



اهمیت شناخت خصوصیات ژئومورفولوژیکی، سنگ‌شناسی و فیزیکی سنگ‌های کربناته، جهت ارزیابی توسعه کارست در منطقه نهاوند

محمدمسین قبادی*، یاسین عبدی‌لر^۱ و یزدان ممبئی^۲

(۱) دانشیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه بوعلی سینا، همدان، amirghobadi@yahoo.com
(۲) دانشجوی دکتری گروه زمین‌شناسی دانشگاه بوعلی سینا، همدان، yasin.abdi@gmail.com
(* عهده‌دار مکاتبات)

دریافت: ۹۰/۸/۶ دریافت اصلاح شده: ۹۰/۱۱/۳ پذیرش: ۹۰/۱۲/۳ قابل دسترس در تارنما: ۹۱/۱/۳۱

چکیده

هدف از انجام این پژوهش، شناسایی پدیده‌های ژئومورفولوژیکی کارست، شناخت خصوصیات سنگ‌شناسی و ویژگی‌های فیزیکی سنگ‌های کربناته به منظور ارزیابی توسعه کارست در منطقه نهاوند می‌باشد. بر اساس بازدیدهای صحرائی، واحدهای کربناته در ناحیه مورد مطالعه، گسترش زیادی دارند. ساختارهای تکتونیکی (شکستگی‌ها و گسل‌ها) فراوان و پدیده‌های ژئومورفولوژیکی کارست نظیر دولین، کارن، پونور، غار و چشمه‌های کارستی، در ناحیه به خوبی قابل مشاهده هستند. با توجه به مطالعه مقاطع نازک سنگ و بر اساس رده‌بندی فولک، سنگ‌های آهکی منطقه از نوع بایوکلاست پکستون دولومیتی شده و مادستون آهکی هستند. با توجه به نتایج آزمایشات ایکس آر اف (XRF)، درصد اکسید کلسیم برای هر سه تیپ سنگ، بیشتر از ۵۰ و درصد اکسید منیزیم حداکثر ۲/۴۷ و حداقل ۱/۳۹ بوده است. با توجه به نتایج آزمایشات ایکس آر دی (XRD)، سنگ‌های کربناته به ترتیب فراوانی دارای کلسیت، کوارتز و دولومیت می‌باشند. هر چند نمونه‌های سنگ بکر از دانسیته خشک نسبتاً بالا و تخلخل پائینی برخوردار می‌باشند ولی ترکیب مناسب سنگ‌شناسی، ناپیوستگی‌های متعدد، تخلخل ثانویه و فراوانی پدیده‌های ژئومورفولوژیکی کارست در واحدهای کربناته، نشان‌دهنده توسعه کارست در منطقه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: گسل، دولین، کارن، پونور، غار، چشمه‌های کارستی.

۱- مقدمه

سرعت و شدت بیشتری رخ می‌دهد، اما این پدیده می‌تواند از طریق توسعه درز و شکاف‌ها به زیر سطح انتقال یافته و باعث تشکیل کارست زیرسطحی شود. مشاهدات ژئومورفولوژیکی در مقیاس کوچک و بزرگ به همراه بررسی‌های هیدرولوژیکی و هیدروشیمیایی، کلیدی برای دستیابی به اطلاعاتی در مورد چگونگی شکل‌گیری یک سیستم کارست زیرسطحی می‌باشد (Veni 1999, Ford & Williams 2007). میان ژئومورفولوژی کارست و تکامل آن ارتباط نزدیکی وجود دارد، به طوری که فراوانی و گسترش پدیده‌های

نتیجه عمل کارستی شدن، ایجاد ژئومورفولوژی ویژه است که مناطق کارستی را از نواحی غیر کارستی جدا می‌کند. پدیده‌های ژئومورفولوژی ناشی از کارستی شدن سنگ‌ها در سطح و زیر سطح، کلیدی برای درک تکامل کارست در یک منطقه می‌باشند (Waele et al. 2009). انحلال سنگ‌ها، پدیده‌های مورفولوژیکی خاصی را با ابعاد کمتر از یک میلی‌متر (میکروکارن‌های کوچک) تا بیش از چندین کیلومتر (پولیه‌ها) ایجاد می‌نماید. به‌طور کلی، انحلال در سطح، با

مورفولوژیکی در تکامل این پدیده، در منطقه کارستی گرین در شهرستان نهاوند می‌باشد.

۲- روش تمقیق

در این پژوهش، پس از انجام بازدیدهای صحرایی از منطقه پدیده‌های ژئومورفولوژی کارست، گسل‌ها و شکستگی‌ها شناسایی و مشخصات آنها اندازه‌گیری شد. نمونه برداری از واحدهای کربناته انجام شد، سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک دانشگاه بوعلی سینا ارسال شدند. در ادامه، به منظور شناخت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سنگ‌های کربناته و نقش آنها در توسعه و گسترش کارست، مطالعات آزمایشگاهی شامل تهیه مقطع نازک سنگ و انجام آزمایش‌های فیزیکی مطابق با استاندارد (International Society for Rock Mechanics, ISRM) انجام شد.

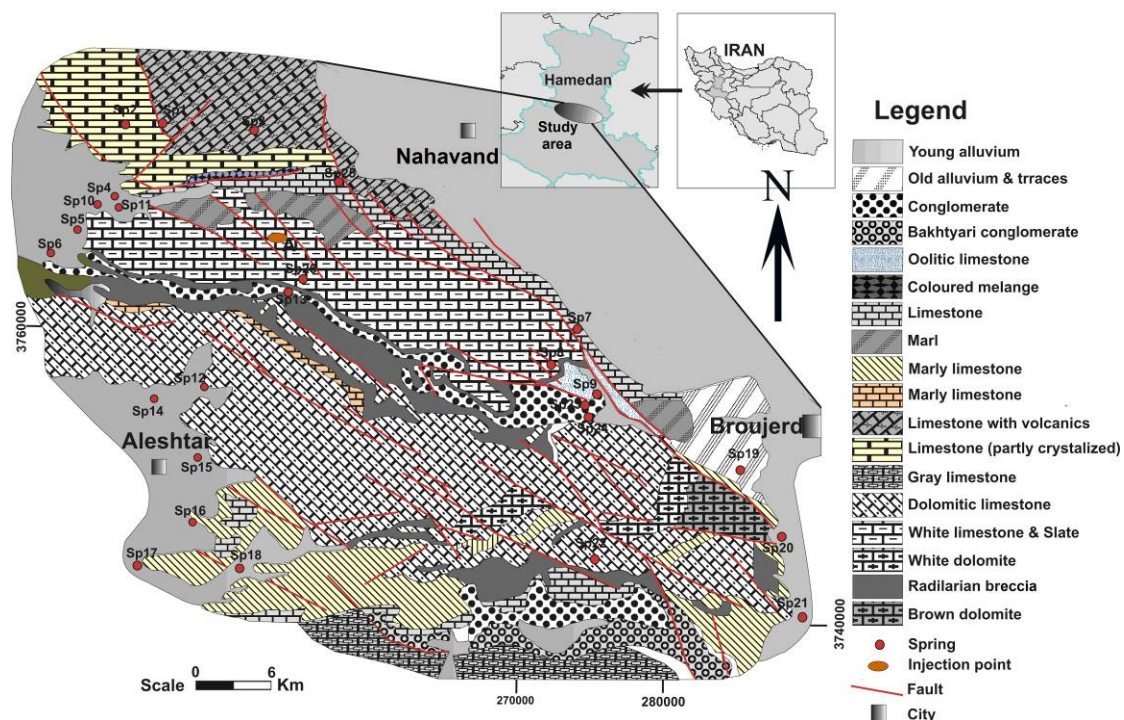
۲-۱- بررسی‌های صحرایی

۲-۱-۱- زمین‌شناسی

محدوده مورد مطالعه در مرز زون سنندج- سیرجان و زاگرس مرتفع (کمربند تراستی زاگرس) قرار داشته و همبری بیش از ۹۰ درصد از واحدها، نتیجه گسلش یا رورانگی می‌باشد. عملکرد این گسل‌ها باعث برونود واحدهای مربوط به دوران‌های دوم و سوم زمین‌شناسی (تریاس- ژوراسیک تا کواترنر) در منطقه شده است (تصویر ۱).

مورفولوژی کارست نشان‌دهنده‌ی گسترش کارست در ناحیه می‌باشد (کریمی ۱۳۸۹، قبادی ۱۳۸۸ و Waele et al. 2009). به عبارت دیگر می‌توان گفت که وجود و یا عدم وجود هر یک از اشکال کارستی در یک منطقه می‌تواند راهنمایی برای شناخت بهتر و بیشتر سیستم کارستی منطقه باشد. به عنوان مثال؛ پولیه‌ها یا پولزه‌ها، نماد نواحی کارستی هستند که حضور آنها می‌تواند بیانگر گسترش کارست کامل در یک منطقه باشد (Cooper et al. 2011).

در مناطقی که کارست به صورت کامل توسعه یافته است، اشکال سطحی کارست مانند دولین‌ها و اشکال زیرسطحی مثل غارها گسترش دارند و بالعکس در مناطقی که کارست به صورت ناقص یافت می‌شود، اشکال ناشی از انحلال مثل فروچاله و پولیه مشاهده نمی‌شوند (Heidari et al. 2011). کوه گرین از رشته کوه‌های مهم غرب ایران است که بیشترین مساحت آن در شمال استان لرستان و بخشی نیز در استان‌های همدان و کرمانشاه قرار دارد. منطقه مورد مطالعه از غرب به دلفان، از شمال به شهرستان نهاوند، از شرق به شهرستان بروجرد و از جنوب به شهرستان الشتر محدود می‌شود (تصویر ۱). سراب‌های فراوانی نظیر گاماسیاب، کهمان، گیان و ونایی در پای این رشته کوه وجود دارند که آب آشامیدنی و آب مورد نیاز کشاورزی دشت سیلاخور، نهاوند، نورآباد و الشتر را تأمین می‌کنند. رودهای دز و گاماسب نیز از این چشمه‌ها تغذیه می‌شوند (سلیمی ۱۳۸۸ و موسیوند ۱۳۸۵). هدف از این پژوهش، ارزیابی وضعیت گسترش کارست و نقش لیتولوژی، ویژگی‌های فیزیکی و پدیده‌های



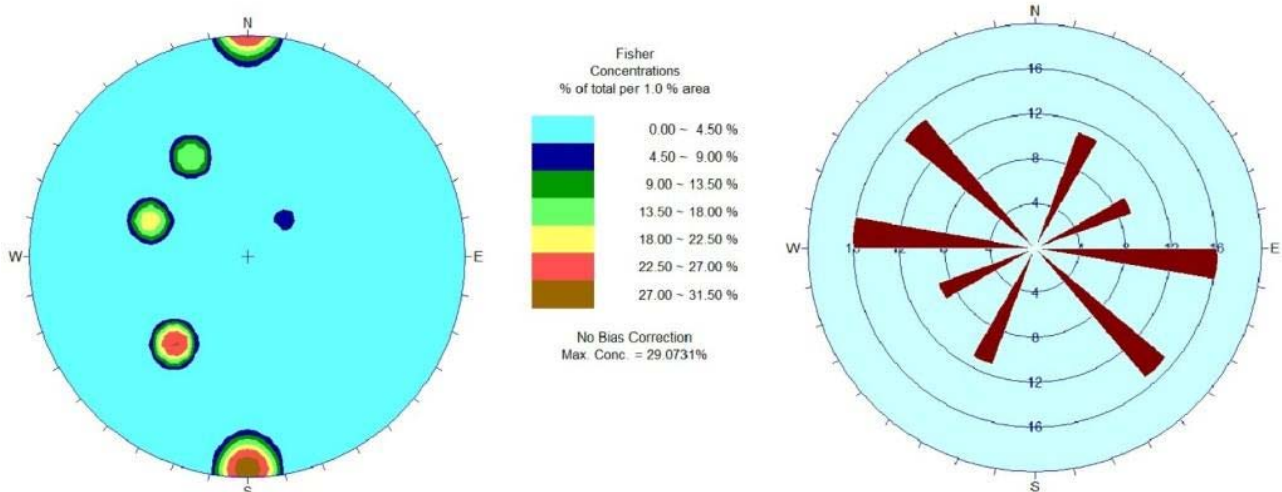
تصویر ۱- نقشه زمین‌شناسی و موقعیت منطقه مورد مطالعه (وزارت نیرو ۱۳۸۴)

رسوبی نیمه نفوذپذیر منطقه، آمیزه‌ای آذرآواری است که در آن سنگ‌های آهکی بلورین کراتسه پایینی و قطعات سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب داسیت و آندزیت وجود دارد. در این منطقه، تناوبی از نهشته‌های کنگلومرا با میان لایه‌های مارن و رس نیز مشاهده شده است (موسیوند ۱۳۸۵).

مهم‌ترین واحد نفوذناپذیر، رادیولاریت‌ها می‌باشند که عمدتاً در راستای گسله سراسری زاگرس پدیدار شده‌اند. یکی از واحدهای نفوذناپذیر، آمیزه رنگینی است که سنگ‌های تشکیل دهنده آن گابرو، هارزبورژیت و شیل‌های سیلیسی-رادیولاریتی می‌باشند، این واحد رخنمون چندانی در منطقه ندارد. مطالعات محلی نشان داد که منطقه مورد نظر به شدت تکتونیزه می‌باشد. گسل‌ها و سیستم‌های شکستگی متعددی توده‌های سنگی منطقه را قطع نموده که سازو کار آنها به طور عمده فشاری می‌باشد. مهم‌ترین آنها گسل‌های گرین-گاماسیاب (GGBF) و گرین-کهمان (GKF) است.

در بازدیدهای صحرایی، ۱۳۸ درزه برداشت شد. براساس نمودار گل‌سرخ‌تریسیم شده (تصویر ۲)، پنج سیستم درزه در توده سنگ‌های آهکی منطقه مشاهده شد که دو سیستم درزه غالب امتداد شمال غربی - جنوب شرقی و تقریباً شرقی - غربی دارند. سیستم‌های شکستگی غالب عمدتاً عمودی و یا نزدیک به عمود هستند. مشاهدات صحرایی، گسترش کارست را در امتداد شکستگی‌های عمودی نشان داد.

بیش از ۹۰ درصد منطقه مورد مطالعه از سنگ‌های کربناته (ژوراسیک تا میوسن) تشکیل شده است. این سنگ‌ها به دلیل عملکرد شدید تکتونیک، بشدت خرد شده و دارای تخلخل ثانویه بالایی می‌باشند. واحدهای دولومیتی و آهکی ژوراسیک پایینی بیشترین گسترش را در منطقه دارند (موسیوند ۱۳۸۵). این دو واحد توسط کمربندی از رادیولاریت از یکدیگر جدا شده‌اند. دامنه شمالی کوه گرین به طور کلی از سنگ آهک‌های اولیگوسن-میوسن تشکیل شده است. این واحدها شامل دو بخش (OML) و (OMm) می‌باشد. بخش OML عمدتاً از دولومیت‌های ضخیم لایه خاکستری، سنگ آهک و میان-لایه‌های سنگ آهک مارنی و مارن تشکیل شده است. بخش OMm، بالاترین واحد لیتولوژی اولیگوسن - میوسن می‌باشد که دارای لیتولوژی آهکی، آهک مارنی با میان لایه‌های ماسه سنگی است. این بخش بیشتر از ۱۰۰۰ متر ضخامت دارد و در راستای گسله زاگرس در کنار سنگ‌های رسوبی - آتشفشانی کراتسه قرار گرفته است (تصویر ۱ و ۱۸). دایک‌های آپلیتی، گابرو و آندزیت‌های پیروکلاستیک با سن تریاس از جمله واحدهای نیمه تراوا در منطقه بوده که رخنمون زیادی ندارند و به دلیل گسترش شکستگی در آنها، تا حدودی تراوا محسوب می‌گردند. همچنین می‌توان به لایه‌هایی از سنگ‌های آذرین دگرگون شده با ترکیب بازالتی به همراه میان لایه‌هایی از مرمر اسلیتی که رخنمون‌های قابل ملاحظه‌ای دارند، اشاره کرد. از دیگر واحدهای



تصویر ۲- نمودار گل‌سرخ‌تری و کنتور دیاگرام درزه‌های منطقه

پدیده‌های کارستی چه به صورت سطحی و چه زیر سطحی از گسترش قابل توجهی برخوردار می‌باشند. بر اساس مشاهدات و بررسی‌های صورت گرفته، بیشترین پدیده‌های سطحی کارست منطقه کارن‌ها می‌باشند که در انواع میکرو کارن‌ها و رونل کارن‌ها یافت می‌شوند. کارن‌ها به طور کلی در راستای مه درزه‌ها به وجود آمده‌اند

۱-۲- پدیده‌های ژئومورفولوژی کارست

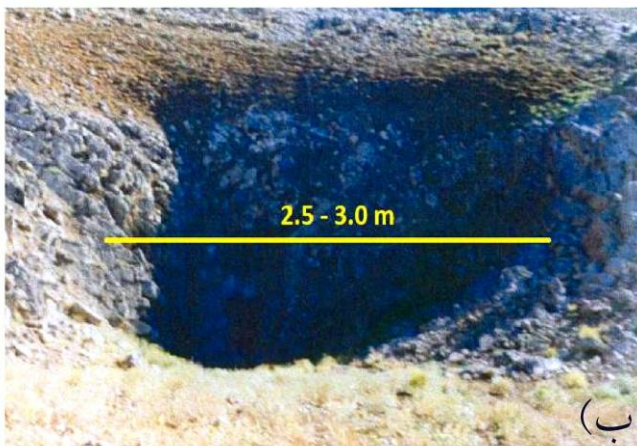
چشم‌اندازهای کارستی، پدیده‌های زمین‌شناسی می‌باشند که به صورت سطحی و زیرسطحی توسعه پیدا می‌کنند. به منظور یافتن اشکال سطحی و زیرسطحی کارست، منطقه مورد مطالعه طی چندین مرحله مورد پیمایش قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد که اشکال و

این پدیده‌ها به نام چال و چاه خوانده می‌شود و در طول سال به استثناء فصول پرباران، آبراهه ویژه‌ای به این چال‌های انحلالی نمی‌رسد (تصویر ۴-ب). از دیگر پدیده‌های کارستی موجود در منطقه، پونورها یا چاه‌های مکند می‌باشند که در ارتفاعات مربوط به نوار بالایی کوه گرین قابل مشاهده اند. این گونه پدیده‌ها در گویش محلی چالاب خوانده می‌شوند چون جریان آب (برفاب) در آنها زهکشی می‌شود. بزرگ‌ترین آنها ژرفای ۱۵ متری و دهانه‌ای به عرض ۲/۵ تا ۳ متر دارد، شکاف بسیار مشخص و فراخ شده‌ای در دیواره پونور دیده می‌شود که انحلال سنگ آهک از طریق آن صورت گرفته است (تصویر ۴-الف).

که با بیش از یک متر عمق از پدیده‌های عمومی در سنگ آهک کارستی می‌باشند (تصویر ۳-الف). به دلیل وجود لایه‌هایی با انحلال‌پذیری متفاوت و همچنین وجود ناخالصی در قسمت‌های مختلف لایه، پدیده‌هایی مانند میکروکارن و میکرواسپیتزکارن، در آهک‌های جنوب غرب ایران وجود دارد (کریمی ۱۳۸۹). در آهک‌های موجود در کوه گرین نیز میکرواسپیتزکارن‌ها قابل مشاهده می‌باشند (تصویر ۳-ب). چاه‌های انحلالی در قسمت برهنه سنگ‌های آهکی دیده می‌شوند. به دلیل ریزش قطعه سنگ‌های کوچک و بزرگ از دیواره‌های چاه به درون آن، عمق واقعی چاه مشخص نبوده اما، عمق ظاهری (قسمت خالی مانده) آنها معمولاً از ۵ تا ۸ متر متغیر می‌باشد. در گویش محلی،



تصویر ۳- (الف) کارن‌های توسعه یافته، (ب) میکرواسپیتز کارن



تصویر ۴- (الف) نمای از دهانه پونور، (ب) نمای از یک چاه انحلالی

دارند (تصویر ۵ ب). در محدوده مورد مطالعه، غارها نیز گسترش قابل توجهی را دارند که مهم‌ترین آنها، غار گاماسیاب است که در گذشته محل خروج چشمه کارستی گاماسیاب بوده است. این غار هم اکنون

پنجره‌های کارستی، از دیگر پدیده‌های سطحی کارست در منطقه می‌باشند که در محل تقاطع دسته درزه‌ها ایجاد شده‌اند (تصویر ۵-الف). حفرات انحلالی نیز گسترش فراوانی را در ناحیه مورد مطالعه

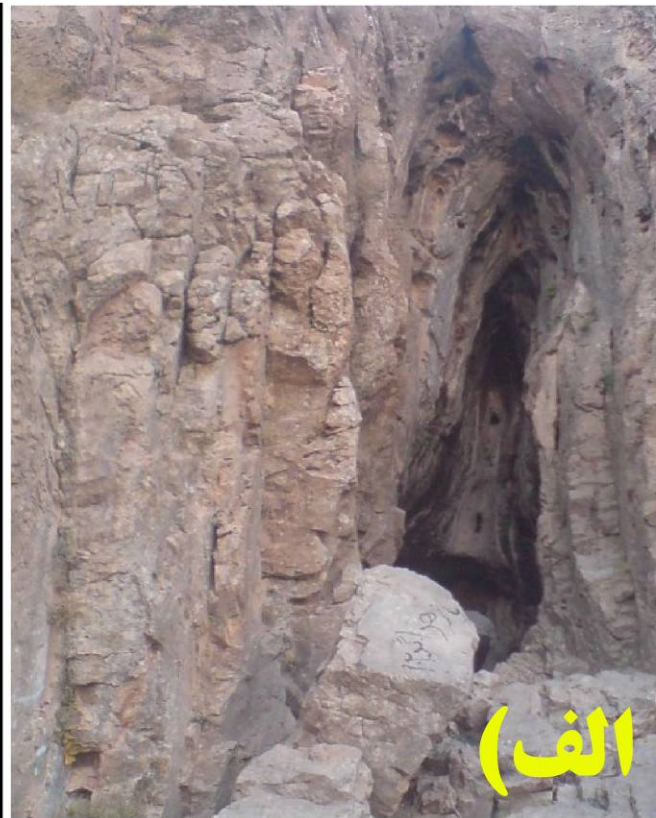
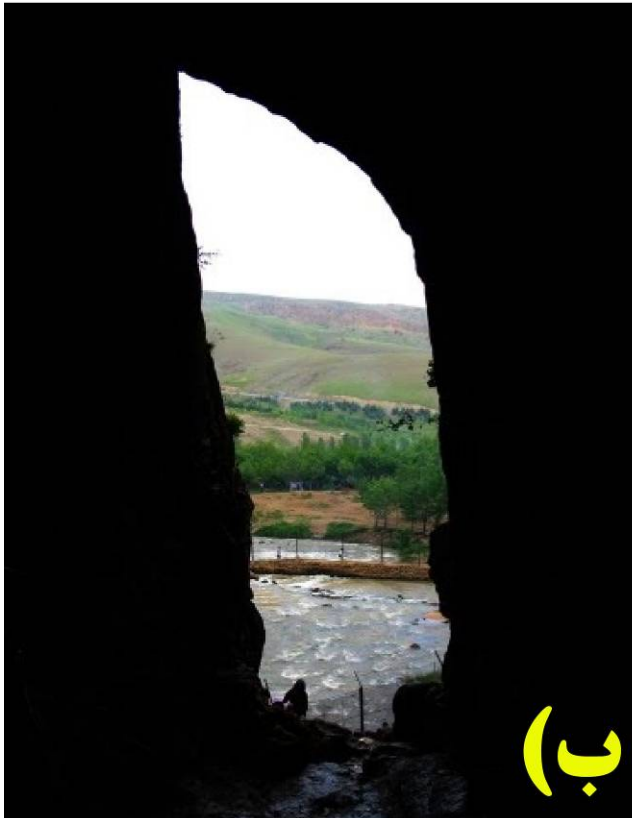
متوسط ۴ مترمکعب برثانیه در منطقه، بیانگر گسترش و توسعه آبخوان‌های کارستی می‌باشد. مهم‌ترین این چشمه‌های گسله، چشمه یا سراب گاماسیاب، چشمه کهمان و چشمه یا سراب گیان است (تصویر ۷ الف و ب) که به ترتیب با گسل‌های گرین-گاماسیاب (GGBF) و گرین-کهمان (GKF) مرتبط هستند (تصویر ۸).

خشک است و دارای عرض ۲-۳ متر و ارتفاع حداکثر ۶ متر می‌باشد که حفره‌های انحلالی به خوبی در آن قابل مشاهده می‌باشد (تصویر ۶).

لازم به ذکر است که غارها عمدتاً در سنگ آهک‌های توده‌ای که از ضخامت زیادی برخوردارند، تشکیل می‌شوند (Maurice et al. 2010). علاوه بر غارها، وجود چشمه‌های متعدد کارستی با آبدهی



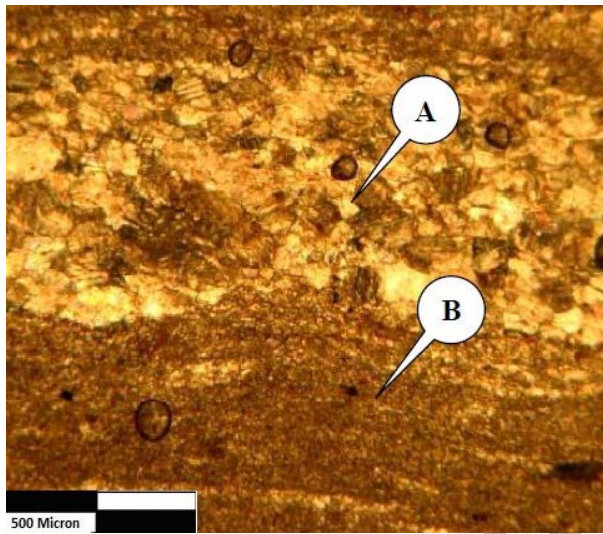
تصویر ۵- (الف) پنجره کارستی، (ب) حفرات انحلالی



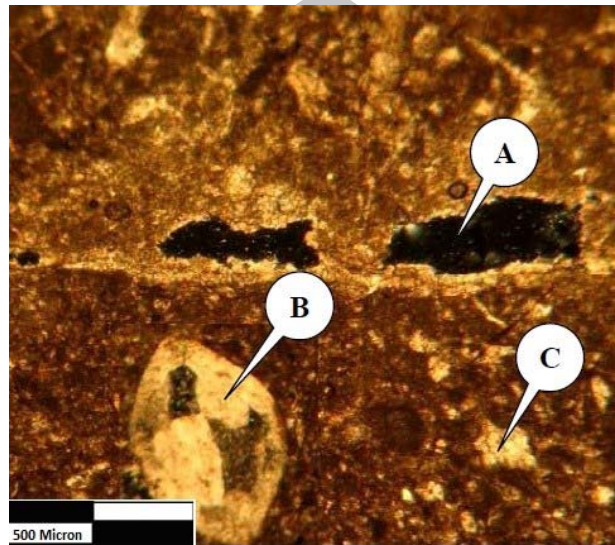
تصویر ۶- (الف) نمایی از دهانه غار گاماسیاب، (ب) نمایی از سراب گاماسیاب از درون غار گاماسیاب

جدول ۱- نتایج مطالعه مقاطع نازک سنگ

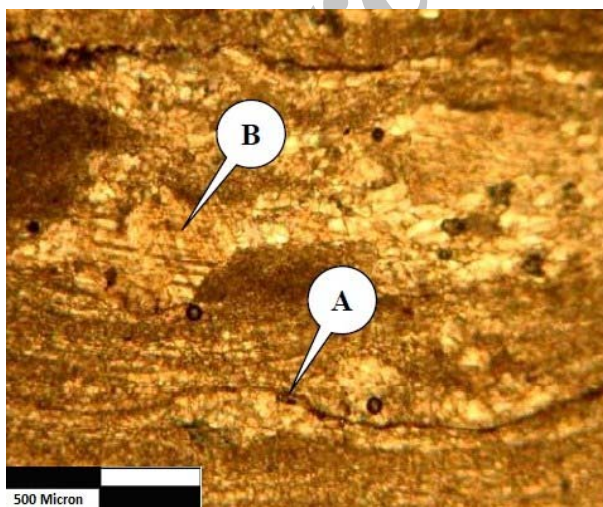
شماره نمونه	محل نمونه برداری	ذرات تشکیل دهنده	نام سنگ به روش فولک
Ga1	سراب گاماسیاب	بلورهای یوهدرال دولومیت، بلور کلسیت، فسیل میلیولید، جلبک قرمز	بایوکلاست پکستون دولومیتی شده
Ga2	سراب گاماسیاب	جلبک، فرامینیفر، استراکود، بلورهای کلسیت	بایوکلاست پکستون
Gy	سراب گیان	ذرات آهکی ریزدانه و گوشه دار، فسیل گلوبیژرینا	مادستون آهکی



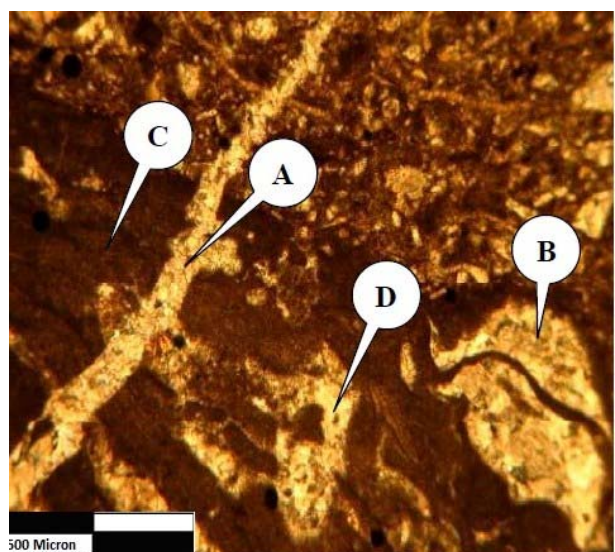
تصویر ۱۱- مقطع نازک نمونه Gy، A: سیمان اسپاری کلسیتی انهدرال یا بی شکل، B: پوشش جلبکی (Algal mat) از جنس میکرایت که خاص محیط‌های بین جزرومدی است.



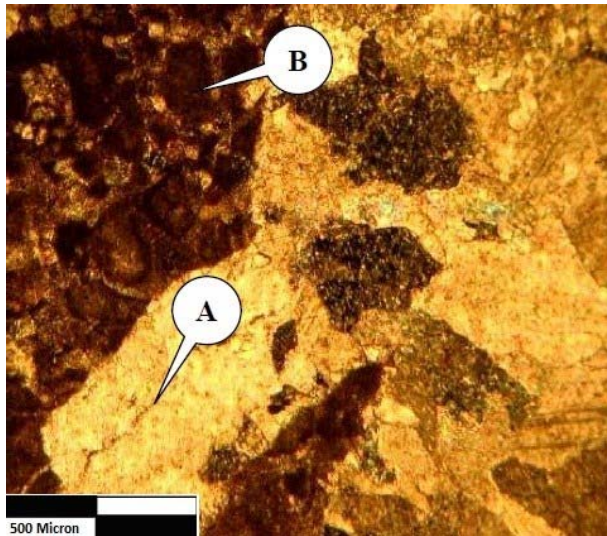
تصویر ۹- مقطع تهیه شده از نمونه Ga2، A: تخلخل حفره ای، B: فسیل استراکود که با سیمان قالبی موزائیکی کلسیتی پر شده است، C: تخلخل بین دانه ای که توسط سیمان کلسیتی پر شده است



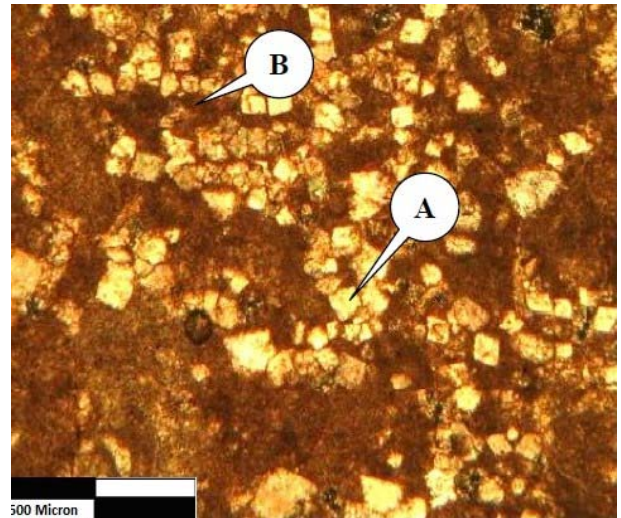
تصویر ۱۲- مقطع نازک نمونه Gy، A: رگچه انحلالی که در اثر تراکم شیمیایی ناشی از وزن طبقات فوقانی ایجاد شده است که با اکسید آهن پر شده است، B: سیمان اسپاری کلسیتی انهدرال.



تصویر ۱۰- مقطع تهیه شده از نمونه Ga2، A: شکستگی تکتونیکی پر شده با سیمان کلسیتی، B: فسیل میوزپسینا، C: جلبک قرمز، D: تخلخل بین دانه ای که توسط سیمان کلسیتی پر شده است.



تصویر ۱۴-مقطع نازک نمونه Ga1، A: سیمان کلسیتی موزائیکی بلوکی، B: پلت از جنس میکرایت که در محیط‌های کم انرژی تشکیل می‌شود.



تصویر ۱۳- مقطع نازک نمونه Ga1، A: بلورهای دولومیت شکل دار که مخصوص محیط تدفینی و نسبت Mg/Ca در آن افزایش یافته است، B: تخلخل بین بلوری و متن سنگ که میکرایتی شده است.

۲، نتایج آنالیز شیمیایی سنگ‌های کربناته، نشان‌دهنده‌ی درجه خلوص و قابلیت انحلال بالای این سنگ‌ها است. بنابراین شکل‌گیری پدیده‌های کارستی قابل پیش‌بینی می‌باشد.

با توجه به نتایج آنالیز ارائه شده در جدول ۲ ملاحظه می‌شود که در هر سه تیپ سنگ مورد مطالعه، میزان اکسید کلسیم بیشتر از ۵۰ درصد می‌باشد، اما میزان اکسید منیزیم به ترتیب برای نمونه‌های Ga2، Ga1 و Gy، معادل ۲/۴۷، ۰/۶۶ و ۱/۳۹ درصد می‌باشد. با توجه به جدول

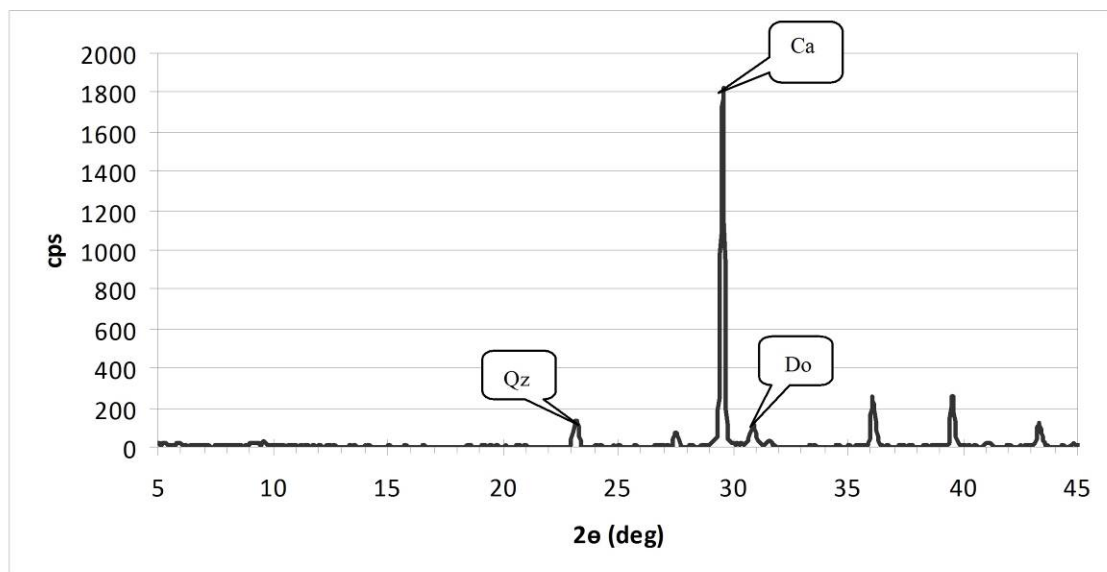
جدول ۲- نتایج آنالیز XRF نمونه‌های مورد مطالعه

شماره نمونه	نوع اکسید	Gy	Ga2	Ga1
	SiO ₂	۲/۱۱	۰/۴۳	۱/۶۳
	Al ₂ O ₃	۰/۸۸	۰/۰۹	۰/۱۴
	Fe ₂ O ₃	۰/۳۸	۰/۰۳	۰/۲۱
	CaO	۵۲/۳۱	۵۴/۵۴	۵۱/۳۱
	Na ₂ O	۰/۱	۰/۰۷	۰/۰۶
	K ₂ O	۰/۱۷	۰/۰۱	۰/۲۴
	MgO	۱/۳۹	۰/۶۶	۲/۴۷
	So ₃	۰/۰۴	۰/۰۰۳	۰/۱۴
	L.O.I	۴۲/۶	۴۳/۶۶	۴۳/۴۶
	MnO	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱

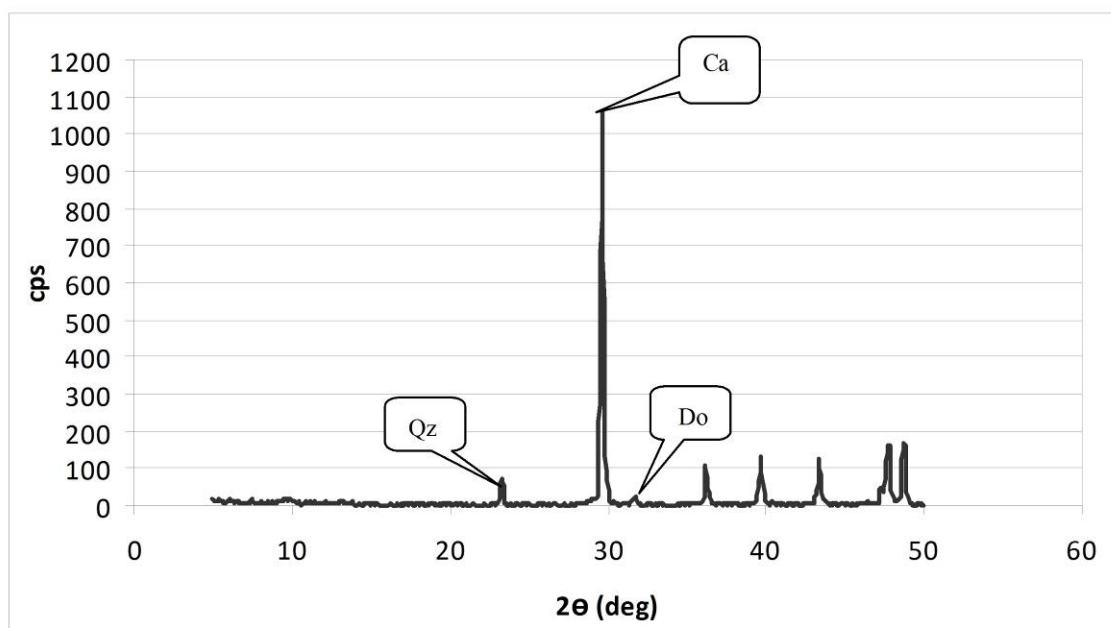
آنالیز XRD

کرده و پودر مناسب تهیه شد. نتایج آنالیز XRD به صورت نمودار ارائه گردیده است (تصویرهای ۱۵، ۱۶ و ۱۷). با توجه به این نمودارها در تمامی نمونه‌ها، فراوان‌ترین کانی موجود در سنگ‌های کربناته، کانی کلسیت است که نشان‌دهنده انحلال پذیری زیاد سنگ‌ها می‌باشد. بنابراین نتایج این آنالیز، با نتایج مطالعات صحرایی (مبنی بر توسعه و فراوانی اشکال کارستی در منطقه) و نتایج آنالیز XRF (مبنی بر بالا بودن درصد اکسید کلسیم) مطابقت دارد.

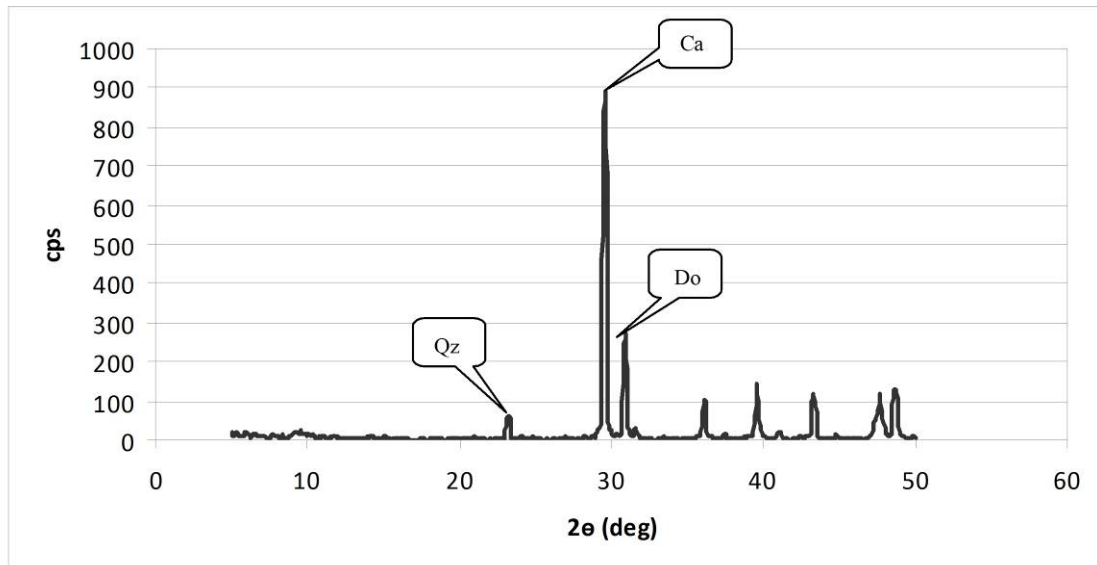
یکی از عوامل مهم جهت شناخت خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی سنگ‌ها، تعیین مقدار و نوع کانی‌های رسی است. در این راستا بهترین روش جهت شناسایی کانی‌های مذکور، استفاده از پراش اشعه ایکس می‌باشد. برای انجام آنالیز ایکس آر دی (XRD: X-Ray Diffraction) از هر واحد کربناته، ۱ نمونه انتخاب گردید. پس از خرد کردن نمونه‌ها و عبور دادن آن‌ها از الک شماره ۲۰۰، برای رسیدن به اندازه استاندارد (۴ میکرون)، نمونه‌ها را مجدداً در هاون آسیاب



تصویر ۱۵- نتایج آنالیز XRD نمونه سنگ آهک Gy، Ca: کلسیت، Do: دولومیت، Qz: کوارتز



تصویر ۱۶- نتایج آنالیز XRD نمونه سنگ آهک Ga2، Ca: کلسیت، Do: دولومیت، Qz: کوارتز



تصویر ۱۷- نتایج آنالیز XRD نمونه سنگ آهک Ga1, Ca: کلسیت، Do: دولومیت، Qz: کوارتز

۲-۲-۲- ویژگی‌های فیزیکی

کربناته، مطابق با استاندارد (ISRM 1977)، آزمون‌های تعیین خصوصیات فیزیکی شامل درصد رطوبت، دانسیته خشک، وزن مخصوص قسمت جامد و درصد تخلخل انجام شد، نتایج در جدول ۳ آورده شده است. از میانگین نتایج برای توصیف خصوصیات فیزیکی نمونه‌ها بر اساس رده بندی ISRM استفاده شد که نتایج در جدول ۴ آورده شده است.

کارستی شدن با ویژگی‌های فیزیکی سنگ‌ها نیز ارتباط مستقیم دارد. ویژگی‌های فیزیکی مانند درصد تخلخل، در ایجاد کارست و میزان گسترش آن نقش مهمی ایفا می‌کنند. بیشترین میزان تغییرات در قابلیت انحلال سنگ‌های کربناته، در ارتباط با طبیعت، اندازه و نوع حفرات موجود در آنها می‌باشد که معرف تخلخل سنگ است (Ford & Williams 2007). به همین منظور برای ۱۰ نمونه از سنگ‌های

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی نمونه‌های مورد مطالعه

شماره نمونه	درصد رطوبت (%)	وزن مخصوص (G_s)	دانسیته خشک (g/cm^3)	تخلخل (%)
Gy1	۰/۰۷۵	۲/۶۸	۲/۶۵۶	۰/۹۷
Gy2	۰/۰۷۴	۲/۷	۲/۶۸۹	۰/۶۳
Gy3	۰/۱۱	۲/۷	۲/۶۸۱	۰/۷۳
Gy4	۰/۰۸۲	۱/۸۶	۲/۶۷	۰/۸۶
Ga1-1	۰/۰۱	۲/۸۸	۲/۸۷	۰/۲۱
Ga1-2	۰/۰۲	۲/۸۸۳	۲/۸۸	۰/۱۱
Ga1-3	۰/۰۲۵	۲/۸۵۴	۲/۸۵	۰/۱۴
Ga2-1	۱/۶۶	۲/۴۶	۲/۴	۲/۷۵
Ga2-2	۱/۲۷	۲/۴۱	۲/۳۵	۲/۵۸
Ga2-2	۱/۶۸	۲/۴۴	۲/۳۸	۲/۴۲

جدول ۴- میانگین نتایج خصوصیات فیزیکی و توصیف آنها بر اساس رده بندی ISRM 1977

ردیف	محل نمونه	دانشیه خشک (g/cm ³)	توصیف	تخلخل (%)	توصیف
۱	گاماسیاب (۱)	۲/۸۶	خیلی بالا	۰/۱۵۳	خیلی پائین
۲	گاماسیاب (۲)	۲/۳۷	متوسط	۲/۵۸	پائین
۳	گیان	۲/۶۷۴	بالا	۰/۷۹	خیلی پائین

۳- بحث

و عوارض کارستی به صورت فروچاله‌ها، غارها، چشمه‌های کارستی، پونورها، چاه‌های کارستی، اشکال برجی، حفرات انحلالی، پنجره‌های کارستی و انواع کارن‌ها قابل مشاهده می‌باشند. فراوانی این پدیده‌ها، نشان‌دهنده توسعه کارست در منطقه می‌باشد. می‌توان گفت که چشم‌اندازهای کارستی در منطقه، ناشی از فرایندهای مورفودینامیکی درونی و بیرونی در طی زمان است. از مهم‌ترین عوامل درونی مؤثر در شکل‌گیری پدیده‌های کارستی، تکنونیک شدید و لیتولوژی کربناته می‌باشد. مؤثرترین عوامل بیرونی در ایجاد کارست، اقلیم، ارتفاع زیاد و زمان است. در واقع وجود تکنونیک فعال در منطقه موجب توسعه شکستگی‌ها شده و گسترش سنگ‌های انحلال پذیر نیز موجب شکل‌گیری انواع متنوعی از اشکال کارستی گردیده است.

۴- نتیجه‌گیری

بر اساس مشاهدات صحرایی، واحدهای کربناته در منطقه گسترش زیادی دارند. آب و هوای منطقه سرد و خشک بوده و ناحیه از نظر تکنونیک فعال می‌باشد. ساختاری‌های تکنونیک مانند گسل‌ها و انواع شکستگی‌ها فراوان هستند و بیشترین توسعه کارست در امتداد شکستگی‌های کششی رخ داده است. انواع پدیده‌های ژئومورفولوژیکی کارست مانند فروچاله‌ها، غارها، چشمه‌های کارستی، پونورها، چاه‌های کارستی، اشکال برجی، حفرات انحلالی، پنجره‌های کارستی و انواع کارن‌ها در ناحیه قابل مشاهده است. چشمه‌های منطقه از نظر وضعیت آبدهی دائمی بوده و از نظر مکانیسم تشکیل، جزء چشمه‌های گسله محسوب می‌شوند. این چشمه‌ها که زهکش‌های اصلی محسوب می‌شوند در توسعه کارست نیز نقش عمده ای دارند.

بر اساس مطالعات آزمایشگاهی، درصد اکسید کلسیم و اکسید منیزیم سنگ‌های کربناته به ترتیب بیش از ۵۰ درصد و حداکثر ۲/۴۷ درصد و کلسیت فراوانترین کانی موجود در واحدهای سنگی مذکور می‌باشد. با توجه به تخلخل پائین سنگ بکر، کارستی شدن ناشی از تخلخل ثانویه است. بنابراین با توجه به گسترش سنگ‌های کربناته، ترکیب مناسب سنگ‌شناسی واحدهای آهکی، تخلخل ثانویه توده‌های سنگی و فراوانی چشم‌اندازهای کارستی که به صورت سطحی و زیر سطحی

نفوذپذیری و قابلیت انحلال توده‌های سنگی، دو عامل مهم در ایجاد و توسعه کارست محسوب می‌شوند. مهم‌ترین عامل هدایت آب در سنگ‌های کربناته، شکستگی‌ها هستند. شکستگی‌ها، موجب نفوذ نزولات جوی به درون سنگ‌ها می‌شوند و حضور آب باعث فراخ‌تر شدن درز و شکاف‌ها شده که در نهایت باعث گسترش کارستی شدن در جهت عمودی، افقی و مایل می‌شود (رضایی ۱۳۷۷، کریمی ۱۳۸۹ و قبادی ۱۳۸۸). گسله بودن و شکستگی‌های زیاد (به صورت عمود و به موازات لایه بندی قرار دارند) در منطقه مورد مطالعه، زمینه را برای شکل‌گیری غار فراهم نموده است (غار گاماسیاب).

وجود شکستگی‌های عمودی (فراهم نمودن شرایط مناسب برای حرکت آب) با شیب هیدرولیکی قائم در منطقه، موجب تشکیل چاه‌های کارستی عمودی شده که نمونه‌های آن در بازدیدهای صحرایی مشاهده گردید. پیشرفت عمل حل شدن در این نقاط، ممکن است در نهایت منجر به تشکیل غارهای کارستی گردد (کنگی و همکاران، ۱۳۸۹). وجود سیستم درزه‌های کششی موجب تفکیک بلوک‌های سنگی شده که توسعه این درزه‌ها افزایش تخلخل ثانویه توده سنگ را در پی داشته است.

آبخوان‌های کارستی مناسب در منطقه که سراب‌های متعددی را تغذیه می‌کنند، بر تخلخل ناشی از شکستگی (تخلخل ثانویه) و نفوذپذیری زیاد توده‌های کربناته دلالت دارند. ترکیب مناسب سنگ‌شناسی واحدهای کربناته نشان داد که با توجه به فراوانی ساختارهای تکنونیک، شرایط مناسبی برای توسعه کارست در منطقه موجود است. مطالعه مقاطع نازک سنگ، تخلخل حفره ای زیاد و شکستگی‌های پر شده از کلسیت را در منطقه نشان داد. در نمونه‌های مورد آزمایش، مقدار CaO بیش از ۵۰ درصد MgO کمتر از ۲/۵ درصد محاسبه گردید. از نظر ترکیب کانی شناسی، فراوان‌ترین کانی موجود کلسیت می‌باشد که این شرایط نشان دهنده درجه خلوص سنگ‌های کربناته است و با توسعه کارست در منطقه نیز همخوانی دارد.

در منطقه، پدیده‌های ژئومورفولوژیکی کارست به خوبی شکل گرفته

testing from karstic features in a porous limestone", *Journal of Hydrology*, Vol. 389 (1-2): 31-41.

Veni, G., 1999, "A Geomorphological Strategy for Conducting Environmental Impact Assessments in Karst Areas", *Geomorphology*, Vol. 31 (1): 151-180.

Waele, J.D., Plan, L. & Audra, P., 2009, "Recent developments in surface and subsurface karst geomorphology: An introduction", *Geomorphology*, Vol. 106 (1-2): 1-8.

وجود دارند، کارست در منطقه گرین شهرستان نهاوند توسعه یافته است.

مراجع

سلیمی، س.، ۱۳۸۸، "بررسی زمین‌شناسی مهندسی سنگ آهک‌های جنوب و جنوب شرق همدان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا.

رضایی، م.، و زمانی، ا.، ۱۳۷۷، "ارتباط سیستم ساختمانی و کارست شدگی"، مجموعه مقالات دومین سمپوزیوم بین‌المللی منابع آب کارست در ایران، تهران.

کریمی، و. ح.، ۱۳۸۹، "درآمدی بر توسعه کارست در منطقه جنوب غرب ایران"، نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، ۲۳-۲۱ اردیبهشت ۱۳۸۹، اداره آب منطقه‌ای کرمانشاه.

کنگی، ع.، رهنماری، ج.، و درزاده، ح.، ۱۳۸۹، "نقش شکستگی‌های فصل مشترک در فرار آب از زیر پی سد خلیفان و روش آب بندی آن"، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی دانشگاه آزاد، سال ۶ (۴): ۳۱۵-۳۰۳.

قبادی، م. ح.، ۱۳۸۸، "زمین‌شناسی مهندسی کارست"، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، چاپ دوم.

موسیوند، م. ص.، ۱۳۸۵، "مطالعه زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه سد گرین نهاوند"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا.

وزارت نیرو، شرکت سهامی آب منطقه‌ای غرب، ۱۳۸۴، "گزارش مطالعات ردیابی طرح سد مخزنی گرین"، مهندسین مشاور گمانه کاور.

Cooper, A. H., Farrant, A. R. & Price, S. J., 2011, "The use of karst geomorphology for planning, hazard avoidance and development in Great Britain", *Geomorphology*, Vol. 134 (1-2): 118-131.

Folk, R. L., 1959, "Practical petrographic classification of limestones", *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Vol. 43 (1): 1-38.

Ford, D. C., Williams, P., 2007, "Karst Hydrogeology and Geomorphology", *John Wiley & Sons*, 576 pp.

Heidari, M., Khanlari, G. R., Taleb Beydokhti, A. R. & Momeni, A. A., 2011, "The formation of cover collapse sinkholes in North of Hamedan, Iran", *Geomorphology*, Vol. 132 (3-4): 76-86.

International Society for Rock Mechanics, ISRM, 1977, "SM for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties", available in: (<http://www.isrm.net/gca/?id=177>, 2012/02/16)

Maurice, L., Atkinson, T. C., Williams, A. T., Barker, J. A. & Farrant, A. R., 2010, "Catchment scale tracer