هیدروژئولوژی، سال سوم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۷
Hydrogeology, Volume 3, No. 1, Summer 2018

هیدروژئولوژی چشمه‌های کارستی تاقدیس سالدوران، استان چهارمحال و بختیاری

غلامحسین کرمی[۱]، رحیم باقری[*۱]، فهیمه رحیمی[۱]

چکیده

تعیین مسیر حرکت آب در سفره‌های کارستی بسیار حائز اهمیت است. منطقه کوهستانی سالدوران در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. وجود سنگ‌های آهکی به شدت کارستی و میانگین بارش سالانه نسبتاً بالای منطقه باعث رخنمون چشمه‌های کارستی بزرگ سراب باباحیدر، باغ‌رستم و پیرغار در منطقه شده است. ارزیابی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و همچنین بررسی جهت جریان آب زیرزمینی برای شناخت آبخوان کارستی تاقدیس سالدوران مهم می‌باشد. میزان نزولات جوی بیش از ۶۰۰ میلی‌متر در سال بوده و اغلب ریزش‌های آسمانی به صورت برف می‌باشد. میانگین دبی و هدایت الکتریکی به ترتیب برابر با ۱/۹ m^3/s و ۴۳۸ $\mu mhos/cm$ برای چشمه پیرغار، ۳ m^3/s و ۴۷۵ $\mu mhos/cm$ برای چشمه باغ رستم و ۰/۹۸ m^3/s و ۳۴۷ $\mu mhos/cm$ برای چشمه سراب باباحیدر اندازه‌گیری شده است. منحنی فرود چشمه‌ها دارای دو شیب α_1 (۰/۰۲) و α_2 (۰/۰۰۳) می‌باشد. در طی رژیم α_1 که حدود چهار ماه طول می‌کشد، آبدهی چشمه ناشی از ذوب شدن برف‌ها است و حجم زیاد آب به وسیله مجراها و کانال‌های بزرگ توسعه یافته‌کارستی تخلیه می‌شود. رژیم α_2 حدود دو ماه طول می‌کشد و آب خروجی چشمه به‌طور عمده از طریق شکستگی‌ها تأمین می‌شود. رابطه کاملاً معکوسی بین هدایت الکتریکی و دبی چشمه مشاهده گردید. تغییرات قابل توجه آن‌ها، بیانگر توسعه‌یافتگی در آبخوان کارستی مورد مطالعه می‌باشد. بر اساس پارامترهای مختلف هیدروژئولوژیکی و ژئومورفولوژیکی منطقه همانند دره‌های کارستی، مسیر سینکهول‌ها، چینه‌شناسی، گسل‌ها، درزه‌ها، شیب و ارتفاع، جهت‌های کلی جریان آب زیرزمینی از شمال‌غرب به جنوب‌شرق و در جهت محور تاقدیس سالدوران برآورد گردید.

واژه‌های کلیدی: چشمه کارستی ، ضریب فرود، فروچاله، جهت جریان، تاقدیس سالدوران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۱۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۰۵

۱-دانشیار هیدروژئولوژی، دانشگاه صنعتی شاهرود
۲- استادیار هیدروژئولوژی، دانشگاه صنعتی شاهرود
۳- کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین. دانشگاه صنعتی شاهرود
*_ نویسنده مسئول

Hydrogeology of Karstic Springs in Saldoran Anticline, Chahar Mahal and Bakhtyari Province

Gholam Hossein Karami [1], ***Rahim Bagheri*** *[2], ***Fahimeh Rahimi***[3]

Abstract

Determining the groundwater flow direction in karts terrains is very important to understand the hydrogeological conditions. Saldoran Anticline is located in Chahar-Mahal and Bakhtyari province. The presence of highly karstified limestone and the relatively high mean annual rainfall in this region lead to the evolution of major karst springs such as Sarab-Baba heydar, Bagh-Rostam and Pir-e-Ghar. Studying the physical and chemical features of these springs together with determining the ground water flow direction are vital to characterize Saldoran karstic aquifer. The rate of mean annual precipitation is higher than 600 mm which occurs dominantly in the form of snow. The mean discharge and EC values are 1.9 and 438 in Pir-e-Ghar, 3 and 475 in Bagh-Rostam and 0.98 m^3/s and 347 $\mu mhos/cm$ in Sarab-e-Baba Heydar springs, respectively. Two different recession coefficients (α_1 (0.002) and α_2 (0.003)) were recognized from the recession curves of the springs. The α_1 regimen takes about 4 months, during which the major conduits discharge the infiltrating snow melt water. The α_2 regimen which represents the discharge through the narrow fractures and joints (diffuse flow) continues for about 2 months. There is an inverse relation between discharge and EC values. The highly variable values indicate high degrees of karstification. The main flow directions in Saldoran anticline was estimated from north west to south east according to the hydrogeological and geomorphological parameters such as karst valley, sinkhole, fault, fracture, dip and elevation.

Keywords: Karst spring, recession coefficient, sinkhole, flow direction, Saldoran anticline.

Received: 2017/07/09
Accepted: 2018/02/26

1- Associate Professor of Hydrogeology, Shahrood University of Technology
2- Assistant Professor of Hydrogeology, Shahrood University of Technology
3- Master of Hydrogeology, Faculty of Earth Sciences. Shahroud University of Technology
*- Corresponding Autho: E-mail: rahim.bagheri86@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

چشمه‌های کارستی محل تخلیه طبیعی آبخوان‌های کارستی است. در این سیستم‌ها عمدتاً مجاری انحلالی در ارتباط با چشمه‌های کارستی بوده، لذا تجزیه و تحلیل، تغییرات و نحوه فروکش دبی می‌تواند منعکس کننده خصوصیات کل سیستم باشد و به ارزیابی ذخیره، پتانسیل زهکشی، درجه کارستی شدن و مرزهای هیدرولوژیکی آن کمک نماید. شناخت رفتار هیدروژئولوژیکی لایه‌های آبدار کارستی تعیین مسیرهای جریان و منشاء تغذیه انجام شده در سفره‌های کارستی از طریق بررسی تغییرات زمانی خواص فیزیکی و شیمیایی چشمه‌ها در طول چند دهه اخیر رواج بسیاری داشته است (لاکی و کروت، ۱۹۹۶). برای استفاده از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سفره کارستی ابتدا باید تأثیر عوامل خارج از سیستم را بر روی چشمه حذف و سپس تأثیر عوامل داخلی را بر سفره‌ی کارستی بررسی نمود (رئیسی و کرمی، ۱۹۹۶). زولت (۱۹۶۰) و گامز (۱۹۶۶) اولین کسانی بودند که تغییرات شیمیایی چشمه‌ها را به نوع جریان آب زیرزمینی ارتباط دادند. گارلز و کریست (۱۹۶۵) عنوان کردند که جریان آب زیرزمینی در سنگ‌های کربناته به دو دسته جریان باز و بسته تقسیم می‌شوند. تغییرپذیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به نحوه تغذیه چشمه بستگی دارد. تغذیه می‌تواند به صورت متمرکز از طریق سینکهول‌ها یا به صورت جریان افشان از سطح سفره انجام شود. وایت (۱۹۹۸) بر اساس رفتار چشمه‌ها، جریان‌های کارستی را به دو نوع مجرایی و افشان تقسیم کردند. وایت و اشمیت (۱۹۷۱) پس از یک سال اندازه‌گیری تغییرات درجه حرارت، هدایت الکتریکی، یون‌های کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات و بده تخمینی، تغییرات فصلی را مورد بررسی قرار دادند و چشمه‌های منطقه را بر اساس زمین‌شناسی، خصوصیات فیزیکی جریان، توپوگرافی چشمه‌ها، وجود یا عدم وجود سینکهول و غار و سایر پدیده‌های ژئومورفولوژیکی کارستی، به جریان‌های افشان و مجرایی تقسیم کردند. تعیین مسیر حرکت آب در سفره‌های کارستی بسیار حائز اهمیت و نسبت به محیط‌های دیگر پیچیده‌تر است (فورد و ویلیلمز، ۲۰۰۷). شناخت واقعی و توصیف روشنی از ویژگی‌های جریان و نوع جریان، مسیرهای حرکت آب زیرزمینی و شناخت مناطق ارتباطی و تعیین موقعیت مرزهای جریان و نقاط تغذیه و تخلیه در سیستم‌های کارستی، پایه ایجاد مدل مفهومی هیدروژئولوژیکی و مطالعات بعدی منابع آب‌های زیرزمینی در سفره‌های کارستی می‌باشد (دانگمی و زینلیانگ، ۲۰۰۹؛ هیل و پولیاد، ۲۰۱۰؛ لاو و همکاران، ۲۰۱۷؛ مک کورمک و همکاران، ۲۰۱۷؛ اوزلر، ۲۰۱۵). با شناخت دقیق وضعیت زمین‌شناسی یک منطقه از قبیل: وضعیت سنگ‌شناسی، گسل‌ها، چین‌ها، سازندهای مختلف زمین‌شناسی، لایه‌بندی و درزه و شکاف‌ها امکان بررسی جهت جریان آب زیرزمینی وجود دارد. برای تعیین جهت جریان آب در آبخوان‌های کارستی از روش‌های متعددی توسط محققین مختلف استفاده شده است. به‌طور کلی می‌توان این‌چنین اظهار نمود که مهم‌ترین روش‌های تعیین جهت جریان در آبخوان‌های کارستی، شامل آزمایش ردیاب، استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، توموگرافی دو بعدی، روش‌های زمین‌شناسی، بیلان، تغییرات سطح آب زیرزمینی و ارتباط آن با دبی چشمه‌های مجاور، تغییرات دبی چشمه‌ها و ارتباط آن با بارندگی، خصوصیات چشمه‌ها و تغییرات هیدروژئوشیمی آن‌ها، هدایت الکتریکی آب چشمه‌ها، اندازه‌گیری دما و استفاده از لوگ‌های هیدروژئوشیمی و مدل‌های عددی می‌باشد (باقری، ۱۳۸۶؛ باقری و همکاران، ۱۳۹۲؛ احمد، ۱۹۹۶؛ کریمی و همکاران، ۲۰۰۵؛ کوواکس، ۲۰۰۵؛ باقری و همکاران، ۲۰۰۷؛ فورد و ویلیامز، ۲۰۰۷؛ اشجاری، ۲۰۰۷؛ گولدیشدر، ۲۰۰۷؛ باقری و همکاران، ۲۰۰۸؛ کوکاکا، ۲۰۰۹؛ محمدی و همکاران، ۲۰۱۰؛ لی و همکاران، ۲۰۱۰).

منطقه کوهستانی زرآب-سالدوران در جنوب‌غرب و غرب فارسان در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. این منطقه کوهستانی عمدتاً از سنگ‌های آهکی تشکیل شده است که به شدت کارستی شده‌اند. وجود این نوع سنگ‌ها و میانگین بارش سالانه نسبتاً بالای منطقه باعث شده است که چشمه‌های کارستی بزرگی در منطقه به وجود آید. در این منطقه، چشمه‌های بسیار بزرگ و پرآبی همچون سراب باباحیدر، باغ‌رستم و پیرغار جریان دارد که منشاء آن‌ها آبخوان‌های کارستی است. با توجه به لیتولوژی این منطقه که عمدتاً آهکی است و نیز شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه، عوارض کارستی شاخصی مانند غار، فضاهای انحلالی، سینکهول‌ها، پولیه‌های کارستی و دره‌های خشک در مسیر مشاهده می‌شود. هدف

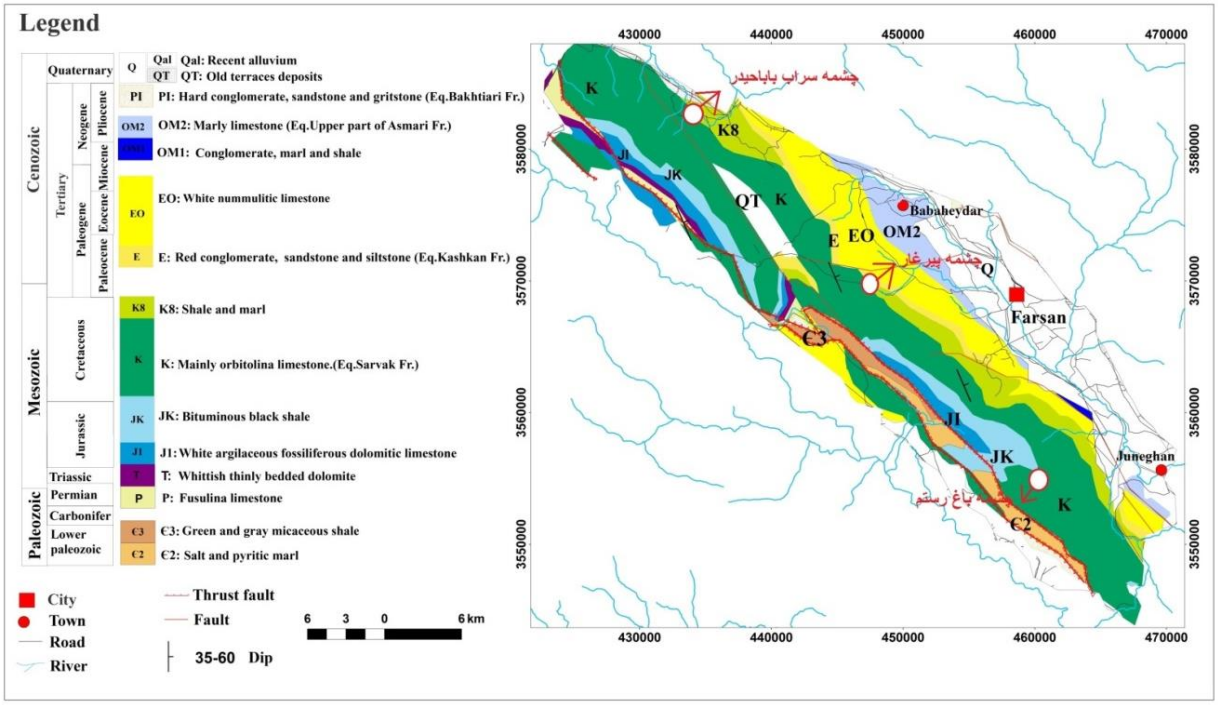
Archive of SID

www.SID.ir

اساسی از انجام این تحقیق، مطالعه خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی منطقه به منظور تعیین جهت عمومی جریان آب در آبخوان‌های کارستی منطقه است.

زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه

ناحیه مورد مطالعه در قسمت زون رسوبی-ساختاری زاگرس مرتفع قرار دارد. در این منطقه، گسلش بر چین خوردگی غلبه دارد و واحدهای رسوبی متعلق به پالئوزئیک و مزوزوئیک با کنتاکت گسله بیرون‌زدگی دارد. تاقدیس‌ها و ناودیس‌های شکل گرفته نیز به تبعیت از روند غالب رشته کوه زاگرس، شمال‌غرب– جنوب‌شرق می‌باشند و از نظر زمین ریخت‌شناسی از سمت غرب به طرف شرق از میزان ارتفاعات کاسته شده و به دره‌های باز و دشت فارسان-جونقان ختم می‌شود. مرتفع‌ترین قله در منطقه، کوه سالدوران با ارتفاع ۳۶۲۱ متر است. آهک‌های سفید، آهک کارنی و دولومیتی معادل سازند آسماری-جهرم و شهبازان با سن ائوسن-الیگوسن همراه با آهک‌های کرم رنگ ضخیم لایه بخش فوقانی سازند آسماری، آبخوان اصلی کارستی چشمه‌های بزرگ منطقه در تاقدیس سالدوران همچون چشمه‌های سراب باباحیدر، باغرستم و پیرغار را تشکیل داده است (شکل ۱). از نظر تکتونیکی به لحاظ روراندگی زاگرس و تحت فشار بودن این ناحیه، سیستم درزه‌ها، توسعه قابل توجهی یافته و محیط مساعد برای چرخه آب در سنگ‌های کربناته را فراهم آورده است. لذا منطقه مورد مطالعه برای توسعه کارست مساعد بوده و باعث پدیده‌های زمین ریخت‌شناسی کارستی متنوعی نظیر غار، سینکهول و چشمه شده است. به دلیل مرتفع بودن منطقه درجه حرارت به‌طور معمول پایین بوده و در برخی از نقاط حتی به چندین درجه زیر صفر می‌رسد. میزان نزولات جوی بیش از ۶۰۰ میلی‌متر در سال بوده و اغلب ریزش‌های آسمانی به صورت برف می‌باشد که عامل مؤثر برای پیشرفت کارست است. منطقه مورد مطالعه شامل یک آبخوان کارستی توسعه یافته‌ای است که چندین چشمه مهم کارستی (شامل پیرغار، سراب باباحیدر و باغ رستم) از آن خارج می‌شود. میانگین دبی و هدایت الکتریکی آن‌ها به ترتیب برابر با ۱/۹ m^3/s و ۴۳۸ $\mu mhos/cm$ برای چشمه پیرغار، ۳ m^3/s و ۴۷۵ $\mu mhos/cm$ برای چشمه باغ رستم و ۰/۹۸ m^3/s و ۳۴۷ $\mu mhos/cm$ برای چشمه سراب باباحیدر اندازه‌گیری شده است. سازندهای آهکی آسماری و سروک به دلیل ضخامت زیاد و پتانسیل بالایی که برای پدیده انحلال دارند، بهترین و غنی‌ترین سازندهای تراوای منطقه را شامل می‌شوند.



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

www.SID.ir

روش انجام کار

جهت کلی جریان آب زیرزمینی در منطقه کارستی سالدوران از روش‌های زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی تعیین شده است. به منظور تجزیه و تحلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های منطقه، تغییرات زمانی پارامترهای دبی چشمه‌ها، هدایت الکتریکی و اسیدیته در محل چشمه و در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. این آمار برای تحلیل منحنی فرود چشمه‌ها و تعیین خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان کارستی مورد استفاده قرار گرفته است. با بازدیدهای صحرایی در منطقه مورد مطالعه، عوارض مهم کارستی (سینکهول، کارن و حفرات انحلالی)، روند عمومی این پدیده‌های ژئومورفولوژیکی، جهت عمومی شیب لایه‌ها، وجود یا عدم وجود اپی‌کارست (epikarst) در منطقه، گسل‌های مهم و دره‌های خشک مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین در بازدید از منطقه واحدهای سنگ چینه‌ای منطقه، مشخص گردید که سازند آهکی سروک در منطقه بدنه اصلی آبخوان کارستی را تشکیل می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی

به منظور درک بیشتر چگونگی جریان آب زیرزمینی در منطقه کارستی سالدوران، خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی منطقه به‌طور مختصر ارائه می‌شود. برای این منظور از اطلاعات اندازه‌گیری شده سال آبی ۹۱-۹۰ استفاده شده است.

- چشمه کارستی پیرغار

این چشمه در حاشیه شمال‌شرقی زون زاگرس مرتفع و در یال شمال‌شرقی تاقدیس سالدوران قرار گرفته است. سنگ میزبان مظهر چشمه را آهک دولومیتی سازند آسماری تشکیل می‌دهد. ساختارهای اصلی احاطه کننده چشمه بیشتر شامل درزه‌هایی می‌باشد که در ارتباط با گسل‌های اصلی منطقه شکل گرفته‌اند. آبدهی چشمه پیرغار از ۰/۷ تا بیش از ۶ مترمکعب در ثانیه متغیر است و با آبدهی متوسط ۱/۹۶ مترمکعب بر ثانیه، یکی از بزرگ‌ترین چشمه‌های منطقه می‌باشد. تغییرات زمانی آبدهی چشمه یکی از مهم‌ترین خصوصیات فیزیکی چشمه‌های کارستی می‌باشد و به عنوان معیاری برای ارزیابی نوع جریان در آبخوان‌های کارستی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۲ هیدروگراف چشمه پیرغار را در سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ نشان می‌دهد. همچنان که ملاحظه می‌شود تغییرات آبدهی نسبت به بارندگی با تأخیر حدود ۲ ماه صورت گرفته است که این امر نشانگر تغذیه این چشمه از حوضه آبگیر وسیعی است و به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر بارندگی‌های مؤثر منطقه بوده است. با دقت در مقدار ضریب تغییرات دبی که برابر با ۹۸/۱ درصد می‌باشد ملاحظه می‌شود مقدار تغییرات دبی بسیار بالاست. ضریب تغییرات بسیار بالای دبی چشمه بیانگر توسعه زیاد مجاری کارستی و وجود سینکهول‌های فراوان و دیگر عارضه‌های کارستی گسترده در نواحی مرتفع حوضه آبگیر چشمه و همچنین شیب هیدرولیکی بالا در حوضه آبگیر است. با عنایت به بازدیدهای صحرایی انجام شده ملاحظه شد که عوارض ژئومورفولوژیکی مربوط به کارست‌های توسعه یافته از قبیل سینکهول و چاه در منطقه وجود دارد و فضاهای انحلالی توسعه شدیدی در منطقه پیدا کرده‌اند. همان‌طور که شکل ۲ نشان می‌دهد منحنی فرود چشمه دارای دو شیب α_1 و α_2 می‌باشد. برای برآورد ضرایب بده فرود از معادله زیر استفاده شده است:

$$\alpha = \frac{\log Q_0 - \log Q_t}{0.4343 \times (t - t_0)}$$

که در آن Q_t آبدهی چشمه در زمان t ، Q_0 آبدهی قبلی چشمه در زمان صفر و t زمان بین Q_t و Q_0 می‌باشد.

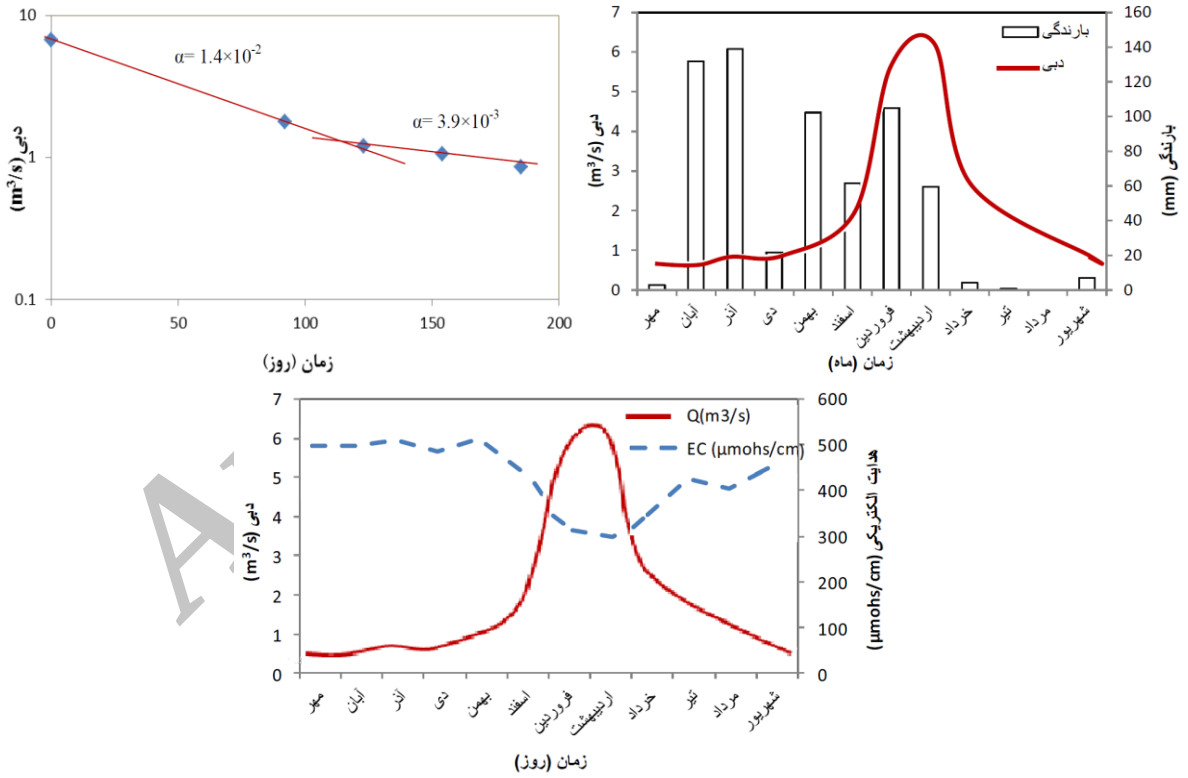
در طی رژیم α_1 که حدود چهار ماه طول می‌کشد، آبدهی چشمه ناشی از ذوب شدن برف‌ها است و حجم زیاد آب به وسیله مجراها و کانال‌های بزرگ توسعه یافته کارستی تخلیه می‌شود. این کانال‌ها در طول شکستگی‌های بزرگ به وجود آمده‌اند و در زون تغذیه با سینکهول‌ها و پولیه‌های آهکی بزرگ موجود در ارتفاعات در ارتباط مستقیم هستند. در این منطقه دبی زیاد چشمه‌ها ناشی از ذوب برف‌هاست که از طریق سیستم کارستی پیشرفته (سینکهول ها) به آبخوان ملحق می‌شود و بخش اعظم جریان خروجی از چشمه را شامل می‌شوند و در همین رژیم مقدار هدایت الکتریکی نیز کم شده است که دلیل بر وجود سرعت بالای جریان آب در آبخوان می‌باشد. به همین دلیل با توجه به تغذیه عمده برف، رژیم اول منحنی فرود، دارای شیب زیادتر می‌باشد. رژیم α_2 حدود دو

Archive of SID

www.SID.ir

ماه طول می‌کشد و آب خروجی چشمه به‌طور عمده از طریق شکستگی‌ها و درزه‌های موجود در آبخوان تأمین می‌شود و با توجه به ذخیره‌سازی بالاتر درزه‌ها و شکستگی‌ها در مقایسه با مجاری بزرگ، روند کاهش آبدهی چشمه در طول این رژیم آبدهی نسبت به رژیم آبدهی α_1 کمتر است. به علت ذخیره‌سازی بالای این عوامل در مقایسه با عوامل تأثیرگذار در رژیم α_1 شیب کاهش دبی در این رژیم بسیار کمتر از رژیم قبلی است.

شکل ۲ تغییرات هدایت الکتریکی در مقابل دبی چشمه پیرغار را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود رابطه کاملاً معکوسی بین هدایت الکتریکی و دبی چشمه مشاهده گردید که یک حالت معمول در آبخوان‌های کارستی قلمداد می‌شود. علت این امر از این قرار است که در مواردی که دبی زیاد می‌شود آب‌های ناشی از ذوب برف‌ها که از طریق سینکهول‌ها به آبخوان ملحق می‌شوند، بخش اعظم جریان خروجی از چشمه را شامل می‌شوند و علاوه بر این به علت سرعت بالای جریان آب در آبخوان کارستی فرصت کمتری برای انحلال مواد وجود دارد. بنابراین، مقدار املاح محلول در آب کمتر و در نتیجه هدایت الکتریکی کاهش پیدا می‌کند. همچنین با توجه به دامنه تغییرات بالای هدایت الکتریکی می‌توان نتیجه گرفت مقدار تغییرات سالانه این پارامتر نسبتاً بالا می‌باشد. از دلایل بالا بودن این ضریب می‌توان به بزرگ بودن حوضه آبگیر چشمه، و ناهمگن بودن آهک‌های آبخوان کارستی اشاره کرد. تغییرات pH در چشمه‌های کارستی به دلیل بالا بودن مقدار یون بیکربنات، در محدوده قلیایی قرار می‌گیرد. تغییرات مقدار اسیدیته در این چشمه کم بوده و در حدود ۷/۸ متغیر می‌باشد.



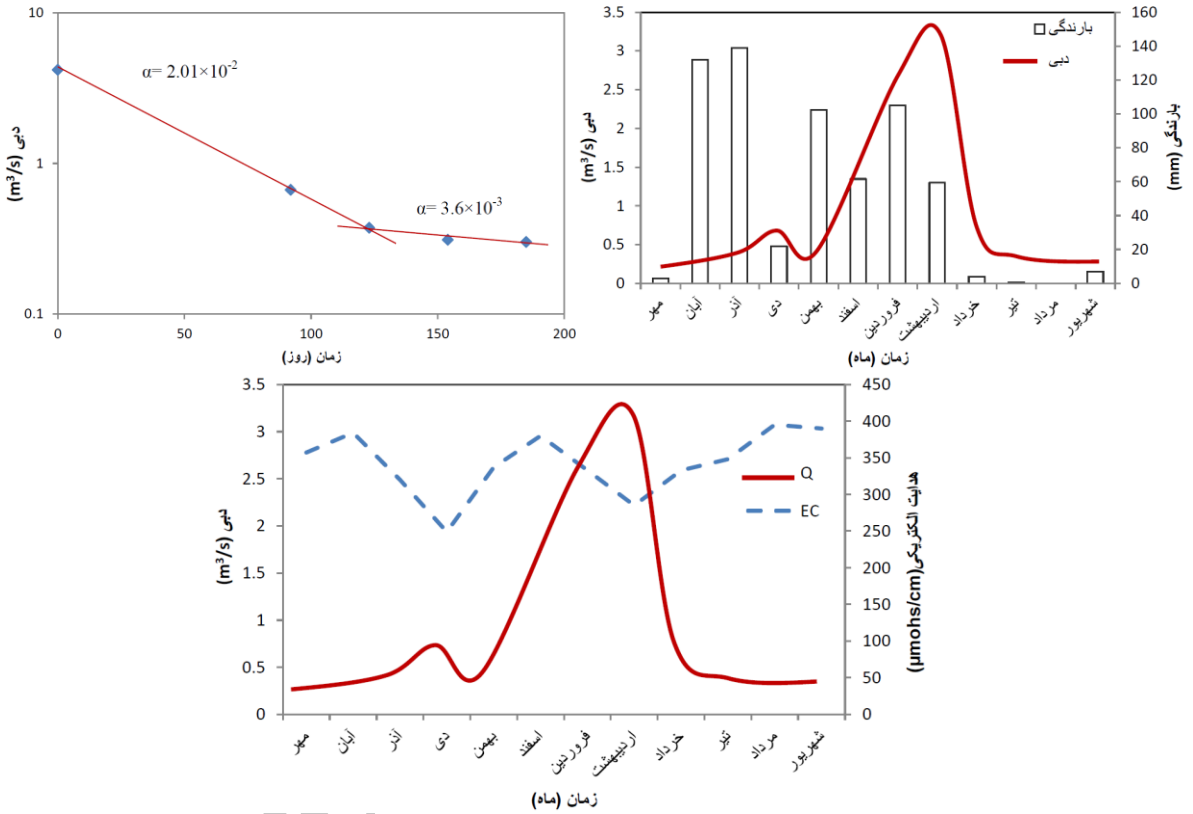
شکل ۲- هیدروگراف دبی با بارش، منحنی فروکش آبدهی و تغییرات زمانی هدایت الکتریکی در مقابل دبی چشمه پیرغار

- چشمه سراب باباحیدر

این چشمه در سازند آهکی آسماری ظهور یافته است (شکل ۱). مورفولوژی محل ظهور چشمه یک دره فرسایشی می‌باشد که فرسایش آن در امتداد درزه‌های برشی منطقه است. آبدهی متوسط چشمه سراب باباحیدر از مهر ۱۳۹۰ تا شهریور ۱۳۹۱ برابر ۰/۹۰ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. تغییرات زمانی دبی

www.SID.ir

چشمه و هدایت الکتریکی در مقایسه با چشمه پیرغار اندکی بیشتر است. این مطلب احتمالاً به درجه گردی بالاتر حوضه آبگیر این چشمه و همچنین وجود یک پولیه نسبتاً بزرگ (پولیه لاغرک) در حوضه آبگیر این چشمه مربوط می‌شود. شکل ۳ هیدروگراف چشمه سراب باباحیدر را در سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ نشان می‌دهد. دبی چشمه در اوایل اسفند به‌طور قابل توجهی رو به افزایش می‌گذارد و در اوایل اردیبهشت ماه به اوج خود می‌رسد و مجدداً در اوایل تابستان سریعاً کاهش می‌یابد. دلیل این تغییرات رخداد بارش‌های ماه‌های آذر و بهمن ماه اغلب به صورت برف می‌باشد و این برف‌ها در اواخر زمستان شروع به ذوب شدن می‌کنند و باعث افزایش



شکل ۳- هیدروگراف دبی با بارش، منحنی فروکش آبدهی و تغییرات زمانی هدایت الکتریکی در مقابل دبی چشمه سراب باباحیدر در سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۰.

تغذیه آبخوان می‌شود. در فصل بهار آب ناشی از ذوب برف‌ها و به‌ویژه بارندگی‌های بهاره باعث افزایش بیشتر آبدهی چشمه می‌شوند، به‌طوری که دبی اوج چشمه در اوایل اردیبهشت ماه رخ می‌دهد. با کاهش شدید بارندگی‌ها در اواخر بهار، تغذیه‌ای به آبخوان انجام نمی‌شود و دبی چشمه به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. با توجه به منحنی فروکش آبدهی این چشمه (شکل ۳)، دو رژیم آبدهی مشاهده می‌شود. در رژیم α_1 (۰/۰۲) حجم زیادی آب توسط مجاری توسعه یافته کارستی تخلیه می‌شود به‌طوری که دبی چشمه در مدت چهار ماه از حدود ۳/۱۷ مترمکعب بر ثانیه به ۰/۷ مترمکعب بر ثانیه رسیده است و آبدهی چشمه ناشی از ذوب شدن برف‌ها است و حجم زیاد آب به وسیله مجراها و کانال‌های بزرگ توسعه یافته کارستی تخلیه می‌شود. این کانال‌ها در طول شکستگی‌های بزرگ به وجود آمده‌اند و در زون تغذیه با سینکهول‌ها و پولیه‌های آهکی بزرگ موجود در ارتفاعات در ارتباط مستقیم می‌باشند. رژیم α_2 (۰/۰۰۳) حدود دو ماه طول می‌کشد و آب خروجی چشمه عمدتاً از طریق شکستگی‌ها و درزه‌های موجود در آبخوان تأمین می‌شود و با توجه به ذخیره‌سازی بالاتر درزه‌ها و شکستگی‌ها در مقایسه با مجاری بزرگ، روند کاهش آبدهی چشمه در طول این رژیم آبدهی نسبت به رژیم آبدهی

www.SID.ir

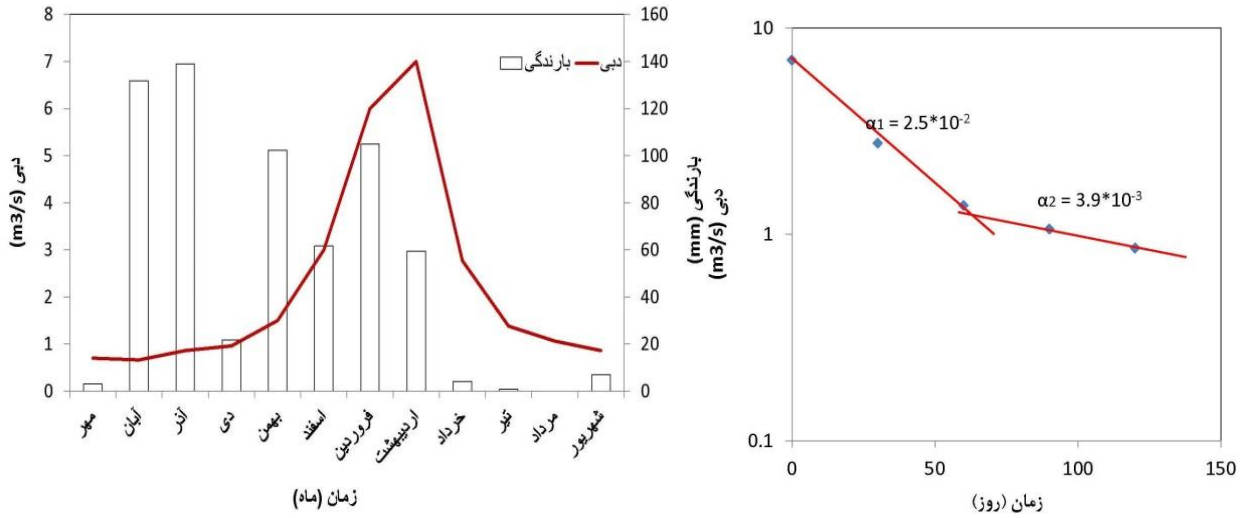
α_1 (۰/۰۲) کمتر است و تخلیه‌ی آب به‌طور عمده از طریق ذخیره‌ی درون سیستم صورت گرفته و با پایین افتادن شدید سطح آب سیستم کارستی، کاهش شیب هیدرولیکی نیز رخ داده و تخلیه‌ی آب آهسته‌تر از رژیم α_1 صورت می‌گیرد. شکل ۳ تغییرات هدایت الکتریکی در مقابل دبی چشمه سراب باباحیدر را نشان می‌دهد. همان‌طور که شکل ۳ نشان می‌دهد، همانند چشمه پیرغار با در نظر گرفتن تأخیر، رابطه کاملاً معکوسی بین هدایت الکتریکی و دبی چشمه وجود دارد که یک حالت معمول در آبخوان‌های کارستی قلمداد می‌شود. تغییرات مقدار اسیدیته در این چشمه نیز همانند چشمه پیرغار می‌باشد. تغییرات زمانی دبی و هدایت الکتریکی چشمه سراب باباحیدر نیز مشابه چشمه قبلی بوده و رژیم جریان از دو مؤلفه تشکیل شده و رفتاری مشابه دارند. بنابراین تغییرات قابل‌توجه هدایت الکتریکی چشمه‌های مذکور با تغییرات دبی آن‌ها، بیانگر توسعه‌یافتگی در آبخوان کارستی مورد مطالعه می‌باشد.

شکل شماره ۴، هیدروگراف و منحنی فرود چشمه باغ رستم با دو شیب α_1 و α_2 در سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ را نشان می‌دهد. این چشمه رفتاری مشابه با دو چشمه قبلی را نشان می‌دهد. دبی چشمه در اوایل اسفند به‌طور قابل توجهی رو به افزایش می‌گذارد و در اوایل اردیبهشت ماه به اوج خود می‌رسد و مجدداً در اوایل تابستان سریعاً کاهش می‌یابد. در فصل بهار آب ناشی از ذوب برف‌ها و به‌ویژه بارندگی‌های بهاره باعث افزایش بیشتر آبدهی چشمه می‌شوند. با کاهش شدید بارندگی‌ها در اواخر بهار، تغذیه‌ای به آبخوان انجام نمی‌شود و دبی چشمه به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. با توجه به منحنی فروکش آبدهی این چشمه (شکل ۵)، دو رژیم آبدهی مشاهده می‌شود. در رژیم α_1 (۰/۰۲) حجم زیادی آب توسط مجاری توسعه یافته کارستی تخلیه می‌شود. رژیم α_2 (۰/۰۰۳) حدود دو ماه طول می‌کشد و آب خروجی چشمه عمدتاً از طریق شکستگی‌ها و درزه‌های موجود در آبخوان تأمین می‌شود. تخلیه‌ی آب به‌طور عمده از طریق ذخیره‌ی درون سیستم صورت می‌گیرد.

ارزیابی جهت جریان آب زیرزمینی در منطقه کارستی سالدوران

یکی از مسائل مهم در هیدروژئولوژی، پی بردن به مسیر جریان آب زیرزمینی و چگونگی ارتباط آبخوان‌های موجود در یک منطقه با یکدیگر است. اگر چه تعیین مسیرهای جریان آب زیرزمینی در مناطق کارستی بسیار پیچیده است اما می‌توان با توجه به برخی عوارض و شواهد موجود، جهت‌های عمومی جریان آب زیرزمینی را پیش‌بینی نمود. در ابتدا با تحلیل‌های انجام شده با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (*GIS*)، درصد تغذیه سالانه در آبخوان‌های کارستی منطقه برآورد گردید.

مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مقدار تغذیه سالانه منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت و لایه‌های اطلاعاتی آن‌ها در محیط *GIS* تهیه گردید. این پارامترها شامل لیتولوژی، شیب لایه‌ها، جهت شیب، تراکم شکستگی‌ها، عوارض کارستی، بارش و تراکم آبراهه‌ها می‌باشند.

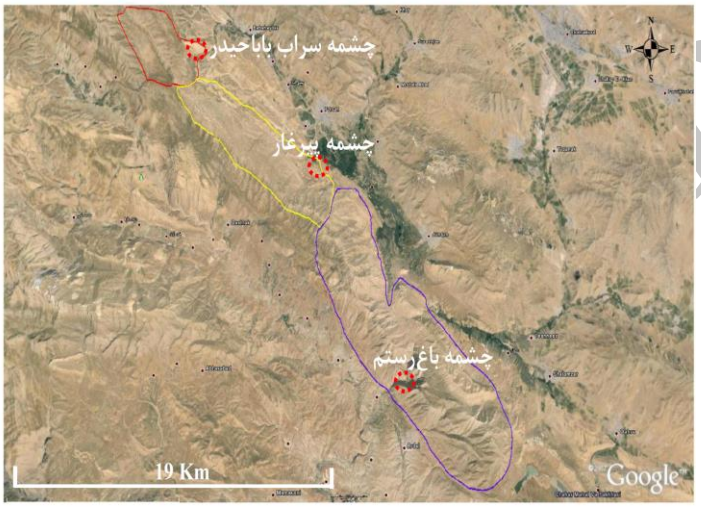


Archive of SID

www.SID.ir

شکل ۴- هیدروگراف و منحنی فرود چشمه باغ رستم با دو شیب α_1 و α_2 در سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ .

بعد از آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی، به هرکدام از این لایه‌ها ارزش متناسب با مقدار تأثیرگذاری آن‌ها بر مقدار تغذیه سالانه داده شده است. با استفاده از نرم‌افزار GIS هم‌پوشانی لایه‌ها انجام شد و در نهایت میانگین تغذیه سالانه برای حوضه‌های آبگیر سراب باباحیدر، پیرغار و باغ‌رستم به ترتیب ۰/۶۸، ۰/۶۶ و ۰/۶۲ تعیین شد (رحیمی، ۱۳۹۲). با استفاده از روش زمین‌شناسی و بیلان هیدروژئولوژیکی حوضه آبگیر چشمه‌های کارستی سراب باباحیدر، پیرغار و باغ‌رستم تعیین و ترسیم شد. به این ترتیب، با توجه به شکل شماره ۵، مساحت حوضه آبگیر چشمه‌های پیرغار، باباحیدر و باغ‌رستم به ترتیب ۹۳، ۴۷ و ۲۰۴ کیلومتر مربع بدست آمد.



شکل ۵- حوضه آبگیر هیدروژئولوژیکی چشمه‌های کارستی تاقدیس سالدوران.

پس از تعیین حوضه آبگیر چشمه‌های کارستی مورد نظر، بر اساس پارامترهای مختلف ژئوموفولوژیکی منطقه، جهت‌های کلی جریان آب زیرزمینی در آبخوان کارستی مورد نظر بررسی شد. بدین منظور، برای هر یک از چشمه‌های مورد نظر عوامل مؤثر (مانند دره‌های کارستی، مسیر سینکهول‌ها، چینه‌شناسی، گسل‌ها، درزه‌ها، شیب، ارتفاع و...) در جهت‌گیری جریان آب زیرزمینی بررسی شد. جدول ۱ عوامل مهم کنترل کننده جهت جریان آب زیرزمینی در حوضه آبگیر چشمه‌ها آورده شده است.

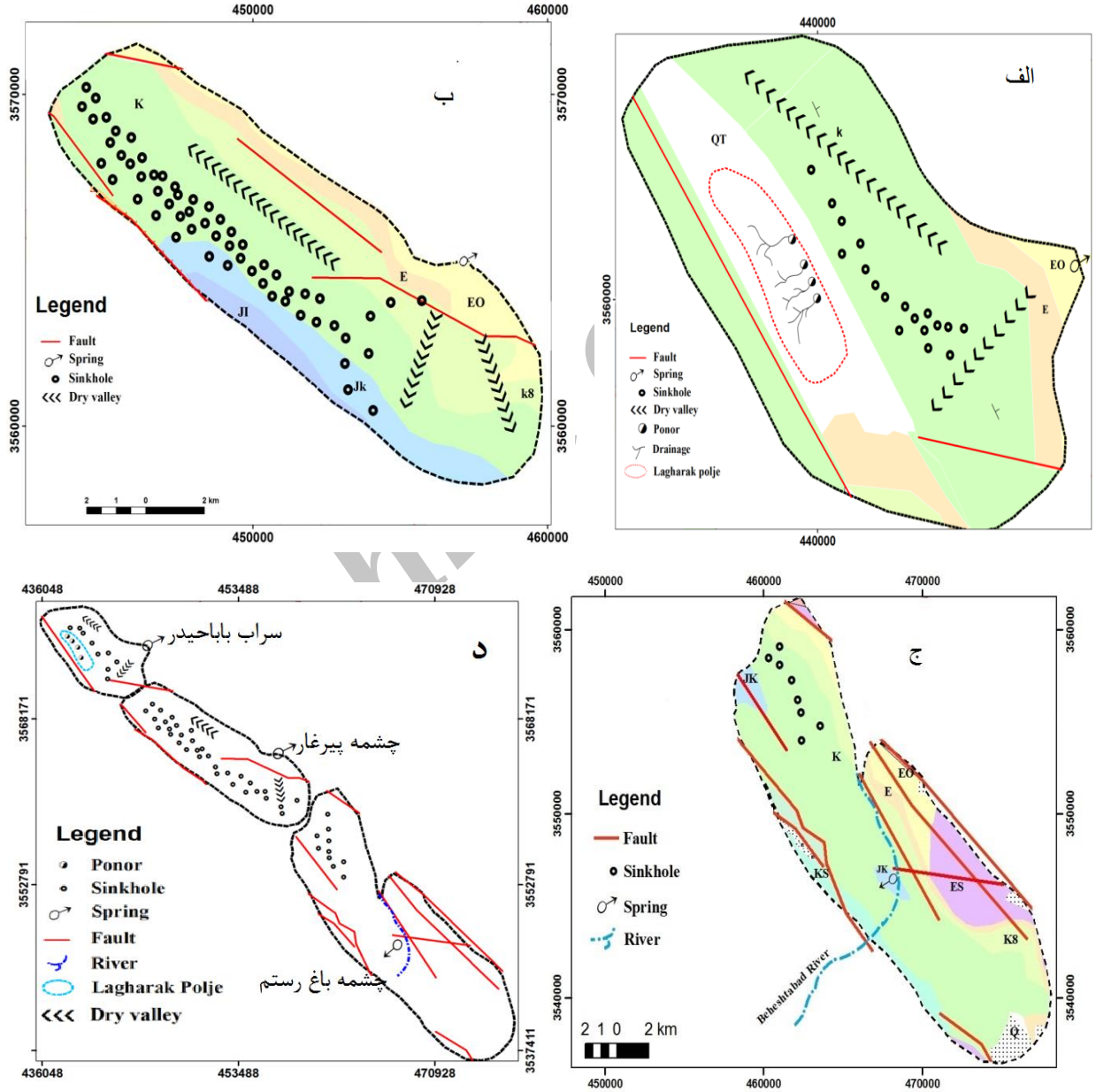
جدول ۱- عوامل مهم کنترل کننده جهت جریان آب زیرزمینی در حوضه آبگیر چشمه‌ها.

نام چشمه	عوامل کنترل کننده جهت عمومی جریان آب زیرزمینی	
	عوامل فرعی	عوامل اصلی
پیرغار	دره‌های خشک، سینکهول‌ها، گسل‌های اصلی	سطوح لایه‌بندی، درزه‌ها و گسل‌های فرعی
سراب باباحیدر	همگرایی دره‌های خشک، سطح اساس فرسایش، مسیر سینکهول‌ها	سطوح لایه‌بندی، درزه‌ها
باغ‌رستم	وجود گسل‌های اصلی زاگرس، سطح اساس فرسایش	درزه‌ها و سطوح لایه‌بندی

شکل ۶ عوامل تأثیرگذار بر جهت جریان آب زیرزمینی را نشان می‌دهد و همان‌طور که مشاهده می‌شود سینکهول‌ها و همچنین وجود دره‌های خشک کارستی از شواهد تأثیرگذار برای تعیین جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در این حوضه آبگیر می‌باشد. وجود شکستگی‌ها به‌خصوص گسل اصلی فارسان در محدوده حوضه آبگیر از جمله عوامل تأثیرگذار بر

Archive of SID
www.SID.ir

جهت جریان شناخته شده است. به این ترتیب جهت جریان عمومی از شمال‌غرب به جنوب‌شرق و در جهت محور تاقدیس سالدوران برآورد گردیده است. از جمله شواهد تأثیرگذار بر تعیین جهت جریان در محدوده چشمه سراب باباحیدر، وجود سینکهول‌های فراوان با ابعاد متفاوت در این حوضه آبگیر، سطح اساس فرسایش، وجود پولیه لاغرک و پونورهای متعدد و همچنین وجود دره‌های کارستی در آن می‌باشد. به این ترتیب جهت جریان عمومی از شمال‌غرب به جنوب‌شرق و در جهت محور تاقدیس سالدوران می‌باشد (شکل ۶). جهت جریان آب زیرزمینی در حوضه آبگیر چشمه باغ رستم نیز بیشتر تحت تأثیر وجود سینکهول‌ها، سطح اساس فرسایش، گسل‌های اصلی زاگرس در این حوضه آبگیر و وجود دره کارستی عمیق قرار گرفته است. به این ترتیب جهت جریان عمومی از شمال‌غرب به جنوب‌شرق و در جهت محور تاقدیس سالدوران می‌باشد (شکل ۶).



شکل ۶- ارتباط بین ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی منطقه با جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در تاقدیس سالدوران
الف) سراب باباحیدر ب)چشمه پیرغار ج)چشمه باغ رستم د) موقعیت کلی چشمه‌ها

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

مطالعه خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی به منظور تعیین حوضه آبگیر چشمه‌ها و جهت عمومی جریان آب در آبخوان‌های کارستی مهم می‌باشد. مطالعات بیلان هیدرولوژیکی و زمین‌شناسی نشان داد که آبخوان اصلی کارستی چشمه‌های بزرگ سراب باباحیدر، باغ-رستم و پیرغار را آهک‌های سفید، آهک مارنی و دولومیتی معادل سازند آسماری-جهرم و شهبازان تاقدیس سالدوران تشکیل داده است.

درصد تغذیه سالانه در آبخوان‌های سراب باباحیدر، پیرغار و باغرستم به ترتیب برابر با ۶۸، ۶۶ و ۶۲ درصد و مساحت حوضه آبگیر آن‌ها به ترتیب ۴۷، ۹۳ و ۲۰۴ کیلومتر مربع می-باشد. وجود دو رژیم جریان با شیب زیاد نشانگر این است که نوع جریان در منطقه کارستی مورد مطالعه غالباً از نوع جریان مجرایی می‌باشد. تغییرات قابل توجه هدایت الکتریکی چشمه‌های مذکور با تغییرات دبی این چشمه‌ها، بیانگر توسعه-یافتگی در آبخوان کارستی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. شواهد زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی مانند دره‌های کارستی، سینکهول‌ها، پولیه، گسل‌ها و درزه‌ها، وجود جریان مجرایی و توسعه کارست زیاد در تاقدیس کارستی سالدوران را تائید می-کند. وجود این عوارض کارستی در تعیین جهت جریان آب زیرزمینی در تاقدیس سالدوران مهم می‌باشد، به‌طوری که جریان در هر سه حوضه آبگیر چشمه‌های کارستی منطقه از شمال غرب به سمت جنوب شرق می‌باشد. بنابراین وجود فعالیت‌های نسبتاً شدید تکتونیکی و بارش نسبتاً زیاد که عمدتاً به صورت برف رخ می‌دهد، نقش مهمی در توسعه پدیده‌های کارستی منطقه سالدوران دارند. تعیین مسیر حرکت آب در سفره‌های کارستی بسیار حائز اهمیت بوده و نسبت به محیط-های دیگر پیچیده‌تر است. بنابراین بایستی از کلیه روش‌های زمین‌شناسی، تکتونیک، هیدروشیمیایی و هیدروژئولوژیکی استفاده شود تا ریسک انجام کار کمتر و مسیر جریان دقیق‌تر تعیین گردد.

مطالعه کارست از جهت شناخت برای مدیریت بهتر آبخوان‌های کارستی حائز اهمیت می‌باشد. در چنین سیستم‌های پیچیده، نتایج دارای عدم قطعیت نیز می‌باشند. با توجه به عدم دسترسی به درون سیستم‌های کارستی، مطالعه تغییرات دبی چشمه‌ها می‌تواند اطلاعات مهمی از درون کارست بدهد. به‌طور کلی تعیین مسیر جریان و مطالعه توسعه کارست در هر منطقه برای تعیین محل چاه در سفره کارستی، تعیین حجم ذخیره سفره و تعیین حوضه آبگیر جهت کنترل و مدیریت سفره از دیدگاه زیست‌محیطی بسیار اهمیت دارد. با توجه به کمی آب در چنین منطقه کم بارش و دیگر مناطق ایران، چنین مطالعه کارستی را پیشنهاد می‌گردد.

قدردانی:

از شرکت آب منطقه‌ای چهارمحال و بختیاری بخصوص مهندس عبد... فاضلی فارسانی به خاطر فراهم کردن اطلاعات اولیه لازم و همچنین از دانشگاه صنعتی شاهرود به دلیل فراهم کردن امکانات لازم در طول این تحقیق تشکر و قدردانی می گردد.

منابع

باقری، ر.، ۱۳۸۶. پتانسیل فرار آب از ساختگاه سد سیمره، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شیراز. ۱۵۰ص.

رحیمی، ف.، ۱۳۹۲. بررسی جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در حوضه آبگیر چشمه‌های کارستی کوه زرآب- سالدوران (استان چهارمحال و بختیاری). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود. ۱۲۰ص.

Ahmed, M., 1996. Lineament as groundwater exploration guides in hard-rock terranes of arid regions. Canadian Journal of Remote Sensing, 22(1), 108-116.

Ashjari, J., 2007. In Influences of anticlinal structure on regional flow, Zagros, Iran (in English). Phd Thesis, University of Shiraz, Iran.

Bagheri, R., Raeisi, E., Zare, M., mohamadi, Z., Bahadori, F., 2007. The source of karstic springs in east part of Ravandi Anticline using 2H-18O, hydrochemistry, and water budget. Proceeding of 11th symposium of Geology society of Iran; 4-6, Mashhad, Iran.

Bagheri, R., Raeisi, E., Zare, M., mohamadi, Z., 2008. leakage Potential in Seymareh dam site. The 26th symposium on Geosciences; 17-19, Tehran, Iran.

Dongmei, H., Xing, L., 2009. Hydrogeochemical Indicators of Groundwater Flow Systems in the Yangwu River Alluvial Fan, Xinzhou Basin, Shanxi, China. Environmental Management, 44, 257 p.

Ford, D.C., Williams, P.W., 2007. Karst Geomorphology and Hydrogeology, Wiley Chichester, 2nd ed,576 p.

Archive of SID

www.SID.ir

Gams, I., 1966. Factor and dynamics of corrosion of the carbonate rocks in the Dinaric and Alpine karst of Slovenia (Yugoslavia). Geografski Vestnik, 38, 11-68.

Garrels R.M., Christ C.L., 1965. Solutions, minerals, and equilibria.Harper and Row, New York, 9, 450.

Goldscheider, N., Drew, D., 2007. Methods in Karst Hydrogeology, Taylor and Francis, 279 p.

Hill, C.A., Polyak, V.J., 2010. Karst hydrology of Grand Canyon, Arizona, USA. Journal of Hydrology 390, 169–181.

Karimi, H., Raeisi, E., Zare, M., 2005. Physicochemical parameters time series of karst spring as a tool to differentiate the source of spring water: Carbonates and Evaporites. Carbonates and Evaporites, 20(2),138-147.

Kova´cs, A., 2005. A quantitative method for the characterisation of karst aquifers based on spring hydrograph analysis. Journal of Hydrology, 303,152–160.

Kukacka, M., 2009. Self-organization for the detection of local features. WDS 09 Proceedings of Contributed, 1, 62-67.

Lakey, B.L., Krothe, N.C., 1996. Stable istopic variation of starm discharge frome a perennial karst spring. Indiana, Water Resources Research, 32, 721-731.

Li, Sh., Zhang Q., Su M., Wang Z., Wang S., 2010. Predicting geological hazards during tunnel construction. Journal of H Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2(3). 232-242.

Love, A.J., Shand, P., Fulton, S., Wohling, D., Karlstrom, K.E., 2017. A reappraisal of the hydrogeology of the Western margin of the Great Artesian Basin: chemistry, isotopes and groundwater flow. Procedia Earth and Planetary Science, 17, 428 – 431.

McCormack, T., O'Connell, Y., Daly, E., Gill, L.W., Henry, T., 2017. Perriquetc M. Earth Characterisation of karst hydrogeology in Western Irelandusing geophysical and hydraulic modelling techniques. Journal of Hydrology: Regional Studies, 10, 1–17.

Mohammadi, Z., Bagheri, R., Jahanshahi R., 2010. Hydrogeochemistry and geothermometry of Changal thermal springs, Zagros region, Iran. Geothermics, 39, 242–249.

Özler, H.M., 2015. Hydrogeology of the Kaklik (Denizli) Aquifer in Turkey. Procedia Earth and Planetary Science, 15, 345 – 352.

Raeisi, E., Karami, G.H., 1996. The governing factors of the physicochemical characteristics of Sheshpeer karst spring Iran. Carbonate and Evaporates, 11(2), 162-169.

White, W, B., 1998. Groundwater flow in karstic aquifers. In Delleur, J. W. (Ed.), The Handbook of Groundwater Engineering, CRC Press, Boca Raton, FL,21, 1-47.

White, W.B., Schmidt, V.A., 1971. Hydrology of a karst area in east- central West Virginia. Water Resources Research,2, 549-560.

Zölt, J., 1960. Die Hydrographic des nordost Alpinen Karsts. Steirsche Beitrage Hydrogeology, 2, 53-183.

Archive of SID

www.SID.ir