

بررسی تأثیر ویژگی‌های سنگ‌شناسی بر توسعه عوارض کارستی در واحدهای سنگی کربناته رشته کوه شتری، شرق ایران

طیبه اشرف^۱، غلامرضا میراب شهبستی^{۲*}، بهروز اعتباری^۳

۱- کارشناس ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، ایران

۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، ایران

۳- کارشناس ارشد آب‌شناسی، شرکت آب منطقه‌ای خراسان جنوبی، بیرجند، ایران

*پست الکترونیک: gshabestari@birjand.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۱/۴

تاریخ دریافت: ۹۱/۲/۲۶

چکیده

ویژگی‌های سنگ‌شناسی در سنگهای کربناته از جمله کانی‌شناسی، بافت، اندازه بلورها، تخلخل، شکستگی، انحلال و درجه سیمانی شدن نقشی بسیار مهم در ایجاد و توسعه پدیده‌های کارستی ایفا می‌کنند. به منظور بررسی میزان تأثیر این عوامل بر واحدهای سنگی کربناته در رشته کوه شتری، سه سازند اسفندیار، جمال و شتری مورد مطالعه قرار گرفته است. با توجه به این که میزان خلوص سنگ آهک نیز تأثیری به سزا بر میزان کارستی شدن دارد، آزمایش تعیین میزان ناخالصی بر روی تعدادی از نمونه‌های مورد مطالعه انجام شده و نیز داده‌های هیدروشیمیایی چشمه‌های منطقه مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین، از سایر عوامل تحول اشکال کارستی در منطقه مورد مطالعه، ضخامت زیاد سنگ آهک، سنگ‌شناسی و شرایط زمین‌ساختی مناسب است. این پژوهش نشان می‌دهد که عامل اصلی بازدارنده تحول کارست در منطقه مورد مطالعه شرایط اقلیمی بوده است. هر چند که در بررسی‌های انجام شده عوارض کارستی متعددی مانند کارن، دره‌های خشک، چشمه‌های کارستی، حفره‌های انحلالی و غار در این محدوده مشاهده شد، به نظر می‌رسد که تکامل عوارض کارستی در منطقه نیازمند شرایط اقلیمی مرطوب‌تر و پر باران‌تری از شرایط اقلیمی حاکم بوده است.

واژه‌های کلیدی: کارستی شدن، کارن، چشمه‌های کارستی، کوه‌های شتری، شرق ایران.

مقدمه

دسته‌ای از مسائل آب‌شناسی است (Milanović, 1981). در توسعه کارست، عوامل مختلفی نقش دارند که عموماً به صورت تلفیقی عمل می‌کنند. به نظر Ford & Williams (2007)، عواملی که در توسعه کارست تأثیر دارند عبارتند از: میزان بارندگی، دما، میزان گاز دی‌اکسید کربن، شرایط

نتیجه عمل کارستی شدن ایجاد ریخت‌شناسی ویژه‌ای است که مناطق کارستی را از نواحی غیرکارستی متمایز می‌کند. از آن جا که اشکال کارستی و تکامل تدریجی آنها نتیجه مستقیم عمل انحلال آب در محیط‌های انحلال‌پذیر کربناته است، درک کامل ریخت‌شناسی آنها پیش‌نیازی برای حل

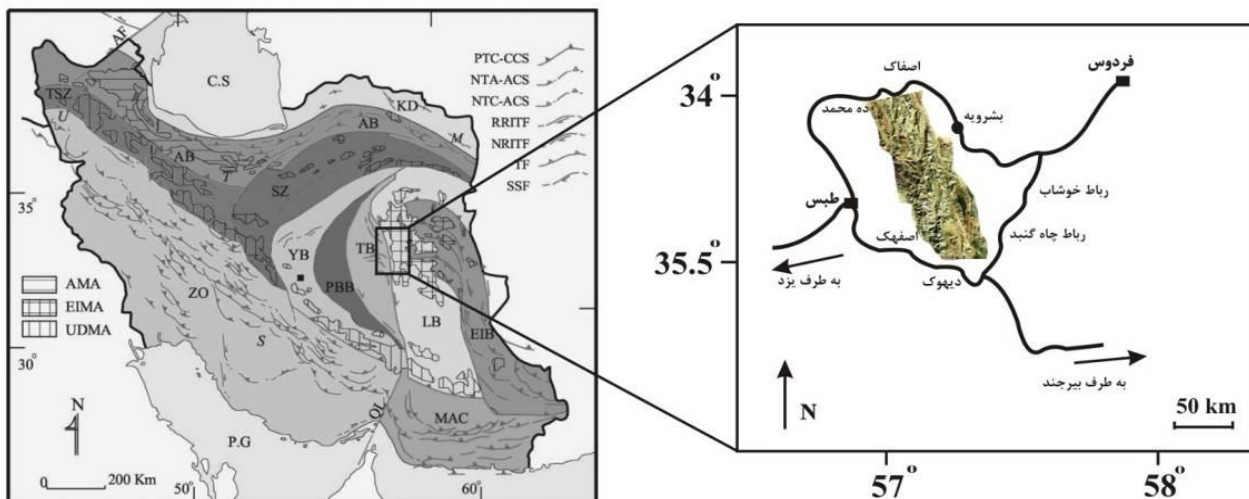
از سطح دریا، در ارتفاعات فتح آباد و حداقل ارتفاع در این محدوده ۸۵۸ متر از سطح دریا، در قسمت نمکزار شمال پشته دراز می‌باشد. منطقه کوههای شتری در فاصله ۱۸ کیلومتری غرب شهرستان بشرویه در استان خراسان جنوبی واقع شده است. همچنین رشته کوههای شتری از غرب در مجاورت شهرستان طبس و در فاصله ۳۰ کیلومتری از این شهرستان، واقع شده است (شکل ۱).

این منطقه دارای آب و هوای گرم و خشک کویری می‌باشد و متوسط بارندگی در ارتفاعات ۲۱۴/۳۳ میلی‌متر است. میزان بارندگی در بخشهای غربی به دلیل مرتفع بودن منطقه، بیشتر است (خلاصه آمار هواشناسی استان خراسان جنوبی، ۱۳۸۹).

زمین ساختی، ضخامت سنگهای قابل حل، ویژگیهای سنگ‌شناسی و چینه‌شناسی و زمین ریخت شناسی منطقه. به دلیل کمبود شدید منابع آب شیرین در منطقه مورد مطالعه و نیز اهمیت بررسی امکان وجود منابع آب کارستی، در این پژوهش به توسعه کارست در رشته کوه شتری و به ویژه تأثیر عوامل سنگ‌شناسی بر آن پرداخته شده است.

موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی

منطقه مورد مطالعه، قسمتی از رشته کوههای شتری است که در محدوده ۵۷° تا ۵۷° ۳۵' طول شرقی و ۲۰' ۳۳° تا ۳۴° عرض شمالی واقع شده است. درازای تقریبی این منطقه به طور متوسط ۷۰ کیلومتر و میانگین پهنای آن ۲۲ کیلومتر است. حداکثر ارتفاع بخش شرقی کوههای شتری ۲۴۴۵ متر



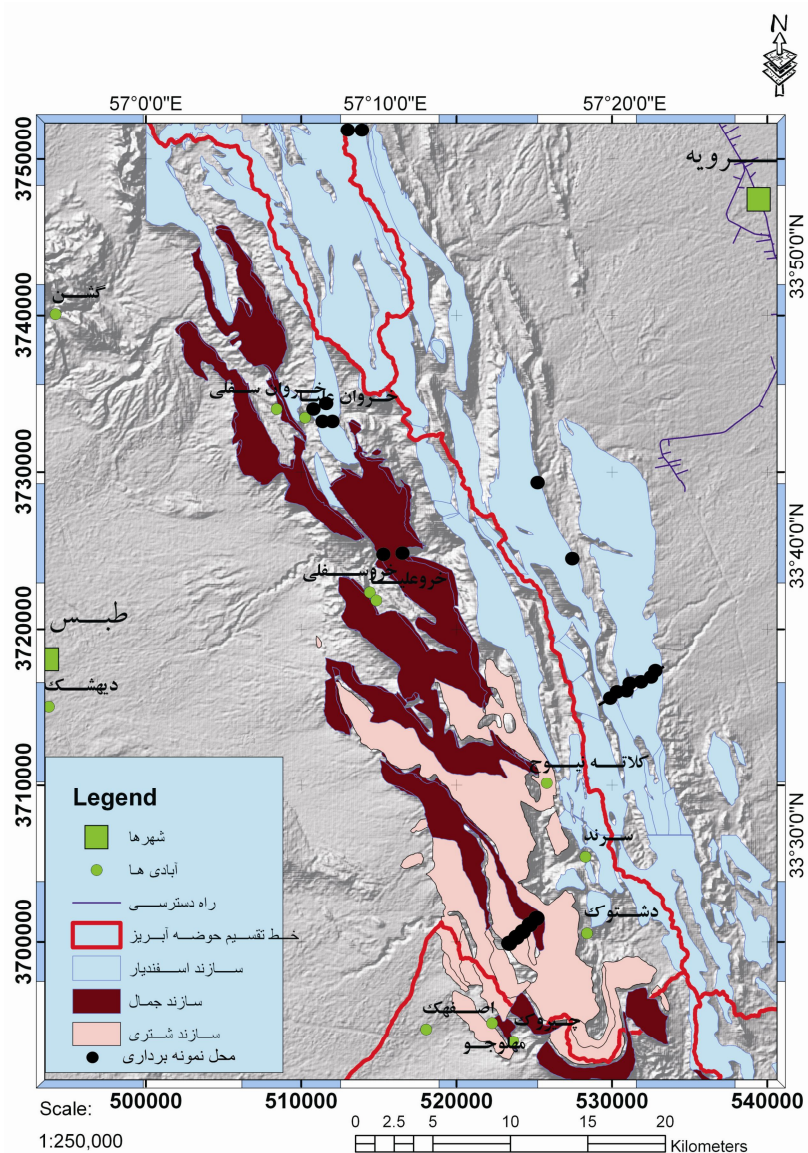
شکل ۱: چپ) نقشه تقسیم بندی پهنه‌های ساختاری - رسوبی ایران (Alavi, 1991). راست) نقشه ساده شده راههای دسترسی به منطقه مطالعاتی، برگرفته از اطلس راههای ایران (بختیاری، ۱۳۸۴)؛ همراه با تصویر ماهواره‌ای نشان دهنده موقعیت رشته کوه شتری.

زمین‌شناسی

غالب با سنگهای رسوبی است و تنها در شرق رشته کوههای شتری واحدهای آذرین رخمون دارند. در این محدوده رسوبات پالئوزوئیک (دونین) تا عهد حاضر بر جای گذاشته شده است. این منطقه به طور عمده شامل سنگ آهک، دولومیت، ماسه‌سنگ، شیل، مارن، کنگلومرا و پادگانه‌های آبرفتی، همراه با سنگهای آتشفشانی است (آقابات، ۱۳۸۳).

منطقه مورد مطالعه از نظر ساختاری جزو خردقاره ایران مرکزی محسوب می‌شود که به شدت تحت تأثیر فعالیتهای زمین‌ساختی قرار گرفته است. این رشته کوه با روند شمال شرقی - جنوب غربی دارای عناصر ساختاری گوناگون از قبیل چینها و شکستگیها بوده که همگی تقریباً از همین روند تبعیت می‌کنند. در محدوده مورد مطالعه، رخمون

از نظر سنگ‌شناسی، سه سازند کربناته اسفندیار، جمال و شتری (شکل ۲) برای پدیده انحلال و کارستی شدن مساعدتر از سایر سازندهای رخنمون یافته در این منطقه می‌باشند.



شکل ۲: نقشه پراکندگی رخنمون‌های سه سازند اصلی کربناته (اسفندیار، شتری و جمال) و موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده در منطقه مورد مطالعه (برگرفته از Stocklin et al., 1969؛ با ترسیم مجدد).

روش مطالعه

تشخیص کانی کلسیت از دولومیت و انواع آهن دار و بدون آهن آنها، این مقاطع در آزمایشگاه رسوب شناسی دانشگاه بیرجند به وسیله معرفر شیمیایی آلینارین قرمز و فروسیانیدپتاسیم به روش Dickson (1965) رنگ آمیزی شد. در مطالعات پتروگرافی، ویژگیهای بافتی و دیاژنتیکی شناسایی و نام گذاری هر یک از سنگهای کربناته بر اساس

در طی مطالعات صحرایی، نمونه‌های سنگی از سه سازند کربناته اسفندیار، جمال و شتری برداشت شد. در این مرحله ۵۰ نمونه به صورت پراکنده برداشت گردیده و بیشتر سعی شد نمونه‌ها از نزدیکی چاه‌ها و چشمه‌ها و با فاصله منظم از شکستگیها انتخاب شود (شکل ۲). سپس تعداد ۴۵ عدد مقطع نازک میکروسکوپی از نمونه‌های منتخب تهیه و به منظور

طبقه بندی Folk (1980) انجام گردید. همچنین، به منظور تعیین مقادیر مواد نامحلول در اسید (IR)، ۱ گرم از هر نمونه در اسید کلریدریک (HCl) رقیق (۱ نرمال) حل شد و پس از حدود ۳۰ دقیقه، محلول از صافی گذرانده شد. کاغذ صافی پس از خشک شدن توزین شد تا درصد مواد نامحلول در اسید تعیین گردد (El Hefnawi et al., 2010).

بحث

ریخت شناسی سطح زمین در مناطق خشک و نیمه خشک عمدتاً تابع عواملی غیر از آب بوده است. در این مناطق اثر هوازدگی شیمیایی بسیار کم است و فرسایش مکانیکی در زمانهای محدودی از سال وجود دارد (شکل ۳). به علت کم بودن میزان بارندگی و پراکندگی زمانی آن، پوشش گیاهی کم و ضخامت خاک نیز کم بوده و در نتیجه جذب آب، خوردندگی و همچنین CO₂ محلول در آن بسیار کم می باشد. در این گونه مناطق عوارض انحلالی کمیاب هستند (کریمی وردنجانی، ۱۳۸۹).

عوامل سنگ شناسی کنترل کننده توسعه کارست

به طور کلی توسعه کارست به عواملی از جمله نوع سنگ (آهک یا دولومیت)، میزان خلوص سنگ، بافت و اندازه بلورها، تخلخل و مقاومت مکانیکی بستگی دارد (Ford & Williams, 2007).



شکل ۳: پدیده ریزش سنگ (Rock fall) در شرق رشته کوه شتری، مسیر جاده سرگرد (دید به سمت جنوب).

تأثیر نوع سنگ آهک و میزان منیزیم آن بر توسعه کارست: معمولاً در سایر شرایط یکسان، کلسیت خالص سریعتر از دولومیت حل می شود (Ford & Williams, 2007). میزان انحلال دولومیت به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از کلسیت است. در شرایط یکسان جهت رسیدن به شرایط اشباع ۹۵ درصد از دولومیت، ۱۰۰ برابر زمان بیشتری نسبت به کلسیت لازم است (Appelo & Postma, 2005). همان طور که بیان شد، سازند اسفندیار در بخشهای غربی نسبت به بخشهای شرقی بیشتر دولومیتی شده است. در بخشهای شرقی در بیشتر نقاط سازند قلعه دختر در زیر سازند اسفندیار قرار دارد که جنس بخش بالایی این سازند که در تماس با سازند اسفندیار است از سنگ آهک می باشد، ولی در بخشهای غربی سازند بغمشاه در زیر این سازند قرار دارد که جنس آن بیشتر شیل و مارن است (آقائباتی، ۱۳۸۳). از این رو به نظر می رسد که منیزیم لازم برای فرآیند دولومیتی شدن سازند اسفندیار در بخشهای غربی از شیل‌های سازند بغمشاه تأمین شده است. نمونه‌های مورد مطالعه از سازند اسفندیار در شرق رشته کوه شتری بیشتر از نوع سنگ آهک بوده و تنها اندکی دولومیتی شده‌اند ولی در بخشهای غربی بیشتر از نوع دولومیت و کمتر سنگ آهک می باشد. شایان ذکر است که سازندهای جمال و شتری در بخشهای غربی و شرقی رشته کوه شتری از نظر میزان دولومیتی شدن تفاوت قابل توجهی نشان نمی دهند.

میزان خلوص سنگ: وجود درصد کمی از تشکیل دهندهای غیر قابل حل، مانند کانیهای رسی و سیلیکاته به میزان قابل ملاحظه‌ای قابلیت کارستی شدن سنگهای کربناته را کاهش می دهد. اگر میزان رس و سیلت بیشتر از ۲۰ تا ۳۰ درصد باشد، از توسعه کارست جلوگیری می کند. کربناتهای با خلوص بیشتر از ۷۰ درصد مناسبترین سنگها برای توسعه کارست می باشند (Ford & Williams, 2007; Rauch & White, 1970; James & Choquette, 1984).

(درشت بلور) دارد (Ford & Williams, 2007; Maire, 1969; Dreiss, 1982; Sweeting & Sweeting, 1969). در بررسی مقاطع نازک میکروسکوپی مشخص شد که زمینه بیشتر نمونه‌های سازند اسفندیار میکرایتی است. همچنین، هر اندازه سنگ ناهمگن تر باشد امکان انحلال بیشتر خواهد بود. بنابر این بایومیکرایت انحلال‌پذیری بیشتری نسبت به میکرایت دارد (Ford & Williams, 2007). مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی نشان داده که بیشتر نمونه‌های سازند اسفندیار و جمال از نوع بایومیکرایت است که اگر سایر عوامل کارستی شدن را ثابت در نظر بگیریم، این سنگها برای انحلال مناسبند، اما نمونه‌های مطالعه شده از سازند شتری به ندرت حاوی میکرایت بوده و اغلب آنها کاملاً دولومیتی شده است.

تخلخل: از بین تخلخلهای ایجاد شده به وسیله فابریک سنگ بر اساس طبقه بندی Choquette & Pary (1970)، تخلخل درون ذره‌ای، بین بلوری، قالبی و تخلخل رشدی در برشهای مورد مطالعه مشاهده شده است که البته اغلب آنها به وسیله سیمان پر شده‌اند (اشکال ۴؛ ۵الف؛ ۵ت؛ ۶پ؛ ۸الف؛ ۸ب). از میان تخلخلهایی که از فابریک سنگ تبعیت نمی‌کنند تخلخل شکستگی، حفره‌ای، استیلولیتی و کانالی در برشهای نازک مشاهده شده است؛ بسیاری از این تخلخلها نیز با سیمان پر شده‌اند (اشکال ۴الف؛ ۴پ؛ ۴ت؛ ۵ت؛ ۶الف؛ ۶پ؛ ۷الف؛ ۷ب؛ ۷ت؛ ۸الف؛ ۸ب؛ ۸پ).

میزان تخلخل در نمونه‌های سازند اسفندیار در بخش شرقی رشته کوه شتری که جنس سنگهای آن آهکی است، نسبت به نمونه‌های سازند اسفندیار در بخش غربی که بیشتر دولومیتی شده‌اند و سازند شتری که دولومیتی می‌باشد، کمتر است. این تفاوت می‌تواند ناشی از شدت سیمانی شدن آهک اسفندیار باشد که متحمل چندین فاز سیمانی شدن گردیده (شکل ۴الف) و در نتیجه بسیاری از تخلخلهای اولیه

نتایج حاصل از آزمایش نشان می‌دهد که میزان ناخالصی در نمونه‌های مورد مطالعه کمتر از ۱۵ درصد بوده است و کربناتها دارای خلوص نسبتاً بالایی از نظر میزان کربنات کلسیم هستند (جدول ۱)، بنابراین شرایط مناسب ترکیب سنگی برای انحلال و توسعه فرآیندهای کارستی در مناطق مورد مطالعه وجود دارد.

جدول ۱: درصد کربنات و مواد غیر قابل حل در اسید (IR) در نمونه‌های مطالعه شده از سازندهای اسفندیار (J_c)، جمال (P_j) و شتری (T_{sh}).

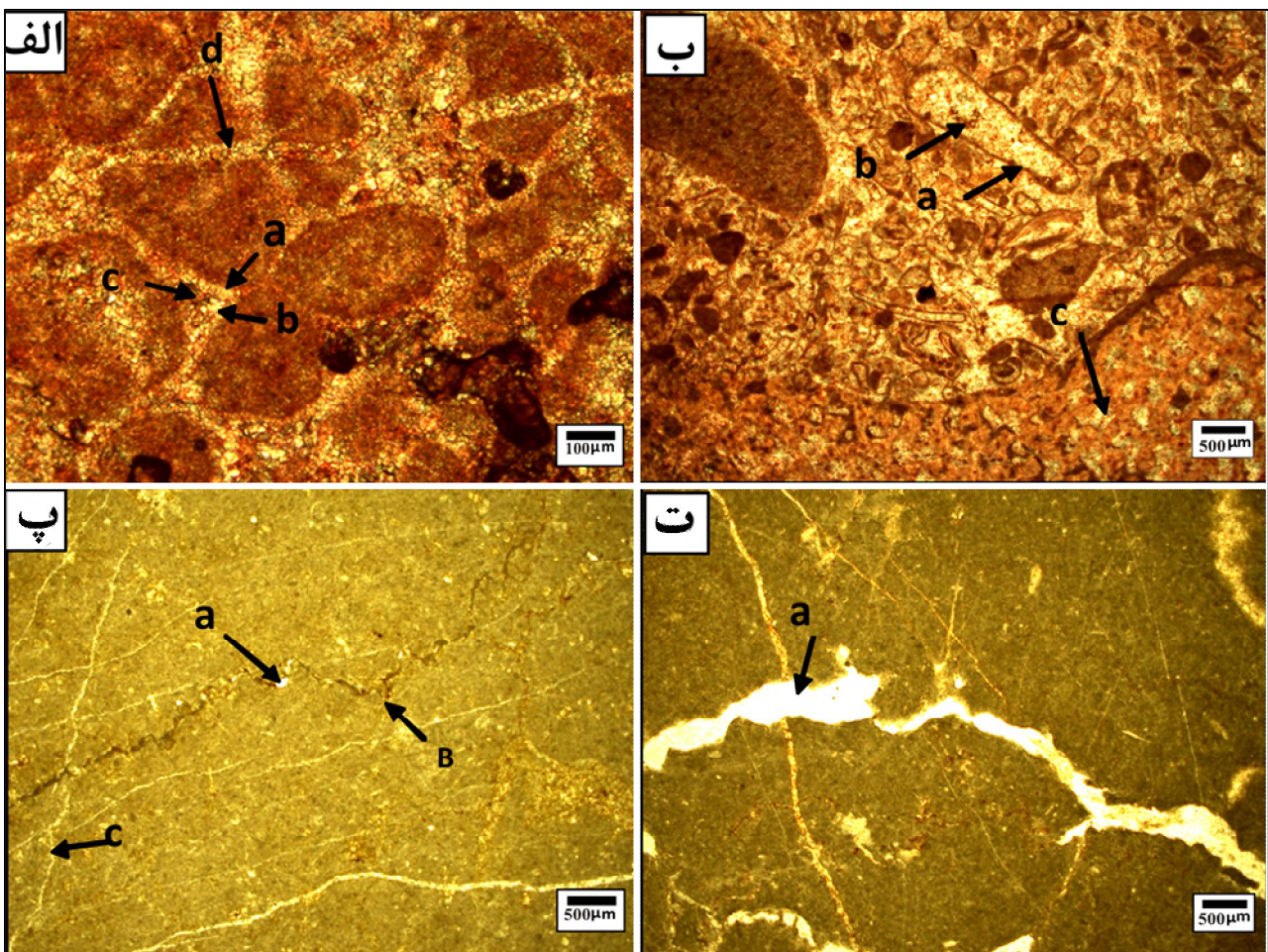
Sample No.	IR (%)	Carbonate (%)
P _j (D1)	۶/۱	۹۳/۹
P _j (D2)	۲/۸	۹۷/۲
T _{sh} (C16)	۳/۵	۹۶/۵
T _{sh} (C17)	۲	۹۸
T _{sh} (C14)	۲/۸	۹۷/۲
T _{sh} (C11)	۷/۶	۹۲/۴
J _c (B1)	۳	۹۷
J _c (B2)	۹/۳	۹۰/۷
J _c (B3)	۵/۱	۹۴/۹
J _c (B4)	۱/۷	۹۸/۳
J _c (B5)	۶/۳	۹۳/۷
J _c (B6)	۱۰/۴	۸۹/۶
J _c (B7)	۷/۲	۹۲/۸
J _c (B8)	۴/۳	۹۵/۷
J _c (B9)	۱/۸	۹۸/۲
J _c (B10)	۳/۳	۹۶/۷
J _c (B12)	۰/۷	۹۹/۳
J _c (B16)	۲/۳	۹۷/۷
J _c (B18)	۱/۵	۹۸/۵
J _c (B19)	۰/۷	۹۹/۳
J _c (C3)	۴/۵	۹۵/۵
J _c (C5)	۲/۳	۹۷/۷
J _c (C6)	۶/۷	۹۳/۳
J _c (C8)	۲/۵	۹۷/۵
J _c (C9)	۱۴/۹	۸۵/۱
J _c (Aa3)	۳/۲	۹۶/۸
J _c (A3)	۳/۴	۹۶/۶

بافت سنگ و اندازه بلورها: هر چه اندازه بلورهای تشکیل دهنده سنگ ریزتر باشد امکان انحلال در آن بیشتر است، زیرا سطح واکنش با آب در آن زیادتر می‌شود؛ البته به شرطی که آب بتواند وارد فضاها شود. مثلاً بایومیکرایت (ریز بلور) توانایی انحلال بیشتری از بایواسپاریت

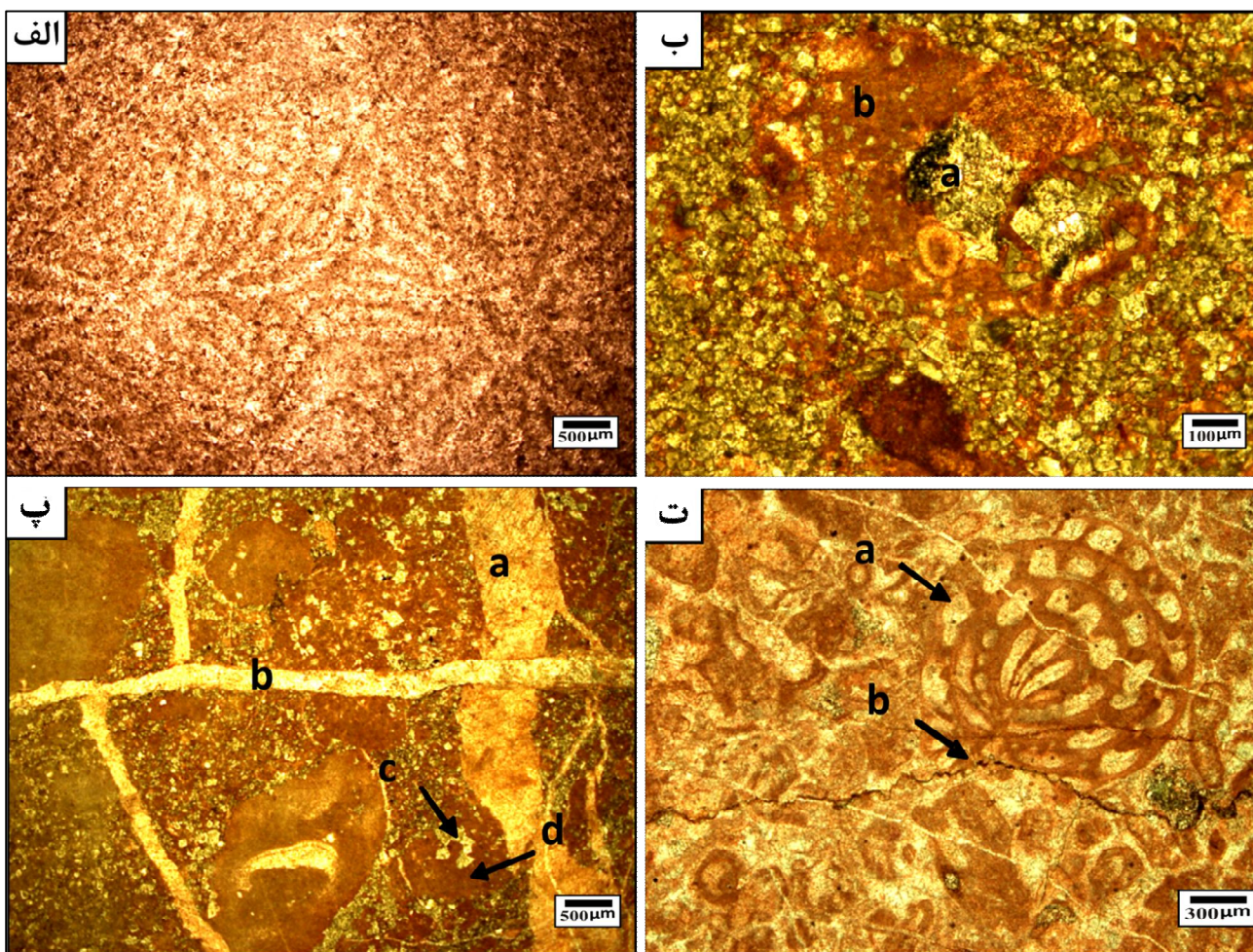
می‌گیرد. در نتیجه دولومیت فضای خالی موجود را پر کرده و فابریک اولیه سنگ را حفظ می‌کند بدون این که تخلخل اضافی ایجاد شود. اما چنانچه نسبت دولومیتی شدن بالا باشد، فابریک اولیه سنگ تخریب می‌شود و انحلال بزرگ مقیاس سنگ آهک اولیه امکان رشد دولومیت با بافت دانه شکری را فراهم می‌کند. در این نوع دولومیتی شدن، میزان تخلخل بین بلوری بالا می‌باشد (رحیم پور بناب، ۱۳۸۴).

و ثانویه موجود در سنگ از بین رفته است. همچنین ممکن است در پی ایجاد تخلخل بین بلوری در دولومیتها، انواع دیگر تخلخل مانند تخلخل حفره‌ای توسعه یافته باشد (اشکال ۷پ؛ ۸الف؛ ۸ب).

همان طور که بیان شد میزان دولومیتی شدن سازند اسفندیار در بخش غربی رشته کوه شتری نسبت به بخش شرقی آن بیشتر است. اگر سنگ اولیه به میزان کافی متخلخل و نفوذپذیر نباشد، فرآیند دولومیتی شدن به آهستگی صورت



شکل ۴: تصاویر میکروسکوپی از سازند اسفندیار، شرق رشته کوه شتری؛ الف) این تصویر چهار نسل سیمان را نشان می‌دهد. نسل اول سیمان هم‌ضخامت بدون آهن (a)، نسل دوم سیمان هم‌بعد بدون آهن که حاشیه حفره‌هاست (b) و نسل سوم قسمتهای مرکزی حفره‌ها را پر کرده و آهن‌دار است (c) و نسل چهارم شکستگیها را پر کرده است (d) (نمونه Aa3 رنگ‌آمیزی شده، نور پلاریزه). ب) در این تصویر میکروسکوپی حاشیه فسیلها را غلاف میکرایتی احاطه کرده است. (a)، تخلخل قالبی بعضی از فسیلها با کلسیت اسپاری دروزی پر شده است. (b)، تخلخل درون‌ذره‌ای فسیل مرجان نیز با کلسیت اسپاری پر شده است. (c)، (نمونه A3، نور پلاریزه؛ پ) تخلخل استیلولیتی (a). استیلولیت (b) شکستگی (c) را قطع کرده و از شکستگی جوان‌تر است. شکستگیها با سیمان کلسیت اسپاری پر شده‌اند (نمونه B2، نور طبیعی)، ت) تخلخل کانالی (a) (نمونه B1 در نور طبیعی، سازند اسفندیار در شرق کوههای شتری).



شکل ۵: تصاویر میکروسکوپی رنگ‌آمیزی شده. الف) بایولیت‌تیت مرجانی و تخلخل‌های رشدی که با سیمان کلسیت اسپاری پر شده‌اند (نمونه B4، نور طبیعی). ب) نمونه سنگ بایومیکرایت که در طی دیاژنز قسمتهای زیادی از آن دولومیتی شده است. قسمتهای روشن دولومیت است (a) و قسمتهای تیره رنگ میکرایت است (b) (نمونه B6، نور پلاریزه، سازند اسفندیار در شرق رشته‌کوه شتری). پ) دو نسل شکستگی که در آن نسل دوم (b) شکستگی نسل اول (a) را قطع کرده و جوانتر است. زمینه سنگ میکرایتی بوده که در بعضی از قسمتها به دولومیت تبدیل شده است (c). قسمتهای روشن دولومیت و قسمتهای تیره میکرایت است (d) (نمونه B8، نور طبیعی، سازند اسفندیار در شرق رشته‌کوه شتری). ت) تخلخل درون‌ذره‌ای که با سیمان کلسیت اسپاری آهن‌دار پر شده است (a) سیمان زمینه از جنس کلسیت آهن‌دار است. استیلولیت هم در تصویر مشاهده می‌شود (b) (نمونه D2، نور طبیعی، سازند جمال در غرب رشته‌کوه شتری).

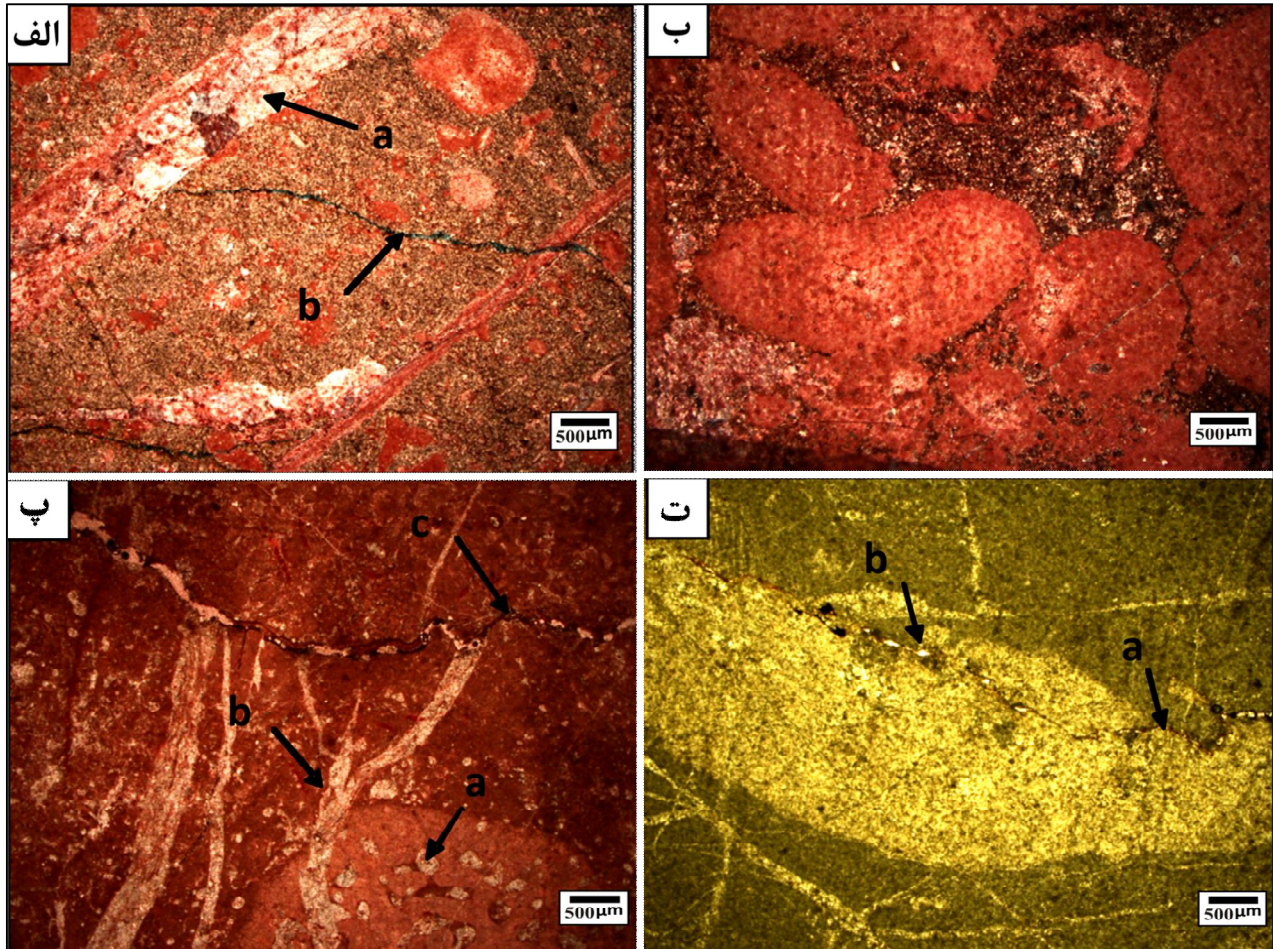
است، مانند بعضی از نمونه‌های سازند اسفندیار در غرب رشته کوه شتری و نمونه‌هایی از سازند شتری (شکل‌های ۸الف؛ ۸ب).

مقاومت مکانیکی: مقاومت مکانیکی در سنگ‌های رسوبی به طور آشکار تابع چگالی شکافها مانند درزها و سطوح لایه بندی است. هنگامی که ضخامت لایه زیاد است، سطوح لایه‌بندی در یک سطح و حجم معین کمتر بوده و احتمال

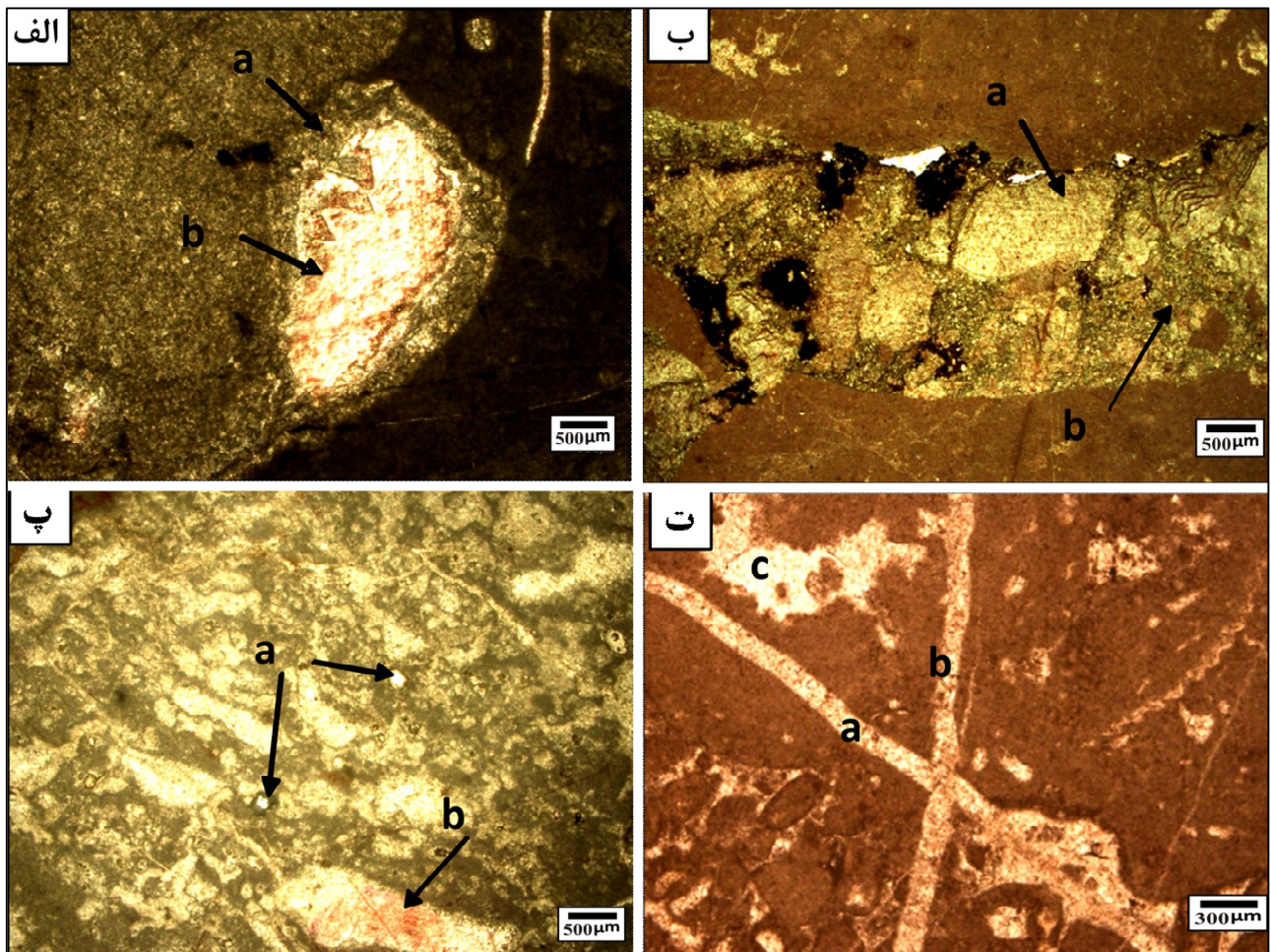
در جاهایی که دولومیتی شدن به طور کامل صورت نگرفته است، فسیلها دولومیتی شده‌اند و فابریک سنگ حفظ شده است و تخلخلی در سنگ مشاهده نمی‌شود، مانند بعضی از نمونه‌های سازند اسفندیار در شرق رشته کوه شتری (شکل‌های ۵ب؛ ۵پ؛ ۶الف؛ ۶ب)، اما در بخشهایی که دولومیتی شدن فراگیر بوده است دولومیت دانه شکری به وجود آمده است. سپس در اثر انحلال، تخلخل بین بلوری ایجاد شده توسعه یافته و به تخلخل حفره‌ای منجر شده

(2007). در سنگهای آهکی ضخیم لایه و توده‌ای، درزه‌ها در محدوده بیشتری گسترش یافته، طولانی‌تر بوده و عرض بازشدگی زیادتری دارند. بنابراین نفوذ و گردش آب در آنها بیشتر و در نتیجه توسعه کارست بیشتری خواهند داشت (Goldscheider & Drew, 2007).

کانالیزه شدن جریان آب زیاد است. همچنین لایه‌های نازک اغلب ترکیبات رس و مارنی دارد که پیشرفت کارست را کاهش می‌دهد. در نتیجه اگر سقف یک کانال کارستی ضخیم لایه باشد، پایدارتر خواهد بود، ولی اگر نازک باشد ناپایدار بوده و ریزش می‌کند و در نهایت مجاری کارستی بسته شده و توسعه نخواهند یافت (Ford & Williams,)



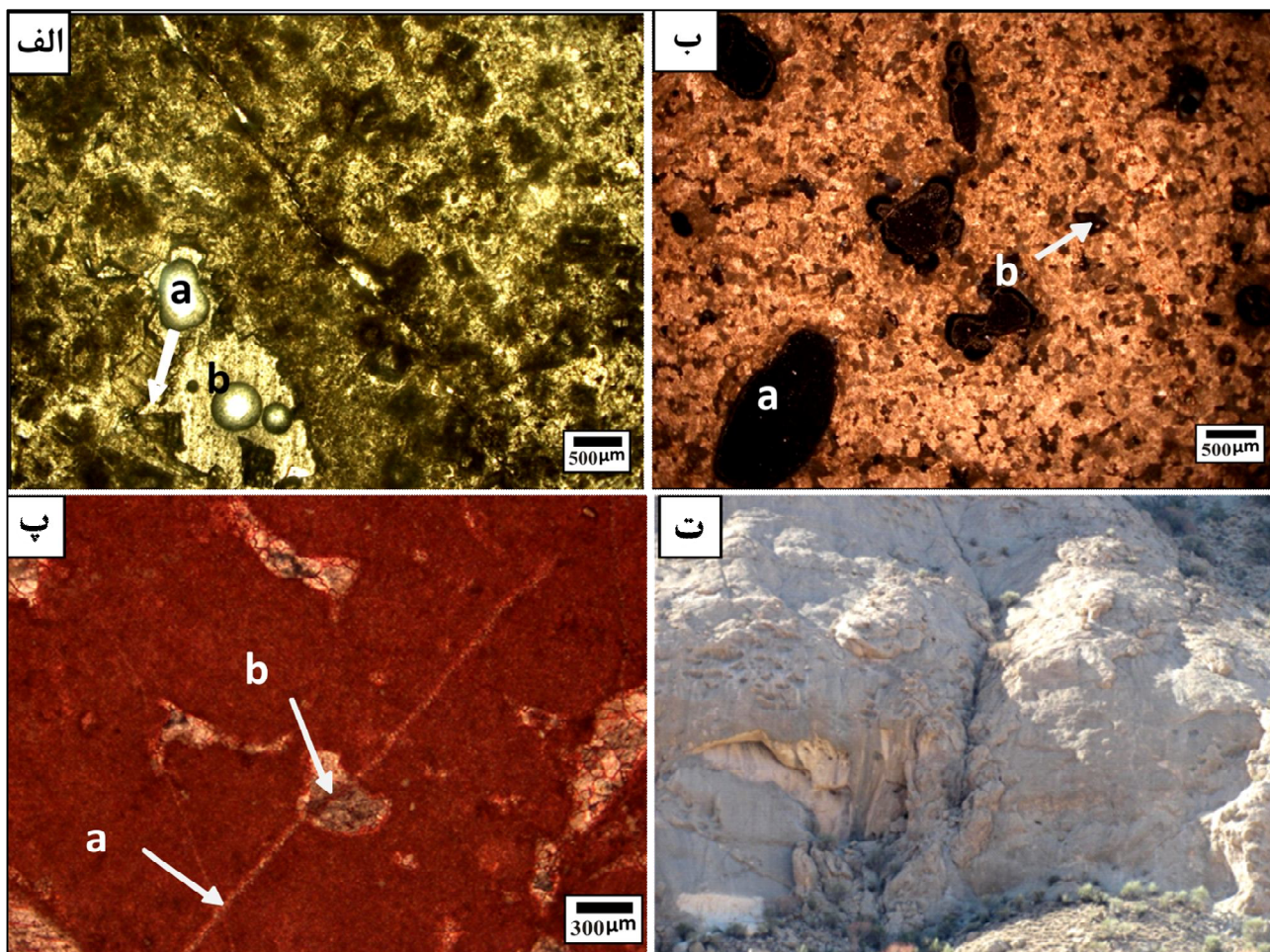
شکل ۶: تصاویر میکروسکوپی رنگ‌آمیزی شده. الف) یک نمونه بایومیکریت که در طی دیاژنز قسمتهای زیادی از آن دولومیتی شده است. قسمتهای روشن دولومیت و قسمتهای تیره میکریت است. شکستگیهایی که با کلسیت اسپاری پر شده در کناره‌ها کلسیت آهن‌دار و در قسمت مرکزی رگه کلسیت بدون آهن است (a). رگه دولومیت آهن‌دار جوانتر که به رنگ آبی است و شکستگی قبلی را قطع کرده است (b) و دولومیت‌های زمینه از همه شکستگیهای قدیمی‌ترند (نمونه B7). نور پلاریزه، سازند اسفندیار در شرق رشته‌کوه شتری). ب) فضای بین اینتراکستها توسط دولومیت پر شده است (نمونه B3). نور پلاریزه، سازند اسفندیار در شرق رشته‌کوه شتری). پ) شکستگیها (b) و تخلخل درون دانه‌ای مرجان با سیمان کلسیت اسپاری پر شده است (a). یک سری تخلخل کانالی (c) که شکستگیها را قطع کرده و از شکستگیها جوانتر است، (نمونه C5). نور طبیعی، سازند اسفندیار در غرب رشته‌کوه شتری). ت) تخلخل شکستگی که با سیمان کلسیت اسپاری پر شده است. استیلولیت (a) شکستگی را قطع کرده است و از آن جوانتر است و تخلخل استیلولیتی (b) نیز مشاهده می‌شود (نمونه B9). نور طبیعی، سازند اسفندیار در شرق رشته‌کوه شتری).



شکل ۷: تصاویر میکروسکوپی. الف) تخلخل حفره‌ای که در حاشیه حفره سیمان دولومیتی و در وسط حفره به وسیله سیمان کلسیت اسپاری پر شده است (نمونه C12، نور طبیعی، سازند شتری در غرب رشته‌کوه شتری). ب) شکستگی که با سیمان کلسیت اسپاری (a) و دولومیت (b) پر شده است (نمونه B20، نور طبیعی، سازند اسفندیار در شرق رشته‌کوه شتری). پ) یک سری تخلخل حفره‌ای که با سیمان کلسیت اسپاری آهن‌دار پر شده است (b) و سری دیگر پر نشده و تخلخل باقی مانده است (a) (نمونه C15، نور طبیعی، سازند شتری در غرب رشته‌کوه شتری). ت) شکستگیها در دو مرحله به وجود آمده و یکدیگر را قطع کرده‌اند و با کلسیت اسپاری پر شده‌اند. شکستگی سری دوم (b) از شکستگی سری اول (a) جوانتر است. حفره‌ها نیز با کلسیت اسپاری پر شده‌اند (c). سیمان پرکننده رگه‌ها و حفرات در حاشیه ریز بلور و بدون آهن و در بخشهای مرکزی کلسیت آهن‌دار است. ابتدا تخلخلهای حفره‌ای با سیمان پر شده‌اند و بعد شکستگیها به وجود آمده‌اند و با کلسیت پر شده‌اند، شکستگیها از حفره‌ها جوانترند (نمونه B19، نور طبیعی، سازند شتری در شرق رشته‌کوه شتری).

نقاط حالت لایه‌بندی دارد، عاملی مثبت در جهت توسعه اشکال کارستی می‌باشد. شکل ۸ لایه‌بندی در سازند اسفندیار را نشان می‌دهد. همان طور که در شکل ۱۰ اب مشاهده می‌شود، لایه‌بندی ضخیم بوده و آب کانالیزه شده و سیستم جریانی کاندوئیت حاکم است. اما در شکل ۱۲ الف به دلیل این که لایه‌بندی نسبتاً نازک است جریان ایجاد شده کانالیزه نشده و از نوع افشان است.

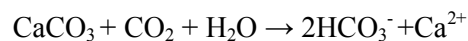
همان گونه که ذکر شد، در توسعه کارست یکی از شرایط مهم این است که سنگهای آهکی از ضخامت کافی برخوردار باشند. در منطقه مورد نظر، لایه‌ها حالت توده‌ای داشته و وجود درزها شرایط مناسب را جهت نفوذ آب در لایه‌لای سنگها فراهم می‌کنند و آبهای ناشی از بارش می‌توانند از این درزها و شکافها استفاده نموده و عمل انحلال را بهتر و سریعتر انجام دهند. ضخامت زیاد سنگ آهکها که در بیشتر نقاط حالت توده‌ای داشته و در پاره‌ای از



شکل ۸: الف) در این تصویر میکروسکپی تخلخل حفره‌ای (b) مشاهده می‌شود چون دولومیتی شدن فراگیر بوده و دولومیت‌های دانه شکری ایجاد شده و تخلخل‌های بین بلوری (a) در بعضی نقاط در اثر انحلال به تخلخل حفره‌ای تبدیل شده است (نمونه C8، نور طبیعی، سازند اسفندیار در غرب رشته‌کوه شتری). ب) تصویر میکروسکپی از تخلخل بین بلوری (b) که در بیشتر قسمت‌ها به تخلخل حفره‌ای (a) تبدیل شده است (نمونه C3، نور پلاریزه، سازند اسفندیار در غرب رشته‌کوه شتری). پ) در این تصویر میکروسکپی شکستگی‌ها با کلسیت اسپاری پر شده‌اند (a) و در دو مرحله به وجود آمده‌اند و یکدیگر را قطع کرده‌اند. حفره‌ها نیز با کلسیت اسپاری پر شده‌اند (b). سیمان پرکننده رگه‌ها و حفرات در حاشیه ریز بلور و بدون آهن و در بخش‌های مرکزی کلسیت آهن‌دار است. ابتدا تخلخل‌های حفره‌ای با سیمان پر شده‌اند و بعد شکستگی‌ها به وجود آمده‌اند و با کلسیت پر شده‌اند (نمونه B19، نور طبیعی، سازند اسفندیار در شرق رشته‌کوه شتری). ت) لایه‌بندی توده‌ای در سازند اسفندیار، شرق رشته‌کوه شتری در مسیر جاده سرند (دید به سمت جنوب).

ویژگی‌های هیدروشیمیایی

ترکیب شیمیایی آب‌های کارستی عموماً وابسته به انحلال کانیهای کربناته است. کربنات کلسیم طی واکنش زیر انحلال می‌یابد:



بر اساس این معادله، انحلال سنگهای کربناته وابسته به مقدار CO_2 یا H_2CO_3 موجود در محیط است (کریمی وردنجانی، ۱۳۸۹).

هدایت الکتریکی آب با افزایش مواد محلول در آن افزایش می‌یابد. مقدار هدایت الکتریکی در نمونه‌های منطقه مورد مطالعه به عنوان نماینده مجموع یونهای موجود در آب از حداقل ۳۵۰ تا حداکثر ۶۵۱ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در نوسان می‌باشد و مقدار میانگین آن برابر با ۴۸۶/۴۶ میکروزیمنس بر سانتی‌متر است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان جنوبی، ۱۳۸۹). به موازات افزایش میزان

و منیزیم مصرف شده و مقدار باقی مانده منیزیم و کلسیم به وسیله یون سولفات مصرف گردد و نیز با فرض این که سدیم به وسیله کلر استفاده شود؛ به نظر می‌رسد ترکیب کانیایی سفره باید از کلسیت و دولومیت با مقداری ژئپس و هالیت تشکیل شده باشد.

اشکال کارستی

در این منطقه کارستی شدن از عوارض کوچک مقیاس نظیر میکروکارن بر اساس طبقه‌بندی Ginés (2004) تا عوارض بزرگتر نظیر غارها وجود دارد. از بین شکلهای سطحی کارست، کارن، دره‌های خشک و چشمه‌های کارستی در منطقه مورد مطالعه مشاهده شدند که در زیر به اختصار شرح داده می‌شود.

هدایت الکتریکی، اکثر یونهای محلول در آب زیرزمینی نیز افزایش می‌یابد (جدول ۲). بیشترین میزان در بین یونهای اصلی مربوط به یون بی کربنات است. این موضوع می‌تواند ناشی از نقش سیستمهای تعادلی کربناته و انحلال کربناتها به عنوان سنگ مخزن اصلی در منطقه مورد مطالعه باشد. شایان ذکر است که نمونه‌های آب چشمه‌های دو سوی کوههای شتری از نظر میزان یونهای محلول و اسیدیته تفاوت قابل توجهی نشان نمی‌دهد. سنگهای کربناته گاهی همراه با سنگهای تبخیری دیده می‌شوند. سنگهای تبخیری می‌توانند شامل ژئپس و انیدریت و هالیت باشند. آبهایی که در ارتباط با این سنگها هستند، دارای مقادیر بیشتری از یون SO_4^{2-} و همچنین یونهای سدیم و کلر می‌باشند (کریمی وردنجانی، ۱۳۸۹). با استفاده از روش جرمی و فرض این که همه بی کربناتها به وسیله کلسیم

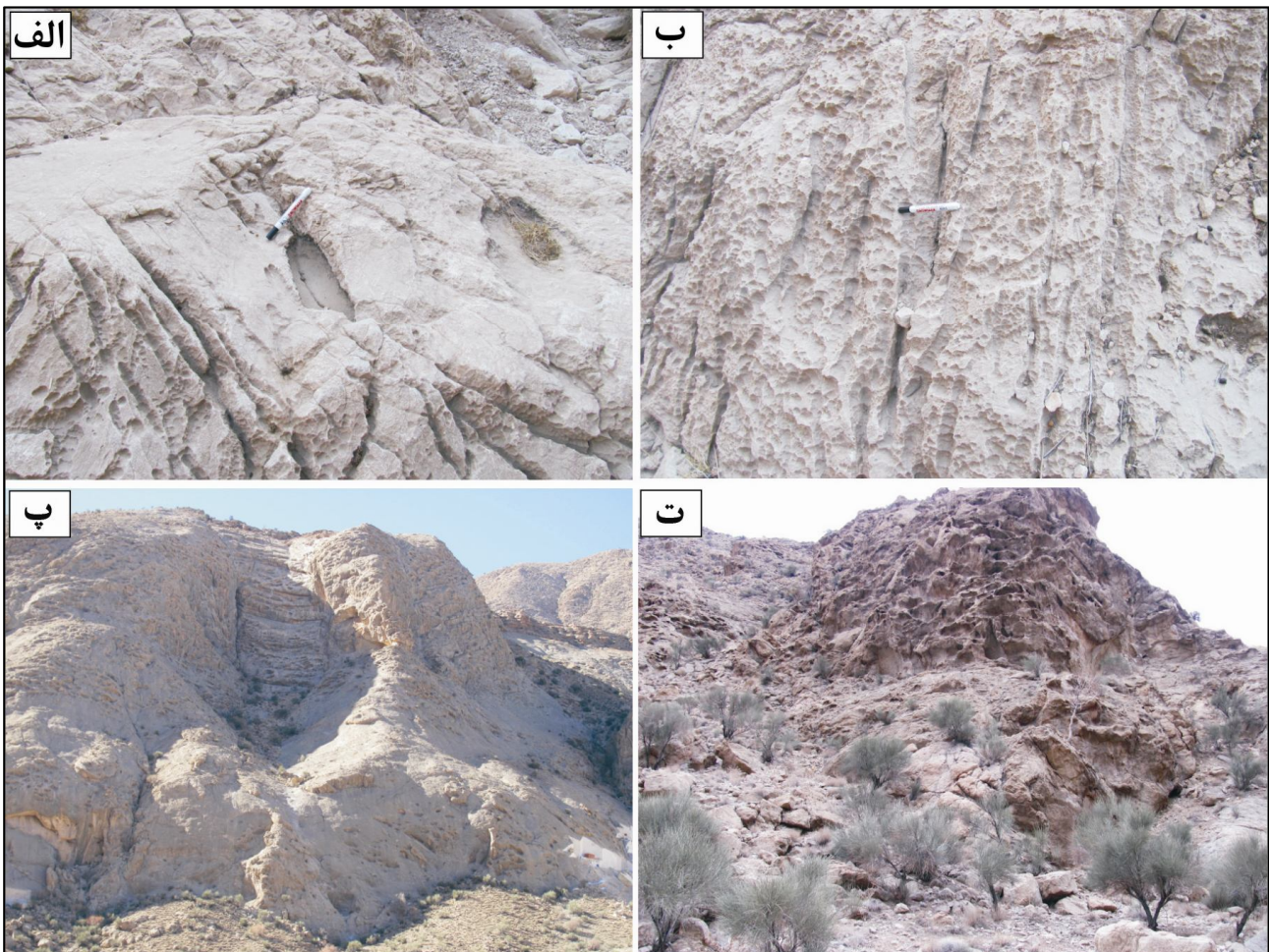
جدول ۲: خلاصه ویژگیهای هیدروشیمیایی منابع آب نمونه‌برداری شده در منطقه مورد مطالعه (داده‌ها از شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان جنوبی، ۱۳۸۹).

مقادیر یونی (میلی اکی والان در لیتر)								pH	هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتی‌متر)	نام محل
K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻			
۰	۳/۴	۰/۶	۲/۴	۱/۵	۲	۳	۰	۸/۱	۶۲۴	چاه آهکی شماره ۱
۰	۳/۴	۱/۲	۲/۱	۱/۲	۲/۴	۳	۰/۲	۸/۳	۶۵۱	چاه آهکی شماره ۲
۰	۲/۶	۱	۲/۲	۱	۱/۵	۳/۵	۰	۸/۲	۵۶۷	چشمه جعفری
۰	۲	۱	۱/۹	۰/۹	۱/۹	۲/۲	۰	۷/۷	۴۹۶	چاه آهکی کال نخاب ۲۱ متری
۰	۲	۱/۱	۱/۹	۱/۲	۱/۸	۲	۰	۷/۸	۵۰۱	چاه آهکی کال نخاب ۱۳۰ متری
۰	۱/۵	۰/۹	۲/۱	۱/۴	۱/۶	۱/۵	۰	۷/۹	۴۵۴	چاه آهکی کال نخاب ۱۴۰ متری
۰	۲/۸	۱/۱	۱/۵	۱	۲/۳	۲	۰	۷/۹	۵۳۷	چاه آهکی کال نخاب ۱۸۵ متری
۰	۱/۴	۱	۲/۳	۱/۲	۱	۲/۶	۰	۷/۷	۴۶۳	چاه آهکی شماره ۴ نمونه ۱
۰	۱/۳	۰/۹	۱/۸	۱	۱	۲/۱	۰	۸/۲	۳۸۶	چاه آهکی شماره ۴ نمونه ۲
۰	۱/۷	۰/۹	۲	۱/۱	۱/۳	۲/۳	۰	۸	۴۵۰	چاه آهکی شماره ۴ نمونه ۳
۰	۱/۳	۰/۸	۱/۹	۱	۰/۷	۲/۳	۰	۷/۹	۴۰۲	چاه آهکی شماره ۴ نمونه ۴
۰	۱/۶	۰/۹	۲/۱	۱	۱/۵	۲/۳	۰	۸/۲	۴۰۵	چاه آهکی شماره ۴ نمونه ۵
۰	۱/۲	۰/۹	۲	۱	۱/۲	۲/۱	۰	۸/۲	۳۸۹	چاه آهکی شماره ۴ نمونه ۶
۰	۱/۴	۰/۸	۱/۷	۰/۵	۱/۱	۲/۴	۰	۸/۲	۳۵۰	چاه آهکی شماره ۳
۰	۳/۷	۱	۲	۱/۷	۲	۲/۸	۰/۴	۸/۴	۶۲۲	چاه آهکی آبفا ارسک

کارنها

منشأ هیدرولیکی ناشی از جریان ورقه‌ای می‌توان به کارنهای شیاری (اشکال ۹ الف؛ ب) و کارنهای پله‌ای (شکل ۹ پ) اشاره کرد که در منطقه گسترش دارند. از بین اشکال ناشی از انحلال در محل گسستگیهای ساختاری گرایکها یا کلافهت کارنها در منطقه مورد مطالعه به فراوانی یافت می‌شوند. گرایکها نقش بسیار مهمی در پدیده نفوذ رواناب در منطقه مورد تحقیق دارند. این گرایکها در ابعاد و اندازه‌های مختلف دیده می‌شوند (اشکال ۱۱ الف؛ ب).

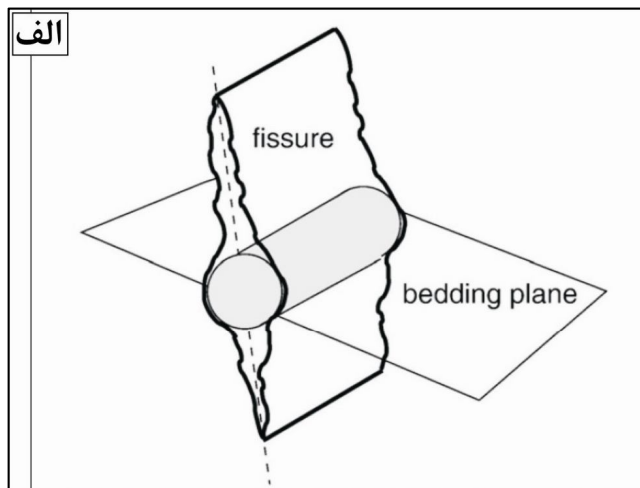
کارنها از اشکال مناطق کارستی هستند که در اثر فعالیت شیمیایی آب ایجاد می‌گردند. کارنها بر اساس منشأ تشکیل به دو دسته تقسیم می‌شوند که شامل کارنهای با منشأ هیدرولیکی و کارنهای با منشأ ضربه‌ای می‌باشند. کارنهای با منشأ هیدرولیکی می‌توانند در اثر جریان ورقه‌ای آب و یا در اثر جریان کانالی ایجاد شوند. اشکال ضربه‌ای کارن، خود در دو دسته جای می‌گیرند: دسته‌ای از آنها در سنگهای توده‌ای ایجاد می‌شوند و دسته دیگر در اثر ضعف ساختاری سنگ به وجود می‌آیند (White, 1988). از بین کارنهای با



شکل ۹: الف و ب) Rain pit و Rill karren در بالادست چشمه کرد، سازند اسفندیار، شرق رشته کوه شتری. پ) کارن پله‌ای یا Stepped karren سازند اسفندیار، شرق رشته کوه شتری در مسیر جاده سرد (دید به سمت جنوب). ت) Rain pit در سازند اسفندیار غرب رشته کوه شتری در نزدیکی روستای خراوان (دید به سمت شمال).

دیده نمی‌شوند (Milanović, 1981). در منطقه مورد مطالعه نیز در بخش‌های غربی رشته کوه (سازند شتری) که سنگ‌های کربناته بیشتر از جنس دولومیت می‌باشند کارن مشاهده نشده است. کارنها از فراوانترین اشکال سطحی هستند که در این منطقه دیده می‌شوند. کارنها در یال شمالی و شرقی محدوده مورد مطالعه فراوانی بیشتری دارند.

از بین اشکال ناشی از انحلال بر روی توده سنگ، چاله‌های باران در منطقه مشاهده شد (اشکال ۹ الف؛ ۹ ب؛ ۹ ت). این پدیده‌های کارستی به ندرت در سنگ‌های دولومیتی دیده می‌شوند و چنانچه موجود باشند، کاملاً کوچک هستند. معمولاً کارنها در سنگ آهک‌های خالص و توده‌ای مشاهده می‌شوند و در سنگ آهک‌های رس‌دار، شیلی و امثال آن



شکل ۱۰: الف) مدل هندسی برای مسیر جریان در طول تقاطع یک شکستگی و سطح لایه‌بندی؛ کاندویت دایره‌ای (Kaufman, 2008). ب) چشمه کارستی از نوع کاندویت که در اثر برخورد سطح لایه‌بندی و درزه‌ها به وجود آمده است. زاویه برخورد درزه‌ها و سطح لایه بندی تقریباً ۹۰ درجه است. پ) چشمه کربناته سازند اسفندیار، شرق رشته‌کوه شتری، (دید به سمت شمال غرب). پ: چشمه گسلی گله چشمه در سازند شتری، تنگه بند کزیت (دید به سمت شرق). ت) چشمه تماسی خراوان علیا که در محل برخورد سازند اسفندیار و سازند نفوذناپذیر بغمشاه به وجود آمده است. سازند بغمشاه در اینجا به عنوان یک مانع عمل کرده است، غرب رشته‌کوه شتری (دید به سمت جنوب غرب).

اولیه خوب و یا سنگ‌های نفوذپذیر، نظیر ماسه‌سنگ ایجاد می‌شوند. دره‌های خشک به تعداد زیادی در بخش‌های مختلف رشته کوه مشاهده شدند (اشکال ۱۱ پ؛ ۱۱ ت).

دره‌های خشک

دره‌هایی را که فاقد آب دائمی می‌باشند دره خشک می‌نامند. این دره‌ها معمولاً در سنگ‌های کربناته با نفوذپذیری

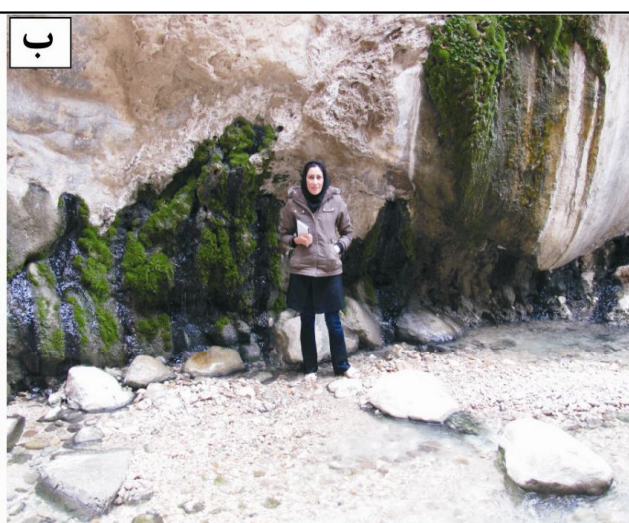
چشمه کارستی

بر اساس شرایط زمین شناسی و تکتونیکی می‌توان چشمه‌های کارستی را رده‌بندی کرد. از بین انواع چشمه‌های کارستی بر اساس تقسیم‌بندی Ford & Williams (1989)، چشمه‌های تماسی و چشمه‌های گسله در منطقه مورد مطالعه مشاهده شدند (اشکال ۱۰؛ ۱۰؛ ۱۰؛ ۱۰؛ ۱۰؛ ۱۲ الف).

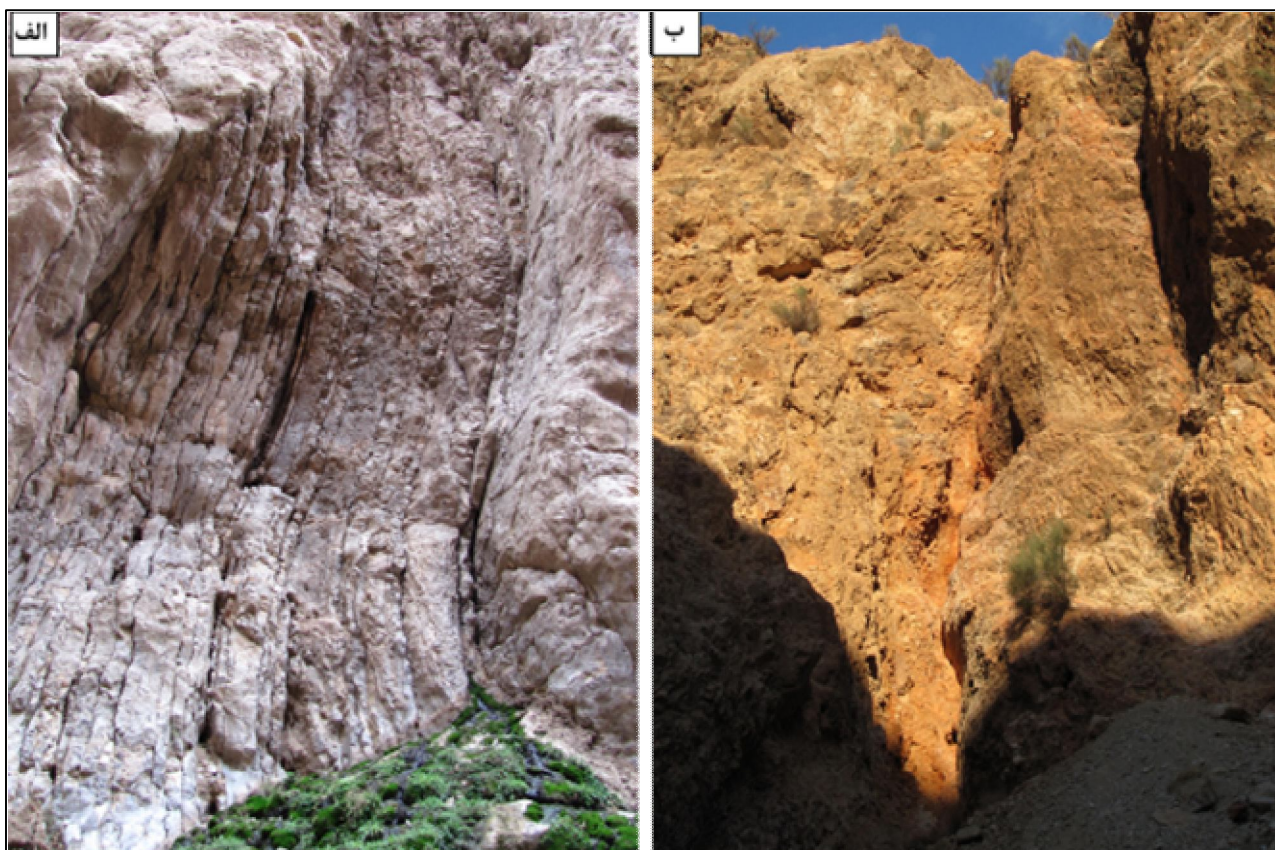
اشکال درونی کارست

غارها

غار در واقع یک تونل یا راهرو زیرزمینی است که به صورت افقی یا با مجرای دارای شیب ملایم توسط یک دهانه و یا بیشتر به سطح زمین راه دارد. غارها بخشهایی از مجاری کارست فعال قبلی را نمایان می‌کنند (Milanović, 1981). شکل ۱۳ نمونه ای از غارهای مشاهده شده در منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱: الف: گرایک در سازند اسفندیار، شرق رشته کوه شتری، مسیر جاده خداآفرید (دید به سمت جنوب). ب: چشمه گسلی در دره مرتضی علی، سازند جمال، غرب رشته‌کوه شتری. پ: دره خشک در سازند اسفندیار، غرب کوه شتری، روستای خراوان علیا (دید به سمت شمال). ت: دره خشک در کال فتح‌آباد، سازند اسفندیار، شرق رشته‌کوه شتری (دید به سمت جنوب).



شکل ۱۲: الف: چشمه که در اثر انحلال در سطوح لایه‌بندی به وجود آمده و چون سنگ‌آهک نازک لایه است چشمه از نوع چشمه افشان است، تنگ عباسی، سازند جمال، غرب رشته‌کوه شتری (دید به سمت غرب). ب: گرایک در سازند شتری در دره‌ای در تنگ کریت (دید به سمت شرق).



شکل ۱۳: غار در سازند اسفندیار، شرق رشته کوه شتری در مسیر جاده سرند (دید به سمت جنوب غرب).

نتیجه گیری

مطالعات پتروگرافی مشخص کرد که سنگهای این منطقه تحت تأثیر چندین فاز تکتونیکی قرار گرفته و شکستگیهای زیادی در آن صورت گرفته است. بیشتر انواع تخلخلهای اولیه و ثانویه‌ای که در این نمونه‌ها مشاهده شد طی فازهای مختلف سیمانی شدن، با سیمان کلسیت اسپاری و دولومیت پر شده‌اند. گسترش کم انحلال در این منطقه می‌تواند به فازهای متعدد سیمانی شدن و به میزان کم بارش در منطقه ارتباط داشته باشد.

داده‌های مربوط به ناخالصیهای موجود در سنگهای منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که ناخالصیها در سنگهای کربناته کمتر از ۱۵ درصد است. به طور کلی، این کربناتها، با ضخامت زیاد، از خلوص نسبتاً بالایی از نظر میزان کربنات کلسیم برخوردار هستند و شرایط مناسبی را از این نظر برای انحلال در منطقه ارائه می‌دهند. لازم به ذکر است، نمونه‌هایی که از مجاورت چشمه‌ها برداشت شد میزان ناخالصی خیلی کمتری را نشان دادند.

سازند اسفندیار در بخشهای غربی نسبت به بخشهای شرقی بیشتر دولومیتی شده است که این موضوع می‌تواند به تأمین منیزیم از سازند مجاور مربوط باشد.

به نظر می‌رسد اشکال کارست موجود در منطقه به جز محدوده‌های بسیار اندک که تحول کارست هنوز با توجه

به شرایط خاص ادامه دارد و میزان کارستی شدن در آنها بالا نیست، عمدتاً مربوط به دوره‌های اقلیمی گذشته باشد. تحول و تکامل عوارض کارستی در منطقه، به شرایط اقلیمی مرطوب‌تر و پر باران‌تری از شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه نیازمند بوده است.

از عوامل تحول اشکال کارستی در این منطقه، ضخامت زیاد سنگ آهک، سنگ‌شناسی مناسب، شرایط زمین‌ساختی و از عوامل بازدارنده تحول کارست در این منطقه شرایط اقلیمی می‌باشد.

از بین سیماهای کارستی، کارن، دره‌های خشک، چشمه‌های کارستی، حفره‌های انحلالی و غار در منطقه مورد مطالعه مشاهده شد.

در منطقه مورد مطالعه، از بین اشکال کارستی گرایکها سهم مهمی را در جذب و نفوذ نزولات جوی و انتقال و هدایت آن به اعماق و تغذیه آبخوانهای کارستی به عهده دارند.

از بین چشمه‌ها، چشمه از نوع تماسی و گسلی در منطقه مورد مطالعه مشاهده شد. ذکر این نکته ضروری است که در بعضی نقاط در تنگ عباسی، چشمه‌هایی مشاهده شد که در اثر انحلال در سطح لایه‌بندی به وجود آمده و از نوع سیستم افشان است. چشمه‌ها نیز از نوع کاندوئیت است که در اثر تقاطع شکستگی و سطح لایه‌بندی ایجاد شده است.

منابع

- بختیاری، س.، ۱۳۸۴. اطلس راههای ایران با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰. مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی. ۲۸۸ ص
- آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۳ ص.
- رحیم پوربناب، ح.، ۱۳۸۴. سنگ شناسی کربناته (ارتباط دیاژنز و تکامل تخلخل)، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۸۷ ص.
- خلاصه آمار هواشناسی استان خراسان جنوبی، ۱۳۸۹. سازمان هواشناسی کشور.
- شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی، ۱۳۸۹. خلاصه آمار تجزیه شیمیایی منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی بشرویه.
- کریمی وردجانی، ح.، ۱۳۸۹، هیدروژئولوژی کارست (مفاهیم و روشها)، انتشارات ارم شیراز، ۴۱۴ ص.
- Alavi, M., 1991. Tectonic map of the Middle East, scale 1:5000000, *Geological Survey of Iran*.
- Appelo, C.A.J. & Postma, D., 2005. Geochemistry, groundwater and pollution. *Leiden: Balkema*, 649 p.
- Choquette, P.W. & Pary, L.C., 1970. Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *A.A.P.G. Bull.*, 54: 207-250.
- Dickson, J.A.D., 1965. A modified staining technique for carbonate in thin section. *Nature*, 205: 587.
- Dreiss, S.J., 1982. Linear kernels for karst aquifers. *Water Resources Research*, 18 (4): 865–76.
- El-Hefnawi, M.A., Mashaly, A.O., Shalaby, B.N., & Rashwanetal, M.A., 2010. Petrography and geochemistry of Eocene limestone from Khashm Al-Raqaba area, El-Galala El-Qibliya, Egypt: *Carbonates & Evaporites*, 25: 193-202.
- Folk, R.L., 1980. Petrology of sedimentary rocks. *Hemphill*, Austin, Texas, 182 p.
- Ford, D.C. & Williams, P.W., 1989. Karst geomorphology and hydrology. *Unwin Hyman*, London, 601 p.
- Ford, D.C. & Williams, P.W., 2007. Karst hydrogeology and geomorphology. *John Wiley & Sons Ltd.*, 562 p.
- Ginés, A., 2004. Karren. In: Gunn, J., (ed.), *Encyclopedia of Caves and Karst Science. Fitzroy Dearborn*, New York, p. 470–473.
- Goldscheider, M., & Drew, M.R., 2007. Methods in Karst Hydrogeology. *Wallingford*, 340 p.
- James, N.P. & Choquette, P.W., 1984. Diagenesis in limestones – the meteoric diagenetic environment. *Geoscience, Canada*, 11: 161–194.
- Maire, R., 1990. La haute montagne calcaire. *Karstologia Mem.* 3: 731 p.
- Milanović, P.T., 1981. Karst hydrogeology. *Water Resources Publication*, Colorado, 434 p.
- Rauch, H.W., & White, B.W., 1970. Lithologic controls on the development of solution porosity in carbonate aquifers. *Water Resources Research*, 6: 1175–1192.
- Stocklin, J., Eftekharnjad, J., & Hushmandzadeh, A., Zahedi, M., Nabavi, M.H., Tatavousian, Sh., 1969. Geological map of Boshrouyeh, scale 1:100,000. *Geological Survey of Iran*.

Sweeting, M.M., & Sweeting, G.S., 1969. Some aspects of the Carboniferous limestone in relation to its landforms with particular reference to N.W. Yorkshire and County Clare. *Research Mediterranean*, 7: 201–208.

White, B.W., 1988. *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*. Oxford University Press, 464 p.

Study of the effect of petrographic characteristics on the development of karst in carbonate rock units in Shotori Mountains, east of Iran

Ashraf, T.¹, Mirab Shabestari, G.^{2*}, Etebari, B.³

1- M.Sc. in Sedimentology, Department of Geology, Faculty of Science, University of Birjand, Birjand, Iran

2- Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, University of Birjand, Birjand, Iran

3- M.Sc. in Hydrogeology, Southern Khorasan Regional Water Company, Birjand, Iran

E-mail: gshabestari@birjand.ac.ir

Abstract

Petrographic characteristics of carbonate rocks such as mineralogy, texture, crystal size, porosity, fracturing, dissolution and degree of cementation play major roles in karstification. In order to investigate the effects of these factors on carbonate rock units in Shotori Mountains, stratigraphic intervals including Esfandiar, Jamal and Shotori Formations have been studied. Due to the effect of purity of limestone on development of karst, the percentages of insoluble residues in some samples and hydrochemical data of springs have been analyzed. In the studied region, remarkable thickness of limestones, proper lithology and suitable tectonic situation are important factors for karstification, whereas climatic condition is the main prohibiting element. However several karstic features, including karrens, dry valleys, karst springs, dissolution pit and cave were observed in the studied area, but the results of this study revealed that further wet climatic condition is necessary for evolution of karst in this region.

Keywords: karstification, karren, karst springs, Shotori Mountains, east of Iran.