Archive of SID

جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۸، پاییز ۱۳۹۲
وصول مقاله : ۱۳۹۱/۱۲/۲۶
تأیید نهایی : ۱۳۹۲/۷/۹
صفحات : ۱۳۰ - ۱۱۵

معرفی ژئومورفولوژی کارستی سنگ‌های کربناته منطقهٔ آهنگران (شمال شرق بیرجند)

مهدی میرعلایی موردی[۱]، دکتر غلامرضا میراب شبستری[۲]، بهروز اعتباری[۳]، دکتر محمود رضا هیهات[۴]

چکیده

فرآیند کارستی شدن باعث ایجاد اشکال زمین ریخت شناسی خاصی می‌شود که معمولاً با تشکیل شکاف‌ها، کانال‌ها و حفرات بزرگ انحلالی همراه است. در این تحقیق منطقهٔ آهنگران واقع در شمال شرق بیرجند (استان خراسان جنوبی) که دارای درجه حرارت کم و بارش بیش از ۲۰۰ میلیمتر در سال می‌باشد، به منظور شناسایی این عوارض مورد مطالعه قرار گرفته است. طبقات آهکی متعلق به کرتاسه پایینی عمده‌ترین سنگ‌های کربناته این منطقه را تشکیل می‌دهد. توده‌های آهکی کارستی نسبتاً گسترده‌ای در ارتفاعات آهنگران وجود دارد که تحقیق و بررسی بر روی آنها می‌تواند به لحاظ شناسایی اشکال کارستی، آبخوان‌های آهکی و ارتباط فرم‌های کارستی با سیستم آبی منطقه حائز اهمیت باشد. توده کارستی آهنگران از نوع کارست‌های مناطق گرم و خشک و بیابانی بوده که دارای چشمه‌های متعددی می‌باشد. آب شرب روستاهای این منطقه از طریق چشمه‌های دائمی و فصلی تأمین می‌گردد. علاوه بر چشمه‌ها، از جمله دیگر اشکال زمین ریخت شناسی که در این منطقه مشاهده می‌شود، می‌توان به کارن‌ها، چاله‌های باران و دره‌های خشک اشاره نمود. توسعه یافتگی تخلخل ثانویه به صورت شبکه‌ای از درز و شکستگی‌ها و عملکرد فرآیندهای کارستی در سنگ‌های کربناته منطقه از جمله مهم‌ترین عوامل مؤثر در کارستی شدن منطقه می‌باشند.

کلید واژگان: ژئومورفولوژی کارست، کارست کربناته، آهنگران، بیرجند.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی و سنگ شناسی‌رسوبی، گروه زمین شناسی، دانشگاه بیرجند (نویسنده مسؤول) miralaei65@gmail.com
۲- استادیار گروه زمین شناسی، دانشگاه بیرجند gshabestari@birjand.ac.ir
۳- کارشناس ارشد شرکت آب منطقه ای خراسان جنوبی behrooz.etebari@gmail.com
۴- استادیار گروه زمین شناسی، دانشگاه بیرجند heyha_m@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

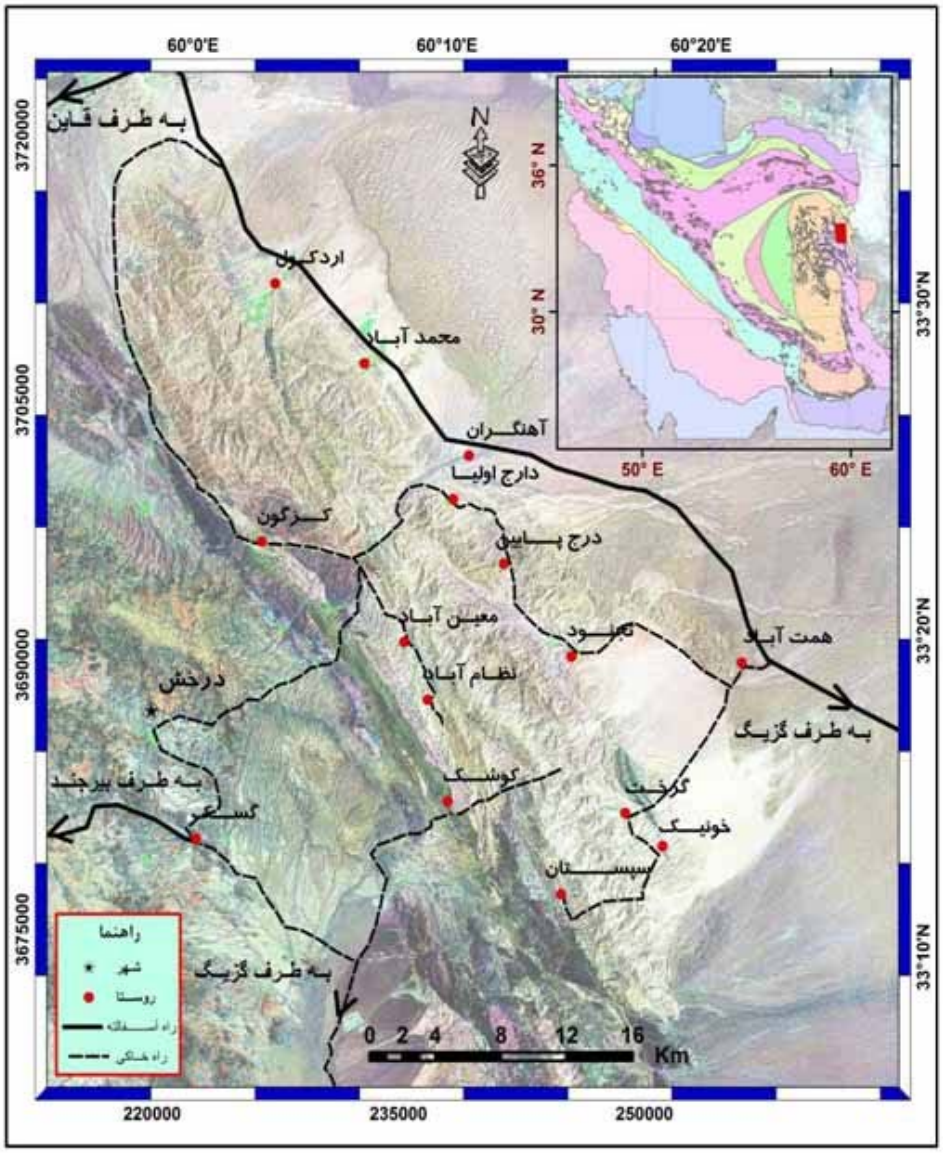
کارستی شدن عموماً در سنگ‌های رسوبی بیوژنیک، شیمیایی و بیوشیمیایی و اغلب در سنگ‌های کربناته همانند آهک و دولومیت رخ میدهد (Groves and Meiman, 2005: 115-126; De Waele et al., 2009, 1-8; Johnson and Stieglitz, 1990: 37-54). همچنین، این پدیده در سنگ‌های سولفاته همانند ژیپس و انیدریت نیز مشاهده می‌شود (Black, 1997:81-83; Calaforra and Pulido-Bosch, 2003: 173-180). ویژگی سرزمین‌های کارستی شکاف‌های بزرگ شده انحلالی و کانال‌هایی (شیارهای کارستی) است که توسعهٔ آنها به منشأ، ساختار و ابعاد این شکاف‌ها بستگی دارد (دولین، پولیژه). فورد (Ford, 2007: 675-684) دولین‌ها را به عنوان عاملی برای تشخیص سرزمین‌های کارستی توصیف می‌کند. آبخوان‌های کارستی به خاطر سرعت، جریان متلاطم و آشفتهٔ آب‌های زیرزمینی، اغلب در شبکهٔ شکاف‌ها، مجاری و غارها شناسایی می‌شوند (Goeppert, 2008: 283; Worthington, 2009: 1665-1678). ۲۷ درصد جمعیت جهان از منابع آب کارستی استفاده می‌کنند. در کشور ما، با وجود توده های کارستی در رشتهٔ کوه‌های زاگرس، البرز، کپه داغ و ایران مرکزی و جزایر خلیج فارس (کلتات، ۲۶۴:۱۳۸۷)، متأسفانه تحقیقات بسیار اندکی در مورد شناسایی ناهمواری‌های کارستی، مدیریت بهره‌برداری منابع آب کارست و جاذبه‌های توریستی آنها انجام شده است. وسعت سازندهای آهکی در استان خراسان حدود ۲۰ هزار کیلومتر مربع می‌باشد که عمدتاً از دوران مزوزوئیک هستند (عشقی، ۱۳۸۳: ۱۵-۱). مناظر کارستی که در این سازندها ایجاد می‌شوند، علاوه بر جاذبه‌های توریستی، از لحاظ ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی نیز حائز اهمیت‌اند. همچنین به دلیل ذخایر آبی در این‌گونه سازندهای کارستی، به عنوان یکی از منابع مهم تأمین کنندهٔ آب آشامیدنی شهرها و نواحی روستایی اطراف (بویژه نواحی خشک و کم آب) مطرح می‌باشند. مناطق کارستی تنوع زیستی قابل توجهی را در سطح، زیر زمین و در اکوسیستم‌های مرتبط با آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهند (Humphreys, 2006: 115-132, Bonacci et al., 2009: 891-900). آبخوان‌های کارستی به لحاظ منابع آب شیرین ارزشمندند ولی در برابر آلودگی بسیار آسیب پذیرند. در نتیجه آنها به طور ویژه به حفاظت نیاز دارند (Ravbar and Goldscheider, 2007: 397-411). واژهٔ «کارست» با سنگ‌های کربناته، بخصوص بیشتر با سنگ‌های آهکی و دولومیتی ارتباط مستقیم دارد (Milanovic, 1981: 434).

موقعیت جغرافیایی منطقه

منطقهٔ مورد مطالعه (شکل۱) در محدودهٔ جغرافیایی °۶۰ تا ´۳۰ °۶۰ طول شرقی و ´۵ °۳۳ تا ´۳۰ °۳۳ عرض شمالی، در شرق ایران و ۱۳۰ کیلومتری شمال شرق شهرستان بیرجند واقع شده و دارای وسعتی معادل ۲۸۰ کیلومتر مربع، ۲۸۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا و همچنین بارندگی ۲۰۰ میلیمتر تا ۲۵۰ میلیمتر در سال می‌باشد. کوه‌های آهنگران، میرزاعرب و اردکول ارتفاعات مهم منطقه را تشکیل می‌دهند. این کوه‌ها با ترکیب آهکی خود مقاومت خوبی در برابر فرسایش و هوازدگی دارند و به همین دلیل به صورت برجسته و صخره‌ساز دیده می‌شوند. در دامنهٔ این کوه‌ها توالی مارن، ماسه سنگ و کنگلومرا دیده می‌شود که در قسمت‌هایی خصوصاً دامنهٔ کوه میرزاعرب، توالی مارن به صورت سد، مانع خروج آب از ارتفاعات به دشت می‌شود. نواحی کارستی به دلیل مورفولوژی خاص خود به‌راحتی از دیگر نواحی غیر کارستی متمایز می‌شوند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱: موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن

پیشینهٔ مطالعاتی

ملکی (۱۹۵:۱۳۸۰)، به بررسی تحول اشکال کارستی و نقش آن در شناسایی منابع طبیعی با تکیه بر منابع آب زیرزمینی (در ناهمواری‌های زاگرس)، پرداخته است. نتایج حاصله، ارتباط قوی بین اشکال کارستی و منابع آب را نشان می‌دهد.

علیمردانی (۷:۱۳۸۰) منابع آب موجود در سازندهای کارستی تاقدیس کبیرکوه را مورد بررسی قرارداده و نتیجه گرفته است که وجود درزها و شکاف-های فراوان در سازندهای موجود باعث نفوذ آب و به وجود آمدن چشمه‌های متعدد شده است و دبی این چشمه‌ها به اندازهٔ درزها و شکاف‌های به وجود آمده در این سازندها بستگی دارد.

کاظمی و همکاران (۹:۱۳۸۵) به بررسی نقش عوامل ساختاری در فراوانی منابع آب در منطقهٔ کارستی لار با استفاده از سنجش از دور و GIS پرداخته و نتیجه گرفته‌اند که رابطهٔ زیادی بین فراوانی چشمه‌ها با فاصله از عناصر تکتونیکی و خطواره‌ها وجود دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

فرزانه و همکاران (۱۳۸۶: ۱۹) ویژگی‌های ژئومورفیک تودهٔ کارستی اخلمد در دامنه‌های شمالی ارتفاعات بینالود را مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفته‌اند که وجود اشکال و ناهمواری‌های کارستی از جمله کانیون‌ها، کارن‌ها و غارهای به‌وجود آمده در اثر عملکرد انحلال و فروریزش منطقه می‌باشد.

ملکی و همکاران (۱۳۸۸: ۲۵) به بررسی پهنه‌بندی تحول کارست در استان کرمانشاه پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که عوامل مؤثر در تحول کارست این منطقه شامل لیتولوژی، ارتفاع، ژئومورفولوژی، شیب منطقه و شرایط اقلیمی می‌باشد.

صابری مهر و همکاران (۶:۱۳۸۹) در مطالعه‌ای تحت عنوان توسعهٔ کارست در تاقدیس گر با استفاده از ردیابی اورانین نشان دادند که آزمون ردیابی اورانین از ابتدای مخزن سرشسپیر تا پل گشنگان، آب‌های نشتی در زیر و یا نزدیک رودخانه جریان می‌یابد.

پرهمت و همکاران (۷:۱۳۸۹) عوارض کارستی در منطقهٔ مرتفع سپیدار، در استان کهگلویه و بویر احمد را مورد بررسی و مطالعه قرار داده و نتیجه گرفته‌اند که فراوان بودن اشکال کارستی از جمله کارن‌ها در این منطقه، حاکی از فعال بودن پدیده کارست می‌باشد.

آبشیرینی (۱۱۸:۱۳۸۹) در مطالعه‌ای تحت عنوان کاربرد تکنیک‌های دورسنجی و GIS در شناخت و پتانسیل یابی آب‌های زیرزمینی کارستی در تاقدیس پابده- لالی، لایه‌های موضوعی شیب، شبکهٔ زهکشی، کیفیت شیمیایی آب چشمه‌ها در فصل تر و خشک، شکستگی و فاصله از چشمه‌ها را به کار گرفت و برای تلفیق آنها از مدل بولین با فرض مساوی بودن تأثیر پارامترهای مختلف استفاده کرد و در نهایت ۴۳ نقطه را به عنوان مکان‌های مناسب جهت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی تشخیص داد.

اشرف (۱۹۵:۱۳۹۰) به بررسی تأثیر فرآیندهای کارستی بر منابع آب موجود در سنگ‌های کربناته منطقهٔ کوه‌های شتری در شرق ایران پرداخته و نتیجه گرفته است که عدم توسعهٔ کارست در این منطقه به دلیل نامناسب بودن شرایط اقلیمی بوده است.

شایان ذکر است با وجود این که تاکنون در زمینهٔ توسعه و ژئومورفولوژی کارستی پژوهش‌های متعددی در مناطق مختلف کشور انجام شده است، امّا این تحقیق پس از پژوهش اشرف (۱۳۹۰) دومین موردی است که به طور خاص از دیدگاه ویژگی‌های سنگ-شناسی رسوبی‌به مطالعهٔ مناطق کارستی‌پرداخته است.

روش تحقیق

وجود شرایط زمین‌شناسی (از دیدگاه جنس لایه-های زمین)، آب به عنوان عامل انحلال و تحرکات تکتونیکی به عنوان تسریع کننده و ایجاد کنندهٔ شرایط لازم برای نفوذ آب به اعماق و شرایط توپوگرافی مناسب مهم‌ترین پارامترهای ایجاد کنندهٔ پدیدهٔ کارستی شدن و تشکیل منابع آب در سازندهای کربناته می‌باشد. از این‌رو در این پژوهش ابتدا منطقهٔ مورد مطالعه بر روی نقشهٔ توپوگرافی مشخص شد، سپس با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ واحدهای کربناته مورد نظر شناسایی گردید. همچنین، نقشهٔ عناصر تکتونیکی (گسل‌ها و شکستگی‌ها) با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای و نیز نقشهٔ موقعیت مکانی چشمه-های منطقه با استفاده از GPS و در طی عملیات صحرایی تهیه گردید. از آن‌جا که تشخیص اشکال کارستی مانند کارن‌ها و میکروکارن‌ها، گرایک‌ها، چاله-های باران و سیستم‌های درز و شکست از طریق تصاویر ماهواره‌ای امکان پذیر نیست، منطقهٔ مورد مطالعه به چندین بخش تقسیم گشت و مطالعات صحرایی تفصیلی در سنگ‌های آهکی توده‌ای که اشکال کارست در آن تکامل یافته‌تر بودند، صورت گرفت.

www.SID.ir

Archive of SID

ژئومورفولوژی منطقهٔ مورد مطالعه

همان‌گونه که گفته شد، کوه‌های آهنگران دارای ساختمانی رسوبی از جنس آهک هستند که به علت فشارهای شدید تکتونیکی از یک سو و مقاومت سنگ آهک در مقابل این فشارها از سوی دیگر، دارای ساختمان بسیار پیچیده و خرد شده‌ای می‌باشند. به علت گسل‌های متعدد و متقاطع، لایه‌ها شکسته شده و در جهات مختلف، شیب پیدا کرده‌اند. از مهم‌ترین عوارض ژئومورفولوژی ساختمانی ناشی از گسل‌های منطقه، پرتگاه‌های گسلی است که در پاره‌ای از نواحی منطقه، سبب ایجاد اختلاف ارتفاع نسبتاً زیاد شده‌اند. انحلال سنگ آهک نقش عمده‌ای در فرآیند شکل‌زایی منطقه دارد که سبب به وجود آمدن ژئومورفولوژی خاصی در منطقه شده است. علاوه بر انحلال، فرسایش مکانیکی سبب تخریب سنگ‌های منطقه می‌گردند. عملکرد تخریب مکانیکی در مقیاس وسیع در منطقه دیده می‌شود. در این منطقه رودخانه‌های دائمی گزخت و تجنود وجود دارند که آب آشامیدنی و کشاورزی تعدادی از روستاهای مجاور خود را تأمین می‌کنند (شکل۲). به نظر می‌رسد از آنجا که تمامی مواد تخریبی از نوع آهکی می‌باشند، این مواد در بستر رودها تا حد زیادی توسط جریان‌های فصلی دچار انحلال گردیده و به‌طور محلول از منطقه خارج می‌گردند.

شکل ۲: نمایی از رودخانهٔ گزخت (دید به سمت شمال شرق)

سیستم شکل‌زایی کارست در منطقه

وجود سنگ آهک و رطوبت کافی از عوامل ضروری در فرآیند انحلال می‌باشد که در ادامه مورد بحث قرار خواهد گرفت. در منطقهٔ مورد نظر با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی موجود، کیفیت انحلال‌پذیری سنگ آهک در سرتاسر منطقه تقریباً یکسان در نظر گرفته شده است؛ اما میزان و زمان دسترسی آب به سنگ در همه جای منطقه یکسان نیست. این عدم توازن منجر به شدت و ضعف انحلال در محدوده‌های فعالیت کارست شده و به تبع آن اشکال کارستی متعددی ایجاد گردیده است. به دلیل وجود اختلاف ارتفاع در منطقهٔ مورد مطالعه، تفاوت زیادی نیز بین میزان بارش و نوع بارش وجود دارد. به‌طوری که در ارتفاع بالاتر منطقه با بارش بیشتر و از نوع جامد روبرو هستیم و برعکس این حالت، در ارتفاع پایین‌تر منطقه به دلیل کمتر بودن میزان بارش کافی عمل انحلال خیلی کمتر صورت گرفته و یا بندرت و به صورت بسیار ضعیف عمل می‌نماید. لذا در مناطق مرتفع‌تر به دلیل شرایط اقلیمی

www.SID.ir

Archive of SID

حاکم، اشکال کارستی ایجاد شده در حال تکامل است. بر عکس در مناطق پست‌تر، نه تنها اشکال ایجاد شده پیشرفت نمی‌کنند، بلکه بشدت توسط شبکه آب‌ها مورد تخریب و فرسایش قرار گرفته‌اند.

عوامل و فرآیندهای به‌وجودآورندهٔ کارست در منطقه

مهم‌ترین عوامل عبارتند از: (۱) وجود سازندهای آهکی و آهکی- دولومیتی مساعد برای کارستی شدن، (۲) توسعه یافتگی سیستم‌های شکستگی (ناشی از گسل‌ها و هوازدگی مکانیکی) در سنگ‌های توده‌ای که مبین تکامل یافتگی تخلخل ثانویه در سنگ آهک است، (۳) وجود بارندگی نسبتاً مناسب و گردش آب درون تودهٔ آهکی مورد نظر و (۴) فرآیند انحلال در سنگ‌های کربناته منطقه.

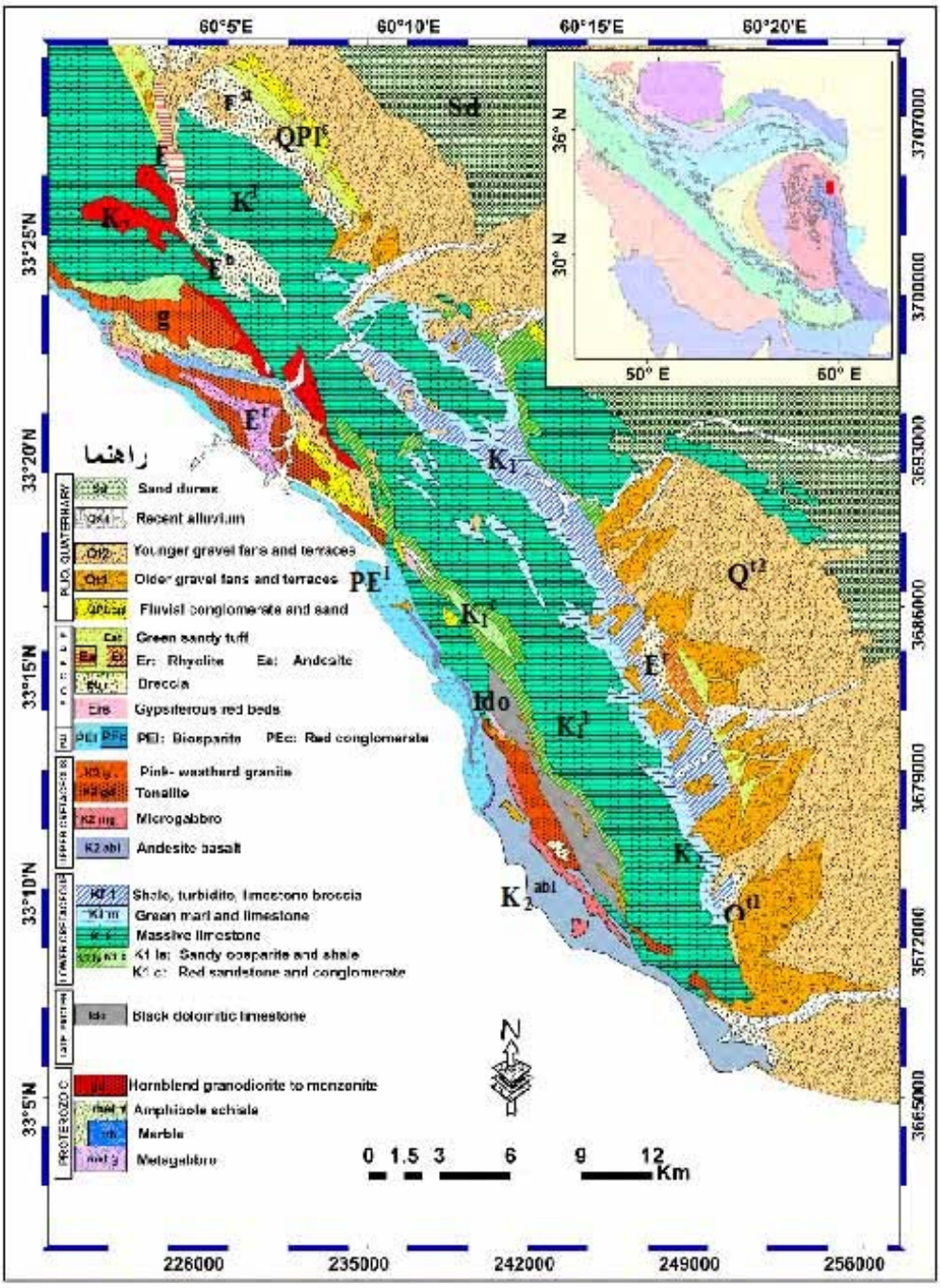
وجود سازندهای آهکی: از شرایط مهم در توسعهٔ کارست، نوع سنگ آهک، میزان خلوص و ضخامت کافی می‌باشد (ملکی، ۱۳۸۰). لیتولوژی و خصوصیات وابسته به آن نظیر بافت و درجهٔ خلوص سنگ‌ها بر روی تخلخل و نفوذپذیری اولیه در یک توالی رسوبی تأثیر می‌گذارد. تغییر در پارامترهایی نظیر تخلخل و یا نفوذپذیری پتانسیل جریان را برای متمرکز شدن و توسعهٔ فرآیندهای انحلالی تغییر می دهد (کشتکار، ۱۱۱:۱۳۸۴). از میان سنگ‌های کربناته مختلف موجود در منطقه، طبقات آهکی به سن کرتاسه پایینی (علوی، ۱۳۶۰). برای توسعهٔ کارست مساعدتر از سایر سنگ‌های موجود می‌باشد. به‌طوری که این طبقات از آهک‌های توده‌ای و آهک‌های لایه‌ای تشکیل شده و در این توده اشکال کارستی توسعهٔ خوبی پیدا کرده‌اند (شکل۳).

تخلخل: تخلخل به‌وجود آمده در کارست شامل سیستم به‌هم پیوسته درزه‌ها، مجاری کارستی، و پرشدگی‌های متفاوت می‌باشد. این تخلخل بر حسب منشأ می‌تواند به تخلخل اولیه و ثانویه تقسیم شود (Milanovic, 1981: 434). تخلخل اولیه منشأ هم-زمانی دارد و در زمان رسوب گذاری تشکیل می‌شود. این نوع تخلخل کارست زیاد متداول نیست و به مقدار زیاد در آبخوان‌های ایالت فلوریدای آمریکا روی داده است (Stringfield, 1966: 517). تخلخل ثانویه که درزه‌ها، شکستگی‌ها و مجاری کارستی را در بر می-گیرد در پهنه‌های کارستی بسیار واضح‌تر از تخلخل اولیه است.

تخلخل‌های ثانویه: همان گونه که اشاره شد، یکی از مؤثرترین عوامل ایجاد کارست در منطقهٔ مورد مطالعه، تخلخل‌های ثانویه به‌وجود آمده در تودهٔ مورد نظر می‌باشند. به طوری که سیستم‌های وسیعی از درز و شکستگی و شکاف‌های عمیق (بر اثر گسل خوردگی، چین خوردگی و هوازدگی مکانیکی) در سازند کربناته مربوطه به‌وجود آمده است (شکل۴) که این امر موجب سهولت گردش آب در سیستم کارستی می‌شود. بسیاری از درزه‌ها و شکستگی‌های عمودی به مجاری زیرزمینی و چشمه‌ها متصل است و ورود هرگونه مواد آلاینده به درون درزها و شکاف‌های موجود در تودهٔ کارستی بآسانی وارد مجاری آب زیرزمینی، چشمه‌ها و یا آبخوان‌های کارستی می‌شود (Bodhankar and Charter, 1993). عمق و عرض شکاف‌ها و درزه‌ها در همه جای توده یکسان نیست. (شکل۵). علاوه بر درز و شکستگی، ساختار لایه‌بندی و درزه‌های موجود در سنگ نیز می‌تواند عامل مهم دیگری در توسعه کارست باشد. به‌طوری که در قسمت‌هایی از منطقه درزه‌های بین سطوح لایه‌بندی از طریق انحلال و فرسایش عریض‌تر شده و برخی از اشکال کارستی از قبیل گرایک را به‌وجود آورده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

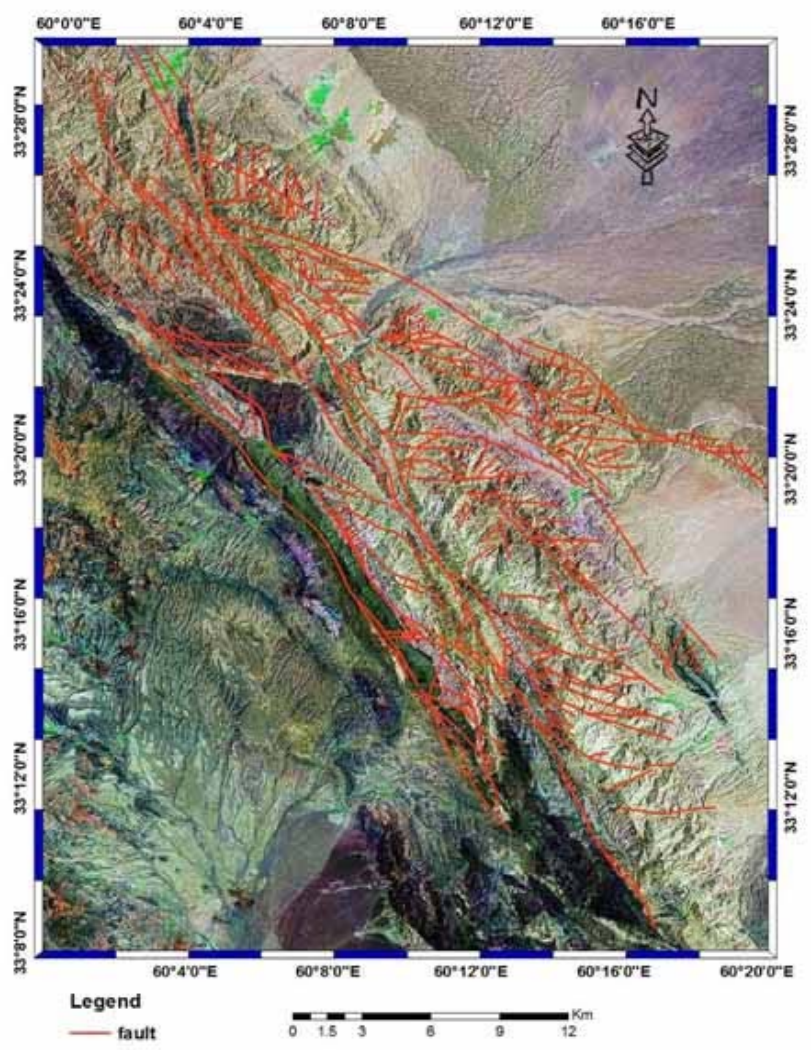


شکل ۳: نقشهٔ زمین‌شناسی منطقهٔ مورد مطالعه (برگرفته از نقشهٔ زمین‌شناسی۱:۱۰۰۰۰۰، علوی، ۱۳۶۰)

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۴: درز و شکستگی‌های موجود در منطقه (غرب روستای دارج بالا)



شکل ۵: نقشهٔ پراکندگی گسل‌ها و شکستگی‌های موجود در سنگ‌های کربناته منطقهٔ مورد مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

شرایط اقلیمی منطقه: آب و هوا، مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در پتانسیل آب‌های کارستی یک سازند مستعد و مناسب برای ذخیره و جریان آب است. آب و هوا و اقلیم منطقه به دو صورت بر پتانسیل آب‌های کارستی تأثیر می‌گذارد: ۱- با تأثیر مستقیم در مقدار و نوع بارش‌های جوّی که با توجه به اقلیم و ارتفاع ناحیه متفاوت است، در واقع این تأثیر اولیه بوده و مقدار آب را تنظیم می‌کند. ۲- به‌طور غیرمستقیم در توسعهٔ مخزن کارستی و به عبارت دیگر در اثر انحلال آهک توسط گاز کربنیک موجود در قطرات باران و یا آب موجود در خاک باعث توسعهٔ حجم نگهدارندهٔ آب می‌شود (عبادیان، ۲۵۱:۱۳۸۱). اگر گاز کربنیک وارد آب گردد و سنگ آهک غنی از کلسیت باشد و در تماس با آب اسیدی قرار گیرد، فرآیند انحلال تشدید می‌گردد. بوگلی (Bogli, 1980: 284) برای اولین بار قانون خوردگی مخلوط را در توده‌های کارستی مطرح نمود که طبق آن، چنان‌چه دو نوع جریان آب با دو کیفیت متفاوت، با هم، مخلوط شوند و در تماس با سنگ کارست قرار گیرند، در محل مخلوط شدن، فرآیند انحلالی به طور ناگهانی تشدید می‌گردد. او این فرآیند را خوردگی مخلوط می‌نامد (عشقی، ۱۳۸۱: ۱۵-۱). آنچه مسلم است در شرایط یکسان، هرچه مقدار باران و حجم بارش‌ها در ناحیه‌ای بیشتر باشد، مقدار آب نفوذ کرده به درون سفرهٔ کارستی بیشتر است که به افزایش دبی و خروجی از این سفره منجر می‌شود. البته نوع نزولات و شدت آنها نیز تأثیرگذار است. چون بارش‌های سیل‌آسا و ناگهانی که حجم زیادی رواناب تولید می‌کنند، در مقابل بارش‌های تدریجی و یا بارش برف با سرعت ذوب ملایم و فرصت نفوذ بیشتر، اهمیت کمتری دارند. این حالات توسط اقلیم منطقه و نیز ارتفاع قرارگیری سازندهای کارستی کنترل می‌گردد.

منطقهٔ مورد مطالعه از نظر اقلیمی در ناحیه‌ای گرم و خشک قرار دارد و از نظر حجم دریافت باران و برف وضعیت نسبتاً خوبی دارد، حدود ۳ ماه از سال، بارش باران و برف پراکنده در آن ناحیه وجود دارد (شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی، ۱۵۲:۱۳۹۰). از نظر توپوگرافی نیز موقعیت ارتفاعی کوه‌های آهنگران و ارتفاعات دیگر منطقه به صورتی است که بیشتر نزولات جوی را دریافت می‌کنند.

طبقه بندی اشکال کارستی در منطقهٔ مورد مطالعه

در محیط‌های پیچیدهٔ زمین‌شناسی، نظیر آن‌چه که در نواحی کارستی وجود دارد، طبقه‌بندی وضع فیزیکی کارست، تفکیک انواع آن و تقسیمات کوچک‌تری از عوارض کارستی ضروری به نظر می‌سد. عوامل متعددی وجود دارند که در اجرای این طبقه بندی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند (ملکی، ۱۹۵:۱۳۸۰).

در منطقهٔ آهنگران پدیده‌های کارستی متعددی مشاهده می‌شود که گسترش این پدیده‌ها نشانهٔ حاکمیت شرایط مناسب در منطقه می‌باشد. به دلیل اهمیت توسعهٔ پدیده‌های کارستی در گسترش سفره‌های آب زیرزمینی قابل شرب، بررسی و شناخت این پدیده‌ها در این منطقه از اهمیت زیادی برخوردار است.

یکی از تقسیم‌بندی‌های اشکال کارستی، توسط وایت (White, 1988: 464)، انجام شده است. وی اشکال کارستی را به دو دستهٔ اصلی شامل اشکال سطحی و درونی تقسیم نموده است.

در بین اشکال سطحی و درونی کارست، در تودهٔ آهکی مورد مطالعه اشکال سطحی کارست از پیشرفت قابل توجهی برخوردار هستند که در ادامه به برخی از این اشکال اشاره می‌شود:

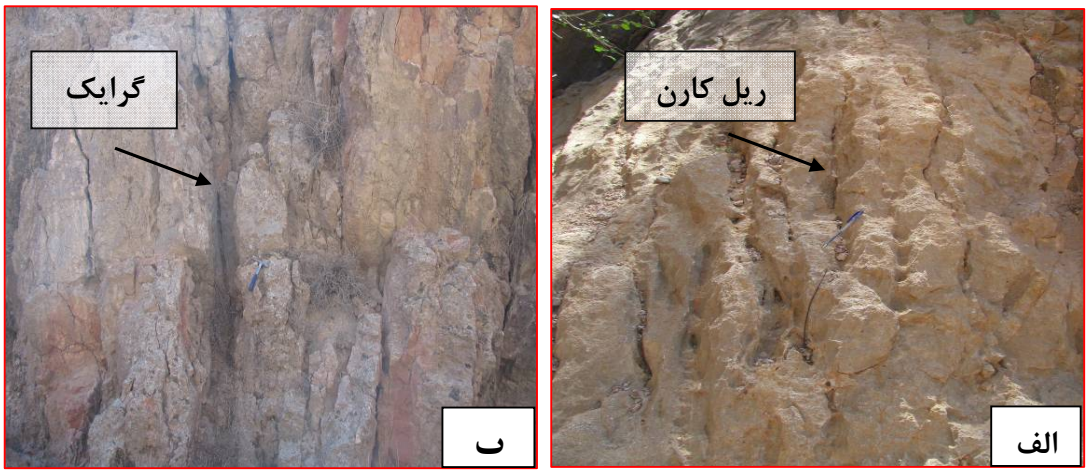
کارن‌ها و میکروکارن‌ها: کارن یک واژهٔ آلمانی است و در مورد اشکال انحلالی کوچک مقیاس و سطحی مانند شیارها و کانال‌ها در رخنمون کربناته به کار می‌رود. این اشکال بیشتر توسط جریان آب ناشی از باران و ذوب برف و در نتیجه فعالیت شیمیایی آب بر روی سنگ آهکی بدون پوشش گیاهی و عریان ایجاد می‌شود (Bogli, 1980: 284).

www.SID.ir

Archive of SID

کارن‌ها شکل‌های ویژهٔ کارست هستند که بهترین نشانهٔ فرآیند کارستی شدن را در عهد حاضر در سطح یک پهنه به نمایش می‌گذارند (Milanovic, 1981: 434). یکی از انواع اشکال کارستی موجود در منطقه، کارن‌ها و میکروکارن‌ها می‌باشد. این اشکال در قسمت‌های مختلفی از تودهٔ مورد نظر دیده می‌شوند و مناظر زیبایی را در منطقه به وجود آورده‌اند. مورفولوژی کارن‌ها متفاوت است و به بافت سنگ، ساختار لیتولوژیک، شیب دامنه‌ها و تراکم درزه بندی سنگ بستگی دارد. به عنوان مثال کارن‌ها و میکروکارن‌های خطی عمدتاً در محل درزه‌بندی و ترک خوردگی توده به وجود آمده‌اند. ریل کارن‌ها یکی از انواع کارن‌های خطی است که در منطقهٔ مورد مطالعه بر روی سطح آهک‌ها دیده می‌شوند. شکل ۶-الف نمایی از ریل کارن‌های واقع در ارتفاعات آهنگران را نشان می‌دهد. این عوارض در محدودهٔ مورد مطالعه دارای عرض کمتر از ۴ سانتیمتر و طول کمتر از یک متر می‌باشند و عمق آنها به طرف پایین کم می‌شود، چون آب اشباع شده و قدرت انحلال خود را بتدریج از دست می‌دهد.

معمول‌ترین و مهم‌ترین شکل کارن‌ها، گرایک (Grike) می‌باشد. این اشکال که تحت عنوان Cleft Karren نیز نامیده می‌شوند، در نتیجهٔ انحلال در محل درزه‌ها ایجاد می‌شوند. گرایک‌ها معمولاً دارای چند سانتیمتر عرض و چندین متر عمق می‌باشند. اهمیت گرایک‌ها از آن جهت است که هدایت کنندهٔ اصلی آب باران به داخل سفره‌های کارستی می‌باشند. هرچه گرایک‌ها بازتر و خاک داخل آنها کمتر و یا درشت دانه‌تر باشد، نفوذپذیری بیشتر است (کریمی وردنجانی، ۱۳۸۹: ۴۱۴). در منطقهٔ مورد مطالعه گرایک‌هایی در ابعاد و اندازه‌های مختلف دیده می‌شوند، به طوری که طول بعضی از این گرایک‌ها از ده‌ها سانتیمتر تا بیش از ۵ متر و عرض آنها نیز از چند سانتیمتر تا کمتر از یک متر تغییر می‌کند (شکل ۶-ب). به دلیل توپوگرافی و شرایط آب و هوایی مناسب، گرایک‌ها بیشتر در حاشیهٔ مرکزی توده‌های آهکی منطقه توسعه یافته‌اند.



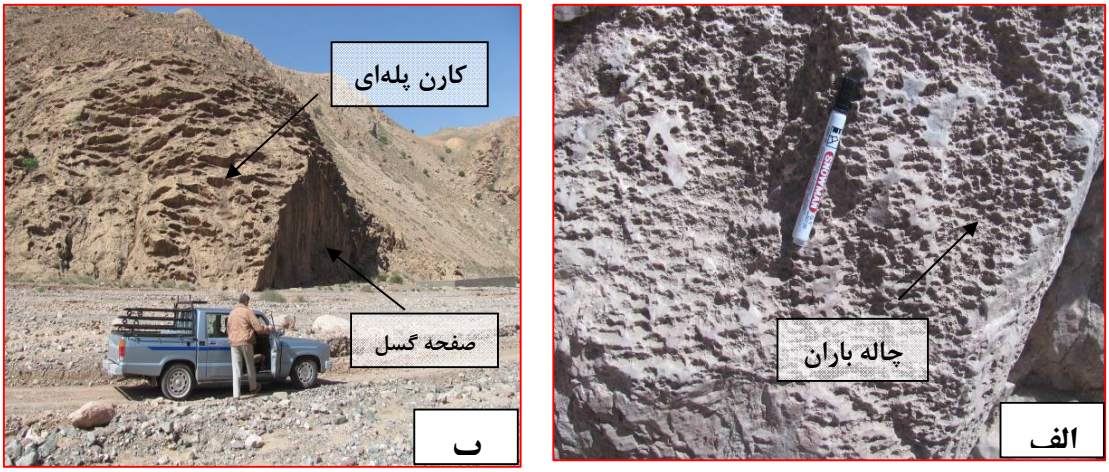
شکل ۶: ریل کارن‌ها (الف) و گرایک‌های (ب) به وجود آمده در توده‌های آهکی منطقه (جنوب روستای آهنگران)

کارن پله‌ای: این نوع کارن نیز در اثر جریان ورقه‌های آب ایجاد می‌شود، شیب سنگ کمتر ازحالتی است که در آن ریل کارن به وجود می‌آید (اشرف، ۱۳۹۰: ۱۹۵). معمولاً شکل این کارن‌ها به صورت پله‌ای می‌باشد. کارن‌های پله‌ای موجود در منطقهٔ مورد مطالعه در شکل ۷-ب نشان داده شده‌اند که توسعه و گسترش آنها در بخش شمال شرق منطقه بیشتر می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

چاله باران: از اشکال انحلالی که برروی تودهٔ سنگ، بدون اثر عوامل ساختاری ایجاد می‌شوند، می‌توان به چاله‌های باران (Rain pit) اشاره کرد (اشرف، ۱۳۹۰: ۱۹۵). این کارن‌ها به‌صورت حفرات کوچکی با ابعاد چند میلیمتر تا چند سانتیمتر بر روی سطح سنگ ایجاد می‌شوند. در شکل ۷-الف چاله‌های باران موجود در منطقه نشان داده شده است که با توجه به مشاهدات صحرایی، ابعاد این چاله‌های باران در منطقهٔ مورد مطالعه متغیر است. در قسمت‌هایی که وضعیت آب و هوایی و بارش متعادل باشد، این اشکال از گسترش قابل توجهی برخوردار هستند.



شکل۷: چاله‌های باران (الف) و کارن‌های پله‌ای (ب) به وجود آمده در توده‌های آهکی (جنوب روستای آهنگران)

دره‌های خشک: در مناطق خشک و نیمه‌خشک، آبراهه‌های سطحی کم‌تراکم‌تر از مناطق مرطوب می‌باشد، امّا مسیر آنها کامل است و در اثر سینک‌هول جذب نمی‌شوند. این آبراهه‌ها در اکثر مواقع سال خشک می‌باشند و در مواقع بارندگی شدید آب‌دار می‌شوند که به آنها دره‌های خشک می‌گویند. در این مناطق در امتداد دره‌ها، آب از میان درزه‌ها نفوذ می‌کند و انحلال ایجاد می‌نماید و باعث توسعهٔ کارست از سطح زمین به سمت عمق می‌گردد (کریمی وردنجانی، ۱۳۸۹: ۴۱۴). این دره‌ها دارای رودخانه‌ها یا جریان‌های سطحی دائم یا موقت نیستند (شکل ۸). منشأ آنها مستقیماً با تکامل فرآیندهای کارست مرتبط است. همیشه آب برای عبور از بین سنگ‌های انحلال‌پذیر فرصت زیادی دارد تا مسیرهایی با کمترین مقاومت را از بین بهترین مسیرهای متعدد طی نماید. آب در مسیرهای متعددی جاری می‌شود تا آسان‌ترین مسیر را جهت رسیدن به سطح اساس فرسایش انتخاب کند. ترکیب لیتولوژیکی و فعالیت تکتونیکی نقش قابل توجهی در تشکیل دره‌های خشک دارند. در مکان‌هایی که سنگ‌های کربناته در معرض نیروی برخاست تکتونیکی هستند، دره‌های فعال می‌توانند به دره‌های خشک تبدیل شوند (Milanovic, 1981: 434).

چشمه: هر چند چشمه‌ها شامل مجموعه‌ای از مسیرهای موجود در زیر زمین هستند و نهایتاً به صورت خروجی در سطح زمین ظاهر می‌شوند، امّا به عنوان زهکش اصلی سفره‌های کارستی محسوب می‌شوند (کریمی وردنجانی، ۱۳۸۹: ۴۱۴).

www.SID.ir

Archive of SID

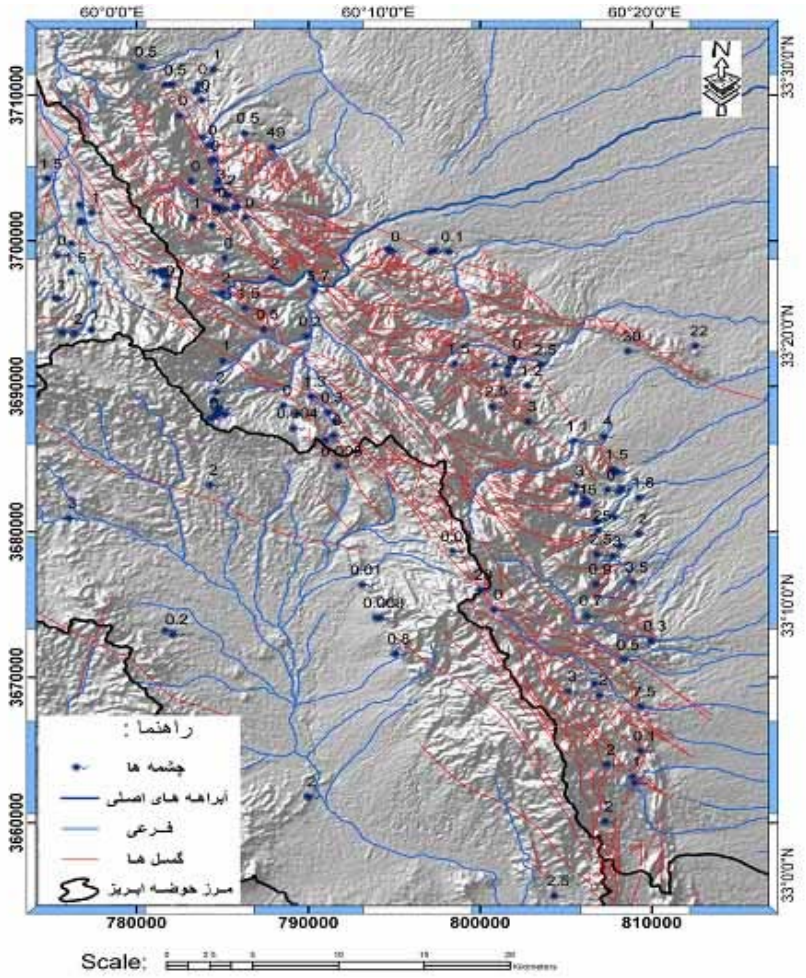
شکل ۸: نمایی از دره‌های خشک موجود در منطقه (جنوب غربی روستای دارج بالا)

یکی دیگر از پدیده‌های کارستی موجود در منطقه چشمه‌ها می‌باشند که در اثر انحلال سنگ‌های کربناته و نفوذ آب به داخل این سنگ‌ها و در نهایت با برخورد به سطح زمین ایجاد می‌گردند (شکل ۹). در محدودهٔ مورد مطالعه، چشمه‌های متعددی وجود دارد که میزان آبدهی این چشمه‌ها با روند شکستگی‌های موجود در منطقه و همچنین میزان بارندگی ارتباط مستقیم دارد. بعضی از این چشمه‌ها دارای آبدهی ناچیز و فصلی هستند و بعضی از آنها دارای آب قابل توجه و دائمی می‌باشند (شکل ۱۰). از آنجا که عوامل به وجود آورندهٔ چشمه‌ها بسیار گوناگون است، طبقه‌بندی چشمه‌ها نیز متنوع است و بر اساس ویژگی‌های مختلفی صورت می‌گیرد. بیشتر شکستگی‌های موجود در منطقهٔ مورد مطالعه که باعث به وجود آمدن چشمه‌ها شده، در ارتباط با گسل‌های اصلی منطقه مانند گسل اردکول و گسل آهنگران هستند که تراکم این شکستگی‌ها در افزایش دبی چشمه‌ها می‌تواند تأثیر داشته باشد. تراکم بالای شکستگی‌ها در قسمت شمال شرقی منطقه، باعث به وجود آمدن چشمه‌هایی با دبی آب متغیر شده است.

شکل ۹: نمونه‌ای از چشمه‌های به وجود آمده در توده‌های آهکی (غرب روستای تجنود)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰: نقشهٔ موقعیت چشمه‌های موجود در منطقه

جدول ۱- مشخصات تعدادی از چشمه‌های معروف منطقه (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی، ۱۳۹۰)

دبی ماکزیمم	نام روستا	نام چشمه	جنس سازند	جنس سنگ
۶۷	محمد آباد	محمد آباد	ماسه سنگ - آبرفت	ماسه سنگ سبز
۴۵	تجنود	رودخانه تجنود	آهک - مارن - کنگلومرا	آهک
۳۵	همت آباد خواجه	خواجه	آبرفت	آبرفت
۳۰	گزخت	خونیک	ماسه سنگ - کنگلومرا - آهک	آهک
۳۲	همت آباد	خواجه	رسوبات آبرفتی	آبرفت - ماسه بادی
۲۵	گزخت	تنگل آغش	ماسه سنگ - آهک	آهک
۲۵	تجنود	مزار	آهک - مارن - کنگلومرا	آهک
۱۸	گزخت	چاه تنگل	ماسه سنگ قرمز - کنگلومرا	آبرفت رودخانه
۱۰	گزخت	بنی	ماسه سنگ قرمز - کنگلومرا	آبرفت رودخانه
۱۵	آهنگران	آهنگران	آهک - مارن	آبرفت - شن - ماسه
۵	گزخت	بردود	آبرفت	آبرفت
۳-۱۰	دارج اولیا	دارج اولیا	آهک	آهک

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی هدایت الکتریکی (EC[4]) چشمه‌های منطقه

آب خالص کمترین هدایت الکتریکی را دارد و هر چه املاح موجود در آب افزایش یابد، میزان هدایت الکتریکی هم افزایش می‌یابد. بنابر این باید انتظار داشت که از ورودی آبخوان به سمت خروجی، میزان هدایت الکتریکی افزایش یابد. هر چه گرادیان هیدرولیکی کمتر باشد، آب فرصت بیشتری برای حل کردن کانی‌ها دارد و به این ترتیب مقدار شوری و به تبع آن هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. هدایت الکتریکی چشمه‌های منطقه در جدول ۲ نشان داده شده است. هدایت الکتریکی را با واحد زیمنس بر متر (S/m) و یا موس برسانتیمتر نشان می دهند.

جدول۲- مشخصات چشمه‌های منطقهٔ مورد مطالعه

ردیف	نام محل	UTM X	UTM Y	EC (S/m)	دما
۱	آهنگران	۷۹۰۵۱۰	۳۶۹۶۵۶۱	۱۷۰۰	۱۸
۲	محمد آباد	۷۸۸۱۱۲	۳۷۰۶۴۱۶	۷۹۱	۲۱
۳	دارج اولیا	۷۹۵۰۷۳	۳۶۹۹۲۲۹	۷۷۵	۱۷
۴	گرماب	۸۰۸۳۶۰	۳۶۷۶۵۷۰	۴۷۰	۱۸
۵	گزخت	۸۰۷۶۵۹	۳۶۸۰۴۳۳	۴۶۰	۱۶
۶	تجنود	۸۳۴۵۶۲	۳۷۰۷۸۸۸	۴۵۸	۲۲

همان‌طور که در جدول۲ مشاهده می‌شود، چشمه‌های موجود در منطقه قابلیت هدایت الکتریکی متفاوتی را نشان می‌دهند که دلیل این تفاوت می‌تواند وجود لایه‌های مختلف سنگ‌شناسی و همچنین زمین‌شناسی منطقه باشد و این تنوع باعث تغییر EC آب هنگام عبور می‌شود.

مقدار کل مواد حل شده (T.D.S.[5])

مقدار T.D.S. در آب زیرزمینی با وزن کردن مقدار مواد جامد باقی مانده از تبخیر حجم معینی نمونه که از صافی عبور داده شده است، به دست می‌آید. ساده‌ترین روش برای تقسیم بندی آب از نظر کیفی بر اساس مقدار T.D.S. انجام می گیرد. جدول ۳ تقسیم بندی انواع آب‌ها بر مبنای T.D.S. را نشان می‌دهد (صداقت، ۲۸۵:۱۳۸۷).

جدول ۳- تقسیم بندی آب‌ها بر اساس T.D.S. (صداقت، ۲۸۵:۱۳۸۷)

T.D.S. (mg/lit)	نوع آب
۰-۱۰۰۰	شیرین
۱۰۰۰-۱۰۰۰۰	لب شور
۱۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰	شور
>۱۰۰۰۰۰	نمک

میزان T.D.S. آب‌های منطقهٔ مورد مطالعه تعیین شده و این مقادیر در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴- تقسیم بندی آب‌های موجود در منطقه بر اساس T.D.S

ردیف	نام محل	EC	EC * 0.6= T.D.S
۱	آهنگران	۱۷۰۰	۱۰۲۰
۲	محمد آباد	۷۹۱	۴۷۴/۶
۳	دارج اولیا	۷۷۵	۴۶۵
۴	گرماب	۴۷۰	۲۸۲
۵	گزخت	۴۶۰	۲۷۶
۶	تجنود	۴۵۸	۲۷۴/۸

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با توجه به مقادیر جداول ۳ و ۴، میزان T.D.S. آب‌های موجود در منطقه کمتر از ۱۰۰۰ می‌باشد که بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت، آب‌های موجود در منطقه از نوع آب شیرین می‌باشند و می‌توان از این آب‌ها جهت شرب و کشاورزی استفاده نمود.

[4]- Electric Conductivity
[5]- Total Dissolved Solids

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه گیری

وجود شرایط مساعد برای کارست شدگی در منطقه (از جمله سنگ‌های آهکی و آهکی-دولومیتی، بارش نسبتاً مناسب در بخش‌هایی از حوضه، گردش آب در درز و شکاف سنگ‌ها و فرآیند انحلال) منجر به عملکرد کارست شدگی در بخش‌های زیادی از منطقه شده است. مطالعهٔ کارست از دیدگاه کاربردی دارای اهمیت فراوانی بویژه در ارتباط با منابع آب زیرزمینی است. با وجود این که منطقهٔ مورد مطالعه در شرایط اقلیمی گرم و خشک واقع شده، به دلیل یکسان نبودن میزان بارش در منطقه، پیشرفت عوارض کارستی یکسان نیست و طبیعتاً در مناطق مرتفع که شرایط بهتری نسبت به بقیه قسمت‌ها دارند، گسترش اشکال کارستی بیشتر است و این مناطق از شرایط بهتری برای توسعهٔ کارست برخوردار هستند. مهم‌ترین عاملی که در منطقه موجب پیشرفت کارست و به وجود آمدن چشمه‌ها شده، تکتونیک فعال منطقه می‌باشد.

وجود درزه‌های انحلالی و همچنین درزه‌ها و شکستگی‌های حاصل از تکتونیک در منطقه بویژه در دامنهٔ شرقی باعث گردیده که جریان آب به درون توده سنگ راه یابد و نیز باعث توسعهٔ اشکال کارستی مرتبط با شکستگی و همچنین چشمه‌های کارستی گردیده است. به دلیل نبود چشمه‌های کارستی با آبدهی زیاد می‌توان گفت که در این منطقه پیشرفت درونی کارست توسعهٔ چندانی نداشته است.

آب نیمه‌گرم برخی از چشمه‌ها معرف گسلی بودن این چشمه‌هاست. در نتیجه می‌توان گفت که در سنگ‌های آهکی کوه آهنگران تلفیقی از پدیده‌های کارستی و تکتونیکی در ایجاد چشمه‌ها مؤثر بوده است.

با توجه به میزان مواد حل شده در آب چشمه‌های منطقه می‌توان گفت که آب‌های موجود در منطقه از نوع آب شیرین می‌باشند و می‌توان از این آب‌ها برای شرب و کشاورزی استفاده نمود.

منابع و مآخذ

۱. آبشیرینی، احسان، (۱۳۸۳)، کاربرد تکنیک‌های سنجش از دور و GIS در شناخت و پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی کارست در تاقدیس پابده- لالی. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۱۸ صفحه.

۲. اشرف، طیبه، (۱۳۹۰)، بررسی تأثیر فرآیندهای کارستی بر منابع آب موجود در سنگ‌های کربناته منطقهٔ کوه‌های شتری (بشرویه و طبس)، شرق ایران، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشگاه بیرجند، ۱۹۵صفحه.

۳. پرهمت، رسول، پرهمت، جهانگیر و ناصری، حمیدرضا، (۱۳۸۹)، بررسی عوارض کارستی در منطقهٔ مرتفع سپیدار (استان کهگیلویه و بویراحمد)، مجموعه مقالات بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین، دانشگاه ارومیه، ۸ صفحه.

۴. صابری مهر، صادق، رئیسی، عزت الله و حیدری، حمیدرضا، (۱۳۸۹)، توسعهٔ کارست در تاقدیس کارستی گر با استفاده از ردیابی اورانین، مجموعه مقالات بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین، ۶ صفحه.

۵. صداقت، محمود، (۱۳۸۷)، زمین و منابع آب، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۲۸۵ صفحه.

۶. عبادیان، سیما، (۱۳۸۱)، ارزیابی عوامل مؤثر در پتانسیل آب‌های کارستی کوه‌های گر و برم فیروز در استان فارس با استفاده از اطلاعات رقومی ماهواره‌ای و روش‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، ۲۵۱صفحه.

۷. عشقی، ابوالفضل، (۱۳۸۱)، ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی مناظر کارستی در حوضهٔ آبریز کارده (شرق زون کپه داغ)، پژوهش‌های جغرافیایی، شمارهٔ ۴۸، صص ۱۵-۱.

۸. علیمردانی، صادق، (۱۳۸۰)، بررسی منابع آب در سازندهای کارستی تاقدیس کبیرکوه، مجموعه مقالات بیستمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۷صفحه.

۹. علوی نائینی، منصور، (۱۳۶۰)، نقشهٔ زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ آهنگران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

www.SID.ir

Archive of SID

۱۰. فرزانه، عباسعلی، بهینافر، ابوالفضل و قنبرزاده، هادی، (۱۳۸۶)، ویژگی‌های ژئومورفیک تودهٔ کارستی اخلمد در دامنه‌های شمالی ارتفاعات بینالود، مجلهٔ جغرافیا و توسعه، شمارهٔ ۱۴.

۱۱. کاظمی، رحیم، غیومیان، جعفر و جلالی، نادر، (۱۳۸۵)، بررسی نقش عوامل ساختاری در فراوانی منابع آب در منطقهٔ کارستی لار با استفاده از سنجش از دور و GIS، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شمارهٔ ۷۳.

۱۲. کشتکار، حمید، (۱۳۸۴)، شناسایی هیدروژئولوژی تاقدیس کارستی کوه بیرگ و نواحی مجاور با استفاده از GIS و RS، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

۱۳. کریمی وردنجانی، حسین.، (۱۳۸۹)، هیدروژئولوژی کارست (مفاهیم و روش‌ها)، انتشارات ارم شیراز.

۱۴. کلتات، دیتر، (۱۳۸۷)، جغرافیای طبیعی دریاها و سواحل، ترجمهٔ محمد رضا ثروتی، انتشارات سمت، تهران.

۱۵. شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی، (۱۳۹۰)، گزارش تمدید ممنوعیت دشت شاهرخت.

۱۶. ملکی، امجد، شوهانی، داود، و علایی طالقانی، محمود، (۱۳۸۸)، پهنه‌بندی تحول کارست در استان کرمانشاه، فصلنامهٔ مدرس علوم انسانی، دورهٔ ۱۳ شمارهٔ ۱.

۱۷. ملکی، امجد، (۱۳۸۰)، تحول اشکال کارستی و نقش آن در شناسایی منابع طبیعی با تکیه بر منابع آب زیرزمینی در ناهمواری‌های زاگرس، رسالهٔ دورهٔ دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.

18. Black, T.J., 1997, Evaporite karst of northern lower Michigan. Carbonates and Evaporites 12.
19. Bodhankar, N. and Charter, B., 1993, Pollution of limestone aquifer around Raipur, Madhya Pradesh. India, Uni. Raipur. Due to urban waste disposal.
20. Bogli, A., 1980, Karst Hydrology and Physical Speleology, Springer Verlag, Berlin.
21. Bonacci, O., Pipan, T. and Culver, D.C., 2009, A framework for karst ecohydrology. Environmental Geology 56.
22. Calaforra, J.M., Pulido- Bosch, A., 2003, Evolution of the gypsum karst of Sorbas (SE Spain). Geomorphology 50.
23. De Waele, J., Plan, L. and Audra, P., 2009, Recent developments in surface and subsurface karst geomorphology: an introduction. Geomorphology 106.
24. Ford, D., 2007, Jovan Cvijic and the founding of karst geomorphology. Environmental Geology 51.
25. Goeppert, N., 2008: Advances in colloidal and solute groundwater tracing for hygienic risk assessment. Dissertation. Univ. Karlsruhe.
26. Groves, C., Meiman, J., 2005, Weathering, geomorphic work, and karst landscape evolution in the Cave City groundwater basin, Mammoth Cave, Kentucky. Geomorphology 67.
27. Humphreys, W.F., 2006, Aquifers: the ultimate groundwater-dependent ecosystems. Australian Journal of Botany 54.
28. Johnson, S.B. and Stieglitz, R.D., 1990, Karst features of a glaciated dolomite peninsula, Door County, Wisconsin. Geomorphology 4.
29. Milanovic, P.T., 1981, Karst Hydrology, Water Resources Publications, Littleton Co.
30. Ravbar, N. and Goldscheider, N., 2007, Proposed methodology of vulnerability and contamination risk mapping for the protection of karst aquifers in Slovenia. Acta Carsologica 36.
31. Stringfield, V. T., 1966, Artesian water in tertiary limestone in the southern states. Professional Paper 517, USGS, Washington, D.C., USA.
32. White, W.B., 1988, Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains, Oxford University Press.
33. Worthington, S.R.H., 2009, Diagnostic hydrogeologic characteristics of a karst aquifer (Kentucky, USA). Journal of Hydrogeology 17.

www.SID.ir