

جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۷، تابستان ۱۳۹۲

وصول مقاله: ۱۳۹۱/۶/۱۸

تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۲/۲۷

صفحات: ۸۴ - ۷۱

## بررسی نقش ژئومورفولوژی در ویژگی‌های هیدرولوژیکی و شیمیایی چشمه‌های حوضه آبخیز کنگیر

دکتر شهرام بهرامی<sup>۱</sup>، دکتر محمد علی زنگنه اسدی<sup>۲</sup>، حمزه رهبر<sup>۳</sup>

### چکیده

حوضه آبخیز کنگیر در استان ایلام، با مساحت ۴۵۸ کیلومتر مربع، بخشی از زون ساختمانی زاگرس چین خورده محسوب می‌شود. هدف این تحقیق بررسی ویژگی‌های هیدرولوژیکی و شیمیایی چشمه‌ها و ارتباط آنها با اشکال ژئومورفولوژی حوضه می‌باشد. جهت دستیابی به این هدف، لندفرم‌های کارستیکی، سیستم درز و شکاف‌های منطقه، شاخص‌های تقارن چین (FSI) و سینوسیته جبهه چین (FFS)، هیدروگراف چشمه‌ها و مشخصات شیمیایی آنها به صورت کمی اندازه‌گیری شد. بررسی دو شاخص FSI و FFS نشان دهنده جوان بودن سیستم چین خوردگی منطقه مطالعاتی است. نتیجه داده‌ها نشان می‌دهد که جهت غالب درز شکاف‌ها، موازی با محور طاق‌دیس یا عمود بر شیب توپوگرافی است. بررسی هیدروگراف چشمه‌های حوضه نشان می‌دهد که مقدار پارامتر آلفا در چشمه‌های سراب، فرزگه، ونیت، دبیران، هلسی و ماژین به ترتیب ۰،۰۰۵۸، ۰،۰۰۷۴، ۰،۰۰۹۸، ۰،۰۰۵۵، ۰،۰۰۷۸ و ۰،۰۰۴۷ می‌باشد. نتایج داده‌ها بیانگر مقادیر بالای حجم ذخیره دینامیکی، هدایت الکتریکی، درجه سختی و املاح موجود در چشمه‌ها است که این امر نشان‌دهنده توسعه کم‌فرایند کارست‌شدگی و سطح تماس بیشتر آب با سنگ بستر است. به طور کلی وضعیت جوان بودن سیستم کارست‌شدگی منطقه و همچنین جهت درز و شکاف‌های آهکی حوضه مورد مطالعه، باعث شده است که مدت زمان آبدهی چشمه‌ها، بسیار طولانی باشد. کلید واژگان: کنگیر، کارست‌شدگی، زاگرس چین خورده، درز و شکاف، ضریب فرود، حجم ذخیره دینامیکی.

bahrami.gh@gmail.com

asadi@sttu.ac.ir

hrahbar415@gmail.com

۱- استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت معلم سبزوار (نویسنده مسئول)

۲- استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت معلم سبزوار

۳- کارشناس ارشد ژئومورفولوژی - دبیر جغرافیا آموزش و پرورش استان ایلام

## مقدمه

اشکال و فرایندهای ژئومورفولوژی از مهمترین عوامل تأثیرگذار در شکل‌گیری و حجم منابع آب زیرزمینی محسوب می‌شوند. از میان اشکال و فرایندهای ژئومورفولوژی، لندفرم‌های کارستیک و همچنین عوامل تکتونیکی هر منطقه نقش مهمی در نفوذپذیری و تغذیه آب‌های زیرزمینی ایفا می‌کنند (کریشنامورثی<sup>۱</sup> و سرینیواس<sup>۲</sup>، ۱۹۹۵: ۲۵۹۵). سیستم‌های چین خوردگی بر الگوی درز و شکاف‌ها، گسل‌ها و خطواره‌ها و جهت‌گیری لایه‌ها تأثیر داشته است (فنارت<sup>۳</sup> و همکاران، ۱۹۹۹: ۱۹۶؛ هاوسلمن<sup>۴</sup> و همکاران، ۱۹۹۹: ۳۷۷). بنابراین، این عوامل بر کاهش سرعت رواناب سطحی، نفوذ بیشتر آب سطحی و تغذیه آب‌های زیرزمینی نقش اساسی دارند. در زمینه رابطه بین ساختارهای تکتونیکی و عوامل ژئومورفولوژیکی با آب‌های زیرزمینی مطالعاتی انجام شده است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

مطالعات سوتون<sup>۵</sup> (۱۹۸۷) نشان داد که تغییر مسیر مجاری آب‌های سطحی نقش مهمی در حجم منابع آب زیرزمینی شمال عمان ایفا می‌کند. بررسی او مشخص نمود که به علت اسارت و تغییر مسیر رودخانه‌ها، حجم منابع آب زیرزمینی کنونی با مساحت حوضه زهکشی انطباق ندارد. چوپرا<sup>۶</sup> و شارما (۱۹۹۳) نقش لندفرم‌های مختلف ژئومورفولوژی را در پتانسیل آب‌های زیرزمینی در هند مورد بررسی قرار دادند. بررسی آنها نشان داد که لندفرم‌هایی مانند مجاری رودخانه‌ای قدیمی، مئاندرهای رودخانه‌ای و دشت‌های سیلابی، دارای آبخوان‌های خوب و با کیفیت بالا می‌باشند. کریشنامورثی و سرینیواس (۱۹۹۵) نقش عوامل زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی را در جستجوی

آب زیرزمینی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS در جنوب غرب هند مورد ارزیابی قرار دادند. نتیجه تحقیق آنها نشان داد که آبرفت‌های داخل دره‌ها، خطواره‌ها و دشتگون‌ها (پدی پلین‌ها) از مناطق مناسب جهت برداشت آب زیرزمینی در سه حوضه از سرشاخه‌های رود کارناتاکا<sup>۷</sup> می‌باشد. لوپز-چیکانو<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۰۱) نقش ساختارهای زمین‌شناسی، درجه کارست شدگی، ضخامت آبخوان و مساحت حوضه بالادست تغذیه کننده را در ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی ۶ چشمه در توده کارستیکی کابرا<sup>۹</sup> در جنوب اسپانیا بررسی کردند. بنز<sup>۱۰</sup> و وان بالن (۲۰۰۴) نقش گسل‌ها را در حرکت آب‌های زیرزمینی در فرورفتگی راین در لهستان بررسی کردند. مطالعه آنها نشان داد که ویژگی‌های ساختمانی مناطق گسلی نقش مهمی در الگوی جریان آب زیرزمینی ایفا می‌کنند. اوزلر (۲۰۱۰) رابطه ترکیبات شیمیایی مانند کلسیم، منیزم، هدایت الکتریکی، درجه سختی، اسیدیته، بی کربنات، سولفات و پتاسیم را در چشمه‌های حوضه‌های گواس<sup>۱۱</sup>، گورپینار<sup>۱۲</sup> و گوزلسو<sup>۱۳</sup> در ترکیه با انحلال کربنات‌ها مورد ارزیابی قرار داد.

تحقیقات محدودی نیز به بررسی منابع آب زیرزمینی در زاگرس پرداخته‌اند. تحقیقات انجام شده، کمتر به بررسی نقش عوامل ژئومورفولوژیکی در آب‌های زیرزمینی توجه کرده‌اند:

کاظمی و همکاران (۱۳۸۵) نقش عوامل ساختمانی در کارست شدگی و تشکیل منابع آب زیرزمینی در منطقه کارستی لار را بررسی نمودند. مطالعات آنها با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات

7 - Karnataka

8 - Lopez- Chicano

9 - Cabra

10 - Bense and Van Balen

11 - Gevas

12 - Gurpınar

13 - Guzelsu

1 - Krishnamurthy

2 - Srinivas

3 - Fenart

4 - Hauselmann

5 - Sutton

6 - Chopra and Sharma

آمدگی می‌توان به وقوع زلزله‌ها، کوتاه شدگی طاق‌دیس‌ها، مئاندرهای رودخانه‌ای و شواهد ژئومورفولوژیک اشاره کرد (ویتافینزی<sup>۲</sup>، ۱۹۷۸، ۱۹۷۹؛ ابرلندر<sup>۳</sup>، ۱۹۸۵؛ بربریان<sup>۴</sup>، ۱۹۹۵؛ رنگزن و اقبال‌الدین<sup>۵</sup>، ۱۹۹۵؛ تاتار و همکاران، ۲۰۰۲؛ حسامی همکاران، ۲۰۰۶؛ رامسی<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۸؛ ۲۰۰۸؛ پیراسته و همکاران، ۲۰۱۱).

منطقه مورد مطالعه به عنوان یک منطقه غنی از نظر آب‌های زیرزمینی، نقش مهمی در تغذیه آب‌های کشاورزی و آب شرب شهرستان ایوان غرب ایفا می‌کند. هدف این تحقیق شناخت اشکال و لندفرم‌های کارستیکی، سیستم چین خوردگی، جهت درز و شکاف‌ها از یک طرف، و از طرف دیگر محاسبه ضریب فرود ( $\alpha$ )، حجم ذخیره دینامیکی و ارزیابی مشخصات شیمیایی چشمه‌ها برای شناخت رابطه بین عوامل ژئومورفولوژی و آب‌های زیرزمینی حوضه کنگیر است.

#### منطقه مورد مطالعه

حوضه مورد مطالعه بخشی از حوضه آبریز رودخانه کنگیر در شهرستان ایوان غرب در استان ایلام است (شکل ۱). حوضه مطالعاتی از نظر زمین شناسی بخشی از زون ساختمانی زاگرس چین خورده محسوب می‌شود و روند چین‌های این محدوده، مانند زاگرس، شمال غرب - جنوب شرق است. طاق‌دیس بانکول در شمال شرق و طاق‌دیس شره زول در جنوب غرب حوضه واقع شده‌اند که از سازند آهک آسماری تشکیل شده‌اند (شکل ۲).

جغرافیایی نشان داد که شیب توپوگرافی، خطواره‌ها، سنگ شناسی، سطوح ناپیوستگی و مناطق خرد شدگی سنگی دارای ارتباط زیادی با آب‌های زیرزمینی هستند. فرهودی و پولی<sup>۱</sup> (۱۹۹۲) نقش عوامل مورفوتکتونیک را در آب‌های زیرزمینی در جنوب ایران بررسی کردند. شجری و رئیسی (۲۰۰۶) به بررسی نقش ساختمان ۷۲ طاق‌دیس در حرکت آب‌های زیرزمینی در زاگرس پرداختند. مطالعات آنها نشان داد که جهت لایه‌ها، گسل‌ها و اجزای طاق‌دیس‌ها نقش کنترل کننده ای در جریان آب‌های زیرزمینی ایفا می‌کنند. کریمی و همکاران (۲۰۰۵) ویژگی‌های آبخوان حوضه کارستیکی الوند در استان کرمانشاه را از نظر هیدروژئولوژیکی بررسی کردند. مقصودی و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از ضریب آلفا، حجم ذخیره دینامیکی و ضریب خشکیدگی و بعضی از ویژگی‌های شیمیایی چشمه‌های توده آهکی پراو-بیستون، میزان توسعه مجاری کارستیکی را ارزیابی کردند. آنها با محاسبه و رسم هیدروگراف چشمه‌های حاشیه توده پراو-بیستون و مقایسه آنها با هیدروگراف چشمه‌های حاشیه زاگرس چین خورده به این نتیجه رسیدند که توده آهکی پراو دارای کارست تکامل یافته‌تری است. بهرامی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای کوچک برد و مطالعات میدانی، نقش لندفرم‌های کارستیکی، شکستگی‌های تکتونیک و سیستم چین خوردگی را در تغذیه آب زیرزمینی دشت قلعه شاهین ارزیابی کردند. بررسی آنها نشان داد که اشکال کارستیک مانند دولین‌ها، لایه‌ها و پولیه‌ها و همچنین جهت‌گیری لایه‌ها و فرود محوری طاق‌دیس نوآکوه به سمت قلعه شاهین مهمترین عوامل غنای آب زیرزمینی منطقه مذکور است.

مطالعات مختلف نشان می‌دهد که واحد زاگرس چین خورده از نظر تکتونیک، فعال و در اثر فشارهای ساختمانی در حال بالا آمدن است. از شواهد این بالا

<sup>2</sup> - Vita-Finzi

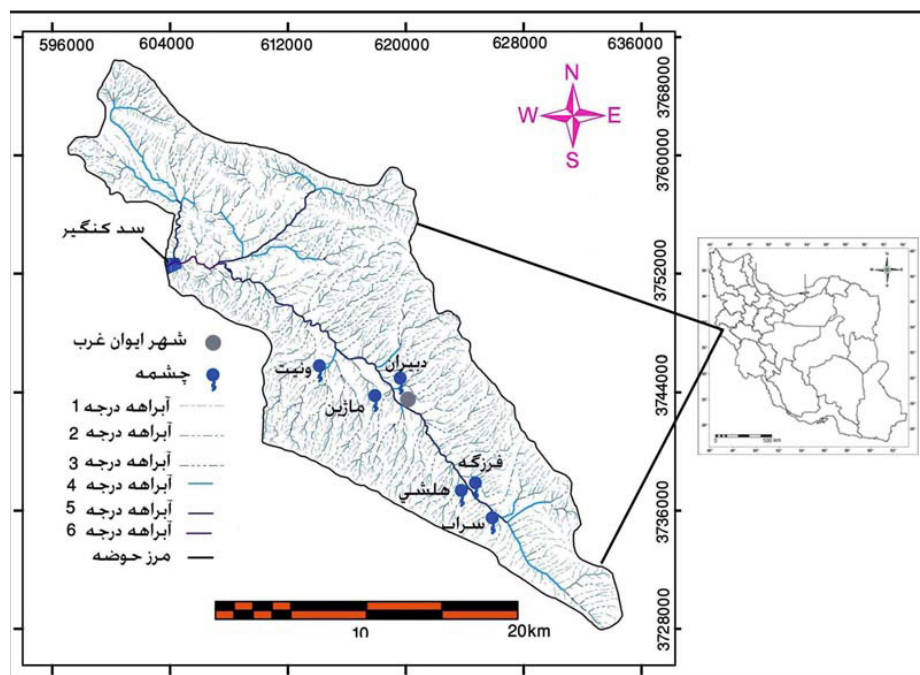
<sup>3</sup> - Oberlander

<sup>4</sup> - Berberian

<sup>5</sup> - Iqbaludin

<sup>6</sup> - Ramsy

<sup>1</sup> - Poli



شکل ۱: موقعیت، شبکه زهکشی و محل چشمه‌های منطقه مورد مطالعه (منبع: نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ ایوان غرب)

می‌نمایند. در مکانیسم سطح - خنثی، گسل‌های کششی در رأس طاق‌دیس، موازی با محور طاق‌دیس و عمود بر شیب توپوگرافی توسعه می‌یابند. بررسی طاق‌دیس‌های بانکول در شمال شرق و طاق‌دیس شره زول در جنوب غرب حوضه نشان می‌دهد که هر دو مکانیسم چین خوردگی در حوضه کنگیر نقش داشته اند. میانگین سالانه بارندگی حوضه بر اساس ایستگاه باران سنجی ایوان (دوره آماری، ۱۳۶۰ تا ۱۳۷۷) ۵۲۲ میلی‌متر می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

هدف این تحقیق بررسی خصوصیات هیدرولوژیکی و شیمیایی چشمه‌ها و ارتباط آنها با ژئومورفولوژی حوضه کنگیر است. برای دستیابی به هدف فوق، ابتدا چشمه‌های حوضه مورد مطالعه شناسایی شدند و داده‌های هیدرولوژیکی و شیمیایی چشمه‌ها تهیه گردید. برای تعیین خصوصیات شیمیایی چشمه‌ها، ۱۵ نمونه

مساحت و محیط حوضه به ترتیب ۴۵۸ کیلومتر مربع و ۱۳۱ کیلومتر هستند. بلندترین قله حوضه، مانشت با ارتفاع بالغ بر ۲۶۵۰ متر در جنوب شرقی حوضه و پایین‌ترین نقطه آن در بخش غربی در محل خروجی حوضه با ارتفاع حدود ۱۰۰۰ متر می‌باشد. میانگین وزنی ارتفاع حوضه با استفاده از نقشه‌های هیپسومتری حدود ۱۳۹۶/۸۶ متر است. شیب حوضه از ۰ تا ۷۰ درصد متغیر است که با استفاده از نقشه شیب حوضه، متوسط شیب در این حوضه حدود ۱۴.۱۶ درصد محاسبه گردیده است.

مطالعات محققان از جمله کولمن - سد<sup>۱</sup> (۱۱) نشان می‌دهد که سیستم چین خوردگی زاگرس چین خورده تحت تأثیر دو مکانیسم لغزش - خمش<sup>۲</sup> و سطح - خنثی<sup>۳</sup> قرار دارد. در مکانیسم لغزش - خمش، گسل‌های معکوس پهلوی طاق‌دیس را قطع

<sup>۱</sup> - Colman-Sadd

<sup>۲</sup> - Flexural - Slip Folding

<sup>۳</sup> - Neutral - Surface

(لیتر در ثانیه) در محور  $Y$  (به صورت لگاریتمی) ترسیم شود و معادله خطی توانی آنها رسم شود، توان  $e$  همان ضریب  $\alpha$  می‌باشد.

از دیگر پارامترهایی که می‌توان بر اساس آن میزان توسعه مجاری آهکی یا درجه کارست شدگی را تعیین کرد، حجم ذخیره دینامیکی آبخوان است. پارامتر مذکور از طریق رابطه ۲ به دست می‌آید (رئسی، ۲۰۰۸: ۶۳ و باکالویکز<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۸:

$$V = c \frac{Q0}{\alpha} \quad (\text{رابطه ۲}) \quad (۵۹۹)$$

که در آن  $V$ ، حجم ذخیره دینامیکی (متر مکعب)،  $\alpha$ ، ضریب فرود،  $Q0$ ، میزان دبی در آغاز دوره اندازه-گیری (متر مکعب در ثانیه) و  $c$ ، عدد ثابت ۸۶۴۰۰ می‌باشند.

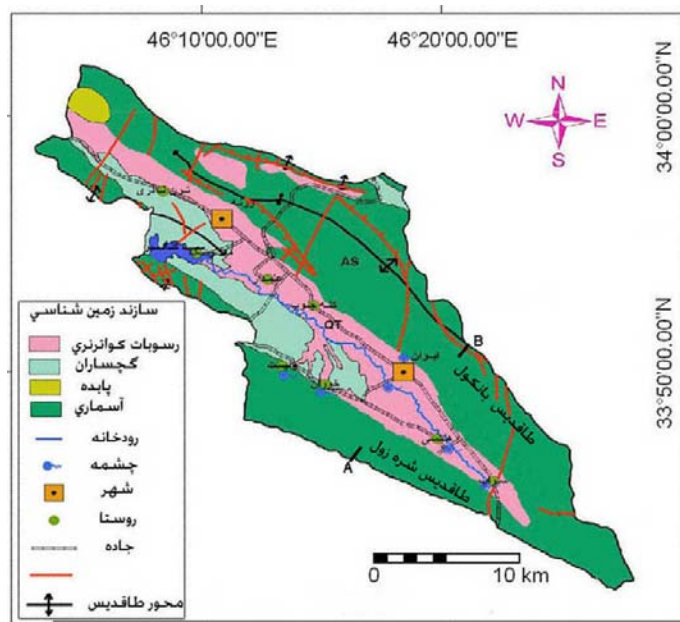
برای بررسی نقش ژئومورفولوژی حوضه در ویژگی هیدرولوژیکی چشمه‌ها، اشکال و لندفرم‌های منطقه بر اساس تصاویر ماهواره‌ای کویک برد و همچنین مطالعات میدانی شناسایی گردید. داده‌های توپوگرافی از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ به دست آمد. اطلاعات زمین شناسی و ساختمانی منطقه از نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ منطقه استخراج شد. برای بررسی نقش جهت درز و شکاف‌ها در هیدرولوژی چشمه‌ها، امتداد جغرافیایی ۲۲۷ درزه به کمک تصاویر ماهواره‌ای کویک برد و همچنین مشاهدات میدانی، تعیین و جهت آنها با استفاده از رز دیاگرام ترسیم گردید. در نهایت وضعیت هیدرولوژیکی و شیمیایی چشمه‌ها و ارتباط آنها با ژئومورفولوژی حوضه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

۲۰۰ گرمی به روش نمونه برداری لحظه‌ای از هر چشمه برداشته شد. ۱۵ نمونه برداشت شده، طی مدت ۱۵ ماه (از ۱۳۸۰/۵ تا ۱۳۸۱/۱۱) به دست آمد. جهت برداشت نمونه‌ها از ظروف شیشه‌ای قابل استرل کردن استفاده شد. برداشت آب از عمق ۲ سانتیمتری سطح آب انجام گردید. برای هر نمونه مجموع کاتیون-ها (کلسیم، منیزیم و سدیم)، مجموع آنیون‌ها (بی کربنات، کلر و سولفات)، هدایت الکتریکی و درجه سختی کل تعیین گردید. جهت تعیین درجه سختی از روش حجم سنجی از طریق تیتراسیون با محلول EDTA استفاده شد. تعیین کلسیم به روش حجم سنجی با استفاده از EDTA (به روش کمپلکس سنجی)، تعیین سدیم به روش نورسنجی تشتی، تعیین منیزیم از اختلاف بین سختی کل و سختی کلسیم بر حسب  $CaCO_3$  به دست آمد. جهت تعیین کلر از روش مور، جهت تعیین سولفات از روش کروماتوگرافی (برای غلظت‌های بالای یک دهم میلی گرم بر لیتر) و روش وزنی (برای غلظت‌های بیشتر از ۱۰ میلی گرم در لیتر)، استفاده شد.

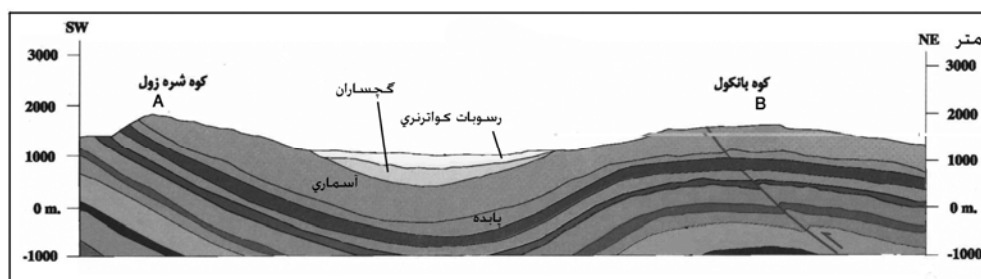
به منظور شناخت دقیق و تحلیل کمی هیدرولوژی چشمه‌ها و ارتباط آنها با ژئومورفولوژی و تکتونیک حوضه، ضریب فرود ( $\alpha$ ) و حجم ذخیره دینامیکی برای ۶ چشمه، بر اساس ترسیم منحنی تارسمان به دست آمد. ضریب فرود ( $\alpha$ ) از طریق تانژانت زاویه بین خط آبنمود و محور افقی بیان می‌شود (فورد و ویلیام<sup>۱</sup>، ۲۰۰۷: ۱۷۶):

$$\alpha = \frac{\text{Log}Q1 - \text{Log}Q2}{0.4343(t_2 - t_1)} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن  $Q1$  و  $Q2$  به ترتیب میزان تخلیه (دبی، لیتر در ثانیه) در آغاز دوره اندازه‌گیری و در انتهای دوره اندازه‌گیری و  $t1$  و  $t2$  به ترتیب زمان (روز) شروع و انتهای دوره اندازه‌گیری است. ضریب  $\alpha$  همچنین از طریق ترسیم نمودار خطی توانی نیز به دست می‌آید به طوری که اگر روز در محور  $X$ ، و دبی چشمه‌ها



شکل ۲: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (منبع: نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰/۱/۱ یلام)



شکل ۳: مقطع زمین شناسی A-B در شکل ۲ (منبع: نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰/۱/۱ یلام)

شده است. لایه‌ها از مهمترین و فراوان‌ترین اشکال کارستیک حوضه هستند که در تمامی ارتفاعات بانکول و شره زول گسترش دارند. لایه‌های تشکیل شده در ارتفاعات حوضه از نوع خطی (شکل ۴، الف) با ابعاد چند میلیمتر تا ۴۰ سانتیمتر و لایه‌های کندویی در ارتفاعات بالاتر (شکل ۴، ب) می‌باشند. دولین‌ها از دیگر اشکال کارستیک حوضه مطالعاتی هستند که به فراوانی در ارتفاعات دیده می‌شوند. ابعاد دولین‌ها بسیار متفاوت است. همان گونه که شکل ۵ نشان می‌دهد

## نتایج

### ژئومورفولوژی

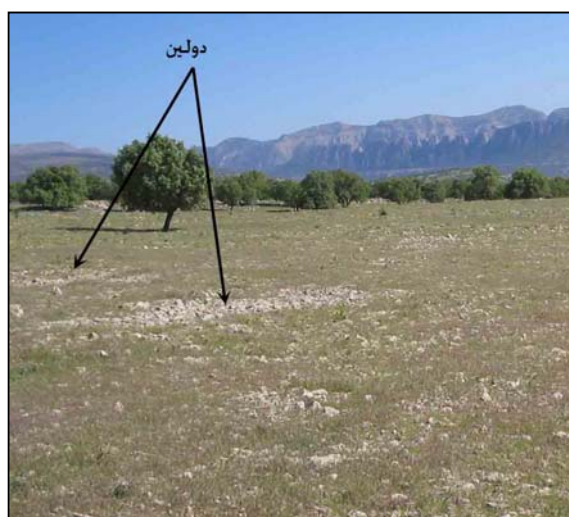
حوضه کنگیر شامل دشت ناودیسی ایوان غرب است که بین دو طاق‌دیس بانکول (در شمال غرب) و شره زول (در جنوب غرب) قرار گرفته است. همچنان که شکل ۲ نشان می‌دهد تمامی کوه‌های طاق‌دیس‌های بانکول و شره زول از سازند آهکی آسماری تشکیل شده‌اند. قابلیت بالای انحلال پذیری سازند آسماری باعث توسعه اشکال مختلف کارستیک در حوضه کنگیر

می‌یابند. قطر این چاه‌های عمودی به ۱۰ متر می‌رسد. معروف‌ترین چاه کارستی منطقه مطالعاتی که در میان اهالی به طلسم‌گه (تلزماگه) شهرت دارد، در امتداد گسل سراب در طاق‌دیس بانکول قرار دارد (شکل ۶).

دولین‌ها اغلب در رأس هموار طاق‌دیس بانکول تشکیل شده‌اند. چاه‌های کارستی یا یاماس‌ها از دیگر اشکال کارستیکی حوضه می‌باشند. یاماس‌ها، چاه‌های عمودی یا نیمه عمودی هستند که با سطح زمین ارتباط دارند و در مناطق دارای سیستم درزه‌های عمودی توسعه



شکل ۴: نمونه‌ای از لایه‌های خطی (الف) و کندویی (ب) در ارتفاع ۱۷۰۰ متری طاق‌دیس بانکول (منبع: نگارنده)



شکل ۵: نمونه‌ای از دولین واقع در ارتفاع ۱۸۶۰ متری طاق‌دیس بانکول (منبع: نگارنده)



شکل ۶: چاه کارستی واقع در دامنه جنوب غربی طاقدیس بانکول (منبع: نگارنده)

از ۳۰ سانتیمتر، غالباً عمود بر شیب توپوگرافی هستند که این موضوع نقش مهمی در افزایش نفوذ پذیری و همچنین افزایش طول مسیر حرکت آب‌های زیرزمینی و بنابراین طولانی شدن مدت زمان آبدهی چشمه‌ها ایفا می‌کند.

از دیگر اشکال ژئومورفولوژی غالب در حوضه مطالعاتی، درز و شکاف‌های کوچک تکتونیکی هستند. مطالعات میدانی انجام شده در سنگ بستر آهکی در دامنه جنوب غربی طاقدیس بانکول نشان دهنده گسترش درزه‌های تکتونیکی است. همان گونه که شکل ۷ نشان می‌دهد، درز و شکاف‌های با عرض کمتر



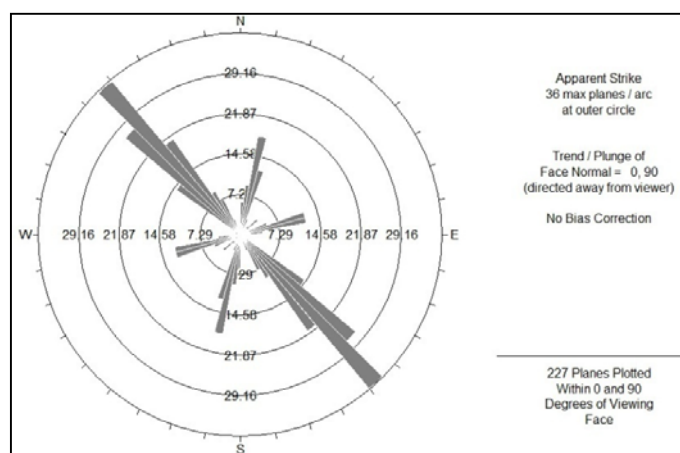
شکل ۷: جهت درز و شکاف‌های تکتونیکی نسبت به شیب توپوگرافی در طاقدیس بانکول (منبع: نگارنده)

شد و نمودار گل سرخی آن ترسیم گردید. همچنان که شکل ۸ نشان می‌دهد جهت غالب درزه‌ها در طاقدیس بانکول شمال غرب- جنوب شرق است. شکل ۹ (الف)

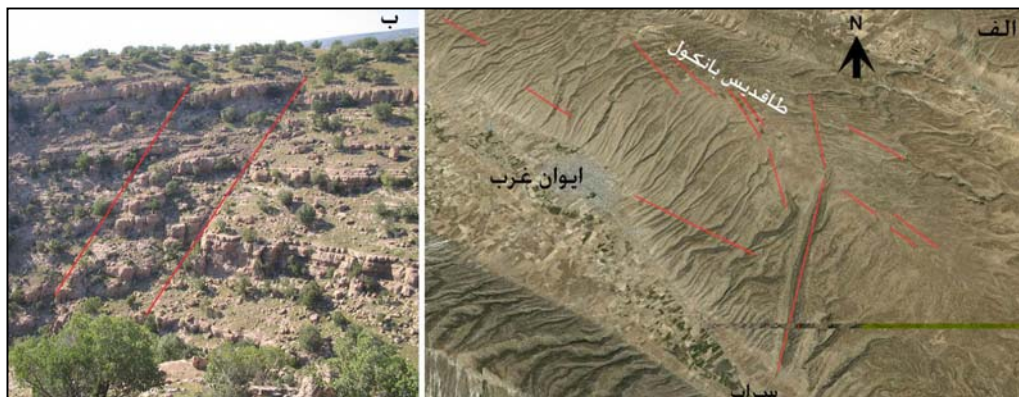
در این تحقیق همچنین جهت جغرافیایی ۲۲۷ درزه تکتونیکی با طول بزرگتر از ۵ متر در طاقدیس بانکول بر اساس تصاویر ماهواره‌ای کوچک برداشت

که باعث طولانی شدن مسیر حرکت آب‌های زیرزمینی و بنابراین کاهش ضریب آلفا می‌شود.

نشان می‌دهد بیشتر درزه‌های طاق‌دیس بانکول، موازی با محور طاق‌دیس تشکیل شده‌اند. این وضعیت نقش مهمی در کنترل آب‌های زیرزمینی داشته به طوری



شکل ۸: نمایش جهت درزه‌ها در طاق‌دیس بانکول با استفاده از رز دیاگرام (منبع: نگارنده)



شکل ۹: (الف): تصویر ماهواره‌ای کوچک برد طاق‌دیس بانکول و محل شکستگی‌های تکتونیکی و (ب): تصویری از درزه‌های تکتونیکی در دامنه جنوب غربی طاق‌دیس بانکول در ۳ کیلومتری شمال سراب

برای تعیین میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی یا سن چین خوردگی، از دو شاخص تقارن چین (FSI) و سینوسیته جبهه چین (FFS) استفاده گردید. شاخص تقارن چین نشان دهنده میزان نابرابری دو یال طاق‌دیس و در نتیجه میزان فعالیت تکتونیکی منطقه می‌باشد. شاخص تقارن چین از تقسیم S (عرض پهلوی کوتاهتر طاق‌دیس) بر نصف عرض طاق‌دیس

(شکل ۱۰). در یک طاق‌دیس کاملاً متقارن، مقدار این شاخص یک است در حالی که در یک طاق‌دیس نامتقارن، مقدار شاخص مذکور کمتر از یک است (باربری<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۳). هر چه مقدار این شاخص کمتر از عدد یک باشد، نشانگر فعال بودن نیروهای زمین‌ساخت در ناحیه است که منجر به

<sup>۱</sup> - Burbery

### ویژگی‌های هیدرولوژیکی و شیمیایی چشمه‌ها

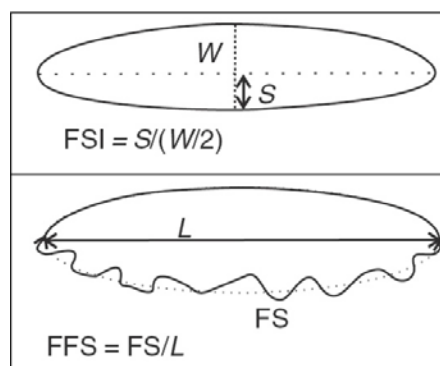
از ویژگی‌های بارز مهم مناطق کارستی وجود چشمه‌های طبیعی تخلیه کننده آبخوان‌های کارستی است. بخش اعظم تخلیه آب‌های زیرزمینی از طریق چشمه‌های حوضه کنگیر انجام می‌شود. چشمه‌های سراب، فرزگه، ونیت، دبیران، هلشی و ماژین‌خوران از جمله مهمترین چشمه‌های این حوضه می‌باشند. میانگین دبی سالانه و ماهانه چشمه‌های مذکور در جدول شماره ۱ ارائه شده است. بر اساس داده‌های جدول ۱، بخش کاهش دبی چشمه‌ها جدا گردید و بر اساس آن منحنی تاریسمان چشمه‌ها ترسیم شد. بر اساس منحنی تاریسمان (بخش فرود هیدروگراف) ضریب فرود ( $\alpha$ ) و حجم ذخیره دینامیکی برای چشمه‌ها به دست آمد (شکل ۱۱).

جدول ۱: میانگین دبی ماهانه و سالانه چشمه‌های حوضه کنگیر در یک دوره آماري ۲۰ ساله (۸۲-۱۳۶۲).

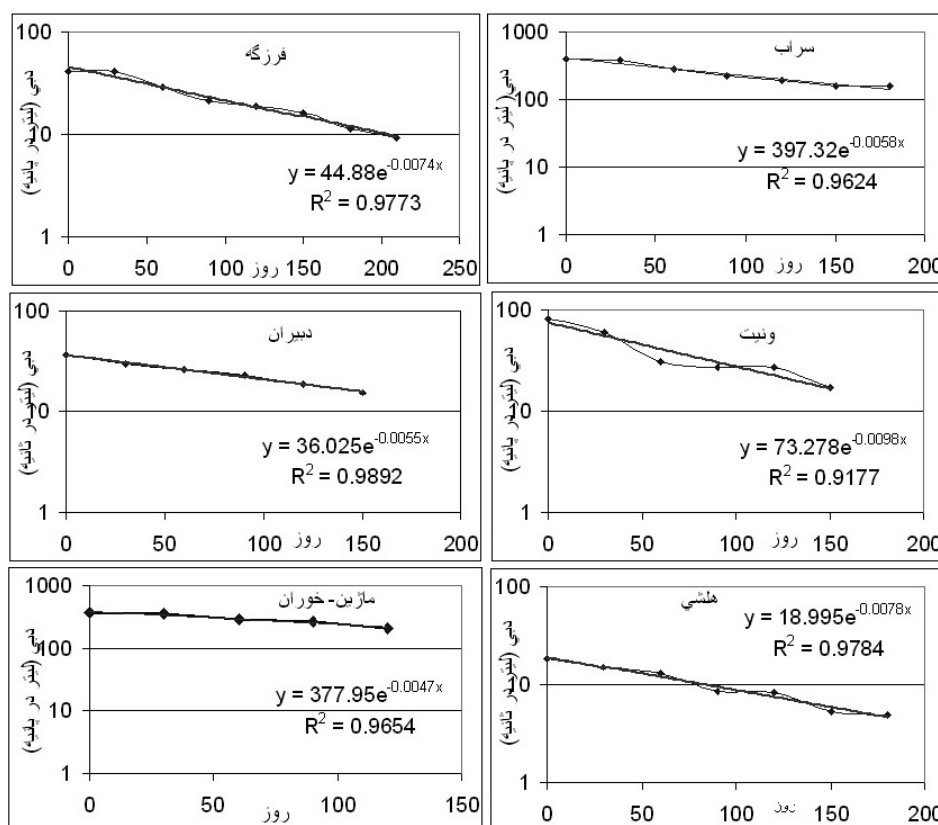
چشمه	ماژین	سراب	فرزگه	ونیت	دبیران	هلشی
سارانه	۲۷۰	۳۳۳٫۳	۳۳٫۹	۳۹٫۹۵	۲۲٫۴۸	۹٫۷۸
شهررود	۲۰۹٫۳	۱۵۵٫۵	۱۶٫۴۲	۱۷٫۱۳	۱۵٫۴۲	۸٫۱۶
مرداد	۲۰۷٫۴	۱۹۱	۱۹٫۱	۲۶٫۸	۱۸٫۸	۸٫۵
تیر	۲۶۰	۲۱۷	۲۱٫۱۸	۲۶٫۸	۳۳٫۱۵	۱۲٫۶۶
خرداد	۳۷۹٫۵	۲۸۰	۲۸٫۸	۳۱	۲۵٫۹	۱۵٫۱
اردیبهشت	۳۴۲٫۴	۳۶۸	۴۰٫۶۲	۵۸٫۷۳	۲۹٫۳۵	۱۸٫۶
فروردین	۳۶۵٫۵	۳۹۰٫۷	۴۰٫۸۷	۸۲٫۲	۳۶٫۴	۱۷٫۵
اسفند	۳۴۱	۲۸۲٫۲	۴۰٫۵	۸۳٫۱۵	۳۰٫۶	۷٫۳
بهمن	۳۷۱	۲۰۶۶	۲۶	۵۶	۲۱٫۸۵	۶٫۱۶
دی	۲۲۴	۱۹۲٫۷	۱۶٫۷۵	۲۹٫۷	۱۷٫۱۵	۵٫۵
آذر	۳۹۵٫۲	۱۸۸	۱۶	۲۹٫۵	۱۹٫۷	۷٫۶۶
آبان	۱۶۲٫۳	۱۵۵	۹٫۲۸	۲۱٫۷	۱۴٫۶	۴٫۸۳
مهر	۱۸۲٫۶	۱۶۰٫۷	۱۱	۱۷٫۸	۱۶٫۸	۵٫۳۳

ایجاد طاق‌دیس نامتقارن، با طرفین پرشیب و با شکست‌ها و گسل‌ها میشود. مقدار زیاد این شاخص بیانگر عدم تأثیر گذاری فعالیت‌های تکتونیکی و شکل‌گیری طاق‌دیس‌ها به شکل متقارن می‌باشد. مقدار شاخص مذکور برای طاق‌دیس بانکول ۹۲ درصد به دست آمد که بیانگر جوان بودن سن چین خوردگی منطقه است.

شاخص سینوسیته جبهه چین (FFS) نیز نشان دهنده درجه فعالیت‌های تکتونیکی یا سن سیستم چین خوردگی است. شاخص مذکور از نسبت طول جبهه طاق‌دیس (FS) به طول طاق‌دیس (L) به دست می‌آید (شکل ۱۰). مقدار کم این شاخص، نشان دهنده چین خوردگی‌های جوان است در حالی که مقدار بالای شاخص مذکور نشان دهنده جبهه‌های فرسایش یافته یا چین خوردگی‌های قدیمی است (باربری و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۴). با توجه به قرارگیری بخش اعظم منطقه مطالعاتی در بخش جنوب غربی طاق‌دیس بانکول، شاخص FFS برای دامنه جنوب غربی طاق‌دیس بانکول محاسبه گردید. مقدار این شاخص ۱۰۰۹ به دست آمد که بیانگر جوان بودن سیستم چین خوردگی منطقه است.



شکل ۱۰: روش محاسبه شاخص FFS و FFS به طور شماتیک (منبع: باربری و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۳)



شکل ۱: ضریب فرود ( $\alpha$ ) در چشمه‌های مورد مطالعه (منبع: نگارنده)

از دیگر پارامترهای بررسی شده در این تحقیق محاسبه حجم ذخیره دینامیکی چشمه‌ها می‌باشد. رابطه میزان حجم ذخیره دینامیکی با ضرایب  $\alpha$  رابطه‌ای معکوس است. به عبارتی دیگر هر چه میزان حجم ذخیره دینامیکی پایین باشد، نشان دهنده توسعه بیشتر کارست و مجاری آهکی است. داده‌های جدول ۲ نشان دهنده حجم دینامیکی بالای چشمه‌ها در منطقه مطالعاتی می‌باشد. این موضوع نشان دهنده سیستم جوان کارست شدگی حوضه است. علاوه بر پارامترهای ذکر شده، ویژگی شیمیایی چشمه‌ها مانند هدایت الکتریکی، درجه سختی، مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها بررسی شده‌اند (جدول ۳). در نواحی کارستی، بر حسب میزان توسعه کارست و مجاری کارستیک، سطح تماس آب با سنگ بستر متفاوت است و بنابراین ویژگی‌های شیمیایی آب مانند، میزان کاتیون‌ها و

جدول ۲ ضریب  $\alpha$  را برای ۶ چشمه حوضه کنگیر نشان می‌دهد. هر چه فاکتور  $\alpha$  بیشتر باشد، نشان دهنده شیب بیشتر فرود جریان و در نتیجه بیانگر سرعت تأثیرپذیری دبی جریان از بارش خواهد بود و این موضوع میزان تخلخل و کارست شدگی حوضه را نشان می‌دهد، حال آن که هر چه ضریب  $\alpha$  کمتر باشد، کارست شدگی پایین حوضه را نشان می‌دهد. همان گونه که جدول ۲ نشان می‌دهد، ضریب  $\alpha$  در تمامی چشمه‌های حوضه (با تفاوت اندکی) بسیار پایین می‌باشد. این موضوع به این دلیل است که آب‌های زیرزمینی در حرکت از بالادست به سمت چشمه‌ها، به علت کارست کمتر توسعه یافته، مسیری طولانی‌تری را طی می‌کنند و به همین دلیل شیب فرود هیدروگراف‌ها کم و یا ضرایب  $\alpha$  عدد بسیار پایینی است.

منطقه مطالعاتی در مراحل اولیه تکامل قرار دارند و آب به علت غلبه درز و شکاف‌های تکتونیکی عمود بر شیب توپوگرافی، مسیر طولانی‌تری به سمت چشمه‌ها طی می‌کند و بنابراین در تماس بیشتری با سنگ‌های آهکی است. به همین دلیل مقدار هدایت الکتریکی، سختی آب (مجموع منیزیم و کلسیم)، مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها در چشمه‌های حوضه مورد مطالعه بالا می‌باشد (جدول ۳).

آنیون‌ها، هدایت الکتریکی و درجه سختی محلول متفاوت خواهد بود. در مناطق کارستی توسعه یافته که نفوذ به صورت کانالیزه و مجرای رخ می‌دهد، سطح تماس آب با لایه‌ها و سازندها، کمتر از نواحی غیر کارستیک یا کارستیک ضعیف است. در نتیجه میزان زیاد هدایت الکتریکی و سختی آب و کاتیون‌ها و آنیون‌ها در چشمه‌ها بیانگر توسعه کم کارستی می‌باشد. بررسی این تحقیق نشان می‌دهد که مجاری آهکی

جدول ۲: حجم ذخیره دینامیکی و ضریب آلفا ( $\alpha$ ) در چشمه‌های منطقه مطالعاتی

نام چشمه	$Q_0 m^3/s$	$\alpha$	$V = (Q_0 \times 86400) / a$ متر مکعب در ثانیه
سراب	0.39068	0.0058	5819784.83
فرزگه	0.04087	0.0074	477184.865
ونیت	0.0822	0.0098	724702.041
دبیران	0.03645	0.0055	572596.364
هلشی	0.01866	0.0078	206695.385
ماژین - خوران	0.3655	0.0047	6718978.72

جدول ۳: مشخصات شیمیایی چشمه‌های مورد مطالعه (دوره آماری ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۱)

سراب	مجموع کاتیون	مجموع آنیون‌ها	درجه سختی کل mg/lit	هدایت الکتریکی EC Mic/cm
دوبیران	5/24	5/18	255/5	490/5
ماژین	6/55	6/49	300	609/29
خوران	6/70	6/11	325/41	615/33
سراب ایوان	6/07	6/01	295	569/58
جنب پمپ بنزین	5/86	5/8	285	547

منبع: امور آب استان ایلام

## نتیجه‌گیری

حوضه آبخیز کنگیر بخشی از واحد ساختمانی زاگرس چین خورده است که در آن توپوگرافی تابع ساختمان زمین شناسی است. به عبارتی کوه‌ها منطبق بر طاق‌دیس و دشت منطبق بر ناودیس است. به علت این که بخش اعظم طاق‌دیس‌های بانکول در شمال شرق و طاق‌دیس شره زول در جنوب غرب حوضه از سازند آهک آسماری با قابلیت انحلال بالا تشکیل شده است، انواع

مختلفی از اشکال فرسایش کارستیک مانند لایه‌ها، دولین‌ها، فروچاله‌ها در ارتفاعات حوضه تشکیل شده است که نقش مهمی در کاهش ضریب رواناب و تقویت آب‌های زیرزمینی ایفا می‌نمایند. مطالعات محمودی و همکاران (۱۳۸۶) نشان می‌دهد که به علت فراوانی اشکال کارستیک، ضریب رواناب در ۵ واقعه سیلاب در حوضه کنگیر زیر ۲۰ درصد است. مطالعه حاضر نشان می‌دهد که با وجود غنای آب‌های زیرزمینی حوضه

کنگیر، جوانی سیستم چین خوردگی در رفتار هیدرولوژیکی چشمه‌ها به‌ویژه در طولانی شدن مدت آبدهی چشمه‌ها نقش مهمی دارد. بررسی شاخص‌های ژئومورفیک مربوط به سن چین خوردگی (FSI و FFS) بیانگر جوان بودن سیستم چین خوردگی منطقه است. به علت جوانی سیستم چین خوردگی (به‌ویژه طاق‌دیس بانکول)، فرسایش شکل کلی طاق‌دیس‌ها را تغییر نداده و جهت حرکت آب‌های زیرزمینی متأثر از شکستگی‌های تکنونیک است. در این تحقیق بررسی ویژگی آب‌های زیرزمینی، بر اساس هیدروگراف چشمه‌های حوضه، شیب فرود هیدروگراف یا ضریب فرود ( $\alpha$ ) و میزان حجم ذخیره دینامیکی چشمه‌ها، محاسبه گردید. ضریب آلفا در تمامی چشمه‌های حوضه بسیار پایین است که نشان می‌دهد آب‌های زیرزمینی در حرکت از بالادست به سمت چشمه‌ها مسیری طولانی را طی می‌کنند. بررسی ضریب آلفا ( $\alpha$ ) در چشمه‌های حوضه مورد مطالعه و مقایسه آنها با مقدار آلفا در چشمه‌های اطراف توده آهکی پراو (مقصودی و همکاران، ۱۳۸۸) نشان می‌دهد که ضریب آلفا در چشمه‌های حوضه مورد مطالعه، بسیار پایین تر از مقدار آلفای چشمه‌های اطراف پراو (در زاگرس رورانده) است. همچنین حجم دینامیکی بالای چشمه‌های منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که کارست شدگی در منطقه مورد مطالعه دارای توسعه زیادی نیست. در توجیه این موضوع می‌توان به جوان‌تر بودن توده آهکی منطقه مورد مطالعه (در زاگرس چین خورده) نسبت به توده آهکی پراو اشاره کرد. به طوری که زاگرس چین خورده که منطقه مورد مطالعه بخشی از آن است، میلیون‌ها سال بعد از زاگرس رورانده از آب خارج شده است. بررسی ویژگی‌های شیمیایی چشمه‌ها (میزان زیاد هدایت الکتریکی، سختی کل، مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها) در حوضه کنگیر نشان می‌دهد که آب در تماس بیشتری با سنگ‌های آهکی است و این موضوع بیانگر نبود کانال‌ها و مجاری کارستیکی تکامل یافته است. به طور کلی در مناطق قدیمی تر زاگرس، مانند بیستون و پراو که ضخامت و خلوص لایه‌های آهکی زیاد است، تکنونیک موجب تشدید و گسترش انحلال سطحی و عمقی می‌شود. اما در مناطق جوان‌تر زاگرس مانند منطقه مورد مطالعه، با توجه به جوان بودن تشکیلات

آسماری و جوانی چین‌ها، تکنونیک در مرحله جوان‌تری قرار دارد. بررسی جهت درز و شکاف‌های تکنونیک حوضه کنگیر نشان می‌دهد که جهت غالب درزه‌ها، موازی با محور طاق‌دیس یا عمود بر شیب توپوگرافی است. در اثر مکانیسم کشش در رأس طاق‌دیس، درز و شکاف‌هایی در رأس طاق‌دیس در جهت محور طاق‌دیس و عمود بر شیب توپوگرافی ایجاد شده‌اند. قرارگیری درزه‌های عمود بر شیب توپوگرافی باعث طولانی شدن مسیر حرکت آب‌های زیرزمینی و بنابراین کاهش ضریب آلفا و افزایش حجم دینامیکی مخزن می‌شود. بنابراین علاوه بر جوان‌تر بودن توده آهکی منطقه مورد مطالعه، جهت درز و شکاف‌های آهکی نیز نقش مهمی در رفتار هیدرولوژیکی چشمه‌ها و وضعیت آب‌های زیرزمینی حوضه ایفا می‌نمایند. ضریب بسیار پایین آلفا، مقدار زیاد املاح و مقدار بالای حجم ذخیره دینامیکی در چشمه‌های حوضه کنگیر بدان معنی است که آب ورودی به حوضه از طریق بارندگی، مدت زمان زیادی طول می‌کشد تا به خروجی چشمه‌ها برسد. به عبارت دیگر، چشمه‌ها دیر تر خشک می‌شوند و آب را در مدت زمان بیشتری در دسترس قرار می‌دهند. بنابراین شناخت ژئومورفولوژی منطقه و رفتار هیدرولوژیکی چشمه‌ها می‌تواند کاربرد مهمی در مدیریت و استفاده بهینه از منابع آب حوضه‌های آبخیز زاگرس داشته باشد.

### منابع و مآخذ

۱. بهرامی، ش، بهرامی، ک (۱۳۸۹)، بررسی نقش تکنونیک و لندفرم‌های کارستیکی در تغذیه آب‌های زیرزمینی حوضه آبخیز قلعه شاهین. اولین همایش ملی توسعه منابع آب. ۲۵ آبان ۸۹. دانشگاه آزاد اهواز.
۲. سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۷۱)، نقشه زمین شناسی ایلام با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، شماره ۵۲۵۷.
۳. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۵۱)، نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰، شماره (۱) ۵۲۵۷.
۴. کاظمی، ر، غیومیان، ج، جلالی، ن (۱۳۸۵)، بررسی نقش عوامل ساختاری در فراوانی منابع آب در منطقه کارستی لار با استفاده از سنجش از دور و GIS، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۳، زمستان ۱۳۸۵.
۵. محمودی، ف، یمانی، م، بهرامی، ش (۱۳۸۶)، ارزیابی مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی

- hydrogeochemical approach, *Hydrogeology Journal*, 13, 787-799.
19. Krishnamurthy, J and Srinivas, G (1995). Role of geological and geomorphological factors in ground water exploration: a study using IRS LISS data, *International Journal of Remote sensing*, 16(14), 2595-2618.
  20. Lopez- Chicano, M., Bouamama, M., Vallejos, A and Pulido- Bosch, A (2001). Factors which determine the hydrogeochemical behavior of karstic springs: A case study from Betic Cordilleras, Spain. *Applied Geochemistry*, 16, 1179-1192.
  21. Oberlander, T.M (1985). Origin of drainage transverse to structures in orogens, in Morisawa, M and Hack, J.T ., eds., *Tectonic geomorphology: Proceedings, 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium* : Boston , Allen and Unwin . p. 155- 182.
  22. Ozler, H.M., (2010). Carbonate weathering and connate seawater influencing karst groundwaters in the Gevas-Gurpinar-Gu'zelsu basins, Turkey. *Environmental Earth Science*, 61, 323-340.
  24. Piraste, S., Pradhan, B., Rizvi, S.M (2011). Tectonic process analysis in Zagros Mountain with the aid of drainage networks and topography maps dated 1950-2001 in GIS. *Arabian Journal of Geoscience*, 4(1-2), 171-180.
  25. Raeisi, E (2008). Ground-water storage calculation in karst aquifers with alluvium or no-flow boundaries. *Journal of Cave and Karst Studies*, 70(1), 62-70.
  26. Ramsey, L.A., Walker, R.T., Jackson, J (2008). Fold evolution and drainage development in the Zagros mountains of Fars province, SE Iran. *Basin Research*, 20, 23-48.
  27. Rangzan, K and Iqbaluddin (1995). Morpo-tectonic study of Zagros structural belt of SW Iran using remote sensing techniques. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 23 (4), 211- 224.
  28. Shajari, J and Raeisi, E (2006). Influences of anticlinal structures on regional flow. *Zagros, Iran, Journal of Cave and Karst studies*, 68(3), 118-129.
  29. Sutton, S.E (1987). Changing drainage patterns in a semi-arid area and their effects on groundwater resources. *Earth surface Processes and Landforms*, 12, 567-570.
  30. Tatar, M., Hatzfeld, D., Martinod, J., Walpersdorf, A., Ghafori-Ashtiany, M. & Chery, J (2002). The present day deformation of the central Zagros from GPS measurements. *Geophysical Research Letters*, 29, 1927.
  31. Vita-Finzi, C (1979). Rates of Holocene folding in the coastal Zagros near Bandar Abbas, Iran. *Nature*, 278(5705), 632- 634.
  32. Vita-Finzi, C (1978). 14C deformation chronologies in Coastal Iran, Greece and Jordan. *J. Geol. Soc. London*, 144, 553-560
- (GIUH) در حوضه آبخیز کنگیر، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۰، تابستان ۱۳۸۶.
۶. مقصودی، م، کریمی، ح، صفری، ف و چهارراهی، ز (۱۳۸۸)، بررسی توسعه کارست در توده پراو - بیستون با استفاده از ضرایب فرود، زمان مرگ چشمه‌ها و تحلیل نتایج ایزوتوپی و شیمیایی، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۹، پاییز ۱۳۸۸.
7. 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.
  8. Bense, V.F. & Van Balen, R (2004). The effect of fault relay and clay smearing on groundwater flow patterns in the Lower Rhine Embayment, *Basin Research*, 16, 397-411.
  9. Berberian, M (1995). Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics*, 241, 193-224.
  10. Burbery, C .M, Cosgrove, J. W, Liu, J. G (2010). A study of fold characteristics and deformation style using the evolution of the land surface: Zagros Simply Folded Belt, Iran, *Geological Society of London*, 139 - 153
  11. Chopra, R and Sharma, P.K (1993). Landform analysis and ground water potential in the Bist Doab area, *International Journal of Remote sensing*, 14(17), 3221-3229.
  12. Colman-Sadd , S.P (1978). Fold development in Zagros simply folded belt, Southwest Iran, *AAPG Bull*, 62, 984 - 1003.
  13. Farhoudi, Gh and Poli, K (1992). A morphotectonic study of environmental impact on ground water in Southern Iran and under the Persian Gulf, *Geologische Rundschau* 81 , 581-587.
  14. Fenart, P., Cat, N.N., Drogue, C., Van Canhd, D., Pistre, S (1999). Influence of tectonics and neotectonics on the morphogenesis of the peak karst of Halong Bay, Vietnam. *Geodinamica Acta*, 12(3-4), 193-200.
  15. Ford, D & Williams, P (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. John Wiley & Sons. Chichester, West Sussex, England. P. 562
  16. Hauselmann, P., Jeannin, P.Y., Bitterli, T (1999). Relationships between karst and tectonics: case-study of the cave system north of Lake Thun (Bern, Switzerland). *Geodinamica Acta*, 12, 377-388.
  17. Hessami, K., Nilforoushan, F., Talbot, C.J (2006). Active deformation within the Zagros Mountains deduced from GPS measurements. *Journal of the Geological Society, London* 1, 63, 143-148.
  18. Karimi, H., Raeisi, E., Bakalowicz, M (2005). Characterizing the main karst aquifers of the Alvand basin, northwest of Zagros, Iran, by a