

# تعیین خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های کارستی، مطالعه موردی چشمه تنگ‌سرد، شمال شرقی استان خوزستان

سجاد پورا کبری<sup>۱</sup>، نصراله کلانتری<sup>۲</sup>، آرش مصلح<sup>۳</sup>

- ۱- کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، شرکت آب منطقه ای استان کهگیلویه و بویر احمد، ایران
- ۲- استاد گروه علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران
- ۳- معاونت برنامه ریزی و بهبود مدیریت، شرکت آب منطقه ای استان کهگیلویه و بویر احمد، ایران

## چکیده

چشمه کارستی تنگ سرد با متوسط تخلیه سالانه بیش از  $1/2 \text{ m}^3/\text{s}$  یکی از چشمه‌های کارستی پرآب استان خوزستان بحساب می‌آید. بیشترین نوسانات آبدهی چشمه مربوط به زمان بارندگی است، به طوری که از حدود  $0/5$  متر مکعب بر ثانیه در پاسخ به بارندگی‌های روی داده در آبان ماه ۱۳۹۵ به افزایش تقریباً چشمگیری حدود  $1/5$  متر مکعب بر ثانیه در بهمن ماه ۱۳۹۵ می‌رسد. موقعیت ظهور چشمه تنگ سرد در کمر شکسته تاقدیس کی‌نو و در راستای زون خرد شده حاصل از عملکرد گسل‌های پی‌سنگی قرار دارد. به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان کارستی تغذیه کننده چشمه فوق از روش هیدروگراف تخلیه استفاده شده است. تجزیه و تحلیل هیدروگراف تخلیه چشمه تنگ سرد در سال آبی ۹۵-۹۶ نشان می‌دهد که یک حوضه کارستی برفگیر با رژیم تغذیه برفی- بارانی در سرتاسر سال، تغذیه چشمه و سایر خصوصیات هیدرودینامیکی مخزن را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به نحوی که اثرات تغذیه ناشی از برف در دوره خشک قابل ملاحظه است. درصد جریان پایه و سریع چشمه تنگ سرد در سال آبی ۹۶-۹۵ به ترتیب  $64/58$  و  $35/42$  است و حجم کل ذخیره دینامیک در سال بیلان حدود  $10^6 \times 38/33$  متر مکعب (معادل آبدهی  $1/2$  متر مکعب بر ثانیه) تخمین زده شد. رژیم جریان در آبخوان کارستی چشمه تنگ سرد به صورت مجرای- افشان است.

واژه های کلیدی: چشمه تنگ سرد، هیدروگراف تخلیه، حوضه کارستی برفگیر، رژیم تغذیه

## مقدمه

زاگرس حدود ۵۵٪ از سنگ های کربناته کارستی ایران را شامل می شود (۳۷). آبخوان های کارستی، مخازن زیرزمینی ناهمگنی اند که آب در شبکه های مرتبط به هم، شکاف ها، مغاره ها و مجاری درون آنها جمع می شود. سطح ایستابی در آنها، پیوسته نیست و دارای شیب منطقه ای و محلی است مناطق کارستی آب آشامیدنی ۲۲ درصد از جمعیت جهان را تامین می کنند (۲۴).

مهمترین خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان های کارستی شامل تکامل تدریجی، منحصر به فرد بودن، غیر یکنواختی، ناهمسانی در هدایت هیدرولیکی،

مطالعه منابع آب سازندهای کارستی، به دلیل تامین آب مصرفی جمعیت قابل توجهی از مردم مناطق مختلف جهان دارای اهمیت بسیار زیادی است. از عمده چالشهای پیش رو در ایران کاهش منابع آبی و محدودیت بهره برداری از آبهای زیرزمینی است. بخش عمدهای از این منابع به شکل منابع آب کارست در سازندهای مستعد توسعه کارست مانند سازندهای کربناته در زاگرس شکل گرفته اند. سازندهای کارستی کربناته در حدود ۱۱٪ از وسعت ایران و رشته کوههای

مشاهدات ژئوفیزیکی و غارشناسی، اطلاعاتی در مورد خصوصیات هندسی و هیدرولیکی سیستم‌های کارستی ارایه می‌نمایند، اما در بیشتر موارد با استفاده از داده‌های سری زمانی هیدروگراف تخلیه چشمه و منحنی‌های فروکش می‌توان با هزینه کمتر در رابطه با خصوصیات سفره آبدار کارستی اظهار نظر نمود (۳۲). به ویژه شکل و نرخ افت منحنی فروکش اطلاعات با ارزشی را از خصوصیات هیدرودینامیکی و هیدروژئولوژیکی آبخوان زهکش شده توسط چشمه فراهم می‌کند. حتی با اینکه رویهم رفته ممکن است شکل منحنی‌های فروکش (شیب تخلیه) در یک چشمه معمولاً به هم شبیه باشد، اما با این حال از یک آبخوان (یا یک چشمه) به آبخوان (یا چشمه) دیگر متفاوت است. همچنین با استفاده از تجزیه و تحلیل هیدروگراف چشمه‌های کارستی می‌توان نوع جریان (افشان یا مجرای)، سهم هر نوع جریان، نوع و حجم آب ورودی، رژیم تغذیه (بارانی یا برفی) و حتی روند تغذیه یک چشمه کارستی را تعیین نمود.

باقری و همکاران با مطالعه‌ی منحنی فرود هیدروگراف پنج چشمه در آبخوان کارستی حوضه‌ی الوند درجه‌ی توسعه یافتگی کارست تعیین و نوع زیر رژیم چشمه‌ها مشخص شد، که نشان دهنده‌ی تأثیر تفاوت‌های محلی و ژئومورفولوژی سطحی کارست بر ویژگی‌های هیدرودینامیکی آبخوان کارستی است (۳).

کواتا و همکاران در تحقیقات خود بیان داشتند که بررسی‌های هیدرودینامیکی آبخوان، شامل تجزیه و تحلیل هیدروگراف چشمه‌های کارستی منطقه است. هیدروگراف چشمه‌ها بازتاب مستقیم همه فرآیندهای فیزیکی است که در داخل آبخوان، جریان آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۳۴). کریسیک و بوناچی در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که تجزیه و تحلیل منحنی فرود هیدروگراف روش مناسبی برای بررسی‌های هیدرولوژیکی است که می‌توان برای تفسیر ویژگی‌های آبخوان کارستی از آن استفاده کرد (۳۳). فیرو با بررسی چندین آبخوان کارستی دریافت در

دوگانگی تغذیه، دوگانگی تراوش، دوگانگی تخلخل، دوگانگی جریان و تغییرپذیری است. در طی تکامل تدریجی، آبخوان کارستی توسط جریان یافتن آب‌های حاوی دی‌اکسیدکربن با قابلیت انحلال سنگ‌های کربناته، توسعه می‌یابد. ویژگی منحصر به فرد بودن آبخوان کارستی در واقع به این حقیقت اشاره دارد که علی‌رغم شباهت‌های زیاد بین سیستم‌های کارستی، هر سیستم کارستی دارای ویژگی خاص خود بوده و قابلیت تعمیم به سایر سیستم‌ها را ندارد. خصوصیت غیر یکنواختی آبخوان کارستی، در واقع بیان می‌کند که آبخوان کارستی به صورت فضایی تغییرات زیادی را دارد. ویژگی ناهمسانی آبخوان کارستی بیانگر آن است که خصوصیات هیدرولیکی آبخوان به جهت گیری اجزاء پیکره زمین‌شناسی وابسته‌اند. به عنوان مثال، هدایت هیدرولیکی به طور معمول در جهت شکستگی‌های بزرگ و مجاری بزرگ، بیشتر است. دوگانگی تغذیه آبخوان کارستی به نوع تغذیه ارتباط دارد، یعنی که ممکن است از نوع خودزا (از طریق نواحی کارستی) یا دگرزا (از طریق نواحی غیر کارستی) باشد. ویژگی دوگانگی نفوذ نیز به نفوذ آب از طریق خاک و زون اشباع (نفوذ انتشاری) یا نفوذ از طریق فروچاله‌ها و چاه‌ها (نفوذ متمرکز) می‌پردازد. خصوصیت دوگانگی تخلخل و جریان نیز بیان می‌کند که در آبخوان کارستی دو نوع تخلخل، تخلخل بین دانه‌ای و تخلخل ثانویه مثل ناپیوستگی‌های موجود در سنگ و دو نوع جریان (خطی و آشفته) می‌تواند وجود داشته باشد. جریان آب از میان تخلخل بین دانه‌ای از نوع خطی و جریان آب از طریق مجراها از نوع آشفته خواهد بود. چشمه‌های کارستی به طور معمول تغییرات سریع دبی و کیفیت آب را نشان می‌دهند. پاسخ هیدرودینامیکی مشاهده شده در حوضه‌های کارستی به شرایط جریان در آنها بستگی دارد (۲). موارد یاد شده ضرورت مطالعات کارستی را به طور خلاصه بیان می‌نماید. هرچند که داده‌های به دست آمده از بررسی‌های صحرائی و هیدروژئولوژیکی کلاسیک، آزمایشات ردیابی،

### مواد و روش

ابتدا آمار دبی چشمه تنگ سرد که با استفاده از دستگاه مولینه نوع گارلی ۶۲۲، به صورت ماهیانه اندازه گیری شده است و همینطور اشل آن که برای سال آبی ۹۵-۹۶ به صورت روزانه توسط افراد محلی قرائت شد. سپس با استفاده از نمودار دبی-اشل میزان آبدهی چشمه برای مقادیر قرائت شده اشل به صورت روزانه به دست آمد. در مرحله بعد جهت تعیین حجم ذخیره دینامیک، نوع جریان و سایر خصوصیات تغذیه ایی چشمه کارستی تنگ سرد، هیدروگراف تخلیه چشمه با استفاده از دبی روزانه آن ترسیم گردید.

### وضعیت هیدروژئولوژیکی و زمین شناسی عمومی

#### منطقه مورد مطالعه

موقعیت ظهور چشمه تنگ سرد در ۱۶۰ کیلومتری شمال شرق اهواز، ۵۵ کیلومتری شمال شرق شهر لالی در استان خوزستان قرار دارد. این منطقه در زون زاگرس چین خورده واقع شده است. سازندهای زمین شناسی این منطقه به ترتیب کاهش سن شامل سازند کژدمی با لیتولوژی مارن، شیل و آهک های مارنی (آلبین - سنومانین)، سازند کارستی ایلام - سروک با لیتولوژی آهک (آلبین - سانتونین)، شیل و مارن های پابده - گورپی (کامپانین - الیگوسن) و رسوبات آبرفتی عهد حاضر می باشند (شکل ۱). جزئیات لیتولوژی این سازندها توسط درویش زاده (۶) و آقاناتی (۱) شرح داده شده اند مهمترین تاقدیس های حاوی آب در منطقه مورد مطالعه تاقدیس های کی نو و لیلی می باشند. هر دو تاقدیس دارای روند NW-SE همراستا با روند عمومی رشته کوه های زاگرس، یال شمال شرقی تاقدیس کی نو با یال جنوب غربی تاقدیس لیلی در بیشتر قسمت ها با هم ادغام شده اند، بطوریکه تفکیک واحدهای آبدار کارستی آنها از هم مشکل بنظر می رسد. هسته تاقدیس کی نو از سازند آهکی ایلام - سروک تشکیل شده است. ضخامت این سازند در منطقه مورد مطالعه حدود ۶۰۰ متر بوده که

ارتباط با استفاده از ضریب فروکش، جهت ارزیابی شرایط هیدرولوژیکی و هندسی آبخوان کارستی، تنها استفاده از رابطه ی خطی مایلت کافی نیست، بلکه در ارزیابی شرایط آبخوان کارستی به خصوص در دوره ی خشک، از داده های هیدروشیمیایی و مدل های عددی میتوان کمک گرفت (۲۲).

چانگ و همکاران بیان داشتند تغییرات کمی و کیفی چشمه های کارستی تا حدود زیادی گویای ویژگی های هیدودینامیکی سامانه های کارستی منطقه است با بهره گیری از نمودار هیدروگراف چشمه ها، داده های جالب توجهی درباره سامانه زهکشی محیط های درز و شکاف دار و مجرایبی به دست می آید (۱۷).

مطالعات دیگر صورت گرفته چه در داخل از جمله کریمی، (۱۱)، کریمی (۱۳)، کریمی وردنجانی (۱۲)، ریاحی پور و کلانتری (۸)، چیت سازان و همکاران (۵)، صاحب دل (۱۰)، شبان (۹)، رحمتی و همکاران (۷)، بهرامی و همکاران (۴) و ... و چه در مجلات معتبر خارجی از جمله دریس (۲۰)، رئیسی و کریمی (۳۸)، بوناسکی (۱۶)، دیواندل و همکاران (۱۹)، دیسماریس و روجستاکزر (۱۸)، پاناگوپولوس و لامبارکیس (۳۶)، کریمی و همکاران (۲۶ و ۲۸)، توبیاس و همکاران (۴۲)، ریسی (۳۷)، فلوری و همکاران (۲۳)، لونگ (۳۵)، فیرو (۲۱)، بریک و هرگارتن (۱۵)، کودا و همکاران (۳۴)، هاتیپولو و همکاران (۲۵)، کاوسی و رئیسی (۳۰) و ... از تجزیه و تحلیل هیدروگراف و منحنی های فروکش برای تعیین خصوصیات هیدرو دینامیکی آبخوان های کارستی کمک گرفته اند. در این تحقیق قصد بر این است تا با استفاده از تجزیه و تحلیل هیدروگراف تخلیه چشمه کارستی تنگ سرد یکی از بزرگترین چشمه های کارستی استان خوزستان و تاکنون مورد مطالعه قرار نگرفته، علاوه بر تعیین خصوصیات هیدرو دینامیکی، محاسبه ذخیره دینامیک و تعیین نوع جریان آبخوان کارستی چشمه مورد بررسی قرار گیرد.

مهمترین سیماهای کارستی منطقه، چشمه تنگ سرد با متوسط آبدهی سالانه بیش از  $1/2 \text{ m}^3/\text{s}$  و متوسط هدایت الکتریکی بیش از ۲۴۲ میکرو موس و مهمترین تخلیه کننده سیستم کارستی کی نو می باشد. راندگی مفارون با قرار دادن سازند ایلام - سروک در مقابل سازند پابده - گورپی باعث ظهور چشمه تنگ سرد در یال جنوب غربی کی نو شده است.

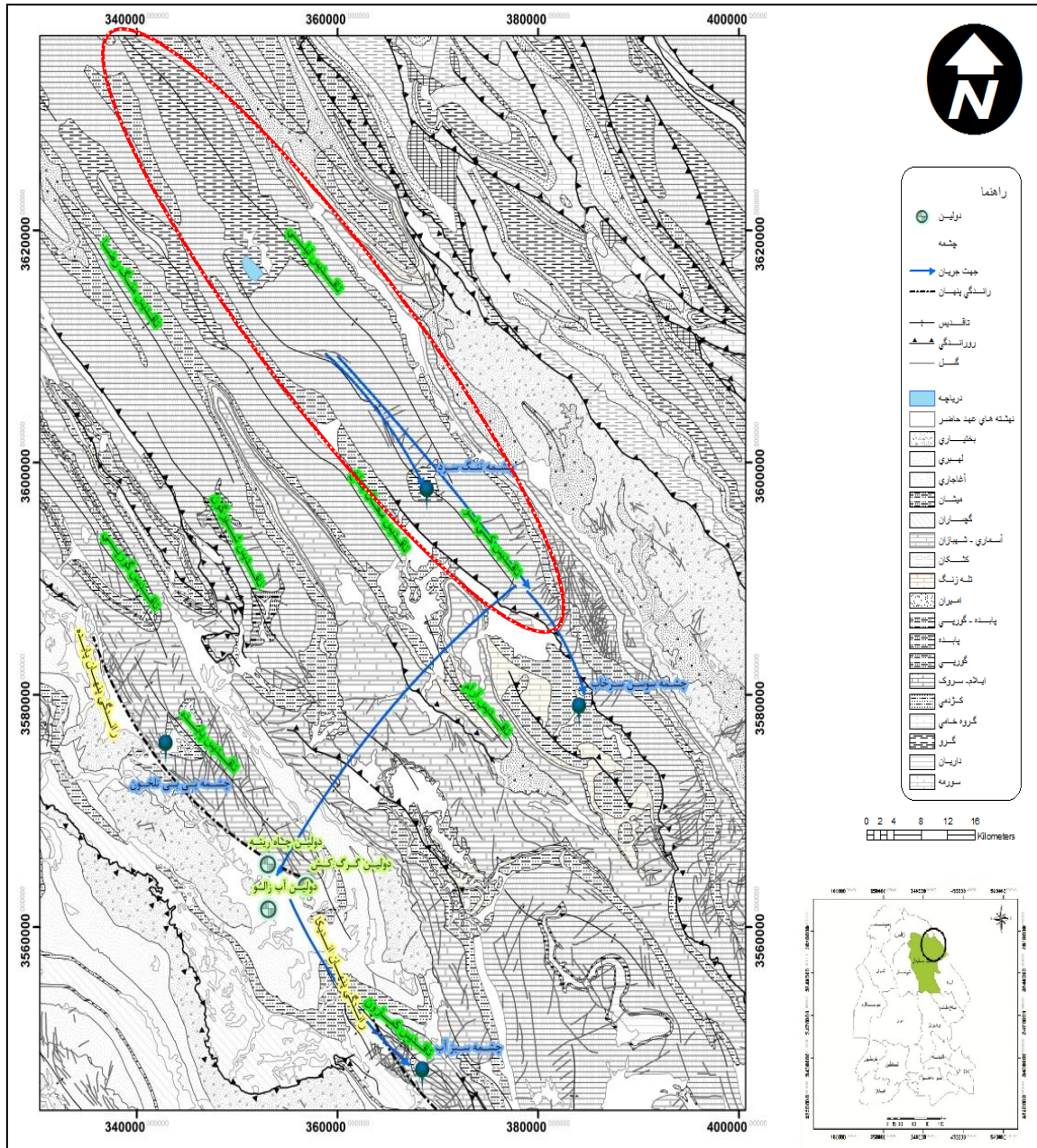
### تجزیه و تحلیل هیدروگراف و منحنی فرود چشمه کارستی تنگ سرد

از آنجا که تمام آب عبوری از یک آبخوان کارستی به طور معمول از چشمه خارج می شود، بنابراین تجزیه و تحلیل تغییرات دبی در این چشمه ها و عوامل هیدروژئولوژیکی کنترل کننده وابسته به آنها می توانند منعکس کننده خصوصیات کل سیستم کارستی باشند و به ارزیابی ذخیره، پتانسیل زهکشی، درجه کارستی شدن کمک نماید (۴۱). در شکل ۲ هیدروگراف تخلیه چشمه تنگ سرد همراه با نوسانات زمانی بارندگی و همچنین پارامترهای فیزیکی - شیمیایی برای سال آبی ۹۶-۹۵ بر اساس بده روزانه ترسیم شده است.

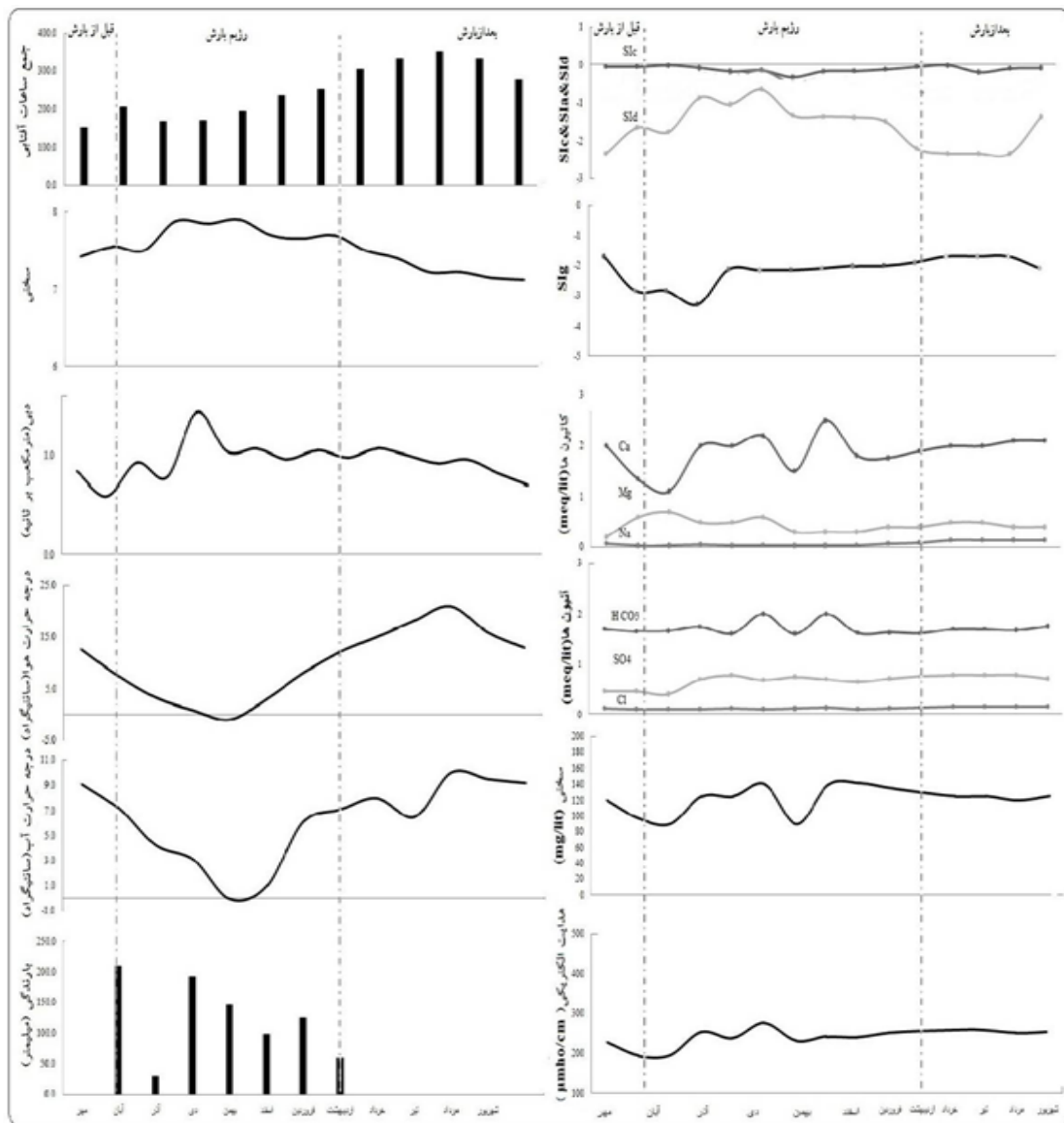
این هیدروگراف شامل ۸ دوره فروکش می باشد (شکل ۳). هر ۸ منحنی فروکش دارای ۲ ضریب فروکش (میکرو رژیم آبدهی)  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  می باشند. اختلاف این ضرایب فروکش با یکدیگر قابل ملاحظه است (جدول ۱). هر منحنی فروکش یک منحنی نیمه لگاریتمی است که در آن آبدهی روزانه چشمه با مقیاس لگاریتمی در مقابل زمان ترسیم می شود. در شکل (۳) ضرایب فروکش به صورت خطوط مستقیم بر روی منحنی هیدروگراف نشان داده شده اند. شیب هر خط بیانگر نحوه تخلیه و رژیم های ویژه آبخوان است که این ضرایب از رابطه زیر قابل محاسبه می باشد:

$$\alpha = (\log Q_2 - \log Q_1) / 0.434t \quad (1)$$

توسط سازند نفوذناپذیر گرو در زیر و سازندهای نفوذناپذیر پابده - گورپی به صورت یک نوار باریک در یال جنوبی غربی از جوانب محصور شده است. مهمترین سیمای تکتونیکی در منطقه مورد مطالعه گسل راستالغز چپبر بالا رود و راستبر ایذه است که گسل های اصلی و بنیادین در کمربند زاگرس چین خورده ایران می باشند. این سامانه گسلی، نقش اساسی در ایجاد پیچیدگی های زمین شناسی ساختمانی و چینه شناسی محدوده مورد مطالعه ایفا نموده است. مهمترین شواهد سینماتیکی این زون برشی عبارت است از: ایجاد چین های پوششی (ان اشلان)، بریدن و فرسایش هسته تاقدیس های مسیر و تشکیل دره ها و تنگه ها کارستی، تشکیل آبخوان های کارستی که سطح حوضه آبگیر آنها دارای افزایش و یا کاهش سطح می باشند، خرد شدگی های فراوان در دماغه تاقدیس های مسیر، تشکیل گسل هایی مانند گسل های عرضی و مورب امتداد لغز و مجموعه راندگی هایی مانند مفارون. گسل های امتداد لغز عرضی و مورب نقش مهمی در شکل گیری کانال های زیرزمینی داشته و بین آبخوان هایی که دارای افزایش و کاهش سطح هستند، موازنه آبی برقرار می کنند. راندگی مفارون با روند عمومی شمال غرب - جنوب شرق نقش سد هیدروژئولوژیکی در ظهور چشمه کارستی تنگ سرد دارد. علاوه بر آن، اثرات عملکرد این گسل موارد زیر را نیز به دنبال داشته است: ایجاد یک زون گسله شدیداً خرد شده و قائم شدن ناگهانی شیب لایه ها در موقعیت ظهور چشمه مذکور، ایجاد شکستگی هایی به خصوص از نوع طولی که نقش مهمی در جهت دهی به جریان آب و توسعه آبخوان کارستی کی نو ایفا می نمایند. سیماهای کارستی مهم نظیر دره های خشک تکتونیکی، غارهای کوچک، دولین ها، شافت های پنهان، کارن ها، گرایک ها و در تاقدیس کی نو قابل مشاهده می باشند. از جمله



شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲- هیدروگراف چشمه تنگ سرد و نوسانات زمانی پارامترهای فیزیکی- شیمیایی در سال آبی ۹۵-۹۶

(نمایه اشباع کلسیت = Si, نمایه اشباع دولومیت = Sd, نمایه اشباع ژنسیس = Sg, اسیدیته = PH)

بارندگی‌های روی داده در آبان ماه ۱۳۹۵ به افزایش تقریباً چشمگیری حدود ۱/۵ متر مکعب بر ثانیه در بهمن ماه ۱۳۹۵ می‌رسد. همچنین نقاط اوج اتفاق افتاده در رژیم‌های قبل و بعد از بارندگی از لحاظ میزان دبی بهم نزدیک، ولی از لحاظ شیب و مقادیر ضرایب فروکش ۱۰٪ با همدیگر اختلاف دارند (جدول ۱). در ذیل به تجزیه و تحلیل هیدروگراف در رژیم‌های مذکور

Q<sub>1</sub> و Q<sub>2</sub> (بر حسب متر مکعب بر ثانیه) به ترتیب آبدهی در زمان‌های t<sub>1</sub> و t<sub>2</sub> می‌باشند. همانطور که هیدروگراف نشان می‌دهد، بیشترین نوسانات آبدهی مربوط به زمان بارندگی است. این مسئله به دلیل بارندگی‌هایی بوده که در این موقع از سال در سطح حوضه آبرگیر چشمه رخ داده است. به طوریکه آبدهی چشمه از حدود ۰/۵ متر مکعب بر ثانیه در پاسخ به

به دنبال افزایش دما و افزایش ذوب برف میزان ضرایب  $\alpha$  کمترین مقدار خود را نشان میدهد. بعد از این رژیم جریان با افزایش دما دبی چشمه تنگ سرد به طور جزئی افزایش یافته تا در اواسط تیر ماه پیک ناشی از ذوب برف مشاهده می شود. در رژیم جریان هشتم میکرو رژیم  $\alpha=0/026$ ، جریان خروجی از مجاری و غارها را نشان می دهد که در آنها جریان متلاطم غالب است. حجم زیادی آب این سیستم در مدت زمان کوتاه ۶ روزه به سرعت تخلیه شد. میکرو رژیم  $\alpha=0/0083$ ، تخلیه از سیستم شکاف های به هم پیوسته با ارتباط خوب را نشان می دهد. دوام تخلیه از این سیستم خلل و فرج دار ۱۹ روز است. بنابراین میکرو رژیم  $\alpha$  و  $\alpha=0/0014$ ، جریان خروجی ذخایر آبخوان کارستی با تخلخل انحلالی دارای غار، مجاری و توسعه شکاف های عریض انحلالی نشان می دهند. میکرو رژیم  $\alpha=0/0014$ ، جریان خروجی از مجاری ریز آبخوان که به طور جزئی کارستی شده اند را نشان میدهد. دوام تخلیه از این میکرو رژیم ۶۳ روز است.

پرداخته شده است. ضریب  $\alpha$  نشانگر توانایی تخلیه آب زیرزمینی می باشد که نتیجه خصوصیات هیدروژنولوژیکی محیط یعنی تخلخل موثر و قابلیت انتقال آبخوان است. بیشتر بودن ضریب  $\alpha$  نشان دهنده ذخیره دینامیکی موقت و تخلیه سریع آبخوان و کم بودن آن نشانه ذخیره دینامیکی کم و زمان ماندگاری زیاد آب و دائمی بودن تخلیه چشمه ها در آبخوان می باشد. بر اساس هیدروگراف چشمه تنگ سرد (شکل ۳)، منحنی فروکش اولی بدون تأخیر زمانی با شروع بارندگی مناسب به بارش پاسخ می دهد. در اولین نقطه اوج مجاری بزرگ سریعاً تخلیه می شود و منحنی در ابتدا روند نزولی تیز دارد که مربوط به تخلیه مجاری بزرگ نزدیک چشمه است. در ادامه منحنی روند نزولی خود را پی میگیرد میزان ضریب فروکش در این روند کمتر از مرحله قبل بوده که معرف تخلیه مجاری بزرگی است که آب را از نواحی دورتر به خروجی چشمه هدایت می کنند و همچنین منافذ ریز این آبخوان کارستی است. بعد از این مرحله منحنی به دلیل نبود بارش چشم گیر در ماه آذر تا نیمه دی ماه روند نزولی به خود می گیرد. بعد از آن با شروع بارش های جدید روند صعودی در هیدروگراف دیده میشود. همانطور که در جدول ۱- مشاهده می شود در رژیم سوم بارش بیشترین درصد جریان سریع (۹٪ و ۱۵٪) و بالاترین مقادیر ضرایب فروکش ( $\alpha=0/164$  و  $\alpha=0/123$ ) به دست آمده است. که نشان میدهد بخش اعظمی از جریان خروجی چشمه ناشی از تخلیه مجاری کانالی است.

رژیم اول و دوم شرایطی مشابه رژیم سوم دارند. در رژیم چهارم ( $\alpha=0/0038$  و  $\alpha=0/0036$ )، پنجم ( $\alpha=0/0037$  و  $\alpha=0/0057$ ) و ششم ( $\alpha=0/0023$  و  $\alpha=0/0017$ ) به ترتیب مقادیر  $\alpha$  از رژیم اول کمتر است. در این رژیم ها تخلیه آب به حد پایه نزدیکتر شده و عمدتاً از مجاری دوردست و ذخیره درون سیستم تامین می شود همچنین تغییرات دبی نیز در طول این دوره نسبت به رژیم اول کمتر است. در رژیم هفتم جریان ( $\alpha=0/0026$  و  $\alpha=0/0015$ ) بعد از آخرین بارندگی و

جدول ۱- ضرایب فروکش و درصد جریان پایه و سریع چشمه تنگ سرد در سال آبی ۹۶-۹۵

سال آبی	دوره‌های فروکش	طول دوره فروکش	ضرایب دوره فروکش	مقدار ضرایب	درصد جریان پایه	درصد جریان سریع	دبی ماکزیمم ( $m^3/s$ )
۱۳۹۵	۱	۱۲	$\alpha_1$	۰/۰۳۶	۸۵/۱۲	۱۴/۸۸	۰/۸۴
		۳۱	$\alpha_2$	۰/۰۰۶۶۸	۹۱/۵۲	۸/۴۸	۰/۵۹
	۲	۵	$\alpha_1$	۰/۰۴۴	۹۱/۹۳	۸/۰۷	۰/۹۳
		۲۰	$\alpha_2$	۰/۰۰۴۲۱	۹۶/۴۷	۳/۵۳	۰/۷۸
	۳	۴	$\alpha_1$	۰/۱۶۴	۸۴/۷۲	۱۵/۲۸	۱/۴۴
		۷	$\alpha_2$	۰/۰۱۲۳	۹۱	۹	۱/۰۴
	۴	۴	$\alpha_1$	۰/۰۳۶	۹۴/۸۶	۵/۱۴	۱/۰۷
۱۳۹۶		۱۹	$\alpha_2$	۰/۰۰۳۸	۹۶/۸۷	۳/۱۳	۰/۹۶
	۵	۳	$\alpha_1$	۰/۰۲۳	۹۶/۶۷	۳/۳۳	۱/۰۵
		۱۶	$\alpha_2$	۰/۰۰۳۷	۹۷/۴۵	۲/۵۵	۰/۹۸
	۶	۳	$\alpha_1$	۰/۰۱۷	۹۶/۷۳	۳/۷	۱/۰۷
		۱۱	$\alpha_2$	۰/۰۰۵۷	۹۷	۳	۱
	۷	۶	$\alpha_1$	۰/۰۱۵	۹۵/۵۵	۴/۴۵	۱/۰۱
		۱۷	$\alpha_2$	۰/۰۰۲۶	۹۷/۸۳	۲/۱۷	۰/۹۲
	۸	۶	$\alpha_1$	۰/۰۲۶	۹۲/۷۱	۷/۲۹	۰/۹۶
		۱۹	$\alpha_2$	۰/۰۰۸۳	۹۲/۶۸	۷/۳۲	۰/۸۲
		۶۳	$\alpha_3$	۰/۰۰۱۴	۹۵/۷۱	۴/۲۸	۰/۷۰
کل دوره	۸	۲۵۳		۶۴/۵۸	۳۵/۴۲	۱/۴۴	

### بررسی نوع جریان در آبخوان کارستی چشمه تنگ سرد

با استفاده از هیدروگراف چشمه تنگ سرد، درصد جریان پایه و سریع بوسیله تکنیک‌های تجزیه (جداسازی) هیدروگراف، برای میکرو رژیم‌های  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  در تمامی دوره‌های فروکش و کل دوره مشخص گردید (جدول ۱). نتایج مندرج در این جدول نشان می‌دهد که در کل دوره (۶۴/۵۸٪) جریان پایه و ۳۵/۴۲٪ (جریان سریع)، درصد جریان پایه از درصد جریان سریع کمی بیشتر است. و از طرف دیگر ضریب

تغییرات درجه حرارت آب چشمه (بیشتر از ۵ درصد) است. معیارهای پیشنهادی رئیسی و همکاران (۳۹) و رئیسی و کرمی (۳۸) برای تعیین جریان افشان و مجرای در جدول (۲) آمده است. بنابراین بر اساس این معیارها رژیم جریان در آبخوان کارستی چشمه-تنگ سرد به صورت مجرای-افشان است. بطوریکه گرایش به سمت مجرای بودن جریان، بیشتر از پایه می‌باشد.



جدول ۲- پارامترهای تعیین کننده سیستم جریان در مناطق کارستی رئیسی و همکاران (۳۹) و رئیسی و کرمی (۳۸)

نوع جریان	مورفولوژی سطحی	ضریب تغییرات سختی کل (درصد)	انحراف معیار درجه حرارت (C°)	نسبت جریان پایه و سریع
مجرایی	چاهک، درزه و شکاف های آهک برهنه	رژیم کل و رژیم های فرعی بیشتر از ۱۰ درصد	> ۱/۵	قسمت اعظم بده چشمه از جریان سریع
مجرایی-افشان	چاهک، درزه و شکاف های آهک برهنه	رژیم کل بیشتر از ۱۰ درصد و رژیم های فرعی کمتر از ۱۰ درصد	< ۱/۵	جریان سریع بیش از جریان پایه
افشان-مجرایی	آهک برهنه و پوشش خاک	رژیم کل بیشتر از ۱۰ درصد و رژیم های فرعی کمتر از ۱۰ درصد	< ۱/۵	جریان سریع کمتر از جریان پایه
افشان	آهک برهنه و پوشش خاک	رژیم کل کمتر از ۱۰ درصد	<< ۱/۵	قسمت اعظم بده چشمه از جریان پایه

### تعیین حجم ذخیره دینامیکی آبخوان کارستی چشمه تنگ سرد

برای تعیین حجم ذخیره دینامیکی آبخوان های کارستی روش های مختلفی توسط محققین ارائه شده است. کرسیک با استفاده از روابط مایلپیت روشی جهت محاسبه حجم ذخیره دینامیک برای سیستم های کارستی که دارای چندین رژیم در دوره فروکش هستند، ارائه نموده است که از رابطه زیر محاسبه می شود (۳۱):

$$V_0 = V_1 + V_2 + V_3 = [Q_1/\alpha_1 + Q_2/\alpha_2 + \dots + Q_{tn}/\alpha_{tn}] \times 86400 \text{ S } [m^3] \quad (2)$$

$$V^* = Q^*/\alpha_3 \quad (3)$$

$$V = V_0 - V^* \quad (4)$$

$V_0, V, V^*$  به ترتیب حجم ذخیره دینامیکی (بر حسب  $m^3$ )، حجم تمام آب زیرزمینی تخلیه شده در ابتدای دوره فروکش (بر حسب  $m^3$ ) و حجم آب باقی مانده در آبخوان کارستی در بالای سطح تراز چشمه در انتهای دوره فروکش (بر حسب  $m^3$ ) می باشند.

همچنین  $Q_0$  و  $Q_{tn}$  به ترتیب میزان دبی (بر حسب  $m^3/sec$ ) در شروع و پایان دوره فروکش می باشند. در این تحقیق نیز، از روش کرسیک (۳۱) جهت تعیین حجم ذخیره دینامیک آبخوان کارستی چشمه تنگ سرد بهره گرفته شده است. بر این اساس ابتدا منحنی-های فروکش چشمه کارستی تنگ سرد در سال آبی ۹۵-۹۶ ترسیم گردید (شکل های ۳-الف تا ۳-خ). در این شکل ها، میکرو رژیم تخلیه و ارتباط حجم آب های تخلیه شده چشمه مذکور با این میکرو رژیم ها برای تمامی منحنی های فروکش در سال آبی فوق بخوبی نمایش داده شده است. سپس با تعیین  $V$  و  $V^*$ ، حجم ذخیره دینامیک برای هر دوره فروکش و برای کل دوره ها بدست آمد (جدول ۳). بر این اساس، حجم کل ذخیره دینامیک در سال بیلان حدود  $38/33 \times 10^6$  متر مکعب (معادل آبدهی  $1/2$  متر مکعب بر ثانیه) تخمین زده شد. این مطلب پتانسیل سیستم کارستی چشمه تنگ سرد را در تخلیه طولانی مدت و ذخیره دینامیک با درصد ماندگاری بالاتر نشان می دهد.

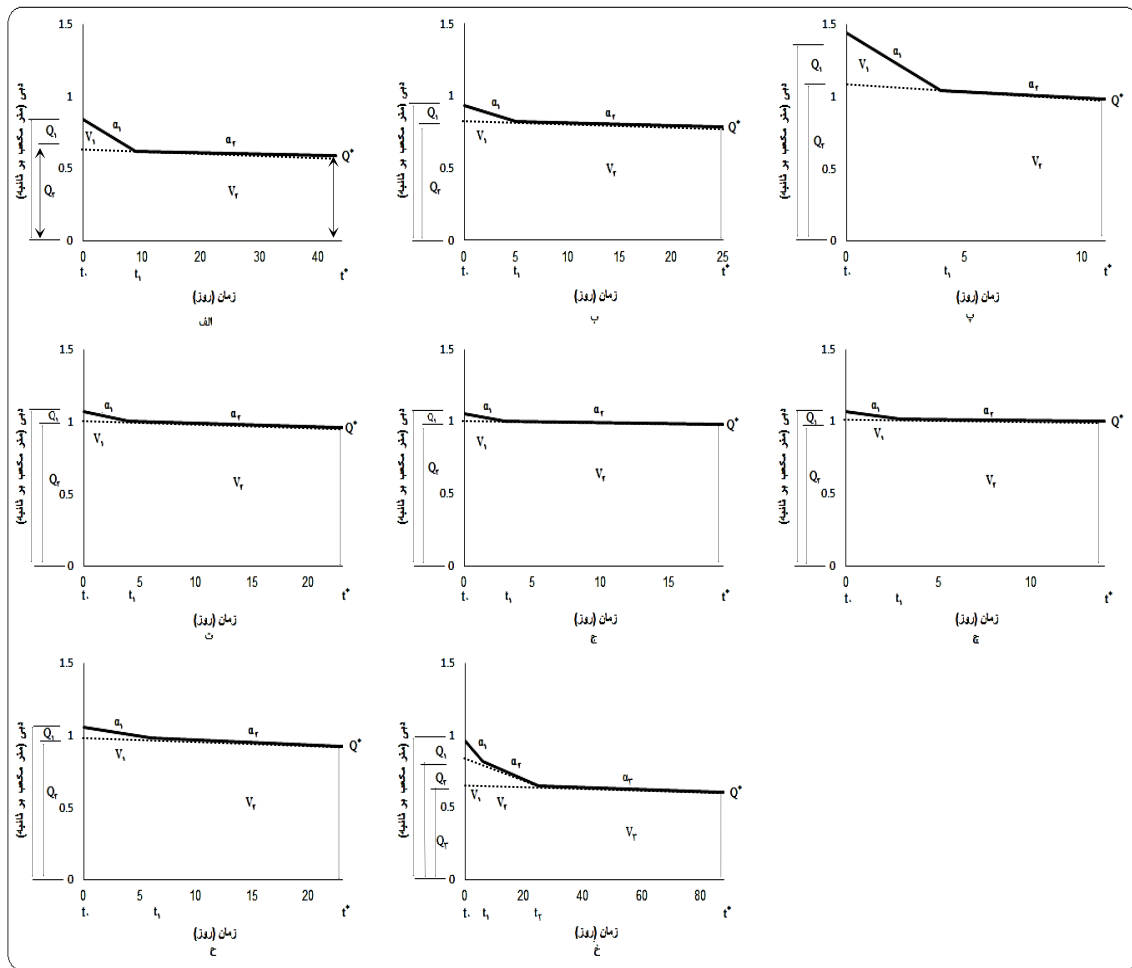
### تجزیه و تحلیل حجم ذخیره دینامیکی آبخوان کارستی چشمه تنگ سرد

همانطور که جدول (۱) نشان می‌دهد، بیشترین حجم ذخیره دینامیک مربوط به رژیم بعد از بارندگی و دوره فروکش هشتم است علت این مسئله را می‌توان چنین توجیه کرد: ۱- بالا بودن طول مدت تأثیر دوره فروکش مذکور نسبت به دیگر دوره‌های فروکش، ۲- بالا بودن طول مدت تأثیر میکرو رژیم  $\alpha_3$  نسبت به  $\alpha_2$  نسبت به میکرو رژیم  $\alpha_1$  در رژیم مذکور، ۳- وجود میکرو رژیم  $\alpha_3$  در دوره فروکش مذکور (جدول ۱). مسئله بعد اینکه؛ پایین‌ترین حجم ذخیره دینامیک به دوره فروکش سوم مربوط می‌شود. علت این موضوع:

۱- پایین بودن طول مدت تأثیر دوره فروکش مذکور نسبت به دیگر دوره‌های فروکش، ۲- بالا بودن مقدار ضریب  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  در دوره فروکش مذکور نسبت به مقدار همین ضریب در دوره‌های فروکش دیگر ۳- پایین بودن طول مدت تأثیر میکرو رژیم  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  نسبت به همین میکرو رژیم در دوره‌های فروکش دیگر است (جدول ۱). با اینکه قبل از این دوره فروکش بارندگی-های نسبتاً خوبی رخ داده اما به نظر می‌رسد که هنوز مخزن کارستی به حد کافی پر نشده است و بلافاصله پس از بارندگی با فرود ناگهانی منحنی فرود در این دوره، حجم ذخیره دینامیک نیز به یکباره افت می‌کند.

جدول ۳- حجم ذخیره دینامیک چشمه تنگ سرد در دوره‌های فروکش و کل دوره

سال آبی	نوع رژیم	طول دوره فروکش (روز)	دوره فروکش	$10^6 \times V_0$ (م <sup>۳</sup> )	$10^6 \times V_1$ (م <sup>۳</sup> )	$10^6 \times V_2$ (م <sup>۳</sup> )
۹۶-۱۳۹۵	بارندگی	۳۷	۱	۹/۴۶	۷/۵	۱/۹۶
		۲۱	۲	۱۷/۸۳	۱۵/۶	۲/۲۳
		۱۲	۳	۸/۰۶	۶/۸۸	۱/۱۸
		۲۰	۴	۲۴/۳۹	۲۰/۹	۳/۴۹
		۱۷	۵	۲۶/۸۳	۲۲/۶۵	۴/۱۸
		۱۳	۶	۲۰/۵۷	۱۵	۵/۵۷
	بعد از بارندگی	۲۳	۷	۳۶/۳۸	۳۰/۲۴	۶/۱۴
		۸۸	۸	۵۴/۹۲	۴۱/۳۵	۱۳/۵۷
کل دوره				۱۹۸/۴۴	۱۵۵/۷۹	۳۸/۳۳



شکل ۳- الف تا ۳-خ - به ترتیب منحنی های فروکش اول تا هشتم چشمه کارستی تنگ سرد در سال آبی ۹۶-۹۵، توضیحات در داخل متن آورده شده است

### نتیجه گیری

طوریکه تأثیر آن بر روی منحنی های فرود بارز و مشخص است. این مسئله همراه با بالا بودن ضریب تغییرات آبدهی، نوسانات قابل ملاحظه هدایت الکتریکی و اکثر پارامترهای فیزیکی- شیمیایی به ویژه درجه حرارت آب چشمه، تاییدی بر مطالب فوق است.

نتایج حاصل از هیدروگراف چشمه کارستی تنگ- سرد برای سال آبی ۹۶-۹۵ نشان می دهد که آبخوان کارستی تغذیه کننده چشمه دارای رژیم جریان مجرای-افشان بوده و از ذخیره قابل ملاحظه ای برخوردار است. همچنین رژیم تغذیه چشمه از لحاظ نوع بارندگی، دارای رژیم برفی- بارانی می باشد. به

## منابع

۱. آقائباتی، ع. ۱۳۸۵. زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ص ۵۸۶.
۲. باقری، س. یمانی، م. جعفری‌گلو، م. حاجی کریمی، ح. مقیمی، ا. ۱۳۹۴. ارزیابی ویژگی های هیدرودینامیکی آبخوانه‌های کارستی با استفاده از آنالیز سری‌های زمانی. مطالعه موردی: آبخوانه‌های کارستی گیلان غرب و خورین در استان کرمانشاه پژوهش های ژئومورفولوژی کمی سال دوم. شماره ۳. ص ۱-۱۶.
۳. باقری، س. یمانی، جعفری‌گلو، م. حاجی کریمی، ح. مقیمی، ا. ۱۳۹۴. بررسی توسعه یافتگی ویژگی‌های هیدرودینامیکی سامانه های کارستی با استفاده از تجزیه و تحلیل منحنی فرود هیدرو گراف. مطالعه موردی: آبخوانه‌های کارستی حوضه رودخانه الوند. پژوهش های جغرافیای طبیعی. شماره ۳. ص ۳۳۳-۳۴۶.
۴. بهرامی، ش. زنگنه اسدی، م. ع. جهانفر، ع. ۱۳۹۵. ارزیابی توسعه کارست با استفاده از ویژگی‌های هیدرودینامیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه های کارستی در زاگرس. منطقه مورد مطالعه : تاقدیس قلاجه و توده پراویستون. جغرافیا و توسعه. شماره ۴۴. ص ۱۰۷-۱۲۳.
۵. چیت‌سازان، م. سیدی پور، م. میرزایی، ی. ۱۳۸۷. تعیین خصوصیات آبخوان کارستی چشمه برم جمال با استفاده از پاسخ‌های فیزیکی- شیمیایی. مجله آب و فاضلاب. شماره ۶۸ ص ۷۷-۷۲.
۶. درویش زاده، ع. ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. انتشارات امیرکبیر. ص ۴۳۴.
۷. رحمتی، م. مرادی، ح. حاجی کریمی، ح. جلیلی، خ. ۱۳۹۴. بررسی اثر توسعه یافتگی کارست بر رفتار هیدروژئولوژیکی چشمه های کارستی استان کرمانشاه. اکوهیدرولوژی، دوره ۲. شماره ۲. ص ۱۶۳-۱۷۳.
۸. ریاحی پور، م. و ن. کلانتری. ۱۳۸۷. تعیین حوضه‌آبگیر چشمه کارستی پیرغار به روش زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی. دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. اهواز- شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب.
۹. شبان، م. ۱۳۹۰. تعیین حوضه آبریز و منابع تأمین آب چشمه سبزآب (شمال شرق مسجد سلیمان). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم زمین. دانشگاه شهید چمران اهواز.
۱۰. صاحبدل، م. ۱۳۸۸. بررسی هیدروشیمیایی کارست منطقه شیرین‌بهار. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم زمین. دانشگاه شهید چمران اهواز.
۱۱. کرمی، غ. ۱۳۷۲. بررسی رابطه بین عوامل مؤثر بر نفوذ آب و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های کارستی کوه‌های گر و برم فیروز. پایان نامه کارشناسی ارشد آبشناسی. بخش زمین‌شناسی. دانشگاه شیراز.
۱۲. کریمی وردجانی، ح. ۱۳۸۴. بررسی هیدروژئولوژیکی چشمه‌های کارستی موگرمون و سرآسیاب. نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. دانشگاه تربیت معلم تهران.
۱۳. کریمی، ا. ۱۳۸۰. مطالعه هیدروژئولوژیکی آبخوان کارستی تاقدیس پابده لالی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم زمین. دانشگاه شهید چمران اهواز.
۱۴. محمدی بهزاد، ح. ۱۳۹۰. شناسایی منشأ تغذیه و بررسی خصوصیات فیزیکی-شیمیایی چشمه کارستی بی-بی تلخون. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم زمین. دانشگاه شهید چمران اهواز.
15. Birk, S. and S. Hergarten. 2010. Early recession behaviour of spring hydrographs. J. Hydrol. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.03.026.
16. Bonacci, O. 2001. Analysis of the maximum discharge of karst springs. Hydrogeol. J. 9 (4): 328-338.
17. Chang, Y. Jichun, W. Ling, Li. 2015. Effects of the conduit network on the spring hydrograph of the karst Aquifer. Journal of Hydrology. Vol 527. PP :517-530.

18. Desmarias, K. and Rojstaczer, S. 2002. Inferring source waters from measurements of carbonate spring response to storms. *J. Hydrol.* 260: 118-134.
19. Dewandel, B. Lachassagne, P. Bakalowicz, M. Wengb, Ph. and A. Al-Malki. 2003. Evaluation of aquifer thickness by analysing recession hydrographs. Application to the Oman ophiolite hard-rock aquifer *J. Hydrol.* 274: 248-269.
20. Dreiss, Sh. J. 1983. Linear unit-response functions as indicators of recharge areas for large karst springs. *J. Hydrol.* 61: 31-44.
21. Fiorillo, F. 2009. Spring hydrographs as indicators of droughts in a karst environment. *J. Hydrol.* 373: 290-301.
22. Fiorillo, F. Revellino, P. Ventafridda, G. 2012. Karst Aquifer Draining during Dry periods. *Journal of Cave and Karst Studied.* 74(2): 48 – 156.
23. Fleury, P. Plagnes, V. and M. Bakalowicz. 2007. Modelling of the functioning of karst aquifers with a reservoir model: Application to Fontaine de Vaucluse (South of France). *J. Hydrol.* 345 (1-2): 38-49.
24. Ford, D. Williams ,P. 2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology.* John Wiley and Sons Ltd1. PP: 562.
25. Hatipoglu-Bagci, Z. Sazan, M.S. 2014. Characteristics of karst springs in Aydıncık(Mersin, Turkey). based on recession curves and hydrochemical and isotopic parameters. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology.* Vol. 47. pp. 89–99.
26. Karimi, H. 2003. Hydrogeological behavior of Alvand karst aquifers, Kermanshah (in English). PhD Thesis. University of Shiraz. Iran.
27. Karimi, H. Raeisi, E. and M. Bakalowicz. 2005a. Characteristics the main karst aquifers of the Alvand Basin. Northwest of Zagros. Iran. by a hydrogeochemical approach. *Hydrogeol. J.* 13: 787-799.
28. Karimi, H. Raeisi, E. and M. Zare. 2003. Hydrodynamic behavior of the Glian karst spring, West of the Zagros. Iran. *Journal of Cave and Karst Studies.* 30 (1): 15-22.
29. Karimi, H. Raeisi, E. and M. Zare. 2005b. Physicochemical time series of karst spring as a tool to differentiate the source of spring water. *Carbonates Evaporites.* 20 (2): 138-147.
30. Kavousi, A. Raeisi, E. (2015). Estimation of groundwater mean residence time in unconfined karst aquifers using recession curves. *Journal of Cave and Karst Studies*, v. 77. no. 2. pp. 108–119. DOI: 10.4311/2014ES0106.
31. Kersic, N. and Z. Stevanovic. 2010. Ground water hydrology of springs. 565 p.
32. Kovacs, A. Perrochet, P. Kiraly, L. and P. Y. Jeannin. 2005. A quantitative method for the characterization of karst aquifers based on spring hydrograph analysis. *J. Hydrol.* 303: 152-164.
33. Kresic, N. Bonacci, O. 2010. Spring discharge hydrograph. In *Groundwater Hydrology of Springs: Engineering. Theory. Management. and Sustainability.* Edited by N. Kresic and Z. Stevanovic, Elsevier Amsterdam. PP: 129-163.
34. Kuhta, M. Brkić, Ž. Stroj, A. 2012. Hydrodynamic characteristics of Mt. Biokovo foothill springs in Croatia. *Geologia Croatica.* 65 (1): 41-52.
35. Long, A. J. 2009. Hydrograph separation for karst watersheds using a two-domain rainfall–discharge model. *J. Hydrol.* 364: 249-256.
36. Panagopoulos, G. and N. Lambrakis. 2006. The contribution of time series analysis to the study of the hydrodynamic characteristics of the karst systems: Application on two typical karst aquifers of Greece (Trifilia, Almyros Crete). *J. Hydrol.* 329 (3-4): 368-376.
37. Raeisi, E. 2002. Carbonate karst caves in Iran. In: Kranjc A (Ed) *Evolution of Karst: from prekarst to cessation.* Ljubljana-postojna. PP: 339 – 344.

38. Raeisi, E. and G. Karami. 1997. Hydrodynamic of Berghan karst spring as indicators of aquifer characteristics. *Journal of Cave and Karst Studies*. 59 (3): 112-118.
39. Raeisi, E. Pezeshkpoor, P. More, F. 1993. Characteristics of karst aquifer as indicated by temporal changes of the springs physico-chemical parameters. *Iranian Journal of Science and Technology* 17: 17-28.
40. Rahnemaei, M. 1994. Evaluation of Infiltration and Run-off in Karstified Carbonatic Rocks. Unpublished Masters Thesis. Shiraz University. 222 p.
41. Samani, N. and B. Ebrahimi. 1996. Analysis of spring hydrographs for Hydrogeological evaluation of a karst aquifer system. *Theoretical & Applied Karstology*. 9: 97-112.
42. Tobias, G. Birk, S. Liedl, R. and M. Sauter. 2008. Quantification of temporal distribution of recharge in karst systems from spring hydrographs. *J. Hydrol.* 348: 452- 463.

پیوست - پارامترهای آماری خصوصیات فیزیکی- شیمیایی چشمه تنگ سرد برای رژیم‌های بارندگی مختلف در سال آبی ۹۶-۹۵

رژیم	رژیم قبل از بارندگی					رژیم بارندگی					رژیم بعد از بارندگی					
	پارامترهای آماری	حد اقل	حد اکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)	حد اقل	حد اکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)	حد اقل	حد اکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)
پارامترهای فیزیک و شیمیایی																
Q (m3/s)	۰/۴۵	۰/۶۰	۰/۵۵	۰/۰۷۵	۱۴/۲۸	۰/۵۹	۱/۴۴	۰/۹۸	۰/۱۹	۱۹/۳۹	۰/۷	۱/۰۱	۰/۸۹	۰/۱۱	۱۲/۳۶	
T (°C)	۷/۲	۹/۱	۸/۲	۰/۹۵	۱۱/۶۵	۰/۰	۷/۲	۳/۷	۱/۹۶	۵۲/۹	۶/۵	۱۰	۸/۶	۱/۲۶	۱۴/۶۵	
TH (mg/l)	۱۲۰	۱۲۵	۱۲۲/۵	۲/۵	۲/۰۴	۹۰	۱۴۰	۱۱۵/۴	۱۹/۵	۱۶/۹	۱۲۰	۱۲۵	۱۲۳/۷	۲/۱۶	۱/۷۵	
EC(μmho/cm)	۲۲۷	۲۵۲	۲۳۹/۵	۱۲/۵	۵/۲	۱۹۳	۲۷۵	۲۳۹/۹	۲۴/۴	۱۰/۳	۲۵۰	۲۵۸	۲۵۴	۳/۱	۱/۲	
(l/mg) DST	۱۷۴/۸	۱۹۰/۴۶	۱۸۲/۶۳	۷/۸۳	۴/۳	۱۴۸/۶	۲۱۰	۱۸۷/۹	۲۱/۱	۱۱/۲	۱۸۸	۱۹۷	۱۹۲/۴	۶/۶۳	۳/۴۴	
pH	۷/۱۵	۷/۴۲	۷/۲۸	۰/۱۳۵	۱/۸	۷/۵	۷/۹	۷/۷۲	/۱۴۹	۱/۹۳	۷/۱	۷/۲۲	۷/۱۹	۰/۰۳	۰/۴۶	
aC (meq/l)	۲	۲/۱	۲/۰۵	۰/۰۵	۲/۴	۱/۱	۲/۵	۱/۸۱	۰/۳۹	۲۱/۶	۱/۹	۲/۱	۲/۰۶	۰/۱	۳/۶	
gM (meq/l)	۲	۰/۲	۰/۲۵	۰/۰۵	۲۰	۰/۳	۰/۷	۰/۴۶	۰/۱۴	۲۹/۵	۰/۴	۰/۵	۰/۴۲	۰/۱	۱۶/۴	
aN (meq/l)	۰/۳	۰/۱۴۵	۰/۱۰۷	۰/۰۴	۳۵	۰/۰۲۹	۰/۰۹	۰/۰۴۴	۰/۰۲	۴۴/۶۵	۰/۱۳	۰/۱۴۵	۰/۱۴۱	۰/۰۲	۱۴/۵	
K (meq/l)	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱۷	۰/۰۰۴	۲۲/۲۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰	۰	
HCO3 (meq/l)	۰/۰۲	۱/۸	۱/۷۵	۰/۰۵	۳	۱/۶	۱/۹۹	۱/۷	۰/۱۵	۸/۸	۱/۶۷	۱/۸	۱/۷۲	۰/۰۶	۳/۶	
SO4 (meq/l)	۱/۷	۰/۶	۰/۵۳	۰/۰۷	۱۳/۲	۰/۴۶	۰/۷۸	۰/۶۶	۰/۱۲	۱۷/۷	۰/۶	۰/۷۸	۰/۷۳	۰/۰۶	۸/۹	
(meq/l)Cl	۰/۴۵	۰/۱۵	۰/۱۳۵	۰/۱۵	۱۱/۲۳	۰/۱۰	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۰۰۸	۶/۶	۰/۱۴۹	۰/۱۵	۰/۱۴۹	۰/۰۰۷	۴/۹	
ISc	-۰/۰۵	۰	-۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	-۱۰۰	-۲/۳۳	-۰/۰۲	-۰/۱۳	۰/۰۸	-۶۶/۶	-۰/۲۰	۰	-۰/۰۸	۰/۰۶	۷۹/۱	
dIS	-۲/۳۳	-۰/۶۵	-۱/۴۹	۰/۸۴	-۵۶/۴	-۱/۳۹	-۰/۶۵	-۱/۳۸	۰/۴۲	-۳۰/۸	-۲/۳۳	-۰/۶۵	-۱/۸	۰/۶۴	-۳۵/۷	
ISg	-۲/۱۵	-۱/۷	-۱/۹۳	۰/۲۲۵	-۱۱/۷	-۳/۲۹	-۱/۹	-۲/۳	۰/۴۴	-۱۹/۱	-۲/۸۲	-۱/۷	-۱/۸۶	۰/۱۸	۱۰/۰۲	