

آن‌ها حفر و سپس از آن بهره‌برداری شود، سراب‌های مذکور در زمان اوج مصرف نتوانند آبدهی لازم را داشته باشند. لذا پیشنهاد می‌گردد حتی‌الامکان از این امر خودداری شود. با توجه به این که مدت تداوم و ذخیره دینامیکی سراب‌های کیو، گرداب سنگی کم است و نوع سراب‌ها نیز غیر دائم می‌باشند. پیشنهاد می‌شود که از این سراب‌ها، برای طرح‌های توسعه در زمانی که تغذیه آبخوان قطع می‌گردد، استفاده نشود.

واژه‌های کلیدی: آب‌های زیرزمینی، پهنه‌های کارستی، مدیریت نگهداری، برداشت، خصوصیات هیدرولوژیکی

مقدمه

آبخوان‌های کارستی، مخازن زیرزمینی ناهمگنی هستند که آب در شکاف‌ها و مجاری درون آن‌ها جمع می‌شود. در آبخوان‌های کارستی سطح ایستابی پیوسته نیست و نیز دارای شیب منطقه‌ای و محلی می‌باشند. آب آشامیدنی ۲۵ درصد از جمعیت جهان توسط مناطق کارستی تامین می‌شود [۷]. یکی از مواردی که در تشخیص و تفسیر خصوصیات هر چشمه مفید می‌باشد رسم هیدروگراف چشمه می‌باشد که هرچه تعداد داده‌ها بیش‌تر و بافاصله زمانی کم‌تر باشند نتایج حاصل بهتر و دقیق‌تر خواهد بود. هرچند که هیدروگراف چشمه‌ها تحت عوامل مختلفی مانند، شدت بارش، مدت بارش، توالی بارش و... در زمان‌های مختلف متفاوت می‌باشد ولیکن درکل می‌توان به همراه اطلاعات دیگر مانند تغییرات هیدروشمی چشمه‌ها و آزمون‌های ردیابی اطلاعات مفیدی به‌وسیله تفسیر هیدروگراف چشمه‌ها به دست آورد. هیدروگراف یک چشمه انعکاسی از پاسخ آبخوان به تغذیه می‌باشد. در سفره‌های کارستی، در فصول خشک، آب از خلل و فرج ریز وارد مجاری کارستی می‌گردد و از طریق این مجاری به مظهر چشمه انتقال می‌یابد. در واقع در فصول خشک مجاری باریک کارستی و درزه و شکاف‌ها بیش‌تر نقش انتقال‌دهنده آب را به عهده دارند. درحالی‌که در فصول تر و بعد از بارندگی‌ها جریان مجاری قسمت عمده جریان چشمه را تأمین می‌کند و درزه و شکاف‌های کوچک‌تر بیش‌تر نقش ذخیره کننده را به عهده دارند و آب را با تأخیر بیش‌تری به محل خروجی چشمه منتقل می‌کنند. کلاتری و همکاران [۹]، خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان کارستی تغذیه‌کننده چشمه بی‌بی تلخون را از روش ساده هیدروگراف تخلیه موردبررسی قراردادند. تجزیه و تحلیل هیدروگراف تخلیه

بررسی پارامترهای هیدرولیکی آبخوان‌های کارستی شهرستان خرم‌آباد

فاطمه کردی^۱، لیلی قاسمی^۱، حسین یوسفی^۳ و علی حقی‌زاده^۴

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۷/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۲۱

چکیده

آب‌های زیرزمینی یکی از پراکنده‌ترین و مهم‌ترین منابع آب‌کره زمین است. جریان آب زیرزمینی در سنگ‌های کارستی کاملاً با حرکت این سیال در پهنه‌های غیر کارستی متفاوت می‌باشد، این جریان خصوصیات هیدرولوژیکی ویژه پهنه‌های کارستی را نشان می‌دهد. برای توسعه کامل مخازن آب‌های زیرزمینی بایستی آن را کاملاً از نظر کمی و کیفی مورد ارزیابی قرارداد تا اطلاعات و تصورات ناکافی و فرضیات پیش‌ساخته از آب‌های زیرزمینی، منجر به مصرف غلط و کاهش آن نگردد. از آنجایی که منابع آب کارست، ذخایر عظیمی از آب زیرزمینی در مناطق مختلف کشور از جمله در محدوده مورد مطالعه هستند، لازم است در مدیریت نگهداری و برداشت، پویاتر و فعال‌تر عمل گردد. پژوهش حاضر باهدف بررسی پارامترهای هیدرولیکی آبخوان‌های کارستی شهرستان خرم‌آباد صورت گرفته است. در این مطالعه هفت آبخوان کارستیک منطقه موردبررسی قرار گرفت. تمام سراب‌های مورد مطالعه، آبگیر و خروجی آن‌ها از سازندهای کربناته می‌باشد. به‌طوری‌که آبخوان سراب‌های رباط، مطهری، گلستان، گرداب سنگی، چنگایی (نیلوفر)، ناوه‌کش و دوره سازندهای کارستیک توسعه یافته می‌باشد؛ و آبخوان سراب کیو علی‌رغم این که بیش‌ترین آبدهی را دارد در گروه سازندهای کمتر توسعه قرار گرفته است. با مقایسه ذخیره دینامیکی و حجم تخلیه سالانه، به دلیل این که حجم ذخیره دینامیکی سراب‌های کیو، گرداب سنگی، رباط و دوره کم‌تر از حجم تخلیه سالانه می‌باشد، پیش‌بینی می‌شود در صورتی که چاه‌هایی در سازند آهکی آبخوان

۱- کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۲- کارشناسی ارشد اکوهیدرولوژی، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۳- دانشیار، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران. نویسنده مسئول

Email: Hosseinyousefi@ut.ac.ir

۴- دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

چشمه بی‌بی تلخون در سال آبی ۸۸-۸۷ نشان داد که یک حوضه کارستی برف‌گیر با رژیم تغذیه برفی بارانی نقش مهمی در تغذیه چشمه در سرتاسر سال دارد.

حمیدی‌زاده و همکاران [۸]، به بررسی ویژگی‌های ساختاری و خصوصیات هیدروژئولوژیکی چشمه دره اناری در منطقه شیرین بهار پرداختند. جهت شناسایی خصوصیات هیدروژئولوژیکی چشمه از آنالیز هیدروگراف چشمه استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که رژیم غالب آبخوان کارستی چشمه اناری کانالی-انتشاری است. ملکی و همکاران [۱۲]، پژوهشی باهدف مقایسه‌ی توسعه‌یافتگی کارست به کمک ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی توده‌ی شاهو در زاگرس رو رانده و آبخوان اسلام‌آباد در محدوده‌ی زاگرس چین‌خورده انجام دادند. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده این بود که سیستم کارستی آبخوان شاهو نسبت به آبخوان اسلام‌آباد توسعه‌یافته‌تر است. قبادی و همکاران [۷]، به بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی موجود در شمال شرقی رودبار و نیز بررسی توسعه‌یافتگی کارست در منطقه با استفاده از آمار دبی چشمه سفیدآب پرداختند. بررسی توزیع فضایی پارامترهای ژئوشیمیایی آب چشمه‌ها مشخص کرد که این پارامترها دارای روند تغییرات معناداری با توجه به شیب منطقه هستند. با ترسیم دیگرام پایپر نمونه‌های آب چشمه‌ها مشخص گردید که تیپ آب تمام چشمه‌های منطقه از نوع $Ca-HCO_3$ است که درواقع تایید کننده کارستی بودن چشمه‌های منطقه است. به صورتی که شاخص اشباع بیان می‌کند، بیش‌تر نمونه‌های آب منطقه نسبت به کلسیت، دولومیت و CO_2 تحت اشباع هستند.

رفتار آبخوان‌های کارستی به دو نوع پارامتر کیفی مهم بستگی دارد که عبارت‌اند از نوع جریان و درجه‌ی کارستی شدن. تجزیه و تحلیل هیدروگراف چشمه روش مناسبی برای بررسی نوع جریان است و شناخت ویژگی‌های کارست بر اساس شاخص‌های هیدروگرافی چشمه‌ها قابل انجام است. با آنالیز آب‌نمود چشمه‌های کارستی و بر اساس ویژگی‌های مهم یک توده‌ی شکاف دار آهکی شناسایی مشخصات آبخوان امکان‌پذیر می‌شود، در نتیجه می‌توان ارتباط داده‌ها را در آنالیز آب‌نمود منحنی فرود مشاهده کرد [۳].

فیوریلو [۶]، طی پژوهشی که در جنوب ایتالیا انجام داد، نشان داد که هر زمان هیدروگراف چشمه‌های کارستی به‌صورت ممتد و بدون نقطه اوج ترسیم شود نمایانگر تغذیه ناکافی چشمه در اثر وقوع خشک‌سالی هواشناسی می‌باشد. بریان و همکاران [۴]، نوسانات دبی روزانه چشمه‌ها را در زمانی که خشک‌سالی هواشناسی غالب باشد مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصله نشان‌دهنده این بود که نوسانات دبی روزانه‌ی چشمه‌ها در اثر کاهش حجم و فشار مخزن به دلیل کاهش تغذیه است ایجاد می‌شود، که این موضوع خود می‌تواند دبی چشمه‌ها را تا ۳۰ درصد تحت تأثیر قرار دهد. چنگ پنگ و همکاران (۲۰۱۵)، پژوهشی باهدف بررسی تأثیرات هدایت هیدرولیکی هیدروژن ناهمگن بر هدایت هیدرولیکی تخمین زده‌شده

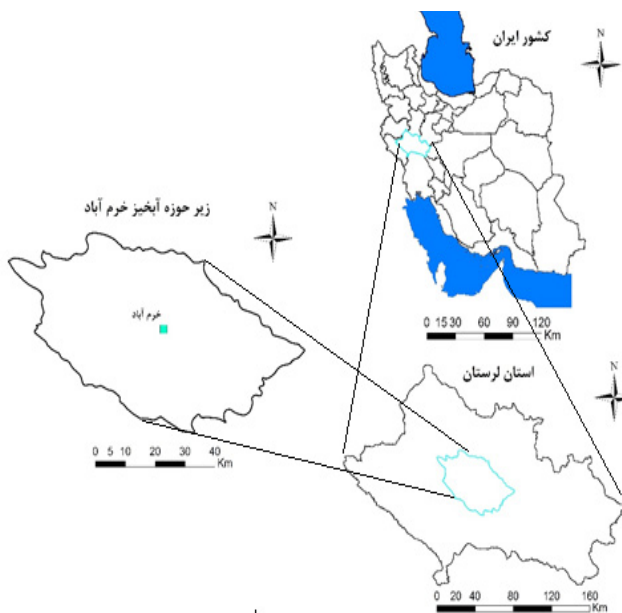
با استفاده از مشاهدات آزمایش پمپاژ انجام دادند [۱۱]. کوک و همکاران [۱۰]، به‌منظور تعیین سیستم جریان در آبخوان‌های کارستی، داده‌های کمی موردنیاز و پارامترهای هیدرولیکی و ژئومتری آبخوان از طریق آنالیز چشمه بررسی شده است. چن و همکاران [۵]، بر اساس تجزیه و تحلیل رابطه‌ی بین داده‌های تاریخی اقلیمی و سطح آب در چاه‌های واقع در آبخوان کارستی، اثر تأثیر بالقوه‌ی تغییر اقلیم در سطح آب‌های زیرزمینی را مورد بررسی قرار دادند. ارتباط معنی‌دار دما و بارش با سطح آب زیرزمینی سالانه در آبخوان، نشان داد که در مناطق باضخامت کم آبخوان، درجه‌ی حرارت، تأثیر بیش‌تری نسبت به بارش بر سطح آب‌های زیرزمینی دارد.

در این مطالعه هیدروگراف هر چشمه ترسیم‌شده و به‌وسیله آن اطلاعات دیگر مانند ذخیره دینامیکی، توزیع زمانی تخلیه حجم دینامیک و برخی خصوصیات دیگر هر چشمه مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

از نظر جغرافیایی، منطقه مورد مطالعه نیز با مساحتی بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۱ دقیقه و ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقه عرض‌های جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۴ دقیقه و ۳۳ درجه ۳۶ دقیقه قرار گرفته، که از لحاظ تقسیمات کشوری در استان لرستان و قسمتی از شهرستان خرم‌آباد می‌باشد.



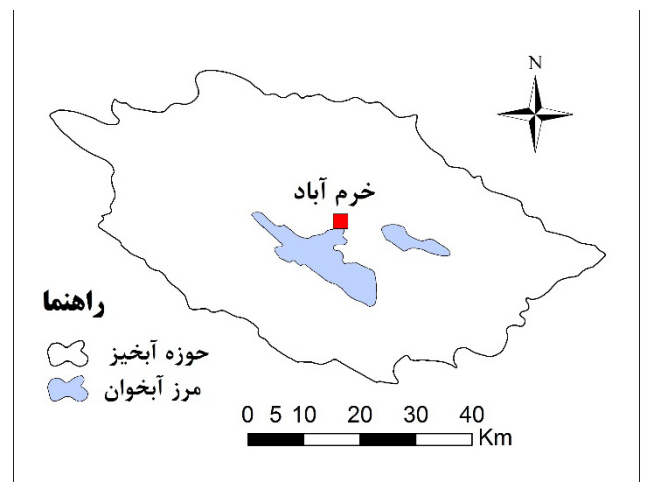
شکل ۱: موقعیت محدوده مطالعاتی

در محدوده مورد مطالعه تعداد حداقل ۱۷ دهنه چشمه و ۱۰ دهنه سراب جمعاً ۲۷ دهنه چشمه و سراب با آبدهی بیش از ۲۰ لیتر در

ثانیه وجود دارد. لازم به ذکر است که در عرف محلی به چشمه‌هایی که بدون در نظر گرفتن معیار اندازه‌گیری، از آبدهی بالا و چشم‌گیری برخوردار باشند، اصطلاحاً «سراب» گفته‌شده و چشمه‌هایی که دارای آبدهی کمی باشند، لفظ «چشمه» را بکار می‌برند.

با توجه به آنچه گفته شد سراب‌های گلستان، مطهری، رباط، چنگایی (نیلوفر)، ناوه‌کش و دوره که نسبت آبدهی حداکثر به حداقل آن‌ها کم است. حجم آبخوان‌شان وسیع‌تر می‌باشد. ولی سراب‌های کیو و گرداب سنگی که این نسبت زیاد است، حجم آبخوان آن‌ها وسیع نمی‌باشد. و معمولاً هر چه حجم آبخوان بیش‌تر باشد این نسبت کمتر می‌شود.

موقعیت آبخوان‌های موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه در شکل (۲) داده شده است.



شکل ۲: موقعیت آبخوان‌های موجود در منطقه مطالعاتی

بررسی آبخوان‌های کارستیک منطقه مورد مطالعه

با بررسی جنس سازندها و پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی، می‌توان گفت که عوامل مختلف کارست زایی در سازندهای آهکی زاگرس از جمله فشارهای تکتونیکی و ایجاد چین‌هایی که تماماً در راستای شمال غربی - جنوب شرقی اعمال‌شده، توانسته است تخلخل‌های ثانوی وسیعی را در گستره آهک‌ها منطقه ایجاد نماید. که توانایی ذخیره آب‌های نفوذی را داشته و به تدریج در جهت کاهش گرادیان هیدرولیکی، آب‌های زیرزمینی را از طریق جریان‌های زیرزمینی، چشمه‌ها و سراب‌ها تخلیه نماید.

بنابراین در منطقه مورد مطالعه، بر مبنای مقایسه جنس سازندها، هیدروژئولوژی، امتداد لایه‌بندی و آبدهی سراب‌ها، تعداد ۷ آبخوان را می‌توان به شرح زیر برشمرد:

۱- سراب‌های مطهری، گلستان، گرداب سنگی و دارائی از آبخوان آهکی گسترده، سازند سروک در قسمت یال شمال شرقی سفیدکوه خرم‌آباد و سراب نیلوفر (چنگائی)، نیز از همین سازند در یال جنوب غربی آن منشأ می‌گیرند.

۲- سراب کیو با توجه به موقعیت زمین ساختاری آن، از آبخوان آهکی سازندهای ایلام -سورگه که مستقلاً در امتداد رودخانه خرم‌آباد به طرف روستای سرمغ بالا و پایین کشیده شده، منشأ می‌گیرد.

۳- سراب رباط از آبخوان سازند سروک طاق‌دیس کوه چک ریز، در شمال شرقی روستای رباط منشأ می‌گیرد.

۴- سراب ماهی بازان از آبخوان سازند آسماری - شهبازان در جنوب غربی روستای رباط نمکی سرچشمه می‌گیرد [۱۴].

۵- منشأ سراب تله زنگ، از آبخوان سازند تله زنگ واقع در تنگ شبیخون، که به صورت آبخوان مستقل با پهنای کم در جهت شمال غربی - جنوب شرقی می‌باشد، خواهد بود.

۶- سراب تلخ نیز تخلیه کننده بخشی از آب آبخوان آهکی سازند آسماری-شهبازان در شمال روستایی به همین نام، می‌باشد.

۷- سراب‌های دوره و ناوه‌کش نیز از آبخوان آهکی سازند آسماری - شهبازان در یال جنوب غربی آن ناحیه منشأ می‌گیرند.

یا توجه به موارد فوق می‌توان گفت که از میان آبخوان‌های مذکور، آبخوان سازند سروک از همه بزرگ‌تر و مهم‌تر می‌باشد

محاسبه ضریب فروکش سراب‌ها و حجم ذخیره دینامیکی آبخوان‌های کارستیک

ذخیره دینامیک شامل حجم آبی است که در بالای تراز مظهر چشمه تا بالاترین ارتفاع آب در آبخوان کارستی وجود دارد. حجم آب ذخیره‌شده در بالای تراز چشمه به وسیله روش مایه (E.Maillet) محاسبه می‌شود. در این روش تغییرات بده چشمه برحسب زمان، با تحلیل روند کاهش بده پس از قطع بارندگی در دوره خشک مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بر اساس این تحلیل مقدار آب ذخیره‌شده در بالای تراز چشمه از رابطه زیر قابل محاسبه است و در ادامه به تفصیل در این مورد توضیح داده شده است [۲].

$$V_0 = \left(\frac{86400 \times Q_0}{\alpha} \right) \quad (\text{الف})$$

α : شیب خط یا خطوط روند کاهش جریان
 Q_0 : بده آب در آغاز دوره خشک برحسب مترمکعب در ثانیه
 برای محاسبه زمان میرایی چشمه یا برنامه‌ریزی بهره‌برداری به منظور تأمین زمانی که بده چشمه به حداقل ممکن تا مرز خشک شدن یا حد موردنیاز بهره‌برداری برسد از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$T.D = \left(\frac{\log Q_0 - \log Q_t}{0.4343\alpha} \right) \quad (\text{ب})$$

$T.D$: زمان میرایی چشمه
 Q : بده چشمه در حال خشک شدن برحسب لیتر در ثانیه
 ضریب فروکش (α) نشانگر توانائی تخلیه آب زیرزمینی می‌باشد و نتیجه خصوصیات هیدروژئولوژیکی محیط، یعنی تخلخل مؤثر و ضریب قابلیت انتقال (T) آبخوان است. آب‌های سطحی به‌ویژه اثرات

جریان خروجی آب زیرزمینی را نشان می‌دهد؛ بنابراین با تقریب می‌توان نوشت:

$$\log Q_t = \log Q_0 - 0.4343(t - t_0)\alpha \quad (3)$$

تجربه نشان می‌دهد برای یک سیستم کارستی توسعه یافته، معمولاً سه خط مستقیم و سه ضریب تخلیه مربوطه مورد انتظار است. هرچند این امر منحنی‌های فروکش ساده‌تر یا پیچیده را نفی نمی‌سازد. البته در مورد چشمه‌های ساده و پیچیده هم ممکن است چنین حالتی پیش آید.

ضرایب α_1 و α_2 جریان خروجی از ذخایر آبی آبخوان، در سیستم کارستی با تخلخل انحلالی دارای غار و مجاری و توسط شکاف‌های عریض انحلالی را نشان می‌دهند؛ و ضریب α_3 مشخص‌کننده مقدار خروجی از ذخایر آبی است که، تنها به صورت شرطی در آبخوان به حساب خواهد آمد. این ذخایر به خصوصیات هیدروژئولوژیکی محلی حاکم بر کل توده سنگ بستگی دارد. آن‌ها عمدتاً در سیستم تخلخل شکافی، در مواد ماسه‌ای و ماسه رس دار نهشته شده در غارها و مجاری غیرفعال، در آبخوان محلی و در تعدادی سیفون‌های مجاری ذخیره می‌شوند. مهم‌ترین ذخایر از نظر تأمین آب دائم آن‌هایی می‌باشند که، به وسیله ضریب α مشخص می‌شوند [۱].

محاسبه حجم ذخیره دینامیکی

اساس محاسبه کمی ذخیره دینامیکی شکل عمومی معادله مایه (MAILLET) است که برای شاخه‌های فروکش آب‌نمودهای تخلیه متمرکز آبخوان، مناسب می‌باشد (هنگامی که جریان ورودی عملاً صفر است). شکل عمومی این معادله عبارت است از:

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t} \quad (4)$$

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha(t-t_0)} \quad (5)$$

Qt: آبدهی چشمه در طول دوره t-t0 برحسب مترمکعب در ثانیه
Q0: آبدهی چشمه در زمان t0 برحسب مترمکعب در ثانیه

t0: زمان شروع محاسبه تخلیه آب از آبخوان

t: زمان پایان دوره محاسبه تخلیه آب از آبخوان

α : ضریب الگوی تخلیه آبخوان (ضریب فروکش)

e: پایه لگاریتم طبیعی

میزان حجم ذخیره دینامیکی چشمه از فرمول‌های زیر به دست می‌آید

$$V = \frac{Q_0}{\alpha} e^{-\alpha(t-t_0)} \quad (6)$$

چون $Q_t = Q_0 e^{-\alpha(t-t_0)}$ است پس حجم آبخوان کارستی در زمان (t) برابر است با:

$$V_t = \frac{Q_t}{\alpha} \quad (7)$$

در نتیجه ضریب تخلیه (α) معادل (۱):

ذخیره طبیعی موقتی، استفاده درست از روش‌های منحنی فروکش را محدود می‌کند. در حالتی که چشمه جز از آب آبخوان، از آبی هم که در پوله‌های کارستی مستغرق ذخیره می‌شود (غالباً از طریق ارتباط زیرزمینی مستقیم پوله و چشمه)، تخلیه نماید. ضریب (α) نشانگر توانائی تخلیه زیرزمینی نخواهد بود. در این مورد چشمه هم از آبخوان و هم از ذخیره آب سطحی تخلیه می‌کند، مقدار ضریب تخلیه کاهش می‌یابد. وقتی که تأخیر آب‌های زیرزمینی (با شیب کمتر اما طولانی‌تر منحنی فروکش) زیاد می‌شود دلالت بر ذخایر زیاد دینامیکی آبخوان (بالای تراز چشمه) و چشمه‌های دائمی می‌نماید [۱].

ولی وقتی که ضریب (α) زیاد باشد، منحنی فروکش دارای شیب تند است و زمین توانائی تأخیر ضعیفی را دارد. ذخایر دینامیکی در این حالت ذخایر موقتی بوده و خیلی سریع تخلیه می‌شود و لذا چشمه‌های چنین آبخوان‌هایی متناوب هستند [۱].

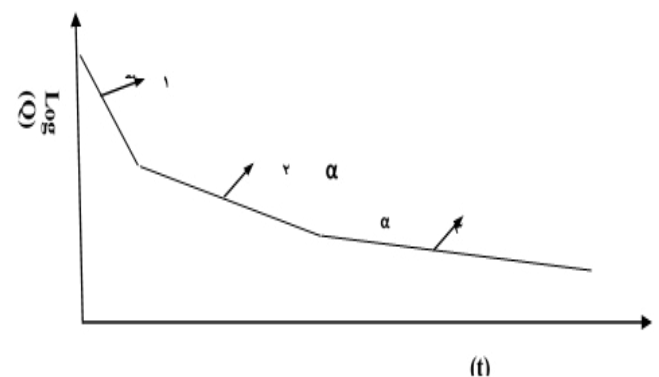
نمایش ترسیمی بخش فروکش در مقیاس حسابی به صورت یک منحنی نزولی است. همین منحنی در مقیاس‌های نیمه لگاریتمی به صورت خط مستقیم درمی‌آید. بنابراین ضریب تخلیه (α) توسط تانژانت زاویه بین خط مستقیم و محور افقی بیان می‌شود.

از لگاریتم معادله $Q_t = Q_0 e^{-\alpha(t-t_0)}$ می‌توان ضریب تخلیه (α) را به صورت زیر محاسبه نمود:

$$\log Q_t = \log Q_0 - 0.4343(t - t_0)\alpha \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{\log Q_0 - \log Q_t}{0.4343(t - t_0)} \quad (2)$$

در اکثر موارد تخلیه آبخوان کارستی توسط منحنی‌های مختلف فروکش مشخص می‌شود. که ممکن است به صورت چند خط مستقیم کوتاه با شیب‌های مختلف و ضرایب تخلیه مربوط (α) و α_1 و α_2 و α_3 در دستگاه مختصات نیمه لگاریتمی به صورت تابع مرکب به دست آید که این نوع منحنی فروکش، نشان‌دهنده رژیم‌های متفاوت تخلیه آبخوان و به عبارت دیگر خصوصیات پیچیده هیدروژئولوژیکی توده سنگ کارستی می‌باشد [۱].



شکل ۳: نمودار شاخه فروکش یک چشمه با رژیم‌های متفاوت جریان خروجی آب زیرزمینی [۱]

شکل (۳) نمودار شاخه فروکش یک چشمه با رژیم‌های متفاوت

می‌باشد. همچنین نسبت کم آبدهی حداکثر به حداقل آن‌ها، مبین ذخایر زیاد آبخوان و دائمی بودن آبدهی این سراب‌ها است.

سراب‌های کیو و گرداب سنگی دو ضریب فروکش دارند که مبین عبور آب از دو سیستم درز و شکاف در محیط کارستی آبخوان آن‌ها می‌باشد. روند تغییرات شاخه فروکش آن‌ها در ابتدا تا مدتی دارای شیب ملایم و ضریب تخلیه کم است و در ادامه با شیب تند و ضریب تخلیه زیاد در زمان کوتاهی آبدهی آن، بسیار ناچیز می‌شود؛ زیرا به نظر می‌رسد که سیستم‌های درز و شکاف محیط کارستی آن‌ها در ابتدای آبخوان، به شکل مجاری و کانال‌های بزرگ و توسعه‌یافته کارستی است و در محدوده نزدیکی‌های مظهر سراب دارای مسیرهای باریک کارستی، مجاری تنگ و منافذ ریز بهم‌پیوسته باشد به‌همین دلیل ابتدا آب موجود در سیستم درز و شکاف‌های محدوده مظهر خارج می‌شود سپس آب درون سیستم درز و شکاف‌های اوایل آبخوان تخلیه می‌گردد و یا به دلیل این‌که ایستگاه برف‌سنجی در ارتفاعات وجود ندارد.

نسبت زیاد آبدهی حداکثر به حداقل این سراب‌ها نشانگر این است که آبخوان آن محدود و دارای ذخایر زیادی نمی‌باشد. ضریب فروکش‌های به‌دست‌آمده مبین آن است که سراب ناوه‌کش بیش‌ترین حجم ذخیره دینامیکی را دارد و به‌ترتیب سراب‌های مطهری، گلستان، چنگایی (نیلوفر)، رباط و دوره در رده‌های بعدی قرار دارند. سراب‌های گرداب سنگی و کیو به دلیل اینکه غیر دائم هستند فاقد حجم ذخیره دینامیکی می‌باشند. ضرایب مربوط به فروکش سراب‌ها در جدول (۱) و پارامترهای مورد بررسی در هر سراب در جدول (۲) ارائه شده است.

$$\alpha = \frac{Q_t}{V_t} \quad (8)$$

که این مقدار با حجم دینامیکی آبخوان (حجم بالای تراز آب چشمه) رابطه معکوس دارد؛ بنابراین حجم آبخوان در آغاز تخلیه (10) با جریان خروجی (Q0) معادل:

$$V = \frac{86400Q_0}{\alpha} \quad (9)$$

در فرمول فوق 86400 برابر با تعداد ثانیه در روز است که برای آبنمود مرکب و شرایط پیچیده مقادیر متعدد (α) خواهیم داشت [1].

$$V_0 = V_{01} + V_{02} + \dots + V_{0n} \quad (10)$$

$$V_0 = 86400 \left[\frac{Q_{02}}{\alpha_1} + \frac{Q_{01}}{\alpha_2} + \dots + \frac{Q_{03}}{\alpha_3} \right] \quad (11)$$

واحد آن مترمکعب و هر عبارت در این معادله حجم و ذخیره آب آبخوان را در داخل نوع خاص تخلخل مربوطه نشان می‌دهد. هر سرابی دارای ضرایب تخلیه مختص به خود است که فقط در درازمدت برحسب میزان حساسیت و تأثیرپذیری از عوامل مختلف کارست زایی، تغییر می‌یابد؛ بنابراین در دوره‌های اجرا و توسعه طرح‌ها، به‌راحتی و بدون هیچ تردیدی قابل استفاده است. مهم‌ترین کاربرد محاسبه حجم ذخیره دینامیکی، مقایسه آن با حجم تخلیه سالانه است که هرگاه حجم ذخیره دینامیکی از حجم تخلیه سالانه بیش‌تر باشد، در صورت نیاز می‌توان برای بهره‌برداری از آن‌ها با حفر چاه‌هایی در سازندهای آهکی اقدام نمود.

بحث و نتایج

رژیم‌های متفاوت جریان خروجی آب زیرزمینی

اولین رژیم تخلیه نشان‌دهنده عبور آب از مجاری و کانال‌های بزرگ و توسعه‌یافته کارستی است. که این عمل به‌سرعت و بلافاصله پس از نفوذ آب به درون توده کارست انجام و این رژیم تخلیه بیش‌ترین شیب را دارد.

رژیم دوم تخلیه مربوط به عبور آب از درون مجاری کارستی کوچک‌تر و فرعی و کم‌تر توسعه‌یافته است که با سرعت کم‌تری انجام می‌شود.

رژیم سوم نشانگر عبور آب از مسیرهای باریک کارستی و مجاری تنگ و منافذ ریز بهم‌پیوسته است که با کم‌ترین سرعت و بازمان طولانی‌تری صورت می‌گیرد. درواقع این رژیم تخلیه به‌عنوان آبدهی پایه چشمه باید در نظر گرفته شود [13].

شاخه فروکش سراب‌های گلستان، مطهری، چنگایی (نیلوفر)، ناوه‌کش، دوره و رباط، دارای یک ضریب فروکش با شیب ملایم و مقدار کم هستند. این ضریب نشان‌دهنده عبور آب از یک سیستم درز و شکاف در محیط کارستی آبخوان آن‌ها با در نظر گرفتن امتداد و جهت درزه‌های آبخوان آن‌ها که در بخش تکتونیک گفته شد

جدول ۱: ضریب فروکش سراب‌ها

ردیف	نام سراب	ضریب فروکش	
		(α_1)	(α_2)
۱	گلستان	۰/۰۰۹۷	
۲	مطهری	۰/۰۰۹۰	
۳	گرداب سنگی	۰/۰۵۰۰	۰/۲۹۰۰
۴	کیو	۰/۰۵۵۰	۰/۴۲۰۰
۵	چنگایی (نیلوفر)	۰/۰۱۳۰	
۶	ناوه‌کش	۰/۰۰۴۵	
۷	دوره	۰/۰۴۳۰	
۸	رباط	۰/۰۲۳۰	

جدول ۲: پارامترهای مورد بررسی در سراب‌های مورد مطالعه

نام سراب	حجم ذخیره		پارامترهای محاسبه شده
	حجم ذخیره	حجم ذخیره	
کیو	۸۴۰۸۰	۵۰/۹	زمان
گلستان	۳/۹	۱۱/۸	میرایی
مطهری	۳/۹	۱۱/۳۲	سراب
چنگایی (نیلوفر)	۰/۵۸	۱۱/۳۲	مترمکعب
ناوه‌کش	۷/۵	۱۱/۵۲	(روز)
سراب دوره	۰/۲	۰/۵	
سراب رباط	۰/۲۵	۴/۹۹	

پژوهش‌های داخلی و خارجی زیادی در رابطه با منابع آب زیرزمینی و چشمه‌های کارستی صورت گرفته است، مانند کلانتری و همکاران [۹]، قبادی و همکاران [۷]، فیرویلو [۱] و کوکس و همکاران [۱۰] و ... از تجزیه و تحلیل هیدروگراف و منحنی‌های فروکش برای تعیین خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان‌های کارستی کمک گرفته‌اند. در بیش‌تر موارد با استفاده از داده‌های سری زمانی هیدروگراف تخلیه و منحنی‌های فروکش می‌توان در ارتباط با خصوصیات سفره آبدار کارستی اظهار نظر کرد. در این پژوهش نیز از تجزیه و تحلیل هیدروگراف و ضرایب فروکش برای تعیین خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان‌های کارستی استفاده شده است.

نتیجه‌گیری

سازندهای غیر کربناته نیز دودسته‌اند: سازندهای با خصوصیات کارستیک (سازندهای گروه فارس) و غیر کارستیک (سازندهای امیران و کشکان). در این محدوده سازندهای کربناته کارست توسعه یافته گسترش بیشتری نسبت به سایر سازندها دارد.

تمام سراب‌های مورد مطالعه، آبگیر و خروجی آن‌ها از سازندهای کربناته می‌باشد. به طوری که آبخوان سراب‌های رباط، مطهری، گلستان، گرداب سنگی، چنگایی (نیلوفر)، ناهه‌کش و دوره سازندهای کارستیک توسعه یافته می‌باشد؛ و آبخوان سراب کیو علی‌رغم این که بیش‌ترین آبدهی را دارد در گروه سازندهای کمتر توسعه قرار گرفته است. زیرا به نظر می‌رسد که آبخوان این سراب از سازند سروک سفیدکوه هم تغذیه شود.

از تعداد هفت آبخوان کارستیک منطقه که سراب‌ها از آن‌ها تخلیه می‌گردند. آبخوان سازند سروک سفیدکوه از گسترش بیش‌تری نسبت به سایر آبخوان‌ها برخوردار است و به ترتیب آبخوان‌های سازند آسماری-شهبازان، سازند سروک کوه چکریز، سازند ایلام-سورگاه در رده‌های بعدی قرار دارند. وسعت و اهمیت سایر آبخوان‌ها تقریباً نزدیک به یکدیگر می‌باشند. هم‌چنین از تعداد هشت سراب

مورد مطالعه، که آبدهی آن‌ها اندازه‌گیری می‌شود. سراب‌های کیو و رباط بیش‌ترین و سراب دوره کم‌ترین آبدهی را دارند. سراب‌های مطهری، گلستان، چنگایی، ناهه‌کش، دوره و رباط در طول دوره آماری از تغییرات آبدهی کم‌تری برخوردارند. ولی تغییرات آبدهی سراب‌های کیو و گرداب سنگی زیاد می‌باشد. سراب رباط از نوع گسلی (گسل سراب رباط) و بقیه سراب‌ها سرریزی می‌باشند.

آب‌نمود تغییرات آبدهی سراب‌ها نشان می‌دهد که روند تغییرات آبدهی سراب‌های مطهری با گلستان و دوره با ناهه‌کش مشابه هستند. زیرا از نظر موقعیت مکانی نزدیک به هم هستند و از یک سازند با سیستم درز و شکاف مثل هم تخلیه می‌گردند. نوع سراب‌ها نیز سرریزی است. سراب‌های کیو و گرداب سنگی علی‌رغم اینکه از دو آبخوان تخلیه می‌شوند دارای تغییرات آبدهی شبیه به هم می‌باشند. به علت این که هر دو از نوع سرریزی می‌باشند و دارای آبخوان با وسعت محدودی هستند و سیستم درز و شکاف محیط کارستی آن‌ها هم مشابه است. رقوم ارتفاع آن‌ها نیز بالاتر از سایر سراب‌های داخل شهر خرم‌آباد می‌باشد. روند تغییرات آبدهی سراب‌های رباط با سایر سراب‌ها متفاوت است. زیرا موقعیت مکانی، سیستم درز و شکاف و هم‌چنین نوع و میزان بارشی که سراب رباط را تحت تأثیر قرار می‌دهد با دیگر سراب‌ها متفاوت است. نوع این نیز گسلی می‌باشد. سراب چنگایی (نیلوفر) به دلیل این که در یال جنوبی طاق‌دیس سفید کو واقع است دارای روند تغییرات آبدهی جداگانه می‌باشد. نمودارهای مقایسه بارندگی و آبدهی سراب‌ها بیانگر این است که: در هر سال آبی وقتی بارندگی‌ها شروع می‌شود. آبدهی سراب‌های کیو و گرداب سنگی با تأخیر نمود می‌یابد. ولی سایر سراب‌ها بدون تأخیر نمایان می‌شوند. هم‌چنین تفاوت حداکثر بارندگی ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد با حداکثر آبدهی سراب‌های مطهری، گلستان، گرداب سنگی، کیو، چنگایی، ناهه‌کش و دوره در طول دوره آماری به‌طور متوسط ۷۵ روز است و تفاوت حداکثر بارندگی ایستگاه کاکارضا با حداکثر آبدهی سراب رباط به‌طور متوسط در طول دوره آماری ۵۰ روز می‌باشد. ضریب فروکش سراب‌های گلستان، مطهری، چنگایی (نیلوفر) ناهه‌کش، دوره و رباط نشان‌دهنده عبور آب از یک سیستم درز و شکاف در محیط کارستی آبخوان آن‌ها می‌باشد. شیب ملایم (ضریب تخلیه کم) شاخه فروکش و نسبت کم آبدهی حداکثر به حداقل آن‌ها مبین ذخایر زیاد آبخوان و دائمی بودن آبدهی این سراب‌ها است.

ضرایب تخلیه سراب‌های گرداب سنگی و کیو، دو سیستم درز و شکاف در محیط کارستی آبخوان آن‌ها را بیان می‌کند. نسبت زیاد آبدهی حداکثر به حداقل این سراب‌ها نیز دلالت بر آبخوان محدود و ذخایر کم آن‌ها می‌باشد. روند تغییرات شاخه فروکش آن‌ها که دارای دو ضریب تخلیه است در ابتدا تا مدتی با شیب ملایم و ضریب تخلیه کم، کاهش تدریجی دارد سپس با شیب تند و ضریب تخلیه زیاد، در زمان کوتاهی آبدهی آن‌ها، بسیار ناچیز می‌شود. زیرا به نظر می‌رسد سیستم درز و شکاف محیط کارستی

4-Brian B. H. Brian A. S. Nico H. 2012. Real and Apparent Daily Springflow Fluctuations During Drought Conditions in a Karst Aquifer, Barton Springs Segment of the Edwards Aquifer, Central Texas, in: Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, 62(1): 189–204.

5-Chen Zh. Grasby S. and Osadetz K. 2004. Relation between climate variability and groundwater levels in the upper carbonate aquifer, southern Manitoba, Canada, Journal of Hydrology, 43–62.

6-Fiorillo F. 2009. Spring Hydrographs as Indicators of Droughts in a Karst Environment, Journal of Hydrology, 290-301.

7-Ghobadi M. Dehban M And Mirarabi A. 2017. Investigation of hydrogeological and hydrogeochemical characteristics of Dastfak karstic basin (Gilan province, northeast of Rudbar), Quarterly Journal of Environmental Geology. 11(3), 13-31.

8-Hamidi zadeh F. Kalantari N. Keshavarzi M. and Charch A. 2012. Hydrogeological and geo-structural assessment of the Dareh-e-Anari spring in the Shirin Bahar karstic area, Khuzestan province, Iran Water Resources Research., 8(1), 30-42.

9-Kalantari N. Mohammadi behzad H. Cherchi A. and Keshavarzi M. 2011. Karstic springs as the easiest tool for determining the hydrogeological characteristics of karstic aquifers, Case study of Bibitalkhon Fountain, Khuzestan Province. Journal of Advanced Applied Geology, 2(1); 90-100.

10-Kovacs A. Perrochet P. Kiraly L. and Jeannin P. 2005. A quantitative method for the characterisation of karst aquifers based on spring hydrograph analysis, Journal of Hydrology, 152–164.

11-Lu Ch. Zhang Y. Shu L. Chen X. Li S. 2015. Wang G and Li J. Stochastic analysis of the hydraulic conductivity estimated for a heterogeneous aquifer via numerical modelling, Remote Sensing and GIS for Hydrology and Water Resources. 472-477.

12-Maleki A. Mohammadi S. Karimi H. and Zinati Zadeh A. 2018. Evaluation of karst development using the hydrogeochemical characteristics of karst springs in Shahu and Islamabad aquifers in Kermanshah

آن‌ها در اوایل آبخوان به شکل کانال‌ها و مجاری بزرگ باشد ولی در محدوده مظهر، این سیستم به صورت مجاری کوچک و منافذ ریز به هم پیوسته است. با بررسی رژیم تخلیه و مقایسه آبدهی سراب‌های این محدوده مطالعاتی در سال آبی (۱۳۸۲-۸۳)، به ترتیب سراب کیو بیش‌ترین حجم دینامیکی ولی مدت تداوم کم‌تر را دارد سپس سراب‌های گلستان، ناوه‌کش، مطهری و رباط با مدت تداوم زیادتر، گرداب سنگی با مدت تداوم کم، چنگایی (نیلوفر) با مدت تداوم خوب و سراب دوره با کم‌ترین ذخیره دینامیکی ولی مدت تداوم خوب، در رده‌های بعدی قرار دارند که از میان آن‌ها سراب رباط دارای آبخوان کاملاً جداگانه‌ای است ولی آنگیر سایر سراب‌ها، طاق‌دیس خرم‌آباد (با سازندهای متفاوت) می‌باشد. توضیح این‌که سراب کیو در حالی بیش‌ترین آبدهی را نشان می‌دهد، که به نظر می‌رسد آبخوان آن علاوه بر آب موجود در خود، تحت تأثیر نفوذ منابع آب‌های سازند سروک سفیدکوه نیز قرار می‌گیرد. بنا بر مطالب فوق و در نظر گرفتن مدت تداوم محاسبه شده در صورت ادامه دوره خشک در کوتاه مدت، سراب‌های کیو و گرداب سنگی کاملاً فاقد آبدهی می‌شوند و سراب‌های دوره، رباط و چنگایی (نیلوفر) در کم‌تر از یک سال، سراب‌های گلستان و مطهری چنانچه دوره خشک در حدود یک سال و نیم و سراب ناوه‌کش نزدیک به دو سال و نیم ادامه یابد، به کم‌ترین میزان آبدهی خواهند رسید [۱۴].

با مقایسه ذخیره دینامیکی و حجم تخلیه سالانه، به دلیل این‌که حجم ذخیره دینامیکی سراب‌های کیو، گرداب سنگی، رباط و دوره کم‌تر از حجم تخلیه سالانه می‌باشد. پیش‌بینی می‌شود در صورتی که چاه‌هایی در سازند آهکی آبخوان آن‌ها حفر و سپس از آن بهره‌برداری شود، سراب‌های مذکور در زمان اوج مصرف نتوانند آبدهی لازم را داشته باشند. لذا پیشنهاد می‌گردد حتی‌الامکان از این امر خودداری شود. با توجه به اینکه مدت تداوم و ذخیره دینامیکی سراب‌های کیو، گرداب سنگی کم است و نوع سراب‌ها نیز غیر دائم می‌باشند. پیشنهاد می‌شود که از این سراب‌ها، برای طرح‌های توسعه در زمانی که تغذیه آبخوان قطع می‌گردد، استفاده نشود. پیشنهاد می‌شود حتی‌الامکان از سراب‌های رباط، چنگایی و دوره نیز برای طرح‌های توسعه استفاده نگردد. زیرا مدت تداوم و ذخیره دینامیکی آن‌ها خیلی کم است و این‌گونه طرح‌ها توجیه‌پذیر نیستند.

منابع

1-Aghasi A. 2008. Karst hydrogeology, Journal of Water Industry Standard Design. No. 17.

2-Abdan Faraz 2000. First stage studies on the transfer of water from the Harod river to Khorramabad area. Report of meteorological studies of the project area

3-Bonacci, O. 1993. Karst springs hydrographs as indicators of karst aquifers. Hydrological Sciences.

14-Zivdar and Ebrahimi. 2012. Evaluation of karst springs, First Conference on Optimal Utilization of Water Resources in Lorestan Province, Khoramabad.

province, Quantitative geomorphology research. 6(4); 131-146.

13-Rezaei M. 2001. Prediction of Changes in Karstic Springs Discharge in Drought Periods, Karst Studies Research Center.



Abstract

Study of Hydraulic Parameters of Karstic Aquifers in Khorramabad County

F. Kordi¹, L. Ghasemi², H. Yousefi³ and A. Haghizadeh⁴

Received: 2018/10/16 Accepted: 2019/09/12

Groundwater is one of the most dispersed and most important sources of the earth's crust. The groundwater flow in the karstic rocks is completely different from the movement of this fluid in non-karstic zones. This flow shows the specific hydrological characteristics of the karstic zones. For the full development of underground water reservoirs, it has to be highly assessed in terms of quantitatively and qualitatively to avoid unnecessary information and assumptions from groundwater, resulting in false usage and reduction. Since karst water resources, large reserves of underground water in different regions of the country, Especially in the study area, it is necessary to be more dynamic and active in the management and preservation of water resources. The purpose of this study was to Assessment of hydraulic parameters of Karstic aquifers in Khorramabad city. In this study, seven regional aquifer Karstic were studied. All of the studied mirages are inundated and exited from carbonate formations. As the aquifers of Robot, Motahari, Golestan, Gerdab Sangi, Changhai (Niloofar), Nawekash, and Dureh Karst Formation has been developed; and kyo aquifer, despite the fact that it has the most drainage, is located in less developed formations. By comparing dynamic storage and annual discharge volumes, Because the dynamic storage volume of the Mirage Kyo, Gerdab sangi, Robot and Dureh is less than the annual evacuation volume, if the wells are dug in the limestone formation of the aquifer and then exploited, the springs will not be able to drain at the peak of consumption. Therefore, it is suggested that this should be avoided as much as possible. Given that the duration of the dynamic storage of the Mirage Kyo is low, the Gerdab sangi is small and the type of mirage is also non-permanent. It is suggested that these mirages should not be used for development projects when the aquifer Recharge is cut off.

Keywords: Groundwater, Karstic zones, Maintenance management, Formations, Hydrological characteristic

1,2 M.Sc, Student, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran

3 Associate professor, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Corresponding author, Email: Hosseinyousefi@ut.ac.ir

4 Associate Professor of Rangeland and Watershed Management Department, College of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University