پژوهشهای دانش زمین، سال سوم، شماره ۱۰ ، تابستان ۱۳۹۱، صفحات ۱۶- ۳۲

بررسی نقش عوامل ساختاری در ظهور چشمه‌های منطقه کارستی ایذه با استفاده از سنجش از دور و GIS

زهرا بوسلیک [۱*]، عباس چرچی [۲] ، محمدرضا کشاورزی [۳]، زینب احمدنژاد [۴]

۱- کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، استاد مدعو دانشگاه پیام نور مسجدسلیمان

۲- دانشیار تکتونیک، عضو هیأت علمی دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

۴- کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، استاد مدعو دانشگاه پیام نور خرم‌آباد

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۶/۱۵

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۲/۱۲/۱۲

چکیده

از عوامل مؤثر در ایجاد و گسترش کارست می‌توان به سنگ‌شناسی، توپوگرافی، میزان نزولات، سطوح ناپیوستگی و زمین‌شناسی ساختمانی اشاره نمود. زمین‌شناسی ساختمانی یک ناحیه با مشخص کردن مسیرهای جریان کلی در آبخوان و توسعه انحلالی مسیرهای جریان، نقش عمده‌ای در تعیین رفتار سیستم جریان آب زیرزمینی در پهنه‌های کارستی ایفا می‌کند. در این پژوهش نقش عوامل ساختاری در ظهور چشمه‌ها در منطقه ایذه مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور ابتدا مبادرت به تهیه لایه‌های اطلاعاتی عناصر تکتونیکی، خطواره‌ها، شیب و پتانسیل کارست شدگی با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، بررسی عکس‌های هوایی و پردازش تصاویر ماهواره‌ای شد. لایه‌های اطلاعاتی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) با لایه چشمه‌ها همبستگی داده شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد تمرکز چشمه‌ها در رده‌های پایین شیب توپوگرافی (۱۸-۷ درجه) و ارتفاع (۴۹۱- ۹۴۱ متر) بیشتر است. بیشترین تعداد چشمه‌ها در لایه‌هایی با شیب کم و در سازند آهکی آسماری می‌باشد. ارتباط نزدیکی بین عناصر تکتونیکی با فراوانی چشمه‌ها وجود دارد به‌طوری که چشمه‌ها در فاصله۰ تا ۲۳۸۹ متری از عناصر تکتونیکی و در اطراف گسل‌های با طول ۳ تا ۹ کیلومتر می‌باشد. شیب یال‌های ساختارهای چین‌خورده به گونه‌ای است که باعث هدایت جریان آب به سمت سازندهای مجاور می‌گردد، بنابراین رخنمون بسیاری از منابع آبی مجاور، نشأت گرفته از این ساختارها می‌باشد. این روابط نشانگر نقش بارز عناصر تکتونیکی و لزوم توجه به آن‌ها در بررسی استعداد منابع و انتقال آب‌های زیرزمینی در مناطق کارستیک می‌باشد.

واژه های کلیدی: خطواره‌ها، چشمه، کارست، عناصر تکتونیکی، GIS

*- نویسنده مسئول : ۰۹۱۶۸۴۱۸۶۲۳ Email: zahra.boosalik@yahoo.com

مقدمه

عملکرد فشارهای تکتونیکی در پوسته زمین به شکل گسل، درزه و یا چین‌خوردگی تظاهر می‌یابد. این پدیده‌ها هر یک متناسب با نحوه و محل تشکیل، تأثیر متفاوتی بر نفوذ آب و در نهایت در شکل‌گیری کارست و توسعه آن دارند. مهم‌ترین و شاید تأثیرگذارترین عوامل تکتونیکی درزه‌ها و گسل‌ها می‌باشند که به‌طور مستقیم و غیر مستقیم کارست‌شدگی و پتانسیل آبدهی سازندهای کارستی را کنترل می‌نمایند. البته باید گفت گسل‌ها به علت ایجاد جا به جایی در سنگ‌ها تأثیرات متنوع‌تری را نسبت به درزه‌ها سبب می‌گردند (ترک قشقایی نژاد، ۱۳۸۹). به‌طور کلی می‌توان چنین بیان کرد: در هر کجا که گسل‌ها افزایش نفوذپذیری را به دلیل افزایش شکستگی‌ها و یا ایجاد نقاط ضعیف در سنگ میزبان جهت ایجاد تخلخل ثانویه باعث شوند، دارای تأثیر مثبت بوده و برعکس در هر جا که مانع حرکت آب زیرزمینی شوند، دارای تأثیر منفی می‌باشند (کاستنینگ، ۱۹۷۷). مطالعات آماری نشان می‌دهد که در نواحی کربناته چاه‌های حفر شده بر روی خطواره‌ها نسبت به چاه‌های مجاور از آبدهی بیشتری برخوردارند. در محل‌هایی که خطواره‌ها با هم تلاقی می‌کنند چاه‌ها باز هم از آبدهی به مراتب بیشتری برخوردار می‌باشند.

در چهار دهه اخیر، محققین زیادی روی اکتشاف منابع آب زیرزمینی کار کرده‌اند. بسیاری از تحقیقات (مابی و همکاران، ۱۹۹۴؛ مینور و همکاران، ۱۹۹۵؛ سولومون و کوئیل، ۲۰۰۶) نقشه کردن شکستگی‌ها را به عنوان مبنای اکتشاف آب زیرزمینی بخصوص در شرایط پیچیده‌ی زمین‌شناسی به کار برده‌اند. رابطه بین دبی چشمه‌ها و فراوانی شکستگی در سازندهای مختلف نیز توسط کلانتری و محمدی (۱۳۷۹)، کلانتری و همکاران (۱۳۸۵) و رهنمایی (۲۰۰۵) مورد بررسی قرار گرفته است.

درزه‌ها نیز به علت ایجاد یک خط ضعف در سنگ و فراهم کردن امکان انحلال بیشتر در امتداد این خطوط و درنتیجه ایجاد مجرایی برای نفوذ آب‌های سطحی به زیرزمین، در واقع هسته اولیه مجاری بزرگ‌تر انتقال آب در اعماق زمین می‌باشند. اهمیت این درزه‌ها زمانی بیشتر می‌شود که دارای عمق نفوذ زیاد بوده و ارتباط هیدرولیکی خوبی را بین لایه‌های رخنمون نیافته ولی مستعد کارستی‌شدن، مثل آهک‌های واقع در زیر سازندهای نفوذناپذیر، برقرار می‌سازند. هرچه مقدار بازشدگی این درزه‌ها بیشتر باشد این ارتباط مؤثرتر است. بنابراین درزه‌های کششی به دلیل داشتن بازشدگی زیاد دارای درجه اهمیت بالاتری نسبت به سایر انواع درزه‌ها هستند.

از فاکتورهای توپوگرافی مؤثر که گرادیان هیدرولیکی و جهت حرکت آب زیرزمینی را تعیین می‌کند، شیب توپوگرافی یا شیب سطح زمین می‌باشد. سیستم جریان آب زیرزمینی در اغلب موارد متأثر از شیب سطح زمین می‌باشد. علاوه بر آن میزان شیب، هم در میزان رواناب حاصله از بارش و هم در میزان نفوذپذیری و انحلال آب باران نقش مؤثری دارد (ترک قشقایی نژاد، ۱۳۸۹). در شیب زیاد آب باران سریعاً جاری شده و فرصت نفوذ نخواهد یافت، همچنین امکان باقی‌ماندن خاک با ضخامت زیاد فراهم نبوده و امکان رویش گیاهان نیز وجود نخواهد داشت که این موارد تولید رواناب و عدم نفوذ آب را در پی خواهد داشت. از این مقدار آب نفوذ کرده به درون زمین نیز مقدار زیادی به سرعت در جهت شیب حرکت کرده و انحلال سنگ‌ها متوقف شده و در واقع توسعه کارست محدود می‌گردد. کاظمی (۲۰۰۳)، نشان داد که بین درصد شیب و درصد

برونزد چشمه‌های کارستی رابطه تنگاتنگی وجود دارد، به این ترتیب که با افزایش شیب، برونزد چشمه‌ها نیز کاهش می‌یابد و بیشترین تعداد چشمه‌ها در شیب (۲۰-۵ درجه) واقع گردیده‌اند. همچنین (رنگزن و همکاران، ۱۳۸۳)، نشان دادند که برونزد چشمه‌ها در منطقه مورد مطالعه تابع عنصر شیب نیز می‌باشد و بیشترین تعداد چشمه-ها در شیب‌های بین (۱۰-۰ درجه) برونزد داشته-اند.

وجود سازندهای آهکی ایلام- سروک، داریان- فهلیان و آسماری در منطقه ایذه و بارندگی قابل ملاحظه در این منطقه، شرایط تشکیل آبخوان‌های کارستی را فراهم نموده است. چشمه‌ها و همچنین سایر سیماهای ژئومورفولوژیکی کارست همچون پولیه، دولین، غارها (مانند اشکفت سلمان)، پونور و کارن‌ها در سازندهای سخت و مجاور آن‌ها از شواهد توسعه کارست در منطقه می‌باشند. تعداد زیادی چشمه کارستی در منطقه مورد نظر وجود دارد که با توجه به دوری و نزدیکی به گسل‌ها و شکستگی‌ها، به‌طور کلی وضعیت هیدروژئولوژیکی و کیفیت متفاوتی دارند. بنابراین شناخت جامعی از نقش عوامل ساختاری بر آبدهی چشمه‌های کارستی کمک شایانی در زمینه مطالعات و مدیریت منابع آب زیرزمینی می‌نماید. لذا هدف از این پژوهش بررسی نقش عوامل ساختاری (از قبیل چین‌ها و گسل‌ها، شیب، امتداد، میزان جابجایی، نوع چین یا گسل) و لیتولوژیکی در ظهور و آبدهی چشمه‌ها و انتقال آب در منطقه ایذه می‌باشد.

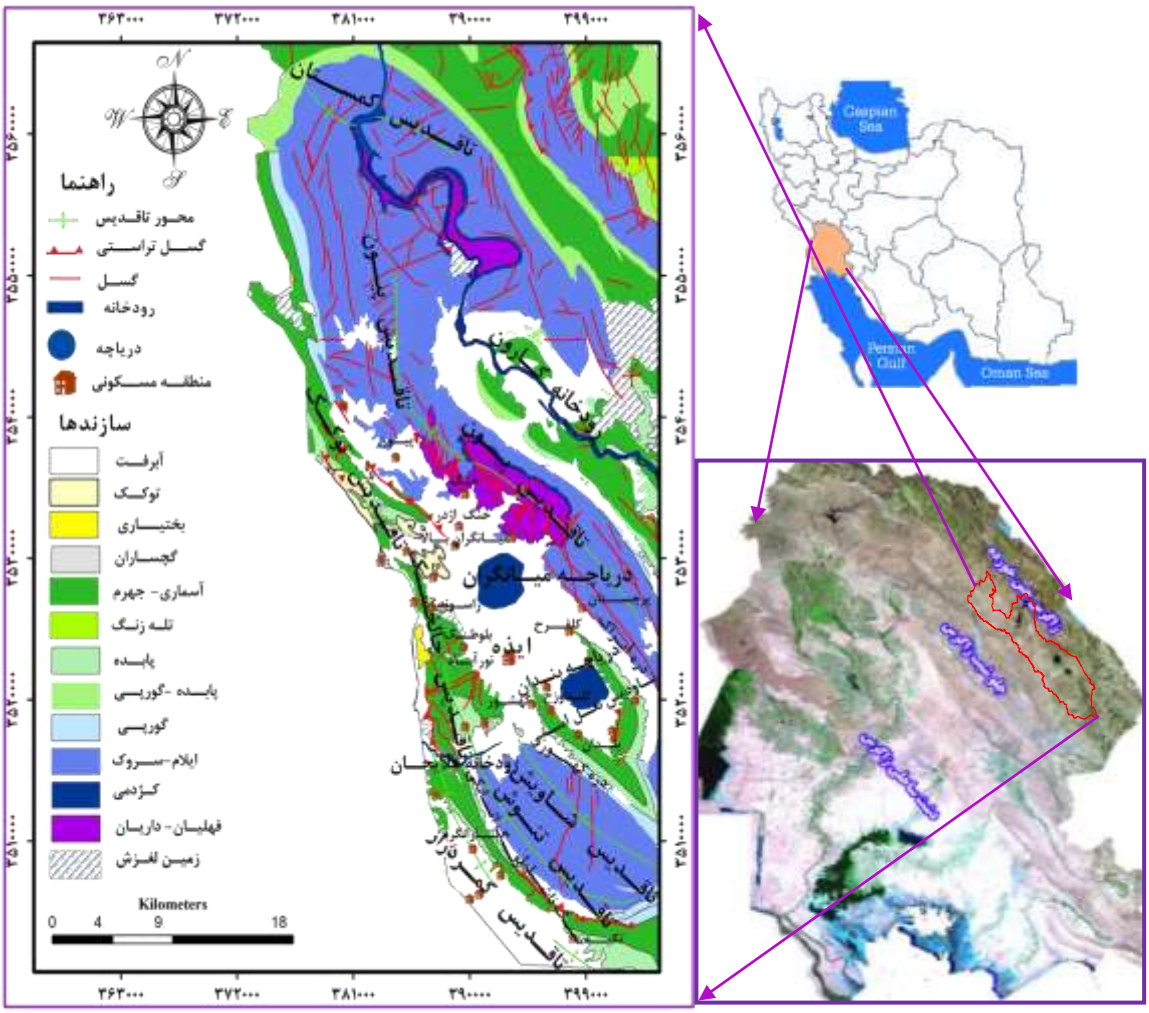
موقعیت جغرافیایی

منطقه ایذه از لحاظ زمین‌شناسی ناحیه‌ای، بر اساس تقسیم‌بندی اشتوکلین (۱۹۶۸) در ناحیه زاگرس چین‌خورده یا زاگرس خارجی قرار دارد که با توجه به شرایط زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی موجود، یک پولیه می‌باشد و عوارض و پدیده‌های ژئومورفولوژیکی کارست همچون چشمه‌های کارستی، پونرها (در نواحی شمالی دریاچه میانگران)، شافت‌ها، غارها و غیره در آن موجود می‌باشد. پولیه ایذه بر اساس تقسیم‌بندی فورد و ویلیامز (۲۰۰۷) یک پولیه ساختاری می‌باشد (ناصری و علیجانی، ۱۳۸۱). شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهند.

تکتونیک

منطقه مورد مطالعه بخشی از پهنه گسله ایذه می‌باشد. از ویژگی‌های این پهنه در بر داشتن گسل ایذه است که نوعی گسل عرضی، امتدادلغز راستگرد و همسان گسل کازرون است که در اثر آن زون ایذه به دو بخش شمال غربی و جنوب شرقی تقسیم می‌شود (آقانباتی، ۱۳۸۳). پدیده-های تکتونیکی نظیر سیستم‌های درز و شکاف، گسل‌ها، شیب تند لایه‌ها، لایه‌های برگشته و عادی، زمین‌لغزش‌ها و پدیده‌های کارستی نظیر حفرات انحلالی، غار، فرسایش‌های نوع کارن و غیره در سازندهای آسماری، داریان- فهلیان و ایلام- سروک در منطقه ایذه مشاهده می‌شوند. فعالیت‌های تکتونیکی باعث ایجاد تخلخل درز و شکافی شده که در اثر عمل انحلال بویژه در سنگ‌های کربناته به تدریج توسعه یافته و مسیر مناسبی برای نفوذ آب و انحلال تدریجی ایجاد کرده است (کشاورزی، ۱۳۸۵). وجود انواع شکاف به نام محلی اشکفت، نظیر اشکفت گاو در حوالی کهباد و اشکفت جاموشی در جنوب شرقی ایذه و در سایر نواحی منطقه در سازند کارستی آسماری نمایانگر توسعه کارستی شدن پس از فعالیت‌های نئوتکتونیکی در دوران کواترنری است (ناصری و علیجانی، ۱۳۸۱). تشکیل دره‌های U شکل همچون دره کهشور و آبراک، قیلا، ناشلیل، تغییر

ناگهانی دشت به کوه در منطقه ایذه- پیون و نیز زلزله چند ریشتری اخیر، از شواهد فعال بودن تکتونیک منطقه است (کشاورزی و همکاران، ۱۳۸۴). مهم‌ترین ساختارهای چین‌خورده در منطقه که عمدتاً از سازندهای آهکی تشکیل شده‌اند، عبارتند از: تاقدیس پیون در شمال و شرق، تاقدیس‌های شاویش-تنوش در جنوب و چالخشک در غرب و ناودیس نعل اسبی در جنوب شرق دشت ایذه که دارای پلانژی به سمت دشت می‌باشد. موقعیت سیماهای چین‌خورده منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه (شرکت ملی نفت ایران، مقیاس ۱:۱۰۰/۰۰۰)

چینه‌شناسی منطقه

سازندهایی که در محدوده مورد مطالعه رخنمون دارند، مربوط به کرتاسه زیرین تا عهد حاضر می‌باشند، که به ترتیب سنی از قدیم به جدید عبارتند از: داریان - فهلیان، کژدمی، ایلام–سروک، گورپی، پابده، آسماری–جهرم، گچساران، میشان، کنگلومرای بختیاری، کنگلومرای توکک و نهشته‌های کواترنری. لیتولوژی غالب سازندهای منطقه، آهک است که عمدتاً بصورت ضخیم لایه می‌باشد و در اثر وقایع تکتونیکی مختلف تکتونیزه شده‌اند و درنتیجه نفوذپذیری در این آهک‌ها بالا می‌باشد. با توجه به اهمیت سازندهای آهکی

فهلیان-داریان، ایلام-سروک و آسماری و نیز سازند انحلال‌پذیر گچساران در توسعه سیماهای کارستی شرح مختصری از ویژگی‌های این سازندها در منطقه مورد مطالعه ارائه می‌شود.

- **سازند داریان- فهلیان:** سازندهای داریان-فهلیان در منطقه ایذه غیرقابل تفکیک می‌باشند و در تاقدیس پیون در ناحیه شمالی دریاچه میانگران و دامنه جنوبی تاقدیس پیون رخنمون دارند. یک گسل اصلی به موازات محور تاقدیس پیون و نیز چندین گسل کوچک محلی با زاویه حاده (نزدیک به ۴۵ درجه) نسبت به محور تاقدیس در این پهنه آهکی گسترش دارند که موجب خردشدگی این واحد لیتولوژیکی شده است.

- **سازند ایلام- سروک:** در محدوده ایذه دو سازند آهکی سروک و ایلام از یکدیگر قابل تفکیک

نمی‌باشد و به عنوان واحد سنگی ایلام-سروک معرفی شده است که در شمال شرق، جنوب شرق و جنوب محدوده ایذه به صورت هسته تاقدیس پیون، شاویش و تنوش و همچنین در یال شرقی تاقدیس توکک و در شمال، شرق و جنوب شهر ایذه و تالاب میانگران و بندان رخنمون دارد. آثار خردشدگی و کارست‌شدگی در این سازند در محدوده مورد مطالعه قابل مشاهده است (شکل ۲-الف). مساحت سازند ایلام – سروک در منطقه مورد مطالعه ۵۲۴ کیلومتر مربع می‌باشد که معادل ۳۱ درصد کل محدوده مورد مطالعه است.

- **سازند آسماری:** در منطقه ایذه ارتفاعات ناودیس نعل اسبی واقع در جنوب شرق ایذه، ارتفاعات شرق و غرب ایذه از نورآباد تا میانگران سفلی به وسیله آهک‌های کرم تا قهوه‌ای رنگ سازند آسماری تشکیل شده است. این سازند هچنین ارتفاعات تاقدیس‌های توکک و کمردراز را به‌وجود آورده است. این سازند مغزه ناودیس بین دو تاقدیس شاویش و پیون را تشکیل می‌دهد و رخنمون آن بخش‌های شمالی، جنوبی و شرقی تالاب بندان (ارتفاعات ناودیس نعل اسبی) را در میان خود محصور نموده است. پهنه آهکی آسماری- جهرم در منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر نیروهای تکتونیکی به‌طور گسترده‌ای گسله و دارای درزه و شکاف شده و شرایط تشکیل آبخوان کارستی و نفوذپذیری زیادی را فراهم آورده است (شکل۲-ب).

شکل ۲: الف-توسعه سیستم شکستگی‌ها در آهک ایلام سروک تاقدیس پیون

شکل ۲: ب- آثار کارست‌شدگی در سازند آسماری

به عبارت بهتر فعالیت‌های تکتونیکی، چین-خوردگی و عملکرد گسل‌های طولی و عرضی موجب خردشدگی، افزایش نفوذپذیری و توسعه آبخوان کارستی در آهک‌های آسماری- جهرم این منطقه شده است. برونزد چشمه‌های کارستی نور آباد، الهک و اشکفت سلمان در غرب ایذه و در سازند آسماری در یال‌های ناودیس نعل اسبی از شواهد توسعه و گسترش آبخوان کارستی در آهک آسماری محدوده ایذه است که از نظر هیدروژئولوژی اهمیت خاصی داشته و در تغذیه آبخوان آبرفتی دشت ایذه نقش مؤثری دارد (کشاورزی، ۱۳۸۵). وسعت این سازند در منطقه مورد مطالعه ۱۱۰ کیلومتر مربع یا ۶/۵ درصد کل منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

- **سازند گچساران:** سازند گچساران در بخش غربی منطقه مورد مطالعه در حوالی روستای تلخاب، سرکان بالا و نواحی سرگچ در غرب تاقدیس چالخشک رخنمون دارد.

چشمه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه

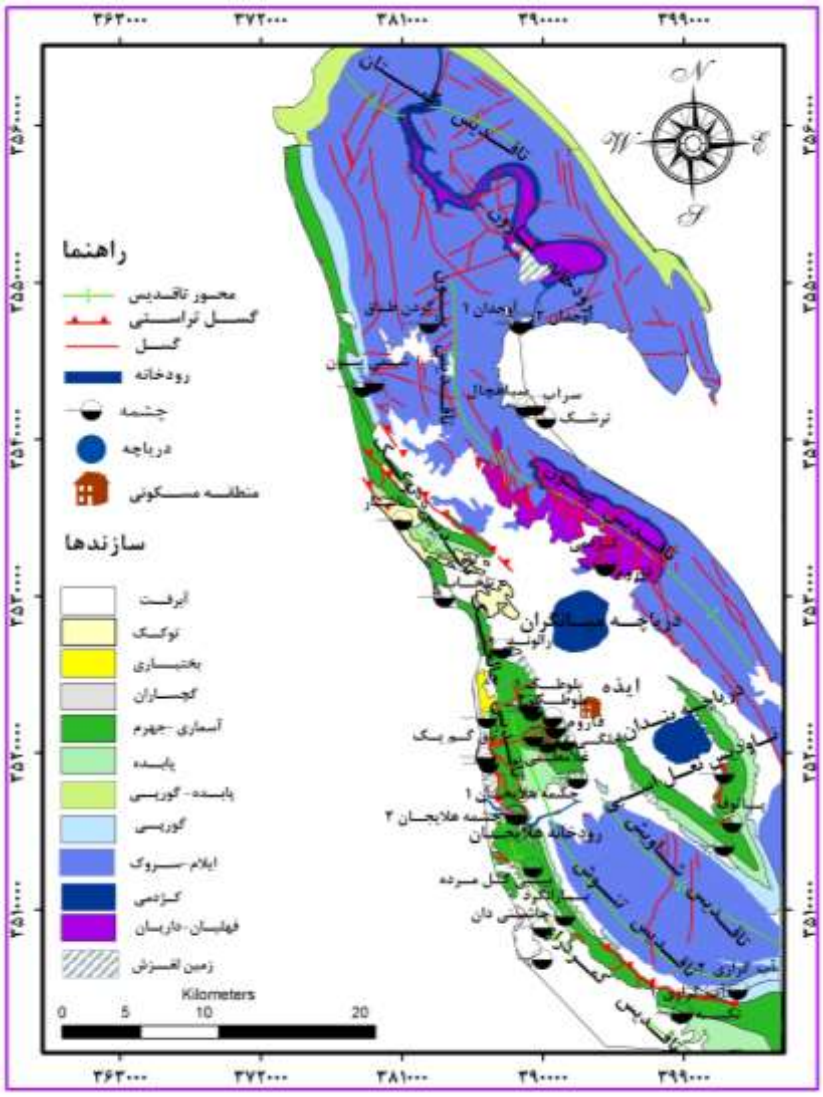
چشمه‌های جاری از سفره‌های آبدار کارستی، از نشانه‌های تأثیر هیدرولوژی آب زیرزمینی بر روی سطح زمین
هستند (دسماریس و روج استکزر، ۲۰۰۲).
چشمه‌های فراوانی در حاشیه دشت ایذه وجود دارند که موقعیت مکانی آن‌ها در طی چند نوبت عملیات میدانی و با استفاده از دستگاه GPS برداشت گردید. اکثر چشمه‌های موجود در محدوده ایذه از سازندهای آهکی آسماری و ایلام-سروک خارج می‌شوند. جدول (۱) برخی از مشخصات، و شکل (۳) موقعیت برخی از چشمه-های موجود در منطقه مورد مطالعه را بر روی نقشه زمین‌شناسی نشان می‌دهد.

مواد و روش‌ها

محققین مختلف معمولاً شرایط هیدرولوژی زیر سطحی را از طرق شاخص‌های سطحی مانند سیمای
زمین‌شناسی و ساختارهای خطی استنتاج می-کنند (داس، ۱۹۹۶). در پژوهش حاضر به منظور یافتن ارتباط میان فراوانی چشمه‌ها با عناصر تکتونیکی، خطواره‌ها، عوامل توپوگرافی و زمین-شناسی، ابتدا مبادرت به تهیه لایه‌های اطلاعاتی شامل عناصر تکتونیکی، خطواره‌ها، شیب و پتانسیل کارست با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، آمار بارش و دمای منطقه، بررسی عکس‌های هوایی و پردازش تصاویر ماهواره‌ای شد. لایه‌های اطلاعاتی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. لایه فراوانی چشمه‌ها با لایه‌های فوق الذکر تقاطع داده و در نهایت نتایج بدست آمده مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱: مشخصات چشمه‌های منطقه مورد مطالعه

نام چشمه	دبی (lit/sec)	دبی ماکزیمم (lit/sec)	ساختار	سازند	شیب لایه (درجه)	شیب توپوگرافی (درجه)	ارتفاع چشمه (متر)	نوع چشمه (اطلاعات سازمان آب خمنستان)
تکیه ۱	۰/۵	۲	شاویش-تنوش	پابده	آبرفت	۲	۱۰۱۶	درزه -تماسی
آب گرازی ۲	۰/۵		شاویش-تنوش	پابده	۶۰	۱۵	۱۱۳۰	درزه -تماسی
آب گرازی ۱			شاویش-تنوش	پابده		۲۱	۱۰۴۰	
کهشور	۱		نعل اسبی	پابده	۴۵	۱۵	۱۱۲۴	
بارانگرد	۴	۲۰	کمردراز	آسماری	آبرفت	۲	۹۲۰	قنات
مناره	۱		کمردراز	پابده	۵۰	۱۵	۹۰۶	
بیبی گل مرده	۱		کمردراز	آسماری	۵۰	۲۱	۱۰۷۱	درز و شکافی
چشمه هلایجان ۱	۰	۱۶۶	کمردراز	آسماری	آبرفت	۲	۷۹۹	تماسی
چشمه هلایجان ۲	۰	۵۰۰	کمردراز	آسماری	آبرفت	۲	۷۹۸	تماسی
قنات هلایجان	۰	۵۶۰	کمردراز	آسماری	آبرفت	۸	۷۹۴	قنات
چلگی	۱	۳	چالخشک	آسماری		۱۵	۹۲۵	تماسی
اشکفت سلمان	۱	۴	چالخشک	آسماری	۲۰	۱۵	۹۵۵	درز و شکافی
باغ الهک بالایی	۱		چالخشک	آسماری		۲	۱۱۱۹	تماسی
الهک	۴	۹	چالخشک	آسماری	۳۰	۸	۱۱۵۴	درز و شکافی
نورآباد ۲	۳	۲	چالخشک	آسماری	۱۰	۲۸	۹۳۶	درز و شکافی
نورآباد ۳	۱۴	۱۴	چالخشک	آسماری	۱۰	۱۵	۹۳۳	مجرایی
نورآباد ۱	۲	۳	چالخشک	آسماری	۱۰	۱۵	۹۰۴	درز و شکافی
بلوطک ۳			چالخشک	آسماری	۲۰	۱۵	۱۰۰۲	شکستگی
بلوطک ۲			چالخشک	آسماری	۲۰	۱۸	۹۳۴	شکستگی
بلوطک ۱(لندی)	۱	۶	چالخشک	آسماری	۲۰	۱۵	۹۴۴	شکستگی
راسوند	۵	۲۵		آسماری	آبرفت		۷۷۸	قنات
باغ الهک بالایی	۱		چالخشک	آسماری	۱۵	۲	۱۱۱۹	
تلخاب	۱	۳	توکک	گچساران	۳۰	۸	۸۷۴	درز و شکافی
کژدمی	۱	۴	پیون	فهلیان	۵۵	۲	۹۳۰	شکستگی
پاتوف	۲	۵	نعل اسبی	آسماری	۶۰	۱۵	۹۷۹	
کژدمی	۰	۱	پیون	فهلیان				
تاشار	۲۰	۴۰	توکک		۱۰	۲	۸۴۰	
شمی	۵	۱۱۰۰	پیون	ایلام سروک	۲۰	۱۵	۷۱۷	کانالی
گردن طاق	۱۰	۲۰	پیون	ایلام سروک	۱۰	۸	۹۰۳	درز و شکافی
ترشک	۰	۵۰	پیون	ایلام سروک	۵	۲	۶۴۲	
سیاه چال		۲۱۲۵	پیون	ایلام سروک	آبرفت	۸	۶۲۰	کانالی
سراب	۰	۴۲۰	پیون	ایلام سروک	آبرفت	۸	۹۳۲	
آوجدان ۱	۵	۲۲۸	پیون	ایلام سروک	۲۰	۴	۵۹۵	مجرایی
آوجدان ۲	۳	۲۲۸	پیون	ایلام سروک	۲۲	۸	۵۸۹	مجرایی
چاشنی دان		۳۰		آسماری	آبرفت	۴	۸۹۱	



شکل ۳: موقعیت چشمه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه

بحث و نتیجه‌گیری

۱- رابطه بین رده‌های شیب و درصد وقوع چشمه‌ها

به منظور بررسی ارتباط بین میزان شیب و فراوانی چشمه‌ها، ابتدا نقشه شیب طبقه‌بندی شده و با لایه چشمه‌ها همبستگی داده شده است (شکل ۴). نتایج نشان‌دهنده یک روند مناسب وقوع چشمه‌ها در رده‌های مختلف شیب است. چشمه‌ها در رده‌های پایین شیب تمرکز داشته و با افزایش شیب از فراوانی چشمه‌ها کاسته می‌شود. بالاترین درصد فراوانی چشمه‌ها در رده شیب (۱۸-۷) درجه مشاهده می‌شود (شکل ۶). وجود چشمه‌ها در شیب‌های بالاتر می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر عوامل زمین‌شناسی محلی باشد.

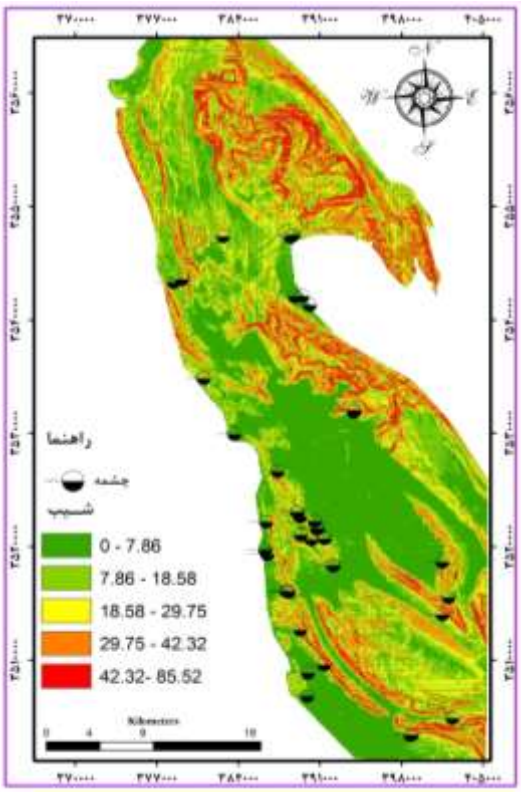
۲- رابطه بین رده‌های ارتفاعی و فراوانی چشمه‌ها

ارتفاع، خصوصاً ارتفاع سطح اساس هیدروژئولوژیکی می‌تواند بیانگر خروجی سیستم-های آب زیرزمینی باشد. بنابراین عامل ارتفاع می-تواند در برونزد منابع آبی نقش مؤثری داشته باشد. در پژوهش حاضر به منظور یافتن رابطه ارتفاع و برونزد چشمه‌ها، لایه مدل رقومی ارتفاعی

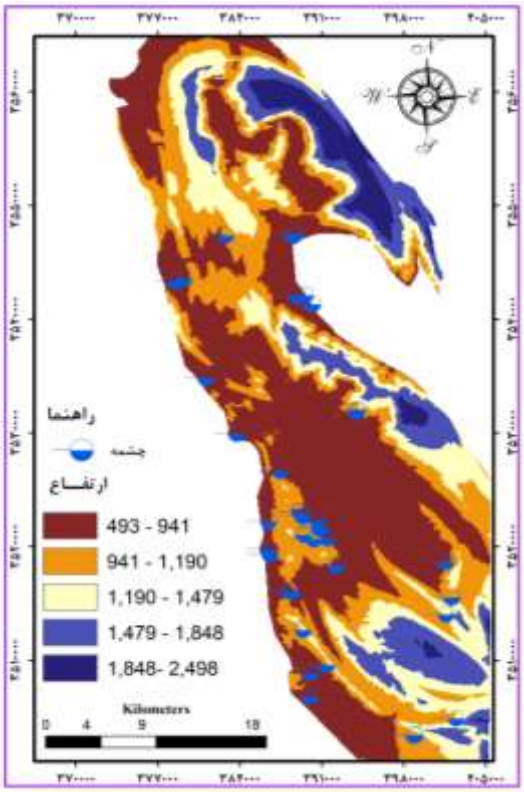
پس از رده‌بندی با لایه چشمه‌ها همبستگی داده شده که نتایج روند نزولی وقوع چشمه‌ها در ارتفاع‌های پایین تا بالا را نشان می‌دهد (شکل ۵). بالاترین درصد رخنمون چشمه‌ها در منطقه مورد مطالعه در رده ارتفاعی (۹۴۱-۴۹۱ متر) قرار دارد (شکل ۷).

۳- لایه‌بندی سنگ‌های آهکی و فراوانی چشمه‌ها

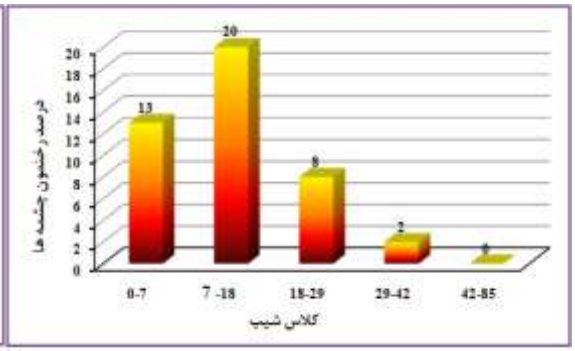
در منطقه ایذه در بسیاری از نواحی سنگ‌های آهکی دارای لایه‌بندی هستند. هرچند رخنمون توده‌ای نیز در آهک‌های منطقه قابل مشاهده می‌باشد. در این منطقه در بسیاری از نقاط محل انحلال بر محل درزهای بین لایه‌ها منطبق می‌باشد. در نواحی‌ای که سطح فرسایش طبقات در شرایط مناسب از نظر ارتفاع و جهت دامنه‌ها قرار دارند، شرایط انحلال با استفاده از درزها و شکاف‌های بین طبقات فراهم‌تر بوده است (توسعه درز و شکاف‌ها می‌تواند سبب تبدیل رژیم جریان از صفحه‌ای به متمرکز شود که این خود از عوامل توسعه کارست محسوب می‌شود). از دیدگاه هیدرولیکی جهت شیب لایه‌بندی ساختارهای چین‌خورده به سمت دشت ایذه همگرا است (یک یال ساختارها به سمت دشت است) و این الگوی ساختاری لایه‌بندی، نقش بسیار مهمی در زهکشی آب‌های سطحی و زیرزمینی به سمت دشت ایذه و تغذیه منابع آب زیرزمینی آبرفتی و آهکی به عهده دارد. با توجه به جدول ۱ و شکل ۸ بیشترین تعداد چشمه‌ها در لایه‌هایی با شیب‌های ۱۰-۲۰ درجه رخنمون پیدا کرده‌اند.



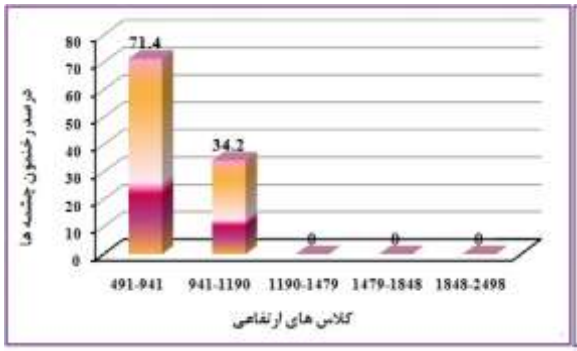
شکل ۴: رده‌های متفاوت شیب منطقه



شکل ۵ : رده‌های منطقه ارتفاع منطقه



شکل ۶ : رابطه بین رده‌های شیب و درصد وقوع چشمه‌ها



شکل ۷ : رابطه بین رده‌های ارتفاعی و فراوانی چشمه‌ها

۴- رابطه بین فراوانی وقوع چشمه‌ها و نوع لیتولوژی

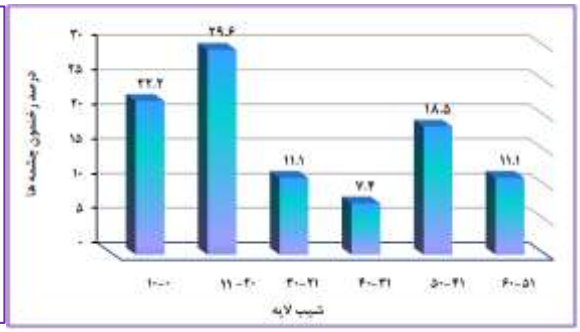
به منظور بررسی ارتباط بین نوع لیتولوژی و فراوانی وقوع چشمه‌ها نقشه لیتولوژی طبقه‌بندی شده و با لایه چشمه‌ها قطع شده است. نتایج نشان‌دهنده بالاترین درصد فراوانی چشمه‌ها در سازند آهکی آسماری می‌باشد (شکل ۹). با توجه به اینکه سازند آسماری به عنوان منبع اصلی کارست منطقه و به تبع آن منابع آبی منطقه به‌شمار می‌رود، بنابراین می‌توان چنین استنتاج کرد که ذخایر آبی موجود در آبرفت، نیز از تاقدیس آسماری سرچشمه می‌گیرند و منبع اصلی آن‌ها همان سازند آسماری است.

۵- رابطه بین فراوانی وقوع چشمه‌ها و فاصله از عناصر تکتونیکی و خطواره‌ها

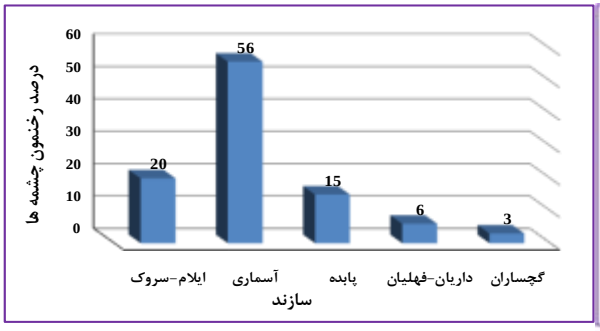
جهت بررسی نقش عناصر تکتونیکی و خطواره‌ها در ایجاد و توسعه منابع آب در منطقه، لایه طبقه‌بندی شده و نقشه فاصله از عناصر تکتونیکی و خطواره‌ها، حاصل گردید. در مرحله بعدی این لایه با لایه چشمه‌ها قطع داده شد. نتایج نشان‌دهنده وقوع تمامی چشمه‌ها در فواصل نزدیک به عناصر تکتونیکی و خطواره‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر می‌توان بیان نمود چشمه‌های موجود در منطقه در فاصله (۰ تا ۲۳۸۹) متری از عناصر تکتونیکی یا گسل‌های منطقه قرار گرفته‌اند (شکل۱۰). از این موضوع می‌توان نتیجه گرفت که بسیاری از عناصر تکتونیکی می‌تواند به عنوان مجرای عبور آب در منطقه عمل کند.

۶- رابطه بین فراوانی وقوع چشمه‌ها و طول شکستگی

نتایج حاصل از قطع لایه هم‌طول شکستگی با لایه چشمه‌ها نشان‌دهنده بالاترین میزان وقوع چشمه‌ها در اطراف گسل‌های به طول ۳ تا ۹ کیلومتر می‌باشد (شکل ۱۱).

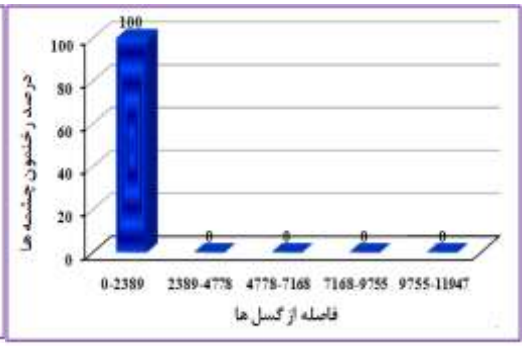


شکل۸ : رابطه بین رده‌های شیب لایه و درصد وقوع چشمه‌ها

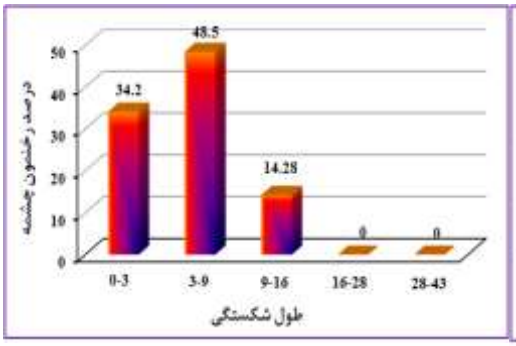


شکل۹ : رابطه بین فراوانی وقوع چشمه‌ها و نوع لیتولوژی

پژوهشهای دانش زمین، سال سوم، شماره ۱۰ ، تابستان ۱۳۹۱، صفحات ۱۶- ۳۲



شکل۱۰: موقعیت چشمه‌ها در فواصل متفاوت از گسل‌ها



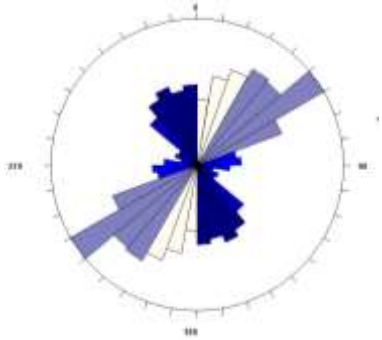
شکل۱۱ : رابطه بین فراوانی وقوع چشمه‌ها و طول شکستگی

۳۷- بررسی الگوی خطواره‌ها در منطقه

الگوی کلی خطواره‌های مستخرج در یک نمودار گل‌سرخی تهیه شد (شکل ۱۲). روند کلی و غالب خطواره‌ها در جهت (N ۵۰-۶۰°) می‌باشد که عمود بر روند کلی ساختارهای موجود در منطقه می‌باشد. این دسته از شکستگی‌ها با شکستگی-های کششی (عرضی) ناشی از چین‌خوردگی‌های منطقه قابل توجیه می‌باشد. دسته دوم خطواره‌ها که فراوانی کمتری دارند هماهنگ با روند کلی می‌باشند.

۸- نوع درزه‌ها و تأثیر روی رخنمون چشمه-ها در منطقه

در ساختارهای چین‌خورده مورد مطالعه منطقه ایذه، درزه‌های نوع کششی دارای طول تجمعی بیشتری نسبت به درزه‌های برشی هستند و می-توان گفت این مسئله به توسعه بیشتر کارست در منطقه منجر شده است. به‌طور کلی درزه و شکاف‌های موجود در منطقه که بازشدگی زیادی دارند و در امتداد آن‌ها پدیده کارستی کارن در اثر انحلال ایجاد شده است، نقش مهمی در نفوذ آب به درون آبخوان‌ها دارد. در منطقه مورد مطالعه این پدیده در آهک‌های سازند ایلام –سروک به خوبی قابل مشاهده می‌باشد که می‌تواند نقش مهمی در تغذیه چشمه‌های رخنمون یافته در این سازند داشته باشد. به عنوان مثال می‌توان به توسعه درز و شکاف‌های اطراف چشمه‌های گردن طاق در این سازند اشاره نمود (شکل ۱۳).



شکل ۱۲: نمودار گلسرخی خطواره‌های منطقه

شکل ۱۳: بازشدگی درزه‌ها در آهک ایلام- سروک در تاقدیس پیون

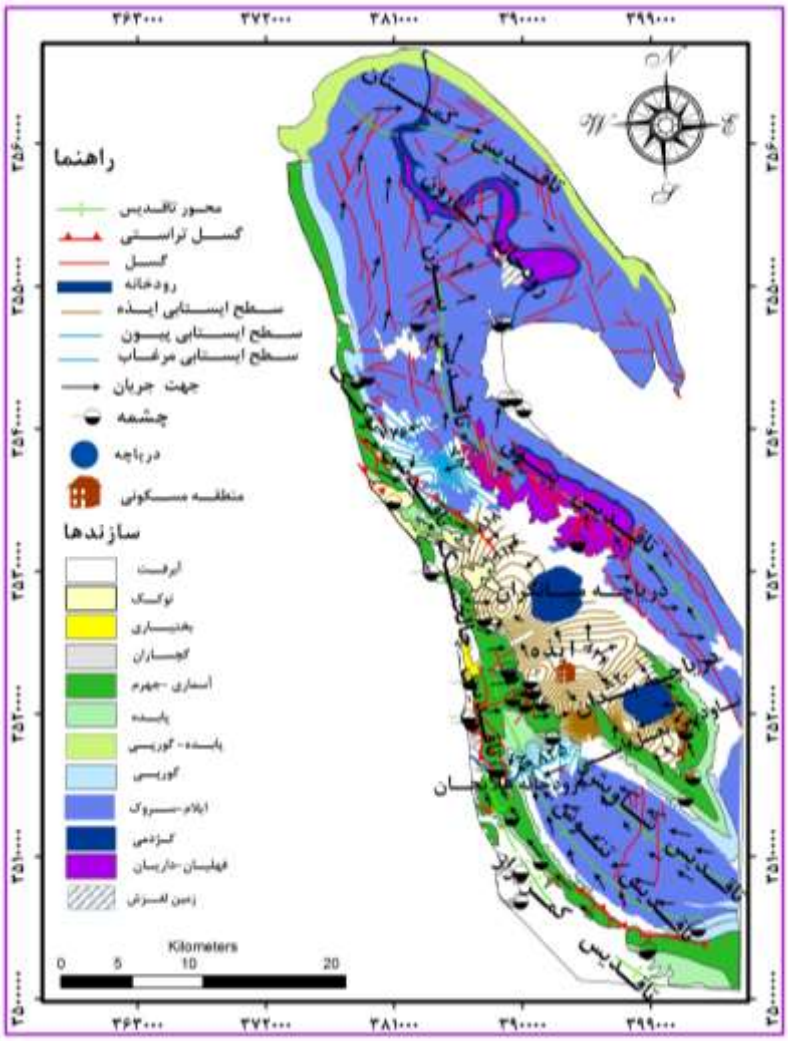
۹-رابطه چین‌خوردگی و رخنمون چشمه‌ها

چین‌خوردگی‌ها نیز که ناشی از اعمال فشارهای تکتونیکی بر پوسته زمین هستند با ایجاد تغییر در توالی چینه‌شناسی، بالاآمدن و ارتفاع گرفتن سازندهای مختلف، ایجاد انواع شکستگی‌ها در دامنه‌ها، محور و یا محل پلانژها باعث پیدایش و یا عدم پیدایش پدیده کارست و سفره‌های کارستی می‌گردند. به‌عنوان مثال چین‌خوردگی در زاگرس با چینه‌شناسی مخصوص خود که آهک‌ها را در بین دو لایه نفوذناپذیر قرار داده سبب شده است که این سازندهای آهکی در محل ناودیس‌ها در چنان عمق زیادی قرار گیرند که امکان تشکیل سفره کارستی در آن‌ها غیر ممکن گردد. ولی همین چین‌خوردگی با ایجاد درزه و شکاف و یا حتی گسل‌های نرمال در محور تاقدیس‌ها (در نقاط مرتفع با بارش‌های زیاد) شرایط خوبی را برای نفوذ آب به درون زمین فراهم می‌آورند. همچنین در یال‌ها با ایجاد بازشدگی بین صفحات لایه‌بندی مسیر عبور جریان را به سمت دامنه‌ها هموار می‌سازد (عبادیان، ۱۳۸۱). این وضعیت در منطقه ایذه دیده می‌شود؛ به‌طوری که در محل محور تاقدیس‌ها وجود گسل نرمال و درزه‌های کششی شرایط مناسبی را برای نفوذ آب فراهم نموده و مطالعات نشان داده است که در اعماق، آب در جهت شیب لایه‌بندی جریان می‌یابد و در سیستم کارستی توزیع می‌گردد. شیب یال‌های این ساختارهای چین‌خورده به گونه‌ای است که باعث هدایت جریان آب به سمت سازندهای مجاور می‌گردد و بنابراین رخنمون بسیاری از منابع آبی مجاور، نشأت گرفته از این ساختارها می‌باشد. گسل‌های عرضی و مورب موجود در این تاقدیس‌ها و ناودیس نعل اسبی با قطع نمودن لایه‌بندی‌ها و برخورد با گسل‌های طولی، در افزایش خردشدگی‌ها و سیستم شکستگی‌ها مؤثرند و موجب ارتباط کانال‌های طولی آبخوان-های کارستی موجود در آن‌ها شده‌اند. این گسل‌ها در فرآیندهای هیدروژئولوژیکی کارست همچون تسهیل جریان آب زیرزمینی، انحلال و توسعه کارست و ایجاد چشمه‌های کارستی حائز اهمیت هستند. از آنجائی که جریان آب در تاقدیس‌ها، در شرایطی که تراز پلانژ پائین‌تر از تراز یال‌ها باشد، از دو یال به سمت پلانژ وجود دارد، پلانژ تاقدیس‌ها مساعدترین نقاط جهت حفر چاه می‌باشند. با توجه به تصویر سه بعدی منطقه (شکل ۱۴)، این پدیده به خوبی در مورد پلانژهای شمالی و جنوبی تاقدیس‌های شاویش-تنوش و کمردراز قابل مشاهده می‌باشد و می‌تواند از دلایل عمده آبدهی چشمه‌های رخنمون یافته در اطراف پلانژ این تاقدیس‌ها به شمار رود.

چشمه‌های آبگرازی در تاقدیس شاویش-تنوش و چشمه‌های هلایجان، بارانگرد، بیبی گل مرده در تاقدیس کمردراز از این جمله چشمه‌هایی هستند که به‌طور عمده از این طریق تغذیه می‌گردند. در قسمت پلانژ جنوب شرقی تاقدیس‌های شاویش-تنوش به علت ارتفاع توپوگرافی بالا و وجود سازندهای نفوذناپذیر تخلیه‌ای صورت نمی‌گیرد (مهندسین مشاورین پوراب، ۱۳۸۸). شایان ذکر است که حفر چاه‌های بهره‌برداری آهکی در دماغه تاقدیس کمردراز باعث کم شدن تغذیه و درنهایت خشک گردیدن برخی از چشمه‌های برونزد یافته در این تاقدیس از جمله چشمه بیبی گل مرده و چشمه تکیه گردیده است. در واقع آب موجود در تاقدیس کمردراز به‌طور عمده به سمت پلانژ شمالی است و سبب تغذیه چشمه هلایجان و چاه‌های اطراف این چشمه می‌شود (شکل ۱۵).

پژوهشهای دانش زمین، سال سوم، شماره ۱۰ ، تابستان ۱۳۹۱، صفحات ۱۶- ۳۲

شکل ۱۴: تصویر سه بعدی منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۵: جهت جریان آب در سازندهای کارستی و ساختارهای منطقه

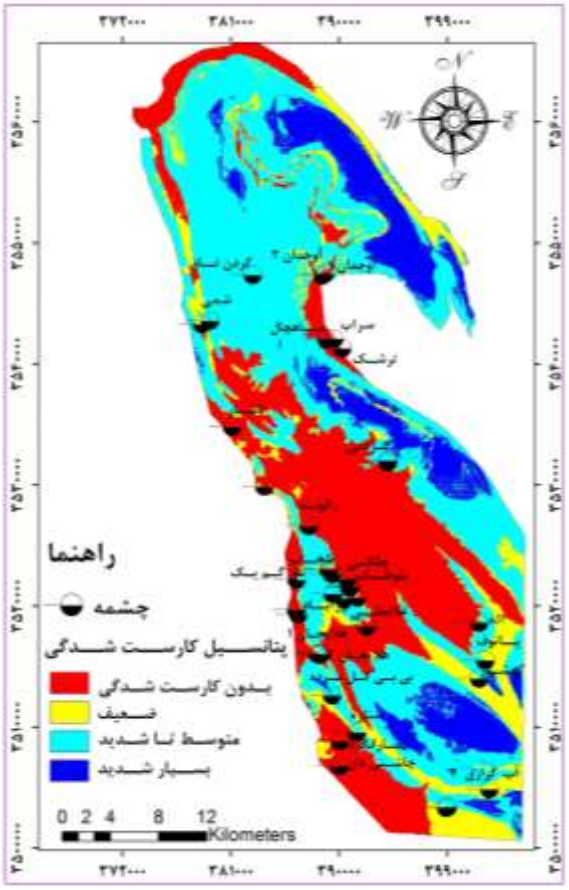
در تاقدیس پیون قرار گرفتن پلانژ تاقدیس در تراز ارتفاعی پایین‌تر نسبت به یال‌های تاقدیس مذکور می‌تواند یکی از دلایل حرکت آب کارستی موجود در این تاقدیس به سمت تاقدیس کمستان و ارتباط هیدرولیکی این دو تاقدیس محسوب شود. شیب یال‌های تاقدیس چالخشک نیز به گونه‌ای است که باعث هدایت جریان آب به سمت سازندهای مجاور می‌گردد و بنابراین رخنمون بسیاری از منابع آبی مجاور، نشأت گرفته از این تاقدیس می‌باشد. بر اساس مطالعات قبلی انجام گرفته در منطقه، اطلاعات چاه‌ها و پیزومترهای آهکی و نیز موقعیت چشمه‌های منطقه، جهت جریان آب کارستی موجود در تاقدیس چالخشک که از شیب توپوگرافی و لایه‌بندی یال‌های این تاقدیس تبعیت می‌کند باعث تغذیه آبخوان آبرفتی دشت ایذه و برونزد چشمه‌های متعدد از جمله چشمه‌های بلوطک، نورآباد، غلامعلی، فاروم و چلگی در یال شرقی تاقدیس مذکور گردیده است. البته در برونزد این چشمه‌ها علاوه بر شیب توپوگرافی و لایه‌بندی باید به عملکرد گسل‌های طولی و عرضی موجود در این تاقدیس نیز توجه نمود. در مورد ناودیس نعل اسبی نیز با توجه به شکل می‌توان بیان نمود یال‌های این ساختار چین‌خورده نیز دارای شیبی به سمت دشت ایذه و دریاچه بندان می‌باشند. برونزد چشمه‌های متعدد از جمله چشمه‌های پاتوف، کهشور و تکاب در این تاقدیس نشان می‌دهد جریان آب کارستی این ناودیس نیز تابع شیب توپوگرافی و به سمت دشت ایذه است (شکل ۱۵).

۱۰- رابطه توسعه کارست با رخنمون چشمه-های منطقه

در پژوهش حاضر جهت بررسی رابطه توسعه کارست با رخنمون چشمه‌های منطقه، نقشه پتانسیل کارستی منطقه تهیه گردید. بدین منظور با استفاده از اطلاعات رقومی سنجش از دور، نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی، آمار بارش و دما؛ لایه‌های اطلاعاتی لیتولوژی، چگالی خطواره-ها، شیب سطح زمین، بارش و دما ترسیم گردید. سپس در سیستم سامانه جغرافیایی (GIS) نقشه پتانسیل کارستی شدن تهیه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. لایه‌های اطلاعاتی مختلف با اعمال قضاوت کارشناسی و بازدیدهای صحرایی بصورت نقشه‌های معیار طبقه‌بندی شده و با ترکیب وزنی مناسب که نشان‌دهنده درجه اهمیت هر کدام از عوامل می‌باشد با روش هم‌پوشانی وزن‌دار شده در محیط GIS با هم تلفیق شدند. در این روش، وزن هر لایه با توجه به تأثیری که آن لایه در توسعه کارست دارد به صورت درصد تعیین و از هم‌پوشانی آن‌ها نقشه یا مدلی بوجود می‌آید که توسعه کارست را در سازندهای مختلف دارای پتانسیل کارستی شدن نشان می‌دهد (شکل ۱۶).

مدل مذکور با استفاده از موقعیت و مقدار دبی (درجه بزرگی دبی) چشمه‌ها و ایندکس توسعه کارستی شدن ارزیابی و مدل ارائه شده، تدقیق گردید. قابل ذکر است که جمع وزن‌ها در این روش عدد ۱۰۰ در نظر گرفته شد و به منظور مقایسه نتایج نهایی، گروه وزن‌های مختلف به کار برده و بهترین گروه وزن لایه‌ها به این شرح انتخاب شد: لیتولوژی (۴۰٪)، بارش (۲۵٪) و چگالی خطواره‌ها (۱۵٪) در درجه اول و ارتفاع (۱۰)، شیب (۵٪)، درجه حرارت (۵٪) در درجه دوم قرار دارد. برطبق مدل تهیه شده از پتانسیل توسعه کارست در منطقه (شکل ۱۶)، قسمت اعظم منطقه از نظر توسعه کارست‌شدگی در محدوده متوسط تا شدید قرار دارد. بخش‌هایی از تاقدیس کمستان، قسمت‌های شمالی و جنوبی

تاقدیس پیون، یال جنوب غربی ناودیس نعل اسبی، قسمت‌های مرکزی تاقدیس شاویش-تنوش و دماغه جنوب شرقی تاقدیس کمردراز دارای بالاترین پتانسیل کارستی‌شدن می‌باشند. این نواحی می‌توانند از تأمین کننده‌های اصلی منابع آب کارستی منطقه ایذه محسوب شوند. مشاهده می‌شود بیشتر تراکم چشمه‌های با دبی کم نزدیک به مناطق کارستی با توسعه متوسط تا شدید و در سازند آسماری وجود دارد (شکل ۱۶). از جمله این چشمه‌ها می‌توان به چشمه‌های بلوطک، تاق گم یک، چلگی، غلامعلی، هلایجان، بی بی گل مرده اشاره کرد؛ در حالیکه مخزن چشمه‌های با دبی بالا نظیر آوجدان، شمی و سیاهچال در مناطقی با کارست‌شدگی شدید و در سازند ایلام-سروک برونزد دارند (جدول ۱).



شکل ۱۶ : مدل کارست‌شدگی منطقه

نتیجه‌گیری

۱- چشمه‌ها در رده‌های پایین شیب تمرکز داشته و با افزایش شیب از فراوانی چشمه‌ها کاسته می-گردد. بالاترین درصد فراوانی چشمه‌ها در رده شیب (۱۸-۷) درجه مشاهده می‌شود.

۲- بالاترین درصد رخنمون چشمه‌ها در منطقه مورد مطالعه در رده ارتفاعی (۴۹۱-۹۴۱ متر) قرار دارد.

۳- بیشترین تعداد چشمه‌ها در لایه‌هایی با شیب-های ۱۱-۲۰ درجه و در سازند آسماری رخنمون یافته‌اند.

۴- چشمه‌های موجود در منطقه در فاصله ۲۳۸۹ متری از عناصر تکتونیکی و اطراف گسل‌هایی با طول ۳ تا ۹ کیلومتر قرار گرفته‌اند. از این موضوع می‌توان استنتاج کرد که بسیاری از عناصر تکتونیکی می‌توانند به عنوان مجرای عبور آب در منطقه عمل کند.

۵-شیب یال‌های ساختارهای چین‌خورده به گونه‌ای است که باعث هدایت جریان آب به سمت سازندهای مجاور می‌گردد و بنابراین رخنمون بسیاری از منابع آبی مجاور، نشأت گرفته از این ساختارها می‌باشد.

۶-گسل‌های عرضی و مورب موجود در تاقدیس‌ها و ناودیس نعل اسبی با قطع نمودن لایه‌بندی‌ها و برخورد با گسل‌های طولی، در افزایش خردشدگی‌ها و سیستم شکستگی‌ها مؤثرند و موجب ارتباط کانال‌های طولی آبخوان‌های کارستی موجود در آن‌ها شده‌اند.

۷-در تاقدیس پیون قرار گرفتن پلانژ تاقدیس در تراز ارتفاعی پایین‌تر نسبت به یال‌های تاقدیس مذکور می‌تواند یکی از دلایل حرکت آب کارستی موجود در این تاقدیس به سمت تاقدیس کمستان و ارتباط هیدرولیکی این دو تاقدیس محسوب شود.

تشکر و قدردانی

در پایان از شرکت سهامی آب و برق خوزستان و دانشگاه شهید چمران اهواز که ما را در انجام این پژوهش یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

-آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

-ترک قشقایی نژاد، س.، ۱۳۸۹. پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی تاقدیس کارستی بیرگ با استفاده از GIS و RS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

-رنگزن، ک.، آبشیرینی، ا.، و چرچی، ع.، ۱۳۸۳. استفاده از سنجش از دور و GIS در بررسی ارتباط عوامل ساختاری، لیتولوژیکی و توپوگرافی در برونزد چشمه‌های تاقدیس پابده – لالی، بیست و سومین همایش علوم زمین، تهران.

-عبادیان، س.، ۱۳۸۱. ارزیابی عوامل مؤثر در پتانسیل آب‌های کارستی کوه‌های گر و برم فیروز در استان فارس با استفاده از اطلاعات رقمی ماهواره‌ای و روش‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شیراز.

-کشاورزی، م.، ۱۳۸۵. بررسی نواحی مناسب و ارائه روشی بهینه برای تغذیه مصنوعی در منطقه ایذه- پیون، بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین، تهران.

-کشاورزی، م.، کلانتری، ن.، و رئیسی، ع.، ۱۳۸۴. بررسی عوامل موثر بر ظهور چشمه‌های ایذه، بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین، تهران.

-کلانتری، ن. ، و محمدی احمد آبادی، ر.، ۱۳۷۹. بررسی هیدروشیمیایی منابع آب ارتفاعات جنوب بهشهر و ارتباط آن با توسعه کارست منطقه، چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تبریز،

-کلانتری، ن.، کرمی فرد، م.، و چرچی، ع.، ۱۳۸۵. بررسی اثر شکستگی‌ها بر ظهور چشمه‌های منطقه سردشت شهیون در استان خوزستان، فصلنامه علمی پژوهشی علوم زمین، شماره ۶۲، ص ۶۲-۷۱.

-مهندسین مشاور پورآب.، ۱۳۸۸. مطالعات شناخت منابع آب تاقدیس‌های شاویش، تنوش، کمردراز و پیون، گزارش هیدروژئولوژی، جلد دوم.

-ناصری، ح.، و علیجانی، ف.، ۱۳۸۱. مطالعه هیدروژئوشیمی و آلودگی آب‌های زیرزمینی دشت ایذه، سازمان آب و برق خوزستان واحد تحقیقات و استانداردهای مهندسی آب.

-Das, D., 1996. Environmental appraisal for water resource development Proceedings, International Conference on Disaster Management (ICODIM) 499-507 Guwahati: India, Organized by Tejpur University.

-Desmarias, K., and Rojstaczer, S., 2002. Inferring source waters from measurements of carbonate spring response to storms, Journal of Hydrology, v.260, p.118-134.

-Ford, D., and Williams, P.D., 2007. Karst Hydrogelogy and Geomorphology. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, 576 p.

-Kastening, E.H., 1977. Faults as positive and negative influences on groundwater flow and conduit enlargement, In: hydrologic problems in karst regions. Edited by: Dilamarter, R. and Csallany, S. C. West ky. University, 486 p.

-Kazemi, R., 2003. Reconnaissance of karst hydrology In the Lar catchment, Iran using RS and GIS, International anstitute for geo-information science and earth observation enschede, the Netherlands.

-Mabee, S.B., Hardcastle, K.C., and Wise, D.W., 1994. A method for collecting and analyzing ineament for regional- scale fractured bedrock aquifer studies. Ground Water, v. 32 (6), p.884- 894.

-Minor, T.C., Russell, M., Chesley, M., Englin, J., Sander, P., Carter, J., Knowles, B., Acheampong, S., and Mckay. A., 1995. Application of geographic information system technology to water well siting in Ghana, West Africa: a Feasibility study. Publ. No. 44033, Desert Research Institute, Reno, USA, 53 p.

-Rahnemaei, M., 2005. Application of spectral analysis of daily water level and spring discharge hydrographs data for comparing physical characteristics of karstic aquifers, Journal of Hydrology, v. 311, p. 106-116.

-Solomon, S., and Quiel, F., 2006. Groundwater study using remote sensing and geographical information systems (GIS) in the central highlands Eritrea. Hydogeology Journal, v.14(6), p.1029-1041.

-Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: A review, American Association of Petroleum Geologists Bulletin., v. 52(7), p.1229-1258.

-Williams, P.D., 1983. The role of the subcutaneous zone in karst hydrology, Journal of hydrology. v.61, p.45-67.