

صص ۸۵-۵۹

بررسی توسعه کارست با استفاده از ویژگی‌های هیدرولوژیکی و هیدرو شیمی چشمه‌ها (مطالعه موردی: حوضه روئین در استان خراسان شمالی)

محمد معتمدی راد*

استادیار گروه آموزشی جغرافیا، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران

لیلا کلی مختاری

استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

شهرام بهرامی

دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

محمدعلی زنگنه اسدی

دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۲۶

چکیده

جهت مطالعه توسعه کارست با استفاده از ویژگی‌های هیدرولوژیکی و هیدرو شیمی چشمه‌ها حوضه روئین انتخاب و تعداد ۱۹ دهنه چشمه در منطقه مطالعاتی مورد شناسایی قرار گرفت. سپس به محاسبه و تحلیل پارامترهایی نظیر دبی و هیدرو گراف چشمه‌ها، ضریب فرود (α)، حجم ذخیره دینامیکی (V)، ضریب خشکیدگی یا زمان مرگ چشمه‌ها (t0)، ترسیم نمودار پایپر، نسبت کلسیم به منیزیم، اندیس اشباع، تعیین جنس سنگ مخزن و بررسی ژئومورفولوژی کارست حوضه مطالعاتی پرداخته شد. هیدرو گراف چشمه‌ها در حوضه مطالعاتی نشان از زمان تأخیر بین پیک بارندگی و پیک دبی در چشمه‌ها دارد که در آن دبی حداکثر چشمه با تأخیری حدود دو یا سه ماه به حداکثر خود می‌رسد. ضریب پایپر فرود و حجم ذخیره دینامیک آبخوان نمایانگر توسعه پایین کارست است. اندیس اشباع نشان می‌دهد که نمونه‌های آب چشمه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه همگی حالت اشباع و فوق اشباع می‌باشند. ترسیم نمودار پایپر در منطقه مطالعاتی نشان داد که اغلب چشمه‌ها دارای تیپ بیکریناته، و منیزیک می‌باشند. بر اساس شاخص نسبت Ca به Mg دارای سفره تغذیه آبخوان دولومیتی می‌باشند. بررسی تعیین جنس سنگ مخزن در منطقه نشان داد، جنس سنگ مخزن در منطقه از نوع دولومیت و دولومیت آهکی بوده و بررسی ژئومورفولوژی و مشاهدات میدانی در سطح منطقه نشان داد که اشکال کارست پیشرفته نظیر پولیه و غار بزرگ در منطقه وجود ندارد. با توجه به مطالعات انجام شده می‌توان گفت سیستم کارستی منطقه از نوع تکامل نیافته بوده و اشکال ژئومورفولوژی کارستی زیادی در منطقه مشاهده نمی‌گردد.

واژگان کلیدی: کارست، حجم ذخیره دینامیکی، پایپر، اندیس اشباع.

مقدمه

امروزه یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیشرو، نابودی یا کاهش منابعی است که در محیط طبیعی کره زمین تحت شرایطی خاص و در بستر زمانی طولانی شکل گرفته است. کشور ایران سرزمینی است خشک با نزولات جوی بسیار کم، به طوری که بارندگی آن کمتر از یک سوم متوسط بارندگی در سطح دنیاست (علیزاده، ۱۳۸۸: ۱۳). منابع آب زیرزمینی مهم‌ترین بخش از آب‌های شیرین قابل استفاده و در دسترس بشر به حساب می‌آید. از این گذشته، با توجه به توزیع نامتعادل زمانی و مکانی آب‌های سطحی و پتانسیل بالای آلودگی این آب‌ها، تقاضا برای آب‌های زیرزمینی جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی، رو به افزایش است. یکی از آسان‌ترین راه‌های استفاده از آب‌های زیرزمینی، بهره‌برداری از آبخوان‌های آبرفتی می‌باشد. اما امروزه استفاده روز افزون و بی‌رویه از آبخوان‌های آبرفتی، موجب افت سطح آب و کاهش کیفیت آب در این آبخوان‌ها گردیده است (دشتی برمکی، ۱۳۸۹: ۲). این امر باعث شده است که برای رفع کمبود آب و مشکلات ناشی از آن نظیر تأثیر منفی بر توسعه اقتصادی، اجتماعی، تأمین غذا و حفظ محیط‌زیست به مطالعه و پی‌جویی منابع جدید و مطمئن آب پرداخته شود (میر علائی موردی، ۱۳۹۱: ۲). اشکال و فرایندهای ژئومورفولوژی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در شکل‌گیری و حجم منبع آبی محسوب می‌شوند که از میان این اشکال و فرایندها می‌توان از لند فرم‌های کارستیک و عوامل تکتونیک و نقش آن‌ها در نفوذپذیری و تغذیه آب‌های زیرزمینی نام برد (Krishnamurthy and Srinivas, 1995: 2595). بالا بودن درجه کارستیفیکاسیون هر پهنه، مبتنی بر تراکم و بعضاً کثرت پدیده‌های کارستی از قبیل: حفره‌های انحلالی، شکاف‌های خرد شده، غار و کارن‌ها است. تردیدی نیست که هر قدر درجه کارستی بودن یک پهنه بیشتر باشد، با عبارت دیگر پهنه از نظر کارستی تکامل یافته‌تر باشد، در زمینه وجود منابع آب زیرزمینی کارستی و اشکال ژئومورفولوژیک خاص با چشم‌اندازهای ویژه بیشتر خواهد بود که در زمینه امکان استحصال و تأمین آب شهرهای منطقه بسیار حائز اهمیت خواهد بود. کارستی شدن در آبخوان‌های کربناته مشروط به ترکیبات شیمیایی و معدنی لیتولوژی، فرایندهای ژئوشیمیایی مهم، زمان ماندگاری آب، و دیگر فاکتورهای اصلی است که وظیفه هیدروژئولوژیکی سیستم را تعیین می‌کند (Ford and Williams, 2007). می‌توان گفت که چرخه هیدرولوژیکی، سامانه تغذیه، تخلیه و ویژگی‌های یونی چشمه‌ها بیانگر میزان توسعه کارستی حاکم بر یک ناحیه‌اند (مقصودی و همکاران، ۱۳۸۸: ۵۲). با کمک مدل‌های کمی و هیدرو گراف جریان چشمه‌ها می‌توان اطلاعات کاملی از عملکرد کل سیستم کارست در یک ناحیه به دست آورد (Bakalowicz et al, 2005: 158). مطالعاتی در مورد توسعه کارست با استفاده از ویژگی‌های هیدرولوژیکی و هیدرو شیمی صورت گرفته است که به برخی اشاره می‌گردد.

کورک ماز^۱ (۱۹۹۰)، لویز-چیکانو^۲ و همکاران (۲۰۰۱)، کوماک^۳ (۲۰۰۶)، اوزلر^۴ (۲۰۱۰)، شیزن^۵ و همکاران (۲۰۲۱) به مطالعه توسعه کارست با توجه به ویژگی‌های هیدرو شیمیایی حوضه‌های کارستی، نقش ساختارهای زمین‌شناسی و ... پرداختند. در ایران نیز قبادی (۱۳۸۶) در کتاب خود تحت عنوان زمین‌شناسی مهندسی کارست پس از تعریف و رده‌بندی کارست به ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی کارست پرداخته و سپس ژئومورفولوژی کارست و جریان آب‌های زیرزمینی در کارست را مورد بررسی قرار می‌دهد. در ادامه به بررسی شرایط هیدرودینامیکی دره‌های کارستی، ردیاب‌ها در کارست، مطالعات زمین‌شناسی در مناطق کارستی، انحلال‌پذیری و اجرای پروژه‌های کارستی می‌پردازد. بهرامی (۱۳۹۲)، بهرامی و همکاران (۱۳۹۵)، ملکی و همکاران (۱۳۹۷)، حسنی و همکاران (۱۳۹۷) و سجادی و همکاران (۱۴۰۱) توسعه‌ی کارست با استفاده از ویژگی‌های هیدرودینامیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی را مورد ارزیابی قرار دادند. شناخت ویژگی‌های هیدرو شیمیایی و میزان توسعه‌یافتگی سیستم کارستی آبخوان‌ها یک نیاز اساسی جهت مدیریت علمی منابع آب و بررسی شبکه کارست و میزان توسعه آن است و میزان توسعه کارستی می‌تواند ضریب هیدرولیکی و سرعت تأثیرپذیری آبدهی چشمه‌ها از بارش را، تحت تأثیر خود قرار دهد به همین دلیل پژوهش حاضر به بررسی توسعه کارست با استفاده از ویژگی‌های هیدرولوژیکی و هیدرو شیمی در حوضه رویین اسفراین می‌پردازد.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز روئین در شمال شهرستان اسفراین و در فاصله حدود ۲۰ کیلومتری شهر اسفراین قرار دارد از نظر مختصات جغرافیایی، در محدوده طول‌های $52^{\circ} 24' 57''$ الی $57^{\circ} 38' 25''$ شرقی و عرض‌های $37^{\circ} 09' 40''$ الی $37^{\circ} 16' 23''$ شمالی و در سیستم مختصات UTM در محدوده طول‌های 536792 الی 556798 و عرض‌های 4112851 الی 4125254 واقع شده است. در منطقه مطالعاتی سه روستا به نام‌های عراقی، محمودی و روئین واقع‌اند. این منطقه از غرب به روستای کلات اسفراین، از جنوب به روستاهای امین‌آباد و سست و از شمال غرب به روستای پاکتل از توابع شهرستان بجنورد منتهی می‌گردد. به‌منظور دستیابی به منطقه مطالعاتی، پس از طی مسافت ۲۰ کیلومتر در محور ارتباطی اسفراین- بجنورد در سمت راست جاده راه ارتباطی روستای رویین واقع شده که از این نقطه پس از طی یک کیلومتر نقطه خروجی حوضه آبخیز روئین نمایان می‌شود. راه ارتباطی بین روستاهای روئین و محمودی آسفالتی و از محمودی تا روئین شوسه بوده و دیگر راه‌های ارتباطی درون محدوده مطالعاتی خاکی می‌باشند که به دلیل پراکنش نامناسب، دسترسی به تمامی نقاط حوضه را با مشکل مواجه ساخته است. در حوضه مطالعاتی تعداد ۱۳ واحد چینه سنگی و رسوبات کواترنری رخنمون یافته‌اند که به دوران اول (کامبرین و اردوئین) و دوم (ژوراسیک و کرتاسه) و سوم (پلیوسن تا عهد حاضر) تعلق دارند که شامل: سازند

1 - Korkmaz

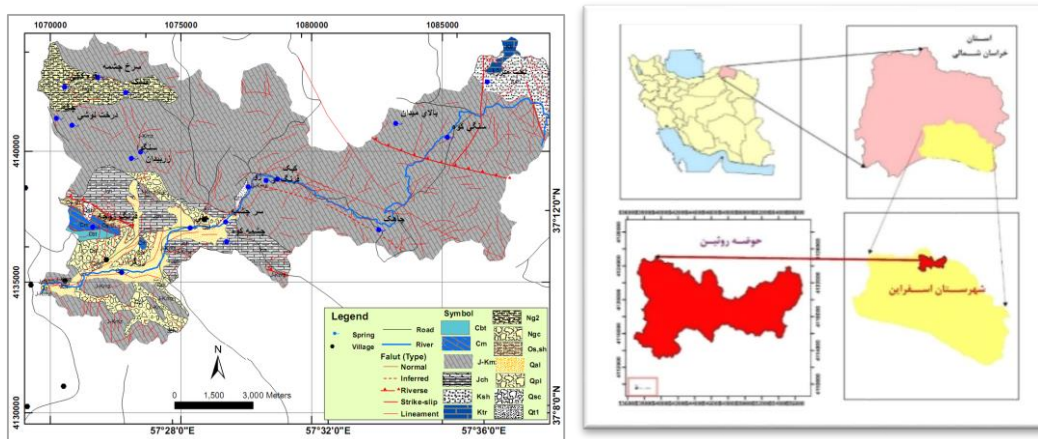
2 - Lopez- Chicano

3 - Komac

4 - Ozler

5- Shizhen

باروت (۰,۳۷ درصد)، سازند میلا (۰,۸۴ درصد)، واحد اردویسین (۰/۵۱ درصد) سازند دلپچای (۷/۳۹ درصد)، سازند مزدوران (۷۱/۰۱ درصد)، سازند تیرگان (۰/۵۲ درصد)، سازند شوربجه (۳/۸۱ درصد)، کنگلومرا و مارن نتوژن (۴/۶۷ درصد)، کنگلومرای نتوژن بالائی (۱/۲۳ درصد)، کنگلومرا (۴/۷۸ درصد)، رسوبات تراس قدیم (۰/۲ درصد)، واریزه (۰/۱۸ درصد) و رسوبات بستر مسیل (۴/۴۹ درصد) می‌باشند. شکل شماره (۱) موقعیت و شکل (۲) زمین‌شناسی حوضه آبخیز روئین را در استان خراسان شمالی نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت حوضه روئین

شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی منطقه و موقعیت نقاط (چشمه)

نمونه‌برداری هیدرو شیمیایی بر روی آن

داده‌ها و روش‌ها

ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Google Earth، حوضه آبریز روئین در دامنه جنوبی کوه‌های آلاداغ-بینالود شناسایی شد. در این پژوهش از نرم‌افزار Arc Gis، Google Earth، Rock WareAq.QA، Phreeqc و Exel استفاده گردید. جهت مطالعه چشمه‌های کارستی و بررسی خصوصیات هیدرولوژیکی و شیمیایی چشمه‌ها تعداد ۱۹ دهنه چشمه در منطقه مطالعاتی مورد شناسایی قرار گرفت و داده‌های هیدرولوژیکی و شیمیایی چشمه‌ها تهیه گردید. بدین منظور از هر چشمه یک نمونه ۲۵۰ گرمی آب به روش نمونه‌برداری لحظه‌ای و با استفاده از طرف شیشه‌ای قابل استرل کردن برداشت شد و مجموع کاتیون‌ها، آنیون‌ها، هدایت الکتریکی و درجه سختی کل تعیین گردید. جهت مطالعه چشمه‌های کارستی می‌توان به محاسبه و تحلیل پارامترهایی نظیر دی و هیدرو گراف چشمه‌ها، ضریب فرود (α)، حجم ذخیره دینامیکی (V)، ضریب خشکیدگی (t_0)، ترسیم نمودار پایپر، نسبت کلسیم به منیزیم، اندیس اشباع، تعیین جنس سنگ مخزن و بررسی ژئومورفولوژی کارست حوضه مطالعاتی اشاره نمود:

ضریب فرود(α):

رژیم تخلیه چشمه‌ها از فاکتورهای مختلفی همچون رژیم بارش، لیتولوژی، طرز قرارگیری لایه‌ها و ضخامت آن‌ها، بافت و تخلخل سنگ‌ها تأثیر می‌پذیرد و هیدرو گراف و منحنی فرود چشمه‌ها را متأثر می‌سازد. این تأثیرپذیری موجب نمایش متفاوتی از هیدرو گراف چشمه‌های نواحی کارستی در مقایسه با نواحی دیگر می‌شود. میزان ضریب آلفا که بیانگر ضریب تخلیه و توانایی تخلیه آب زیرزمینی است، خصوصیات هیدرولوژیکی منطقه را که نتیجه پارامترهایی نظیر تخلخل ثانویه و ضریب انتقال آبخوان است بیان می‌دارد. هر چه این ضریب بزرگ‌تر باشد نشان‌دهنده شیب بیشتر آب نمود، فروکشی جریان و در نتیجه بیانگر سرعت تأثیرپذیری دبی جریان از بارش خواهد بود و میزان تخلخل و کارست شدگی حوضه را نشان می‌دهد. حال آن‌که در حالت عکس، نشانگر عدم کارست شدگی یا کارست شدگی پایین حوضه است.

برای محاسبه ذخیره تخلیه از منحنی فرود مربوط به هیدرو گراف چشمه‌ها استفاده می‌شود. ضریب فرود(α) از طریق

تائزات زاویه بین خط آب نمود و محور افقی بیان می‌شود (Ford and Williams, 2007; Korkmaz, 1990):

$$\alpha = \frac{\log\left(\frac{Q_0}{Q_t}\right)}{0.4343(t)}; \quad t_2 - t_1 = t, Q_2 = Q_t \quad (۱) \text{ رابطه}$$

که در آن Q_0 دبی اولیه یا دبی در ابتدای بخش خطی منحنی فرود؛ Q_t دبی ثانویه که در نقطه‌ای به فاصله زمانی t انتخاب می‌شود و یا دبی در زمان t از شروع منحنی فرود؛ $t =$ فاصله زمانی بین دبی اولیه (Q_0) و ثانویه (Q_t) یا زمان طی شده از ابتدای همان بخش خطی منحنی فرود؛ t_1 و $t_2 =$ به ترتیب زمان (روز) شروع و انتهای دوره اندازه‌گیری و $\alpha =$ ضریب فرود چشمه است.

حجم ذخیره دینامیکی آبخوان(V):

یکی دیگر از پارامترهایی که بر اساس آن می‌توان میزان توسعه مجاری آهکی یا درجه کارست شدگی را تعیین کرد، حجم ذخیره دینامیکی آبخوان می‌باشد. میزان حجم ذخیره دینامیکی نیز به‌عنوان عاملی که نتیجه شرایط خاص زمین‌شناختی و بازخوردی از توسعه کارستی یک منطقه است. پارامتر مذکور از طریق رابطه (۲) به دست می‌آید (Bakalowicz et al, 2008: 599):

$$V_t = C \frac{Q_0}{\alpha} \rightarrow V_t = \frac{Q_0 \times 86400}{\alpha}; \quad V_t = 86400 \left(\frac{Q_{01}}{\alpha_1} + \frac{Q_{02}}{\alpha_2} + \dots + \frac{Q_{0n}}{\alpha_n} \right) \quad (۲) \text{ رابطه}$$

در این رابطه $V_t =$ حجم دینامیکی آبخوان (مترمکعب در ثانیه)؛ $Q_0 =$ میزان دبی در آغاز دوره اندازه‌گیری (مترمکعب در

ثانیه)؛ $\alpha =$ ضریب فرود و $C =$ عدد ثابت ۸۶۴۰۰ است.

ضریب خشکیدگی(t_0):

یکی دیگر از پارامترهایی که بر اساس آن می‌توان میزان کارست شدگی را نشان داد ضریب خشکیدگی و یا مدت‌زمان تخلیه چشمه با دبی Q_0 یا Q می‌باشد. بدین معنی که میزان ذخیره آبی چشمه پس از چند روز با دبی اوج، خشک و به

اتمام خواهد رسید. که هر چه ضریب خشکیدگی بیشتر باشد و به عبارتی تعداد روزهای که آب با دبی اوج، کمتر باشد نشان‌دهنده توسعه مجاری آهکی و کارستی بودن آن است. میزان ضریب خشکیدگی از طریق رابطه (۳) محاسبه می‌گردد:

$$t_0 = \frac{t \times \log e}{\log\left(\frac{Q_0}{Q_t}\right)} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن t_0 = ضریب خشکیدگی یا مدت زمان تخلیه چشمه با دبی Q_0 ؛ Q_0 = دبی اولیه یا دبی در ابتدای بخش خطی منحنی فرود؛ Q_t = دبی ثانویه که در نقطه‌ای به فاصله زمانی t انتخاب می‌شود و یا دبی در زمان t ام از شروع منحنی فرود؛ t = فاصله زمانی بین دبی اولیه (Q_0) و ثانویه (Q_t) یا زمان طی شده از ابتدای همان بخش خطی منحنی فرود و e = عدد طبیعی (۲/۷۱۸۲) می‌باشد.

بحث و یافته‌ها

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های پیش روی بشر کشف منابع آبی قابل دسترس و مطمئن و حمایت و مدیریت منابع آبی است. از جمله عوامل تأثیرگذار در شکل‌گیری و حجم منبع آبی می‌توان اشکال و فرایندهای ژئومورفولوژی به‌ویژه کارست را نام برد که بررسی خصوصیات هیدرودینامیکی و هیدرو شیمیایی چشمه‌ها در لند فرم‌های کارستی می‌تواند راه‌های مناسبی برای تعیین میزان تکامل کارست باشد که در این پژوهش مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته که در ذیل به آن‌ها اشاره می‌شود:

تحلیل دبی چشمه‌ها

آب آبخوان‌های کارستی اغلب از طریق یک یا چند چشمه که به صورت یک نقطه متمرکز است، تخلیه می‌شود. شکل هیدرو گراف این چشمه‌ها اطلاعات با ارزشی در مورد دینامیک آبخوان و توسعه کارست به دست می‌دهد. به همین دلیل در اغلب بررسی‌ها و تحقیقات مربوط به آبخوان‌های کارستی از مطالعه هیدرو گراف چشمه‌ها استفاده می‌شود. به عنوان مثال می‌توان به کارهای مایلت^۶ (۱۹۰۵)، بوناچی^۷ (۱۹۹۳)، پادیللا^۸ و همکاران (۱۹۹۴)، سامانی^۹ (۲۰۰۱)، رئیسی و اشجاری^{۱۰} (۲۰۰۶)، رئیسی^{۱۱} (۲۰۰۸)، کاووسی و رئیسی^{۱۲} (۲۰۱۵) و محمدی و مالی^{۱۳} (۲۰۱۶) در این زمینه اشاره کرد. چشمه‌های کارستی محل تخلیه آب از سیستم کارستی بوده و خصوصیت مشترک تمام آن‌ها وابستگی مستقیم بین بارش در منطقه و جریان خروجی از چشمه است. بدین منظور برای شناسایی رفتار هیدرودینامیک سیستم کارستی از آنالیز سری

⁶ - Maillet

⁷ - Bonacci

⁸ - Padilla

⁹ - Samani

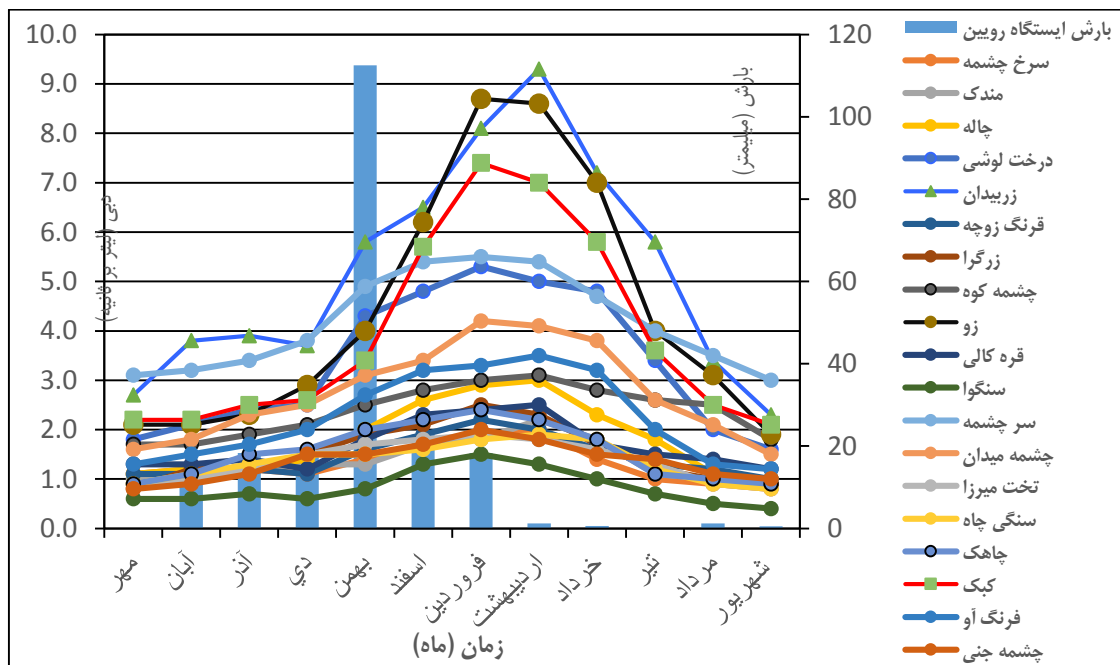
¹⁰ - Raeisi and Ashjari

¹¹ - Raeisi

¹² - Kavousi and Raeisi

¹³ - Mohammadi and Mali

زمانی دبی چشمه و تحلیل هیدرو گراف آن استفاده می‌شود. بررسی هیدرو گراف چشمه‌های کارستی در تعیین رفتار هیدرودینامیکی آبخوان بکار می‌رود و برای مدیریت کمی و کیفی این آبخوان‌ها ضروری می‌باشد. بدین منظور در منطقه مورد مطالعه تعداد ۱۹ دهنه چشمه شناسایی و مورد بررسی قرار گرفتند. در شکل (۳) و جدول (۱) مشخصات آبدهی چشمه‌های منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. قابل ذکر است که اندازه‌گیری آبدهی به‌صورت ماهانه بوده و به مدت یک سال برای ۱۹ دهنه چشمه انجام گرفته است. دبی چشمه‌ها از حداقل ۰/۴ لیتر بر ثانیه در چشمه سنگوا تا حداکثر ۹/۳ لیتر بر ثانیه در چشمه زربیدان متغیر می‌باشد. در این مطالعه برای تحلیل هیدرو گراف، منحنی فرود چشمه‌ها ترسیم شده و سپس ضریب فرود و حجم ذخیره دینامیکی چشمه‌ها و زمان مرگ چشمه‌ها (زمان خشکیدگی) مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۳: مقادیر آبدهی چشمه‌های محدوده مورد مطالعه و بارندگی در ایستگاه رویین

جدول ۱: مقادیر آبدهی چشمه‌های منطقه مورد مطالعه (مقادیر برحسب لیتر بر ثانیه است)

نام چشمه	علامت اختصاری	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
سرخ چشمه	S1	۱.۱	۱.۲	۱.۲	۱.۱	۱.۴	۱.۷	۱.۹	۲	۱.۴	۱	۰.۹	۰.۸
مندک	S2	۱	۱.۲	۱.۲	۱.۳	۱.۳	۱.۷	۱.۸	۲.۲	۱.۸	۱.۱	۱	۰.۹
چاله	S3	۱.۱	۱.۲	۱.۲	۱.۴	۲	۲.۶	۲.۹	۳	۲.۳	۱.۸	۱.۱	۱
درخت لوشی	S4	۱.۸	۲.۱	۲.۴	۲.۵	۴.۳	۴.۸	۵.۳	۵	۴.۸	۳.۴	۲	۱.۶
زریدان	S5	۲.۷	۳.۸	۳.۹	۳.۷	۵.۸	۶.۵	۸.۱	۹.۳	۷.۲	۵.۸	۳.۴	۲.۳
قرنگ زوج	S6	۱.۱	۱.۱	۱.۲	۱.۱	۱.۶	۱.۹	۲.۲	۲	۱.۶	۱.۳	۱.۲	۱
زرگرا	S7	۰.۸	۱.۲	۱.۲	۱.۵	۱.۹	۲.۱	۲.۵	۲.۳	۱.۷	۱.۲	۱	۰.۹
چشمه کوه	S8	۱.۷	۱.۷	۱.۹	۲.۱	۲.۵	۲.۸	۳	۳.۱	۲.۸	۲.۶	۲.۵	۱.۸
زو	S9	۲.۱	۲.۱	۲.۳	۲.۹	۴	۶.۲	۸.۷	۸.۶	۷	۴	۳.۱	۱.۹
قره کالی	S10	۱.۳	۱.۳	۱.۴	۱.۲	۱.۸	۲.۳	۲.۴	۲.۵	۱.۷	۱.۵	۱.۴	۱.۲
سنگوا	S11	-۰.۶	-۰.۶	-۰.۷	-۰.۶	-۰.۸	۱.۳	۱.۵	۱.۳	۱	-۰.۷	-۰.۵	-۰.۴
سرچشمه	S12	۳.۱	۳.۲	۳.۴	۳.۸	۴.۹	۵.۴	۵.۵	۵.۴	۴.۷	۴	۳.۵	۳
چشمه میدان	S13	۱.۶	۱.۸	۲.۳	۲.۵	۳.۱	۳.۴	۴.۲	۴.۱	۳.۸	۲.۶	۲.۱	۱.۵
تخت میرزا	S14	۰.۹	۱	۱.۲	۱.۵	۱.۷	۱.۸	۱.۹	۱.۸	۱.۶	۱.۳	۰.۹	۰.۸
سنگی چاه	S15	۰.۹	۱.۱	۱.۳	۱.۵	۱.۵	۱.۶	۱.۸	۱.۹	۱.۸	۱.۲	۰.۹	۰.۸
چاهک	S16	۰.۹	۱.۱	۱.۵	۱.۶	۲	۲.۲	۲.۴	۲.۲	۱.۸	۱.۱	۱	۰.۹
کبک	S17	۲.۲	۲.۲	۲.۵	۲.۶	۳.۴	۵.۷	۷.۴	۷	۵.۸	۳.۶	۲.۵	۲.۱
فرنگ او	S18	۱.۳	۱.۵	۱.۷	۲	۲.۷	۳.۲	۳.۳	۳.۵	۳.۲	۲	۱.۳	۱.۲
چشمه جنی	S19	۰.۸	۰.۹	۱.۱	۱.۵	۱.۵	۱.۷	۲	۱.۸	۱.۵	۱.۴	۱.۱	۱

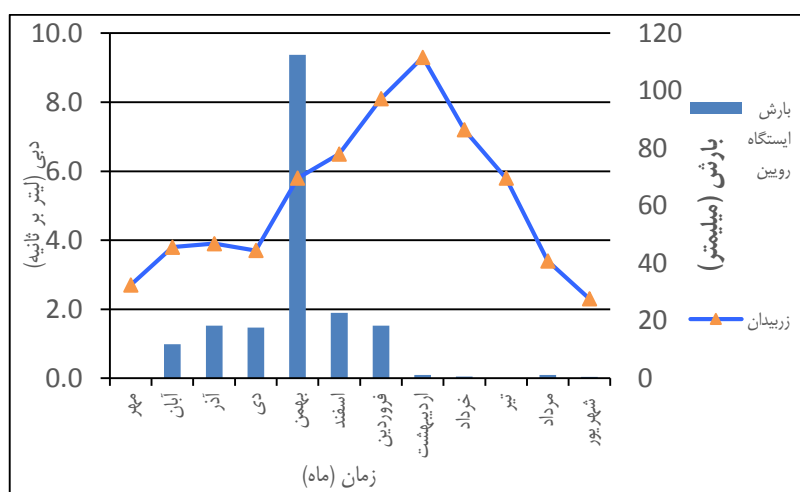
تحلیل هیدرو گراف چشمه‌ها

برای تحلیل هیدرو گراف چشمه‌ها در منطقه، دو چشمه از آن‌ها به نام‌های زو و زریدان در اینجا مورد بحث قرار گرفته‌اند. در ارتباط با سایر چشمه‌ها، نمودار اطلاعات مربوطه ارائه شده است.

چشمه زریدان

چشمه زریدان آب آهک‌های مزدوران را در قسمت شمالی حوضه تخلیه می‌نماید. آبدهی این چشمه از حداقل ۲/۳ لیتر بر ثانیه در شهریورماه تا ۹/۳ لیتر بر ثانیه در اردیبهشت‌ماه متغیر است. هر چند که در این سال بارش‌ها از آبان ماه شروع شده و در بهمن‌ماه به حداکثر خود می‌رسد اما دبی حداکثر چشمه با تأخیری حدود سه ماه در اردیبهشت‌ماه به حداکثر خود می‌رسد. شکل (۴) تغییرات آبدهی را نسبت به زمان در چشمه زریدان نشان می‌دهد که پس از بارندگی‌های زمستان میزان

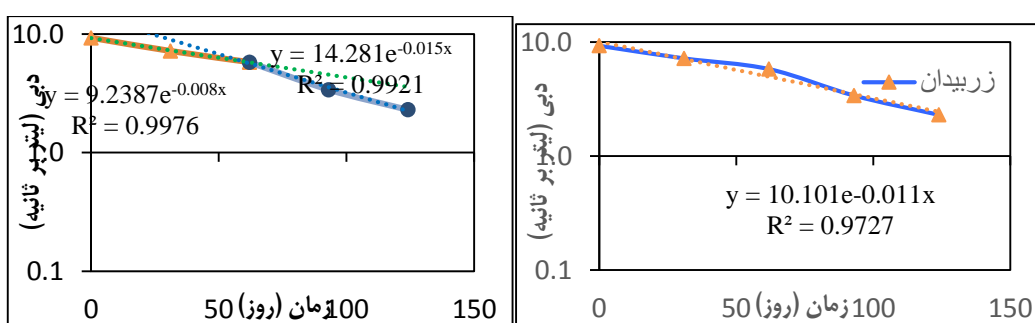
دبی چشمه تغییر محسوسی نداشته است ولی از اواخر زمستان سیر صعودی دبی آغاز شده و در اردیبهشت به پیک خود می‌رسد. سپس تا شهریورماه سیر نزولی دبی به سرعت ادامه می‌یابد. علت فاصله ایجاد شده بین پیک بارندگی و پیک دبی را می‌توان در اقلیم منطقه جستجو نمود. در ماه‌های زمستان بیشترین بارندگی در منطقه صورت می‌گیرد. این در حالی است که این بارش‌ها عمدتاً از نوع برف بوده و به علت نوع قرارگیری ارتفاعات سهم کمی از انرژی تابشی خورشید دریافت می‌کند. به همین علت با آغاز فصل گرم برف‌های موجود در منطقه شروع به آب شدن و دبی شروع به افزایش می‌کند. علت دیگر این موضوع می‌تواند عدم وجود مجاری‌های بزرگ برای تخلیه سریع سیستم باشد.



شکل ۴: هیدرو گراف چشمه زربیدان

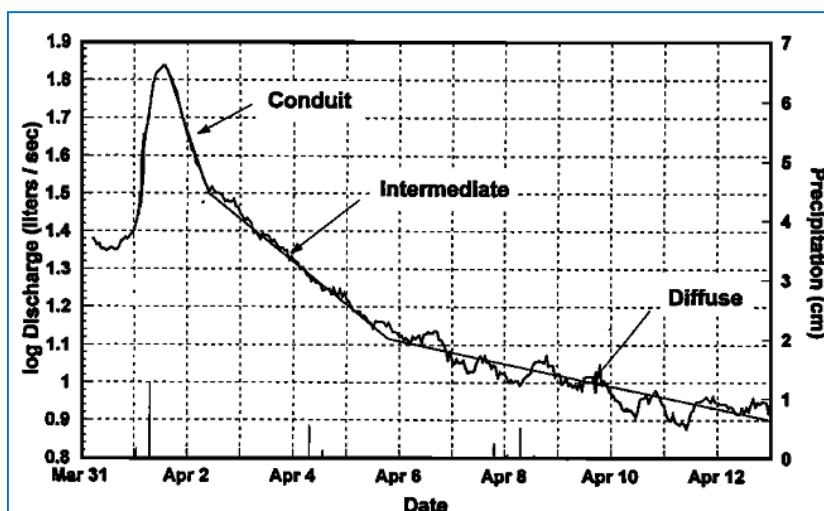
با توجه به این هیدرو گراف و بارش موجود در منطقه می‌توان توسعه کارست را در حوضه آبرگیر این چشمه ضعیف تا متوسط دسته‌بندی کرد. اما برای تحلیل دقیق‌تر هیدرو گراف می‌توان از روش منحنی فرود استفاده نمود (شکل ۵). همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود ضریب فرود این چشمه $0/011$ است. ضریب فرود پایین چشمه بدان معنی است که سیستم کارستی توسعه نیافته است. به عبارت دیگر آب با سرعت پایین از سیستم تخلیه می‌شود. با بررسی دقیق‌تر منحنی فرود چشمه زربیدان دو مقدار ضریب فرود قابل تفکیک است (شکل ۶). $0/008$ بر روز برای قسمت اول منحنی، $0/015$ بر روز برای قسمت دوم منحنی. این وضعیت برعکس رفتار متعارف سیستم‌های کارستی معمول می‌باشد. چرا که در سیستم‌های کارستی قسمت ابتدای منحنی فرود پرشیب‌تر بوده و بیانگر تخلیه سریع آب از مجاری بزرگ و مجاری‌ها است و قسمت‌های بعدی شیب منحنی فرود کمتر شده که نمایانگر تخلیه آب از درزه و شکستگی‌های ریز تر و ماتریکس سیستم می‌باشد (شکل ۷). با توجه به زمان تأخیر چشمه، قسمت اول منحنی فرود چشمه زربیدان مربوط به آب حاصل از ذوب برف در فصل زمستان و آب باران در فصل بهار می‌باشد. چرا که در فصل بهار آب ذوب برف به‌عنوان یک ذخیره در سیستم عمل نموده و علاوه بر افزایش دبی چشمه باعث کم شدن ضریب فرود چشمه گردیده است. البته این کاهش شیب می‌تواند دلیل دیگری نیز داشته باشد و آن این است که در فصل تر با افزایش سطح آب در سیستم

کارستی آب از مناطق دورتر و خارج از حوضه آبرگیر چشمه، وارد چشمه می‌شود. با توجه به اینکه مرز حوضه ناتراوا نیست این احتمال نیز قوی است. قسمت دوم منحنی که ضریب فرود بیشتر شده احتمالاً مربوط به آب باران در فصل بهار می‌باشد که در آنجا آب حاصل از ذوب برف به اتمام رسیده و آب نفوذ حاصل از بارش با سرعت بیشتری از سیستم خارج شده است. در هر صورت دو نکته مهم از هیدرو گراف چشمه قابل تشخیص است. (۱) زمان تأخیر چشمه بالا بوده و بنابراین سیستم کارستی فاقد کاندویت بزرگ (مجاری بزرگ) است. (۲) ضریب فرود چشمه پایین بوده و نمایانگر جریان افشان می‌باشد. هر دو مورد بیانگر این است که توسعه کارست در محدوده حوضه آبرگیر این چشمه که در قسمت غرب حوضه قرار دارد پایین است.



شکل ۶: دو ضریب فرود چشمه زربیدان

شکل ۵: ضریب فرود چشمه زربیدان

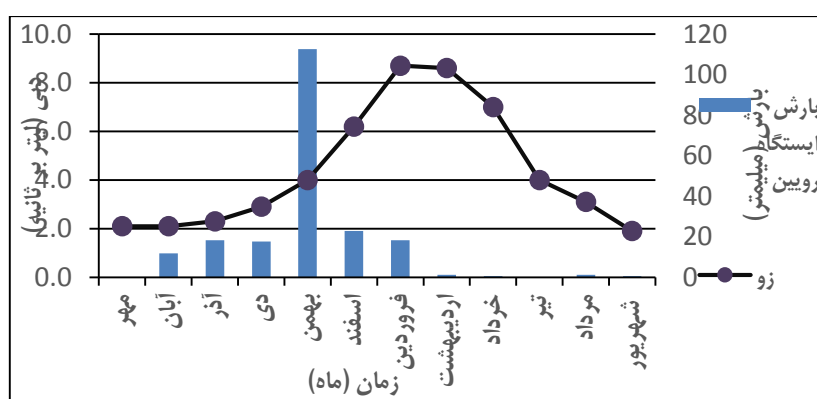


شکل ۷: سه قسمت اصلی یک هیدرو گراف تیپیک یک چشمه کارستی (در منطقه ایندیانا): (۱) تخلیه آب از کاندویت‌ها (مجاری)، (۲) تخلیه آب از هر دوی کاندویت‌ها و ماتریکس، (۳) تخلیه آب از ماتریکس. (برگرفته از: Baedke and Krothe, 2001)

چشمه زو

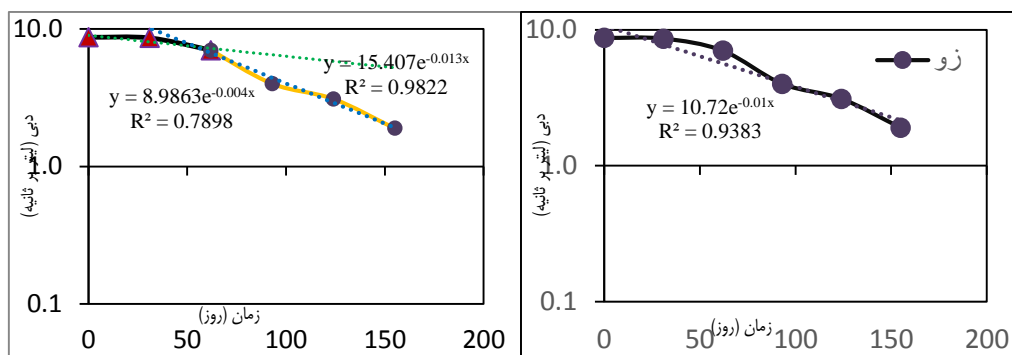
چشمه زو آب آهک‌های مزدوران را در قسمت مرکزی حوضه تخلیه می‌نماید. آبدهی این چشمه از حداقل ۱/۹ لیتر بر ثانیه در شهریورماه تا ۸/۷ لیتر بر ثانیه در فروردین‌ماه متغیر است. هر چند که بارش‌ها از آبان ماه شروع شده و در بهمن‌ماه به

حداکثر خود می‌رسد اما دبی حداکثر چشمه با تأخیری حدود دو ماه در فروردین‌ماه به حداکثر خود می‌رسد. شکل ۸ تغییرات آبدهی را نسبت به زمان در چشمه زو نشان می‌دهد که پس از بارندگی‌های زمستان میزان دبی چشمه تغییر محسوسی نداشته است ولی از اوایل زمستان سیر صعودی دبی آغاز شده و در فروردین به پیک خود می‌رسد. سپس تا شهریورماه سیر نزولی دبی به سرعت ادامه می‌یابد با توجه به مساحت کوچک حوضه، علت زمان تأخیر بین پیک بارندگی و پیک دبی در چشمه زو همانند چشمه زربیدان است و در آن عمده بارش‌ها در فصل زمستان از نوع برف بوده و با تأخیر به خروجی چشمه راه می‌یابند و علت دیگر می‌تواند عدم وجود کاندویت‌ها و مجاری بزرگ تخلیه آب باشد. با توجه به این هیدرو گراف و بارش موجود در منطقه می‌توان توسعه کارست را در حوضه آبرگیر این چشمه ضعیف تا متوسط دسته‌بندی کرد.



شکل ۸: هیدرو گراف چشمه زو

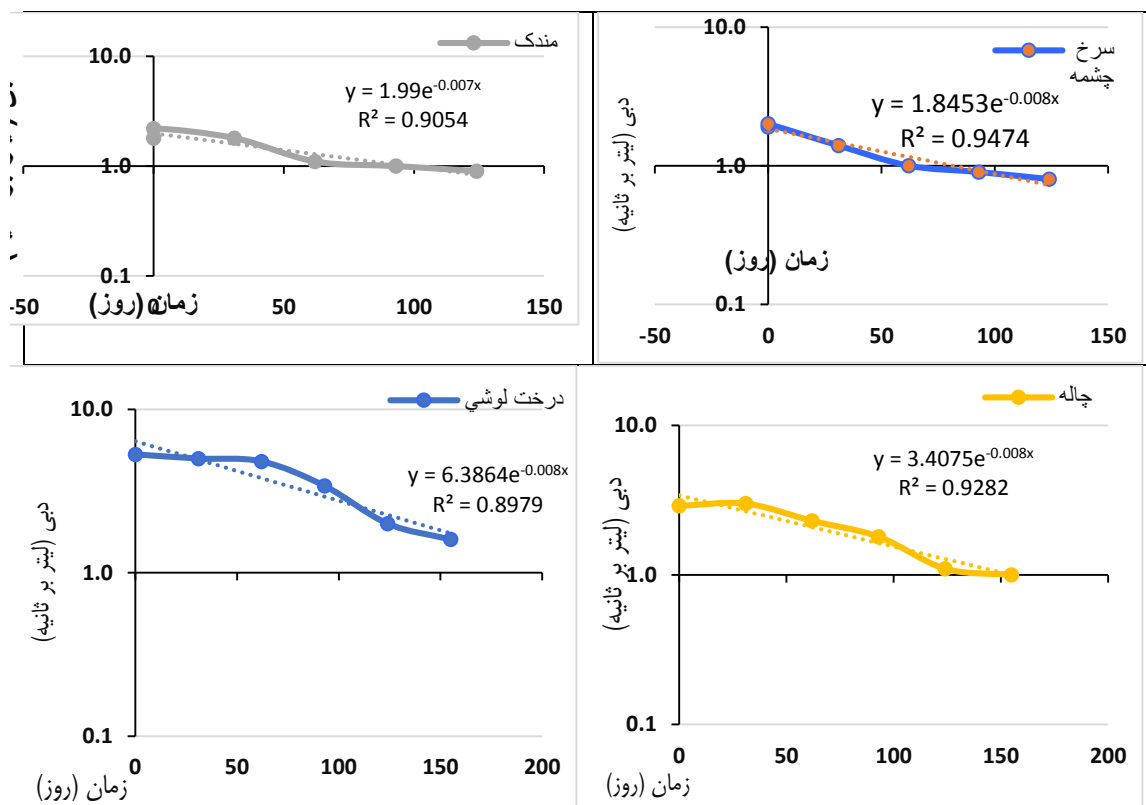
برای تحلیل دقیق‌تر منحنی فرود چشمه زو ترسیم شده است (شکل ۹). همان‌طور که در شکل (۹) مشاهده می‌شود ضریب فرود این چشمه ۰/۰۱ می‌باشد. ضریب فرود پایین چشمه بدان معنی است که سیستم کارستی توسعه نیافته است. به عبارت دیگر آب با سرعت پایین از سیستم تخلیه می‌شود. با بررسی دقیق‌تر منحنی فرود چشمه زو دو مقدار ضریب فرود قابل تفکیک است (شکل ۱۰). (۱) ضریب فرود ۰/۰۰۴ بر روز برای قسمت اول منحنی، (۲) ضریب فرود ۰/۰۱۳ بر روز برای قسمت دوم منحنی. همان‌طور که قبلاً اشاره شده این وضعیت برعکس رفتار متعارف سیستم‌های کارستی معمول است. قسمت اول منحنی فرود چشمه زو با شیب کم مربوط به آب حاصل از ذوب برف در فصل زمستان و آب باران در فصل بهار می‌باشد. در فصل بهار آب ذوب برف به‌عنوان یک ذخیره در سیستم عمل نموده و باعث کم شدن ضریب فرود چشمه گردیده است. دلیل دیگر افزایش مساحت حوضه آبرگیر چشمه در فصل تر و با افزایش سطح آب در سیستم کارستی است. افزایش شیب در قسمت دوم منحنی نیز مربوط تخلیه سریع سیستم در فصل بهار با اتمام ذوب ذخیره برف می‌باشد.

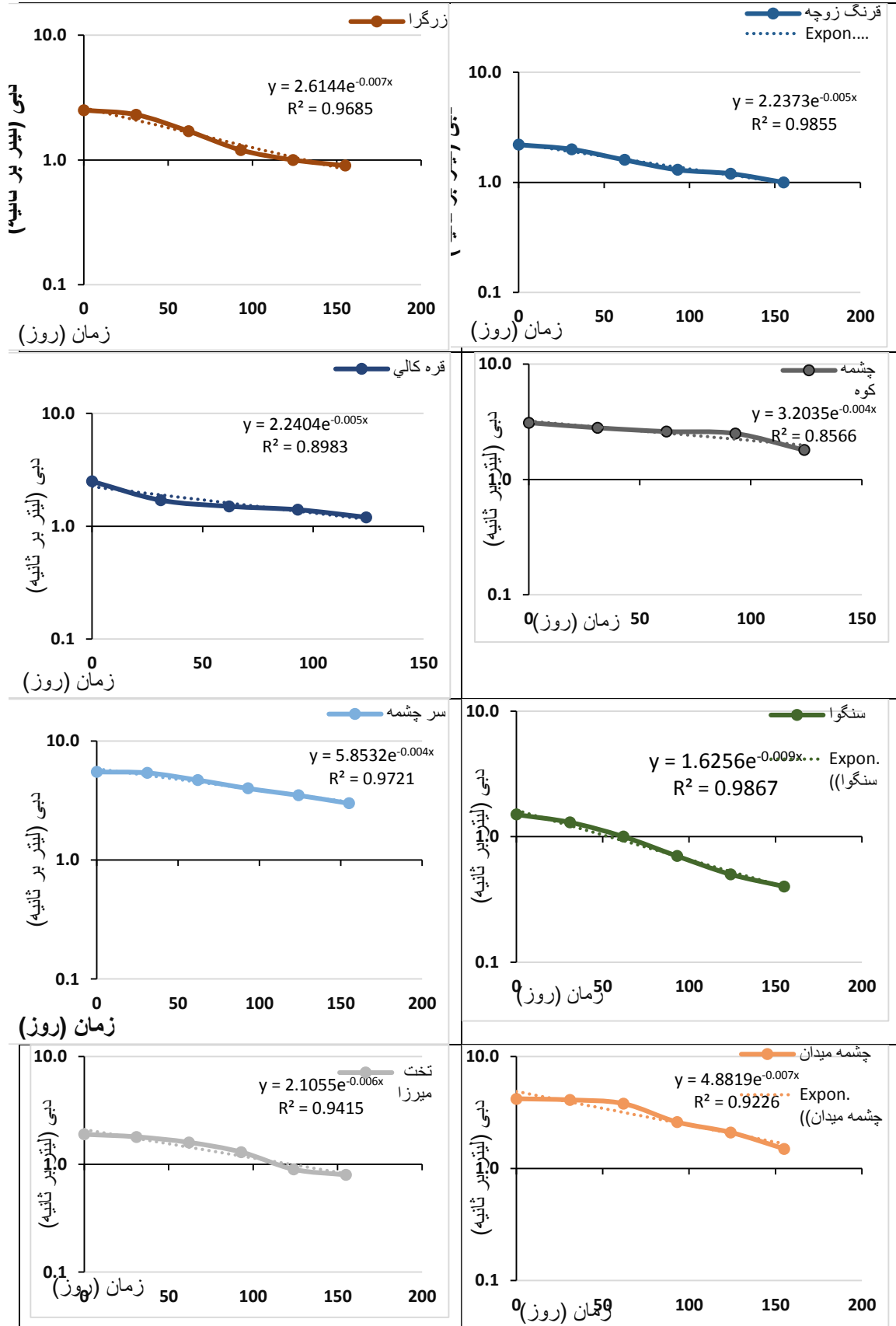


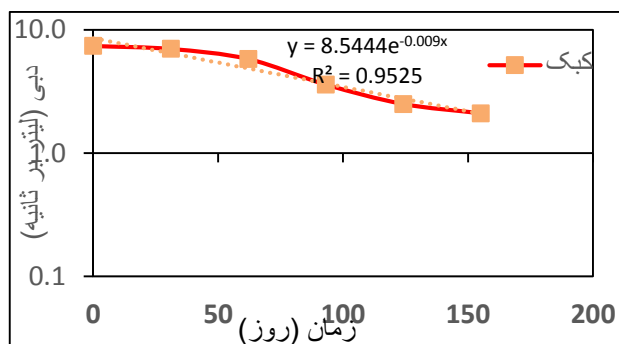
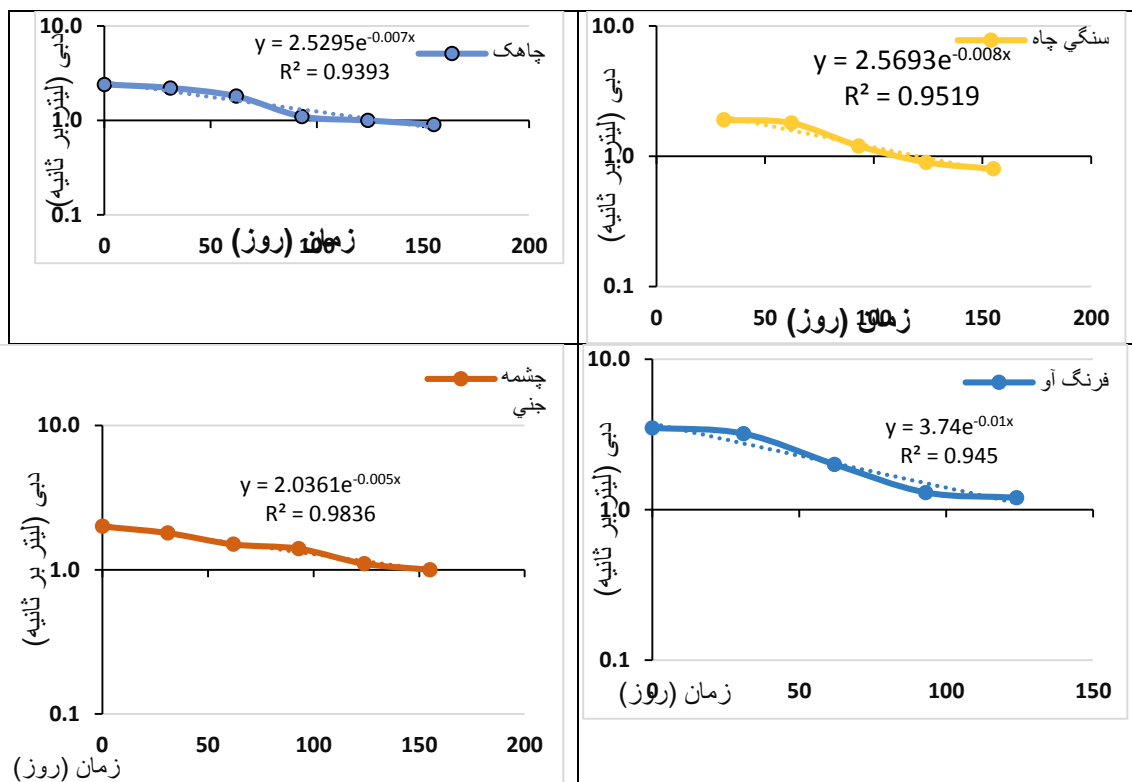
شکل ۱۰: دو ضریب فرود چشمه زو

شکل ۹: ضریب فرود چشمه زو

در مورد چشمه زو نیز دو نکته مهم از هیدرو گراف چشمه قابل تشخیص است. (۱) زمان تأخیر چشمه بالا به علت فقدان مجاری بزرگ در سیستم است. (۲) ضریب فرود پایین چشمه نمایانگر جریان افشان می‌باشد. هر دو مورد نیز بیانگر این است که توسعه کارست در محدوده حوضه آبرگیر این چشمه که در قسمت مرکزی حوضه قرار دارد پایین است. سایر چشمه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه نیز رفتار تقریباً مشابهی با دو چشمه بحث شده در بالا دارند شکل (۱۱) هیدرو گراف این چشمه‌ها را نشان می‌دهد.







شکل ۱۱: هیدرو گراف چشمه‌های مطالعاتی

تحلیل ویژگی‌های هیدرولوژیکی چشمه‌ها در منطقه مورد مطالعه

ضریب آلفا در چشمه‌های منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. ضریب آلفا در چشمه‌ها میزان متفاوتی را نشان می‌دهد. جدول (۲) میزان ضریب آلفا در چشمه‌های منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌نمایید، ضریب فرود چشمه‌ها با وجود تغییرات اندکی بین چشمه‌ها، پایین بوده و این بدان معنی است که سیستم کارستی توسعه نیافته است و به عبارت دیگر آب با سرعت پایین از سیستم تخلیه می‌شود. میزان حجم ذخیره دینامیکی آبخوان نیز بررسی شد. جدول (۳) میزان حجم ذخیره دینامیکی آبخوان را نشان می‌دهد. مقادیر پارامترهای حجم ذخیره دینامیک آبخوان نشان می‌دهد که حجم ذخیره دینامیک آبخوان بسیار پایین بوده که این فاکتور هم دلالت بر یک سیستم با جریان افشان در منطقه مورد مطالعه و نمایانگر توسعه پایین کارست است.

جدول ۲: میزان ضریب آلفا در چشمه‌های منطقه مورد مطالعه

نام چشمه	سرخ چشمه	مندک	چاله	درخت لوشی	زربیدان	قرنگ زوچه	زرگرا	چشمه کوه	زو	قره کالی
ضریب آلفا	۰.۰۰۷	۰.۰۰۸	۰.۰۰۸	۰.۰۰۸	۰.۰۱۱	۰.۰۰۵	۰.۰۰۷	۰.۰۰۴	۰.۰۱۰	۰.۰۰۵
نام چشمه	سنگوا	سرچشمه	چشمه میدان	تخت میرزا	سنگی چاه	چاهک	کبک	فرنگ آو	جنی	
ضریب آلفا	۰.۰۰۹	۰.۰۰۴	۰.۰۰۷	۰.۰۰۶	۰.۰۰۸	۰.۰۰۷	۰.۰۰۹	۰.۰۱۰	۰.۰۰۵	

جدول ۳: میزان حجم ذخیره دینامیکی آبخوان

نام چشمه	سرخ چشمه	مندک	چاله	درخت لوشی	زربیدان	قرنگ زوچه	زرگرا	چشمه کوه	زو	قره کالی
حجم دینامیکی آبخوان	۲۲۳۸۰	۲۲۸۲۶	۳۶۸۰۱	۶۸۹۷۳	۷۹۳۳۹	۳۸۶۶۱	۳۲۲۶۹	۷۸۰۲۱	۹۲۶۲۱	۴۵۷۱۴
نام چشمه	سنگوا	سرچشمه	چشمه میدان	تخت میرزا	سنگی چاه	چاهک	کبک	فرنگ آو	جنی	
حجم دینامیکی آبخوان	۱۵۶۰۶	۱۲۶۴۲۹	۶۰۲۵۷	۳۰۳۱۹	۲۷۷۴۸	۳۱۲۲۱	۸۲۰۲۶	۴۳۸۰۰	۳۵۱۸۴	

ضریب خشکیدگی در چشمه‌های منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت که مقادیر آن در جدول (۴) نشان داده شده است. جدول (۵) کلیه پارامترهای به دست آمده از روی هیدرو گراف چشمه‌های منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۴: میزان ضریب خشکیدگی چشمه‌های مطالعاتی

نام چشمه	سرخ چشمه	مندک	چاله	درخت لوشی	زربیدان
ضریب خشکیدگی	۱۵۲	۱۴۵	۱۲۶	۱۱۲	۸۴
نام چشمه	قرنگ زوچه	زرگرا	چشمه کوه	زو	قره کالی
ضریب خشکیدگی	۱۹۲	۱۴۵	۱۷۸	۹۰	۱۵۷
نام چشمه	سنگوا	سرچشمه	چشمه میدان	تخت میرزا	سنگی چاه
ضریب خشکیدگی	۱۱۱	۲۳۲	۱۳۱	۱۶۰	۱۰۶
نام چشمه	چاهک	کبک	فرنگ آو	جنی	
ضریب خشکیدگی	۱۵۰	۱۱۰	۸۶	۲۱۸	

جدول ۵: پارامترهای به دست آمده از روی هیدرو گراف چشمه‌های منطقه مورد مطالعه

نام چشمه	Q _۰ (لیتر بر ثانیه)	α (بر روز)	Qt (لیتر بر ثانیه)	t (روز)	Vt (مترمکعب)	t _۰ (روز)
سرخ چشمه	۱.۸۱۳۲	۰.۰۰۷	۰.۸	۱۲۴	۲۳۳۸۰	۱۵۲
مندک	۲.۱۱۳۵	۰.۰۰۸	۰.۹	۱۲۴	۲۲۸۲۶	۱۴۵
چاله	۳.۴۰۷۵	۰.۰۰۸	۱.۰	۱۵۵	۳۶۸۰۱	۱۲۶
درخت لوشی	۶.۳۸۶۴	۰.۰۰۸	۱.۶	۱۵۵	۶۸۹۷۳	۱۱۲
زربیدان	۱۰.۱۰۱	۰.۰۱۱	۲.۳	۱۲۴	۷۹۳۳۹	۸۴
قرنگ زوجه	۲.۲۳۷۳	۰.۰۰۵	۱.۰	۱۵۵	۳۸۶۶۱	۱۹۲
زرگرا	۲.۶۱۴۴	۰.۰۰۷	۰.۹	۱۵۵	۳۳۲۶۹	۱۴۵
چشمه کوه	۳.۶۱۲۱	۰.۰۰۴	۱.۸	۱۲۴	۷۸۰۲۱	۱۷۸
زو	۱۰.۷۲	۰.۰۱۰	۱.۹	۱۵۵	۹۲۶۲۱	۹۰
قره کالی	۲.۶۴۵۵	۰.۰۰۵	۱.۲	۱۲۴	۴۵۷۱۴	۱۵۷
سنگوا	۱.۶۲۵۶	۰.۰۰۹	۰.۴	۱۵۵	۱۵۶۰۶	۱۱۱
سر چشمه	۵.۸۵۳۲	۰.۰۰۴	۳.۰	۱۵۵	۱۲۶۴۲۹	۳۳۲
چشمه میدان	۴.۸۱۱۹	۰.۰۰۷	۱.۵	۱۵۵	۶۰۲۵۷	۱۳۱
تخت میرزا	۲.۱۰۵۵	۰.۰۰۶	۰.۸	۱۵۵	۳۰۳۱۹	۱۶۰
سنگی چاه	۲.۵۶۹۳	۰.۰۰۸	۰.۸	۱۲۴	۲۷۷۴۸	۱۰۶
چاهک	۲.۵۲۹۵	۰.۰۰۷	۰.۹	۱۵۵	۳۱۲۲۱	۱۵۰
کبک	۸.۵۴۴۴	۰.۰۰۹	۲.۱	۱۵۵	۸۲۰۲۶	۱۱۰
فرنگ او	۵.۰۶۹۵	۰.۰۱۰	۱.۲	۱۲۴	۴۳۸۰۰	۸۶
چشمه جنی	۲.۰۳۶۱	۰.۰۰۵	۱.۰	۱۵۵	۳۵۱۸۴	۲۱۸

تحلیل هیدرو شیمی چشمه‌ها در منطقه مورد مطالعه

نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه

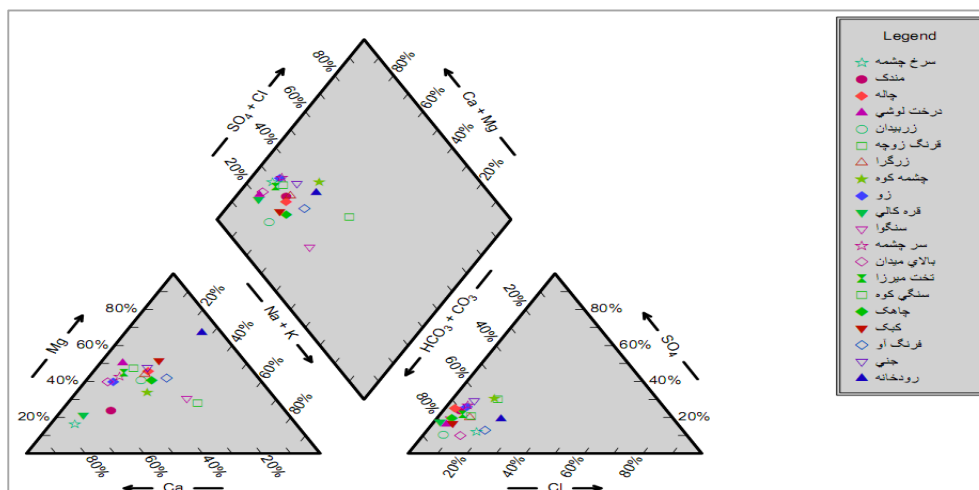
نمودار پایپر از نظر تعبیر و تفسیر نتایج تجزیه شیمیایی آب‌ها بسیار سودمند است. یکی از مهم‌ترین مزایای نمودار پایپر این است که در یک نمودار پایپر می‌توان تعداد زیادی نمونه را در یک دیاگرام نشان داد و با استفاده از این نمودار به سرعت می‌توان تیپ آب را مشخص نمود. این نمودار از ترکیب سه میدان مجزا تشکیل شده است که درصد آنیون‌ها و کاتیون‌ها را در میدان‌های مثلثی و موقعیت ترکیبی آن‌ها را در میدان لوزی شکل پیاده می‌کنند. درصدها بر اساس مجموع اکی‌والان در میلیون یون‌های اصلی محاسبه می‌شود. بنابراین نمودار پایپر وسیله مفیدی برای نشان دادن تفاوت‌ها و شباهت‌ها بین آب‌هاست.

نمودار پایپر نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار Rock Ware Aq.QA ترسیم و در شکل (۱۲)

ارائه شده است. تواتر یونی، تیپ و رخساره آب‌های منطقه در جدول (۶) نیز ارائه شده است.

با توجه به نمودار پایپر و جدول (۶)، نمونه‌های آب اغلب چشمه‌ها دارای تیپ بیکربناته، و منیزیک می‌باشند، که می‌توان آن را با انحلال لایه‌های کربناته آهکی و دولومیتی موجود در ارتفاعات و در نتیجه افزایش مقدار بیکربنات و کلسیم در آب زیرزمینی منطقه تفسیر نمود. تنها نمونه آب چشمه‌های قرنگ زوجه و سنگوا دارای تیپ بیکربناته-سدیک است که

آن را می‌توان به برهمکنش کانی‌های رسی تحت اثر تبادل کاتیونی و انحلال نهشته‌های تبخیری نسبت داد. از بین این نمونه‌ها، چشمه‌های زو، کبک و زرید آن که چشمه‌های بزرگ منطقه می‌باشند، دارای تیپ بی‌کربناته کلسیک می‌باشند که ارتباط آن‌ها با واحدهای آهکی سازند مزدوران در این نواحی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲: نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه

جدول ۶: تواتر یونی، تیپ و رخساره آب چشمه‌های محدوده مورد مطالعه

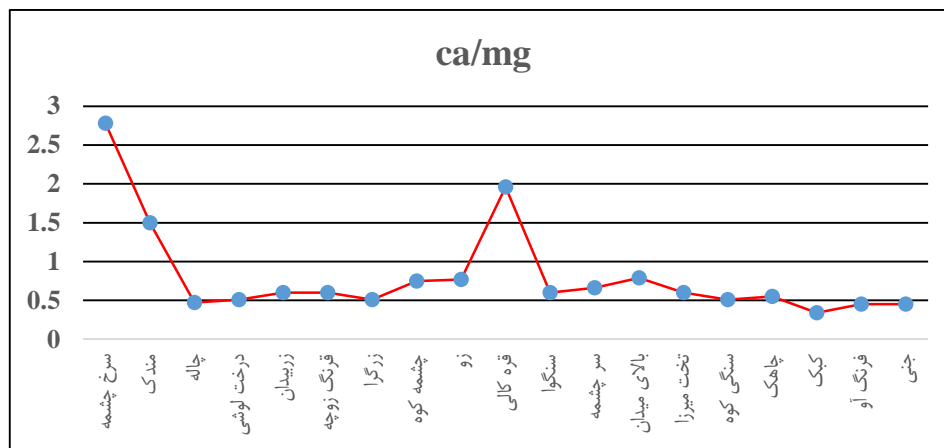
علامت اختصاری	محل نمونه برداری	غلظت آنیون‌ها	غلظت کاتیون‌ها	تیپ آب	رخساره آب	تیپ و رخساره
S1	سرخ چشمه	$HCO_3 > Cl > SO_4$	$Ca > Mg > Na+K$	بی‌کربناته	کلسیک	بی‌کربناته کلسیک
S2	مندک	$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Ca > Mg > Na+K$	بی‌کربناته	کلسیک	بی‌کربناته کلسیک
S3	چاله	$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Mg > Ca > Na+K$	بی‌کربناته	منیزیک	بی‌کربناته منیزیک
S4	درخت لوشی	$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Mg > Ca > Na+K$	بی‌کربناته	منیزیک	بی‌کربناته منیزیک
S5	زریدان	$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Ca = Mg > Na+K$	بی‌کربناته	کلسیک	بی‌کربناته کلسیک
S6	قرنگ زوجه	$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Na+K > Mg > Ca$	بی‌کربناته	سدیک	بی‌کربناته سدیک
S7	زرگرا	$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Mg > Ca > Na+K$	بی‌کربناته	منیزیک	بی‌کربناته منیزیک
S8	چشمه کوه	$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Ca > Mg > Na+K$	بی‌کربناته	کلسیک	بی‌کربناته کلسیک
S9	زو	$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Ca > Mg > Na+K$	بی‌کربناته	کلسیک	بی‌کربناته کلسیک
S10	قره کالی	$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Ca > Mg > Na+K$	بی‌کربناته	کلسیک	بی‌کربناته کلسیک
S11	سنگوا	$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Na+K > Mg > Ca$	بی‌کربناته	سدیک	بی‌کربناته سدیک

بی کربناته کلسیک	کلسیک	بی کربناته	Ca > Mg > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl	سرچشمه	S12
بی کربناته کلسیک	کلسیک	بی کربناته	Ca > Mg > Na+K	HCO ₃ > Cl > SO ₄	بالای میدان	S13
بی کربناته کلسیک	کلسیک	بی کربناته	Ca = > Mg > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl	تخت میرزا	S14
بی کربناته منیزیک	منیزیک	بی کربناته	Mg > Ca > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl	سنگی کوه	S15
بی کربناته منیزیک	منیزیک	بی کربناته	Mg > Ca > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl	چاهک	S16
بی کربناته منیزیک	منیزیک	بی کربناته	Mg > Ca > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl	کبک	S17
بی کربناته منیزیک	منیزیک	بی کربناته	Mg > Ca > Na+K	HCO ₃ > Cl > SO ₄	فرنگ آو	S18
بی کربناته منیزیک	منیزیک	بی کربناته	Mg > Ca > Na+K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl	جنی	S19
بی کربناته منیزیک	منیزیک	بی کربناته	Mg > Na+K > Ca	HCO ₃ > Cl > SO ₄	رودخانه	S20

نسبت کلسیم (ca) به منیزیم (mg)

در آبخوان‌های کارستی افزایش غلظت منیزیم و بالا بودن نسبت کلسیم به منیزیم نشان‌دهنده توقف طولانی آب در آبخوان است که به نوعی وجود آهک دولومیتی در محدوده تغذیه و مخزن ذخیره آب زیرزمینی است. بر اساس شاخص نسبت Ca به Mg اگر مقدار این شاخص به عدد ۱ نزدیک باشد، سفره تغذیه آبخوان دولومیتی و در صورتی که این شاخص بین ۲ تا ۱۰ باشد، سفره کارستی آهکی است و اگر میزان این شاخص به بالای ۱۰ برسد نمایانگر خلوص بالای آهک است.

در منطقه مورد مطالعه نسبت Ca به Mg برای تمام چشمه‌ها با استفاده از نرم‌افزار AqQa محاسبه شد. بر اساس شکل (۱۳) تمامی چشمه‌ها به جز چشمه‌های سرخ چشمه (۲,۷۸)، قره کالی (۱,۹۶) و مندک (۱,۵) مقداری کمتر از ۱ دارند و بر اساس شاخص نسبت Ca به Mg دارای سفره تغذیه آبخوان دولومیتی می‌باشند. نسبت Ca به Mg در چشمه مندک نیز زیر ۲ است و لذا چشمه مندک نیز دارای سفره تغذیه آبخوان دولومیتی می‌باشد. مقادیر نسبت Ca به Mg چشمه قره کالی نزدیک به ۲ و چشمه سرخ چشمه (۲,۷۸) دارای سفره کارستی آهکی است. شکل (۱۳) نسبت کلسیم به منیزیم را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳: نسبت Ca به Mg

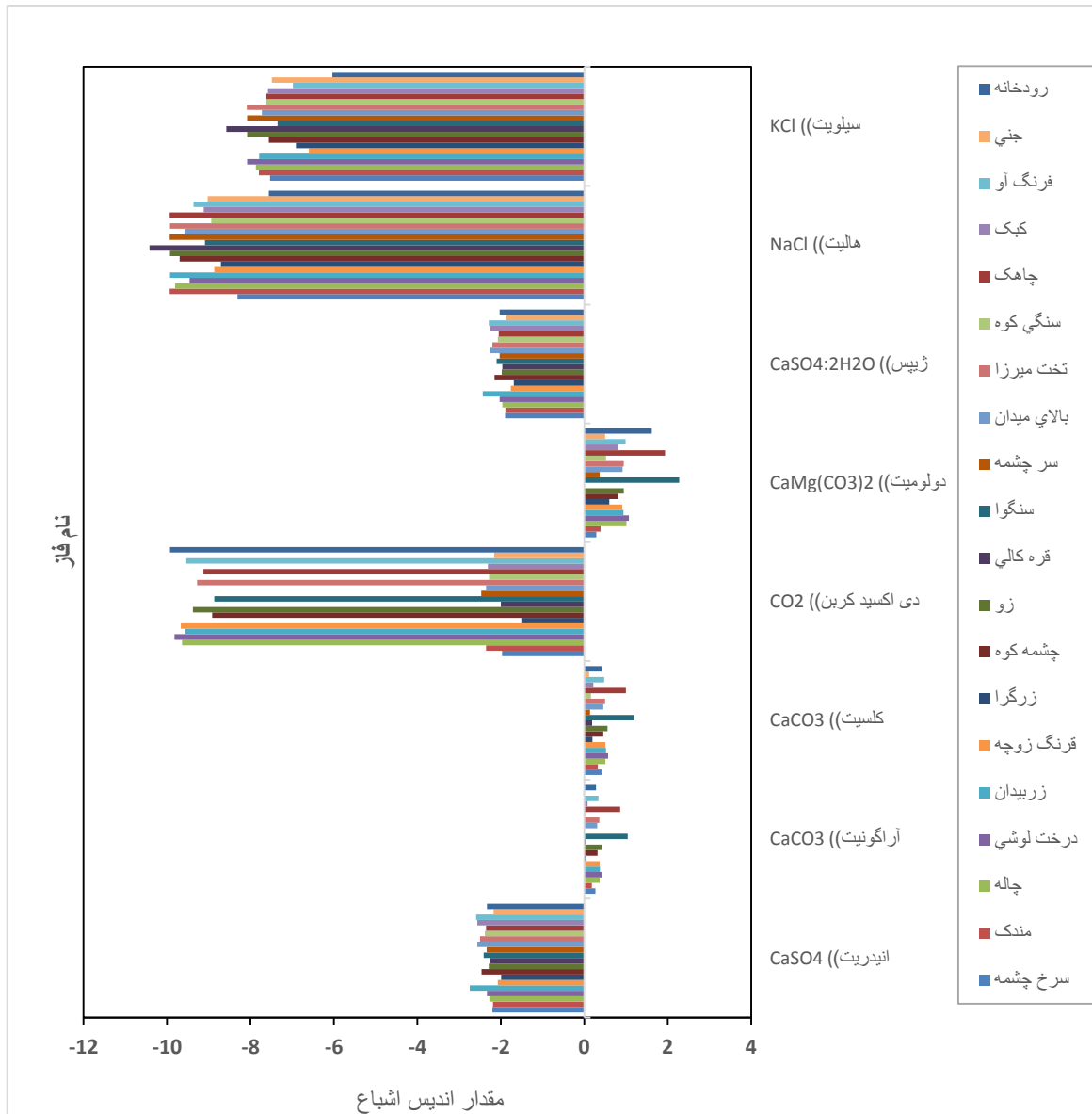
اندیس اشباع^{۱۴}

اندیس اشباع (SI) نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نسبت به کانی‌ها و گازهای مختلف با استفاده از نرم‌افزار Phreeqc محاسبه و در جدول (۷) و شکل (۱۴) ارائه شده است. اگر مقدار اندیس اشباع نمونه آبی کمتر از صفر باشد آب نسبت به ماده مورد نظر تحت اشباع است، در صورتی که برابر با صفر باشد ماده و آب در حال تعادل می‌باشند. در صورتی که مقدار اندیس اشباع بیش از صفر باشد آب نسبت به کانی یا ماده مورد نظر فوق اشباع است. زمانی که مقدار SI نمونه آب نسبت به یک کانی خیلی کوچک باشد، آن کانی می‌تواند تا مدت‌ها در آب حل شود. اندیس اشباع نمونه‌های آب چشمه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه تماماً نسبت به کانی‌های آراگونیت، کلسیت و دولومیت مثبت است. در نتیجه آب زیرزمینی در این مناطق از این مواد در حالت اشباع و فوق اشباع می‌باشد و این موضوع بدین مفهوم است که کانی‌های فوق در صورت عدم تغییر شرایط محیط در آب رسوب خواهند کرد. بیشترین مقدار SI نسبت به این کانی‌ها نیز در نمونه آب چشمه سنگوا مشاهده می‌شود (شکل ۱۴ و جدول ۷). آب زیرزمینی تمامی نمونه‌ها نسبت به کانی‌های ژپس، انیدریت، هالیت و سیلویت تحت اشباع است در نتیجه آب زیرزمینی در این مناطق از این مواد در حالت تحت اشباع می‌باشد و این موضوع بدین مفهوم است که کانی‌های فوق می‌توانند در آب زیرزمینی منطقه تا مدت‌ها حل شوند (شکل ۱۴ و جدول ۷).

¹⁴-Saturation Index

جدول ۷: اندیس اشباع نمونه‌های آب چشمه‌های منطقه مورد مطالعه

نام چشمه	CaSO4 (انیدریت)	CaCO3 (آراگونیت)	CaCO3 (کلسیت)	CaMg(CO3)2 (دولو میت)	CaSO4·2H2O (ژیپس)	NaCl (هالیت)	KCl (سیلویت)
سرخ چشمه	-۲.۲	۰.۲۷	۰.۴۱	۰.۲۹	-۱.۹	-۸.۳۱	-۷.۵۳
مندک	-۲.۱۹	۰.۱۸	۰.۳۳	۰.۳۹	-۱.۸۹	-۹.۹۴	-۷.۸
چاله	-۲.۲۷	۰.۳۷	۰.۵۱	۱.۰۱	-۱.۹۶	-۹.۸۱	-۷.۸۷
درخت لوشی	-۲.۳۳	۰.۴۲	۰.۵۷	۱.۰۷	-۲.۰۳	-۹.۴۶	-۸.۰۸
زربیدان	-۲.۷۴	۰.۳۸	۰.۵۲	۰.۹۴	-۲.۴۳	-۹.۹۳	-۷.۷۹
قرنگ زوچه	-۲.۰۷	۰.۳۷	۰.۵۱	۰.۹۱	-۱.۷۶	-۸.۸۷	-۶.۶
زرگرا	-۱.۹۹	۰.۰۵	۰.۲	۰.۶	-۱.۶۹	-۸.۷۱	-۶.۹۱
چشمه کوه	-۲.۴۶	۰.۳۲	۰.۴۶	۰.۸۲	-۲.۱۵	-۹.۷	-۷.۵۶
زو	-۲.۲۹	۰.۴۲	۰.۵۶	۰.۹۵	-۱.۹۸	-۹.۹۳	-۸.۰۸
قره کالی	-۲.۲۶	۰.۰۴	۰.۱۹	-۰.۰۱	-۱.۹۶	-۱۰.۴۲	-۸.۵۸
سنگوا	-۲.۴۱	۱.۰۴	۱.۱۹	۲.۲۸	-۲.۱	-۹.۰۹	-۷.۳۵
سرچشمه	-۲.۳۴	۰	۰.۱۴	۰.۳۷	-۲.۰۳	-۹.۹۴	-۸.۰۸
بالای میدان	-۲.۵۶	۰.۳۱	۰.۴۶	۰.۹۲	-۲.۲۶	-۹.۵۸	-۷.۷۳
تخت میرزا	-۲.۵	۰.۳۶	۰.۵	۰.۹۵	-۲.۲	-۹.۹۳	-۸.۰۹
سنگی کوه	-۲.۲۸	۰.۰۲	۰.۱۶	۰.۵۲	-۲.۰۷	-۸.۹۴	-۷.۶۲
چاهک	-۲.۲۵	۰.۸۶	۱	۱.۹۴	-۲.۰۵	-۹.۹۴	-۷.۶۲
کبک	-۲.۵۶	۰.۰۸	۰.۲۲	۰.۸۲	-۲.۲۶	-۹.۱۲	-۷.۵۸
فرنگ او	-۲.۵۹	۰.۳۴	۰.۴۸	۰.۹۹	-۲.۲۹	-۹.۳۷	-۶.۹۸
جنی	-۲.۱۷	-۰.۰۲	۰.۱۲	۰.۵	-۱.۸۷	-۹.۰۳	-۷.۴۹
رودخانه	-۲.۳۳	۰.۲۸	۰.۴۲	۱.۶۲	-۲.۰۳	-۷.۵۶	-۶.۰۴



شکل ۱۴: اندیس اشباع آب چشمه‌ها نسبت به کانی‌های انیدریت، ژیپس، آراگونیت، کلسیت، دولومیت، سیلویت و هالیت

تعیین جنس سنگ مخزن در منطقه مورد مطالعه

برای تعیین جنس سنگ مخزن و جنس سنگ آذرین در منطقه از نسبت کلسیم به منیزیم و سدیم به کلسیم استفاده می‌گردد. بررسی نسبت کلسیم به منیزیم (Ca/Mg) در نمونه‌های آب نشان داد جنس سنگ مخزن در منطقه از نوع دولومیت و دولومیت آهکی است. به بیانی دیگر جنس سنگ مخزن سرخ چشمه آهک دولومیتی، مندک و قره کالی دولومیت آهکی و جنس سنگ مخزن بقیه نمونه‌ها، دولومیت می‌باشد. همچنین بررسی نسبت سدیم به کلسیم (Na/Ca) در نمونه‌های آب نشان داد جنس سنگ آذرین در منطقه در همه نمونه‌ها از نوع فلدسپات آلکان - بازالتی است (جدول ۸).

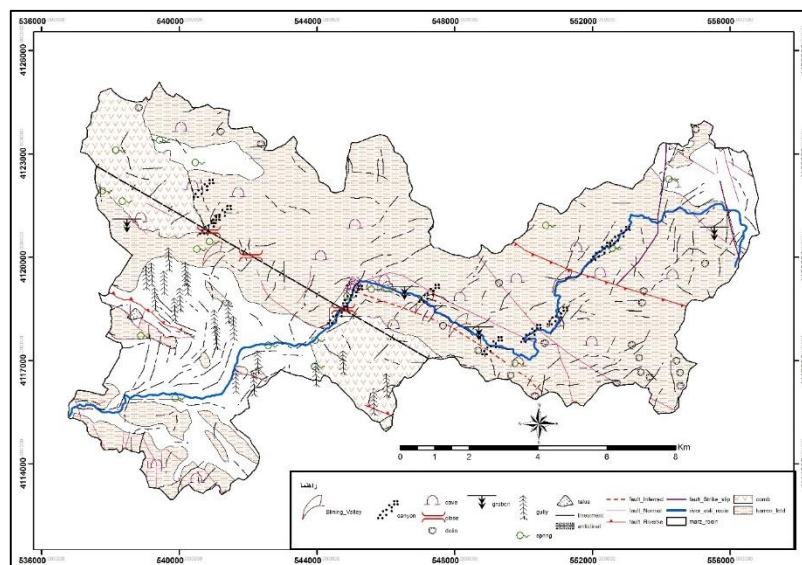
جدول ۸: تعیین جنس سنگ مخزن حوضه مطالعاتی

جنس سنگ آذرین	Na/Ca	شاخص غیر تعادلی کلر و آلکان	جنس سنگ مخزن	Ca/Mg	نام چشمه
فلدسپات آلکان - بازالتی	۰.۰۸	۰.۲۷	آهک دولومیتی	۲.۷۸	سرخ چشمه
فلدسپات آلکان - بازالتی	۰.۳۵	-۳.۴۵	دولو میت آهکی	۱.۵	مندک
فلدسپات آلکان - بازالتی	۰.۴۱	-۷.۴۳	دولو میت	۰.۴۷	چاله
فلدسپات آلکان - بازالتی	۰.۱۱	-۱.۴۱	دولو میت	۰.۵۱	درخت لوشی
فلدسپات آلکان - بازالتی	۰.۳۹	-۳.۴۵	دولو میت	۰.۶	زرپیدان
فلدسپات آلکان - بازالتی	۰.۹۷	-۳.۴۹	دولو میت	۰.۶	قرنگ زوجه
فلدسپات آلکان - بازالتی	۰.۳۲	-۱.۷۸	دولو میت	۰.۵۱	زرگرا
فلدسپات آلکان - بازالتی	۰.۴۲	-۱.۶۷	دولو میت	۰.۷۵	چشمه کوه
فلدسپات آلکان - بازالتی	۰.۱۴	-۱.۲۹	دولو میت	۰.۷۷	زو
فلدسپات آلکان - بازالتی	۰.۱۹	-۵.۷۳	دولو میت آهکی	۱.۹۶	قره کالی
فلدسپات آلکان - بازالتی	۰.۸۷	-۱۱.۵۱	دولو میت	۰.۶	سنگوا
فلدسپات آلکان - بازالتی	۰.۱۶	-۱.۳۵	دولو میت	۰.۶۶	سرچشمه
فلدسپات آلکان - بازالتی	۰.۰۴	۰.۰۴	دولو میت	۰.۷۹	بالای میدان
فلدسپات آلکان - بازالتی	۰.۱۶	-۱.۲۴	دولو میت	۰.۶	تخت میرزا
فلدسپات آلکان - بازالتی	۰.۱۵	-۰.۷۵	دولو میت	۰.۵۱	سنگی کوه
فلدسپات آلکان - بازالتی	۰.۴۷	-۵.۷۲	دولو میت	۰.۵۵	چاهک
فلدسپات آلکان - بازالتی	۰.۰۴	-۳.۲۸	دولو میت	۰.۳۴	کبک
فلدسپات آلکان - بازالتی	۰.۴۴	-۱.۱۴	دولو میت	۰.۴۵	فرنگ او
فلدسپات آلکان - بازالتی	۰.۳۲	-۲.۴۲	دولو میت	۰.۴۵	جنی

بررسی وضعیت توسعه ژئومورفولوژی کارست و چشمه‌ها در منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز روئین در دامنه جنوبی آلاداغ واقع شده است. از جهت ویژگی‌های توپوگرافی به دو بخش کلی کوهستان و تپه ماهور تقسیم شده است. طاق‌دیس شور با جهت‌گیری شمال غرب - جنوب شرق در امتداد البرز شرقی ادامه می‌یابد. دو یال چین در حوضه مورد مطالعه به سمت شمال شرق و جنوب غرب باز می‌شود. سرچشمه رودخانه اصلی بالادست حوضه اصلی، از پای یال چین آغاز می‌شود و به سمت جنوب غرب ادامه پیدا می‌کند. تکنونیک ثانوی در منطقه هم منجر به گسل‌های عادی و معکوس در سرچشمه شده و هم به بالا آمدن یال شمال شرقی چین منجر شده است. در نتیجه سرچشمه حوضه مورد مطالعه هم به صورت هورست و هم یال چین است. هورست در نتیجه بالا آمدگی گسلی و یال چین هم در نتیجه فشارهای تکنونیک اواخر دوران دوم زمین‌شناسی است. در منطقه مورد مطالعه انحلال به دلیل غلبه سازندهای کربناته، صورت می‌گیرد. فرایند انحلال تحت تأثیر لیتولوژی خالص کربناته به همراه رخدادهای تکنونیک مختلف از جمله گسل خوردگی و چین‌خوردگی زمینه تسهیل انحلال در منطقه را به وجود آورده است. در حال حاضر نیز میانگین ریزش‌های جوی منطقه کمک قابل ملاحظه‌ای به فرایند انحلال نموده است و از آنجایی که بارندگی منطقه بیش از ۳۰۰ میلی‌متر است در نتیجه شرایط برای کارستیفیکاسیون فراهم است. بنابراین هم تکنونیک و هم لیتولوژی و هم بارش سه عامل تسهیل کننده کارستی در منطقه می‌باشند ولی به دلیل سازند مزدوران - لار که دولو میت می‌باشد فقط اشکال سطحی

کارستی مشاهده می‌گردد و کارست حوضه تکامل یافته نیست. در منطقه مورد مطالعه اشکال سطحی کارستی از قبیل کارن، دولین و چشمه‌های کارستی مشاهده می‌شود. در شرق حوضه مطالعاتی به دلیل وجود گسل‌های بیشتر، تکتونیک بیشتر عمل کرده است. در غرب حوضه خاک تکامل یافته‌تر است. زیرا در غرب میزان بارندگی بیشتر و چمنزارهای غنی آلی وجود دارد ولی در شرق حوضه مراتع ضعیف می‌باشد. در غرب حوضه مراتع غنی سبب تجزیه شیمیایی آهک بیشتر شده است. به عبارتی در کنار فرایند انحلال، کربناتاسیون هم رخ داده است. یعنی خاک آهکی بر سطح سنگ‌های آهکی تشکیل شده است اما در شرق حوضه خاک آهکی بر سطح سنگ تشکیل نشده و لذا تجزیه شیمیایی کمتر بوده است. در شرق حوضه انحلال فقط آهک را با خود حل کرده و از منطقه خارج نموده و خاک تشکیل نشده است ولی در غرب مراتع غنی و خاک را تشکیل داده است. در غرب چمنزار غنی و آلی تشکیل داده اما در شرق حوضه، صخره یا رخنمون آهکی مشاهده می‌گردد. برون‌زد سنگی آهکی در شرق بیشتر از غرب است. در قسمت غربی حوضه به علت بارش بیشتر، تجزیه شیمیایی بیشتر بوده است. به‌طور کلی می‌توانیم بگوییم انحلال، تجزیه شیمیایی، پیدایش خاک و پوشش گیاهی انبوه در سمت غربی حوضه بیشتر است. در سمت شرق حوضه تکتونیک شکننده نیز عمل کرده است و تکتونیک شکننده سبب شده است که ما بیشتر صخره داشته باشیم و به دلیل شیب تند، خاک در شیب تند در محل بر جا نمانده است اما در قسمت غرب حوضه تکتونیک شکننده خیلی صخره‌های پرشیب ایجاد نکرده است. در قسمت غربی حوضه سطوح هموار به عبارتی دامنه محدب در غرب و دامنه مقعر در شرق داریم. رسوبات خروجی حوضه بیشتر از سمت شرق بوده است چون فرسایش بیشتر بوده و دره‌ها عمیق‌تر هستند و خاک هم کمتر تشکیل شده و در خروجی حوضه بر جای مانده است. در حوضه مطالعاتی دره کارستی، غارچه، چشمه‌های کارستی، دولین، لایپه، طاقدیس، دره طاقدیس (کمب) و دره کور مشاهده می‌گردد. بررسی ژئومورفولوژی در سطح منطقه نشان می‌دهد که اشکال سطحی کارست پیشرفته نظیر پولیه و سینک هول در منطقه وجود ندارد و حفرات انحلالی و لایپه عمده سیمای مورفولوژی را تشکیل داده است. به نظر می‌رسد که دره‌های تشکیل شده در منطقه عمدتاً به دلایل تکتونیک باشند، هر چند که نقش انحلال توسط آب غیرقابل انکار است. به همین دلیل شاید بتوان این دره‌ها را که در اثر عملکرد آب در امتداد گسیختگی‌های ساختاری ایجاد شده‌اند معادل بوگاز^{۱۵} در نظر گرفت. شکل (۱۵) نقشه ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۵: نقشه ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه

نتیجه گیری

با توجه به اهمیت منابع آبی کارستی، حوضه آبریز روئین در دامنه جنوبی کوه‌های آلاداغ-بینالود جهت مطالعه توسعه کارست با استفاده از ویژگی‌های هیدرولوژیکی و هیدرو شیمی چشمه‌ها انتخاب و تعداد ۱۹ دهنه چشمه در منطقه مطالعاتی مورد شناسایی قرار گرفت. بدین منظور از هر چشمه یک نمونه ۲۵۰ گرمی آب به روش نمونه‌برداری لحظه‌ای و با استفاده از طرف شیشه‌ای قابل استرل کردن جهت انجام آزمایش‌های برداشت شد. سپس جهت مطالعه چشمه‌های کارستی به محاسبه و تحلیل پارامترهایی نظیر دبی و هیدرو گراف چشمه‌ها، ضریب فرود (α)، حجم ذخیره دینامیکی (V)، ضریب خشکیدگی (t_0)، ترسیم نمودار پایپر، نسبت کلسیم به منیزیم، اندیس اشباع، تعیین جنس سنگ مخزن و بررسی ژئومورفولوژی کارست حوضه مطالعاتی پرداخته شد.

آب آبخوان‌های کارستی اغلب از طریق یک یا چند چشمه که به صورت یک نقطه متمرکز است، تخلیه می‌شود. شکل هیدرو گراف این چشمه‌ها اطلاعات با ارزشی در مورد دینامیک آبخوان و توسعه کارست به دست می‌دهد. هیدرو گراف چشمه‌ها در حوضه مطالعاتی نشان از زمان تأخیر بین پیک بارندگی و پیک دبی در چشمه‌ها دارد که در آن دبی حداکثر چشمه با تأخیری حدود دو یا سه ماه به حداکثر خود می‌رسد (اشکال ۴، ۸ و ۱۱). جهت بررسی دقیق‌تر از منحنی فرود چشمه‌ها با دو مقدار ضریب فرود استفاده گردید. اشکال (۶ و ۱۰) نشان می‌دهد که ضریب فرود برای قسمت اول منحنی پایین و ضریب فرود برای قسمت دوم بیشتر است. این وضعیت برعکس رفتار متعارف سیستم‌های کارستی معمول می‌باشد. چرا که در سیستم‌های کارستی قسمت ابتدای منحنی فرود پرشیب‌تر بوده و بیانگر تخلیه سریع آب از مجاری بزرگ است و قسمت‌های بعدی شیب منحنی فرود کمتر شده که نمایانگر تخلیه آب از درزه و شکستگی‌های ریز تر سیستم می‌باشد. توسعه کارست پایین و درزه و شکستگی‌های فراوان، سبب تأخیر در پاسخ چشمه به بارندگی شده و مهم‌ترین نمود آن نیز در آبدی‌های پایین و طولانی مدت چشمه‌ها ظهور یافته است. به طور کلی دو نکته مشترک از هیدرو گراف چشمه قابل

تشخیص می‌باشد (۱) زمان تأخیر چشمه بالا بوده و بنابراین سیستم کارستی فاقد مجاری بزرگ است. (۲) ضریب فرود چشمه پایین بوده و نمایانگر جریان افشان است و در یک سیستم افشان آب برای رسیدن به خروجی (چشمه) مسیر طولانی‌تری را می‌پیماید و بنابراین زمان پاسخ خروجی به نفوذ بارندگی طولانی‌تر است. هر دو مورد بیانگر این است که توسعه کارست در محدوده حوضه مطالعاتی پایین می‌باشد. برای تمامی چشمه‌های حوضه مطالعاتی پارامترهای حجم ذخیره دینامیک آبخوان، زمان خشکیدگی (زمان مرگ چشمه) و دبی مرگ محاسبه شد. مقادیر این پارامترها که در جدول (۵) ارائه شده است نشان می‌دهد که حجم ذخیره دینامیک آبخوان بسیار پایین بوده که نمایانگر توسعه پایین کارست می‌باشد. همچنین در منطقه مورد مطالعه، چشمه با دبی بزرگ وجود ندارد و بزرگ‌ترین دبی ثبت شده در تمامی چشمه‌ها ۹/۳ لیتر بر ثانیه در چشمه زربیدان و در اردیبهشت‌ماه بوده است. دبی چشمه‌ها از حداقل ۰/۴ لیتر بر ثانیه در چشمه سنگوا تا حداکثر ۹/۳ لیتر بر ثانیه در چشمه زربیدان متغیر می‌باشد. دبی پایین چشمه‌های منطقه مورد مطالعه و عدم وجود چشمه بزرگ نیز نمایانگر توسعه پایین کارست در منطقه می‌باشد. اندیس اشباع (SI) محاسبه شده توسط نرم‌افزار Phreeqc و ارائه شده در جدول (۷) و شکل (۱۴)، نشان می‌دهد که اندیس اشباع نمونه‌های آب چشمه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه تماماً نسبت به کانی‌های آراگونیت، کلسیت و دولومیت مثبت می‌باشد. در نتیجه آب زیرزمینی در این مناطق از این مواد در حالت اشباع و فوق اشباع است که دلیل ارتباط زیاد آب زیرزمینی با لیتولوژی آبخوان است. جدول (۷) نشان می‌دهد اغلب مقادیر اندیس‌های اشباع نسبت به کانی‌های مختلف به عدد ۱ نزدیک‌تر شده است و این مهم زمان اقامت بیشتر آب در آبخوان کارستی را نشان می‌دهد و آب موجود در آن‌ها توسط آب جدید تغذیه نشده است. علت این موضوع می‌تواند مربوط به خشک‌سالی و عدم بارندگی در سال مورد بررسی و عدم توسعه کارستی مناسب در حوضه آبرگیر چشمه‌ها باشد. لذا می‌توان گفت به دلیل عدم وجود کاندونیت‌های بزرگ و عدم توسعه سیستم کارستی، سطح تماس و زمان اقامت آب در آبخوان بیشتر شده و این عامل باعث افزایش مقادیر اندیس اشباع شده و آب زیرزمینی حوضه مطالعاتی را در حالت اشباع و فوق اشباع قرار داده است.

مهم‌ترین عاملی که اکثر آبشناسان بدان تکیه کرده‌اند، میزان CO_2 در آب زیرزمینی می‌باشد. انحلال CO_2 در آب اگرچه اسید ضعیفی می‌سازد اما در انحلال کانی‌های کربناته، سیلیکاته و آلومینوسیلیکاته بسیار مؤثر است (کرمی، ۱۳۹۰). همه نمونه‌های آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه نسبت به CO_2 تحت اشباع می‌باشند و این امر بیانگر این است که میزان CO_2 بیشتری می‌تواند در آب زیرزمینی منطقه حل شده و قدرت انحلال در منطقه مورد مطالعه نیز بیشتر شود. ترسیم نمودار پایپر در منطقه مطالعاتی نشان داد که اغلب چشمه‌ها دارای تیپ بیکربناته، کلسیک و منیزیک می‌باشند، که می‌توان آن را با انحلال لایه‌های کربناته آهکی و دولومیتی موجود در ارتفاعات و در نتیجه افزایش مقدار بیکربنات و کلسیم در آب زیرزمینی منطقه تفسیر نمود.

با توجه به این که اگر میزان غلظت منیزیم در آبخوان‌های کارستی افزایش یابد و نسبت کلسیم به منیزیم بالا باشد، می‌تواند بیانگر این نکته باشد که آب در آبخوان به مدت طولانی توقف داشته و دلیلی بر وجود نوعی آهک دولومیتی در

محدوده تغذیه و مخزن ذخیره آب زیرزمینی باشد. در منطقه مورد مطالعه نیز نسبت Ca به Mg در نرم‌افزار AqQa محاسبه شد. غالب چشمه‌ها مقادیری کمتر از ۱ داشته و بر اساس شاخص نسبت Ca به Mg دارای سفره تغذیه آبخوان دولومیتی می‌باشند. به عبارت دیگر هر چه این مقدار بیشتر و بزرگ‌تر از ۱ باشد، حرکت آب زیرزمینی، سیال‌های سازنده دولومیت را به داخل سنگ‌های آهکی تلمبه می‌کند و در نتیجه سنگ‌آهک تبدیل به دولومیت می‌شود. این بدان معنی است که زمان توقف و اقامت آب در آبخوان‌های کربناته طولانی بوده است. لازم به ذکر است که این نسبت به‌طور طبیعی در امتداد مسیر جریان نیز افزایش می‌یابد. سنگ‌های دولومیتی، سنگ‌های کربناته هستند که از کانی دولومیت تشکیل شده‌اند. کانی دولومیت کربنات مضاعف کلسیم و منیزیم است. قابلیت انحلال سنگ دولومیتی خیلی کمتر از سنگ‌آهک است. این امر می‌تواند به دلیل اشباعیت بیشتر آب‌های کارستی نسبت به دولومیت، کند تر عمل کردن نیروهای جنبشی در محلول‌های دولومیتی و خصوصیات لیتولوژی و ساختاری سنگ‌های دولومیتی باشد که تمایل به جلوگیری از انحلال دولومیت دارند. بررسی تعیین جنس سنگ مخزن در منطقه با توجه به نسبت کلسیم به منیزیم و سدیم به کلسیم انجام شد و نشان داد جنس سنگ مخزن در منطقه از نوع دولومیت و دولومیت آهکی است که این عامل نیز می‌تواند بر میزان انحلال تأثیرگذار باشد و میزان انحلال را به حداقل کاهش دهد. بررسی ژئومورفولوژی و مشاهدات میدانی در سطح منطقه نشان می‌دهد که اشکال کارست پیشرفته نظیر پولیه و غار بزرگ در منطقه وجود ندارد و حفرات انحلالی، لاپیه و غارچه (به‌صورت محدود) عمده سیمای مورفولوژی را تشکیل داده است. لذا با توجه به مطالعات انجام شده می‌توان گفت حوضه دارای سیستم کارستی تکامل یافته نیست و سیستم کارستی آن در مراحل تکامل اولیه یعنی بین جوانی و بلوغ (نیمه تکاملی) قرار دارد و سیستم کارستی منطقه از نوع تکامل نیافته بوده و اشکال ژئومورفولوژی کارستی زیادی در منطقه مشاهده نمی‌گردد.

منابع

- ۱- بهرامی، شهرام، زنگنه اسدی، محمدعلی و جهانفر، علی (۱۳۹۵): ارزیابی توسعه‌ی کارست با استفاده از ویژگی‌های هیدرودینامیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی در زاگرس (منطقه مورد مطالعه: طاق‌دیس قلاجه و توده پراو بیستون)، جغرافیا و توسعه شماره ۴۴، صص ۱۲۲-۱۰۷
- ۲- بهرامی، شهرام، زنگنه اسدی، محمدعلی و رهبر، همزه (۱۳۹۲): بررسی نقش ژئومورفولوژی در ویژگی‌های هیدرولوژیکی و شیمیایی چشمه‌های حوضه کنگیر، جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای، شماره ۷، صص ۸۴-۷۱.
- ۳- دشتی برمکی، مجید (۱۳۸۹): پتانسیل‌یابی منابع آب کارست با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS در طاق‌دیس‌های دشتک و شاه‌نشین، پایان‌نامه ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تربیت معلم تهران، دانشکده علوم.
- ۴- سجادی، زهرا، کلانتری، نصر اله، چرچی، عباس، و موسوی، سید ساجدین. (۱۴۰۱): بررسی ارتباط هیدرولیکی ساختارهای کارستی با روش‌های هیدروژئوشیمی و ایزوتوپی منابع آب منطقه ایزه شمال استان خوزستان. هیدروژئولوژی، ۷(۲)، ۱۲۱-۱۴۲.
- ۵- علیزاده، امین (۱۳۸۸): اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، چاپ بیست و ششم، تعداد صفحات ۸۷۲

- ۶- مقصودی، مهران، کریمی، حاجی، صفری، فرشاد و چهارراهی، ذبیح اله (۱۳۸۸): بررسی توسعه کارست در توده پرآو - بیستون با استفاده از ضرایب فرود، زمان مرگ چشمه‌ها و تحلیل نتایج ایزوتوپی و شیمیایی، مجلد پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شمار ۶۹، صص ۶۵-۵۱.
- ۷- ملکی، امجد، محمدی، سارا، کریمی، حاجی، و زینتی زاده، علی اکبر. (۱۳۹۷): ارزیابی توسعه کارست با استفاده از ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی در آبخوانه‌های شاهو و اسلام آباد استان کرمانشاه. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۶(۴)، ۱۳۱-۱۴۶.
- ۸- میر علانی مودی، مهدی (۱۳۹۱): بررسی ویژگی‌های پتروگرافی و تأثیر فرآیندهای کارستی بر منابع آب موجود در سنگ‌های کربناته منطقه آهنگران، شرق ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، گرایش رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه بیرجند، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی
- ۹- میرحسینی، قمرالدین، باقری، رحیم، و نیک قوجق، یعقوب. (۱۳۹۷): هیدروژئولوژی چشمه‌های کارستی منطقه‌ی کلاله، استان گلستان. اکوهیدرولوژی، ۵(۲)، ۳۸۷-۳۹۷.

- 10- Bakalowicz, M., El Hakim, M And El-Hajj, A (2008): Karst Groundwater Resources In The Countries Of Eastern Mediterranean: The Example Of Lebanon. *Environmental Geology*, 54, 597-604.
- 11- Bakalowicz, M (2005): Karst Groundwater: A Challenge For New Resources, *Hydrogeology Journal*. 13 (1), 148-160
- 12- Bonacci, O., (1993): Karst Spring Hydrographs As Indicators Of Karst Aquifers. *Hydrological Sciences Journal*, 38, 1, 51-62.
- 13- Ford, D & Williams, P (2007): *Karst Hydrogeology And Geomorphology*. John Wiley & Sons. Chichester, West Sussex, England. P. 562
- 14- Ford, D.C. And Williams, P.W. (2007). *Karst Hydrogeology And Geomorphology*. Wiley, Chichester, P. 562.
- 15- Kavousi Heydari, A. Raeisi, E., (2015): Estimation Of Ground Water Mean Residence Time In Unconfined Karst Aquifers Usingrecession Curves *Journal Of Cave And Karst Studies* 77:108-119.
- 15- Komac, B., (2006): The Karst Springes Of The Kanin Massif Kra[Ki Izvir Pod Kanin Skim Pograje, [Http://Www.Zrc-Sazu.Si/Giam/Zbornik/Komac41](http://www.zrc-sazu.si/Giam/Zbornik/Komac41).
- 16- Korkmaz, N., (1990): The Estimation Of Groundwater Recharge From Spring Hydrographs *Hydrological Sciences*, 35, 209-217
- 17- Krishnamurthy, J And Srinivas, G (1995): Role Of Geological And Geomorphological Factors In Ground Water Exploration: A Study Using IRS LISS Data, *Inernational Journal Of Remote Sensing*, 16(14), 2595-2618
- 18- Lopez- Chicano, M., Bouamama, M., Vallejos, A And Pulido- Bosch, A (2001): Factors Which Determine The Hydro Geochemical Behavior Of Karstic Springs: A Case Study From Betic Cordilleras, Spain. *Applied Geochemistry*, 16, 1179-1192.
- 19- Maillet, E., (1905): *Essai D'Hydraulique Fluviale*. Herman, Paris, France
- 20- Mohammadi, Z. Mali, S., (2016): Characterization Of Karst System Using Modelling Of Rainfall-Discharge Relationship: Pireghar And Dimeh Springs, Zagros Region, Iran Selected Papers On Hydrogeology- IAH Series: 215-224
- 21- Ozler, H.M., (2010): Carbonate Weathering And Connate Seawater Influencing Karst Groundwater's In The Gevas-Gurpinar-Gu`Zelsubasins, Turkey. *Environmental Earth Science*, 61, 323-340.
- 22- Padilla A., Pulidobosch A. Mangin A., (1994): Relative Importance Of Baseflow And Quick flow From Hydrographs Of Karst Spring. *Ground Water*, 32(2), 267-77.
- 23- Raeisi, E. Ashjari, J., (2006): Influences Of Anticlinal Structure On Regional Flow, Zagros, *Iran Journal Of Cave And Karst Studies* 68:118-0.
- 24- Samani, N., (2001): Response Of Karst Aquifers To Rainfall And Evaporation, *Maharlu Basin, Iran*. 63. 33-40.