

بررسی رفتار هیدروژئولوژیکی چشمه کارستی سبزآب، شمال شرق استان خوزستان

حمیدرضا محمدی بهزاد

دانشجوی دکتری گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز

عباس چرچی

استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

نصراله کلانتری

استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۲۵

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۲۳

Charchi38@scu.ac.ir

چکیده

چشمه کارستی سبزآب با متوسط تخلیه سالانه بیش از $11 \text{ m}^3/\text{s}$ از بزرگترین چشمه‌های کارستی استان خوزستان بحساب می‌آید. موقعیت ظهور این چشمه در بخش جنوبی تنگه بزرگ کارستی که بطور عرضی تاقدیس کمارون را قطع نموده، بعد از مخزن سد کارون ۱ و در تکیه‌گاه سمت راست آن قرار دارد. به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان کارستی تغذیه کننده چشمه، هیدروگراف‌های تخلیه آن در سال‌های آبی ۸۶-۸۷ و ۸۷-۸۸ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که منابع تغذیه کننده دیگری به غیر از حوضه کارستی کمارون وجود دارند که رفتارهای هیدروژئولوژیکی چشمه سبزآب را کنترل می‌کنند.

کلمات کلیدی: چشمه کارستی سبزآب، هیدروگراف تخلیه، منابع آب تغذیه کننده، رفتار هیدروژئولوژیکی چشمه

مقدمه

شرق استان خوزستان قرار دارد. این منطقه در زون زاگرس چین خورده‌ی ساده واقع شده است. مهمترین سازندهای زمین‌شناسی این منطقه به ترتیب کاهش سن شامل سازند کارستی ایلام- سروک با لیتولوژی آهک (آلبین- سانتونین)، شیل و مارن‌های پابده- گورپی (کامپانین- الیگوسن)، آهک و دولومیت سازند آسماری (پالوسن- میوسن) و سازند گچساران با لیتولوژی مارن، ژپس/انیدریت و هالیت (میوسن آغازی) می‌باشند (شکل ۱). مهمترین تاقدیس حاوی آب در منطقه مورد مطالعه تاقدیس کمارون می‌باشد. این تاقدیس دارای روند NW-SE همراستا با روند عمومی رشته کوه‌های زاگرس می‌باشد و بیشتر پوشش سطحی آن را آهک‌های سخت سازند آسماری تشکیل داده است. ضخامت این سازند در منطقه مورد مطالعه حدود ۳۰۰ متر می‌باشد که توسط سازند نفوذناپذیر پابده در زیر و سازند گچساران از بالا و از جوانب محصور شده است. مهمترین سیمای تکنیکی در منطقه مورد مطالعه گسل‌های راستالغز چپ‌بر بالارود و راست‌بر ایذه هستند که از گسل‌های اصلی و بنیادین در کمربند زاگرس چین خورده ایران می‌باشند. این سامانه‌های گسلی، نقش مهمی در برقراری ارتباط هیدرولیکی و موازنه آبی بین حوضه‌های کارستی مجاور و تأمین آبدی چشمه‌های پرآب منطقه از جمله چشمه سبزآب دارند. همچنین سبب شکل‌گیری توسعه شکستگی‌های پی‌سنگی مهمی از جمله راندگی اندیکا گردیده‌اند. راندگی اندیکا در واقع یکی از پاره گسل‌ها یا قطعات ساختاری سامانه گسلی بالارود بحساب می‌آید که موقعیت آن بر محل گسل خم‌ش جبهه کوهستان (MFF) (Berberian, 1995) منطبق می‌باشد و با درازای حدود ۵۹ کیلومتر از جنوب شرق سد شهیدعباسپور آغاز و تا شمال اندیکا ادامه می‌یابد. عملکرد ساختاری و هیدروژئومورفولوژیکی راندگی اندیکا، نقش مهمی در ظهور چشمه سبزآب ایفا نموده است. بطوریکه در برابر آب‌های ورودی از نقاط دوردست به صورت یک سد هیدرولیکی عمل کرده و همچنین جهت جریان عمومی آب‌های زیرزمینی درون حوضه‌ای و برون حوضه‌ای را نیز کنترل می‌کند.

آبخوان‌های کارستی در مقایسه با دیگر انواع آبخوان‌ها، شرایط مساعدی برای تغذیه از خود نشان می‌دهند (Simsek et al., 2008). با این وجود، بررسی‌های هیدروژئولوژیکی این آبخوان‌ها به دلیل توزیع نفوذپذیری و بار هیدرولیکی بسیار ناهمگن همراه با تنوع مکانی و موقتی در تغذیه، بسیار دشوار است (Nur Ozyurt and Serdar Einsiedl, 2005; Bonacci, 1993; Bayari, 2008). در این رابطه چشمه‌های کارستی می‌توانند اطلاعات ارزشمندی را در مورد فرایندهای هیدروژئولوژیکی و ساختار درونی آبخوان‌ها، به ویژه در رابطه با سیستم‌های با جریان پیچیده آب‌زیرزمینی که در آنها اندازه‌گیری نقطه‌ای از چاه‌ها ممکن نیست، در اختیار بگذارند و منعکس کننده فرایندهایی باشند که در یک مقیاس بزرگ اتفاق می‌افتد (Manga, 2001). بطوریکه در بیشتر موارد می‌توان با استفاده از داده‌های سری زمانی تخلیه چشمه‌ها و منحنی‌های فروکش آنها، با هزینه بسیار کمی در رابطه با خصوصیات سفره آبدار کارستی اظهار نظر نمود و 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 (کلانتری و همکاران، ۱۳۹۰). در این تحقیق سعی بر این است تا با استفاده از تجزیه و تحلیل هیدروگراف تخلیه چشمه کارستی سبزآب یکی از پر آب‌ترین چشمه‌های کارستی استان خوزستان، علاوه بر تعیین خصوصیات هیدروپنوماتیکی، محاسبه ذخیره دینامیک و تعیین نوع جریان آبخوان کارستی چشمه، نوع آب‌های ورودی، رژیم تغذیه و روند تغذیه آن مورد بررسی قرار گیرد.

وضعیت هیدروژئولوژیکی و زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد

مطالعه

موقعیت ظهور چشمه سبزآب در پایین دست محل تخلیه آب توربین نیروگاه سد کارون ۱ (شهید عباسپور) و در تکیه‌گاه سمت راست سد، در شمال

تجزیه و تحلیل هیدروگراف سال آبی ۸۷-۸۶

در این هیدروگراف رژیم‌های بارندگی و قبل از بارندگی، هر یک فقط ۱ دوره فروکش و رژیم بعد از بارندگی ۲ دوره فروکش را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین به جز منحنی فروکش چهارم، تمام منحنی‌های فروکش هر کدام دارای ۲ ضریب فروکش (میکرو رژیم آبدهی) α_1 و α_2 هستند که ضرایب فرود آنها بسیار شبیه به هم می‌باشد. نتایج مهمی در رابطه با این هیدروگراف وجود دارد که در ذیل بحث شده است:

۱- رخداد دوره‌های فروکش در رژیم‌های قبل و بعد از بارندگی نشان می‌دهند که علاوه بر رژیم بارانی یک رژیم برفی نیز در امر تغذیه چشمه دخالت دارد. تاقدیس‌های کارستی مجاور، منبع اصلی این برف می‌باشند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که چشمه سبزآب از لحاظ نوع بارندگی، دارای رژیم برفی- بارانی و از لحاظ رخداد یا عدم رخداد بارندگی، شامل سه رژیم قبل از بارندگی، بارندگی و بعد از بارندگی می‌باشد.

۲- هر چند که در چشمه‌های کارستی با آبدهی زیاد انتظار می‌رود که پیک‌هایی به صورت متوالی و با شیب تند رخ دهد، ولی این موضوع در مورد چشمه سبزآب صدق نمی‌کند. علت عدم وجود پیک‌هایی با شیب تند و تیز می‌تواند ناشی از حوضه آبریز وسیع چشمه و ورود آب زیرزمینی با دبی نسبتاً زیاد از شاخه‌های فرعی به کانال اصلی آن باشد که موجب گردیده است تا به جای پیک‌های متواتر و با شیب تند، یک پیک پهن و با شیب ملایم در هر دوره مشاهده شود. نبود پیک‌های ممتد نیز به دو دلیل می‌تواند اتفاق بیفتد:

۱- کمبود بارندگی‌ها در سال آبی مذکور. بطوریکه تمرکز بارندگی‌ها در ماه‌های آذر و دی ماه و بیشتر به شکل باران بوده است تا برف. همین مسئله سبب شده است تا پیک‌های کمتری شکل بگیرد و پیک‌های ناشی از ذوب برف را هم نداشته باشیم.

۲- آبهای کارستی که از نقاط دور دست به سمت چشمه در جریان هستند با هم به مخزن اصلی آن می‌رسند. بطوریکه این آبها ابتدا صرف پر شدن مخزن می‌گردند و پس از ورود به کانال اصلی به سمت نقطه خروجی (چشمه) هدایت می‌شوند. بنابراین، همین وضعیت هندسی خاص آبخوان کارستی و طبیعت کانال‌های زیرزمینی است که سرعت جریان، زمان تأخیر و سایر فاکتورهای هیدروپنوماتیکی را کنترل می‌کنند و باعث می‌شوند تا تعداد پیک‌های کمتری با ضرایب فروکش مشابه رخ دهد. در واقع این مسئله باعث شده تا سیستم یک رفتار هیدروژئولوژیکی کاذب را مثل سیستم‌های درز و شکافی از خود نشان دهد. در حالیکه وقوع این امر با توجه به آبدهی زیاد چشمه، قطعاً نمی‌تواند بدلیل تغذیه از سیستم‌های درز و شکافی باشد.

تجزیه و تحلیل هیدروگراف سال آبی ۸۸-۸۷

در هیدروگراف چشمه سبزآب در سال آبی ۸۸-۸۷ (شکل ۳) بر خلاف هیدروگراف سال آبی ۸۷-۸۶ (شکل ۲) دوره‌های فروکش (یا به اصطلاح پیک‌های خشکیدگی) بیشتری رخ داده است. تمام این دوره‌های فروکش (به جز دوره‌های فروکش اول و آخر) یک میکرو رژیم تخلیه را نشان می‌دهند. علت این مسئله ورود مکرر آبهای کارستی به درون سیستم است که از نقاط دور دست به سمت چشمه در جریان هستند. این موضوع نیز به نوبه خود ناشی از بارندگی- های قابل ملاحظه در سطح تاقدیس‌های منطقه به خصوص به شکل برف، در سال آبی مذکور است. بطوریکه با شروع بارندگی‌ها در رژیم بارندگی (دوره فروکش دوم) مخزن کارستی سریع پر و تخلیه می‌شود. اما با ادامه بارندگی‌ها در دوره‌های فروکش سوم و چهارم، با رسیدن آبهای نقاط دور دست مخزن به یکباره پر، اما به آرامی تخلیه می‌شود. علت این مسئله به وضعیت هندسی خاص مخزن بر می‌گردد که ورود و خروج آبهای ورودی را کنترل می‌کند.

همچنین با ایجاد شکستگی‌های مهمی مانند گسله‌های طولی، نقش مهمی را در جهت‌دهی به جریان آب و توسعه آبخوان کارستی چشمه سبزآب ایفا نموده است. وضعیت هیدروژئولوژیکی و تغذیه چشمه سبزآب بسیار پیچیده می‌باشد، بطوریکه محققان داخلی و خارجی هنوز موفق به شناسایی دقیق منابع تغذیه این چشمه نشده‌اند (شبان، ۱۳۹۰). با توجه به بررسی‌های بیلان اجمالی، تاقدیس کارستی کمرون تنها توانایی تغذیه حدود ۰/۲۴ متر مکعب بر ثانیه از آب چشمه سبزآب را دارد. بنابراین بخش اعظم آب چشمه باید از منابع دیگری از بیرون از حوضه اصلی تأمین گردد. بررسی‌ها نشان می‌دهد، تقریباً بیش از دو سوم آب این چشمه از تاقدیس‌های کارستی مجاور (شبان، ۱۳۹۰) و مقداری هم (به طور متوسط حدود ۲/۵ مترمکعب بر ثانیه) از آب دریاچه پشت سد تغذیه می‌شود (به نقل از قبادی، ۱۳۸۶). در شکل ۱ مدل تفهیمی تغذیه چشمه سبزآب و مسیرهای جریان محلی و ناحیه‌ای مشارکت دهنده در امر تغذیه آن بخوبی نشان داده شده است. بر اساس این مدل تفهیمی، حداقل دو مسیر اصلی جریان ناحیه‌ای در تغذیه چشمه سبزآب مشارکت دارد. هر دوی این جریانات از سازندهای ایلام- سروک منشأ می‌گیرند (که در شکل ۱ با پیکان‌های طولی به رنگ آبی نشان داده شده است) و در نزدیکی موقعیت دماغه‌های تاقدیس کمرون و پایده وارد سازند آسماری می‌شوند (که با پیکان‌های طولی به رنگ سبز نشان داده شده است). جریانات ورودی به سازند آسماری نیز دو شاخه شده و یک بخش آن به سمت تاقدیس بالادست (تاقدیس پایده) جریان می‌یابد و در تغذیه چشمه بی‌تلاخون مشارکت می‌نماید و بخش اعظم آن به سمت تاقدیس کمرون در پایین دست هدایت می‌شود و به تغذیه چشمه سبزآب کمک می‌کند.

مواد و روش

ابتدا آمار دبی ماهیانه چشمه سبزآب و همینطور قرائت اشل روزانه آن برای سال‌های آبی ۸۷-۸۶ و ۸۸-۸۷، از سازمان آب و برق خوزستان تهیه گردید. 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 تغذیه‌ای چشمه کارستی سبزآب، هیدروگراف‌های تخلیه آن با استفاده از دبی روزانه به دست آمده برای سال‌های آبی مذکور ترسیم گردید.

بحث و بررسی

تجزیه و تحلیل هیدروگراف

در (شکل‌های ۲ و ۳) هیدروگراف تخلیه چشمه سبزآب همراه با بارندگی منطقه مورد مطالعه برای سال‌های آبی ۸۷-۸۶ و ۸۸-۸۷ بر اساس بده روزانه ترسیم شده است. هر دو هیدروگراف، شامل ۳ رژیم آبدهی قبل از بارندگی، بارندگی و بعد از بارندگی بوده در حالیکه هیدروگراف سال آبی ۸۷-۸۶ از چهار منحنی فروکش ولی هیدروگراف سال آبی ۸۸-۸۷ از یازده منحنی فروکش تشکیل شده است. هر منحنی فروکش یک منحنی نیمه لگاریتمی است

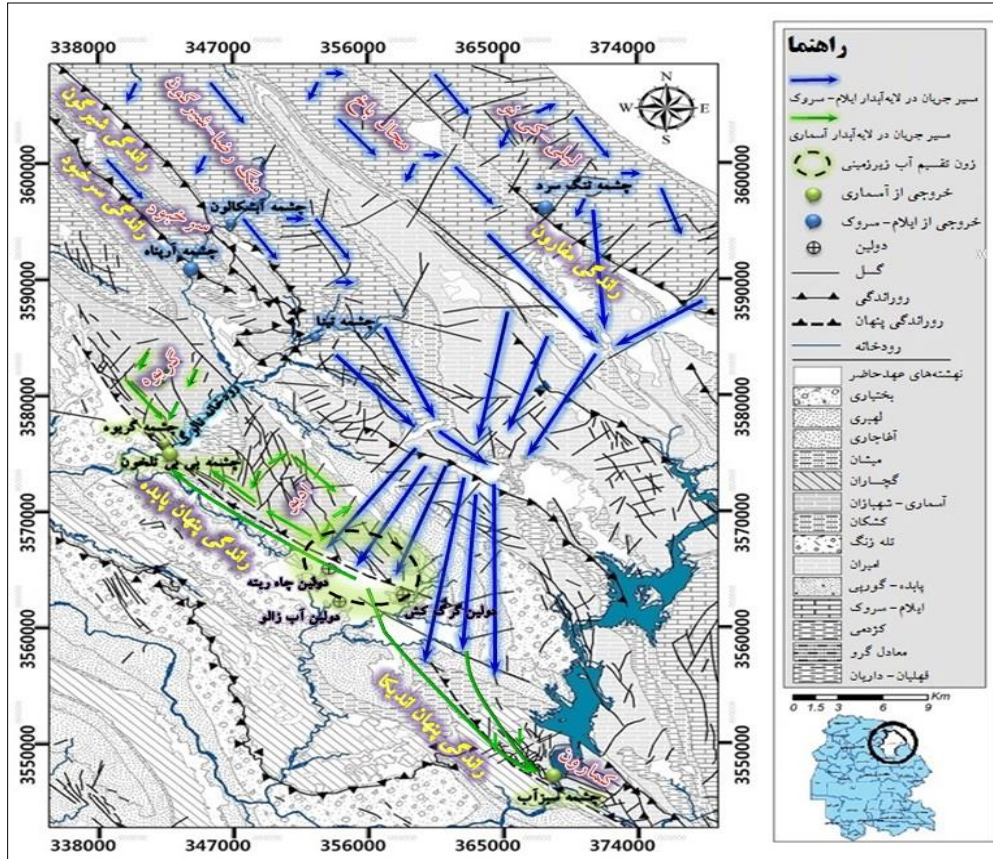
$$\alpha = \frac{\log Q_2 - \log Q_1}{0.434 t} \quad (1)$$

که در آن آبدهی روزانه چشمه با مقیاس لگاریتمی در مقابل زمان ترسیم می‌شود. در (شکل‌های ۲ و ۳) ضرایب فروکش به صورت خطوط مستقیم بر روی منحنی هیدروگراف نشان داده شده‌اند. شیب هر خط بیانگر نحوه تخلیه و رژیم‌های ویژه آبخوان است که این ضرایب از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

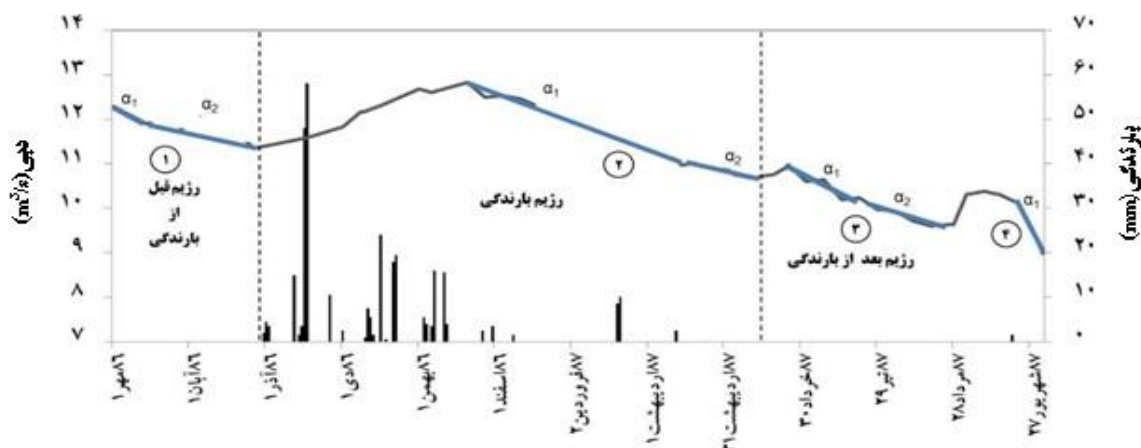
$$Q_1 \text{ و } Q_2 \text{ (بر حسب متر مکعب بر ثانیه) به ترتیب آبدهی در زمان‌های } t_1 \text{ و } t_2 \text{ می‌باشند.}$$

امر تغذیه چشمه، نرخ آبدهی، تراکم پیک‌های آبدهی و دوره‌های فروکش نیز افزایش می‌یابد. این امر بیشتر به رژیم بعد از بارندگی مربوط می‌شود، بطوریکه نرخ آبدهی در دوره فروکش هفتم به حداکثر مقدار خود می‌رسد (۱۳/۲۶ متر مکعب بر ثانیه). از این دوره به بعد حجم آبهای ورودی به مخزن کاهش می‌یابد. به همین علت، در انتهای این رژیم (دوره فروکش یازدهم) چشمه سبزآب با دو میکرو رژیم تخلیه می‌شود.

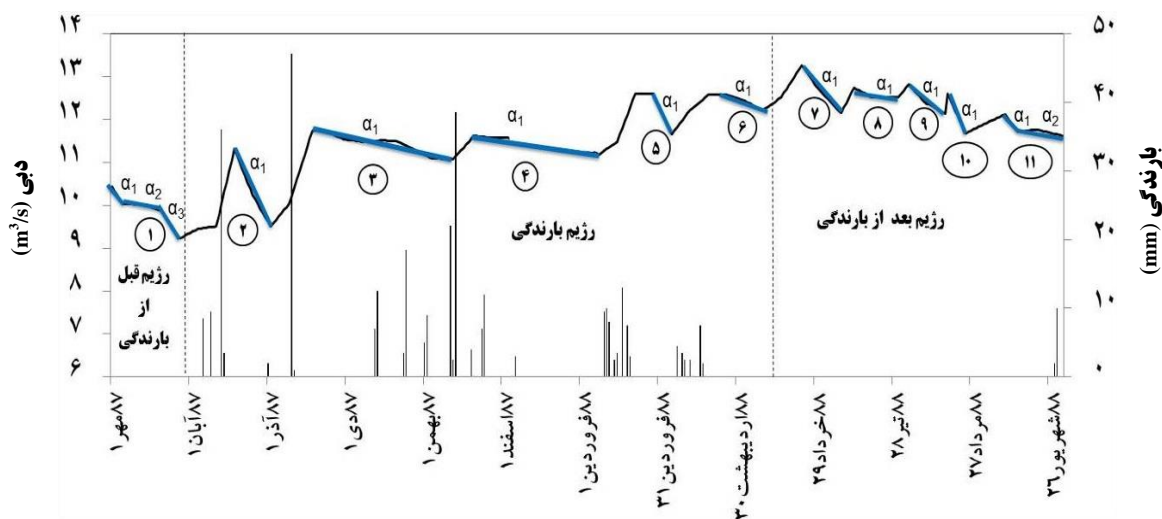
بطوریکه با پر شدن مخزن، ارتفاع ستون آب درون مخزن ثابت و شیب هیدرولیکی کاهش می‌یابد. اما به محض رسیدن آبهای ورودی و با ایجاد شوک‌های هیدرولیکی متفاوت، مخزن یکباره به خروج پاسخ می‌دهد. بنابراین، می‌توان گفت که علت اصلی این مسئله حجم آبهای ورودی است که سرعت تخلیه را کنترل می‌کند. از دوره فروکش پنجم (فروردین ماه ۸۸)، با شروع ذوب برف و بارندگی‌های بهاره در سطح تقادیس‌های شرکت کننده در



شکل ۱. نقشه هیدروژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. هیدروگراف چشمه سبزآب در سال آبی ۸۶-۸۷



شکل ۳. هیدروگراف چشمه سبزآب در سال آبی ۸۷-۸۸

منحنی میانگین فروکش (منحنی کمینه پوش)

جهت تجزیه و تحلیل آسانتر منحنی‌های فروکش و با توجه به تعدد دوره‌های فروکش در هیدروگراف‌های چشمه سبزآب به ویژه در سال آبی ۸۷-۸۸، منحنی میانگین دوره‌های فروکش معروف به منحنی کمینه پوش برای ۲ سال آبی ۸۷-۸۶ و ۸۸-۸۷ تهیه گردید (شکل ۴).

همانطور که (شکل ۴) نشان می‌دهد؛ از تطابق و همپوشانی هیدروگراف‌های دو سال آبی مذکور برای دوره‌های قبل و بعد از بارندگی (دوره خشک)، چهار دوره فروکش به دست آمده است. دوره بارندگی به دلیل ریزش‌های مکرر و رخداد پیک‌های متعدد، جهت تجزیه و تحلیل مناسب نبوده و به همین خاطر در نظر گرفته نشده است. در (شکل ۵) منحنی‌های نیمه لگاریتمی فروکش آورده شده است. تمام این دوره‌های فروکش (به جز دوره دوم) دو میکرو رژیم تخلیه را نشان می‌دهند. با توجه به کنار گذاشتن رژیم بارندگی این مسئله را می‌توان به کاهش حجم آب‌های ورودی به مخزن و وضعیت هندسی مخزن چشمه ربط داد که در فوق بدان نیز اشاره گردید.

بررسی نوع جریان

با استفاده از هیدروگراف چشمه سبزآب، درصد جریان پایه و سریع بوسیله تکنیک‌های تجزیه (جدا سازی) هیدروگراف، برای میکرو رژیم‌های α_1 و α_2 در تمام دوره‌های فروکش و کل دوره در سال‌های آبی ۸۷-۸۶ و ۸۸-۸۷ مشخص گردید (جدول ۱). نتایج مندرج در (جدول ۱) نشان می‌دهد که در کل دوره فروکش هر دو سال آبی فوق، درصد جریان پایه از درصد جریان سریع بیشتر است. این موضوع نشان می‌دهد که جریان غالب در امر تغذیه چشمه سبزآب باید از نوع جریان افشان باشد. همچنین ضریب تغییرات درجه حرارت آب چشمه (کمتر از ۵ درصد) نیز این مسئله را تأیید می‌کند (جدول ۲ و ۳).

تعدیل درجه حرارت آب چشمه می‌تواند به دلیل اختلاط آب‌های گوناگون باشد. اگرچه بنا به شواهد فوق رژیم جریان در چشمه سبزآب افشان است، اما شواهد ذیل دال بر رفتاری غیر از رژیم افشان می‌باشند. با توجه به بررسی‌های بیلان، بیش از ۹۰ درصد از تخلیه چشمه سبزآب، ناشی از آب‌های تاقدیس‌های کارستی مجاور می‌باشد که در امر تغذیه چشمه مشارکت می‌کنند. این آب‌ها تماماً توسط مجاری گسله به سمت مخزن چشمه هدایت می‌شوند. بنابراین در

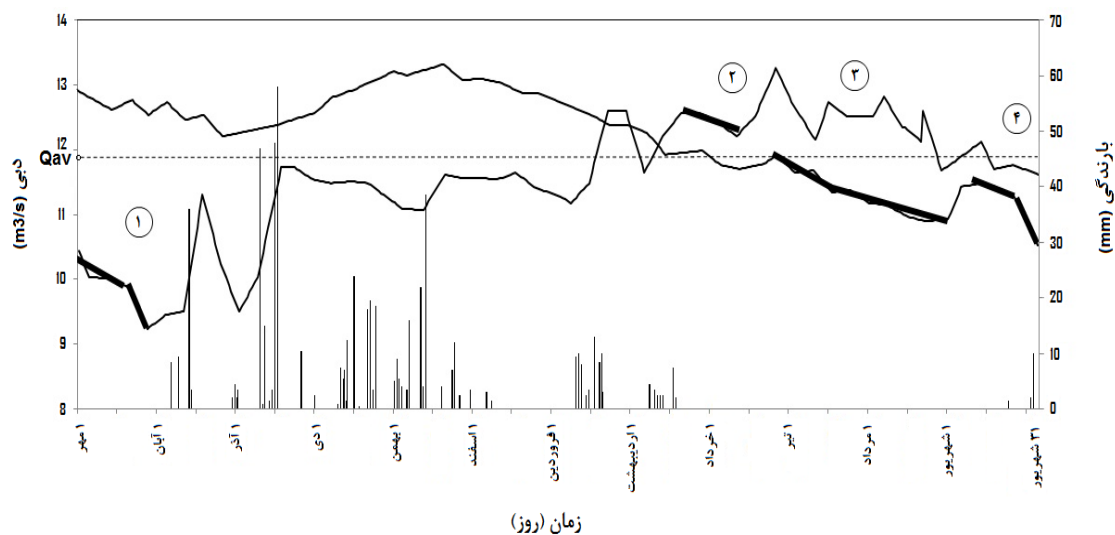
اینجا این سؤال مطرح است که چرا با اینکه بیشتر آب‌دهی چشمه از طریق جریان مجرای تأمین می‌شود، اما جریان غالب به صورت جریان پایه نمود پیدا کرده است. این مسئله می‌تواند به دلیل طبیعت کانال‌های جریان و وضعیت هندسی مخزن کارستی چشمه باشد. مثلاً عریض بودن این کانال‌ها باعث کاهش سرعت جریان، کاهش شیب ضرایب تخلیه (ضرایب منحنی‌های فرود) و مقادیر این ضرایب می‌شود. بنابراین چنین جریانی که ماهیت آن جریان مجرای است، اما ظاهر و نمود آن به صورت جریان پایه یا جریان افشان است، جریان پایه یا افشان کاذب نامیده می‌شود (Karimi et al., 2003; Karimi, 2003). همچنین شواهد زیر نیز مؤید مشارکت جریان مجرای در امر تغذیه چشمه سبزآب می‌باشند:

۱- بالا بودن متوسط آب‌دهی در طول هر دو سال آبی مذکور. این مسئله بیانگر مشارکت آب‌های خارج از حوضه کارستی کمرون در امر تغذیه چشمه می‌باشد. بنابراین وجود یکسری معابر مجرای و کانالی شکل برای انتقال آب این نواحی به چشمه الزامی است.

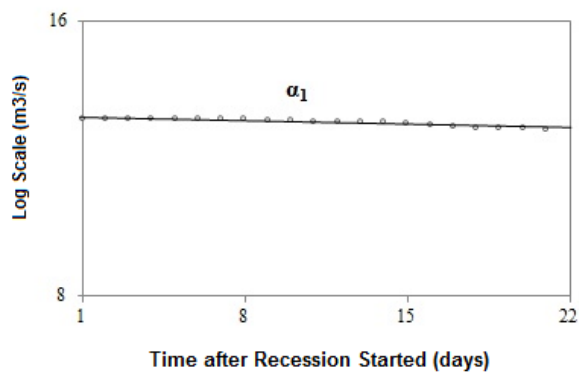
۲- طولانی بودن زمان تأخیر بارندگی نسبت به زمان تداوم آن در رژیم بارندگی. این موضوع نشان می‌دهد که تخلیه چشمه به بارندگی‌های حوضه اصلی (تاقدیس کمرون) پاسخی نشان نمی‌دهد. در واقع با توجه به سطح آگیری کم حوضه کارستی کمرون، میزان تغذیه کمی نیز صورت می‌گیرد که اثر بسیار ناچیزی می‌تواند بر روی هیدروگراف آب‌دهی چشمه بگذارد. در نتیجه منشأی غیر از بارندگی خود حوضه اصلی در تأمین آب‌دهی چشمه مشارکت دارد و این مشارکت از طریق مجاری عمیق زیرزمینی صورت می‌گیرد.

۳- نوسانات قابل ملاحظه هدایت الکتریکی و اکثر پارامترهای فیزیکی-شیمیایی به غیر از درجه حرارت آب چشمه در طول هر دو سال آبی فوق (جدول ۲ و ۳). این مسئله نیز بیانگر پیوستن آب مجرای نواحی دور دست در طی این دو سال آبی می‌باشد.

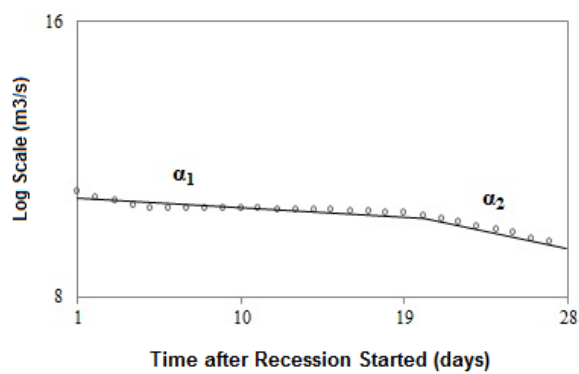
۴- شواهد مورفوتکتونیکی در مسیرهای انتقال آب، نظیر خردشدگی و شکستگی‌های فراوان به خصوص در محل تلاقی دو زون برشی ایزه و بالاورد، زمین‌لغزش، دولین، شافت، دره‌ها و تنگه‌های کارستی و ...



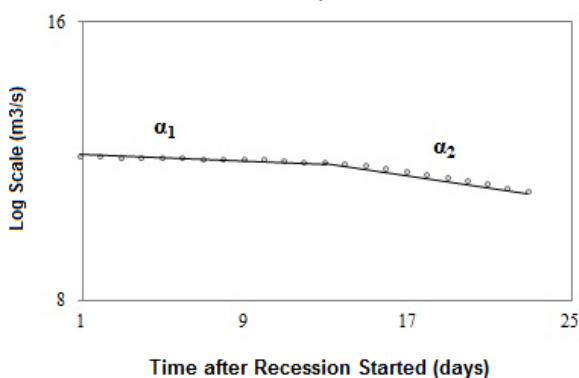
شکل ۴. منحنی کمینه پوش دوره‌های فروکش ۲ سال آبی ۸۶-۸۷ و ۸۷-۸۸ چشمه سبزآب



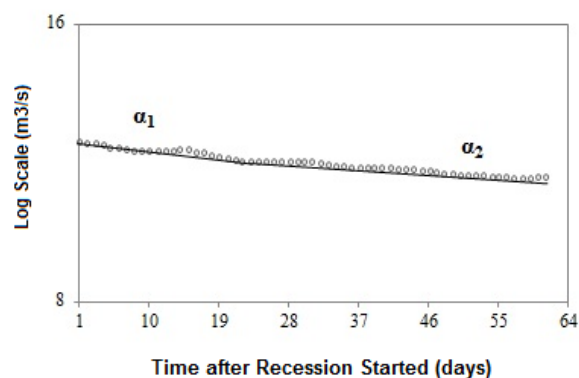
ب



الف



ت



پ

شکل ۵. الف تا د- ت- به ترتیب منحنی‌های فروکش اول تا چهارم منحنی کمینه پوش چشمه کارستی سبزآب. توضیحات در داخل متن آورده شده است.

جدول ۱. ضرایب فروکش و درصد جریان پایه و سریع چشمه سبزآب برای سال‌های آبی ۸۷-۸۸ و ۸۶-۸۷

سال آبی	نوع رژیم	دوره‌های فروکش	طول دوره فروکش	ضرایب فروکش	مقدار ضرایب	درصد جریان پایه	درصد جریان سریع	دبی ماکزیم (m ³ /s)
۱۳۸۶	قبل از بارندگی	۱	۱۴	α_1	۰/۰۰۲۳	۹۶/۴	۳/۶	۱۲/۲۹
			۴۲	α_2	۰/۰۰۱۱	۹۵/۸	۴/۲	۱۱/۹
	بارندگی	۲	۸۵	α_1	۰/۰۰۱۸	۸۹/۲	۱۰/۸	۱۲/۸۳
		۳	۲۸	α_2	۰/۰۰۱۰	۹۴/۲	۵/۸	۱۰/۹۷
۱۳۸۷	بعد از بارندگی	۳	۳۹	α_1	۰/۰۰۲۵	۹۴/۳	۵/۷	۱۰/۹۷
		۴	۱۶	α_2	۰/۰۰۲۳	۹۷/۹	۲/۱	۹/۹۶
	کل دوره	۴	۸	α_1	۰/۰۱۱	۹۷/۶	۲/۴	۹/۹۱
			۲۳۳	-	-	۹۳	۷	۱۲/۸۳
۱۳۸۷	قبل از بارندگی	۱	۵	α_1	۰/۰۱۲۶	۸۹/۸	۱۰/۲	۹
		۲	۱۵	α_2	۰/۰۰۱۷	۹۲/۱	۷/۹	۸/۴۵
	بارندگی	۳	۷	α_2	۰/۰۱۵۱	۹۶/۹	۳/۱	۸/۲۳
		۴	۱۷	α_1	۰/۰۱۱۹	۸۸/۷	۱۱/۳	۹/۵
۱۳۸۸	بعد از بارندگی	۳	۵۵	α_1	۰/۰۰۱۵	۸۶/۵	۱۱/۵	۱۰/۷۲
		۴	۴۹	α_1	۰/۰۰۱۱	۹۳/۷	۶/۳	۱۰/۵۷
	کل دوره	۵	۸	α_1	۰/۰۱۴	۹۲/۴	۷/۶	۱۱/۸۶
		۶	۲۲	α_1	۰/۰۰۱۹	۸۸/۴	۱۱/۶	۱۱/۸۳
۱۳۸۸	بعد از بارندگی	۷	۱۶	α_1	۰/۰۰۷۷	۹۸/۸	۱۰/۲	۱۳/۲۶
		۸	۱۸	α_1	۰/۰۰۳۱	۹۲/۳	۷/۷	۱۲/۷۵
	کل دوره	۹	۱۵	α_1	۰/۰۰۵۲	۹۳/۹	۶/۱	۱۲/۱۶
		۱۰	۸	α_1	۰/۰۱۳۵	۹۶/۴	۳/۶	۱۱/۸۶
۱۳۸۸	بعد از بارندگی	۱۱	۶	α_1	۰/۰۰۸۵	۹۸/۵	۱/۵	۱۱/۲۳
		۱۱	۱۷	α_2	۰/۰۰۰۷	۹۲/۱	۷/۹	۱۰/۶۹
	کل دوره	۱۱	۲۳۶	-	-	۹۱/۵	۸/۵	۱۳/۲۶



جدول ۲. پارامترهای آماری خصوصیات فیزیکی- شیمیایی چشمه سبزاب برای رژیم‌های بارندگی مختلف در سال آبی ۸۷-۸۶

پارامترهای آماری	رژیم بارندگی						رژیم بعد از بارندگی								
	حد اقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)	ضریب تغییرات (درصد)	حد اقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)	ضریب تغییرات (درصد)			
Q (m ³ /s)	۱۲/۲	۱۲/۹۱	۱۲/۶۲	۰/۲	۱/۲	۱۱/۷	۱۳/۳۱	۱۲/۶۱	۰/۴	۳/۵	۱۰/۵۳	۱۱/۹۲	۱۱/۳۳	۰/۳	۲/۸
T (°C)	۱۹/۸	۲۱/۳	۲۰/۳	۰/۵	۲/۳	۱۸/۴	۲۱/۷	۱۹/۹۵	۰/۹	۴/۶	۱۷/۹	۲۱/۸	۲۰/۷	۰/۹	۴/۵
Tu (N.T.U)	۱	۱	۱	۰	۰	۰/۷	۲	۱/۲۴	۰/۵	۹/۴	۱	۱	۱	۰	۰
TH (mg/l)	۲۲۷/۵	۲۹۵	۲۶۱/۳	۴۷/۷	۱۸/۳	۱۹۵	۲۹۸/۵	۲۴۴	۳۳/۲	۱۳/۶	۱۷۳	۲۷۹	۲۱۳/۵	۵۷/۳	۲۶/۸
EC (µmho/cm)	۵۷۴	۶۳۰	۶۰۲	۳۹/۶	۶/۵	۵۰۶	۶۲۱	۵۶۱	۳۵/۱	۶/۲	۴۳۸	۵۸۷	۵۳۶/۶	۸۵/۴	۱۵/۹
TDS (mg/l)	۳۱۶	۴۰۵	۳۶۰/۵	۶۲/۹	۱۷/۵	۳۱۰	۴۱۷	۳۵۳	۳۴/۳	۹/۷	۲۸۵	۴۷۰	۳۷۸	۹۲/۵	۲۴/۴
pH	۸/۱	۸/۱	۸/۱	۰	۰	۷/۶	۸/۱	۷/۸	۰/۲	۲/۲	۷/۷	۸/۱	۷/۹	۰/۲	۲/۶
Ca (meq/l)	۲/۷۱	۳/۳۶	۳/۰۳	۰/۵	۱۵/۱	۲/۲۵	۴/۰۴	۳	۰/۷	۲۳/۲	۱/۸۲	۳/۸۳	۲/۹	۱/۰۴	۳۴/۹
Mg (meq/l)	۱/۸۴	۲/۵۴	۲/۱۹	۰/۵	۲۲/۶	۱/۲۱	۳/۶۶	۱/۸۷	۰/۹	۴۶/۹	۰/۱۶	۱/۹۵	۱/۲	۱	۳۴/۸
Na (meq/l)	۱/۰۹	۱/۳۵	۱/۲۲	۰/۲	۱۵/۱	۰/۹۴	۱/۲۴	۱/۰۸	۰/۱	۱۱/۴	۱/۳۹	۱/۷۲	۱/۵	۲	۱۲/۷
K (meq/l)	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰	۰	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰	۰	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰	۰
HCO ₃ (meq/l)	۳/۱۹	۳/۶۸	۳/۴۳	۰/۳	۱۰/۱	۲/۹	۳/۹۲	۳/۴۳	۰/۳	۹/۲	۲/۲۳	۳/۷۸	۳/۱۷	۰/۸	۲۶
SO ₄ (meq/l)	۰/۱۵	۲/۲۷	۱/۲۱	۱/۵	۱۲۴	۰/۵۸	۱/۸۷	۱/۰۴	۰/۵	۴۶/۸	۰/۰۳	۱/۷	۰/۹۸	۰/۸	۸۷/۴
Cl (meq/l)	۱/۳۶	۲/۱	۱/۷۳	۰/۵	۳۰/۲	۱/۲	۱/۵۸	۱/۳۹	۰/۱	۱۰/۴	۱/۶	۱/۶۵	۱/۶۳	۰/۰۲	۱/۶
SIc	۰/۶۳	۰/۶۷	۰/۶۵	۰/۰۲	۴/۳	۰/۰۷	۰/۶۷	۰/۴۱	۰/۲	۵۴/۵	۰/۱۵	۰/۷۸	۰/۴	۰/۳	۷۳/۷
SI _d	۱/۲۲	۱/۲۶	۱/۲۴	۰/۰۲	۲/۲	۰/۳۹	۰/۹۸	۰/۶۶	۰/۲	۳۶/۴	۰/۳۸	۰/۴۶	۰/۴۱	۰/۰۴	۱۰/۶
SI _g	-۲/۸	-۱/۶	-۲/۲	۰/۸	۳۸/۲	-۲/۳۳	-۱/۶۱	-۲	۰/۲	۱۱/۹	-۳/۴۱	-۱/۶۸	-۲/۳۹	۰/۹	۳۷/۸
SI _h	-۷/۴۹	-۷/۲	-۷/۳۵	۰/۲	۲/۹	-۷/۵۸	-۷/۳۶	-۷/۴۸	۰/۱	۱/۲	-۷/۳۱	-۷/۲۱	-۷/۲۷	۰/۰۵	۰/۷

SI_h= نمایه اشباع کلسیت، SI_c= نمایه اشباع دولومیت، SI_d= نمایه اشباع ژیپس و SI_g= نمایه اشباع هالیت



جدول ۳. پارامترهای آماری خصوصیات فیزیکی- شیمیایی چشمه سبزآب برای رژیم‌های بارندگی مختلف در سال آبی ۸۸-۸۷

پارامترهای فیزیکی شیمیایی	پارامترهای آماری	رژیم قبل از بارندگی					رژیم بارندگی					رژیم بعد از بارندگی				
		حد اقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)	حد اقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)	حد اقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)
Q (m ³ /s)		۹/۲	۱۰/۴	۹/۸	۰/۳	۰/۳	۵/۲۵	۱۲/۵	۱۱/۳۷	۰/۸	۷/۳	۱۱/۶۲	۱۳/۲۶	۱۲/۲۹	۰/۴	۳/۴
T (°C)		۲۰/۶	۲۱/۵	۲۱/۱	۰/۴	۱/۵	۱۹/۴	۲۰/۵	۲۰/۱	۰/۳	۱/۳	۲۰/۲	۲۰/۴	۲۰/۲۶	۰/۰۶	۰/۳
Tu (N.T.U)		۳	۳	۳	۰	۰	۱	۳	۱/۷	۰/۷	۴۰/۴	۱	۴	۲	۱/۷	۸۶/۵
TH (mg/l)		۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۰	۰	۲۲۱	۲۵۵	۲۳۴/۹	۱۱/۲	۴/۸	۱۵۰	۲۶۷	۲۰۵	۵۸/۸	۲۸/۷
EC (µmho/cm)		۶۰۹	۶۰۹	۶۰۹	۰	۰	۵۰۹	۶۸۳	۵۸۴/۷	۶۰/۱	۱۰/۲	۵/۵	۶۱۰	۵۶۰	۴۷/۷	۸/۵
TDS (mg/l)		۳۹۰	۳۹۰	۳۹۰	۰	۰	۳۰۸	۴۳۷	۳۶۴/۳	۴۰	۱۰/۹	۳۳۰	۳۶۰	۳۴۲	۱۵/۹	۴/۶
pH		۸	۸	۸	۰	۰	۷/۴	۸/۱	۷/۷	۰/۲	۲/۸	۷/۱	۷/۸	۷/۵۳	۰/۴	۵
Ca (meq/l)		۳/۴	۳/۴	۳/۴	۰	۰	۲/۷	۳/۵	۳/۰۸	۰/۲	۸/۲	۲/۱	۳/۹۹	۲/۸۵	۱	۳۵/۲
Mg (meq/l)		۱/۶	۱/۶	۱/۶	۰	۰	۱/۳	۲	۱/۶	۰/۲	۱۴/۴	۰/۹	۱/۵	۱/۲۵	۰/۳	۲۴/۹
Na (meq/l)		۱/۱۵	۱/۱۵	۱/۱۵	۰	۰	۰/۸۹	۱/۹۲	۱/۲	۰/۳	۲۵/۳	۱/۲۷	۲/۰۷	۱/۷۵	۰/۴	۲۴/۲
K (meq/l)		۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰	۰	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۱	۲۱/۷	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۲۳	۰/۰۱	۴۹/۴
HCO ₃ (meq/l)		۳/۶	۳/۶	۳/۶	۰	۰	۲/۸	۳/۷	۳/۳	۰/۳	۹/۲	۲/۲	۳/۴	۲/۷۳	۰/۷	۲۴/۷
SO ₄ (meq/l)		۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۸	۰	۰	۰/۴	۱/۵۱	۰/۹	۰/۴	۳۸/۴	۰/۹	۱/۲	۱/۱۵	۰/۲	۱۸/۸
Cl (meq/l)		۱/۶	۱/۶	۱/۶	۰	۰	۱/۲	۱/۸۴	۱/۵	۰/۲	۱۱/۷	۱/۶	۲/۲	۱/۹	۰/۳	۱۵/۹
SIc		۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰	۰	۰/۰۱	۰/۶۱	۰/۳	۰/۲	۶۳/۹	۰/۵	۰/۴	۰/۰۵	۰/۵	۹۲۶/۸
SI _d		۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۰	۰	۰/۲	۱/۰۳	۰/۳۹	۰/۴	۱۱۰/۱	۱/۴	۰/۵	۰/۳۹	۱	۲۵۲/۴
SI _g		۲/۰۳	۲/۰۳	۲/۰۳	۰	۰	۲/۲	۱/۷۹	۲/۰۱	۰/۲	۸/۱	۲/۱	۱/۷	۱/۹	۰/۲	۹/۲
SI _h		۷/۳۹	۷/۳۹	۷/۳۹	۰	۰	۷/۵۳	۷/۱۹	۷/۳۹	۰/۱	۱/۶	۷/۳۳	۷/۰۲	۷/۱۴	۰/۲	۲/۲

SI_h= نمایه اشباع کلسیت، SI_c= نمایه اشباع دولومیت، SI_d= نمایه اشباع ژپیس، SI_g= و نمایه اشباع هالیت

۸۷-۸۶ حدود ۳ درصد بیشتر و در سال آبی ۸۸-۸۷ حدود ۱۱ درصد کمتر است. این اختلاف ناشی از نوسانات بارندگی و ذخیره آب در سیستم کارستی این چشمه در سال‌های آبی مذکور است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهند که آبخوان کارستی تغذیه کننده چشمه سبز آب دارای رژیم جریان مجرای است و از ذخیره قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. همچنین رژیم تغذیه چشمه، دارای رژیم برفی-بارانی و از لحاظ رخداد یا عدم رخداد بارندگی، شامل سه رژیم قبل از بارندگی، بارندگی و بعد از بارندگی می‌باشد. تجزیه و تحلیل منحنی‌های فروکش چشمه، همراه با بررسی بیلان اجمالی منابع تغذیه کننده آن نشان می‌دهند که بخش اعظم آب چشمه از تاق‌دیس‌های کارستی مجاور و مقداری هم از آب دریاچه پشت سد کارون ۱ تأمین می‌گردد. بالا بودن ضریب تغییرات آبدهی، نوسانات قابل ملاحظه هدایت الکتریکی و اکثر پارامترهای فیزیکی-شیمیایی به غیر از درجه حرارت آب چشمه در هر سه رژیم بارندگی، طولانی بودن زمان تأخیر بارندگی نسبت به زمان تداوم آن در تمام رژیم‌ها به خصوص در رژیم بارندگی، و همچنین بررسی‌های تکنیکی و ژئومورفولوژیکی نیز بیانگر همین مطلب می‌باشند. بطوریکه این منابع به عنوان منابع اصلی تغذیه کننده چشمه کارستی سبزآب در سرتاسر سال، روند تغذیه و سایر خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان کارستی آن را تحت تأثیر قرار داده‌اند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت‌ها و مساعدت‌های مالی مدیریت محترم تحقیقات و استانداردهای شبکه‌های آبیاری و زهکشی سازمان آب و برق خوزستان، و همچنین همکاری‌های گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید چمران در انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌شود.

تعیین حجم ذخیره دینامیکی

برای تعیین حجم ذخیره دینامیکی آبخوان‌های کارستی روش‌های مختلفی توسط محققین ارائه شده است. در این تحقیق با استفاده از روش رئیسی (۱۳۷۶) که در مقایسه با سایر روش‌های ارائه شده روش دقیق‌تری بنظر می‌رسد، حجم ذخیره دینامیک آبخوان کارستی چشمه سبزآب محاسبه گردیده است (جدول ۴). بدین منظور ابتدا منحنی فرود سال قبل از بیلان ترسیم گردید. سپس با استفاده از این منحنی، حجم ذخیره دینامیک در ابتدا (S_1) و انتهای (S_2) سال بیلان محاسبه و آن (ΔS) به عنوان حجم آبی که در مخزن ذخیره یا برداشت شده در نظر گرفته شد.

$$\Delta S = S_1 - S_2 \quad (2)$$

سپس به کمک رابطه‌ی زیر مقدار تخلیه چشمه ناشی از بارندگی‌های سال بیلان (Q_B) بدست آمده است:

$$Q_B = Q_M - \Delta S \quad (3)$$

که در آن:

Q_M ، میزان تخلیه چشمه می‌باشد که در طول هر سال آبی اندازه‌گیری شده است. واحد تمامی پارامترهای رابطه فوق، متر مکعب (m^3) است. بنابراین، با استفاده از این روش می‌توان تغییرات ذخیره در سیستم را به راحتی محاسبه نموده (تغییرات ذخیره در Q_B نهفته است) و در فرمول بیلان، گنجاندن پارامترهای ذخیره لازم نیست. با استفاده از این روش، میزان تخلیه (Q_B) چشمه سبزآب در سال‌های آبی ۸۷-۸۶ و ۸۸-۸۷ به ترتیب حدود ۳۹۸ و ۳۲۵ میلیون متر مکعب (MCM) (به ترتیب معادل آبدهی ۱۲/۶۱ و ۱۰/۲۸ متر مکعب بر ثانیه) بدست آمده است (جدول ۴). این مقادیر بیانگر توانایی بالای سیستم کارستی چشمه سبزآب در تخلیه طولانی مدت و ذخیره دینامیک با درصد ماندگاری بالاتر می‌باشد. مقادیر بدست آمده نسبت به Q_M در سال آبی

جدول ۴. حجم ذخیره دینامیک چشمه سبزآب به روش رئیسی (۱۳۷۶) برای سال‌های آبی ۸۷-۸۶ و ۸۸-۸۷

سال آبی	Q_B (MCM)	Q_M (MCM)	ΔS (MCM)
۸۶-۸۷	۱۰۰۳	۳۹۸	۱۲
۸۷-۸۸	۰/۸۹	۳۲۵	-۴۰

منابع

- رئیسی ع. ۱۳۷۶. کارگاه صحرایی بیلان منابع آب سازندهای کارستی. مرکز مطالعات و تحقیقات کارست کشور. شماره ۴۵-۱۰۵۰-۴۴۰. شبان م. ۱۳۹۰. تعیین حوضه آبریز و منابع تأمین آب چشمه سبزآب (شمال شرق مسجد سلیمان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- قبادی م. ح. ۱۳۸۶. زمین‌شناسی مهندسی کارست. انتشارات دانشگاه بوعلی‌سینای همدان. چاپ اول. ۳۰۴ صفحه.
- کلانتری ن. محمدی بهزاد ح. ر. چرچی ع. و کشاورزی م. ر. ۱۳۹۰. چشمه‌های کارستی به عنوان ساده‌ترین ابزار برای تعیین خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های کارستی، مطالعه موردی چشمه بی‌بی‌تلخون، شمال شرقی استان خوزستان. فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته- ۱ (۲): ۱۰۰-۹۰.
- Berberian M. 1995. Master "Blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics* 241: 193-224.
- Bonacci O. 1993. Karst springs hydrographs as indicators of karst aquifers. *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques* 38(1): 51-62.
- Karimi H. 2003. Hydrogeological behavior of Alvand karst aquifers, Kermanshah. unpublished PhD thesis. University of Shiraz. Iran.
- Karimi H. Raeisi E. and Zare M. 2003. Hydrodynamic behavior of the Glian karst spring, West of the Zagros, Iran. *Journal of Cave and Karst Studies* 30 (1): 15-22.

- Einsiedl F. 2005. Flow system dynamics and water storage of fissured-porous karst aquifer characterized by artificial and environmental tracers. *J. Hydrol.* 312:312–321.
- Manga M. 2001. Using springs to study groundwater flow and active geologic processes. *Annl Rev Earth Planet Sci.* 29:201–228.
- Nur Ozyurt N. and Serdar Bayari C. 2008. Temporal variation of chemical and isotopic signals in major discharges of an alpine karst aquifer in Turkey implications with respect to response of karst aquifers to recharge. *Hydrogeol. J.* 16: 297–309.
- Simsek C. Elci A. Gunduz O. and Erdugan B. 2008. Hydrogeological and hydrochemical characterization of a karstic mountain region. *Environ Geol.* 54: 291-308.