

بررسی توسعه کارست‌های کنگلومرایی بر اساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی (مطالعه موردی: منطقه تنگه شبیخون، شهرستان خرم‌آباد)

امین جمشیدی*^۱ و مصطفی صداقت‌نیا^۲ و^۳

۱- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
 ۲- دانشجوی دکترا رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران
 ۳- کارشناس آزمایشگاه مرکزی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

نویسنده مسئول: Jamshidi.am@lu.ac.ir

نوع مقاله: پژوهشی

پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۲۷

دریافت: ۱۴۰۲/۴/۱۴

چکیده

یکی از پدیده‌های قابل توجه زمین‌شناسی در کنگلومرای سازند امیران در منطقه شبیخون شهرستان خرم‌آباد، توسعه کارست با توزیع، اشکال و اندازه‌های مختلف است که باعث ایجاد جاذبه ژئوتوریسمی منحصر به فردی در این منطقه شده است. تاکنون پژوهشی در زمینه توسعه و تشکیل کارست در رخساره‌های کنگلومرایی در ایران انجام نشده است. از آنجایی که توسعه کارست در رخساره‌های تخریبی درشت دانه نظیر کنگلومراها به ندرت اتفاق می‌افتد، لذا در پژوهش حاضر کارست‌های توسعه یافته در کنگلومراهای سازند امیران در منطقه مذکور با استفاده از مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی بررسی شده‌اند. بر اساس مطالعات صحرایی، ویژگی‌های سنگ‌شناسی، نشت آب در امتداد شکستگی و سطوح لایه‌بندی، پوشش خزه، جهت شیب دامنه و قلیایی بودن آب از عوامل اصلی توسعه کارست در منطقه تشخیص داده شدند. برای مطالعات آزمایشگاهی، از آزمایش دوام وارفتگی و ویژگی‌های سنگ‌شناسی استفاده شد. نتایج آزمایش دوام وارفتگی (تا ۱۵ چرخه) روی چهار نمونه مختلف کنگلومرا نشان داد که نمونه با سیمان کلسیتی ($Id_{15} = 97.56\%$) میزان فرسایش و تخریب کم‌تری نسبت به سایر نمونه‌های فاقد سیمان کلسیتی ($Id_{15} = 86.16-93.98\%$) داشته است. علاوه بر تأثیر نوع سیمان و خمیره رسی در فرسایش و تخریب کنگلومراها و در نتیجه توسعه کارست، قلیایی بودن آب منطقه نیز نقش بسزایی در فرسایش و تخریب کنگلومراهای بدون سیمان کلسیتی و در نتیجه توسعه شدیدتر کارست در آن‌ها در مقایسه با کنگلومرای با سیمان کلسیتی داشته است. به هر حال، برخی از کارست‌ها به دلیل انحلال سیمان کلسیتی شکل گرفته‌اند که فراوانی کم‌تری نسبت به کارست‌هایی که در سایر کنگلومراهای فاقد سیمان کلسیتی تشکیل شده‌اند، دارند. در واقع بررسی‌ها نشان‌دهنده این است که کارست‌های کنگلومرایی غالباً از نوع فرسایشی هستند. به طور کلی، نتایج مطالعات سنگ‌شناسی و آزمایشگاهی در تطبیق خوبی با شواهد صحرایی در ارتباط با چگونگی و شدت کارست‌زایی منطقه مورد مطالعه هستند.

واژه‌های کلیدی: کارست، کنگلومرا، آب قلیایی، تر و خشک شدن، خرم‌آباد

۱- پیشگفتار

به سنگ‌آهک‌های سازند تله‌زنگ ختم می‌شود و زمانی که آهک‌های تله‌زنگ وجود نداشته باشد، حد تماس بالایی آن رسوبات آواری امیران به سیلتستون و ماسه‌سنگ‌های قرمز رنگ سازند کشکان است. در برخی مناطق مانند شهرستان خرم‌آباد، گاهی سازند تارپور به صورت محلی بر روی سازند امیران قرار می‌گیرد. در این مناطق قدیمی‌ترین طبقات امیران که در زیر سازند تارپور قرار گرفته است تغییر رخساره داده و تبدیل به کنگلومرای توده‌ای با قلوه‌سنگ‌های چرتی شده است. این کنگلومرا به صورت غیر رسمی به بخش "کنگلومرایی خرم‌آباد" معروف است

سازند آواری امیران شامل حدود ۸۷۱ متر سیلت‌سنگ و ماسه‌سنگ به رنگ سبز زیتونی تیره تا قهوه‌ای و مقداری سنگ‌آهک و کنگلومرا با رخساره‌ی فلیش گونه است، به همین دلیل، گاهی با نام "فلیش‌های امیران" از آن نام برده می‌شود. برش الگوی این سازند در تاقدیس امیران، در کنار جاده اندیمشک- خرم‌آباد نزدیک روستای معمولان اندازه‌گیری شده است. مرز پایینی سازند امیران با مارن- مارن‌های خاکستری رنگ سازند گورپی هم‌شیب و تدریجی تدریجی است. در اغلب نقاط لرستان، حد بالایی این سازند

و مرکل (۲۰۱۵) چشمه‌های کارستی در اقلیم کردستان عراق را بر اساس عناصر شیمیایی طبقه‌بندی کرد. در ایران نیز مطالعات گسترده‌ای در ارتباط با تشکیلات زمین‌شناسی کارستی انجام شده است که اولین مطالعات در سال ۱۳۵۰ در ارتفاعات زون ساختاری زاگرس صورت گرفت. اولین مرکز مطالعات و پژوهش‌های کارست در شهرستان شیراز راه‌اندازی و تأسیس شد (ولایتی و خانعلی - زاده، ۲۰۱۲). در این مرکز پژوهشگران متعددی به مطالعه کارست در نقاط مختلف ایران پرداختند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به مطالعات مربوط به رئیسی (۲۰۰۲)، ولایتی و خانعلی‌زاده (۲۰۱۲) و قبادی (۲۰۰۷) اشاره کرد. تاکنون تعدادی پژوهش از جنبه‌های مختلف کارست به-ویژه چگونگی تشکیل و توسعه یافتگی، و منابع آبی آن‌ها صورت گرفته است. در پژوهش قبادی و قربانی صابر (۲۰۱۱) به شناسایی پدیده‌های زمین‌ریخت‌شناسی کارست در سازندهای ایلام و سروک در شهرستان خرم‌آباد و بررسی چگونگی گسترش کارست در آن‌ها پرداخته شد. در منطقه مورد مطالعه، چشمه‌ها، غارها، کمان و پنجره کارستی، حفره‌ها و شکاف‌های زیادی مشاهده شد که فرض گسترش کارست در منطقه را توجیه می‌کند. در طی درزه‌برداری از دو ایستگاه گرداب سنگی و سنگ سوراخ در مرکز شهر خرم‌آباد، جهت بزرگ‌ترین شیب صفحه‌ای که نماینده ناپیوستگی‌های غالب است، به عنوان جهت حرکت آب زیرزمینی در توده سنگ‌های کربناته در نظر گرفته شد. کارست‌های توسعه یافته در منطقه‌ی گرین در ارتفاعات سلسله کوه‌های زاگرس در غرب ایران توسط خانلری و مومنی (۲۰۱۲) بررسی شدند. این محققین با مطالعات زمین‌ریخت‌شناسی و هیدرولوژی کارست‌ها از طریق روش‌های تجربی و پیمایش‌های میدانی، به این نتیجه رسیدند که منطقه گرین یکی از مناطق فعال کارست‌زایی در ایران است. مولایی (۲۰۱۴) به بررسی میزان اهمیت عوامل مؤثر در توسعه کارست در ناقدیس گرین واقع در استان لرستان پرداخت. این محقق از پارامترهای سنگ‌شناسی، تراکم خطواره‌ها و گسل‌ها، شیب زمین، میزان نزولات جوی و پوشش گیاهی با استفاده از اطلاعات رقومی سنجش از دور، نقشه‌های زمین‌شناسی، نقشه‌های توپوگرافی و آمار نزولات جوی به منظور ارزیابی پتانسیل کارستی‌زایی استفاده کرد. بررسی‌های هیدروژئوشیمیایی نشان داد که انحلال سنگ‌های کربناته منطقه مورد مطالعه

(مطیعی، ۲۰۰۳). شواهد حاکی از آن است که سازند امیران در حوضه‌ای از نوع پروفورلند در کمربند چین‌خورده و رورانده‌ی زاگرس بعد از تصادم پوسته‌های قاره‌ای عربی و ایران مرکزی (فاز کوهزایی لارامین) نهشته شده و حاصل فرسایش رادیولاریت‌ها و افیولیت‌ها در شمال شرقی حوضه و سرازیر شدن محصولات حاصل از فرسایش به نواحی عمیق‌تر جنوب‌غربی و جنوب‌شرقی است (علوی، ۲۰۰۴). طبق گزارش اشتوکلین (۱۹۶۸) مطالعه تاریخچه مطالعات سازند امیران ابتدا توسط افرادی مانند فالکون (۱۹۶۱) و جیمز و واینند (۱۹۶۵) شروع شد. خسرو تهرانی و همکاران (۲۰۰۹) در حوضه لرستان و برش‌های مناطق چم‌سنگر و تنگ شیخون به ترتیب در شمال و شرق خرم‌آباد، سن سازند امیران را مائیس‌تریشتین میانی تا پالئوسن پیشنهاد دادند. گسترش جغرافیایی این سازند عمدتاً در استان لرستان می‌باشد و به مقدار کمتر در استان‌های کرمانشاه، خوزستان، چهار محال بختیاری و اصفهان می‌باشد (جیمز و واینند، ۱۹۶۵). یکی از پدیده‌های قابل توجه زمین‌شناسی در کنگلومرای سازند امیران در منطقه شبیخون شهرستان خرم‌آباد، توسعه کارست با توزیع، اشکال و اندازه‌های مختلف است که باعث ایجاد جاذبه ژئوتوریسمی منحصر به فردی در این منطقه شده است به طوری که هر ساله گردشگران زیادی را در استان لرستان و سایر استان‌های همجوار به خود جذب می‌کند. کارست یک فرآیند زمین‌شناسی زمان‌بر و پیچیده‌ای است که شکل‌گیری آن متأثر از عوامل مختلفی مانند جنس سنگ، میزان نزولات جوی، وجود جریان آب‌های زیرزمینی و سطحی و ترکیب شیمیایی آن‌ها، وجود سیستم‌های درزه، شکستگی، لایه‌بندی و غیره است. در ارتباط با گسترش و شکل‌گیری اشکال کارستی، محققینی همچون میلانوویچ و همکاران (۲۰۱۰) و ریتر (۱۹۹۵) مطالعات ارزنده‌ای انجام دادند. به دلیل گستردگی مناطق کارستی در جهان و بنابراین نقش مهمی که در زندگی بشر دارند، پژوهشگران زیادی را به مطالعه کارست از جنبه‌های مختلف سوق داده است. میلانوویچ (۱۹۸۱) پژوهش جامعی را در ارتباط با کارست‌های کشور صربستان انجام داد. نتایج این محقق نشان داد که خطر کاهش سطح آب زیرزمینی در منابع آب کارستی این کشور بسیار جدی است. هیدروژئوشیمی آب‌های زیرزمینی مناطق کارستی استان گوئیژو در کشور چین توسط هان و همکاران (۲۰۱۵) بررسی شد. مصطفی

شهرستان‌های الشتر و نورآباد با بهره‌گیری از تجزیه و تحلیل ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی توسط حاتمی‌فرد و همکاران (۲۰۱۸) بررسی شد. بر اساس تحلیل‌های هیدروشیمیایی در شهرستان الشتر، افزایش یون منیزیم، زیاد بودن آنیون‌ها و کاتیون‌ها، هدایت الکتریکی بالا، سختی بالای آب و کم بودن نسبت کلسیم به منیزیم در مقایسه با شهرستان نورآباد، نشان‌دهنده آبخوان‌های کارستی دولومیتی، غلبه‌ی درز و شکاف‌های کوچک، ارتباط زیاد بین سنگ و آب ذخیره شده و جوانی کارست در شهرستان الشتر بود. علاوه بر این، نتایج تحلیل‌های هیدرودینامیکی و هیدروشیمیایی نشان داد که سیستم کارست در شهرستان نورآباد نسبت به شهرستان الشتر از توسعه و تکامل بیش‌تری برخوردار است. قبادی و همکاران (۲۰۱۹) به ارزیابی پتانسیل کارست‌زایی در استان خوزستان به روش تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. این محققین برای رسیدن به اهداف پژوهش‌شان از پارامترهای لیتولوژی، بارش، شیب، پوشش گیاهی، تراکم آبراهه‌ها و فراوانی شکستگی‌ها استفاده کردند. نتایج نشان داد که نوار باریکی از بخش‌های شرقی تا شمال‌شرقی استان خوزستان دارای پتانسیل منابع آب کارستی می‌باشند. همچنین نتایج دلالت بر انطباق بالای مدل ارائه شده با حوضه آبگیر چشمه‌های موجود در منطقه می‌باشد. پروین و حاتمی‌فرد (۲۰۱۹) به ارزیابی تأثیر گسترش کارست و رخداد خشکسالی بر ویژگی‌های کمی و کیفی آبخوان‌های کارستی تاقدیس گرین پرداختند. این پژوهشگران چشمه‌های امیر، چناره، آهنگران، لاغری و تیمور در یک دوره ۱۴ ساله (۱۳۹۴-۱۳۸۰) را بررسی کردند. با استفاده از روش SPI، میزان خشکسالی و تأثیر آن بر منطقه ارزیابی شد. بررسی‌ها نشان داد که در محدوده تاقدیس گرین میانگین نزولات جوی سالانه ایستگاه‌های دره‌تنگ و نورآباد به ترتیب ۷۲۰ و ۶۹۰ میلی‌متر است. بر اساس تقسیم‌بندی ارتفاعی، مرتفع‌ترین و پست‌ترین نقاط در این محدوده به ترتیب ۳۷۰ و ۱۴۸۹ متر از سطح دریا می‌باشند. در این تاقدیس به دلیل ارتفاع و شیب زیاد و وجود خاک ضعیف، پوشش گیاهی گسترش زیادی نداشته که این شرایط سبب افزایش فرآیند کارستی‌زایی شده است. سپهوند و همکاران (۲۰۲۰) تغییرات فصلی بار رسوبی انحلالی و تعیین سرعت انحلال‌پذیری سازنده‌های کربناته با پتانسیل کارستی‌زایی در حوزه‌های آبخیز خرم‌آباد، الشتر و بیران‌شهر را مطالعه

تحت تأثیر دی‌اکسیدکربن می‌باشد. همچنین انحلال نامتناجس دولومیت به وضوح در منطقه مشاهده شد. از سوی دیگر، این محقق بیان کردند با توجه به اینکه تفاوت زیادی در سنگ‌شناسی سازنده‌های زمین‌شناسی منطقه وجود ندارد، بنابراین به نظر می‌رسد که اختلاف توسعه کارست در قسمت‌های مختلف منطقه، بیشتر تحت تأثیر عامل‌های دیگر باشد. به همین دلیل تأثیر سنگ‌شناسی در توسعه کارست کم‌تر از عواملی مانند نزولات جوی و سیستم‌های شکستگی است. بهزادتبار و قبادی (۲۰۱۶) به منظور ارزیابی توسعه کارست در منطقه بیدسرخ، شرق صحنه (استان کرمانشاه) از پدیده‌های ژئومورفولوژیکی، خصوصیات سنگ‌شناسی و ساختارهای تکتونیکی استفاده کردند. بر اساس پژوهش انجام شده، ترکیب مناسب سنگ‌شناسی، ناپوستگی‌های متعدد و متنوع، شرایط آب و هوایی، نوع اقلیم منطقه و فراوانی پدیده‌های ژئومورفولوژیکی در توسعه کارست نقش قابل‌توجه‌ای داشته‌اند. احمدی و همکاران (۲۰۱۸) پتانسیل منابع آبی کارست در جنوب شهر کوه‌دشت را با استفاده از روش‌های سنجش از دور و GIS با تلفیق ۱۲ عامل مؤثر بر هیدروژئولوژی کارست بررسی کردند. نتایج نشان داد بر اثر فرآیند چین‌خوردگی، تعداد زیادی درزه در محل محور چین‌ها تشکیل شده است که با نفوذ و جریان آب به درون این درزه‌ها، فرآیند کارستی‌شدن توسعه و گسترش فراوانی داشته و منجر به تشکیل حفره‌ها و مجاری زیادی در آن‌ها گردیده است. این رخدادها در نهایت باعث تشکیل آبخوان کارستی در سازند کربناته آسماری شده است. در پژوهش مقصودی و همکاران (۲۰۱۸)، ژئومورفوسایت‌های کارستی شهرستان پلدختر شناسایی و با استفاده از مدل تلفیقی کوبالیکوا و کرچنر مورد ارزیابی قرار گرفتند. غار کلماکره، غار کوگان، دره خزینه، تنگ ملاوی، تنگ پاعلم، تنگ هلت، آبشار افرینه، غار طلسم، تنگ گاو زرده، آبشار آب تاف، منطقه کول‌چپ و آبشار چشمه‌گوش به عنوان ژئومورفوسایت‌های مطالعاتی انتخاب شدند. ارزیابی‌ها نشان داد که ارزش‌های حفاظتی و اقتصادی آن‌ها در وضعیت مطلوبی نیستند. نتایج نهایی حکایت بر این داشت که غار کلماکره، غار کوگان و منطقه کول‌چپ بیشترین امتیاز را کسب نموده و مهم‌ترین ژئومورفوسایت‌های کارستی شهرستان پلدختر محسوب می‌شوند. رفتار هیدرودینامیکی آبخوان‌های کارستی و بررسی میزان توسعه کارست در

۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه به نام تنگه شبیخون با مختصات جغرافیایی "۱۱' ۲۲' ۴۸" طول شرقی و "۲۵' ۳۷' ۳۳" عرض شمالی در شمال شهرستان خرم‌آباد واقع شده است. این منطقه در ۱۳ کیلومتر جاده آسفالت‌شده شهرستان خرم‌آباد به شهرستان الشتر واقع شده است که مسیر اصلی دسترسی به آن است (شکل ۱).

۳- زمین‌شناسی و آب و هوای منطقه مورد مطالعه

استان لرستان با مساحت ۳۱۳۸۴ کیلومتر مربع در غرب ایران بین ۴۶ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ و ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. این استان در محدوده زاگرس چین‌خورده واقع شده است. از نظر جغرافیایی زاگرس چین‌خورده را می‌توان به نواحی لرستان، خوزستان و فارس تقسیم کرد (نبوی، ۱۳۵۵). بر اساس تقسیمات واحدهای ساختمانی-رسوبی ایران توسط نبوی (۱۳۵۵)، منطقه مورد مطالعه در منتهی‌الیه زاگرس چین‌خورده و نزدیک زاگرس رورانه واقع شده است. مهم‌ترین ویژگی‌های حاکم بر منطقه لرستان، روند شمال غربی- جنوب شرقی ساختارهای متشکل از تناوب تاقدیس‌های بزرگ مانند (کبیرکوه) و کوچک، فروریختگی گرانشی و فروریزشی، زمین‌لغزه‌های بزرگ مانند (سیمره)، برخورداری از سه گسل شمالی- جنوبی مرتبط با گسل‌های پی‌سنگ و در برداشتن تاقدیس‌های متشکل از گروه بنگستان در جنوب و سازند فلیشی امیران و سازند گرو در شمال می‌باشند (آقانباتی، ۲۰۰۴). از نظر چینه‌شناسی رخنمون‌های قابل‌توجهی از سازندهای امیران، تابور، کشکان، شهبازان، آسماری و گچساران در این منطقه قابل مشاهده است (شکل ۲). سازند امیران با سن کرتاسه پسین تا پالئوسن (مطیعی، ۲۰۰۳)، نسبت به سایر سازندهای ذکر شده رخنمون وسیع‌تری در منطقه مورد مطالعه دارد. از نظر سنگ‌شناسی این سازند شامل کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سیلتستون و شیل می‌باشد که رخساره کنگلومرای آن غالب می‌باشد. استان لرستان از لحاظ اقلیمی متنوع است که بطور کلی می‌توان آن را به چهار ناحیه تقسیم کرد (رضایی بنفشه و کاکولوند، ۲۰۱۵):

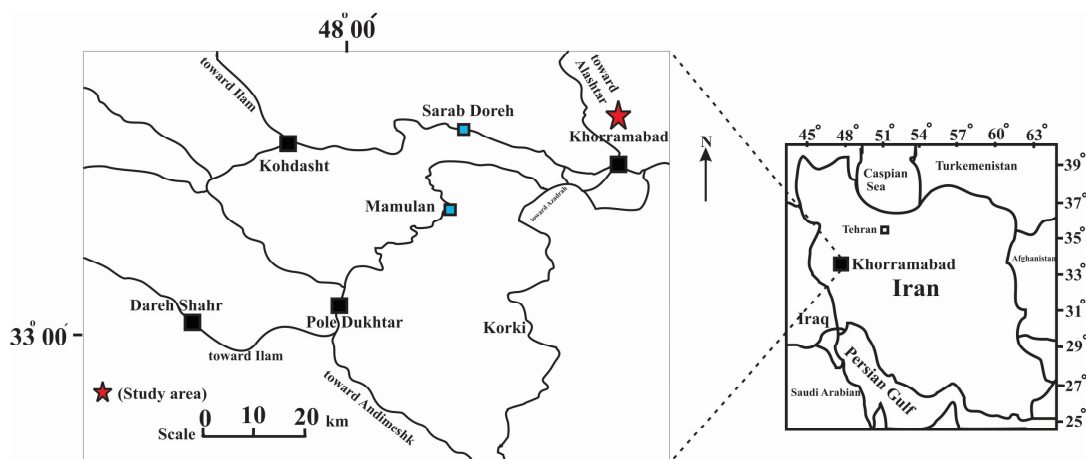
کردند. با استفاده از دستگاه سیرکولاسیون، سرعت انحلال‌پذیری تعدادی از سازندهای کربناته در محیط آزمایشگاه تعیین شد. نتایج نشان داد بیش‌ترین و کم‌ترین انحلال‌پذیری به ترتیب متعلق به سازندهای آسماری و شهبازان است. این پژوهشگران بیان کردند که انحلال‌پذیری یکی از ویژگی‌های پایه سنگ‌های کربناته برای برآورد گسترش کارست در توده‌سنگ‌های انحلال‌پذیر است. کاظمی و قرمزچشمه (۲۰۲۱) به بررسی تأثیر خشکسالی بر منحنی تداوم جریان در آبخیزهای کارستی در منطقه کاکارضا در شهرستان الشتر (استان لرستان) پرداختند. آن‌ها بیان کردند که حوزه آبخیز کاکارضا با مساحت ۱۱۴۸ کیلومتر مربع یکی از زیرحوضه‌های کشکان است. حوزه کاکارضا یک آبخیز کارستی با پوشش وسیع سازندهای کربناته است که از نظر توزیع سازندها، حدود ۵۰ درصد سطح آبخیز از سازندهای آهکی، آهک دولومیتی و آهک مارنی، حدود ۱۹ درصد سازندهای آبرفتی و ۳۱ درصد متعلق به سازندهای نفوذناپذیر هستند. اشکال‌های کارستی مانند حفره‌ها، شکاف‌ها، دالان‌ها، غارها و غیره در اکثر موارد در سنگ‌های کربناته تشکیل می‌شوند. به هر حال کارست به دلیل انحلال سنگ گچ یا سنگ نمک نیز تشکیل می‌شود، ولی از آنجایی که این‌گونه سنگ‌ها در طبیعت گسترش خیلی کم‌تری نسبت به سنگ‌های کربناته دارند، اصطلاح کارست بیشتر در مورد سنگ‌های کربناته به کار برده می‌شود. تاکنون پژوهشی در زمینه توسعه و تشکیل کارست در رخساره‌های کنگلومرای در ایران انجام نشده است. از آنجایی که توسعه کارست در رخساره‌های تخریبی و به ویژه رخساره‌های درشت دانه نظیر کنگلومراها به ندرت اتفاق می‌افتد، لذا در پژوهش حاضر برای اولین بار توسعه کارست‌ها در این رخساره‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. این موضوع می‌تواند یافته‌های جدیدی در این زمینه در اختیار علوم مختلف متخصص در زمینه کارست مانند زمین‌شناسی و جغرافیا قرار دهد و باب جدیدی را برای پژوهش‌های آینده برای محققین مفتوح نماید. بنابراین، در پژوهش حاضر به بررسی عوامل تأثیرگذار بر نحوه شکل‌گیری و توسعه کارست در رخساره‌های کنگلومرای در منطقه تنگه شبیخون خرم‌آباد (تنگه شبیخون) با استفاده از مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی پرداخته شده است.

این منطقه عمدتاً در مرکز استان قرار دارد و شهرستان خرم‌آباد و حومه آن را شامل می‌شود.
 د- ناحیه جنگل‌ها: این ناحیه بین رودخانه سیمره و کوه‌های خرم‌آباد در غرب لرستان واقع است و دارای تابستان گرم است. آب و هوای ناحیه مذکور در زمستان معتدل است.
 منطقه مورد مطالعه پژوهش حاضر در نواحی گرمسیری و دره‌ها و با متوسط بارندگی سالانه در ۴۶۵/۳ میلی‌متر قرار دارد (رضایی بنفشه و کاکولوند، ۲۰۱۵).

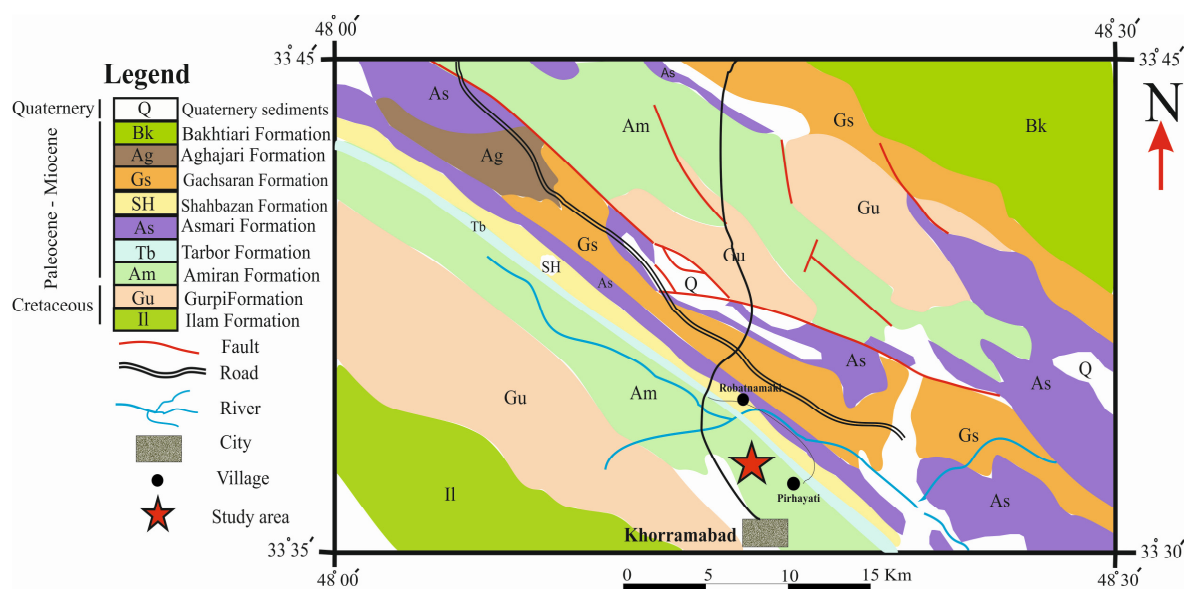
الف- ناحیه کوهستانی: این ناحیه زمستانی پربرف و بسیار سرد و تابستان آن معتدل است. این اقلیم خاص شمال، شمال غرب و شرق لرستان بویژه شهرستان‌های بروجرد و الیگودرز است.

ب- ناحیه گرمسیر: زمستان این نواحی دارای آب و هوای مساعد و منطقه قشلاقی برای عشایر لرستان است ولی تابستان‌های بسیار گرم دارد. این منطقه خاص جنوب و جنوب غرب استان است.

ج- ناحیه دره‌ها: ناحیه مذکور دارای تابستان‌های گرم و نسبتاً خنک و در سایر فصول بارندگی در آن‌ها زیاده‌تر است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و مسیر دسترسی به منطقه مورد مطالعه
 Fig. 1. Geographical location and the access route to the study area

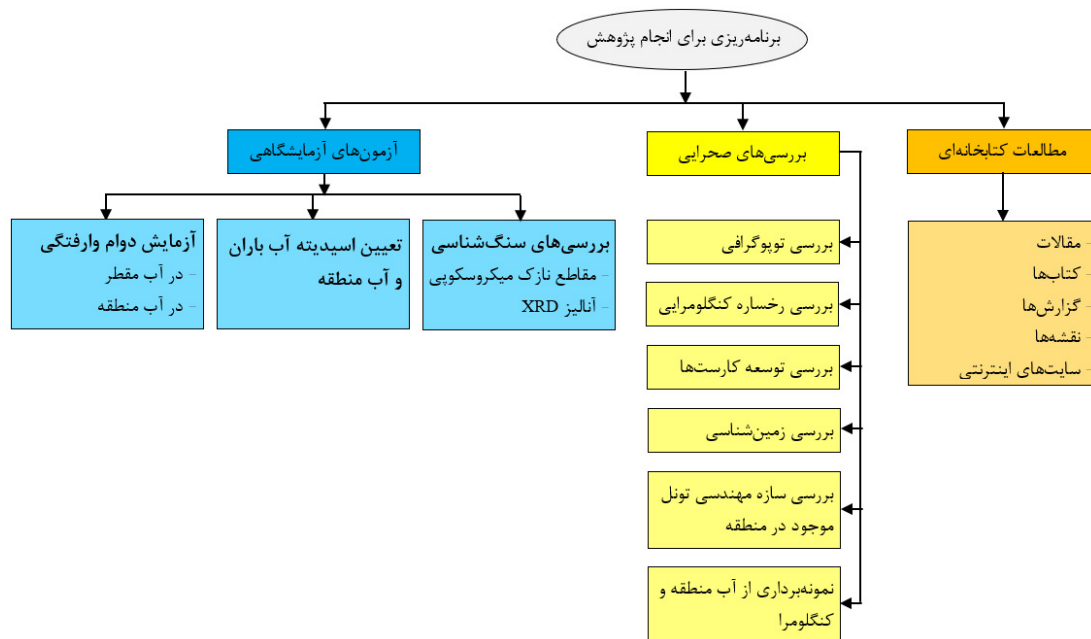


شکل ۲. وضعیت زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، ۲۰۲۳)
 Figure 2. Geological condition of the study area (Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, 2023)

۴- روش مطالعه

سه بخش شامل مطالعات کتابخانه‌ای، صحرایی و آزمایشگاهی برای رسیدن به اهداف پژوهش حاضر انجام شده است. مطالعات کتابخانه‌ای شامل گردآوری مطالب منتشر شده در کتاب‌ها، مقالات، گزارش‌ها، و از سوی دیگر مطالعه نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در مطالعات صحرایی بازدیدهای متعدد میدانی به منظور بررسی رخساره‌های کنگلومرایی، شرایط زمین‌شناسی و توپوگرافی (از لحاظ حضور ساختارهای تکتونیکی، آب‌های سطحی و غیره) و همچنین توسعه کارست‌ها صورت گرفت. همچنین در بازدیدهای میدانی بلوک‌های سنگی مناسب برای تهیه نمونه‌های آزمایشگاهی جمع‌آوری و به آزمایشگاه زمین‌شناسی انتقال داده شدند. برای مطالعات سنگ‌شناسی، تعداد ۴۰ نمونه سنگ از رخساره‌های کنگلومرایی جهت تهیه مقاطع نازک

میکروسکوپی و تعداد ۱۵ نمونه از این سنگ‌ها جهت آنالیزهای اشعه‌پراش X (XRD) انتخاب شد. همچنین تعداد ۵ نمونه از رسوبات دیواره و کف کارست‌ها جهت آنالیزهای XRD جمع‌آوری شد. در مطالعات آزمایشگاهی به تفسیر مقاطع نازک با میکروسکوپ پلاریزان نوع Olympus-BH2 و همچنین تفسیر طیف‌های بدست‌آمده از آنالیزهای XRD پرداخته شد. در بخش دیگری از مطالعات آزمایشگاهی، آزمایش دوام وارفتگی تا ۱۵ چرخه تر و خشک شدن روی نمونه‌های کنگلومرایی انجام شد. این آزمایش به منظور بررسی حساسیت نمونه‌های کنگلومرا به فرسایش آبی و تأثیر شیمیایی آب و در نتیجه نقش آن در توسعه کارست انجام شد. روش انجام پژوهش حاضر به صورت شماتیک در شکل (۳) نمایش داده شده است.



شکل ۳. روش انجام پژوهش حاضر

Fig. 3. The method of conducting the present research

۵- بحث و نتایج

۵-۱- طبقه‌بندی کنگلومراهای منطقه مورد مطالعه

طبقه‌بندی و نام‌گذاری کنگلومراها بر اساس پارامترهای مختلفی مانند بافت، تنوع ترکیب اجزای تشکیل دهنده، منشأ، جنس و اندازه قطعات اصلی، نوع سیمان، محیط تشکیل، و عوامل خردکننده قطعات صورت می‌گیرد. با

توجه به هر یک از این پارامترها، نام خاصی به کنگلومرا تعلق می‌گیرد. با توجه به مطالعات صحرایی (نمونه دستی) و مقاطع نازک میکروسکوپی، کنگلومراهای منطقه مورد مطالعه بر اساس ویژگی‌های بافتی و جنس قطعات اصلی طبقه‌بندی شده‌اند. قبل از بحث در مورد نتایج، ابتدا مختصری در مورد تعاریف مربوط به طبقه‌بندی کنگلومراها

نوع تک‌منشأیی (الیگومیکتیک) غالب‌تر است به طوری که جنس قلوه‌سنگ‌های آن اکثراً چرتی هستند.

کنگلومرال‌های دانه‌پشتیبان در منطقه مورد مطالعه بر اساس اندازه قطعات به ۴ نوع زیر طبقه‌بندی شدند:

۱- **کنگلومرای دانه‌پشتیبان با قطعات گرانول و پیل (Co_{gs}-GP):** قطعات گرانول و پیل به صورت نیمه گرد شده تا گرد شده که ترکیب عمدتاً چرتی دارند. درصد قطعات تشکیل دهنده و میزان خمیره به ترتیب بیش از ۷۵ درصد و کم‌تر از ۱۵ درصد می‌باشند. ۱۰ درصد باقیمانده اجزای تشکیل دهنده این نوع کنگلومرای، سیمان کلسیتی است (شکل ۴). به دلیل سرعت زیاد رسوبگذاری، ساختمان رسوبی خاصی در آن مشاهده نمی‌شود و بیشتر به صورت توده‌ای می‌باشند

۲- **کنگلومرای دانه‌پشتیبان با قطعات پبلی (Co_{gs}-P):** در این نوع کنگلومرای، قطعات پبلی که عمدتاً چرتی هستند به صورت گرد شده در خمیره مشاهده می‌شوند. میزان قطعات تشکیل دهنده بیش از ۹۵ درصد و خمیره کم‌تر از ۵ درصد است. سرعت بالای رسوب‌گذاری در زمان تشکیل این نوع کنگلومرای باعث شده که ساختمان رسوبی خاصی در آن مشاهده نشود (شکل ۵).

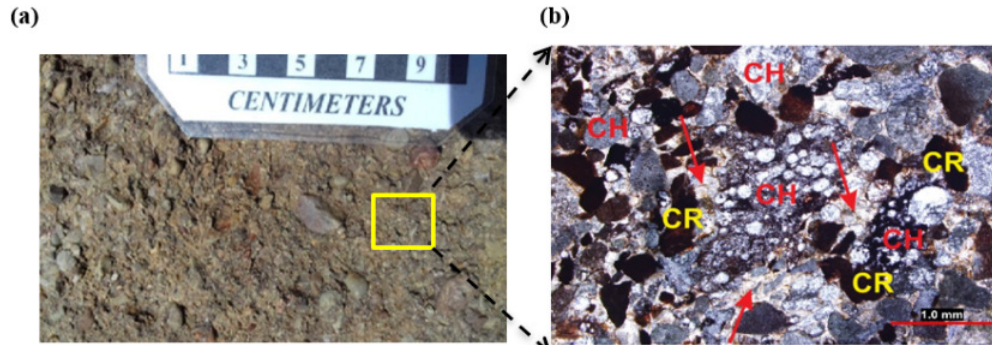
۳- **کنگلومرای دانه‌پشتیبان با قطعات پیل و کابل (Co_{gs}-PC):** قطعات پیل و کابل با ترکیب غالباً چرتی به صورت گرد شده مشاهده می‌شوند (فراوانی با قطعات پیل می‌باشد). در این نوع کنگلومرای، درصد قطعات تشکیل دهنده بیش از ۸۵ درصد و میزان خمیره سنگ کمتر از ۱۵ درصد است. ساختمان رسوبی خاصی در این نوع کنگلومرای مشاهده نمی‌شود و بیشتر به صورت توده‌ای است (شکل ۶).

۴- **کنگلومرای دانه‌پشتیبان با قطعات بولدر (Co_{gs}-B):** در خمیره تشکیل دهنده این نوع کنگلومرای، قطعات بسیار درشت بولدر با جنس عمدتاً چرتی به وضوح قابل مشاهده هستند. درصد قطعات تشکیل دهنده بیش از ۸۵ درصد، در صورتی که میزان خمیره کمتر از ۱۵ درصد است. به دلیل سرعت بالای رسوبگذاری، ساختمان رسوبی خاصی در این نوع کنگلومرای مشاهده نمی‌شود (شکل ۷).

علاوه بر کنگلومرال‌های دانه‌پشتیبان، کنگلومرال‌های خمیره پشتیبان نیز رخنمون گسترده‌ای در منطقه مورد مطالعه دارند. کنگلومرال‌های خمیره‌پشتیبان بر اساس میزان خمیره و اندازه قطعات به ۵ نوع زیر قابل طبقه‌بندی هستند:

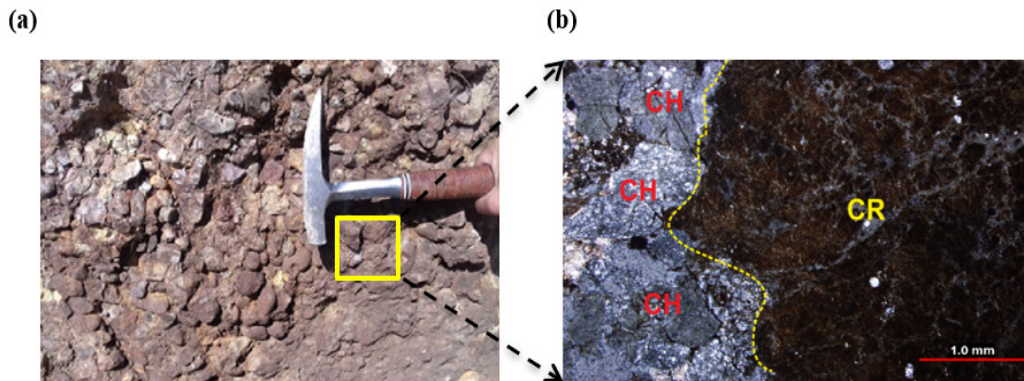
بر اساس ویژگی‌های بافتی و جنس قلوه‌سنگ‌ها ارائه شده است. از نظر بافتی کنگلومرال‌ها به دو گروه دانه‌پشتیبان و خمیره پشتیبان طبقه‌بندی می‌شوند. در کنگلومرال‌های دانه‌پشتیبان (ارتوکنگلومرای) مقدار خمیره کمتر از ۱۵ درصد است. در این نوع کنگلومرای درجه تخلخل بالا و از سوی دیگر به دلیل میزان کم خمیره، دانه‌ها در تماس با همدیگر هستند. در متون علمی، کنگلومرای عادی و کنگلومرای دانه‌ای نام‌های دیگر کنگلومرای دانه‌پشتیبان هستند. بر اساس پژوهش‌های صورت گرفته توسط محققین، این نوع کنگلومرای نشان‌دهنده محیط‌های رسوبی پرانرژی و سرعت ته‌نشینی بالا می‌باشد (تاکر، ۲۰۰۱). نوع دیگر کنگلومرال‌ها بر اساس بافت، کنگلومرال‌های خمیره‌پشتیبان (پاراکنگلومرای) هستند. مقدار خمیره در این نوع کنگلومرای بیش از ۱۵ درصد است به طوری که دانه‌ها در خمیره سنگ به صورت شناور و پراکنده هستند. کنگلومرال‌های خمیره‌پشتیبان نسبت به کنگلومرال‌های دانه‌پشتیبان در محیط‌های رسوبی کم انرژی‌تری تشکیل می‌شوند.

بر اساس جنس قلوه‌سنگ‌ها، کنگلومرال‌ها به دو نوع الیگومیکتیک (تک‌منشأیی) و پلی‌میکتیک (چندمنشأیی) طبقه‌بندی می‌شوند (تاکر، ۲۰۰۱). اگر جنس قلوه‌سنگ‌ها از یک نوع باشد، به آن کنگلومرای الیگومیکتیک گفته می‌شود. به دلیل اینکه کوارتز دارای مقاومت و سختی بالایی است و می‌تواند شرایط مختلف جریان‌های حمل و نقل را تحمل و دچار فرسودگی نشود، بنابراین جنس قلوه‌سنگ‌ها در کنگلومرای الیگومیکتیک غالباً کوارتز است. این نوع کنگلومرای خاص محیط‌های رسوبی با شرایط تکتونیکی پایدار است به طوری که بتواند با استمرار و پیوستگی عوامل حمل و نقل مختلف، قلوه‌سنگ‌های تشکیل دهنده آن را به اندازه کافی همگن و یک‌جنس کند. از سوی دیگر، اگر جنس قلوه‌سنگ‌ها متنوع باشد، کنگلومرای پلی‌میکتیک خواهد بود. این نوع کنگلومرای محیط‌هایی تشکیل می‌شود که از نظر تکتونیکی فعال هستند، بنابراین جورشدگی در آن‌ها ضعیف است. بر اساس ویژگی‌های بافتی، کنگلومرال‌های سازند امیران در منطقه مورد مطالعه از دو نوع اصلی دانه‌پشتیبان (ارتوکنگلومرای) و خمیره‌پشتیبان (پاراکنگلومرای) و بر اساس منشاء از نوع برون سازندی تشخیص داده شدند. از دیدگاه دیگر، کنگلومرال‌های سازند امیران بر اساس تنوع جنس قلوه‌سنگ‌ها، از نوع تک‌منشأیی و چندمنشأیی هستند ولی



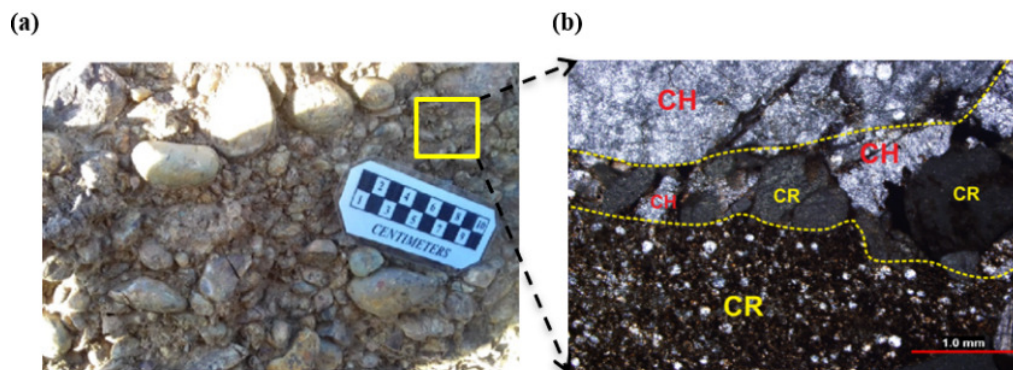
شکل ۴. کنگلومرا دانه‌پشتیبان با قطعات گرانول و پبل (C_{0gs-GP}) (a) تصویر صحرایی و (b) تصویر میکروسکوپی، (CH: قطعه چرتی، CR: قطعه کربناته، خمیره قطعات ماسه متوسط دانه می‌باشد که مقدار آن کمتر از ۱۵ درصد است. این رخساره حاوی ۱۰ درصد سیمان کلسیتی است که در تصویر با پیکان‌های قرمز رنگ نشان داده شده است).

Fig. 4. Grain-supported conglomerate with granule and pebble fragments (C_{0gs-GP}) (a) field image and (b) microscopic image (CH: chert fragment, CR: Carbonate fragment. The matrix is medium-grained sand, the amount of which is less than 15%. This facies contains 10% calcite cement, which is shown in the image with the red arrows).



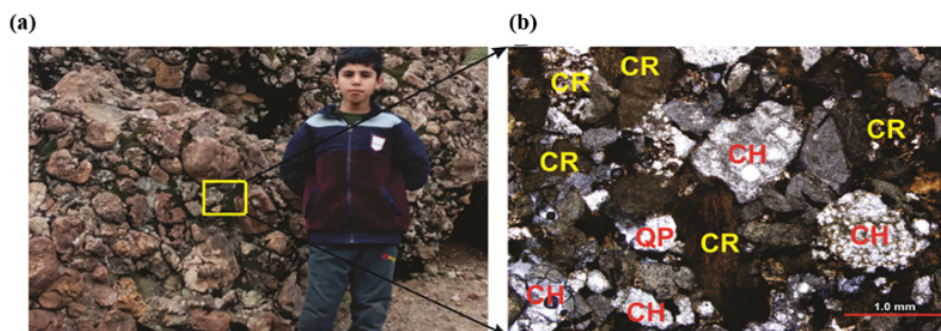
شکل ۵. کنگلومرا دانه‌پشتیبان با قطعات پبل (C_{0gs-P}) (a) تصویر صحرایی و (b) تصویر میکروسکوپی، (CH: قطعه چرتی، CR: قطعه کربناته، خمیره قطعات ماسه متوسط دانه با محتوای کمتر از ۱۵ درصد است که با خط‌چین زرد از یک پبل کربناته مشخص شده است).

Fig. 5. Grain-supported conglomerate with pebble fragments (C_{0gs-P}) (a) field image and (b) microscopic image (CH: Cherty fragment, CR: Carbonate fragment. The matrix is medium-grained sand with a content of less than 15%, which is marked by a yellow dashed line from a carbonated pebble).



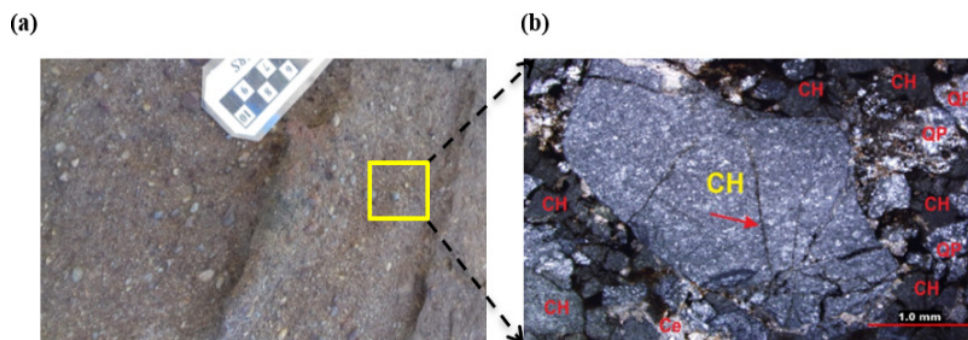
شکل ۶. کنگلومرا نوع دانه‌پشتیبان با قطعات پبل و کابل (C_{0gs-PC}) (a) تصویر صحرایی و (b) تصویر میکروسکوپی، (CH: قطعه چرتی، CR: قطعه کربناته، خمیره ماسه درشت دانه می‌باشد با مقدار کم‌تر از ۱۵ درصد می‌باشد که در تصویر (b) با خط‌چین زرد مشخص شده است. بیشترین فراوانی قطعات پبل و کابل، چرتی و کربناته هستند).

Fig. 6. Grain-supported conglomerate with pebble and cobble fragments (C_{0gs-PC}) (a) field image and (b) microscopic image (CH: Cherty fragment, CR: Carbonate fragment. Coarse-grained sand matrix with amount less than 15%, marked with a yellow dashed line in image (b). Many fragments of pebbles and cobble are of cherty and carbonate).



شکل ۷. کنگلومرا دانه‌پشتیبان با قطعات بولدر (C_{0gs-B}) (a) تصویر صحرایی و (b) تصویر میکروسکوپی، (CH: قطعه چرتی، CR: قطعه کربناته، QP: کوارتز پلی‌کریستالین. خمیره ماسه درشت دانه می‌باشد. بیشترین فراوانی قطعات موجود در خمیره، چرتی و کربناته می‌باشند. به دلیل بافت درشت دانه این نوع کنگلومرا، توصیف آن بر مبنای شواهد صحرایی می‌باشد مقاطع نازک میکروسکوپی فقط از خمیره تهیه شد).

Fig. 7. Grain-supported conglomerate with boulder fragments (C_{0gs-B}) (a) field image and (b) microscopic image (CH: cherty fragment, CR: carbonate fragment, QP: polycrystalline quartz. The matrix is coarse-grained sand. The most abundant fragments in the matrix are of cherty and carbonate. Due to the coarse-grained texture of this type conglomerate, its description is based on field studies, thus, microscopic thin sections were prepared only from the matrix).



شکل ۸. کنگلومرا خمیره‌پشتیبان با قطعات پیل (C_{0ms-P}) (a) تصویر صحرایی و (b) تصویر میکروسکوپی، (CH: قطعه چرتی، قطعه بزرگ در مرکز تصویر (b) یک پیل چرتی با ریزترک‌های متعدد می‌باشد، QP: کوارتز پلی‌کریستالین، Ce: سیمان سیلیسی. خمیره از نوع متوسط دانه می‌باشد. بیشترین فراوانی قطعات در این نوع کنگلومرای خمیره‌پشتیبان، از نوع چرتی هستند).

Fig. 8. Matrix-supported conglomerate with pebble fragments (C_{0ms-P}) (a) field image and (b) microscopic image (CH: chert fragment, the large fragment in the center of the image (b) is a chert pebble with numerous micro cracks), QP: polycrystalline quartz, Ce: siliceous cement. The matrix is of medium-grained sand. The most abundance of fragments in this type of matrix-supported conglomerate is of cherty).

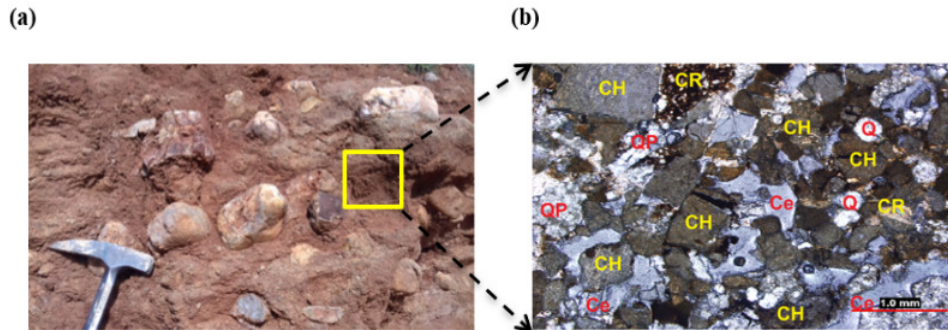
کابل اکثراً از نوع چرتی هستند و فراوانی بیشتری نسبت به سایر قطعات دارند. قطعات کابل به صورت نیمه گرد شده با جهت‌یابی ترجیحی ضعیف در خمیره مشاهده می‌شوند. خمیره از ماسه متوسط تا درشت دانه تشکیل شده است. قطعات تشکیل دهنده بین ۵۵ تا ۶۵ درصد و خمیره بین ۳۵ تا ۴۵ درصد هستند (شکل ۱۰).

۴- کنگلومرای خمیره‌پشتیبان با قطعات پیل و کابل شناور (C_{0ms-PC}): قطعات پیل به صورت گرد تا نیمه گرد شده و قطعات کابل بسیار گرد شده و از نوع چرتی هستند که در زمینه‌ای از خمیره ماسه متوسط دانه شناورند. ساخت رسوبی خاصی در این نوع کنگلومرای خمیره‌پشتیبان مشاهده نمی‌شود. بر اساس مطالعات، میزان قطعات تشکیل دهنده و خمیره به ترتیب بین ۵۰ تا ۶۰ و ۴۰ تا ۵۰ درصد هستند (شکل ۱۱).

۱- کنگلومرای خمیره‌پشتیبان با قطعات پیل (C_{0ms-P}): قطعات پیل به صورت نیمه‌گرد تا گرد شده در خمیره ماسه متوسط دانه مشاهده می‌شوند. در این نوع کنگلومرای خمیره‌پشتیبان، میزان قطعات تشکیل دهنده سنگ بین ۸۰ تا ۸۵ درصد و خمیره بین ۱۵ تا ۲۰ درصد متغیر است (شکل ۸).

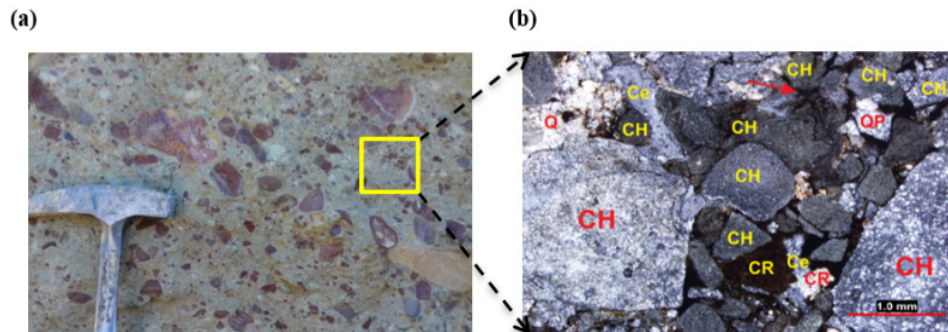
۲- کنگلومرای خمیره‌پشتیبان با قطعات کابل شناور (C_{0ms-C}): قطعات کابل گرد شده از نوع چرتی می‌باشند و در خمیره ماسه درشت دانه شناور هستند. میزان قطعات تشکیل دهنده از ۳۰ تا ۴۰ درصد و میزان خمیره بین ۶۰ تا ۷۰ درصد متغیر هستند. ساخت رسوبی خاصی در این نوع کنگلومرا مشاهده نمی‌شود (شکل ۹).

۳- کنگلومرای خمیره‌پشتیبان با قطعات گرانول، پیل و کابل ($C_{0ms-GPC}$): در این نوع کنگلومرا، قطعات



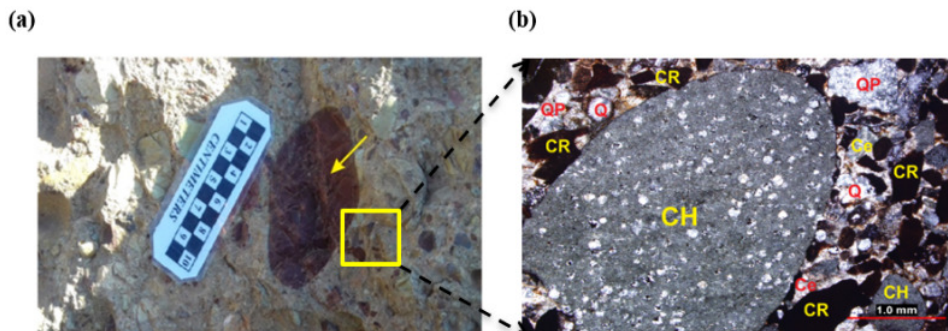
شکل ۹. کنگلومرا خمیره‌پشتیبان با قطعات کابل ($Co_{ms}\text{-K}$) (a) تصویر صحرایی و (b) تصویر میکروسکوپی، (CH: قطعه چرتی، CR: قطعه کربناته، QP: کوارتز پلی کریستالین، Q: بلورهای کوارتز، Ce: سیمان سیلیسی. خمیره از ماسه درشت دانه تشکیل شده است. بیشترین فراوانی قطعات از نوع چرتی هستند. به دلیل بافت درشت دانه این نوع کنگلومرا، توصیف آن بر مبنای شواهد صحرایی و نمونه دستی می‌باشد. به هر حال فقط صرفاً از خمیره می‌توان مقاطع میکروسکوپی تهیه کرد).

Fig. 9. Matrix-supported conglomerate with cobble pieces ($Co_{ms}\text{-K}$) (a) field image and (b) microscopic image (CH: chert piece, CR: carbonate piece, QP: polycrystalline quartz, Q: quartz crystals, Ce: siliceous cement). The matrix is made of coarse-grained sand. The most abundant pieces are chert type. Due to the coarse texture of this type of conglomerate, its description is based on field evidence and hand samples. However, microscopic sections can only be prepared from the matrix).



شکل ۱۰. کنگلومرا خمیره‌پشتیبان با قطعات گرانول، پبل و کابل ($Co_{ms}\text{-GPK}$) (a) تصویر صحرایی و (b) تصویر میکروسکوپی، (CH: قطعه چرتی، قطعه چرتی سمت راست و چپ در تصویر (b) به ترتیب بخش‌هایی از قطعات پبلی و گرانولی می‌باشند، CR: قطعه کربناته، QP: کوارتز پلی کریستالین، Q: بلورهای کوارتز، Ce: سیمان سیلیسی. خمیره این نوع کنگلومرا را ماسه متوسط تا درشت دانه تشکیل داده است. بیشترین فراوانی قطعات از نوع چرتی هستند. در تصویر (b)، پیکان قرمز رنگ ریز ترک تشکیل شده در یک قطعه چرتی را نشان می‌دهد).

Fig. 10. Matrix-supported conglomerate with granule, pebble and cobble fragments ($Co_{ms}\text{-GPK}$) (a) field image and (b) microscopic image (CH: cherty fragment, the cherty fragments on the right and left of the image (b) are parts of pebbly and granular fragments, respectively, CR: carbonate fragment, QP: polycrystalline quartz, Q: quartz crystals, Ce: siliceous cement). The matrix of this type of conglomerate is medium to coarse-grained sand. The most abundant fragments are of the cherty. In the image (b), the red arrow shows the micro-crack existing in a cherty fragment).

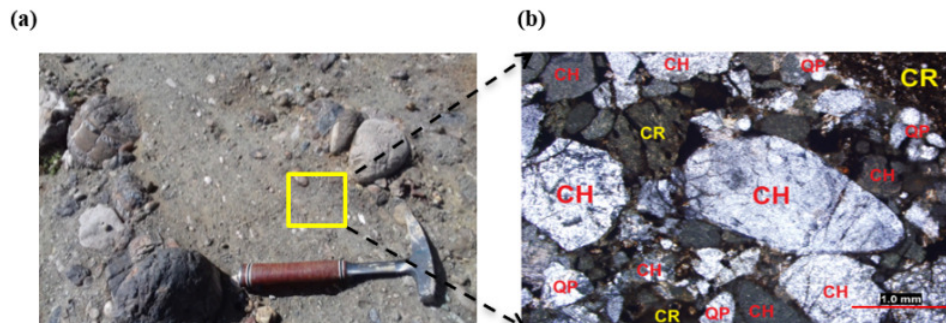


شکل ۱۱. کنگلومرا خمیره‌پشتیبان با قطعات پبل و کابل ($Co_{ms}\text{-PK}$) (a) تصویر صحرایی و (b) تصویر میکروسکوپی، (CH: قطعه بزرگ چرتی، قطعه بزرگ چرتی در تصویر (b) یک قطعه پبلی است و پیکان زرد در تصویر (a) قطعه کابلی را نشان می‌دهد، CR: قطعات کربناته، QP: کوارتز پلی کریستالین، Q: بلورهای کوارتز، Ce: سیمان کربناته. خمیره این نوع کنگلومرا ماسه متوسط دانه است. بیشترین فراوانی قطعات از نوع کربناته هستند).

Fig. 11. Matrix-supported conglomerate with pebble and cobble fragments ($Co_{ms}\text{-PK}$) (a) field image and (b) microscopic image (CH: cherty fragment, the large fragment of chert in image (b) is a pebble, and the yellow arrow in image (a) shows the cobble fragment, CR: carbonate fragment, QP: polycrystalline quartz, Q: quartz crystals, Ce: carbonate cement). The matrix of this type of conglomerate is medium-grained sand. The most abundant fragments are carbonate).

قطعات از چرت تشکیل شده و در بولدرها این قطعات بسیار گرد شده هستند. خمیره، ماسه درشت دانه است. محتوای قطعات تشکیل دهنده و خمیره به ترتیب بین ۶۵ تا ۷۰ درصد و ۳۰ تا ۳۵ درصد هستند (شکل ۱۲).

۵- کنگلومرای خمیره‌پشتیبان با قطعات گرانول و بولدر (Co_{ms} -GB): در این نوع کنگلومرا، انواع قطعات از گرانول (بین ۲ تا ۴ میلی‌متر) تا قطعات بسیار درشت بولدر (بزرگ‌تر از ۲۵۶ میلی‌متر) در خمیره مشاهده می‌شود.



شکل ۱۲. کنگلومرا خمیره‌پشتیبان با قطعات پیل (Co_{ms} -GB) (a) تصویر صحرایی و (b) تصویر میکروسکوپی، (CH): قطعه چرتی، (QP): کوارتز پلی‌کریستالین، (CR): قطعه کربناته. ماسه درشت دانه خمیره این نوع کنگلومرا را تشکیل داده است. قطعات چرتی فراوان‌ترین نوع قطعات تشکیل دهنده هستند. به دلیل بافت درشت دانه، توصیف این نوع کنگلومرا بر مبنای نمونه دستی و شواهد صحرایی می‌باشد، صرفاً از خمیره مقاطع میکروسکوپی تهیه و مطالعه شد.

Fig. 12. Matrix-supported conglomerate with pebble fragments (Co_{ms} -GB) (a) field image and (b) microscopic image (CH: cherty fragment, QP: polycrystalline quartz, CR: carbonate fragment. Coarse-grained sand is matrix this type of conglomerate. Most common fragments are cherty fragments. Due to the coarse-grained texture, description this type of conglomerate is based on hand samples and field studies, only microscopic thin-sections were prepared and studied).

۵-۲- مطالعات صحرایی

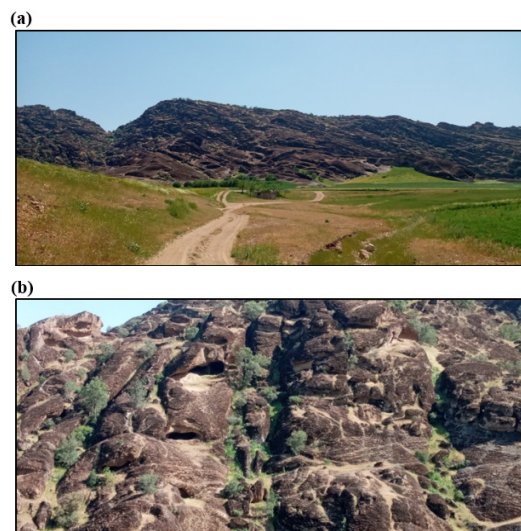
چندین مرحله بازدید صحرایی از منطقه مورد مطالعه، عواملی مانند سطوح ناپیوستگی، پوشش خزه، میزان نزولات و جریان آب، جهت شیب دامنه و سنگ‌شناسی کنگلومرا در توسعه و گسترش کارتها تشخیص و شناسایی شدند که در ادامه به شرح هر کدام از آنها پرداخته شده است. در منطقه مورد مطالعه کمترین و بیشترین ارتفاع از سطح دریا به ترتیب برابر با ۱۲۵۰ و ۱۷۵۰ می‌باشند. در شکل (۱۳) تصاویری از نماهای دور و نزدیک توپوگرافی منطقه نشان داده شده است. وجود پستی و بلندهای فراوان یکی از سیماهای شاخص منطقه است که از ارتفاعات با شیب کم تا زیاد متغیر هستند. از فاکتورهای توپوگرافی مؤثر که گرادیان هیدرولیکی و جهت حرکت آب زیرزمینی را تعیین می‌کند، شیب توپوگرافی یا شیب سطح زمین است. سیستم جریان آب زیرزمینی در اغلب موارد متأثر از شیب سطح زمین می‌باشد. علاوه بر این، میزان شیب در میزان رواناب حاصله از نزولات جوی و همچنین در میزان نفوذپذیری و در نتیجه انحلال و فرسایش سنگ‌ها نقش مؤثری دارد. در شیب‌های تند منطقه مورد مطالعه، آب‌های ناشی از نزولات جوی سریعاً جاری شده و فرصت نفوذ نخواهد داشت. به هر حال مقداری از نزولات جوی به درون زمین نفوذ می‌کنند و به

مطالعات صحرایی زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی ابزاری کارآمد برای شناسایی واحدهای مختلف محیط طبیعی از اهمیت زیادی برخوردار هستند (ثروتی و عشقی، ۲۰۰۵). کارست به عنوان یک پدیده زمین‌شناسی، حاصل فرآیندهای متعددی است که در سنگ‌های قابل انحلال مانند کربناته‌ها (آهک و دولومیت)، تحت شرایط اقلیمی و زمین‌شناسی گوناگون به وجود می‌آید. به هر حال، این پدیده در سایر سنگ‌های انحلال‌پذیر مانند سنگ‌های سولفات و کلوره نیز رخ می‌دهد. از سوی دیگر، کارست در سنگ‌های آواری هم قابل مشاهده است، برای مثال ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومراهای دارای سیمان کربناته و یا سولفات‌ها تحت تأثیر انحلال کارستی خواهند شد.

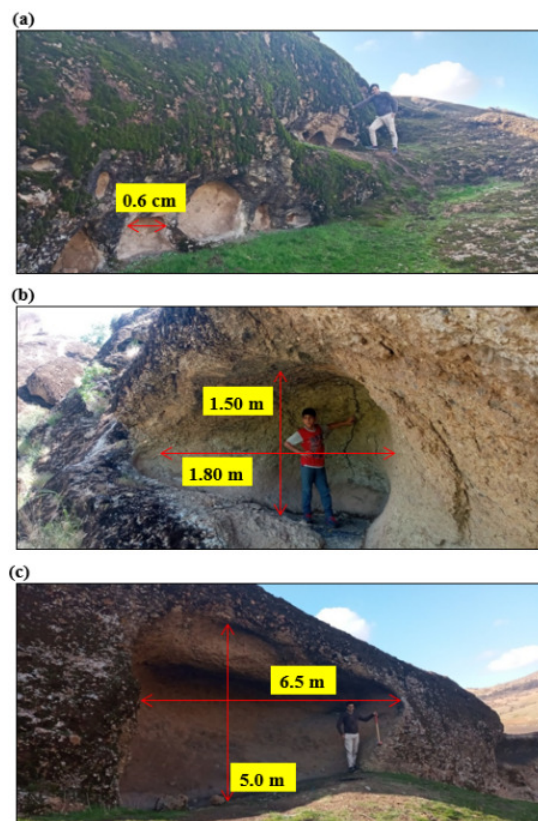
عوامل مختلفی در فرآیند کارستی شدن مؤثر هستند که از این میان می‌توان به جنس تشکیلات زمین‌شناسی، شرایط توپوگرافی، میزان بارش، درجه حرارت، هوازدگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی، جریان آب و خصوصیات هیدروشیمیایی آن بویژه اسیدیته و شرایط تکنونیک اشاره کرد. این عوامل از مهم‌ترین فاکتورهای ایجاد و توسعه کارست در تشکیلات زمین‌شناسی انحلال‌پذیر به ویژه سنگ‌های کربناته محسوب می‌شوند. در طی

کوچک (کمتر از ۱ متر)، متوسط (بین ۱-۳ متر) و بزرگ (بیشتر از ۳ متر) و با توزیع متمرکز و پراکنده مشاهده شدند. در شکل‌های (۱۴) و (۱۵) به ترتیب انواع مختلف کارست از منظر اندازه و توزیع نمایش داده شده است.

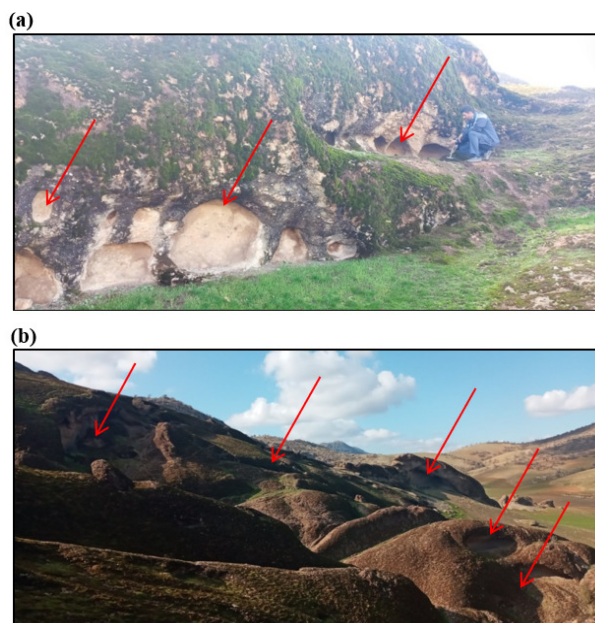
صورت جریان آب زیرزمینی در انحلال سنگ‌ها و در نتیجه توسعه کارست تأثیر می‌گذارند. بر اساس بازدیدهای صحرایی، کارست‌های توسعه یافته در منطقه به اشکال هندسی کشیده، بیضوی، گرد، قیفی و نامنظم در اندازه‌های



شکل ۱۳. توپوگرافی منطقه مورد مطالعه (a) نمای دور و (b) نمای نزدیک
Fig. 13. Topography of the study area (a) general view and (b) close-up view



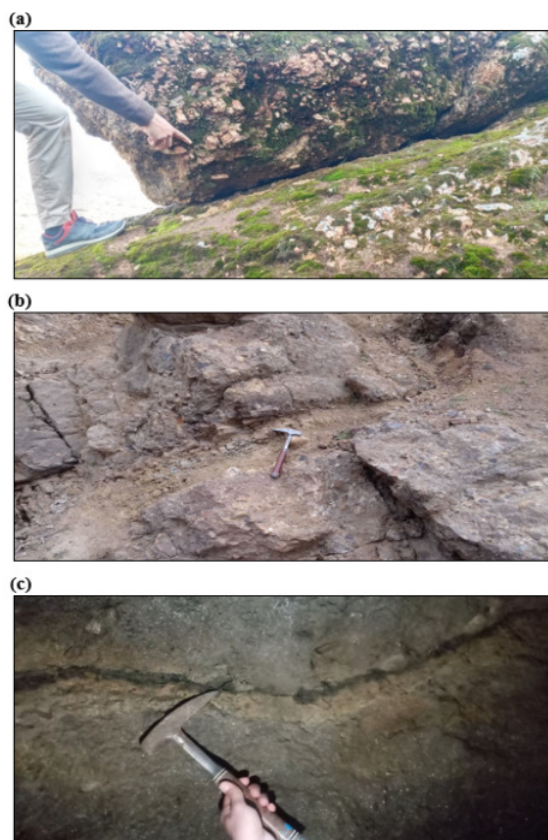
شکل ۱۴. ابعاد کارست‌ها (a) قطر کوچک‌تر از ۱ متر (b) قطر بین ۱ تا ۳ متر و (c) قطر بزرگ‌تر از ۳ متر
Fig. 14. Dimensions of karsts (a) diameter smaller than 1 m (b) diameter between 1 to 3 m and (c) diameter larger than 3 m



شکل ۱۵. توزیع کارست‌ها (a) متمرکز و (b) پراکنده (جهت پیکان‌ها کارست را نشان می‌دهند)
Fig. 15. Distribution of karsts (a) concentrate and (b) scatter (arrows indicate karst)

لایه‌بندی منجر به توسعه کارست در اعماق زمین هم شده است یا خیر، از شواهد مربوط به تونل انتقال آب حفر شده در کنگلومراهای منطقه مورد مطالعه استفاده شد. این تونل که در زیر ارتفاعات صخره‌های کنگلومرا حفر شده است، شواهدی از توسعه کارست در دیوارها و سقف آن مشاهده شد. به هر حال توسعه، فراوانی و ابعاد کارست‌ها در تونل به مراتب کم‌تر از کارست‌های تشکیل شده در رخنمون‌های سطحی منطقه بودند. مقایسه کارست‌ها از جنبه‌های توسعه‌یافتگی، فراوانی و ابعاد دلالت بر این دارد که کارست-زایی در رخنمون‌های سطحی نسبت به کارست-زایی در اعماق زمین با شدت به مراتب بیشتری رخ داده است. به هر حال برای بررسی گسترده‌تر نیاز به حفر گمانه‌های اکتشافی در مکان‌های مختلف منطقه است به گونه‌ای که ارزیابی جامع‌تری در ارتباط با توسعه کارست در اعماق زمین حاصل شود. با توجه به بررسی‌های صحرائی، وجود سطوح لایه‌بندی با میان لایه‌های گلی از دیگر عوامل توسعه کارست در منطقه می‌باشند. نفوذ آب از میان سطوح لایه-بندی و فرسایش واحدهای گلی که به صورت افق‌های میان لایه‌ای در رخساره‌های کنگلومرای تشکیل شده‌اند از عوامل گسترش و توسعه کارست‌های منطقه تشخیص داده شدند. در شکل (۱۶) میان لایه‌های گلی در رخنمون‌های سطحی و همچنین دیواره تونل انتقال آب نشان داده شده است.

عملکرد نیروهای تکتونیکی در پوسته زمین به شکل ساختارهایی مانند گسل، درزه، شکستگی و یا چین‌خوردگی تظاهر می‌یابند. این ساختارها هر یک متناسب با نحوه و محل تشکیل، تأثیر متفاوتی بر نفوذ آب و در نهایت شکل‌گیری کارست و توسعه آن دارند. از سوی دیگر، یکی از ساختارهای مهم رسوبی در گسترش کارست، سطوح لایه‌بندی است که می‌تواند نقشی مشابه با ساختارهای تکتونیکی داشته باشد. وجود درزه‌ها، شکستگی‌ها و سطوح لایه‌بندی به عنوان سطوح ناپیوستگی از عوامل تأثیرگذار در توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه تشخیص داده شدند. در شکل (۱۶) تعدادی از این ساختارها نمایش داده شده است. درزه‌ها و شکستگی‌ها از عوامل اصلی در فرآیند انحلال‌پذیری یا فرسایش توده‌سنگ هستند. این ساختارهای تکتونیکی در صورتی که به هم پیوسته باشند می‌توانند با ایجاد سطوح ضعف در سنگ و فراهم کردن امکان انحلال و فرسایش بیشتر در امتداد این سطوح و در نتیجه ایجاد مجرای برای نفوذ آب‌های سطحی حاصل از نزولات جوی به زیرزمین، مجراهای بزرگ‌تر انتقال آب به اعماق زمین را تشکیل دهند (فورد و ویلیامز، ۲۰۱۲). در غیر این صورت، عدم جریان یافتن آب در توده‌های سنگی موجب خواهد شد تا پدیده‌های انحلالی و فرسایشی فقط در قسمت‌های سطحی زمین مشاهده شود. برای بردن به این که آیا وجود شکستگی‌ها و سطوح



شکل ۱۶. وجود سطوح ناپیوستگی (a) شکستگی (b) و (c) لایه‌بندی با میان لایه‌های گلی (تصویر c مربوط به دیواره تونل انتقال آب حفر شده در کنگلومراهای منطقه مورد مطالعه است).

Fig. 16. Existence of discontinuity surfaces (a) fracture (b) and (c) bedding with interlayers mud (image c is taken from the faces of the water transfer tunnel excavated in the conglomerates of the study area).

اسیدی یا قلیایی شدن آب شود که در هوازدگی زیستی کنگلومرا نقش بسزایی خواهند داشت. این فرآیند یک نقش تسریع کننده در توسعه کارست خواهد داشت. مشاهدات صحرائی دلالت بر این داشت که به طور کلی در مناطقی که خزه پوشش گسترده‌تری در سطح کنگلومرا دارد، کارست کم‌تر تشکیل شده است یا به عبارت دیگر توسعه کمتری دارد که این موضوع در شکل (۱۷) نشان داده شده است. به هر حال، اندرکنش نقش حفاظتی و هوازدگی زیستی خزه‌ها (به ترتیب به عنوان عوامل بازدارنده و تسریع کننده) در توسعه کارست‌های منطقه نقش برجسته‌ای دارند. یکی از عوامل غیر قابل انکار در توسعه کارست یک منطقه، میزان نزولات جوی و در نتیجه جریان آب سطحی و زیرزمینی است و از سوی دیگر، ترکیب شیمیایی آب بویژه اسیدیته آن است. بر اساس اطلاعات آماری سازمان هواشناسی کشور (۲۰۲۳)، منطقه مورد مطالعه که در ۱۳ کیلومتری شمال شهرستان خرم‌آباد واقع است، منطقه با نزولات جوی قابل توجه است که غالباً به صورت بارش باران

در منطقه مورد مطالعه خزه‌ها گسترش قابل توجهی در سطح کنگلومراها دارند (شکل ۱۷). این خزه‌ها در فصل بهار به رنگ سبز و در فصول دیگر به رنگ سیاه هستند. به همین دلیل است که منطقه مورد مطالعه را "مخمل‌کوه" می‌گویند. وجود خزه‌ها در سطوح رخنمون یافته کنگلومرا به همراه کارست‌های توسعه یافته در این نوع سنگ، به عنوان یکی از جاذبه‌های ژئوتوریسمی شهرستان خرم‌آباد شناخته می‌شود که هر ساله بویژه در فصل بهار پذیرای گردشگران بومی و سایر استان‌ها است. با توجه به بازدیدهای صحرائی، دو سناریو برای نقش خزه‌ها در توسعه و گسترش کارست‌ها می‌توان متصور بود. نقش اول می‌تواند بازدارنده توسعه کارست در کنگلومراها باشد. پوشش خزه در سطح کنگلومرا می‌تواند به عنوان یک نقش حفاظتی در برابر عوامل مخرب محیطی بویژه جریان آب‌های سطحی باشد به طوری که کاهنده یا مانع انحلال یا فرسایش کنگلومرا و در نتیجه توسعه کارست باشد. در طرف مقابل، ترشحاتی که از خزه‌ها صورت می‌گیرد ممکن است باعث

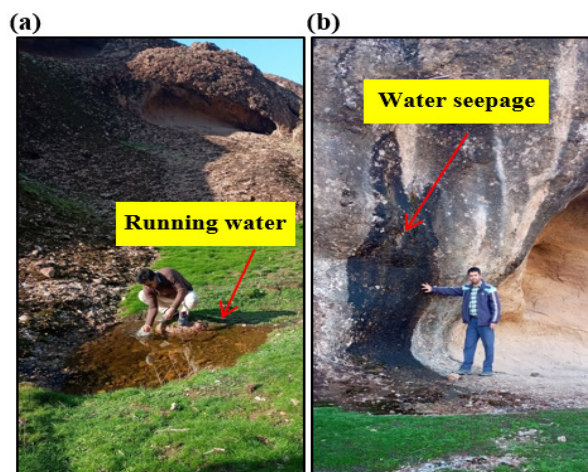
داده شده است. جریان آب در امتداد سطوح ضعف منجر به انحلال و فرسایش رخساره‌های کنگلومرایی منطقه و در نتیجه توسعه کارست در آن‌ها شده است. این موضوع هنگامی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند که اسیدپته آب را به عنوان یک پارامتر شیمیایی تأثیرگذار در انحلال کنگلومراهای منطقه نیز در نظر بگیریم.

است. این منجر به تشکیل جریان‌های آب‌های سطحی در منطقه بویژه در فصل بهار شده است. بر اساس بازدیدهای میدانی متعدد، جریان آب به دو صورت در منطقه مشاهده شد. یکی به صورت رواناب‌های سطحی و دیگری به صورت نشست از میان سطوح ناپیوستگی مانند شکستگی‌ها یا سطوح لایه‌بندی. در شکل (۱۸) این دو نوع جریان نمایش



شکل ۱۷. گسترش خزّه به صورت قشری محافظ بر روی کنگلومرا

Fig. 17. Development of algae as a protective coating on conglomerate



شکل ۱۸. جریان آب (a) جریان‌های سطحی و (b) جریان‌های متمرکز در امتداد سطوح شکستگی و لایه‌بندی

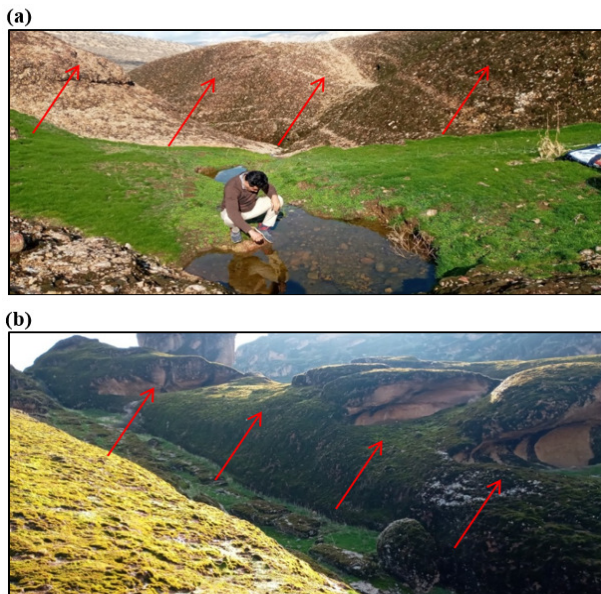
Fig. 18. Water flow (a) surface flows and (b) concentrated flows along fracture and bedding surfaces

می‌شود به طوری که به سمت قلیایی شدن میل خواهد کرد. به هر حال اسیدی یا قلیایی بودن آب با توجه به ماهیت ترکیب سنگ‌شناسی کنگلومراهای منطقه که برخی از آن‌ها حاوی سیمان کلسیتی و برخی دارای خمیره رسی هستند، در توسعه و تشکیل کارست در آن‌ها تأثیرگذار بوده است. بر اساس مطالعات صحرایی، آب‌های سطحی با اسیدپته ضعیف (با منشاء آب باران) در انحلال سیمان کلسیتی برخی کنگلومراها نقش دارند. از آنسو، آب‌های قلیایی ناشی از آزاد شدن یون Ca^{++} می‌تواند منجر به تسریع فرسایش سایر کنگلومراهای فاقد سیمان کربناته شود، و برعکس این نوع آب‌ها تأثیر کمی بر روی کنگلومراهای با سیمان کلسیتی دارند. با توجه به

منطقه مورد مطالعه هر چند در فاصله تقریباً زیادی از شهرستان خرم‌آباد واقع شده است و این باعث شده که یک منطقه بکر و فاقد آلاینده‌های صنعتی مانند دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن و... باشد، به هر حال در اثر واکنش آب باران با دی‌اکسید کربن، آب باران اندکی اسیدی خواهد شد. اندازه‌گیری اسیدپته آب باران منطقه مورد مطالعه نشان داد که pH آن معادل ۵/۷ است که دلالت بر اسیدی بودن آن است. این موضوع منجر به تسریع در انحلال برخی از کنگلومراهای با سیمان کلسیتی و بنابراین توسعه کارست در آن‌ها شده است. در پی انحلال سیمان کلسیتی این نوع کنگلومراها، اسیدپته آب به دلیل آزاد شدن یون‌های قلیایی مانند Ca^{++} دستخوش تغییراتی

تشکیل شده‌اند (شکل ۱۸). نقش قلیایی بودن آب منطقه با توجه به ترکیب سنگ‌شناسی کنگلومراها در بخش مطالعات آزمایشگاهی با استفاده از آزمایش دوام وارفتگی بررسی شده است.

بازدیدهای میدانی، کارست‌ها در هر دو نوع رخساره کنگلومرایی دانه‌پشتیبان و خمیره‌پشتیبان با سیمان کلسیتی و فاقد این نوع سیمان توسعه پیدا کرده‌اند. نکته حائز اهمیت این است که کارست‌های منطقه غالباً ماهیتی فرسایشی دارند و به مقدار کمتر به دلیل فرآیند انحلال



شکل ۱۹. جهت شیب دامنه و توسعه کارست (a) دامنه جنوبی و (b) دامنه شمالی (دامنه با پیکان قرمز مشخص شده است).

Fig. 19. The dip direction of the slope and development karst (a) southern slope and (b) northern slope (slopes are marked with a red arrow).

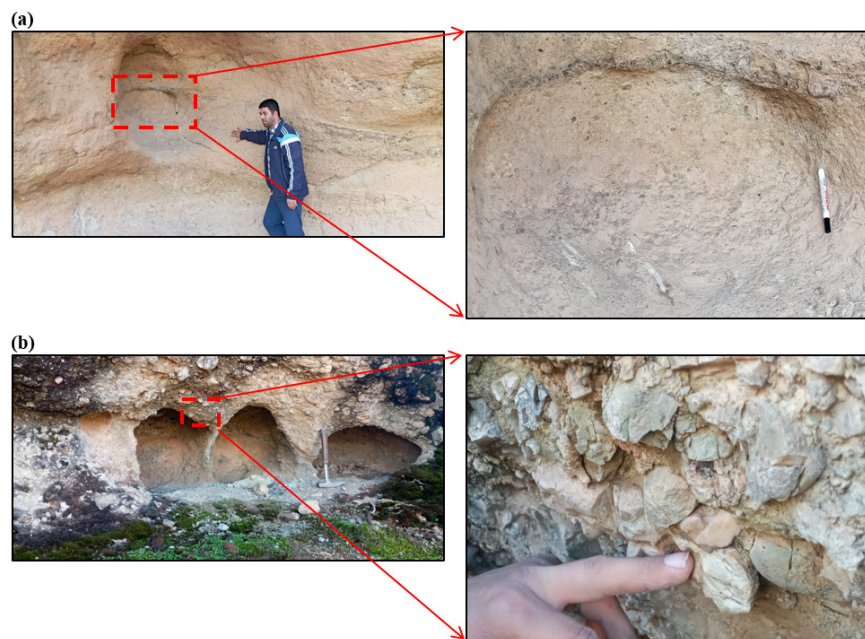
انجماد و آب شدن در منطقه رخ داده است که مربوط به ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند می‌باشند (سازمان هواشناسی کشور، ۲۰۲۳). همچنین آب در رشد و نمو پوشش گیاهی نقش برجسته‌ای دارد که این به نوبه خود در هوازگی شیمیایی و فیزیکی کنگلومرا تأثیر خواهند داشت. این که دامنه جنوبی باشد یا شمالی، در میزان آب و یا به عبارت دیگر مرطوب بودن آن نقش خواهد داشت. با توجه به این موارد، مدت زمان مرطوب بودن بودن دامنه‌های شمالی به دلیل تابش کمتر نور خورشید در مقایسه با دامنه‌های جنوبی، منجر به توسعه شدیدتر کارست‌زایی در آن‌ها شده است (شکل ۱۹).

بلندی‌های منطقه مورد مطالعه را توالی ضخیم کنگلومرایی تشکیل می‌دهد و ضخامت آن به بیش از ۵۰۰ متر می‌رسد. همانطور که در بخش ۵-۱ اشاره شد، کنگلومراها بر اساس میزان خمیره و قطعات به دو نوع خمیره‌پشتیبان با خمیره رسی و دانه‌پشتیبان با مقدار کمی خمیره و سیمان سیلیسی و/یا کلسیتی طبقه‌بندی می‌شوند. مشاهدات صحرائی نشان دهنده این است که هر چند در کنگلومرای

همانطور که در ابتدای این بخش اشاره شد، منطقه دارای توپوگرافی خشن با پستی و بلندی‌های متعدد است. شرایط توپوگرافی منطقه باعث ایجاد دامنه‌هایی با جهت و مقدار شیب کم تا زیاد در رخساره‌های کنگلومرایی شده است. یکی از اهداف بررسی‌های صحرائی در پژوهش حاضر، بررسی نقش جهت شیب دامنه در توسعه و تشکیل کارست بود. به طور کلی دامنه‌های سنگی در منطقه مورد مطالعه به دو گروه جنوبی (در جهت تابش نور خورشید) و دامنه شمالی (در خلاف جهت تابش نور خورشید) قابل تقسیم هستند. بر اساس بررسی‌ها، توسعه کارست در دامنه‌های شمالی نسبت به دامنه‌های جنوبی گسترش بیشتری را نشان می‌دهند. این موضوع را می‌توان مرتبط با حضور آب در این دو نوع دامنه دانست. آب نقش بسزایی در میزان و شدت هوازگی سنگ دارد که این نقش به صورت هوازگی‌های شیمیایی و فیزیکی است. با توجه به سردسیر بودن منطقه، چرخه‌های انجماد و آب شدن یکی از عوامل هوازگی و زوال کنگلومرایی منطقه هستند. آمار سال ۱۴۰۰ هجری شمسی نشان می‌دهد که حدود ۴۰ چرخه

اندازه، شکل هندسی و . . . کارست در انواع مختلف کنگلومرا الگوی خاصی را نشان نمی‌دهند (شکل ۲۰).

نوع خمیره‌پشتیبان به دلیل وجود کانی‌های رسی فراوان و عدم سیمان بین دانه‌ای، توسعه کارست از گسترش بیشتری برخوردار است، ولی به طور کلی توزیع، فراوانی،



شکل ۲۰. توزیع و گسترش کارست (a) کنگلومرای خمیره‌پشتیبان و (b) کنگلومرای دانه‌پشتیبان

Fig. 20. Karst distribution and development (a) matrix-supported conglomerate and (b) grain-supported conglomerate

۲۰۲۳). این آزمایش اصولاً برای حساسیت سنگ‌های آرژیلیتی (حاوی کانی‌های رسی) در برابر تأثیر چرخه‌های تر و خشک شدن طراحی شد. به هر حال، در سه دهه گذشته محققین مختلف از این آزمایش برای ارزیابی دوام سنگ‌های سخت (بدون کانی‌های رسی) مانند سنگ‌آهک، گرانیت، هورنفلس، مرمر و . . . نیز استفاده کرده‌اند (کارگیل و شکور، ۱۹۹۰؛ قبادی و همکاران، ۲۰۱۶؛ یاگیز، ۲۰۱۸؛ ترابی‌کاوه و همکاران، ۲۰۲۲). در آزمایش دوام وارفتگی ۱۰ قطعه سنگ تقریباً گروی ۴۰ تا ۶۰ گرمی (در مجموع جرمی معادل ۴۵۰ تا ۵۵۰ گرم) تهیه و بعد از قرار دادن آن‌ها در آون (به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد)، جرم خشک آن‌ها (M_1) تعیین می‌شود. سپس نمونه‌ها در ظرف استوانه‌ای مشبک (با روزه‌های مربع شکل با اندازه ضلع ۲ میلی‌متر) دستگاه آزمایش که تا مقدار معینی از محلول پر است قرار داده می‌شوند و به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۲ دور بر ثانیه چرخیده می‌شوند. با توجه به میزان استقامت نمونه‌ها در برابر آب، بخشی از آن‌ها به قطعات ریزتر تخریب می‌شوند. اگر اندازه ذرات تخریب شده کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر باشند، می‌توانند از

۵-۳- مطالعات آزمایشگاهی

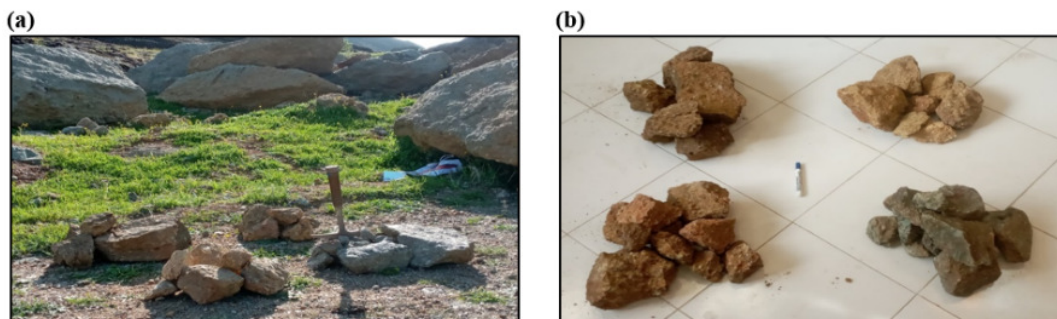
بر اساس مطالعات و بازدیدهای صحرایی، یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر فرسودگی و فرسایش کنگلومراها، وجود جریان‌های آب‌های سطحی و همچنین آب‌های ناشی در امتداد سطوح ناپیوستگی همچون درزه‌ها، شکستگی‌ها و سطوح لایه‌بندی تشخیص داده شد. در پژوهش حاضر، برای ارزیابی حساسیت نمونه‌های کنگلومرا در برابر آب، از آزمایش دوام وارفتگی استفاده شده است. این آزمایش یکی از آزمایش‌های بسیار رایج و پرکاربرد در مکانیک سنگ است که یک معیار مناسب برای ارزیابی حساسیت سنگ در برابر چرخه‌های تر و خشک شدن متوالی و همچنین تأثیر شیمیایی آب است. دستگاه دوام وارفتگی توسط فرانکلین و چاندر (۱۹۷۲) طراحی و ابداع شد و روش انجام آزمایش در سال ۱۹۸۱ توسط انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ به صورت استاندارد درآمد (ISRM, 1981). در آزمایش دوام وارفتگی، ترکیبی از تر و خشک شدن به همراه تأثیر شیمیایی محلول آزمایش به منظور تسریع کردن فرآیند فرسایش و هوازدگی روی نمونه‌های سنگ اعمال می‌شود (جمشیدی و همکاران، ۲۰۱۱؛ جمشیدی،

تعداد ۲۰ قطعه سنگ تقریباً کروی ۴۰ تا ۶۰ گرمی مطابق با استاندارد انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ (۱۹۸۱) تهیه شد. با توجه به شرایط محیطی یک منطقه مشخص، نوع محلول آزمایش می‌تواند آب مقطر، آب شرب، آب باران، آب ناشی از معادن فلزی، محلول نمک، محلول اسیدی، محلول قلیایی و . . . باشد. نوع محلول آزمایش یکی از فاکتورهای مؤثر در زوال و تخریب نمونه‌های سنگ در طی آزمایش دوام وارفتگی است (داکال و همکاران، ۲۰۰۲؛ نیکودل و همکاران، ۲۰۱۱؛ تقی‌پور و همکاران، ۲۰۱۶؛ فریدونی و خاجه‌وند، ۲۰۱۹). از اینرو، در طی بازدیدهای صحرایی از جریان آب‌های سطحی و نشی در امتداد سطوح ناپیوستگی منطقه مورد مطالعه نمونه‌برداری و برای آنالیز تعیین اسیدیته به آزمایشگاه مربوطه انتقال داده شد. نتایج تعیین اسیدیته نشان داد pH آب منطقه برابر با ۸/۱ است که دلالت بر قلیایی بودن آن دارد. به منظور بررسی تأثیر شیمیایی آب بر زوال و فرسایش نمونه‌ها، آزمایش دوام در دو نوع محلول شامل آب مقطر و آب منطقه انجام شد. در شکل (۲۲) دستگاه آزمایش دوام وارفتگی استفاده شده در پژوهش حاضر و نمونه‌های تهیه شده از کنگلومراها نمایش داده شده‌اند.

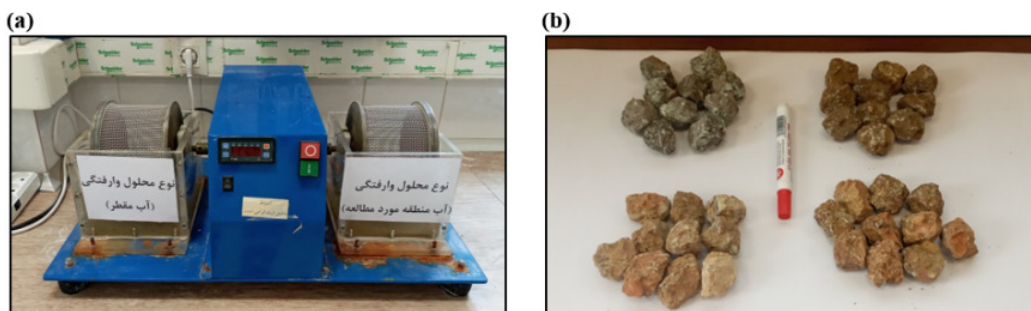
روزنه‌های ظرف مشبک استوانه‌ای خارج شوند. در ادامه نمونه‌های باقی مانده در ظرف استوانه‌ای مشبک خارج و به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده می‌شوند و جرم خشک آن‌ها (m_2) اندازه‌گیری می‌شود. سپس چرخه بعد تکرار می‌شود. بر اساس مقادیر جرم خشک اولیه (m_1) و ثانویه (m_2) نمونه‌ها، شاخص دوام وارفتگی سنگ (SDI) مطابق رابطه زیر بدست می‌آید:

$$SDI (\%) = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

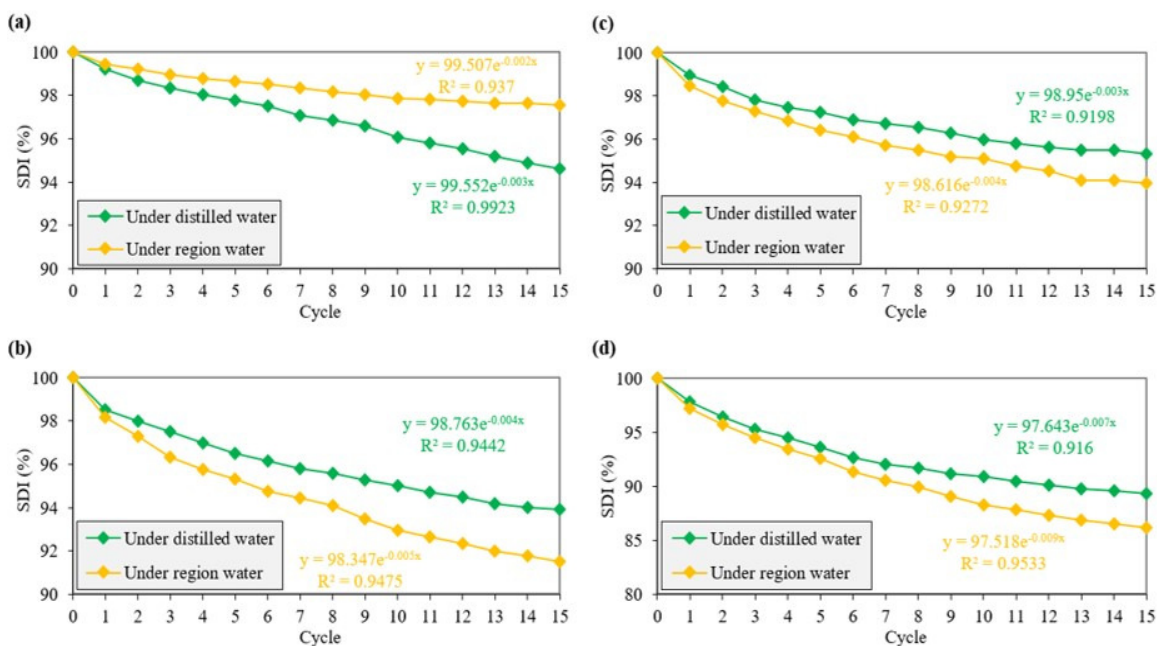
در پژوهش حاضر به منظور بررسی بلندمدت حساسیت نمونه‌های کنگلومرا در برابر تر و خشک شدن، آزمایش دوام وارفتگی تا ۱۵ چرخه انجام شد. به این منظور از چهار نوع بیشتر رخنمون یافته کنگلومرا در منطقه که توسعه کارست در آن‌ها شدیدتر بود، بلوک‌هایی از با ابعاد مناسب جمع‌آوری شد (شکل ۲۱). این کنگلومراها شامل کنگلومرای دانه‌پشتیبان با قطعات گرانول و پیل (CO_{gs} -GP)، کنگلومرای خمیره‌پشتیبان با قطعات کابل شناور (CO_{ms} -C)، کنگلومرای دانه‌پشتیبان با قطعات پیل و کابل (CO_{gs} -PC) و نمونه کنگلومرای خمیره‌پشتیبان با قطعات پیل و کابل شناور (CO_{ms} -PC) می‌باشند. بعد از انتقال بلوک‌ها به آزمایشگاه زمین‌شناسی، از هر نوع کنگلومرا



شکل ۲۱. (a) نمونه‌برداری صحرایی از ۴ نوع مختلف کنگلومرا و (b) نمونه‌های انتقال داده شده به آزمایشگاه زمین‌شناسی
Fig. 21. (a) Field sampling of 4 various types of conglomerate and (b) samples transferred to the geology laboratory



شکل ۲۲. (a) دستگاه آزمایش دوام وارفتگی و (b) نمونه‌های تهیه شده از ۴ نوع مختلف کنگلومرا برای انجام آزمایش
Fig. 22. (a) The slake durability test device and (b) samples prepared from 4 various types of conglomerate to performing the test



شکل ۲۳. تغییرات شاخص دوام نمونه‌ها در طی چرخه‌های تر و خشک شدن (a) نمونه Co_{gs} -GP (b) نمونه Co_{ms} -C (c) نمونه Co_{gs} -PC و (d) نمونه Co_{ms} -PC

Fig. 23. Variations of durability index of samples during wetting-drying cycles (a) Co_{gs} -GP (b) Co_{ms} -C (c) Co_{gs} -PC and (d) Co_{ms} -PC

توسعه داده شده برای برآورد شاخص دوام نمونه‌ها با استفاده از چرخه‌های تر و خشک شدن است. در واقع این معادلات قادر خواهند بود که زوال و تخریب نمونه‌های کنگلومرا در برابر چرخه‌های تر و خشک شدن را در بلندمدت برآورد کنند. با توجه به اینکه آزمایش دوام وارفتگی به منظور بررسی تأثیر چرخه‌های تر و خشک شدن بر زوال و تخریب نمونه‌ها، یک آزمایش وقت‌گیر و پرهزینه است، معادلات ارائه شده در پژوهش حاضر می‌توانند در زمینه برآورد و پیش بینی بلندمدت دوام سنگ‌ها کارآمد و مناسب باشد. به هر حال در استفاده از این معادلات برای سنگ‌های سایر مناطق، باید این نکته را در نظر گرفت که نوع سنگ و ویژگی‌های سنگ‌شناسی از جمله میزان دانه و خمیره و نوع آن‌ها مشابه با نمونه‌های کنگلومرای مطالعه شده در پژوهش حاضر باشند. یکی از طبقه‌بندی‌های رایج دوام سنگ‌ها در برابر چرخه‌های تر و خشک شدن، طبقه‌بندی ارائه شده توسط فرانکلین و چاندر (۱۹۷۲) است. در این طبقه‌بندی، سنگ‌ها بر اساس شاخص دوام به دست آمده از آزمایش دوام وارفتگی به شش رده دوام شامل فوق‌العاده زیاد، خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم، و خیلی کم تقسیم می‌شوند. همانطور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، نمونه Co_{gs} -GP بعد از

نتایج شاخص دوام وارفتگی نمونه‌های کنگلومراها در شکل (۲۳) ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش چرخه‌های تر و خشک شدن در هر دو محلول آب مقطر و آب منطقه، شاخص دوام نمونه‌ها روند کاهشی از خود نشان داده است. کاهش شاخص دوام نشان‌دهنده زوال و فرسودگی شدیدتر نمونه‌ها با افزایش چرخه‌های تر و خشک شدن است. با استفاده از آنالیزهای رگرسیون ساده از طریق نرم‌افزار Excel، منحنی‌های خطی، توانی، نمایی و لگاریتمی بین شاخص دوام وارفتگی و تعداد چرخه‌های آزمایش تر و خشک شدن برآزش شد. با توجه به مقادیر ضریب تعیین (R^2) هر یکی از این منحنی‌ها، دقیق‌ترین معادله بر اساس بالاترین R^2 به عنوان معادله بین شاخص دوام وارفتگی و تعداد چرخه‌های آزمایش تر و خشک شدن معرفی شد. مطابق با نتایج آنالیزهای رگرسیون ساده، معادلات همبستگی نمایی دارای بالاترین R^2 بودند که در شکل (۲۳) ارائه شده‌اند. معادله همبستگی نمایی نشان‌دهنده این واقعیت است که نرخ زوال و فرسودگی سنگ‌ها در چرخه‌های ابتدایی آزمایش تر و خشک شدن شدید و با افزایش تعداد چرخه‌ها، شدت نرخ زوال کاهش پیدا کرده است. بر اساس معادلات همبستگی، مقادیر R^2 بزرگ‌تر از ۰/۹۲ حاصل شده است که نشان‌دهنده دقت معادلات

منطقه (دوام خیلی زیاد) بوده است، قرار گرفته است. نتایج طبقه‌بندی دوام نمونه‌ها نشان می‌دهد که رفتار دوام نمونه $Co_{ms}-PC$ کاملاً متفاوت از انواع کنگلومراهای دیگر بوده است به طوری که این نوع کنگلومرا دوام کم‌تری را از خود نشان داده است. نمونه $Co_{ms}-PC$ در هر دو نوع محلول آزمایش آب مقطر و آب منطقه در رده سنگ‌های با دوام خیلی بالا قرار گرفته است.

چرخه‌های تر و خشک شدن در آب مقطر و آب منطقه به ترتیب در رده سنگ‌های با دوام فوق‌العاده زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرد در صورتی که نمونه $Co_{ms}-C$ در هر دو نوع محلول آزمایش به سنگ‌های با رده دوام خیلی بالا متعلق است. همچنین بر اساس نتایج ارائه شده در جدول (۱)، نمونه $Co_{gs}-PC$ در رده‌های متفاوت دوام بر حسب اینکه نوع محلول آب مقطر (دوام فوق‌العاده زیاد) یا آب

جدول ۱. طبقه‌بندی دوام کنگلومراها بر اساس پانزدهمین چرخه آزمایش دوام وارفتگی (SDI_{15})
Table 1. Durability classification of conglomerates based on the 15th cycle of durability test (SDI_{15})

Sample no	Durability classification					
	SDI (95-100%)	SDI (90-95%)	SDI (75-90%)	SDI (50-75%)	SDI (25-50%)	SDI (0-25%)
	Extremely high durability	Very high durability	High durability	Medium durability	Low durability	Very low durability
$Co_{gs}-GP$	RW	DW				
$Co_{ms}-C$		DW, RW				
$Co_{gs}-PC$	DW	RW				
$Co_{ms}-PC$			DW, RW			

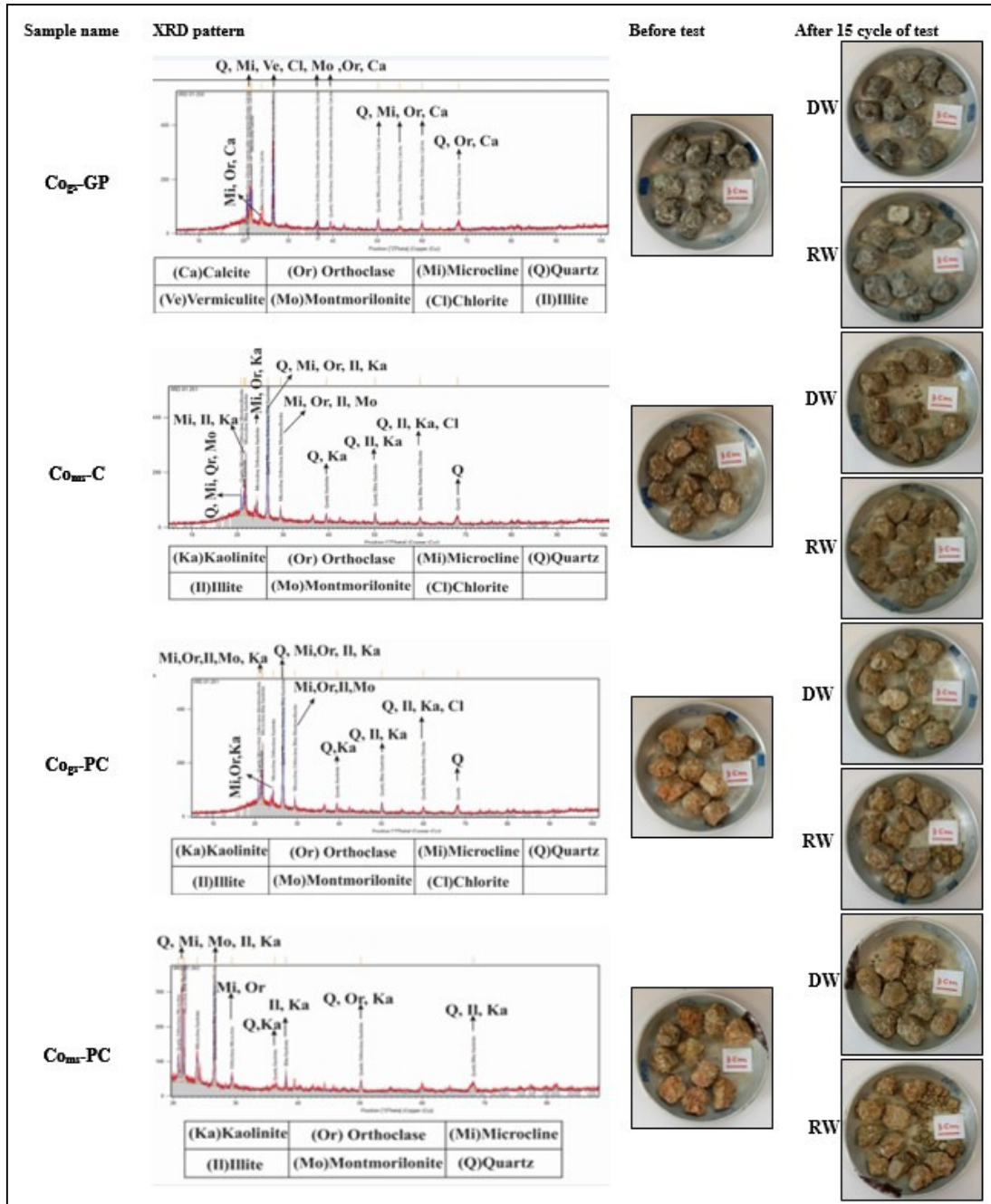
* DW; Distilled Water, RW; Region Water

کنگلومراهای با خمیره رسی در مقایسه با کنگلومرای حاوی سیمان کلسیتی، توسعه بیشتری داشته‌اند که این موضوع نیز در تطابق خوبی با نتایج کمی آزمایش چرخه‌های تر و خشک شدن و ترکیب سنگ‌شناسی کنگلومراها است. یکی از شواهد صحرایی که به خوبی با نتایج آزمایش دوام وارفتگی انطباق دارد، شسته شدن خمیره رسی کنگلومراهای حاوی این نوع کانی‌ها و حمل قطعات درشت‌تر توسط جریان‌های آب سطحی به سمت پایین دامنه منطقه مورد مطالعه است. همان‌طور که در شکل (۲۵) می‌توان مشاهده کرد، رسوبات شسته شده از فرسایش کنگلومرا و در نتیجه توسعه کارست، در محل پایین دست ارتفاعات تجمع پیدا کرده‌اند. پتانسیل فرسایش کنگلومراها و رسوب‌گذاری به حدی بالا بوده است که منجر به تشکیل پوینت‌بارهای رودخانه‌ای در مناطق پایین‌دست شده است. یکی دیگر از شواهد صحرایی فرسایش‌پذیری کنگلومراها به دلیل تأثیر آب، وجود تونل انتقال آب حفر شده در منطقه مورد مطالعه است. در دیواره و سقف تونل، سطوح شکستگی‌ها و لایه‌بندی متعددی وجود دارد که باعث نشت آب به درون تونل می‌شوند. جریان نشتی آب در امتداد این سطوح منجر به شسته شدن و فرسایش کنگلومراها شده است به طوری که حفره‌های کارستی با ابعاد خیلی کوچک تا کوچک در سقف و دیواره‌ای تونل ایجاد شده است. این فرآیند در آینده

در شکل (۲۴) شکل ظاهری نمونه‌های کنگلومرا در شرایط بکر (قبل از آزمایش) و بعد از ۱۵ چرخه آزمایش تر و خشک شدن در آب مقطر و آب منطقه نمایش داده شده است. همچنین نتایج آنالیزهای پراش پرتو X (XRD) مربوط به کنگلومراها در کنار نمونه‌های ماکروسکوپی ارائه شده است. بر اساس این شکل، نمونه $Co_{gs}-GP$ که دارای سیمان کلسیتی است در مقایسه با نمونه‌های $Co_{ms}-C$ ، $Co_{gs}-PC$ و $Co_{ms}-PC$ که فاقد سیمان کلسیتی هستند ظاهر اولیه خود را بعد از چرخه‌های تر و خشک شدن بیشتر حفظ کرده است. نمونه‌های $Co_{ms}-C$ ، $Co_{gs}-PC$ و $Co_{ms}-PC$ دارای خمیره رسی شامل کانی‌های ایلیت، کلریت، ورمیکولیت و مونت‌موریلونیت هستند که این کانی‌ها به شدت در برابر چرخه‌های تر و خشک شدن آسیب‌پذیر هستند و دچار زوال و تخریب می‌شوند (ترابی کاوه و همکاران، ۲۰۲۲؛ جمشیدی و صداقت‌نیا، ۲۰۲۳). این موضوع باعث شده که تغییرات محسوسی از لحاظ شکل ظاهری در این نمونه‌ها بعد از چرخه‌های تر و خشک شدن رخ دهد. در میان کنگلومراهای حاوی خمیره کانی‌های رسی، نمونه $Co_{ms}-PC$ تغییرات ظاهری شدیدتری را بعد از چرخه‌های تر و خشک شدن متحمل شده است که این موضوع با نتایج کمی شاخص دوام وارفتگی تطابق خیلی دقیقی دارد (جدول ۱). مشاهدات صحرایی از منطقه نشان می‌دهد که کارست در

گذاشته شده‌اند. علاوه بر ایجاد قطعات رسوبی توسط فرسایش و جریان آب در تونل، همچنین بخشی از این قطعات حاصل عملیات حفاری تونل در طی ساخت آن هستند.

ممکن است منجر به ناپایداری تونل و در نتیجه خطرات جانی و مالی شود. مصالح تشکیل دهنده کنگلومراها توسط جریان آب نشتی به بیرون از تونل هدایت می‌شوند که قطعات درشت‌تر به صورت رسوباتی با جلوه‌ای زیبا همچون سنگفرش بیابان در کف و خروجی‌های تونل بر جای



شکل ۲۴. فرسودگی و واپاشی نمونه‌ها بعد از چرخه‌های تر و خشک شدن (a) نمونه C_{0gs}-GP (b) نمونه C_{0ms}-C (c) نمونه C_{0gs}-PC و (d) نمونه C_{0ms}-PC (DW: آب مقطر، RW: آب منطقه)

Fig. 24. Decay and slaking of the samples after wetting-drying cycles (a) C_{0gs}-GP (b) C_{0ms}-C (c) C_{0gs}-PC and (d) C_{0ms}-PC (DW: distilled water, RW: area water)

خشک شدن روی کنگلومراها در شرایط آزمایشگاهی دارند. در شکل (۲۴) قطعات درشت باقیمانده از کنگلومراها که حاصل تأثیر چرخه‌های تر و خشک شدن آزمایشگاهی هستند را نیز می‌توان مشاهده کرد.

شکل (۲۵) تصویر رسوبات حاصل از فرسایش کنگلومراها به دلیل نشت و جریان آب در تونل را نمایش داده است. این نوع رسوبات مشاهده شده در شرایط صحرایی به دلیل نقش آب، تطابق بسیار خوبی با نتایج چرخه‌های تر و



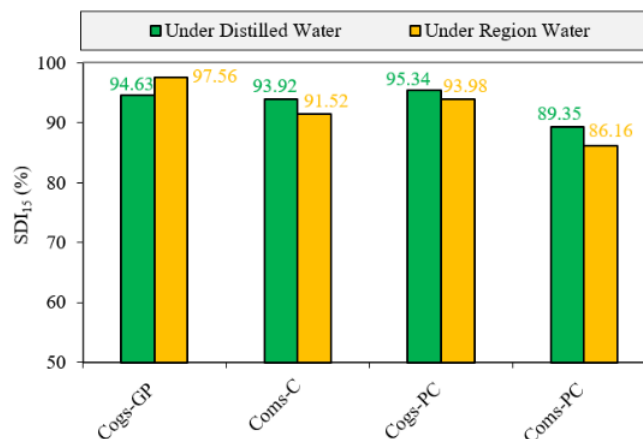
شکل ۲۵. (a) رسوبات حاصل از تأثیر فرسایشی آب روی کنگلومرا و پوینت‌بارهای رودخانه و (b) رسوبات حاصل از فرسایش کنگلومراهای سقف دیوار تونل به دلیل نشت و جریان آب در امتداد سطوح شکستگی و لایه‌بندی و همچنین قطعات حاصل در طی عملیات حفاری و ساخت تونل
Fig. 25. (a) Sediments resulting from the erosive effect of water on the conglomerate and point bars of the river and (b) sediments resulting from the erosion of conglomerate in the roof and faces of tunnel due to leakage and water flow along fractures and bedding surfaces as well as the resulting parts during the tunnel excavation and construction operations

نمونه‌های سنگ در طی چرخه‌های تر و خشک شدن است (کایابالی و همکاران، ۲۰۰۶؛ نیکودل و همکاران، ۲۰۱۱). همانطور که در بخش مطالعات آزمایشگاهی (بخش ۵-۳) اشاره شد، آزمایش دوام وارفتگی، علاوه بر آب مقطر، در آب منطقه که pH برابر با ۸/۱ دارد نیز انجام شد. در شکل (۲۶) نتایج شاخص دوام کنگلومراها در پانزدهمین چرخه آزمایش دوام وارفتگی در محلول آب مقطر و آب منطقه نشان داده شده است. بر اساس این شکل، نمونه‌های $Co_{ms}-C$ ، $Co_{gs}-PC$ و $Co_{ms}-PC$ دوام کمتری (یعنی زوال و تخریب بیشتری) در آب منطقه نسبت به آب مقطر از خود نشان داده‌اند. حال آنکه رفتار نمونه $Co_{gs}-GP$ کاملاً متفاوت از سایر کنگلومراها است به طوری که دوام آن در آب مقطر کمتر از آب منطقه است. این موضوع را می‌توان به سیمان کلسیتی نمونه $Co_{gs}-GP$ نسبت داد که باعث شده در آب قلیایی منطقه دوام بیشتری داشته باشد. همان‌طور که محققین در پژوهش‌های گذشته نشان

آب باران به دلیل ترکیب با دی‌اکسیدکربن (CO_2) و تشکیل اسید کربنیک، اندکی اسیدی است. به هر حال با توجه به میزان آلاینده‌های یک منطقه به‌ویژه آلاینده‌های صنعتی، مقدار اسیدیته آب باران می‌توان شدیدتر شود. منطقه مورد مطالعه در حدود ۱۳ کیلومتری شهرستان خرم‌آباد است و بنابراین یک منطقه بکر و دور از آلاینده‌های صنعتی محسوب می‌شود. با اندازه‌گیری pH آب باران در منطقه، نتایج نشان دهنده اسیدیته ضعیف آن ($pH=5.7$) است. اسیدی بودن آب هر چند اندک، منجر به تسریع در انحلال کانی‌های کربناته در منطقه خواهد شد. نتایج آنالیز XRD و مطالعات مقاطع نازک میکروسکوپی نشان داد که برخی از کنگلومراهای رخنمون یافته سیمان کلسیتی دارند. انحلال سیمان کلسیتی به دلیل باران اسیدی، منجر به آزاد شدن یون کلسیم و در نتیجه تغییر در ترکیب شیمیایی آب خواهد شد. pH آب در آزمایش دوام وارفتگی یکی از عوامل بسیار مؤثر در زوال و تخریب

قبادی و موسوی، ۲۰۱۴؛ خاجه‌وند و فریدونی، ۲۰۲۲؛ پرویزپور و همکاران، ۲۰۲۲) که نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر نیز مؤید این موضوع است.

داده‌اند با کاهش pH محلول (یعنی افزایش اسیدیته) انحلال کانی‌های کربناته بیشتر خواهد شد و در نتیجه دوام سنگ کاهش پیدا خواهد کرد (گوپتا و احمد، ۲۰۰۷؛



شکل ۲۶. شاخص دوام نمونه‌ها بعد از ۱۵ چرخه تر و خشک شدن آزمایش دوام وارفتگی در آب مقطر و آب منطقه

Fig. 26. Durability index of the samples after 15 cycles of wetting-drying of the durability test in distilled water and area water

بررسی‌های آزمایشگاهی مؤید این نکته بود که حضور آب نقش بسیار بسزایی در زوال و تخریب کنگلومراها و در نتیجه توسعه کارست در آن‌ها داشته است. از سوی دیگر، قلیایی بودن آب منطقه منجر به تشدید زوال و فرسایش نمونه‌ها شده است که این موضوع با استفاده از نتایج آزمون آزمایشگاهی دوام وارفتگی در آب قلیایی منطقه حاصل شد. یافته‌های آزمون‌های آزمایشگاهی در تطابق خوبی با مطالعات صحرایی بودند که نکته حائز اهمیت این تطابق نقش ویژگی‌های سنگ‌شناسی، حضور آب و ترکیب شیمیایی آب از حیث قلیایی بودن در فرآیند کارست‌زایی منطقه بود. برای بررسی اینکه آیا کارست‌های توسعه یافته در کنگلومراهای منطقه صرفاً سطحی هستند یا در اعماق زمین نیز وجود دارند، از شواهد موجود در دیواره‌ها و سقف تونل انتقال آب حفر شده در کنگلومراها استفاده شد. بر اساس بازدیدهای میدانی از این تونل، شواهدی از توسعه کارست در دیواره‌ها و سقف آن مشاهده شد. به هر حال توسعه، فراوانی و ابعاد کارست‌ها در تونل به مراتب کم‌تر از کارست‌های تشکیل شده در رخنمون‌های سطحی منطقه بودند. مقایسه کارست‌ها از جنبه‌های توسعه‌یافتگی، فراوانی و ابعاد دلالت بر این دارد که کارست‌زایی در رخنمون‌های سطحی نسبت به کارست‌زایی در اعماق زمین با شدت به مراتب بیشتری رخ داده است. به هر حال برای بررسی گسترده‌تر نیاز به حفر گمانه‌های اکتشافی در

۶- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، برای اولین بار مطالعه جامعی در ارتباط با کارست‌های توسعه یافته در کنگلومرای امیران در منطقه تنگه شبیخون در شمال شهرستان خرم‌آباد انجام شد. بر اساس مطالعات صحرایی و مقاطع نازک میکروسکوپی، دو نوع اصلی کنگلومرا شامل دانه‌پشتیبان و خمیره‌پشتیبان تشخیص داده شد که با توجه به اندازه و فراوانی قطعات درشت و میزان خمیره به زیرشاخه‌های جزئی‌تری طبقه‌بندی شدند. به طور کلی، توسعه کارست در این دو نوع کنگلومرا از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند به طوری که با توجه به اندازه قطعات، میزان خمیره و نوع سیمان، شدت کارست‌زایی در آن‌ها از کم تا زیاد متغیر است. بر اساس مشاهدات صحرایی، کارست‌های منطقه در اکثر موارد از نوع فرسایشی و به ندرت از نوع انحلالی هستند. عواملی مانند دانه‌پشتیبان یا خمیره‌پشتیبان بودن و ترکیب سنگ‌شناسی کنگلومراها، پراکندگی و میزان پوشش خزه در سطح رخنمون‌یافته کنگلومراها، جهت شیب دامنه نسبت به جهت تابش نور خورشید (دامنه جنوبی یا شمالی)، حضور سطوح ناپیوستگی در کنگلومراها شامل شکستگی‌ها و لایه‌بندی، جریان آب‌های سطحی و نشت آب در امتداد سطوح ناپیوستگی، و در نهایت اسیدی بودن آب باران و قلیایی بودن آب منطقه از عوامل مهم در شدت، اندازه و پراکندگی کارست‌ها در منطقه مورد مطالعه بودند.

- Ford, D. C., Williams, P. W (2012) Karst Geomorphology and Hydrology. Publisher: Springer Dordrecht.
- Franklin, J. A., Chandra, A (1972) The slake durability test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 9: 325–341. doi.org/10.1016/0148-9062(72)90001-0.
- Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (2023) <https://gsi.ir>, Accessed 7 September 2023.
- Ghobadi, M., Mousavi, S (2014) The effect of pH and salty solutions on durability of sandstones of the Aghajari Formation in Khuzestan province, southwest of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 7: 641–653. doi.org/10.1007/s12517-012-0741-0.
- Ghobadi, M. H (2007) Karst Engineering Geology. Bu Ali Sina University Press. (In Persian).
- Ghobadi, M. H., Ghorbani Saber, A (2011) Studying the characteristics of karst geomorphology in Khorramabad city. Proceedings of: 6th Conference of Engineering Geology and the Environment, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (In Persian).
- Ghobadi, M. H., Karrari, S. S., Almasikia, H (2019) Evaluation of formation Karst potential with analysis hierarchy method in Khozestan province. *New Findings in Applied Geology*, 13(25): 72–84.
- Ghobadi, M. H., Taleb Beydokhti, A. R., Nikudel, M.R., Asiabanha, A., Karakus, M (2016) The effect of freeze–thaw process on the physical and mechanical properties of tuff. *Environmental Earth Sciences*, 75: 846. doi.org/10.1007/s12665-016-5664-8.
- Gupta, V., Ahmed, I (2007) The effect of pH of water and mineralogical properties on the slake durability (degradability) of different rocks from the Lesser Himalaya, India. *Engineering Geology*, 95: 79–87.
- Han, Z., Tang, C., Wu, P., Zhang, R., Zhang, C., Sun, J (2015) Hydrogeochemical characteristics and associated mechanism based on groundwater dating in a karstic basin, Guizhou Province, China. *Environmental Earth Sciences*, 73: 67–76. doi.org/10.1007/s12665-014-3395-2
- Hatamifard, R., Saffari, A., Myamani, M., Karimi, H (2018) Evaluating hydrodynamic behavior and karst development in the Gareen anticline (case study: Alashtar and NourAbad karstic aquifers). *Geography and Environmental Planning*, 29(3): 15–34. doi.org/10.22108/gep.2018.101464.1014 (In Persian).
- Iran Meteorological Organization (2023) <https://www.irimo.ir>, Accessed 1 September 2023.
- مکان‌های مختلف منطقه است به گونه‌ای که ارزیابی جامع-تری در ارتباط با توسعه کارست در اعماق زمین حاصل شود.
- ۷- تشکر و قدردانی**
- این پژوهش در قالب طرح پژوهشی شماره "۱۴۰۳۱۱۵۱۱۴۰۳" با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه لرستان انجام شده است. نویسندگان کمال تشکر و قدردانی را از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه لرستان دارند.
- References**
- Aghanabati, A (2004) Geology of Iran. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran Press. (In Persian).
- Ahmadi, F., Alijani, F., Nasseri, H (2018) Application of remote sensing and geoelectric methods in groundwater exploration in karst areas of southern Kuhdasht, Lorestan. *Hydrogeology*, 2(2): 29–43. doi.org/10.22034/hydro.2018.5686 (In Persian).
- Alavi, M (2004) Regional stratigraphy of the Zagros Fold-and-Thrust Belt of Iran and Its Prof Orland evolution. *Amrican Journal of Science*, 304: 1–20. doi.org/10.2475/ajs.304.1.1.
- Behzadtabar, P., Ghobadi, M. H (2016) Assessment of Karst development base on lithological, morphological and structural characteristics in the Bid Sorkh region, East of Sahneh, East of Kermanshah. *New Findings in Applied Geology*, 10(20): 76–91. doi.org/10.22084/nfag.2017.1694 (In Persian).
- Cargill, J. S., Shakoor, A (1990) Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial compressive strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 27: 495–503. doi.org/10.1016/0148-9062 (90)91001-N.
- Dhokal, G., Yoneda, T., Kato, M., Kaneko, K (2002) Slake durability and mineralogical properties of some pyroclastic and sedimentary rocks. *Engineering Geology*, 65: 31–45. doi.org/10.1016/S0013-7952 (01)00101-6.
- Falcon, N. L (1961) Major earth–Flexuring in the Zagros Mountains of south-west Iran. *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, 117: 367–376. doi.org/10.1144/gsjgs.117.1.036.
- Fereidooni, D., Khajevand, R (2019) Utilization of the accelerated weathering test method for evaluating the durability of sedimentary rocks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78: 2697–2716. doi.org/10.1007/s10064-018-1267-9.

- Milanovic, S., Stevanovic, Z., Jemcov, I (2010) Water losses risk assessment: an example from Carpathian karst. *Environmental Earth Sciences*, 60(4): 817–827. doi.org/10.1007/s12665-009-0219-x.
- Millanovic, P. T (1981) *Karst Hydrology*. Water Resources Publications, Littleton, Colo.
- Molaei, M (2014) Investigating factors affecting karst development in the Green anticline. Unpublished MSc Dissertation, Kharazmi University, Tehran, Iran. (In Persian).
- Motiee, H (2003) *Geology of Iran (Stratigraphy of Zagros)*. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran Press.
- Mustafa, O., Merkel, B (2015) Classification of karst springs based on discharge and water chemistry in Makook karst system, Kurdistan Region, Iraq. *FOG-Freiberg Online Geoscience*, 39: 1–24.
- Nabavi, M. H (1976) *An introduction to the geology of Iran*. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran Press. (In Persian).
- Nikudel, M. R., Jamshidi, A., Hafezi Moghaddas, N (2011) An investigation on dissolution and deterioration of building stones in sulfuric and nitric acids solutions. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 20(80): 135–142. doi.org/10.22071/gsj.2018.55244 (In Persian).
- Parvin, M., Hatamifard, R (2019) Investigating Karst Geomorphology and the Effects of Drought on Quantitative and Qualitative Characteristics of Water Resources in Garen Mountains (Lorestan Province). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 8(3): 1–18. doi.org/10.22067/geo.v0i0.79453 (In Persian).
- Parvizpour, S., Jamshidi, A., Sarikhani, R., Ghassemi Dehnavi, A (2022) The pH effect of sulfuric acid on the physico-mechanical properties of Atashkuh travertine, Central Iran. *Environmental Earth Sciences*, 81: 159. doi.org/10.1007/s12665-022-10282-3.
- Raiesi, E (2002) Carbonate Karst Caves in Iran, Evolution of karst: from prekarst to Cessation, Ljubljana- Postojna, 339–344.
- Rezaei Banafsheh, M., Kakoolvand, Y (2015) Zoning Lorestan province by using of cluster analysis. *Physical Geography Quarterly*, 7(26): 41–50. (In Persian).
- Ritter, D. F., Kochel, R. C., Miller, J. R (1995) *Process Geomorphology*, 3rd Edition, Wm. C. Brown Publishers, Dubuque, IA.
- Sepahvand, A., Nazari Samani A. A., Mohammadian, H., Ahmadi, H., Feiz Nia, S (2020) Seasonal Variation of the Solute and Determine the Solubility of Limestone Formations. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 14(48): 21–32. (In Persian).
- ISRM (1981) In: Brown ET (ed) *ISRM suggested: rock characterization, testing and monitoring methods*. Pergamon, Oxford.
- James, G. A., Wynd, J. G (1965) *Stratigraphic Nomenclature of Iranian Oil Consortium Agreement Area*. AAPG Bulletin, 49(12): 2182–2245.
- Jamshidi, A (2023) Slake durability evaluation of granitic rocks under dry conditions and slaking solution and its prediction using petrographic and strength characteristics. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 82: 120. doi.org/10.1007/s10064-023-03134-2.
- Jamshidi, A., Nikudel, M. R., Hafezi Moghadas, N (2011) Correlation between durability index and mechanical properties of some samples from building stones with emphasis on the influence of the number of wetting and drying cycles. *Iranian Journal of Geology*, 16(4): 3–14. (In Persian).
- Jamshidi, A., Sedaghatnia, M (2023) The slake durability of argillaceous and non-argillaceous rocks: insights from effects of the wetting–drying and rock lumps abrasion. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 56: 5115–5131. doi.org/10.1007/s00603-023-03318-y.
- Kayabali, K., Beyaz, T., Kolay, E (2006) The effect of the pH of the testing liquid on the slake durability of gypsum. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 65: 65–71. doi.org/10.1007/s10064-005-0027-9.
- Kazemi, R., Ghermezcheshmeh, B (2021) Investigating the impact of drought on flow duration curve in karst catchments (case study: Kaka-Reza catchment). *Environment and Water Engineering*, 7(3): 433–443. doi.org/10.22034/jewe.2021.265822.1499 (In Persian).
- Khajevand, R., Fereidooni, D (2022) The effects of water acidity and engineering properties on rock durability. *Earth Sciences Research Journal*, 26: 69–82. doi.org/10.15446/esrj.v26n1.76468.
- Khanlari, G. R., Momeni, A. A (2012) Geomorphology, hydrogeology and the study of factors affecting to karst development in Garin area, west of Iran. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 2(3): 61–74. doi.org/10.22111/gaij.2012.699 (In Persian).
- Khosrow Tehrani, Kh., Abyat, A., Afghah, M (2009) Stratigraphy of lower part of Amiran Formation in N.W and S.E of Khorramabad. *Applied Geology*, 4(3): 121–132. (In Persian).
- Maghsoudi, M., Yamani, M., Moghimi, E., Rezvani, M., Baharvand, M (2018) Identification and evaluation of karst geomorphosites using the combined model of Kubalikova and Kirchner (Case Study: Karst geomorphosites in Poldokhtar- Lorestan province). *Quantitative Geomorphological Research*, 7(1): 1–12. (In Persian).

- Servati, M. R., Eshghi, A (2005) Geomorphological characteristics of karst landscapes in the Karde watershed (east of Kope-Dagh zone). *Geographical Research Quarterly*, 48: 1–15 (In Persian).
- Stocklin, J (1968) Structural History and Tectonic of Iran: A Review. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52: 1229–1258.
- Taghipour, M., Nikudel, M. R., Farhadian, M. B (2016) Engineering properties and durability of limestones used in Persepolis complex, Iran, against acid solutions. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75: 967–978. doi.org/10.1007/s10064-015-0821-y.
- Torabi-Kaveh, M., Mehrnahad, H., Morshedi, S., Jamshidi, A (2022) Investigating the durability of weak rocks to forecast their long-term behaviors. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 81: 8. doi.org/10.1007/s10064-021-02504-y.
- Tucker, M. E (2001) *Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks*. John Wiley and Sons.
- Velayati, S., Khanalizadeh, F (2012) Tectonic structures and karst form (The case study: Karde Basin). *Geography*, 9(31): 171–189. (In Persian).
- Yagiz, S (2018) The Effect of pH of the testing liquid on the degradability of carbonate rocks. *Geotechnical and Geological Engineering*, 36: 2351–2363.

Investigating the development of conglomeratic karsts based on field and laboratory studies (Case study: Tange Shabikhun region, Khorramabad city)

A. Jamshidi^{1*} and M. Sedaghatnia^{2,3}

1- Assoc. Prof., Dept., of Geology, Faculty of Science, Lorestan University, Khorramabad, Iran

2- Ph. D., student sedimentology and sedimentary rocks, Faculty of Science, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran

3-Expert of the Central Laboratory of Lorestan University, Khorramabad, Iran

* Jamshidi.am@lu.ac.ir

Received: 2023.7.5 Accepted: 2023.9.18

Abstract

One of the significant geological phenomena in the conglomerate of the Amiran Formation in Shabikhun region of Khorramabad city is the karsts development with different distribution, shapes and sizes, which has created a unique geotourism attraction in this region. Since the development of karst rarely occurred in the coarse-grained detrital facies such as conglomerates, therefore, in the present study, the karsts developed in the conglomerate of Amiran Formation in the mentioned region have been investigated using field and laboratory studies. Based on field studies, petrographic characteristics, water seepage along fractures and bedding surfaces, algal cover, dip direction of slope and alkalinity of water were identified as the main agents of karst development. For laboratory studies, the slake durability test and petrographic characteristics were used. The results of the slake durability test (up to 15 cycles) on four various samples of the conglomerate showed that sample with calcite cement ($Id_{15} = 97.56\%$) had less erosion and decay than other samples without calcite cement ($Id_{15} = 86.16-93.98\%$). In addition to effect of the cement type and clay matrix in the erosion and decay of the conglomerates and as a result the karst development, the alkalinity of region water also plays a significant role in the erosion and decay of the conglomerates without calcite cement, and thus more severe development of karst in them compared to conglomerates with calcite cement. However, some karsts are formed due to dissolution of calcite cement, which have been less abundant than those formed in other conglomerates without calcite cement. In fact, investigations indicated that conglomeratic karsts are mostly erosional type. Generally, studies result of petrographic and laboratory are in good agreement with field evidences in relation to the way and intensity of the karstification in the study region.

Keywords: Karst, Conglomerate, Alkaline water, Wetting and drying, Khorramabad

Introduction

One of the significant geological phenomena in the conglomerate of the Amiran Formation in Shabikhun region of Khorramabad city is the karsts development with different distribution, shapes and sizes, which has created a unique geotourism attraction in this region.

Karst is a time-consuming and complex geological process. Karst formation is influenced by various factors such as rock type, precipitation rate, the presence of groundwater and surface water flows and their chemical composition, the presence of joint systems, fractures, layering, etc. In relation to the development and formation of karstic forms, various researchers have conducted valuable studies. Given the abundance of karst regions in around the world, they play a significant role in human life. So far, no study has been

conducted on the development and formation of karst in conglomerate facies in Iran. Since karst development in detrital facies (especially coarse-grained facies such as conglomerates) rarely occurs, the present study investigated the development of karst in these facies type. This can provide new findings in the various sciences relation to karst, such as geology and geography, and open the new issues for the researches by various researchers. In the present study, the factors affecting the development and formation of karst in conglomerate facies in the Shabikhun region of (Khorramabad city, west of Iran) using field and laboratory studies were investigated.

Methodology of study

Three steps including library, field, and laboratory studies were designed to achieve the

objectives of the present study. Library studies include collecting data and information published in books, articles, reports, and on the other hand studying geological and topographic maps of the study region. In the site studies, a number of field visits were made to investigate conglomerate facies, and geological and topographic conditions (in terms of the presence of tectonic structures, surface waters, etc.), as well as the development of karstic forms. For laboratory studies, lithological examinations and slake durability test were performed on various conglomerate samples collected from field visits. The slake durability test was conducted in order to investigate the sensitivity of conglomerate samples to erosion and the chemical effects of water, and consequently its role in development and formation of karsts.

Results and discussion

Based on studies of field and laboratory, two main types of conglomerates were identified, including grain-supported and matrix-supported. In general, the development of karst in these two types of conglomerates does not follow a specific pattern, so that the intensity of karstification in them varies from low to high, depending on the size of the rock fragments, the amount and type of matrix and the cement. Based on field observations, the karsts of the region are mostly erosional and rarely dissolution. Factors such as lithological composition of the conglomerates, the distribution and amount of algal cover on the surface of the conglomerates, the dip direction of the rock slope relative to the sunlight (southern or northern slopes), the presence of discontinuity surfaces in the conglomerates (e.g., fractures and layering), flow of surface water and groundwater seepage along the discontinuity surfaces, and finally the acidity of rainwater and the alkalinity of the surface water were critical factors in the intensity, size, and distribution of karsts in the study region. Laboratory studies confirmed that the presence of surface water played a very significant role

in the erosion of the conglomerates and, as a result, the development of karst in them. On the other hand, the alkalinity of the surface water in the region lead to the intensification of the decay of the conglomerates, verified using the results of the slake durability test. The findings of the laboratory tests were in good agreement with the site investigation. To examine whether the karsts developed in the conglomerates are only superficial or also exist in subsurface, the evidences found in the walls and roof of the water conveyance tunnel excavated in the conglomerates were used. Based on field visits, evidences of karst development were observed in walls and roof of tunnel. However, the development, abundance, and dimensions of the karsts outcropped in the tunnel were much less than the those that observed in the ground surface. Comparing the karsts in terms of development, abundance, and dimensions implies that karstification in the ground surface outcrops has occurred with much greater intensity than those in the depths of the ground.

Conclusions

One of the significant geological phenomena in the conglomerate of the Amiran Formation in Shabikhun region of Khorramabad city is the karst development with different distribution, shapes and sizes, which has created a unique geotourism attraction. Based on field observations and laboratory tests, the karsts developed in the study region are mostly erosional and rarely dissolution. Factors such as lithological composition of the conglomerates, the distribution and amount of algal cover on the surface of the conglomerates, the dip direction of the rock slope relative to the sunlight (southern or northern slopes), the presence of discontinuity surfaces in the conglomerates (e.g., fractures and layering), flow of surface water and groundwater seepage along the discontinuity surfaces, and finally the acidity of rainwater and the alkalinity of the surface water were critical factors affecting on intensity, size, and distribution of karsts in the study region.