

## بررسی توسعه کارست در توده پرآو - بیستون با استفاده از ضرایب فرود،

### زمان مرگ چشمه‌ها و تحلیل نتایج ایزوتوپی و شیمیایی

مهران مقصودی\* - استادیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

حاجی کریمی - استادیار دانشگاه ایلام

فرشاد صفری - دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران

ذبیح‌الله چهارراهی - کارشناس ارشد جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۸۷/۱۲/۲۷ تأیید نهایی: ۱۳۸۸/۵/۲۰

#### چکیده

توده پرآو - بیستون با وسعت ۸۸۰ کیلومترمربع در زون زاگرس روئانده و در استان کرمانشاه واقع شده است. در این توده کوهستانی تحت تأثیر شرایط پالئوکلیماتیک، اشکال متنوع کارستی همچون جاما، اووالا و دولین‌ها شکل گرفته است و با شرایط اقلیمی حاضر، در ارتفاعات بالاتر از ۲۵۰۰ متر شرایط برای فعالیت‌های کارستی فراهم آمده است. میزان توسعه کارستی، می‌تواند ضریب هیدرولیکی و سرعت تأثیرپذیری آبدی چشمه‌ها از بارش را تحت تأثیر خود قرار دهد، به همین دلیل در پژوهش حاضر، تحولات کارستی در توده پرآو - بیستون براساس فاکتورهای هیدروژئولوژیکی منطقه مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفته است. بنابراین به بررسی ویژگی‌های ایزوتوپی - شیمیایی، برآورد ضریب خشکیدگی، حجم ذخیره دینامیکی و تفسیر رژیم تخلیه چشمه‌های اصلی منطقه پرآو - بیستون (سراب برناج، سراب بیستون و سراب طاقی بستان) در مقایسه با چشمه‌های دیگر واقع در زون زاگرس چین خورده (سراب شیان و سراب نیلوفر) پرداخته شده و برای مطالعه و ارائه تحلیل‌های صورت گرفته از داده‌های مربوط به سال آبی ۱۳۸۴ استفاده شده است. هیدروگراف چشمه‌ها در توده پرآو - بیستون متأثر از توسعه کارستی به‌وجود آمده، نوسان و پیچیدگی‌های بیشتری را نشان می‌دهد که تغذیه به‌صورت کانالیزه رخ می‌دهد و سطح تماس با عامل انحلال (آب) اندک است. میزان تریتیموم بالای چشمه‌های اطراف توده پرآو - بیستون به مقادیر حدی باران و آب‌های جوی نزدیک است و میزان  $C_{14}$  و  $C_{12}$  آنها نیز از نفوذ سریع و سطح تماس کم آب با بستر - به علت وضعیت کانالیزه حاکم بر منطقه - حکایت دارد. بررسی مقادیر ایزوتوپی چشمه‌ها همچون میزان تریتیموم، کربن ۱۴ و فشار گاز کربنیک نیز نشان دهنده کارستی بودن منطقه است. از طرف دیگر میزان ضریب خشکیدگی چشمه‌ها، ضریب آلفا و حجم ذخیره دینامیکی آنها (چشمه‌های اطراف پرآو - بیستون)، در مقایسه با دیگر چشمه‌ها نیز دلالت بر توسعه کارست در منطقه دارد و تغذیه مجرای و کانالیزه چشمه‌ها را نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: توده پرآو - بیستون، کارست، ضریب آلفا، منحنی تارپسمان، حجم ذخیره دینامیکی.

#### مقدمه

کارست، حاصل فرایندهای متنوعی است که در سنگ‌های انحلال‌پذیر مختلف و تحت شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی و

\* E- mail: maghsodi1@yahoo.com

هیدروژئولوژی متفاوتی پدید می‌آید. ساختارهای کارستی بیشتر در مناطق سرد و مرطوب با بارش بیش از ۳۰۰ میلی‌متر که دارای سنگ بستر کربناته یا تبخیری باشند، شکل می‌گیرند.<sup>۱</sup> ملاحظات هیدرودینامیکی، هیدروشیمیایی و ویژگی‌های ایزوتوپی در خروجی سامانه‌های کارستی، وابسته به شرایط جریان غالبی است که بر آبخوان حاکم است. به عبارتی چرخه هیدرولوژیکی، سامانه تغذیه و تخلیه و ویژگی‌های یونی و ایزوتوپی چشمه‌ها بیانگر میزان توسعه کارستی حاکم بر یک ناحیه‌اند. از همین رو، در چند دهه اخیر به علت پدید آمدن مشکلات کم‌آبی و ارتباط پدیده‌های کارستی با مسائل منابع آب، کارست به‌طور روزافزون مورد توجه قرار گرفته، مراکز مطالعات کارست (در ایران از سال ۱۳۶۰) شکل گرفته و پژوهش‌های مختلفی نیز در این زمینه صورت گرفته است. از جمله این مطالعات، شناخت ویژگی‌های کارست براساس شاخص‌های هیدروگرافی چشمه‌هاست، که پژوهشگرانی همچون بوناچی (۱۹۸۸)، مودری (۱۹۹۰)، آتکینسون (۱۹۷۷)، فورد و ویلیام (۱۹۸۹) و کورک‌ماز (۱۹۹۰)<sup>۲</sup> به آن پرداخته‌اند. بیشتر این مطالعات که دارای تحلیل هیدروژئولوژیکی بودند، به نوعی دنباله‌رو مدل هیدروتکنیکی مایلت<sup>۳</sup> (۱۹۰۵) بوده‌اند. در سال ۱۹۷۴ جاکوبسن و لانگمور مطالعاتی در پنسیلوانیا انجام دادند و سامانه‌های جریان را به سه نوع مجرای، انتشاری - مجرای و انتشاری تقسیم کردند (رئیس، ۱۹۹۷، ۱۱۲).

کورک‌ماز (۱۹۹۰، ۲۱۰)، بوناچی (۱۹۹۳، ۵۴) و کوماک<sup>۴</sup> (۲۰۰۱، ۲۶) به بررسی هیدروگراف چشمه‌ها و رژیم تخلیه با استفاده از فرمول مایلت پرداخته‌اند. نتایج آنها نشان می‌دهد که چشمه‌های کارستی، آب را از سطوح مختلف زهکشی می‌کنند، تغییرپذیری شدیدی دارند و نسبت به بارش به سرعت واکنش نشان می‌دهند. گونای<sup>۵</sup> (۲۰۰۶، ۲۳۹) به بررسی چشمه‌های سرشاخه رود ساکارا در مرکز آناتولی ترکیه پرداخته است و با بررسی ایزوتوپی چشمه‌ها چنین استدلال می‌کند که تریتوم پایین و هدایت الکتریکی بالا در چشمه‌ها نشانه تعمیق چرخه هیدرولوژیکی و کارستی بودن منطقه است. آلبرتو (۲۰۰۵، ۱۰۴۸) دلیل میزان بالای هدایت الکتریکی آب را قدیمی بودن آن برمی‌شمارد.

کوماک (۲۰۰۱، ۲۹) با بررسی منحنی تاريسمان چشمه‌های ماسیف کانین و حوضه بوویک بیان می‌دارد که فرود زیاد آبدی چشمه‌ها نشانه تخلیه آب از مجاری بزرگ انحلالی در بستر تغذیه است. وی همچنین نشان می‌دهد که چشمه‌های بوکا، گلیجیون و گوریودا که از منطقه وادوز تخلیه می‌شوند، در مقایسه با چشمه‌های زوویکا و وودیکا که آب را از قسمت‌های انتشاری و پایین‌تر دریافت می‌دارند، میزان یونی کمتری را نشان می‌دهند.

کورک‌ماز (۱۹۹۰، ۲۱۷) به آنالیز منحنی تاريسمان چشمه‌ها پرداخته و میانگین حجم تغذیه و تخلیه سالانه و همچنین میانگین ذخیره دینامیک و ضریب تخلیه را برآورد کرده است.

1. I.V.Popov

2. Bonacci, 1988; Mudry, 1990; Atkinson, 1977; Ford & Williams, 1989, Korkmaz, 1990

3. Maillet

4. Comac

5. Gunay

کریمی (۱۳۹۸، ۲۰۰۴) به بررسی چندمتغیره چشمه‌های حوضه الوند با در نظر گرفتن میزان کارستی شدن پرداخته و بیان می‌دارد که فشار گاز کربنیک و هدایت الکتریکی چشمه‌ها در ارتباط با ارتفاع حوضه تغذیه، میزان بارش، نفوذ و دمای ناحیه تغییر می‌کند. وی در پژوهش خود همچنین به دو گروه از چشمه‌ها اشاره می‌کند که یکی از آنها به‌خاطر بستر تغذیه کارستی‌تر، دارای میزان املاح کمتر و تغییرپذیری بالایی از دبی است و میزان فشار گاز کربنیک کمتری را در پیوند با بارش منطقه نشان می‌دهد.

بنابراین، براساس این مطالعات و بر پایه رابطه میان ژئومورفولوژی و هیدروژئولوژی و ارتباط مستقیم و نزدیک این دو با تکامل آبخوان‌ها در مناطق کارستی، اهمیت بررسی‌های کارستیک در حل مسائل هیدروژئولوژیکی و هیدروژئولوژیکی آشکار می‌گردد. در مقوله مدیریت آب، توجه به نواحی کارستی که بنا به گفته رئیسی (۲۰۰۰) حدود ۱۱ درصد از مساحت کشور و ۵۵/۲ درصد از مساحت زاگرس را دربرمی‌گیرند (کریمی، ۲۰۰۴، ۷۸۸)، اهمیت پیدا می‌کند. به همین دلیل، هدف کلی پژوهش حاضر، شناخت توسعه کارستی ناحیه در پیوند با هیدروژئولوژی منطقه تعیین شده است.

### موقعیت جغرافیایی منطقه

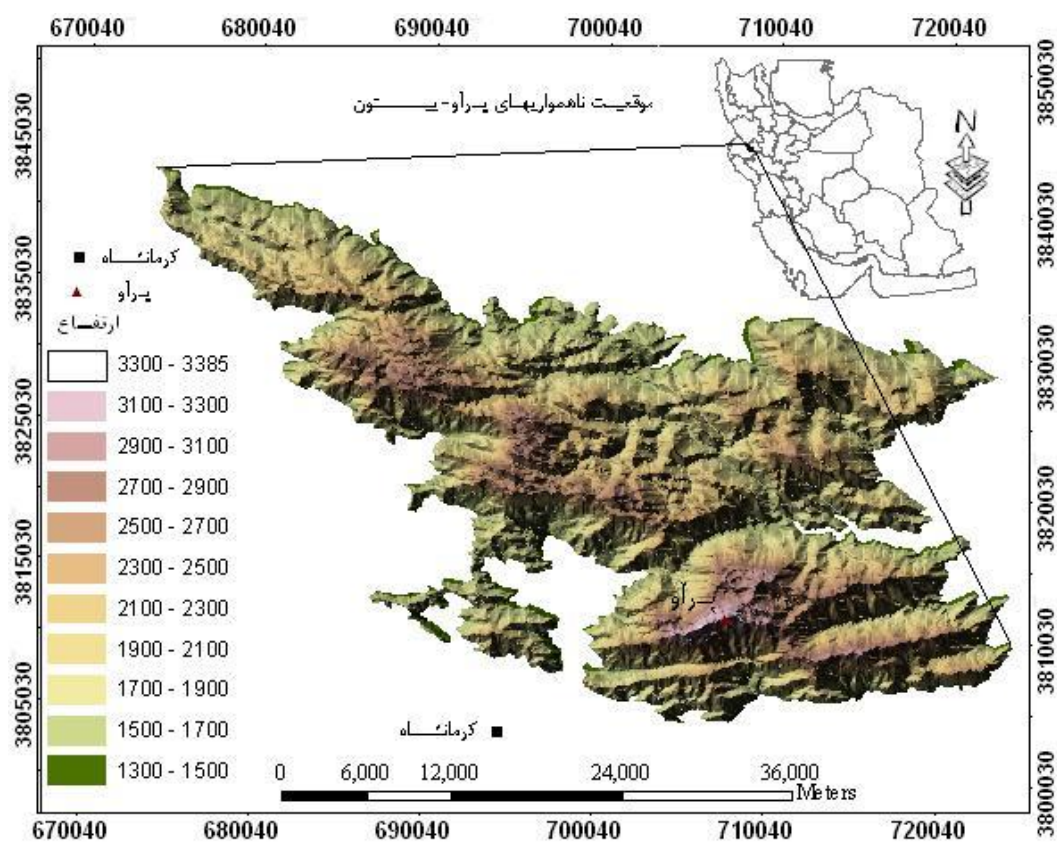
منطقه مورد تحقیق، بخشی از زاگرس رورانده است که در استان کرمانشاه و در شمال شرقی شهر کرمانشاه به طول تقریبی ۴۰ کیلومتر و عرض حداکثری در حدود ۱۵ کیلومتر مطابق با روند قرارگیری گسل اصلی زاگرس و در جهت شمال غربی - جنوب شرقی قرار دارد. این ناحیه دارای رخنمون غالبی از سازند آهکی بیستون است که با ضخامت بیش از ۲۰۰۰ متر، از نظر توپوگرافیکی چشم‌انداز یکدست و توده‌مانندی را به نمایش می‌گذارد. البته علاوه بر ضخامت زیاد، خلوص آهکی زیاد و در نتیجه شکنندگی آن در مقابل فعالیت‌های تکتونیکی باعث شده است که شکل توده‌ای و بدون لایه‌بندی مشخصی ظهور و تجلی بیشتری یابد. از این ناهمواری با عنوان توده پراو - بیستون نام‌برده شده است (ملکی، ۱۳۸۰).

توده پراو - بیستون تحت تأثیر حرکات گسله‌ای و تکتونیک، شکست‌ها و شکاف‌های بیشتری در مقایسه با زاگرس چین‌خورده برداشته است. این توده کوهستانی تا خط‌القعر در چهار جهت، مساحتی حدود ۸۷۹/۳ کیلومترمربع را بین عرض‌های ۳۴°۲۱' و ۳۴°۴۴' شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۶°۵۳' و ۴۷°۲۷' شرقی دربر گرفته است و از سمت شمال به کوه‌های کمرزرد، گندم‌بان و سیفله، از سمت شرق به تنگه کنشت، از سمت جنوب به دشت کرمانشاه و از سمت شرق به دشت دینه‌ور محدود می‌شود. حداکثر ارتفاع این توده کوهستانی با ۳۳۸۵ متر ارتفاع متعلق به کوه پراو است. به‌خاطر وجود گسل‌های فعال در دامنه‌های جنوبی و شرقی، مرز بین دشت‌ها و توده کوهستانی در این دامنه‌ها به‌صورت دیوارهای بلند و مرتفع با شیب زیاد و به‌شکل پرتگاه است. به‌عنوان مثال، دیواره بیستون - بزرگ‌ترین دیواره گسلی در زاگرس رورانده - در دامنه جنوبی این ناهمواری‌ها قرار گرفته است.

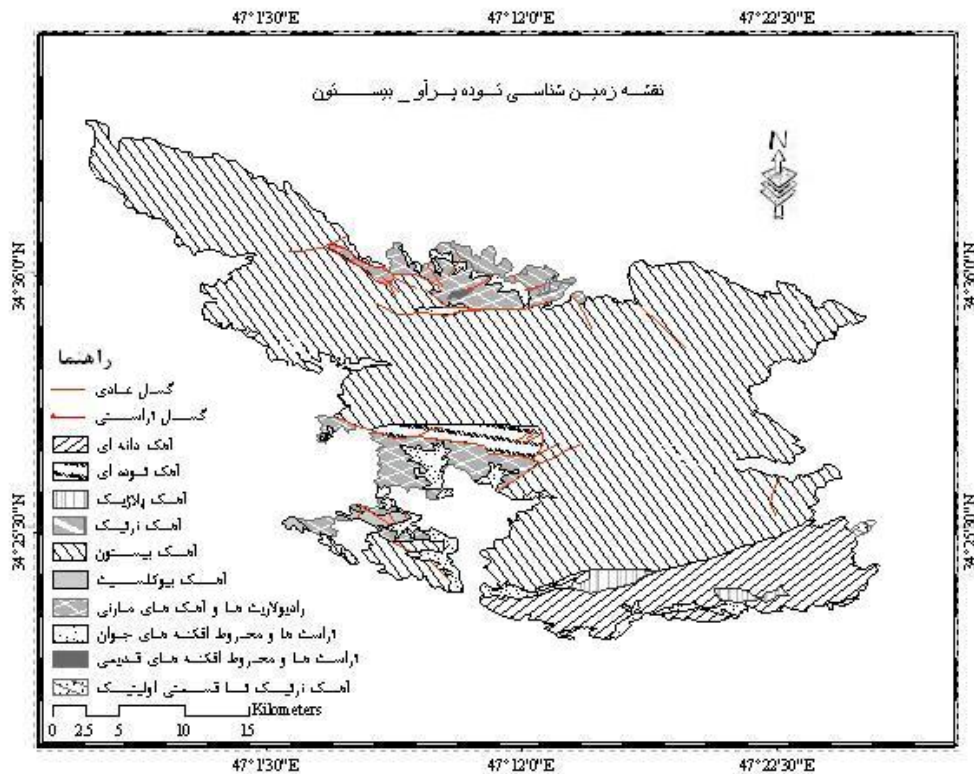
## زمین‌شناسی منطقه

ناهمواری پراو - بیستون، توده‌ای آهکی و بدون لایه‌بندی مشخص است که سنگ‌های آن از تریاس تا کرتاسه بالایی را شامل می‌شود. این توده کوهستانی در زون زاگرس رورانده واقع شده و از لحاظ زمین‌ساختی ویژگی‌هایی شبیه به زاگرس رورانده دارد (شکل ۱). فعالیت شدید تکتونیکی و راندگی‌های صورت گرفته در این منطقه باعث قرارگیری لایه‌های جوان‌تر بر روی لایه‌های قدیمی‌تر شده است (تنگه کنشت).

بیشتر گسل‌های اصلی منطقه مورد مطالعه در دامنه جنوبی، با جهت شمال غربی - جنوب شرقی و منطبق با جهت اصلی کوه‌های زاگرس قرار گرفته‌اند. این توده کوهستانی متعلق به دوران دوم زمین‌شناسی است و در انتهای کرتاسه بر روی زاگرس چین‌خورده رانده شده است. توده نامبرده در دامنه‌های جنوبی و شرقی با دیواره‌های بلند و پرشیب به دشت‌های اطراف متصل می‌شود. بزرگ‌ترین دیواره گسلی رورانده (دیواره بیستون) دیواره‌ای آهکی و متعلق به ژوراسیک بالایی تا کرتاسه بالایی است و بر روی آن نقش‌های برجسته هخامنشیان کنده‌کاری شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی ناهمواری پرآو - بیستون (واقع در زون زاگرس شکسته - غرب ایران، کرمانشاه)

برجستگی‌های اصلی توده پرآو - بیستون، نهشته‌های آهکی کرتاسه زیرین با دانه‌بندی ریزدانه و میکروولیتی را شامل می‌شود. لازم به ذکر است که توده پرآو - بیستون بر اثر فشارهای ناشی از کوهزایی آلپی، درز و شکاف‌های بسیاری پیدا کرده و عامل مذکور توانسته است در توسعه کارستی منطقه نقش بسزا و تأثیرگذاری ایفا کند.

## مواد و روش‌ها

بررسی و تحلیل هیدروگراف چشمه‌ها روشی است برای دستیابی به ارزیابی‌ای کلی از بستر تغذیه و میزان کارستی بودن آن. اینکه تخلیه چشمه‌های منطقه منحصراً در بستری با سیستم کانالیزه و از طریق لایه‌های کارستی شده صورت می‌گیرد یا خیر، مستلزم تهیه هیدروگراف و منحنی تاريسمان چشمه‌هاست.

تاريسمان به معنای رو به خشکی رفتن جریان آب سطحی یا یک چشمه است. در مناطق کریناته، ویژگی‌های چشمه‌های کارستی اعم از تغییرات آبدهی، تغییرات کیفی و تغییرات دما می‌تواند معرف خصوصیات کارستی آن منطقه باشد. از جمله راه‌های مطالعه چشمه‌های کارستی، می‌توان به محاسبه و تحلیل پارامترهایی همچون، حجم ذخیره دینامیکی چشمه‌ها، زمان مرگ چشمه‌ها، منحنی تاريسمان و ضریب فرود آنها و همچنین مطالعه تغییرات کمی و کیفی نظیر نتایج ایزوتوپی و شیمیایی چشمه‌ها (از جمله فشار گاز کربنیک، میزان کربن ۱۴ و تریتیوم چشمه‌ها) اشاره کرد. برآورد

و تحلیل میزان آلفا (ضریب کاهش دبی) از دو روش محاسبه می‌شود: یکی از طریق خط برازش منحنی تاريسمان چشمه‌ها به صورت توانی از عدد نپری (e) که در نمودارهای فرود نشان داده می‌شود، و دیگری فرمول تجربی مایلت (1905).

براساس مبانی نظری و فرمول هیدروتکنیکی که مایلت برای منحنی پسروری در یک دوره خشک به کار گرفت، می‌توان به اطلاعات و داده‌های کمی مربوط به توانایی تخلیه آبخوان‌های زیرزمینی منطقه دست یافت (معادله ۱). این معادله که به بررسی ضریب تخلیه  $\alpha$  می‌پردازد، از طریق تانژانت زاویه بین خط آبنمود و محور افقی بیان می‌شود. فوستر ضریب تخلیه را متأثر از ضریب انتقال و جریان آب، ضریب ذخیره و ژئومتری حوضه می‌داند (Korkmaz, 1990, 211).

$$\alpha = \frac{\log Q_0 / Q_t}{. / 4343 (t)} \quad \text{معادله (۱)}$$

میزان حجم ذخیره دینامیکی نیز به عنوان عاملی که نتیجه شرایط خاص زمین‌شناختی و بازخوردی از توسعه کارستی یک منطقه است، از طریق رابطه (۲) - برگرفته از تعریف مایلت - به دست می‌آید.

$$V = (Q_0 \times 86400) / \alpha \quad \text{معادله (۲)}$$

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

پارامترهای به کار رفته در معادله‌های (۲) و (۳) به قرار زیر است:  
 $Q_0$  = دبی اولیه که بر روی منحنی تاريسمان انتخاب می‌گردد.  
 $Q_t$  = دبی ثانویه که در نقطه‌ای به فاصله زمانی t انتخاب می‌گردد.  
 $V$  = حجم ذخیره دینامیکی یک مخزن در فرود یا شکست آبنمود مورد نظر.  
 $t_0$  = مدت زمان تخلیه چشمه با دبی  $Q_0$  (ضریب خشکیدگی).  
 $t$  = مدت زمان بین دبی اولیه و ثانویه ( $Q_0$  و  $Q_t$ ).

به منظور برآورد حجم ذخیره دینامیکی چشمه‌های با ضریب فرود متغیر و براساس معادله (۲) می‌توان به معادله (۴) دست یافت.

$$V = 86400 \cdot (Q_{01} / \alpha_1 + Q_{02} / \alpha_2 + \dots + Q_{0n} / \alpha_n) \quad \text{معادله (۴)}$$

از آنجا که توده پراو - بیستون در زون زاگرس روراندن قرار گرفته، بر اثر کوهزایی آلپی و وجود حرکات تکتونیکی و گسله‌ای بسیار، در آن درز و شکاف‌ها گسترش فراوانی یافته و ساختار آهکی آن باعث تسریع در روند فرایند کارستی شدن<sup>۱</sup> و توسعه بیشتر کارست شده است. در پژوهش حاضر ابتدا با استفاده از مشاهده میدانی در محدوده جغرافیایی مورد نظر، وضعیت زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ و توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ در نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) نقشه زمین‌شناسی محدوده جغرافیایی مورد مطالعه ترسیم گردید.

در مرحله بعد، چشمه‌هایی که از آبخوان این ناحیه تغذیه شده و دارای آبدهی بالا و نشان‌دهنده حالت اوتوزنیک (تغذیه خود بستر) خاصی از لحاظ ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی بودند (Ford & William, 2000, 117)، و همچنین چشمه‌هایی خارج از منطقه (در زاگرس چین‌خورده) مورد شناسایی قرار گرفت. سپس داده‌های مربوط به آبدهی و نتایج شیمیایی آنها (جدول‌های ۱ و ۲) تعیین و استخراج شد و در پایان با ترسیم منحنی تارسمان چشمه‌ها، تعیین حجم ذخیره دینامیکی مخازن، میزان ضریب آلفا و در نهایت بررسی نتایج ایزوتوپی و شیمیایی چشمه‌ها، به تحلیل نتایج به‌دست آمده در مورد میزان توسعه کارستی منطقه پرداخته‌ایم.

جدول ۱. میزان متوسط آبدهی ماهانه در چشمه‌ها (لیتر بر ثانیه)

ماه	سراب بیستون	سراب طاق بستان	سراب برناج	سراب نیلوفر	سراب شیان
مهر	۷۰	۵۵	۸۶	۲۴۸	۱۴۱
آبان	۸۰	۵۲۸	۱۹۳	۲۲۶	۲۱۲
آذر	۱۸۲	۴۳۱	۵۲۳	۲۸۸	۱۷۶
دی	۱۵۳	۴۴۳	۳۰۴	۳۱۵	۱۹۹
بهمن	۳۳۶	۱۲۱۸	۱۲۱۸	۴۵۶	۲۲۲
اسفند	۲۲۳۰	۴۵۱۷	۳۸۵۵	۶۰۸	۳۷۹
فروردین	۱۱۳۶	۷۷۸۲	۵۶۳۶	۷۶۵	۴۲۶
اردیبهشت	۵۱۹	۷۰۲۱	۴۰۶۷	۷۰۴	۳۰۸
خرداد	۳۲۰	۱۹۰۳	۱۳۸۸	۵۸۰	۲۹۲
تیر	۱۶۵	۳۲۳	۲۸۹	۵۲۱	۲۱۳
مرداد	۳۲	۶۴	۱۶۵	۳۷۴	۲۵۴
شهریور	۲۲	۴۴	۱۲۴	۳۶۱	۱۶۰

منبع: سازمان تحقیقات آب و خاک و سازمان آب کرمانشاه

## یافته‌های تحقیق

وجود شرایط خاص در رژیم تخلیه چشمه‌ها که از فاکتورهای مختلفی همچون رژیم بارش، لیتولوژی، طرز قرارگیری لایه‌ها و ضخامت آنها، بافت و تخلخل سنگ‌ها نتیجه می‌شود، هیدروگراف و منحنی فرود چشمه‌ها را متأثر می‌سازد. این تأثیرپذیری موجب نمایش متفاوتی از هیدروگراف چشمه‌های نواحی کارستی در مقایسه با دیگر نواحی می‌شود.

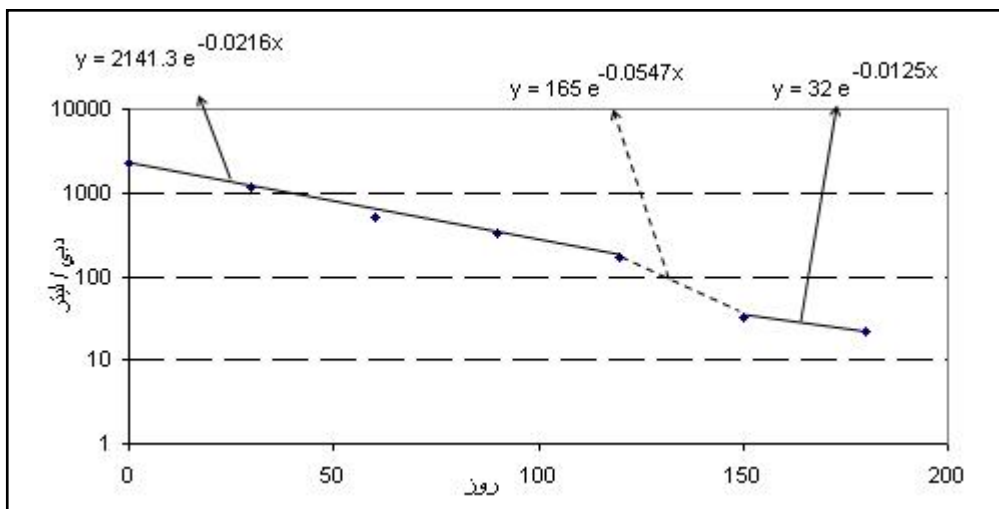
در نواحی غیرکارستی یا کمتر توسعه‌یافته کارستی، به‌طور معمول چشمه‌ها منحنی فرودی با روند خطی یکنواخت را نشان می‌دهند، اما در نواحی با توسعه‌یافتگی بالای کارست، چشمه‌ها دارای سه شکست یا ضریب فرود متفاوت‌اند که در حالت معمول آن میزان  $\alpha_1$  (ضریب فرود اولی) کمتر از  $\alpha_2$  (دومی) و بیشتر از  $\alpha_3$  (سومی) است (آغاسی، ۱۳۷۸، ۳۱۸). میزان ضریب آلفا که بیانگر ضریب تخلیه یا توانایی تخلیه آب زیرزمینی است، خصوصیات هیدرولوژیکی منطقه را که منتج از پارامترهایی همچون تخلخل و ضریب انتقال آبخوان است بیان می‌دارد. در این چارچوب هرچه میزان فاکتور  $\alpha$  بیشتر باشد، نشان‌دهنده شیب بیشتر آب‌نمود، فروکشی جریان و در نتیجه بیانگر سرعت تأثیرپذیری دبی جریان از بارش خواهد بود و میزان تخلخل و کارست‌شدگی حوضه را نشان می‌دهد. حال آنکه در حالت عکس، عدم کارست‌شدگی یا کارست‌شدگی پایین حوضه مشاهده می‌شود. نمودار مربوط به منحنی تاريسمان چشمه‌ها به‌گونه‌ای که محور افقی آن زمان و محور عمودی با مقیاس نیمه‌لگاریتمی دبی آن است، در نرم‌افزار اکسل ترسیم شده است (شکل ۳). داده‌های مورد استفاده مربوط به دبی سال آبی ۱۳۸۴ است.

با توجه به شکل‌های ۱-۳، ۲-۳ و ۳-۳ (منحنی تاريسمان بیستون، برناج و طاق بستان) و براساس جدول استخراجی مربوط به میزان آلفای چشمه‌ها (جدول ۲) از منحنی تاريسمان آنها مشاهده می‌گردد که ضریب فرود (آلفا) با گذشت زمان افزایش یافته است ( $\alpha_2 > \alpha_1$ ). افزایش میزان آلفا ۲ در این چشمه‌ها چنین تحلیل می‌شود که کارستی شدن منطقه و موقعیت قرارگیری غارها و مغاره‌های زیرزمینی نسبت به سطح اساس آب‌ها و خروجی چشمه‌های آن، چنین سامانه‌ای را شکل داده است. بر این اساس، مدلی شماتیک برای منطقه ترسیم گردید که در شکل ۴ آمده است (مدل شماتیک منطقه به تاسی از تقسیمات هیدروگرافیک کارست بوناچی، ۱۹۸۷، ۲۱).

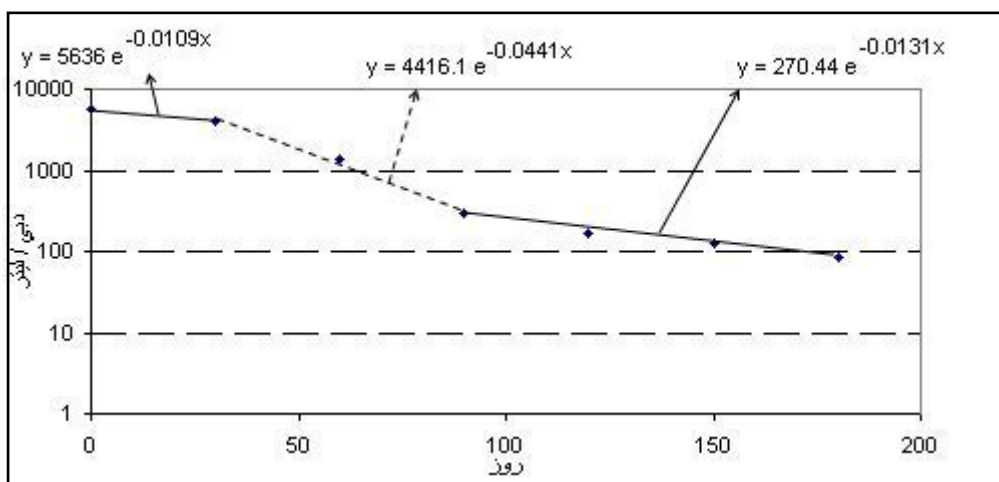
جدول ۲. داده‌های منحنی فرود (تاريسمان) چشمه‌ها

چشمه	$Q_{01}$ lit/s	$Q_{02}$ lit/s	$Q_{03}$ lit/s	$t_1$ (Day)	$t_2$ (Day)	$t_3$ (Day)	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$
بیستون	۲۲۳۰	۱۶۵	۳۲	۱۲۰	۳۰	۳۰	۰/۰۲۱	۰/۰۵۴	۰/۱۲۵
طاق بستان	۷۷۸۲	۷۰۲۱	۳۲۲	۳۰	۹۰	۳۰	۰/۰۰۳	۰/۰۵۲	۰/۰۱۲
برناج	۵۶۳۶	۴۰۶۷	۱۶۵	۳۰	۹۰	۶۰	۰/۰۱۰	۰/۰۳۷	۰/۰۱۰
نیلوفر	۶۰۸	۲۴۸	-	۲۱۰	-	-	۰/۰۰۶	-	-
شیان	۴۲۶	۱۴۱	-	۱۸۰	-	-	۰/۰۰۵	-	-

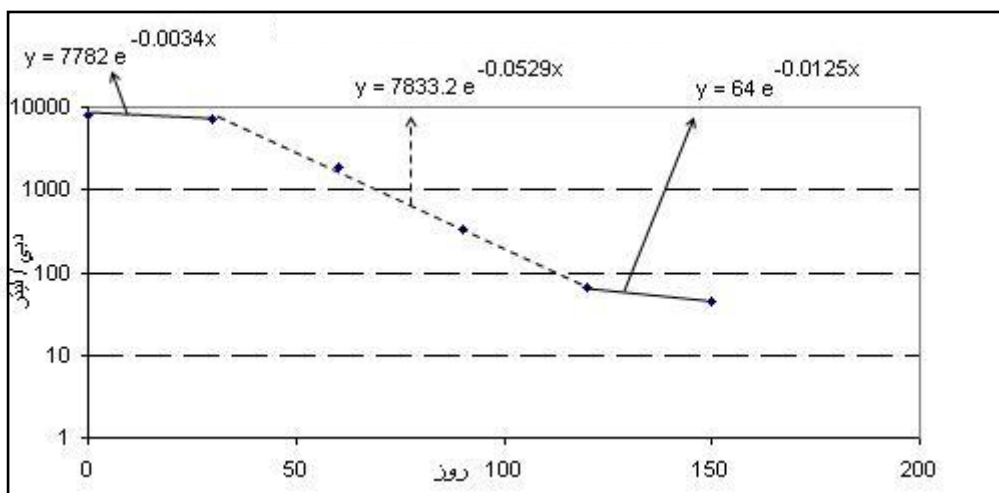




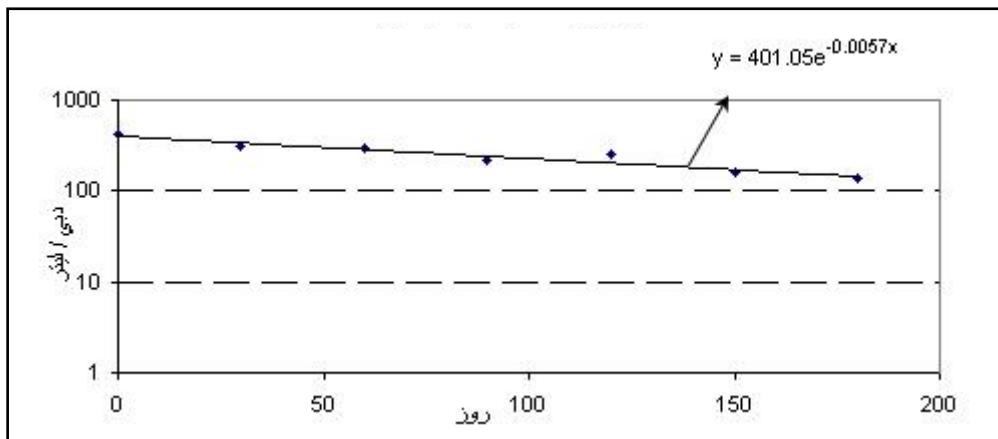
شکل ۳-۱. منحنی تاريسمان سراب بیستون



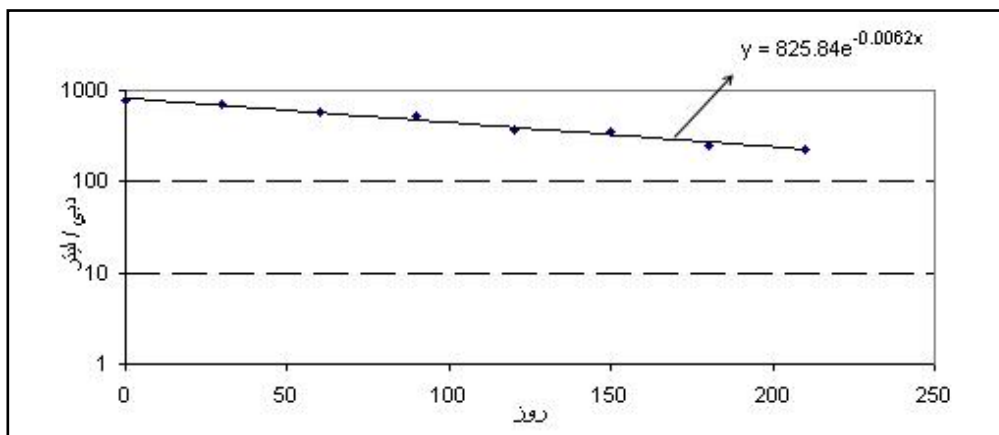
شکل ۳-۲. منحنی تاريسمان سراب برناج



شکل ۳-۳. منحنی تاريسمان سراب طاقبستان



شکل ۳-۴. منحنی تاريسمان سراب شيان

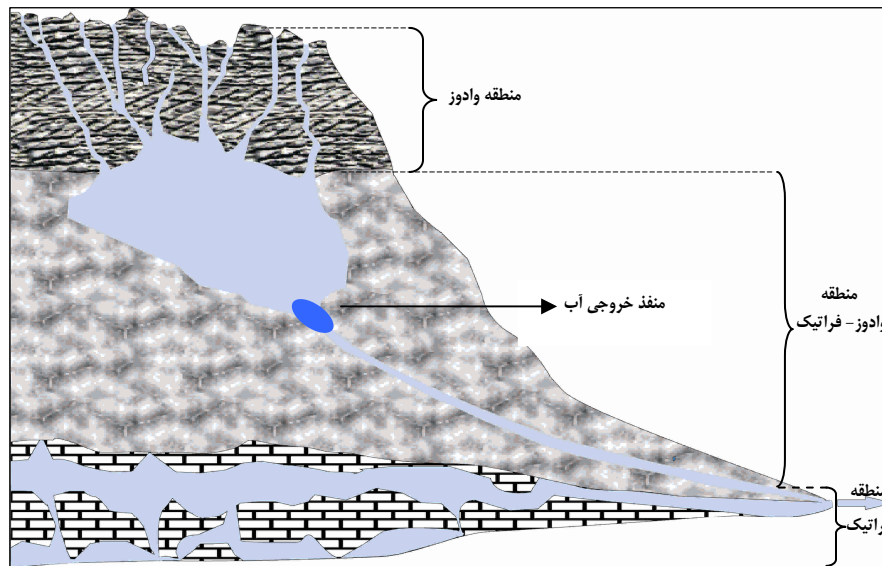


شکل ۳-۵. منحنی تاريسمان سراب نيولوفر

شکل ۳. منحنی تاريسمان چشمه‌های مورد مطالعه

براساس این مدل، نوسانات آب زیرزمینی و شرایط زمین‌شناسی خاص منطقه منجر به ایجاد شرایط مستعد توسعه مغازه‌های زیرزمینی در حد واسط بخش بالایی زون بینابینی ناحیه وادوز - فراتیک<sup>۱</sup> و قسمت وادوز<sup>۲</sup> شده است. این مدل چنین بیان می‌کند که در قسمت‌های زیرسطحی با مورفولوژی کارست برهنه (منطقه مورد مطالعه) شرایط مستعد برای گسترش غارهای زیرزمینی وجود دارد و گسترش این اشکال باعث شده است که به هنگام اوج بارش با نفوذپذیری سریع و ظرفیت تخلیه کمتر آکیفر که منتج از توسعه بیشتر کارست سطحی و زیرسطحی نسبت به عمق است، میزان تغذیه نسبت به تخلیه فزونی یابد و سطح آب زیرزمینی بالا آید، به گونه‌ای که سطح آب بالاتر از این غارها قرار گرفته و غارها از آب اشباع شده‌اند و به صورت یک مخزن فرعی عمل می‌کنند.

1. Vadoz-Pheratic  
2. Vadoz



شکل ۴. طرح شماتیکی از بستر تغذیه چشمه‌های کارستی در توده پراو - بیستون

همان‌طور که از جدول ۳ و منحنی تاريسمان چشمه‌ها پیداست، منحنی فرود چشمه‌های اطراف توده پراو - بیستون ضریب فرودهای مختلفی را نشان می‌دهند که نشانگر توسعه کارست بیشتر در محدوده حوضه آبرگیر این چشمه است. این در حالی است که منحنی فرود چشمه‌های خارج از این محدوده آشکارا فرود و تخلیه‌ای متفاوت از چشمه‌های اطراف توده پراو - بیستون دارند و نشان‌دهنده تغذیه آبخوان منطقه به صورت آرام و پیوسته در طی مدت زمانی طولانی هستند (شکل ۱-۳، ۲-۳ و ۳-۳ نسبت به ۳-۳ و ۴-۳ و ۵-۳). به عبارت دیگر، حوضه آبرگیر این چشمه‌ها از مقایسه با توده پراو - بیستون کارست، توسعه کمتری پیدا کرده است. علاوه بر پارامترهای گفته شده، درجه سختی، هدایت الکتریکی چشمه‌ها و مطالعات ایزوتوپی - شیمیایی به‌عنوان مؤلفه‌هایی برای شناخت میزان توسعه کارست حوضه تغذیه‌کننده چشمه‌ها بررسی شده‌اند (جدول ۳).

جدول ۳. محاسبات مربوط به حجم ذخیره دینامیکی، آلفا و ضریب خشکیدگی

چشمه	$t_0 = \frac{t \times \log e}{\log Q_0 / Q_t}$	$\alpha = \frac{\log Q_0 / Q_t}{0.4343 (t)}$	$V = 86400(Q_{01}/\alpha_1 + Q_{02}/\alpha_2 + \dots + Q_{0n}/\alpha_n)$
سراب بیستون	۸۰	$\alpha = \frac{\log 0.032 / 0.022}{0.4343 * 30} = 0.0124$	$V = 86400(2.230/0.0216 + 0.165/0.054 + 0.032/0.012) = 9184000$
سراب طاق بستان	۷۹	$\alpha = \frac{\log 0.0643 / 0.044}{0.4343 * 30} = 0.0126$	$V = 86400(7.783/0.0034 + 7.021/0.0391 + 0.064/0.126) = 213707644.9$
سراب برناج	۸۲	$\alpha = \frac{\log 0.124 / 0.086}{0.4343 * 30} = 0.0108$	$V = 86400(5.636/0.0108 + 4.067/0.0356 + 0.165/0.0108) = 55965486$
سراب نیلوفر	۳۲۳	$\alpha = \frac{\log 0.248 / 0.226}{0.4343 * 30} = 0.00309$	$V = 86400(0.765/0.00058) = 11395862.1$
سراب شیان	۲۳۷	$\alpha = \frac{\log 0.160 / 0.141}{0.4343 * 30} = 0.00421$	$V = 86400(0.426/0.0061) = 5992004.4$

در تفسیر ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی حوضه تغذیه یک چشمه، مهم‌ترین نکته توجه به ضریب آلفا در فرود انتهایی چشمه است، چرا که میزان آلفای پایانی مؤید خصوصیات عمیق‌ترین قسمت آبخوان است که چشمه از آن تغذیه می‌شود. بیشترین میزان آلفا در فرود انتهایی منحنی تاريسمان چشمه‌های مورد مطالعه، به ترتیب متعلق به طاق بستان، بیستون، برناج، سراب شیان و سراب نیلوفر است که نشان از وجود جریان‌ات سریع آب زیرزمینی و کارستی شدن بالا در حوضه تغذیه آبخوان طاق بستان و دیگر چشمه‌های اطراف توده پرآو - بیستون در مقایسه با سراب‌های نیلوفر و شیان در واحد کناری (زاگرس چین خورده) دارد.

جریان‌های آب از سامانه کارستی به سطح پیزومتريک آب وابسته است، بنابراین ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی ممکن است به سرعت تغییر کند. تغییر در خصوصیات شیمیایی و فیزیکی آب به جریان ورودی آب از اپی کارست<sup>۱</sup> و مجراهای بخش وادوز بستگی دارد (Komac, 2001, 27). در مناطقی که نفوذ و همچنین جریان آب در سفره به صورت کانالیزه و مجرای رخ می‌دهد، سطح تماس آب با لایه‌ها و سازندهای تشکیل دهنده کمتر از نواحی با نفوذپذیری کمتر و رژیم جریان انتشاری<sup>۲</sup> است، در نتیجه میزان املاح موجود کمتر خواهد بود و هدایت الکتریکی پایین‌تری را نشان می‌دهد. مقادیر ایزوتوپی و یونی چشمه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که سامانه جریان در چشمه‌های طاق بستان، بیستون و برناج به شکل کانالیزه و مجرای است و بستر تغذیه در این ناحیه کارست‌شدگی بیشتری دارد (جدول ۴).

جدول ۴. نتایج مطالعات ایزوتوپی و شیمیایی چشمه‌ها

رديف	چشمه	مقدار کربن ۱۴ (dpm/g.c) <sup>۳</sup>	مقدار تريتوم (tu) <sup>۴</sup>	فشار گاز کربنیک در ده لیتر حجم	درجه سختی (میلی گرم در لیتر)	هدایت الکتریکی (میکروموس بر سانتی متر)
۱	سراب بیستون	۸۶/۶۵±۱/۳۶	۴۸/۶۹±۲/۹۱	۱۱۹	۲۳۰	۲۸۰
۲	سراب طاق بستان	-	۵۶/۸۹±۲/۶۲	۱۹۶	۱۹۲	۳۰۰
۳	سراب برناج	۹۱/۲۲±۱/۲۰	۵۴±۲/۲۹	۲۴۲	۲۳۶	۳۷۰
۴	سراب نیلوفر	۵۱/۳۶±۰/۸۹	۳۸/۲۲±۲/۰۱	۲۹۸	۲۷۷	۴۳۴
۵	سراب شیان	۴۹/۳۵±۰/۴۶	۴/۵۶	۲۲۰	۴۰۱	۶۳۹

منبع: سازمان تحقیقات آب و خاک سازمان آب کرمانشاه

### نتیجه گیری

آبخوان‌های کارستی به شدت ناهمگن‌اند و وضعیت هیدروژئولوژیکی آبخوان، کنترل‌کننده کمیت و کیفیت شیمیایی آب است. نتایج مطالعات صورت گرفته بر روی چشمه‌های تخلیه‌کننده توده پرآو - بیستون و منطقه مجاور با آن واقع در زون

1. Epikarst
2. Diffuse
3. disintegrations per minute (dpm) per gram of C
4. tritium units

زاگرس چین‌خورده و تحلیل آنها، حاکی از توسعه بیشتر کارست در منطقه پرآو - بیستون است، که در ادامه به بیان نتایج آن پرداخته می‌شود.

- براساس مدل شماتیک ترسیمی و منحنی تاریخ‌مان و ضریب آلفای چشمه‌ها چنین استنباط می‌شود که چشمه‌های اطراف توده پرآو - بیستون از یک بستر تکامل‌یافته کارستی تغذیه می‌شوند. این در حالی است که منحنی تاریخ‌مان سراب شیان و نیلوفر دارای منحنی فرود با روند تقریباً یکنواخت نزولی است که توسعه کمتر کارست را در حوضه آبرگیر آنها نشان می‌دهد.
- میزان ضریب خشکیدگی چشمه‌ها (زمان مرگ یا میرایی چشمه‌ها) در اطراف توده پرآو - بیستون تعداد روزهای کمتری در مقایسه با دیگر چشمه‌ها دارد، که بیانگر سرعت تخلیه بالا در مدت زمان کمتری است. به عبارت دیگر، توسعه کارست در ناهمواری پرآو - بیستون نسبت به نواحی مجاورش در زون زاگرس چین‌خورده، بیشتر است.
- رسم منحنی تاریخ‌مان و بررسی تغییرات سالانه در رژیم چشمه‌ها بیانگر تغییرات شدیدی در رژیم چشمه‌های اطراف توده پرآو - بیستون است، که تأثیرپذیری سریع‌تر و بیشتر این چشمه‌ها را از بارش و وجود مجاری کارستی با ابعاد مختلف نشان می‌دهد.
- محاسبه و رسم هیدروگراف چشمه‌های حاشیه توده پرآو - بیستون و مقایسه آنها با هیدروگراف چشمه‌های واقع در زاگرس چین‌خورده نشان می‌دهد که این توده کوهستانی در مرحله پیشرفته‌تری از تحولات کارستی قرار دارد. به عنوان مثال، دبی سالیانه سراب طاق بستان با متوسط  $2027/4$  لیتر بر ثانیه بیشتر از متوسط سراب شیان با آبدهی  $248/5$  لیتر بر ثانیه بوده است، حال آنکه حجم ذخیره دینامیکی سراب شیان ( $5992004$  مترمکعب) مقدار بیشتری را در مقایسه با سراب طاق بستان ( $213707644$  مترمکعب) نشان می‌دهد. در مقام مقایسه بین دیگر چشمه‌ها نیز می‌توان چنین استنباط کرد که اگر هم‌زمان بارش در هر دو منطقه (توده پرآو - بیستون و منطقه مجاور با آن واقع در زاگرس چین‌خورده) قطع گردد و چشمه‌ها تغذیه نگردند، چشمه‌های طاق بستان، بیستون و برناج که در اطراف توده پرآو - بیستون واقع شده‌اند، سریع‌تر می‌خشکند، که حکایت از توسعه بیشتر کارستی منطقه دارد.
- هرچا مقادیر کربن  $14$  و گاز کربنیک چشمه‌ها بیشتر باشد (مقدار آنها به میزان آب بارندگی نزدیک‌تر باشد) نشان از آن دارد که تغذیه چشمه‌ها سریع‌تر صورت می‌گیرد و منطقه از لحاظ کارستی دارای توسعه‌یافتگی بیشتری است. در پژوهش حاضر، چشمه‌های اطراف کوه‌های پرآو - بیستون مقادیر بیشتری از کربن  $14$  و تریتیوم را در مقایسه با سراب نیلوفر و سراب شیان نشان می‌دهند و این بیانگر کارستی بودن منطقه است. این نتایج از یک طرف بیانگر توسعه کارستی منطقه و تغذیه سریع‌تر چشمه‌های آن است و از طرفی دیگر نشان از تغذیه دو چشمه نیلوفر و سراب شیان (در خارج از منطقه مورد نظر) طی مسافتی طولانی و در منطقه‌ای دوردست دارد. چنین به نظر می‌رسد که مقادیر بیشتر گاز کربنیک در سراب‌های شیان و نیلوفر با پوشش جنگلی حاکم بر منطقه و فعالیت بیولوژیکی بیشتر در این نواحی مرتبط است.

- نتایج مربوط به تریتیوم چشمه‌ها مقادیر بالایی از این ماده را در چشمه‌های منطقه مورد مطالعه (توده پرآو - بیستون) نشان می‌دهند و به مقدار تریتیوم آب‌های سطحی و باران نزدیک‌اند. این مقادیر نشان از آن دارند که این چشمه‌ها از آب برف و باران نفوذی و از طریق سامانه درز و شکاف‌ها به‌طور گسترده و سریعی تغذیه می‌گردند، درحالی‌که میزان تریتیوم چشمه‌های نیلوفر و سراب شیان حاکی از عبور آب از مسیرهای کوچک و ریز طی زمان طولانی است.
- ضریب آلفا نیز تأییدی بر تحول بیشتر کارستی در توده پرآو - بیستون است، چرا که میزان آلفا برای چشمه‌های طاق بستان، بیستون و برناج مقادیری بیش از آلفای چشمه‌های سراب نیلوفر و شیان به‌دست می‌دهد.
- آنالیز شیمیایی چشمه‌ها در طی دوره پرآبی، میزان کمی از منیزیم را در چشمه‌های اطراف توده پرآو - بیستون در مقایسه با دیگر چشمه‌ها نشان می‌دهد و بیانگر این موضوع است که چشمه‌های نام‌برده آب را از طریق مجراهایی که از سنگ‌های آهکی می‌گذرند، جمع‌آوری می‌کنند و زمان تماس کافی برای انحلال املاح در آب چشمه‌ها وجود ندارد.

## منابع

- Alberto, L. et al., 2005, **Isotope Measurements and Ground Water Flow Modeling Using MODFLOW for Understanding Environmental Changes Caused by a Well Field in Semiarid Brazil.**
- Arikan, A., 1988, **A Deterministic Rainfall-Runoff Model for Large Karstic Areas,** Hydrological Sciences, 33, 401-411.
- Atkinson, T.C., 1977, **Diffuse Flow and Conduit Flow in Limestone Terrain in Mendip Hills,** Somerset (Great Britain), J. Hydrol, 35, 93-100.
- B White, W., 2002, **Karst Hydrology : Recent Developments and Open Questions.**
- Bonacci, O., 1981, **Karst Hydrology,** 21.
- Guany, G., 2006, **Hydrology and Hydrogeology of Sakaryabasi Karstic Springs,** Cifteler, Turkey, Environ Geo I, 51, 229-240.
- Karimi H. et al., 2005, **Characterising the Main Karst Aquifers of the Alvand 12- Basin, Northwest of Zagros, Iran, by a Hydrogeochemical Approach,** Hydrogeology Journal, 13, 787-799.
- 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>.
- Korkmaz, N., 1990, **The Estimation of Groundwater Recharge from Spring Hydrographs,** Hydrological Sciences, 35, 209-217
- Mahmoudi, F., Maleki, A., 2001, **Karst Evolution and its Roles in Water Recourses at Biston Massive,** Geographical Research Quarterly, No 40, 93-105.

- Manavi Namaghai, D., 1997, **Dinevar Basin Geomorphology with Emphasize of Karst and its Effect on Water and Ground Water Resources**, MA. Thesis, Farajolah Mahmoudi, University of Tehran.
- Matice, H., Bb, 1993, **Karst Spring Hydrographs as Indicators of Karst Aquifers**, Hydrological Sciences, 38, 51-62.
- Milanovich, P., 1998, **Karst Hydrology**, Translation by Abdolvahid Aghasi, Water Engineering Standard Project Publication.
- Motyka, J., 1998, **Aconceptual Model of Hydraulic Networks in Carbonate Rocks, Illustrated by Examples from Poland**, Hydrogeology Journal, 6, 469-482.
- Mudry, J., 1997, **Role of Karstification and Rainfall in the Behavior of a Heterogeneous Karst System**, Environmental Geology, 114-123.
- Murat Ozler, H., 2001, **Karst Hydrogeology of Kusluk-Dilmetas KarstSpring Van Eastern Turkey**, Environment Geology, 41, 257-268.
- Pakzad, M., Afrasiabian, A., 2002, **Useage of Isotope Detection Technique in Karst Study**, Karst Conference, 459-498.
- Raeisi, E., 2002, **Carbonate Karst Caves in Iran**, Evolution of karst: from prekarst to Cessation, 339-344, Ljubljana-Postojna.
- Raeisi, E., and Karami, Gh., 1997, **Hydrochemographs of Berghan Karst Springs as Indicators of Aquifers Characteristics**, Journal of Cave and Karst Studies 59(3): 112-118.
- Shevenell, L., 1995, **Analysis of Well Hydrographs in a Karst Aquifer: Estimates of Specific Yields and Continuum Transmissivities**, 331-355.