابی نسبت به شناسائی مهم‌ترین چشمه‌های منطقه اقدام گردید. به‌طور کلی آنچه در پهنه زردکوه اهمیت بیشتری دارد، چشمه‌های بزرگ کوهرنگ، ماربر، دره آب سرده، سراب رستم‌آباد، ترکی، دیمه و غلام‌آباد می‌باشد که خصوصیات آنها در جدول (۱) ارائه گردیده است. بر اساس اطلاعات موجود متوسط آبدهی چشمه های زردکوه در حدود ۱۰/۸ متر مکعب در ثانیه است. مساحت آهک‌های تاقدیس سروک در زردکوه بین سر آقا سید در شمال غرب تا نواحی نزول ارتفاع آهک در جنوب شرق حدود ۳۵۰ میلیون متر مربع است که با توجه به بارش و نفوذ منطقه (بر اساس نظر کارشناسی) می‌تواند تخلیه کننده حدود ۱۵/۵ متر مکعب در ثانیه باشد. در نتیجه، محاسبات بیلان نشان‌دهنده تخلیه های دیگری از این محدوده است. چنانکه در بخش ردیابی ذکر خواهد شده، حداقل بخشی از این تخلیه به سمت چشمه‌های دیمه و غلام آباد می‌باشد.



شکل۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.

Fig. 2. Geological map of the study area.

جدول ۱- خصوصیات اصلی چشمه‌های مهم منطقه مورد مطالعه.
Table 1. Main characteristics of important springs in the study area.

No.	Spring Name	UTM(X)	UTM(Y)	Elevation(masl)	Discharge (L/sec)	Formation
1	Dimeh	426246	3596203	2226	2500	Khanekat
2	Gholam Abad	429022	3594538	2220	1000	Asmari
3	Kouhrang	410978	3590937	2530	3100	Sarvak
4	Marbor	421648	3576901	2380	2500	Sarvak
5	Terki	407746	3580788	2350	2900	Dalan
6	Darreh Absardeh	420139	3581047	2371	350	Sarvak
7	Sarab Rostamabad	453810	3550241	1810	2000	Sarvak

ردیابی رنگی

الف: نوع و مقدار رنگ

به‌طور کلی رفتار فیزیکی و شیمیایی ردیاب‌ها در آب اهمیت زیادی دارد و بر همین اساس یک ردیاب خوب، ردیابی است که خصوصیات لایه‌ی آبدار را نشان دهد و با همان سرعت و جهتی حرکت کند که آب زیرزمینی حرکت می‌کند. معمولاً اولین انتخاب جهت ردیابی در محیط های کارستی رنگ اورانین (فلوئورسین سدیم) می‌باشد (Karimi Vardanjani, 2014) که در ردیابی چشمه دیمه نیز مورد استفاده قرار گرفته است. مقدار ماده رنگی به کار برده شده در یک آزمایش ردیابی اهمیت فراوانی دارد. چون از طرفی به دلیل گران-قیمت بودن مواد رنگی، باید هزینه‌ی طرح مورد توجه قرار گیرد و طرح توجیه اقتصادی داشته باشد و از طرف دیگر کم بودن مقدار ماده‌ی رنگی، ممکن است باعث شود که به‌علت رقیق شدگی، جذب یا عوامل دیگر، مقدار ماده رنگی در نمونه‌ها، کمتر از حد تشخیص دستگاه شود و آزمایش ناموفق گردد. تعیین مقدار مناسب ماده رنگی به عوامل مختلفی مثل دبی خروجی از چشمه‌ها، سرعت آب، تعداد و پیچ و خم مسیرها، جنس مواد لایه‌ی آبدار، زمان ردیابی، فاصله‌ی محل تزریق تا محل نمونه‌برداری و عوامل دیگر بستگی دارد. بنابراین ارائه یک فرمول دقیق برای تعیین مقدار ماده‌ی رنگی مورد نیاز امکان‌پذیر نمی‌باشد و فرمول‌های ارائه شده تنها برای شرایط خاص معتبر می‌باشد. کاربرد اصلی این فرمول‌ها تعیین مقدار تقریبی ماده رنگی مورد نیاز در آزمایشات گوناگون می‌باشد. لذا ارزشمندترین عامل، تجربه‌ی محققان می‌باشد.

از بین فرمول های تجربی موجود می‌توان به فرمول کاس(Kass) اشاره کرد (Karimi Vardanjani, 2014):

$$M = L.\ k.\ B \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

در این رابطه داریم:

M= مقدار ردیاب مورد نیاز که واحد آن کیلوگرم می‌باشد.

L= فاصله‌ی دورترین نقطه‌ی نمونه‌برداری بر حسب کیلومتر

K= ضریب ردیاب

B= فاکتور شرایط هیدرولیکی (جدول۲)

بر اساس فرمول فوق، میزان رنگ مورد نیاز جهت تزریق در زردکوه حدود ۳۰ کیلوگرم تعیین گردید.

جدول ۲- فاکتورهای k و B برای محاسبه‌ی میزان تزریق.
Table 2. k and B factors to calculate the injection rate.

Tracer	k	Framework conditions	B
Water soluble tracers: mass [kg]		Surface streams	0.1–0.9
Uranine	1	Karst aquifers (conduits)	
Eosin	5.5	Pure sand/gravel aquifers	
Sulforhodamine B	4	Highly fissured aquifers	
Amidorhodamine G	2	Impure sand/gravel aquifers	2–4
Pyranine	5.5	Injection into groundwater	
Naphthionate	15	through unsaturated zone	
Tinopal	3	Karst aquifers (matrix),	
NaCl	20000	Poorly fissured aquifers	
LiCl	1000	River bank filtration	
KCl	10000	Turbid sampling water or	
Particle tracers: number of particles		tracer background level > 0	
Microspheres	1E+12	Injection through thick or	5–10
Bacteriophages	1E+13	loamy unsaturated zone	
Bacteria (*Serratia marcescens*)	1E+13	High clay/silt contents	

ب: بررسی‌های مقدماتی، انتخاب محل تزریق و تزریق رنگ

مهم‌ترین مرحله در شناخت حوضه آبگیر یک چشمه از طریق ردیابی، انتخاب محل تزریق ردیاب است. خطا در این انتخاب می‌تواند باعث دستیابی به نتایج غلط گردد. بر همین اساس اولویت اصلی این مطالعه پیدا کردن نقاطی است که اولاً ارتباط آنها با سفره اصلی تا حد زیادی محرز باشد و ثانیاً فاصلهٔ آنها حتی الامکان نسبت به چشمه دیمه کم باشد. از طرف دیگر شرایط زمین‌شناسی از قبیل وجود گسل‌های سراسری، امکان ارتباط آنها را با چشمه دیمه بیشتر نماید و بیلان اجمالی و شرایط نفوذپذیری، امکان تأمین آبدهی نسبتاً زیاد چشمه

دیمه و چشمه‌های مسیر آن را فراهم سازد. امکان حمل آب جهت تزریق نیز از سایر ویژگی‌های لازم نقاط تزریق است. جهت شناسایی چنین نقاطی، ابتدا تصاویر هوایی و ماهواره‌ای منطقه مورد بررسی قرار گرفت و سپس با استفاده از راهنمایان محلی نسبت به بازدید از مناطق مختلف منطقه اقدام شد. بر این اساس در چندین مرحله نسبت به بازدید نواحی دارای پتانسیل تزریق در زردکوه اقدام گردید و در نهایت با توجه به وضعیت ساختاری منطقه (گسل‌های عرضی موجود) و همچنین ارتفاع چشمه‌های بزرگی مثل چشمه کوهرنگ، ترکی و ماربر، نقطه‌ای واقع در دره خدنگ منتهی به قله زردکوه با مختصات (۴۱۷۲۲۳ و ۳۵۸۴۲۹۷) در ارتفاع ۲۶۷۵ متر از سطح دریا و تقریباً هم ارتفاع با چشمه‌های مذکور در فاصله حدود بیست کیلومتری از چشمه دیمه بسمت جنوب شرق انتخاب گردید (شکل ۳). تزریق رنگ درون یک چشمه با آبدهی حدود ۳ لیتر بر ثانیه انجام شد. آب این چشمه که از نقطه فوق الذکر در کف دره خارج می‌شود، پس از طی فاصله حدود ۱۰۰ متر کاملاً به درون زمین رفته و ناپدید می‌شود.

عملیات تزریق رنگ اورانین با حل آن در درون دو بشکه ۱۰۰ لیتری به همراه سود سوزآور در ساعت ۱۵ تاریخ ۱۵ مرداد سال ۱۳۹۷ انجام شد (شکل ۴). پس از عملیات تزریق، به منظور جلوگیری از بروز ایجاد خطا در نتیجه پخش ناخواسته ماده رنگی، کلیه وسایل مورد استفاده در عملیات در همان محل سوزانده شده و تیم تزریق بلافاصله منطقه را ترک نمود.

شکل۳- نمایی از محل تزریق و ارتباط آن با گسل‌های عرضی موجود در منطقه.

Fig. 3. View of the injection site and its relationship with transverse faults in the study area.

شکل۴- نمایی از عملیات تزریق رنگ در دره خدنگ.

Fig. 4. View of the dye injection in the Khadang Valley.

ج: نمونه برداری و انجام آنالیز اسپکتروفلومتری نمونه‌ها

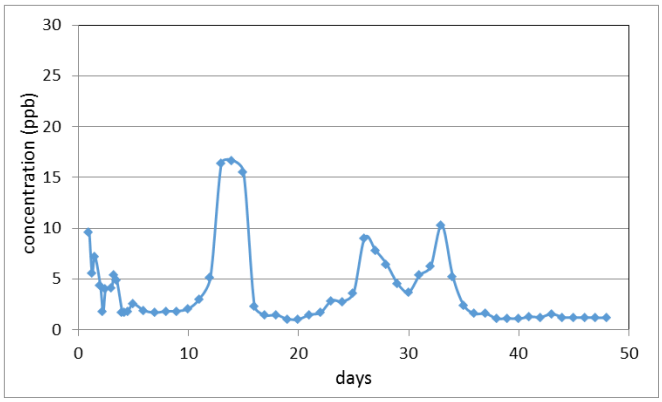
با توجه به شرایط هیدروژئولوژیکی منطقه، امکان حرکت رنگ تزریق شده از تاقدیس تک یال زردکوه به سمت چشمه‌های کوهرنگ، ماربر، دره آبسرده، اسد، غلام‌آباد و دیمه و همچنین خروجی تونل دوم و تونل سوم و مسیر رودخانه کوهرنگ وجود دارد. لذا نمونه‌برداری از چشمه ها و نقاط مورد اشاره برنامه ریزی شد و در سایر منابع آبی از کیسه‌های ذغال فعال جهت تعیین ارتباط هیدروژئولوژیکی استفاده شد.

پس از جمع‌آوری نمونه‌ها از محل‌های نمونه‌برداری، بطری‌های نمونه بر اساس محل نمونه‌برداری و ساعت و تاریخ نمونه‌برداری نام‌گذاری شدند. نمونه-های آب برداشت شده، به صورت هفتگی در محیط تاریک به آزمایشگاه دانشگاه

ایلام منتقل گردیده و توسط یک دستگاه فلوئورسنس اسپکتروفوتومتر مورد آنالیز قرار گرفتند.

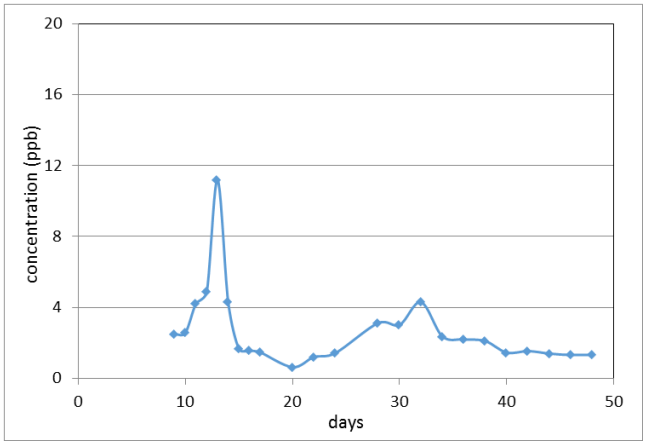
د: نتایج ردیابی رنگی

براساس آزمایش‌های انجام شده روی نمونه‌های ارسالی به آزمایشگاه، ماده رنگی تزریقی فقط در چشمه‌های دیمه و غلام‌آباد دیده شد و در دیگر چشمه‌ها و محل‌های نمونه‌برداری، رنگ مشاهده نگردید که در ادامه توضیح داده می‌شود. شکل ۵ نمودار غلظت - زمان مربوط به چشمه دیمه را نشان داده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌گردد، منحنی غلظت رنگ دارای سه قله می‌باشد. قله اول مربوط به روزهای ۱۱ تا ۱۶ بوده که با توجه به مشاهده شدن این قله در دیگر نمودارهای نقاط نمونه‌برداری قابل اعتماد نبوده و احتمالاً مربوط به خطاهای مختلف می‌باشد. اما قله دوم و سوم که تقریباً از روز ۲۵ ام بعد از تزریق دیده می‌شود با تشابه زمانی در چشمه غلام‌آباد نیز دیده می‌شود دارای حداکثر غلظتی حدود ppb ۱۰ در فاصله زمانی ۳۳ روز از زمان تزریق می باشد و بعد از بازه زمانی حدود ۱۰ روز غلظت ماده رنگی به غلظت زمینه باز می گردد. شکل ۶ نمودار غلظت - زمان مربوط به چشمه غلام آباد را نشان داده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌گردد، منحنی غلظت رنگ دارای دو قله می‌باشد. قله اول مربوط به روزهای ۱۱ تا ۱۶ بوده که با توجه به مشاهده شدن این قله در دیگر نمودارهای نقاط نمونه‌برداری قابل اعتماد نبوده و احتمالاً ناشی از خطا می‌باشد. اما قله دوم که تقریباً از روز ۲۵ ام بعد از تزریق دیده می‌شود دارای حداکثر غلظتی حدود ppb ۴ در فاصله زمانی ۳۲ روز از زمان تزریق می‌باشد و بعد از بازه زمانی حدود ۱۵ روز غلظت ماده رنگی به غلظت زمینه باز می‌گردد.



شکل۵- نتایج آنالیز رنگ در چشمه دیمه.

Fig. 5. Dye analysis results of Dimeh spring samples.



شکل۶- نتایج آنالیز رنگ در چشمه غلام آباد

Fig. 6. Dye analysis results of Gholam Abad spring samples.

مطالعات ایزوتوپی

جهت انجام مطالعات ایزوتوپی در منطقه مورد مطالعه نمونه‌برداری برف و باران از سه ایستگاه در سه ارتفاع مختلف شامل ایستگاه (A) در گردنه چری با ارتفاع حدود ۲۸۰۰ متر از سطح دریا (با مختصات UTM ۳۵۵۹۴۷۰و۴۲۲۶۸۰) و ایستگاه (B) در گردنه چری با ارتفاع حدود ۲۵۰۰ متر از سطح دریا (با مختصات UTM ۳۵۶۱۴۵۶ و ۴۲۳۶۶۲) و ایستگاه (C) در روستای دیمه با ارتفاع حدود ۲۲۰۰ متر از سطح دریا (با مختصات UTM ۳۵۹۷۲۰۷ و۴۲۶۷۴۰) انجام گردید. همچنین از چشمه‌های کوهرنگ، دیمه، خدنگ و مازه در فصول مختلف جهت آنالیزهای ایزوتوپی نمونه‌برداری شد. نمونه‌های جمع‌آوری شده جهت آنالیز به آزمایشگاه شرکت مصباح انرژی واقع در شهر اراک ارسال گردید. متوسط مقادیر ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ و دوتریوم در نمونه های برداشت شده از چشمه دیمه به ترتیب ۷/۴- و ۳۸/۹- (در هزار) می‌باشد. این مقادیر به وضوح از مقادیر اندازه‌گیری شده در بارش منطقه در ارتفاعات ۲۵۰۰ و ۲۸۰۰ متر بیشتر است (ترکیب ایزوتوپی چشمه دیمه سنگین‌تر از بارش ارتفاعات مزبور است). متوسط ارتفاع تغذیه چشمه دیمه بر اساس نمودار شکل ۸، که بر اساس داده‌های برداشت شده و داده‌های تاقدیس کینو (Karimi Vardanjani et al., 2017) در مجاورت منطقه و حذف داده‌های مشکوک رسم شده است، کمتر از ۲۵۰۰ متر می‌باشد. به دلایل

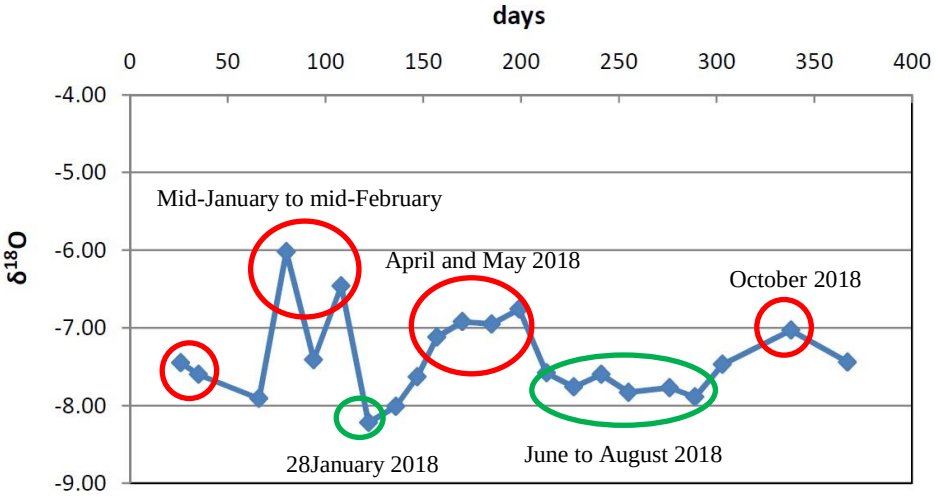
مختلف این امر حالت معمول و مورد انتظار است و علاوه بر آن به دو دلیل زیر می‌توان با قطعیت زیاد، حجم اعظمی از آبدهی چشمه دیمه را به تغذیه در ارتفاعات بالای ۳۰۰۰ متر نسبت داد.

الف: چشمه کوهرنگ که در ارتفاع حدود ۲۵۵۰ متری خارج می‌شود، مشخصاً از ارتفاعات بلند زردکوه تغذیه می‌شود. متوسط مقادیر ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ و دوتریوم در نمونه‌های برداشت شده از این چشمه به ترتیب ۶/۲- و ۲۴/۸- (در هزار) می‌باشد که بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده در چشمه دیمه است.

ب: میزان ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ و دوتریوم در نمونه برداشت شده از چشمه خدنگ به ترتیب ۶/۹۶- و ۲۳/۱۸- (در هزار) می‌باشد. این چشمه در ارتفاع حدود ۲۶۰۰ متری قرار داشته و قرار گرفتن آن در پای ارتفاعات برف‌گیر قله‌های اصلی زردکوه و همچنین دمای پایین (حدود ۸ درجه سانتی‌گراد در مرداد ماه ۹۷) تغذیه آن از ذوب برف را محرز می‌سازد. شباهت ترکیب ایزوتوپی این چشمه با نمونه‌های چشمه دیمه می‌تواند نشان‌دهنده تغذیه چشمه دیمه از ارتفاعات بالای زردکوه باشد.

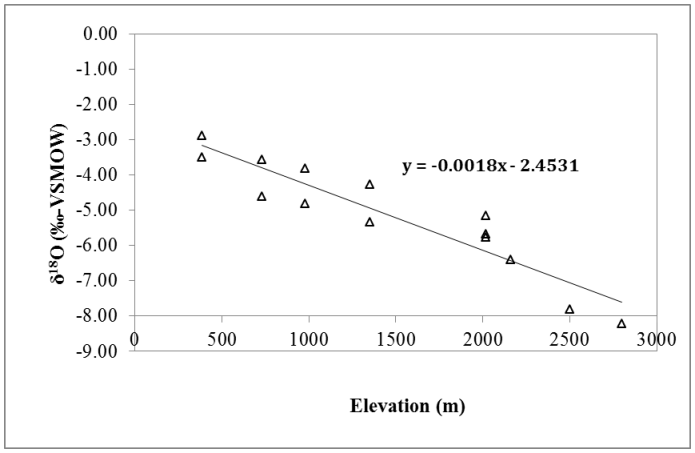
همچنین باید توجه داشت که ترکیب ایزوتوپی بارش، مربوط به برف تازه است، در حالیکه عمده تغذیه چشمه‌های منطقه مربوط به برف مانده در ارتفاعات است که در اثر تبخیر ترکیب ایزوتوپی سنگین‌تری پیدا نموده است. در این ترکیب می‌توان نقشه اختلاط آب از ارتفاعات مختلف (نظیر تاقدیس زراب) را نیز در نظر گرفت.

براساس نتایج آزمایشات ایزوتوپی و مقایسه وضعیت ایزوتوپی نمونه آب چشمه دیمه و نمونه آب باران و برف در ارتفاعات مختلف می‌توان نتیجه گرفت که چشمه دیمه از ارتفاعات بالای منطقه تغذیه شده و با تأخیر حدود ۱۰ تا ۱۵ روز تحت‌تأثیر بارش‌ها قرار می‌گیرد. بطوری‌که این موضوع در نوسانات ماه‌های دی و بهمن، نوسانات ناشی از بارش حدود ۲۰۰ میلی متر بین ۲۵ بهمن تا ۶ اسفند ۱۳۹۶ و همچنین بارندگی‌های مهر و آبان ۱۳۹۷در شکل ۷ قابل مشاهده است که احتمالاً ناشی از انتقال حجم زیادی آب به وسیله مجراها و کانال‌های بزرگ توسعه یافته‌ی کارستی می‌باشد. این کانال‌ها در طول شکستگی‌های بزرگ (گسل‌های عرضی مزدوج) بوجود آمده‌اند و در زون تغذیه با آبفروچاله‌های بزرگ موجود در ارتفاعات در ارتباط مستقیم هستند. شایان ذکر است اختلاف جزئی محتوی ایزوتوپی احتمالاً ناشی از اختلاط آب ناشی از بارش در ارتفاعات مختلف با هم بوده که نهایتاً از این سیستم کارستی خارج می‌شوند.



شکل ۷- نمودار تغییرات ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ در طول زمان نمونه‌برداری (از ابتدای آبان ماه ۹۶).

Fig. 7. Diagram of Oxygen 18 isotope changes during sampling time (since 23 October 2017).



شکل ۸. نمودار تغییرات ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ به ارتفاع.

Fig. 8. Changes in the oxygen 18 isotope with respect to altitude.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج بررسی‌های هیدروژئولوژی و زمین‌شناسی منطقه و با توجه به نتایج ردیابی رنگی انجام شده، و همچنین ارتفاع متوسط به دست آمده جهت حوضه تغذیه چشمه بر اساس بررسی‌های ایزوتوپی، به طور کلی دو مسیر جریان در پهنه زردکوه تشخیص داده می‌شود:

الف: مسیر اصلی

با توجه به میزان آبدهی، مسیر اصلی جریان در پهنه زردکوه، عبارت از جریان به سمت چشمه‌های کوهرنگ، دره آب سرده، ماربر و ترکی است. این چشمه‌ها به علت ارتفاع پایین نسبت به سایر نقاط، سطح اساس اصلی پهنه زردکوه را تشکیل داده و با آبدهی زیاد خود قسمت اعظم آب نفوذ یافته در این پهنه را به سمت خود هدایت می نماید.

ب: مسیر دوم به سمت چشمه‌های دیمه و غلام‌آباد

با توجه به ارتباط ساختاری بین گسل‌های عرضی مابین گسل اصلی زاگرس و گسل بازفت و گسل‌های فرعی موجود در منطقه مانند گسل پنبه کال، شبکه‌ای ایجاد می‌گردد که قسمتی از آب پهنه زردکوه را به سمت چشمه‌های دیمه و غلام‌آباد هدایت می‌کند و این موضوع با توجه به تزریق رنگ در ارتفاعات زردکوه و مشاهده آن در چشمه‌های مذکور اثبات گردید. آبخوان چشمه دیمه حجم بزرگی دارد و احتمالاً قسمت اعظمی از بخش میانی پهنه زردکوه خصوصاً بخش‌های تحتانی آن را در بر می‌گیرد، از طرفی با توجه به کاهش ارتفاع حدود ۳۰۰ متری نسبت به چشمه‌های کوهرنگ و ماربر، چشمه دیمه دارای سطح اساس پایین‌تری بوده که این موضوع نیز دلیلی دیگر بر حجیم بودن آبخوان کارستی چشمه دیمه است که بوسیله شبکه گسترده‌ای از شکستگی‌های عرضی با چشمه دیمه مرتبط است. بنابراین می‌توان قسمت اعظمی از بخش میانی پهنه زردکوه خصوصاً بخش‌های تحتانی را به عنوان حریم چشمه دیمه در نظر گرفت.

تقدیر و تشکر

از آقای دکتر حسین کریمی وردنجانی بخاطر مشاوره و همچنین همکاری در عملیات صحرایی تزریق رنگ صمیمانه قدردانی می گردد.

منابع

Authemayou, C., Chardon, D., Bellier, O., Malekzadeh, Z., Shabanian, E., Abbassi, M.R., 2006. Late Cenozoic partitioning of oblique plate convergence in the Zagros fold-and-thrust belt (Iran). Tectonics 25, TC3002.

Casini, G., Gillespie, P.A, Vergés, J., Romaire, I., Fernández, N., Casciello, E., Saura, E., Mehl, C., Homke, S., Embry, J-C., Aghajari, L., Hunt, D.W., 2011. Sub-seismic fractures in foreland fold and thrust belts: insight from the Lurestan Province, Zagros Mountains, Iran. Petroleun Geoscience 17, 263-282.

Janparvar, M., 2001. Hydrogeology of Zarab Anticline Springs. MSc Thesis, Shiraz University, Shiraz, Iran.

Karimi Vardanjani, H., 2014. Karst Hydrogeology and Geomorphology, Eram Shiraz publications (in Persian).

Karimi Vardanjani, H., Chitsazan, M., Ford, D., Karimi, H., Charchi, A., 2017. Initial assessment of recharge areas for large karst springs - a case study from the central Zagros Mountains, Iran. Hydrogeology Journal, DOI: 10.1007/s10040-017-1703-0.

Mohammadi Behzad, H.R., 2016. Investigation of recharge sources karstic aquifers by using physico-chemical parameters and stable isotopes (^{18}O and ^{2}H) in NE Khuzestan. PhD Thesis, Ahvaz, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.

Nemati, M., Yassaghi, A., 2010. Structural characteristics of the transitional zone from internal to external parts of the Zagros orogen, Iran. Journal of Asian Earth Sciences 39, 161–72.

Pourab Consulting Engineers Co., 2012. Dimeh spring studies, Dye tracing report.

Twiss, R.J., Moores, E.M., 1992. Structural Geology, W. H. Freedman and Co., New York, 532.

© 2020 Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).