Original Article

Journal of Aquifer and Qanat

Spring and Summer 2023, Vol. 4, No. 1, pp 103-116

10.22077/jaaq.2023.6997.1053

Investigating the Impact of the Crushed High Zagros on the Flow Regime of its Representative Springs (Case Study: Yasouj Basin)

Samad Moradi[1]✉ | Nasrullah Kalantari[2] | Taleb MoradiNezhad[3]

1. PhD Graduate of Shahid Chamran University of Ahvaz and Expert of Regional Water Company of Fars, Shiraz, 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: Samadmoradi76@gmail.com

Received:
29 November 2023

Accepted:
29 December 2023

Published:
20 January 2024

Keywords:

karst development, diffuse flow, conduit flow, Kharandaz spring, recession curve.

Extended abstract

Introduction

The structural geology of an area plays two major roles in determining the karst behavior of the underground water flow system in karst areas: first, it determines the general flow paths in the aquifer, and second, it can be effective in the dissolution development of the flow paths. Understanding the control of structures in an area is one of the most important steps in making a conceptual model. The hydrograph of a karst spring is the final result of various processes that control the conversion of rainfall and other incoming waters in the catchment area of the spring into flow at the point of discharge. Therefore, by carefully analyzing the hydrograph of karst springs, useful information can be obtained about the characteristics of the aquifer, such as the nature of storage, transmissivity, type and quality of its underground water reserves. For this purpose, a part of the spring hydrograph is used, which shows the best form of karst systems discharge. This descending part of the hydrograph is called the recession curve. The shape and characteristics of the recession curve depend on various factors such as the type of aquifer porosity (the most important factor), the state of the potentiometric surface, and feeding from the nearby karst aquifers. Therefore, the analysis of the descent curve of karst springs is very important and provides a good insight into the internal structure of the aquifer and the storage in them.

Cite this article: Moradi, S., Kalantari, N & MoradiNezhad, T. (2023). Investigating the impact of the crushed high Zagros on the flow regime of its representative springs (case study: Yasouj basin). *Journal of Aquifer and Qanat Title*, 4 (1), 103-116. DOI: http//doi.org/10.22077/jaaq.2023.6997.1053

Copyright: © 2022 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 purpose of this study is to investigate the effect of structural elements including faults, fold axis, and lineaments caused by the crushing of high Zagros on the emerging, hydrogeological system and flow regime of representative springs of the studied area.

Materials and Methods

To investigate and evaluate the effect of structural factors, at first, the necessary information layers were prepared using remote sensing data, geological maps, and topography of the area. Then, in the next step, the relationship between these factors and the karst water resources of the region was evaluated. After determining the catchment area of each spring, it was tried as much as possible to identify the construction factors affecting the general direction of the underground water flow in the catchment area of each spring and the flow system of each spring. For this purpose, the knowledge of stratigraphy, structural geology around the springs, hydrograph, and recession curve of the springs, and rainfall histograph of the stations adjacent to the springs were used. Software such as ILWIS, ArcView, ArcGIS, and Google Earth were used to prepare maps in the region.

Results and Discussion

In this study, five springs, including the Abshar, Ab Nahar, Kharandaz, Sarabtavah, and PahnGanjgun around Yasuj city, were selected as representatives of water sources. These springs have a snow-rain regime, so the discharge of these springs is affected by the melting of snow and the gradual release of water from the spring in the spring and summer seasons. Based on the analysis of the recession curve, most of the springs have a micro-regime, which indicates the existence of a wide and long catchment area and a feeding system of diffuse flow.

Conclusion

In the studied area, the intense action of tectonic activities has led to the creation of several structural complications, including Deli Sib, Drishkh, and Tamar anticlines, as well as large thrusts such as Dena, Kakan, Koh Siah, and large fractures. These structural complications are the background of the karstification of carbonate formations and the creation of karst morphological forms such as cave, doline, karst spring, dissolution hole, and sinkhole, which show the development and maturity of karst in the region. Longitudinal fractures of the region play an important role in the formation of the main flow channels (parallel to the axis of the anticlines) and facilitating the flow of underground water within the karst basins of the region. Therefore, in general, the results indicate the fact that the karst water flow system of the studied area is controlled by structural factors.

مقاله پژوهشی

مجله
آبخوان و قنات

دوره چهارم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۲، صفحات ۱۱۶ -۱۰۳

10.22077/jaaq.2023.6997.1053

بررسی تأثیر خردشدگی زاگرس مرتفع بر سیستم جریان چشمه‌های معرف آن (مطالعه موردی: حوضه یاسوج)

صمد مرادی [۱] ✉| نصراله کلانتری [۲] | طالب مرادی‌نژاد [۳]

۱. دانش‌آموخته دکتری دانشگاه شهید چمران اهواز و کارشناس شرکت آب منطقه‌ای فارس، شیراز، 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، اهواز، ایران.
✉نویسنده مسئول: Samadmoradi76@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰

کلیدواژه‌ها:
توسعه کارست، جریان افشان، جریان مجرایی، چشمه خرانداز، منحنی فروکش.

چکیده

منطقه مورد تحقیق در پیرامون شهر یاسوج قرار گرفته و جزء حوضه آبریز کارون بزرگ به‌شمار می‌رود. هدف اصلی در این مطالعه بررسی خصوصیات ساختاری حاکم و تأثیر آن بر وضعیت آبدهی چشمه‌ها و کنترل جریان آب‌زیرزمینی در سنگ مخزن آنها می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از داده‌های سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی، داده‌های مشاهده‌ای زمینی منابع آب و تحلیل داده‌های آبدهی چشمه‌های معرف با استفاده از منحنی فروکش آنها، رابطه عوامل ساختاری بر فراوانی و رژیم تخلیه منابع آب مورد بررسی قرار گرفت. در اولین گام مبادرت به تهیه نقشه خطواره‌ها از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین شناسی شد و سپس وابستگی موقعیت قرارگیری چشمه‌ها و رژیم تخلیه آن‌ها با این ساختارها مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد رخداد پدیده‌های ساختمانی نظیر چین‌خوردگی‌ها، گسل‌ها، درزه‌ها و شکستگی‌ها در نتیجه فعالیتهای تکتونیکی از یک سو و ریزش‌های جوی مناسب از سوی دیگر، شرایط مناسبی برای توسعه آبخوان های کارستی در منطقه ایجاد کرده است. ظهور چشمه‌های منطقه در راستای گسل‌ها نیز بیانگر اهمیت نقش ساختاری در منطقه می‌باشد. این گسل‌ها جهت‌های اصلی جریان آب درون حوضه کارستی را کنترل می‌کنند درحالی‌که درزه‌ها و شکستگی‌های مرتبط با آنها در جهات فرعی جریان نقش دارند. تحلیل شکستگی‌های منطقه نشان داد که میانگین بازشدگی بیشتر از ۲۰ میلی‌متر و شیب سطح لایه بندی حدود ۵۰ درجه نفوذ و انتقال آب را در حوضه آبریز چشمه‌ها تسهیل کرده است، همچنین تراکم بالای شکستگی‌ها در حوضه‌آبگیر چشمه‌های با آبدهی بالا (برای مثال چشمه خرانداز) موجب آبدهی زیاد آن‌ها شده است.

مقدمه

زمین‌شناسی ساختمانی یک ناحیه دو نقش عمده را در تعیین رفتار کارستی سیستم جریان آب زیرزمینی در پهنه های کارستی ایفا می‌نماید: اول مسیرهای کلی جریان در آبخوان را مشخص می‌نماید و دوم می‌تواند بر توسعه انحلالی مسیرهای جریان مؤثر باشد. شناخت کنترل ساختارها بر روی یک منطقه یکی از مهم‌ترین مراحل در ساخت مدل مفهومی می‌باشد (Goldscheider, 2008). هیدروگراف چشمه کارستی، نتیجه نهایی فرایندهای گوناگونی است که تبدیل بارندگی و آب‌های ورودی دیگر را در حوضه‌آبگیر چشمه به جریان در نقطه تخلیه کنترل می‌کند. بنابراین با تجزیه و تحلیل دقیق هیدروگراف چشمه‌های کارستی می‌توان اطلاعات مفیدی را در مورد ویژگی‌های آبخوان، نظیر طبیعت ذخیره، قابلیت انتقال، نوع و کیفیت ذخایر آب‌های زیرزمینی آن به‌دست آورد. برای این منظور بخشی از هیدروگراف چشمه مورد استفاده قرار می‌گیرد که بهترین شکل تخلیه سیستم‌های کارستی را نشان دهد. این بخش نزولی هیدروگراف منحنی فروکش نامیده می‌شود. شکل و خصوصیات منحنی فروکش به عوامل گوناگونی نظیر نوع تخلخل آبخوان (مهم‌ترین عامل)، وضعیت سطح پتانسیومتری و تغذیه از آبخوان‌های کارستی مجاور بستگی دارد. از این رو تجزیه و تحلیل منحنی فرود چشمه‌های کارستی دارای اهمیت زیادی است و بینش خوبی را در مورد ساختار داخلی آبخوان و ذخیره موجود در آن‌ها در اختیار قرار می دهد (Chitsazan and Kashkouli, 2002). محققین زیادی در داخل و خارج از کشور چشمه‌های زیادی را مورد بررسی قرار داده‌اند که در زیر تعدادی از آن‌ها شرح داده می‌شود. (Ünsal et al, 2008) به مطالعه هیدروژئوشیمیایی و تعیین مسیر جریان در آبخوان محصور دشت Düzce ترکیه پرداختند. در این تحقیق از تغییرات غلظت یون‌های بی‌کربنات، کلسیم و سدیم و تغییرات پارامترهای TDS، TH، EC، داده-های ژئوفیزیکی و لاگ چاه‌های حفاری استفاده کردند و توانستند مسیر جریان آب، تفکیک آبخوان‌ها از یکدیگر و مناطق تغذیه آبخوان را مشخص کنند. (Jiang and Guo, 2010) به‌منظور ارائه پیشنهاداتی برای حفاظت چشمه کارستی لینگ شای واقع در شهر وایومینگ ایالات متحده، با استفاده از روش‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژیکی، هیدرو شیمیایی و ایزوتوپی، منشأ تغذیه چشمه مذکور را مورد بررسی قرار دادند. نتایج به‌دست آمده از مطالعات فوق نشان داد که منشأ آلوژنیک در تغذیه این چشمه دخالت ندارد و چشمه بیشتر از آبخوان عمیق منطقه مورد مطالعه تغذیه می‌شود، به همین دلیل کمتر تحت تأثیر آلودگی‌های سطحی قرار می‌گیرد. (Hamidizadeh, 2009) به‌منظور بررسی وضعیت هیدروژئولوژیکی آبخوان کارستی منطقه شیرین بهار در استان خوزستان، با ترسیم هیدروگراف به تعیین رژیم جریان، نوع جریان، حجم ذخیره دینامیکی و مساحت حوضه آبگیر چشمه‌های کارستی دره اناری، سرحونی و آبشکالو به‌عنوان چشمه‌های معرف در منطقه مورد مطالعه پرداختند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که کارست در حوضه آبگیر چشمه‌های دره اناری و سرحونی به‌خوبی توسعه پیدا کرده و وضعیت هیدروژئولوژیکی در این محدوده از پیچیدگی خاصی برخوردار است.

(Iacurto et al, 2020) چشمه‌های کارستی منطقه لاتیم در جنوب ایتالیا را با استفاده از رابطه تخلیه با اکسیژن-۱۸ و آنالیز ایزوتوپ‌های دوتریوم مطالعه و بررسی کردند. (Najafi et al, 2020) تأثیر واحدهای سنگ چینه‌شناسی مختلف را بر توسعه کارست و تغییر آبدهی چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که آبدهی چشمه‌ها و تغییرپذیری آنها به‌طور چشمگیری به سنگ شناسی سازنده‌ای پیرامون چشمه‌ها وابسته است.

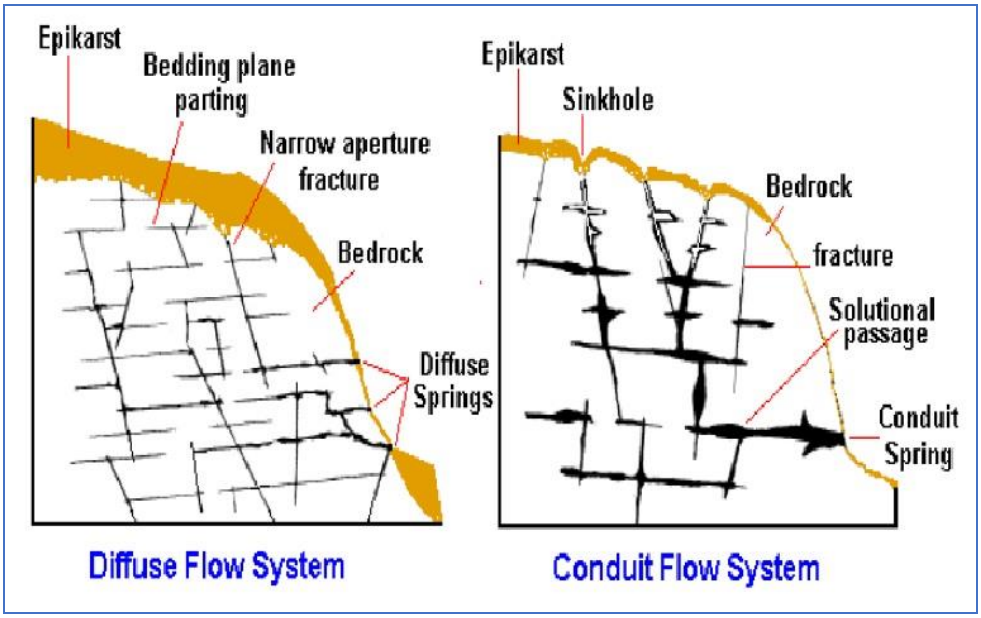
(Khezri et al, 2017) در ارزیابی و پهنه‌بندی تحول کارست حوضه آبریز غار سهولان مهاباد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) نقشه پهنه‌بندی منطقه را رسم و آن را به چهار طبقه توسعه‌نیافته، کمتر توسعه یافته، متوسط و توسعه‌یافته طبقه‌بندی و لیتولوژی را به مثابه مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر توسعه کارست معرفی کردند.

(Wang et al, 2021) از شبیه‌سازی‌های عددی برای بررسی نقش بازشدگی نامتجانس در مراحل اولیه کارستی شدن یک سنگ کربناته شکسته استفاده کردند. نتایج نشان داد که ناهمگنی جریان ناشی از پیچیدگی‌های هندسی و شرایط زمین‌شناسی نقش اساسی در رشد

کارست در سنگ‌های شکسته بازی می‌کند. یافته‌های تحقیق درک مفیدی از تأثیر متقابل بین ساختارهای تکتونیکی، تنش‌های درجا و حفره‌های کارستی، که پیامدهای مهمی برای فعالیت‌های مهندسی زیرزمینی در سنگ‌های شکسته کارستی شده دارند، ارائه می‌کند.

(Pontes et al, 2021) مطالعه خود را بر روی چهار غار متمرکز کردند تا نقش شکستگی‌ها و چین‌خوردگی‌ها را در توسعه مجرای کارستی که ممکن است مسیرهای جریان را در مخازن کربناته تشکیل دهند، مشخص کنند. آنها با استفاده از مطالعات میدانی ساختاری، تحلیل‌های سنگ‌نگاری، و خصوصیات هندسی را با استفاده از تشخیص نور و محدوده (LIDAR) برای غارهای انجام دادند. نتایج نشان داد که شکل مجرا، معمولاً با مقطع بیضی شکل، ویژگی‌های تکتونیکی و تغییرات بافتی را منعکس می‌کند. توسعه سیستم کارست مربوط به دالان های ناشی از شکستگی‌ها است که در امتداد مجموعه‌های موازی و متعامد با لولاهای چین تشکیل شده‌اند، که مسیرهای ترجیحی برای جریان سیال فراهم می‌کنند.

هدف از این مطالعه بررسی تأثیر عناصر ساختاری شامل گسل‌ها، محور چین‌خوردگی‌ها و خطواره‌های ناشی از خردشدگی زاگرس مرتفع بر برونزد، سیستم هیدروژئولوژیکی و رژیم جریان چشمه‌های معرف منطقه مورد مطالعه می‌باشد.



شکل ۱. سیستم‌های جریان کارستی (نقل از Karami, 2002)

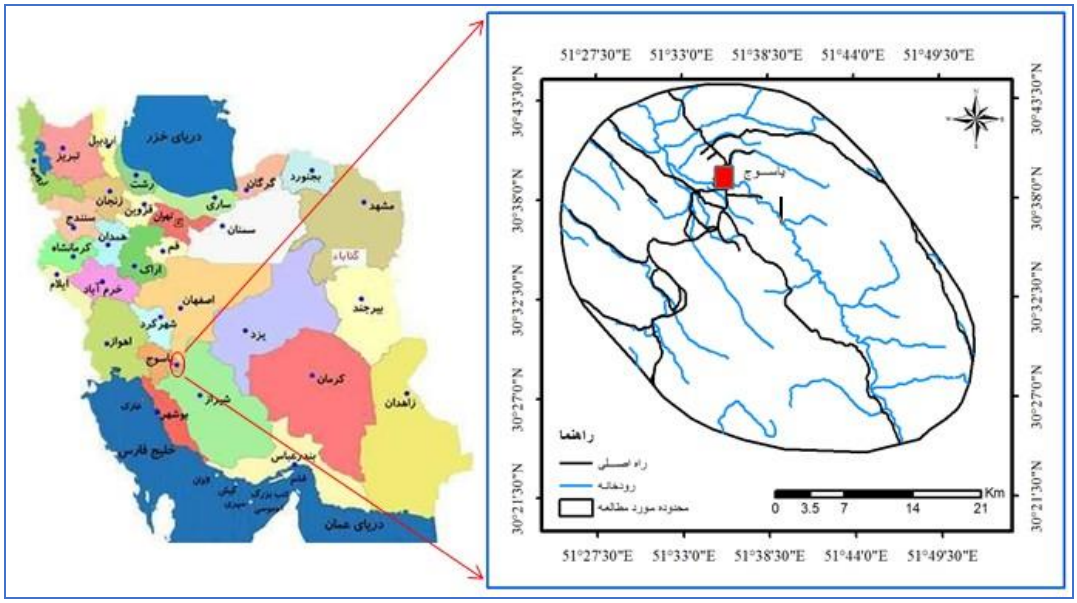
Fig 1. Karstic flow systems

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

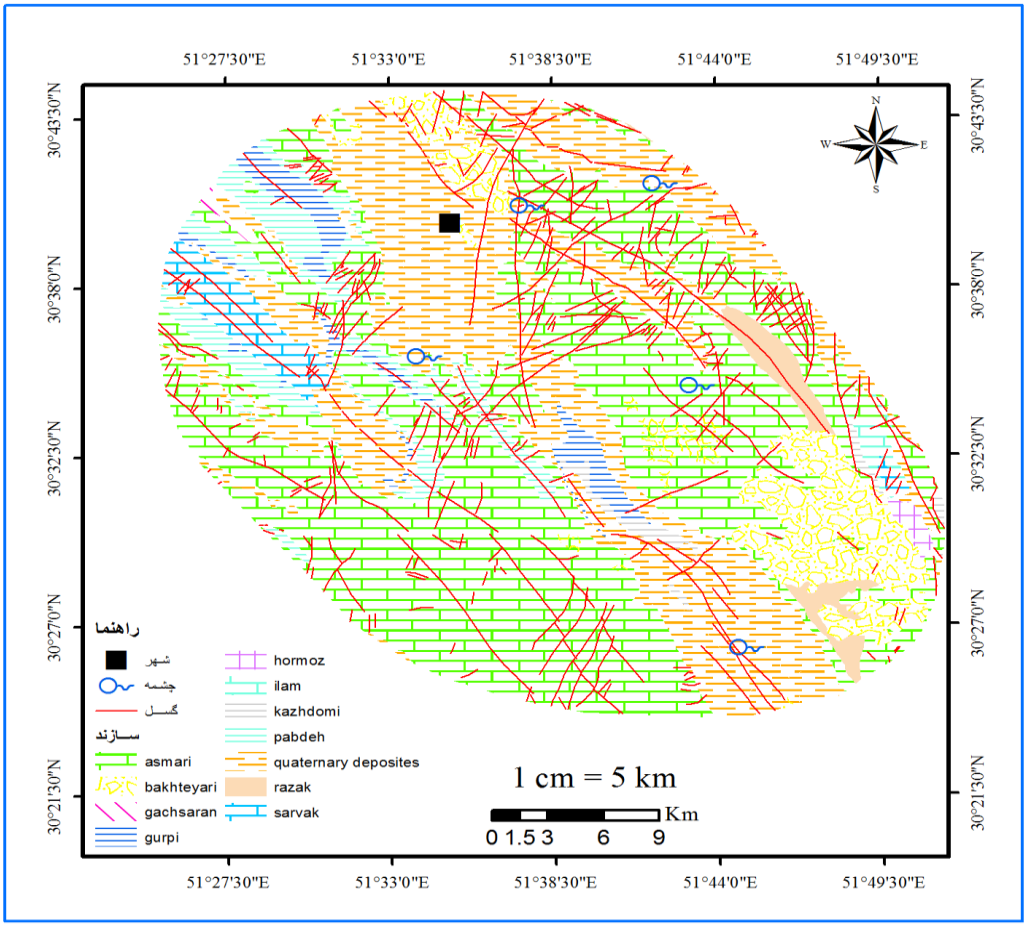
منطقه مورد مطالعه در حد فاصل محدوده جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۳ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۳۰ درجه و ۴۴ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۵۲ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول شرقی واقع گردیده است. محدوده مورد مطالعه از نظر تقسیمات زمین شناسی بخش از آن در زاگرس چین خورده بخشی از آن نیز در زاگرس مرتفع یا خرد شده قرارگرفته است. قدیمی ترین و جدیدترین سازند رخنمون یافته در منطقه به ترتیب تشکیلات هرمز و رسوبات کواترنری می‌باشد (AghaNabati, 2006). در منطقه موجود بیشترین گستره منطقه مورد پژوهش را کوهستان‌های دارای دیواره بلند و دره‌های ژرف تشکیل داده است. روند همگانی رخنمون ها شمال غربی- جنوب شرقی است. رودخانه‌های ماربره و بشار از رودخانه‌های مهم و دائمی منطقه می‌باشند. آب و هوای منطقه در فصل زمستان سرد است و بارش بیشتر به صورت برف است. در فصل تابستان منطقه دارای آب و هوای معتدل است. منطقه مطالعه شده جز حوضه رسوبی زاگرس است و از پهنه زاگرس بلند با ساختار به‌شدت تکتونیزه تشکیل شده است. بدین لحاظ در مطالعه شناخت منطقه یاسوج، ارزیابی اثرات ساختاری لازم

تشخیص داده شده است. در شکل ۲ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران و در شکل ۳ نقشه زمین شناسی آن نشان داده شده است.



شکل ۲. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران

Fig 2. Location of the study area in Iran



شکل ۳. نقشه زمین شناسی و موقعیت چشمه‌های معرف در منطقه مورد مطالعه

Fig 3. Geological map and location of famous springs in the study area

به‌منظور بررسی و ارزیابی تأثیرعوامل ساختاری در ابتدا لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز با استفاده از داده‌های سنجش از دور، نقشه‌های زمین شناسی و توپوگرافی منطقه تهیه شدند. سپس در مرحله بعد ارتباط این عوامل و منابع آب کارستی منطقه مورد ارزیابی قرار گرفتند. مطالعات شناخت منابع آب کارستی مستلزم جمع‌آوری اطلاعات پایه مختلفی بوده است. بررسی‌های مختلف شکستگی‌ها و خطواره‌ها با استفاده از تصویر ماهواره‌ای صورت گرفته است. امتداد غالب شکستگی‌ها در قسمت‌های مختلف آبخوان چشمه‌های مورد مطالعه به‌عنوان مسیرهای جریان ترجیحی در نظر گرفته شده است. به‌طور کلی نمودارهای گل سرخی خطواره‌ها موجود الگوی جهت جریان را در حوضه آبریز این چشمه‌ها نشان می‌دهد. پراکنده شکستگی‌ها باعث فراوانی محل‌های تقاطع شکستگی‌ها گردیده و در نتیجه باعث سهولت عبور جریان از شکستگی ها و افزایش پتانسیل کارست شدگی در این محدوده شده است. وجود لایه بندی با شکستگی‌ها و گسل‌ها و تقاطع گسل‌های با روند و شیب مختلف در تشکیل سیستم مجرایی اهمیت دارد. نمودار گل سرخی گسل‌های موجود در حوضه آبگیر چشمه خرانداز دامنه راستایی غالب N20E تا N60E را نشان می‌دهد که احتمالاً سیستم مجرایی اصلی زون فراتیک آبخوان کارستی در دامنه امتدادی مذکور رخ داده است شکل (۵ پ). وجود دو امتداد گسلی N10E تا N60E و N تا N60W عمدتاً در ایجاد ارتباط بین مجاری اصلی در آبخوان کارستی و رخداد مسیرهایی برای تخلیه آب از آبخوان کارستی به چشمه آبشار مؤثر می‌باشد. پس از مشخص ساختن محدوده حوضه‌آبگیر هر چشمه، تا جای ممکن تلاش شد که فاکتورهای ساختمانی مؤثر بر جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در حوضه‌آبگیر هر چشمه و سیستم جریان هر چشمه شناسایی شود. بدین‌منظور دانسته‌های چینه شناسی، زمین‌شناسی ساختمانی در پیرامون چشمه‌ها، منحنی آب نمود و فروکش چشمه‌ها و هیستوگراف بارندگی ایستگاه‌های مجاور چشمه‌ها مورد استفاده قرار گرفت، تا از بین هر کدام از فاکتورهای ساختمانی شامل گسل فشاری، گسل نرمال، درزه‌ها و محور چین‌خوردگی ها، عامل یا عوامل مؤثر بر جهت عمومی جریان آب چشمه ها و سیستم جریان آن‌ها تعیین شود. در زیر چشمه‌های مهم منطقه که بررسی‌های ذکر شده در بالا بر روی آن‌ها انجام شده شرح داده شده‌اند. مشخصات کلی این چشمه‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. اطلاعات چشمه‌های مورد مطالعه (منبع شرکت آب منطقه‌ای یاسوج)

Table 1. Information of the studied springs (Regional water company of Yasuj)

نام چشمه	UTM X	UTM Y	ارتفاع چشمه (m)	آبدهی (l/s)	تخلیه سالانه (m^3)	مساحت حوضه آبریز (km^2)	سازند تغذیه کننده	دما (c°)	EC mohs/cmμ
آبشار	560528	3394076	2010	120	3784320	6.8	آسماری-جهرم	10	170
آب نهر	567566	3394719	2750	100	3153600	5.7	آسماری	9	170
خرانداز	569254	3383250	2600	1268	39987648	72	آسماری	12	230
سرآبتاوه	554826	3384980	1826	537	16934882	30	آسماری	12	200
پهن گنجگون	571751	3367268	2083	120	3784320	6.8	سروک	13	210

درصد نفوذ عبارت است از درصدی از نزولات جوی که وارد آبخوان چشمه کارستی می‌گردد. اگر در منطقه‌ای درصد نفوذ در سازنده‌ای کارستی تشکیل دهنده مخزن چشمه مشخص باشد، می‌توان با استفاده از آن و پارامترهای میانگین بارندگی سالانه ناحیه اطراف چشمه و متوسط آبدهی آن در زمان معینی، مساحت حوضه-آبگیر چشمه را با استفاده از رابطه ۱ محاسبه کرد:

$$A = \frac{Q_m \times t}{P \times I} \quad (1)$$

که در آن:

P = میانگین بارندگی سالانه ناحیه اطراف چشمه کارستی بر حسب متر

I = درصد نفوذپذیری سازنده‌ای مخزن چشمه (بدون ضریب)

Q_m = متوسط آبدهی چشمه بر حسب متر مکعب بر ثانیه

A = وسعت حوضه‌آبگیر چشمه بر حسب متر مربع

t = زمان‌بر حسب ثانیه برای یک سال

در فرمول فوق، مقدار ضریب نفوذ به‌دلیل در دست نبودن داده‌های مناسب و دقیق به‌طور تخمینی و با توجه به مقادیر برآورد شده برای مناطق مشابه، برابر ۰/۶۵ در نظر گرفته شد. وجود خطای ۰/۱ در عدد مزبور تفاوت چندانی در محدوده به‌دست آمده برای حوضه‌های آبگیر ایجاد نمی کند و اختلاف مربوطه تأثیر زیادی در بررسی خطواره‌ها در محدوده حوضه آبگیر ندارد. سرانجام با توجه به عدد به دست آمده برای سطح حوضه‌آبگیر، با استفاده از وضعیت زمین‌شناسی، توالی چینه‌شناسی، ییلان و رفتار هیدروژئولوژیکی چشمه‌ها، محدوده و سطح حوضه‌آبگیر آن‌ها به‌صورت تخمینی برآورد شد (شکل ۴).

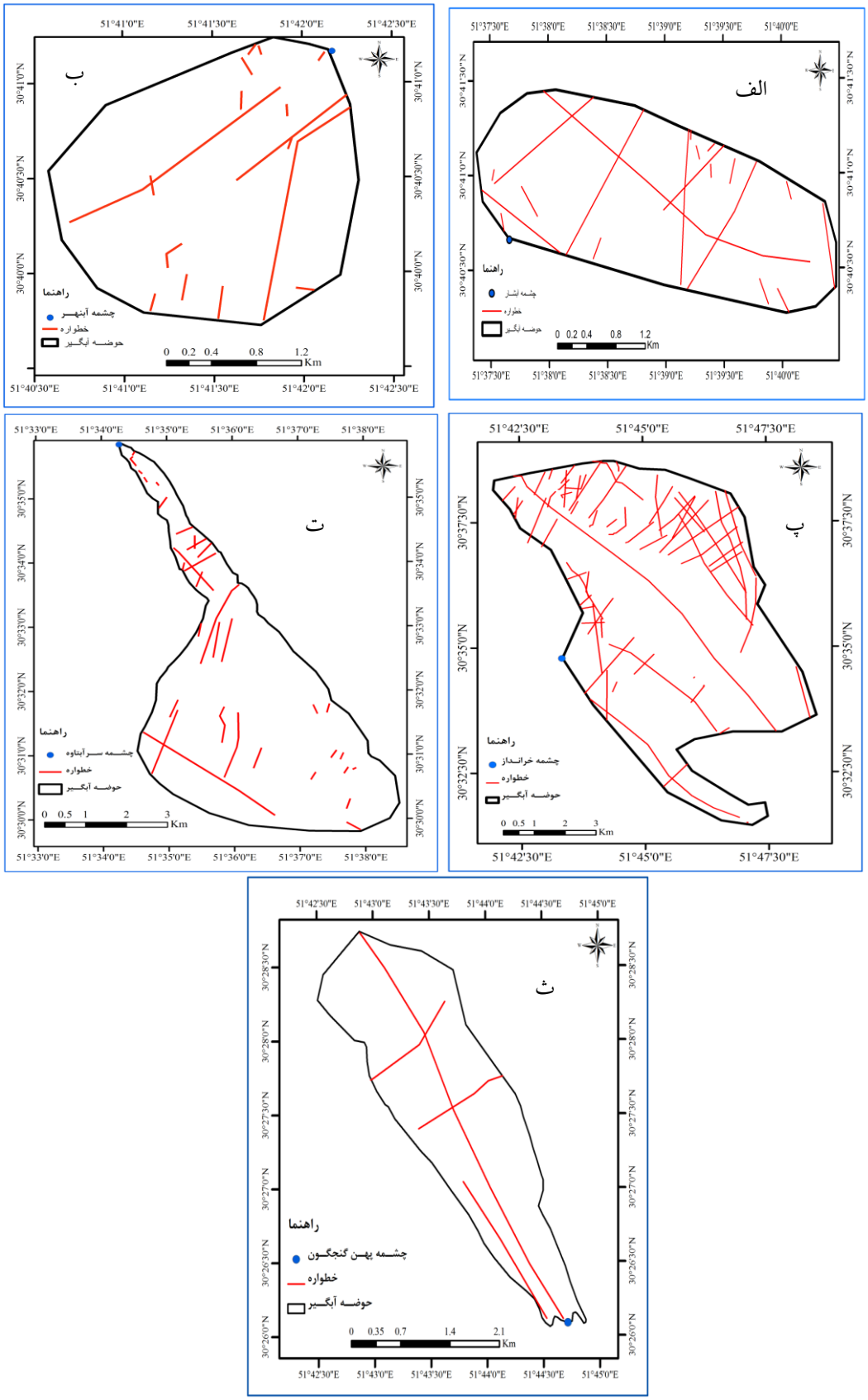
چشمه آبشار

این چشمه در ۳ کیلومتری شرق شهر یاسوج قرار داشته و از چشمه‌های کارستی و معرف منطقه مطالعاتی می‌باشد. این چشمه در یال شمالی تاقدیس دلی سیب واقع شده است. یال‌های این تاقدیس از جنس سازند آهکی آسماری- جهرم بوده و هسته آن سازند مارنی پابده- گورپی می‌باشد. به نظر می‌رسد خطواره‌های موجود در حوضه آبگیر این چشمه در ظهور آن نقش دارند. میانگین سالانه بارش در ایستگاه مجاور آن ۸۶۵ میلی‌متر می‌باشد. راستای ساختاری که جهت اصلی جریان را در این چشمه کنترل می‌کند راستای لایه‌ها (Azimuth 120) می‌باشد، راستای ساختاری که جهت فرعی جریان را در این چشمه کنترل می‌کند راستای گسل‌ها (Azimuth 25) در زون می‌باشد و فاکتور ساختمانی کنترل کننده راستای اصلی جریان در این چشمه گسل فشاری می‌باشد (Jahani Behbahani, 1993). این چشمه دارای رژیم برفی- بارانی می‌باشد، به‌طوری‌که آبدهی این چشمه متأثر از ذوب برف و خروج تدریجی آب از چشمه در فصل بهار و تابستان می‌باشد. بیشترین نزولات جوی در فصل زمستان و پاییز و به‌صورت برف می‌باشد که به‌علت انجماد و یخ زدگی افزایش قابل توجهی در آبدهی چشمه دیده نمی شود و رابطه بین بارش و دبی به‌درستی مشخص نیست و افزایش آبدهی (آستانه جواب) تابع زمان ذوب برف می باشد. بر اساس تحلیل منحنی فروکش یک میکرو رژیم برای این چشمه مشخص شده است که این امر حاکی از وجود یک حوضه آبگیر وسیع و طولانی و سیستم تغذیه‌ای و جریان از نوع افشان می‌باشد. این چشمه دارای یک ضریب تخلیه به میزان ۰/۰۰۷ می‌باشد که ۸۳ درصد از این رژیم متعلق به جریان پایه و ۱۷ درصد بقیه را جریان سریع تشکیل می‌دهد جدول (۲). با توجه به رز دیاگرام خطواره‌های این چشمه شکستگی‌های آن بیشتر از نوع عرضی بوده که باعث انتقال آب حاصل از ذوب برف می شوند و آب‌های نفوذ کرده به‌صورت سریع زه‌کشی می شوند و به‌سمت خروجی این چشمه حرکت می‌کنند. حجم ذخیره دینامیکی آبخوان کارستی چشمه آبشار در این دوره ۱۰۶× ۳۱/۷۰ مترمکعب محاسبه گردید. رز دیاگرام و هیدروگراف این چشمه در شکل‌های (۵ الف) و (۶ الف) نشان داده شده است.

چشمه آب‌نهر

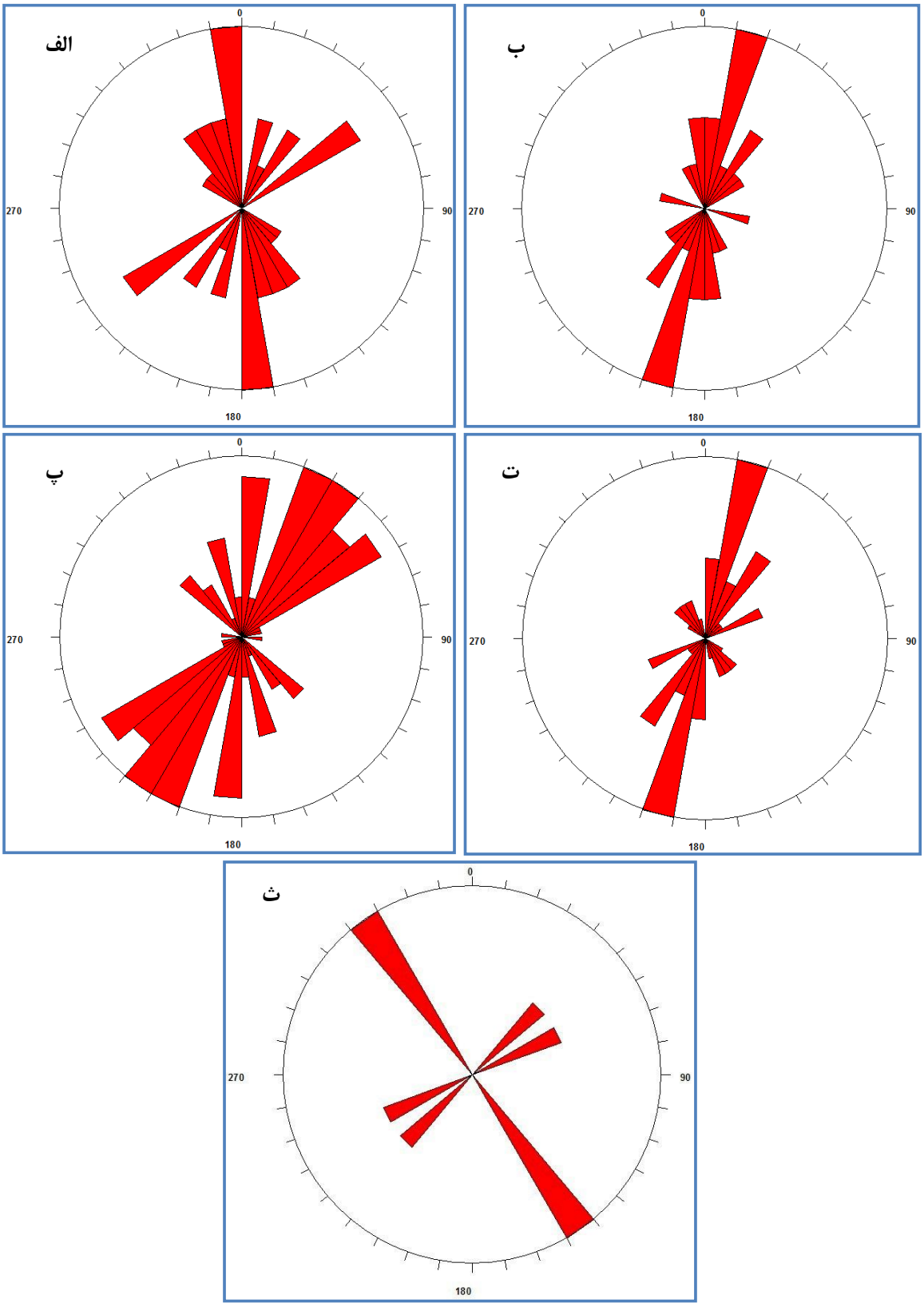
این چشمه در ۱۲ کیلومتری شهر یاسوج در جاده کاکان – یاسوج قرار داشته و از نوع گسلی-کنتاکتی بوده که از دامنه شرقی کوه آب نهر خارج می‌شود. سازند تغذیه کننده آن تشکیلات آهکی آسماری می‌باشد. میانگین سالانه بارش در ایستگاه منطقه ۸۲۸ میلی‌متر می‌باشد و بارش عمدتاً در زمستان و به‌شکل برف می‌باشد. راستای ساختاری که جهت اصلی جریان را در این چشمه کنترل می‌کند راستای لایه‌ها (Azimuth 140) می‌باشد، راستای ساختاری که جهت فرعی جریان را در این چشمه کنترل می‌کند راستای گسل‌ها (Azimuth 25) در زون می‌باشد و فاکتور ساختمانی کنترل کننده راستای اصلی جریان در این چشمه راستای لایه‌ها و راستای درزه‌ها می‌باشد (Jahani Behbahani, 1993).

بر اساس تحلیل منحنی فروکش یک میکرو رژیم برای این چشمه مشخص شده است که مشخصات آن در جدول (۲) نشان داده شده است.



شکل ۴. حوضه آبگیر چشمه‌های مورد مطالعه و خط واره‌های موجود در آن‌ها

Fig 4.The catchment area of the studied springs and the lineaments in them



شکل ۵. رز دیاگرام خطواره‌های موجود در حوضه آبگیر چشمه‌های مورد مطالعه (الف: چشمه آبشار، ب: چشمه آب نهر، پ: چشمه خرانداز، ت: چشمه سرآبتاوه و ث: چشمه پهن گنجگون)

Fig 5. Rose diagram of the lineaments in the catchment area of the studied springs (a: Abshar spring, b: Abnahr, c: Kharandaz spring, d: Sarabtaveh spring and e: Pahn ganjegoon spring.)

جدول ۲. ضرایب تخلیه چشمه‌های مورد مطالعه و درصد جریان سریع و پایه در هر میکرو رژیم

Table 2. Discharge coefficients of studied springs and the percentage of quick and basic flow in each micro-regime

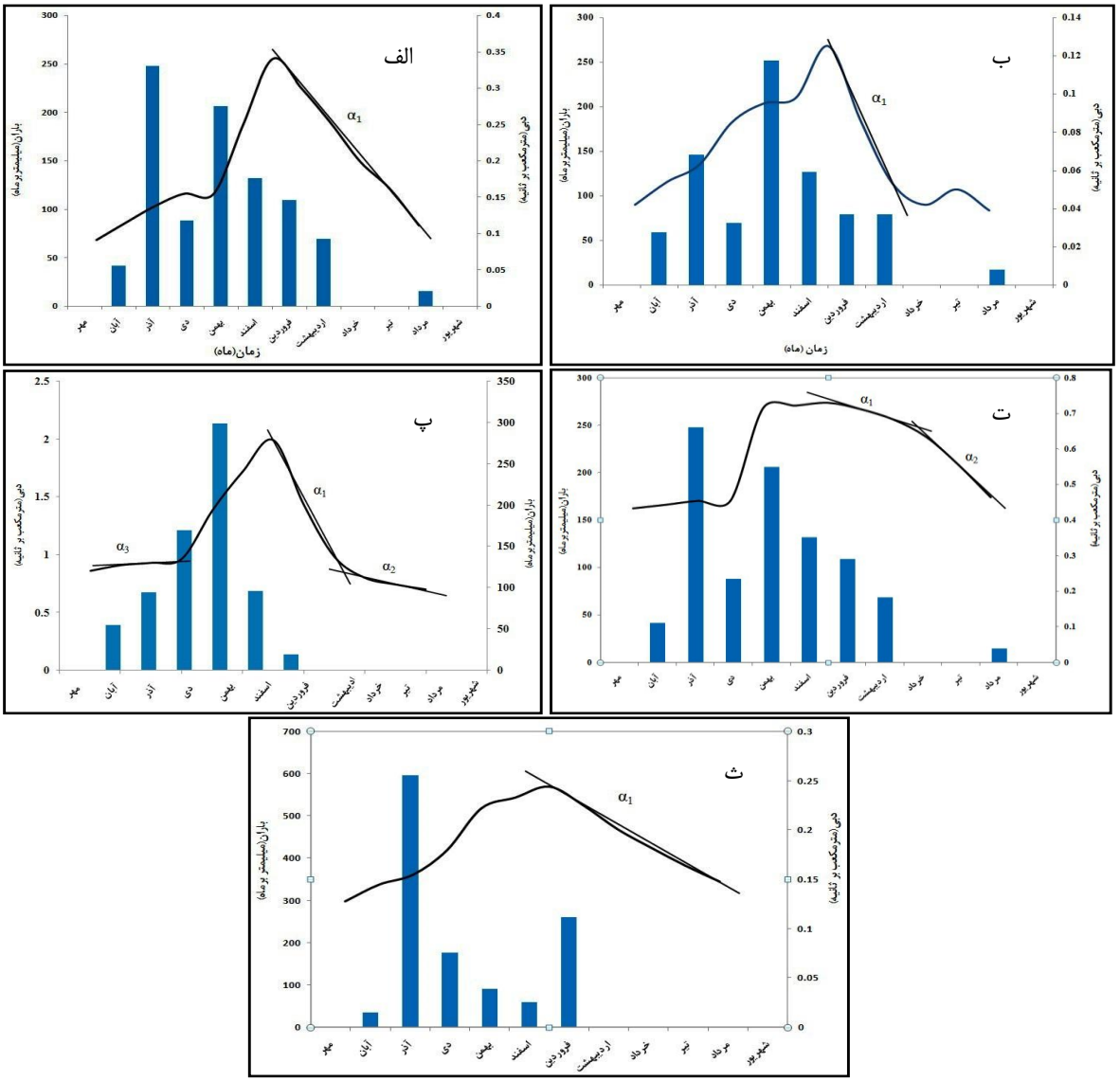
نام چشمه	سال	ضریب فروکش	α_1 طول دوره (روز)	α_1 درصد جریان سریع	α_1 درصد جریان پایه	α_2 ضریب فروکش	α_2 طول دوره (روز)	α_2 درصد جریان سریع	α_2 درصد جریان پایه	α_3 ضریب فروکش	α_3 طول دوره (روز)	α_3 درصد جریان سریع	α_3 درصد جریان پایه
آبشار	2002	0.007	150	%17	%83	-	-	-	-	-	-	-	-
آبنهر	2002	0.012	90	%34	%66	-	-	-	-	-	-	--	-
خرانداز	1999	0.011	60	%17	%83	0.006	30	-	100%	60	0.002	-	100%
سرآبتاوه	2002	0.001	90	%17	%83	0.005	60	-	100%	-	-	-	-
پهن گنجگون	2001	0.003	150	%25	%75	-	-	-	-	-	-	-	-

این چشمه دارای رژیم برفی-بارانی می‌باشد، به‌طوری‌که آبدهی این چشمه متأثر از ذوب برف و خروج تدریجی آب از چشمه در فصل بهار و تابستان می‌باشد. بیشترین نزولات جوی در فصل زمستان و پاییز و به‌صورت برف می باشد که به‌علت انجماد و یخزدگی افزایش قابل توجهی در آبدهی چشمه دیده نمی‌شود ذوب برف بستگی به میزان دمای محیط و تغییرات آن دارد لذا رابطه بین بارش و دبی به‌درستی مشخص نیست و افزایش آبدهی (آستانه جواب) تابع زمان ذوب برف می‌باشد. با توجه به واکنش با تأخیری که این چشمه به ماکزیمم بارش داده و خطواره‌های موجود در حوضه آبگیر این چشمه می‌توان به این نتیجه رسید که با توجه به برف‌گیر بودن حوضه‌آبگیر این چشمه تغذیه این چشمه به‌طور پیوسته و از ذوب برف می‌باشد و با گرم شدن هوا آب‌های حاصل از ذوب برف به‌صورت سریع زه‌کشی می‌شوند و با توجه به شیب زیاد حوضه‌آبگیر آن به‌سمت خروجی این چشمه حرکت می‌کنند. دمای پایین آب این چشمه نسبت به چشمه‌های دیگر می‌تواند ناشی از ارتفاع بالای محل ظهور آن باشد. این چشمه دارای یک ضریب تخلیه به میزان ۰/۰۱۲ می‌باشد که ۶۶ درصد از این رژیم متعلق به جریان پایه و ۳۴ درصد بقیه را جریان سریع به خود اختصاص می‌دهد جدول (۲). بنابر داده‌های به‌دست آمده سیستم جریان این چشمه از نوع افشان– مجرایی می‌باشد. حجم ذخیره دینامیکی آبخوان کارستی چشمه آب نهر ۱۰۶× ۵۱۲۲ مترمکعب محاسبه گردید. رز دیاگرام و هیدروگراف این چشمه در شکل‌های (۵ ب) و (۶ ب) نشان داده شده است.

چشمه خرانداز

این چشمه در ۱۶ کیلومتری جنوب شرقی شهر یاسوج قرار داشته و از نوع کنتاکتی بوده که از دامنه غربی کوه چال خرس خارج می‌شود و سازند تغذیه‌کننده آن تشکیلات آهکی آسماری می‌باشد. میانگین سالانه بارش در ایستگاه منطقه ۹۷۴ میلی‌متر می‌باشد بر اساس تحلیل منحنی فروکش این چشمه سه میکرو رژیم برای این چشمه مشخص شده است که مشخصات ضرایب تخلیه این چشمه در جدول (۲) داده شده است. با توجه به تفاوت قابل ملاحظه بین ضرایب تخلیه این چشمه و واکنشی که این چشمه به ماکزیمم بارش داده و خطواره های موجود در حوضه‌آبگیر این چشمه می‌توان به این نتیجه رسید که توسعه کارست در حوضه‌آبگیر این چشمه زیاد می‌باشد و سیستم زه‌کشی کارست منطقه توسعه یافته می‌باشد. خطواره‌های موجود در حوضه‌آبگیر آن منجر به خرد شدن سازنده‌ای تغذیه‌کننده این چشمه و همچنین به‌عنوان مجرایی برای انتقال آب عمل کرده‌اند. منحنی آب نمود این چشمه رابطه مستقیم بارش و آبدهی چشمه را نشان می‌دهد. در رژیم α_1 چشمه از مجاری و درز و شکاف‌های بزرگ و در رژیم α_2 از طریق درز و شکاف‌های کوچک‌تر و در α_3 چشمه از ماتریکس سنگ تغذیه می‌شود و سیستم مجرایی- افشان حاکم می‌باشد (جدول ۲). حجم ذخیره دینامیکی آبخوان کارستی چشمه خرانداز ۱۰۶× ۳۳/۱۹ مترمکعب محاسبه گردید. رز

دیاگرام و هیدروگراف این چشمه در شکل‌های(۵ پ) و (۶ پ) نشان داده شده است.



شکل ۶. هیدروگراف چشمه‌های مورد مطالعه (الف: چشمه آبشار، ب: چشمه آب نهر، پ: چشمه خرانداز، ت: چشمه سرآبتاوه و ث: چشمه پهن گنجگون)

Fig 6. Hydrograph of the studied springs a: Abshar spring, b: Abnahr, c: Kharandaz spring, d: Sarabtaveh spring and e: Pahn ganjegoon spring.)

چشمه سرآبتاوه

این چشمه در ۱۰ کیلومتری جنوب شهر یاسوج در جاده یاسوج – بابامیدان قرار داشته و از پلانژ شمال غربی تاقدیس دریشک خارج می‌شود. سازند تغذیه کننده آن تشکیلات آهکی آسماری می‌باشد. میانگین سالانه بارش در ایستگاه منطقه ۸۶۵ میلی‌متر می‌باشد. بارش در حوضه آبگیر به‌طور قابل ملاحظه‌ای زیاد است و بارش عمدتاً در زمستان و به‌شکل برف می‌باشد. راستای ساختاری که جهت اصلی جریان را در این چشمه کنترل می‌کند راستای لایه‌ها (Azimuth 145) می‌باشد، راستای ساختاری که جهت فرعی جریان را در این چشمه کنترل می‌کند راستای گسل‌ها (Azimuth 25) در زون می‌باشد و فاکتور ساختمانی کنترل کننده راستای اصلی جریان در این چشمه محور ناودیس می‌باشد (Jahani Behbahani, 1993). بر اساس تحلیل منحنی فروکش، دو میکرو رژیم برای این چشمه مشخص شده است که مشخصات ضرایب تخلیه آن در جدول (۲) داده شده است. در رژیم اول α_1=۰,۰۰۱ که ۸۳ درصد از آن را جریان پایه تشکیل می

دهد و ۱۷ درصد باقی مانده را جریان سریع به خود اختصاص می‌دهد. در رژیم دوم α_2=۰،۰۰۵ کل جریان به جریان پایه تعلق دارد. با توجه به برف‌گیر بودن حوضه آبگیر این چشمه تغذیه این چشمه به‌طور پیوسته و از ذوب برف می‌باشد و خطواره‌های موجود در حوضه‌آبگیر آن منجر به خرد شدن سازنده‌ای تغذیه کننده این چشمه شده و از تشکیل سیستم مجرایی جلوگیری کرده و سیستم جریان این چشمه از نوع افشان می‌باشد. نکته‌ای که اینجا حائز اهمیت است روند افزایشی ضرایب تخلیه این چشمه با گذشت زمان می‌باشد. با توجه به اینکه برف اصلی‌ترین نوع نزولات تغذیه‌کننده این چشمه می‌باشد نشان دهنده این است که برف‌های موجود در ارتفاعات دور دست حوضه‌آبگیر این چشمه با گرم شدن تدریجی هوا ذوب شده و از طریق درز و شکاف‌ها و مجاری که تاکنون به‌صورت غیر فعال بوده‌اند نفوذ کرده و با تأخیر به سمت خروجی این چشمه جریان پیدا می‌کنند و عامل دیگر می‌تواند تأثیر شکل حوضه‌آبگیر این چشمه باشد. حجم ذخیره دینامیکی آبخوان تغذیه کننده این چشمه می‌باشد نشان دهنده این است که برف‌های موجود در ارتفاعات دور دست حوضه‌آبگیر این چشمه با گرم شدن تدریجی هوا ذوب شده و از طریق درز و شکاف‌ها و مجاری که تاکنون به‌صورت غیر فعال بوده‌اند نفوذ کرده و با تأخیر به‌سمت خروجی این چشمه جریان پیدا می‌کنند و عامل دیگر می‌تواند تأثیر شکل حوضه‌آبگیر این چشمه باشد. حجم ذخیره دینامیکی آبخوان تغذیه کننده این چشمه ۸۷/۹۷×۱۰^{۶} مترمکعب می‌باشد. رزدیاگرام و هیدروگراف این چشمه در شکل‌های (۵ ت) و (۶ ت) نشان داده شده است.

چشمه پهن گنجگون

این چشمه در ۳۰ کیلومتری جنوب‌شرقی شهر یاسوج نزدیک روستای گنجگون در جاده سپیدان – یاسوج قرار داشته و از نوع زه‌کش آزاد بوده که از پلانژ جنوبی تاقدیس تامر خارج می‌شود و سازند تغذیه کننده آن تشکیلات آهکی سروک می‌باشد. میانگین سالانه بارش در ایستگاه منطقه ۸۶۵ میلی‌متر می‌باشد بارش در حوضه‌آبگیر به‌طور قابل ملاحظه‌ای زیاد است و بارش عمدتاً در زمستان و به شکل برف می‌باشد. راستای ساختاری که جهت اصلی جریان را در این چشمه کنترل می‌کند راستای لایه‌ها (Azimuth 145) می‌باشد، راستای ساختاری که جهت فرعی جریان را در این چشمه کنترل می‌کند راستای گسل‌ها (Azimuth 25) در زون می‌باشد و فاکتور ساختمانی کنترل کننده راستای اصلی جریان در این چشمه گسل نرمال می‌باشد (Jahani Behbahani, 1993). بر اساس تحلیل منحنی فروکش، یک میکرو رژیم برای این چشمه مشخص شده است. در این میکرو رژیم α_1=0.003 ؛ ۷۵ درصد جریان را جریان پایه و ۲۵ درصد مابقی را جریان سریع تشکیل می‌دهد (جدول ۲). تفسیر آب نمود این چشمه همانند چشمه آبشار می‌باشد و با توجه به تحلیل منحنی فروکش این چشمه می‌توان به این نتیجه رسید که سیستم جریان این چشمه از نوع افشان می‌باشد. حجم ذخیره دینامیکی آبخوان تغذیه کننده این چشمه ۳۷/۱۳×۱۰^{۶} مترمکعب می‌باشد. رزدیاگرام و هیدروگراف این چشمه در شکل‌های (۵ ث) و (۶ ث) نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری

در منطقه مورد مطالعه عملکرد شدید فعالیت‌های تکتونیکی منجر به ایجاد عوارض ساختمانی متعددی از جمله تاقدیس‌های دلی سیب، دریشخ و تامر و همچنین راندگی‌های بزرگی از قبیل دنا، کاکان، کوه سیاه و شکستگی‌های بزرگ شده است. این عوارض ساختمانی زمینه کارستی شدن سازنده‌ای کربناته و تشکیل اشکال مورفولوژیکی کارست مانند غارچه‌ها، دولین‌ها، چشمه‌های کارستی، حفره‌های انحلالی و سینک هول‌ها که نشان از توسعه و بلوغ کارستی می‌باشند را در منطقه فراهم کرده اند. شکستگی‌های عرضی از نظر هدایت جریان آب و توسعه کارست و در نتیجه تغذیه چشمه‌ها نقش مهمی دارند. این شکستگی‌ها با قطع نمودن شکستگی‌ها طولی و لایه بندی باعث ارتباط مجاری انحلالی کارست و ذخایر آبی توسعه یافته در بخش‌های مختلف حوضه‌های کارستی محدوده مطالعاتی می‌شوند. شکستگی‌های طولی منطقه نقش مهمی در شکل‌گیری کانال‌های اصلی (به موازات محور تاقدیس‌ها) جریان و تسهیل جریان آب زیرزمینی در درون حوضه‌های کارستی منطقه دارند. به‌طوری‌که با دریافت آب‌ها توسط شبکه‌ها و مجاری عرضی درون

حوضه‌ها، آن‌ها را به‌سمت نقاط تخلیه (چشمه) هدایت می کنند. به‌عبارت دیگر شکستگی‌های طولی جهات اصلی جریان و شکستگی‌های عرضی جهات فرعی را در درون حوضه‌ها کنترل می‌کنند. نقش هیدروژئولوژیکی شکستگی های مورب کششی همانند شکستگی‌های عرضی است و جهات فرعی را در درون آبخوان‌های زیرزمینی کنترل می کنند. چشمه خرانداز با توجه به آبدهی بالای خود از حوضه آبگیر وسیعی و سیستم جریان انتشاری-کانالی برخوردار است. با توجه به وضعیت شکستگی‌ها عامل اصلی ظهور و آبدهی بالای چشمه خرانداز، تراکم زیاد شکستگی‌ها در حوضه آبگیر این چشمه است که امکان نفوذ آب، تغذیه سیستم کارستی و توسعه آن را فراهم می سازد. وضعیت شکستگی در منطقه، خصوصاً در اطراف چشمه خرانداز حاکی از وجود تکتونیک فعال است. چشمه آبشار چشمه‌ای دائمی و با آبدهی نسبتاً زیاد (به‌طور متوسط ۱۲۰ لیتر در ثانیه)، در مسیر آبراهه، مجاور راندگی و سازند کارستی آسماری قرار گرفته است. دما و هدایت الکتریکی پایین آب این چشمه نشان دهنده انتقال آب حاصل از ذوب برف از طریق شکستگی‌ها در کمترین زمان ممکن دارد. بنابراین به‌طور کلی نتایج حاکی از این واقعیت می‌باشد که سیستم جریان آب‌های کارستی منطقه مورد مطالعه توسط عوامل ساختاری کنترل می شود.

منابع

AghaNabati, A. (2006). Geology of Iran, publications of the Organization of Geology and Mineral Exploration of the country. 586. [In Persian].

Chitsazan, M. K., H. A. (2002). Translation of 2002, Underground Water Modeling and Solving Hydrogeological Problems, authored by Kersik, N. 1997. *Ahvaz Shahid Chamran University Press*. [In Persian]

Goldscheider, N., Meiman, J., Pronk, M., & Smart, C. (2008). Tracer tests in karst hydrogeology and speleology. *International Journal of Speleology*, *37*(1), 3.

Hamidizadeh, F. (2009). Hydrogeological Survey of Shirin Bahar Region, Master's Thesis of Shahid Chamran University of Ahvaz. [In Persian]

Iacurto, S., Grelle, G., De Filippi, F. M., & Sappa, G. (2020). Karst spring recharge areas and discharge relationship by oxygen-18 and deuterium isotope analyses: A case study in southern Latium region, Italy. *Applied Sciences*, 10(5), 1882.

Jahani Behbahani, H. (1993). The role of lineaments in controlling groundwater flow in folded karst areas, master's thesis in hydrology. *Geology department, Shiraz University*. [In Persian]

Jiang, G., & Guo, F. (2010). Interpreting Source of Lingshui Spring by Hydrogeological, Chemical and Isotopic Methods. *Advances in Research in Karst Media*, 177-181.

Karami, Gh. (2002). Assessing the heterogeneity and flow system types in karstic aquifers using pumping test data: Ph.D. Thesis. *Univ. of Newcastle upon Tyne, Newcastle upon Tyne*, 180.

Khezri, S., Shahabi, H, & Mohammadi, S. (2017). Evaluation and zoning of karst evolution of the Sahoon Cave watershed Mahabad using hierarchical analysis method. *Quantitative geomorphological research*, *1*. [In Persian]

Najafi, Z., Kerami, Gh,. & Karimi, H. (2020). Investigating the effect of disturbed stratigraphic rock units on the karst development and the variability of Karstic springs. *Stratigraphy Research and Sedimentology, Journal*, *36*, 20. [In Persian]

Pontes, C., Bezerra, H. R., Bertotti, G., La Bruna, V., Audra, P., De Waele, J., Auler, A. S., Balsamo, F., De Hoop, S., & Pisani, L. (2021). Flow pathways in multiple-direction fold hinges: Implications for fractured and karstified carbonate reservoirs. *Journal of Structural Geology*, *146*, 104324. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.js.2021.104324

Ünsal, N., & Celik, M. (2008). Hydrogeochemistry along the flow path of a confined aquifer, Düzce plain, northwestern Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, *67*, 267-275.

Wang, X., Aliouache, M., Wang, Y., Lei, Q., & Jourde, H. (2021). The role of aperture heterogeneity in incipient karst evolution in natural fracture networks: Insights from numerical simulations. *Advances in Water Resources*, 156, 104036.