Archive of SID

جغرافیا (فصلنامه علمی ـ پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)
دوره جدید، سال نهم، شماره ۳۱، زمستان ۱۳۹۰

بررسی رابطه ساختارهای تکتونیک و اشکال کارستی (مطالعه موردی حوضهٔ آبریز کارده)

دکتر سعداله ولایتی[۱] و فریده خانعلی‌زاده[۲]

چکیده

حوضه آبریز کارده با مساحتی معادل ۶۱۱ کیلومترمربع در شمال شرقی ایران واقع شده است. سازندهای زمین‌شناسی این منطقه، متعلق به دوران دوم زمین‌شناسی بوده و سنگ آهک‌های مزدوران بخش عمده منطقه را پوشش می‌دهد. نتایج حاصل از بررسی‌های انجام شده درباره هیدروکلیماتولوژی منطقه نشان می‌دهد که اقلیم منطقه نیمه خشک و سرد بوده و رژیم بارش آن مدیترانه‌ای است. ژئومورفولوژی آن جوان و توپوگرافی آن رابطه مستقیم با ساختارهای زمین‌شناسی دارد یعنی طاقدیس‌ها ارتفاعات و ناودیس‌ها دشت‌های میان‌کوهی را می‌سازند. لیتولوژی سازند همراه با عملکرد فرآیندهای تکتونیکی که منجر به انحلال و ایجاد درزه و شکاف در سنگ‌ها شده است، شرایط لازم را جهت تشکیل اشکال نه چندان تکامل یافته کارستی فراهم کرده است. مهمترین اشکال کارستی منطقه عبارتند از کارن، شکاف‌های انحلالی، حفرات انحلالی، غارها و گالری‌های کوچک که در امتداد درزه و شکافها و گسل‌ها گسترش یافته‌اند و بیانگر ارتباط بین این اشکال و ساختارهای تکتونیکی منطقه هستند. در این تحقیق به منظور پی‌بردن به ارتباط بین تکتونیک و کارستزایی، اقدام به اندازه‌گیری شیب و امتداد درزه‌ها و گسل‌ها در ۴ ایستگاه شده است. نتایج بدست آمده از بررسی‌های صحرایی و مقایسه آن‌ها با اطلاعات موجود در اسناد سنجش از دور نشان می‌دهد که جهت غالب درزه‌ها در منطقه با جهت گسل‌ها انطباق دارد. همچنین مشخص شده است که اشکال کارستی بیشتر در امتداد همین درزه‌ها بوجود آمده است. از طرف دیگر قسمت اعظم دره رودخانه کارده با ساختار زمین‌شناسی منطقه یعنی گسل‌ها و چین‌ها نیز همخوانی دارد. بنابراین تکتونیک نقش موثری در ایجاد اشکال کارستی منطقه مورد مطالعه داشته است.

کلیدواژگان: ژئومورفولوژی، کارست، تکتونیک، درزه، گسل، کارن،حوضه کارده.

---

۱. استاد دانشگاه فردوسی مشهد
۲. کارشناس ارشد جغرافیایی طبیعی

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

بشر سالها قبل از سروکار داشتن با واژه کارست، عملاً با کارست و پدیده‌های مرتبط با آن از طریق گسترش غارها آشنا بوده است. درزمان ماقبل تاریخ، غارها محل زندگی بشر، ذخیره آب و حفاظت در برابر مهاجمان و حیوانات درنده بود. بشر اولیه این غارها را به عنوان نواحی زندگی خود انتخاب کرد و پیش رفتن به عمق زمین، وی را به منابع آب زیرزمینی هدایت نمود. این اولین تلاش بشر برای کشف و درک کارست و استفاده از این پدیده طبیعی برای بهبود شرایط زندگی و ایمنی‌اش بود.

حدود یک چهارم از سطح زمین را سنگ‌های قابل حل و عمدتاً کربناته دربرمی‌گیرد (میلانویچ،۱۹۸۰ص: ۹) این سنگ‌ها به خاطر هوازدگی تحت شرایط آب و هوایی مختلف، اشکال کارستی و توپوگرافیک متنوعی را نشان می‌دهند. از طرف دیگر سنگ‌های کربناته منبع مناسبی برای مخازن آب، کانی و نفت و گاز هستند.

عواملی همچون پیچیدگی شکل‌گیری و تکامل اشکال کارستی، حرکت و وجود آب زیرزمینی در کارست روش‌های اکتشاف و توسعه آب در آن‌ها، عملیات سازه‌ای با ایمنی‌سازی در ساخت و سازهایی که بر روی این اشکال و سازندها بنا می‌شوند و نیز حفظ محیط زیست ضرورت کسب شناخت و تحلیل اشکال کارستی و نحوه شکل‌گیری آن‌ها را بوجود می‌آورد.

عوامل تکتونیکی یکی از مهمترین عوامل تشکیل کارست در سازندهای آهکی و تغییر آن در طول زمان است پدیده‌های ساختاری مانند گسل‌ها، درزه‌ها، چین‌خوردگی‌ها، امتداد و شیب سطوح لایه‌بندی و غیره هر یک به نوعی در فرآیند ایجاد، توسعه و تغییر کارست مؤثرند. و لذا یکی از اولین قدم‌های لازم در شناخت منابع آب کارست بررسی رابطه کارست شدگی و سیستم ساختاری در یک منطقه است. خرد شدن توده‌های سنگی در اثر نیروهای تکتونیکی عامل مهم در کارست شدگی است. (میلانوویچ، ۱۹۸۱)

منطقه مورد مطالعه قسمتی از سازندهای آهکی دوران دوم زمین‌شناسی (مزدوران) است در این حوضه علاوه بر اشکال کارستی سد کارده به عنوان یک سازه مهندسی بر روی این سازندها بنا شده است لذا بررسی و شناخت منطقه به لحاظ ساختار مورفولوژیکی و پتانسیل آبی کارست حائز اهمیت است.

www.SID.ir

Archive of SID

هدف از این تحقیق روشن ساختن این مسئله بود که آیا پدیده‌های تکتونیکی نقش زیادی در ایجاد اشکال کارستی منطقه دارد یا خیر؟ به همین دلیل اقدام به بررسی نسبتاً دقیق وضعیت تکتونیکی منطقه، بویژه درزه و شکاف و گسل‌ها شده است.

پیشینهٔ تحقیق

توجه به کارست و اشکال آن به عهد کهن برمی‌گردد، یعنی زمانی‌که انسان‌های نخستین در غارها زندگی می‌کردند. اولین تئوریهای یونان در مورد چشمه‌ها و آب‌های زیرزمینی براساس مشاهدات در سنگ‌های آهکی یونان بوده است و اولین مجامع و شهرها با شناخت کارست در این محل‌ها شکل گرفته است.

اولین مطالعات جریان آب زیرزمینی در حوضه مدیترانه مربوط به دهه اول بعد از میلاد مسیح است به این معنی که ژوزف فلاوسوس (Josephus flavors، ۳۷ قبل از میلاد) در اثرش بنام جنگ یهود به بررسی جریان آب زیرزمینی در رودخانه اردن با استفاده از ردیاب اشاره کرد (میلانوویچ، ۱۹۸۱ ص: ۸)

بیشترین جاذبه‌های کارست در منطقه حوضه مدیترانه به ویژه در کوه‌های دیناریک است در مورد منطقه دیناریک تحقیقاتی توسط فورد (ford)، ویلیامز (Williams) و میلانوویچ (Millanovic) انجام گرفته است. اهمیت ویژه در گسترش اندیشه‌های علمی کارست مدیون سه دانشمند گروند (Grund)، کاتزر (Katzer) و بالیف (Ballif) و ژئومورفولوژیست معروف یوگسلاوی سویجبیک (Cvijic) است. (میلانوویچ، ۱۹۸۱ ص: ۹)

اولین مطالعات کارست در ایران از سال ۱۳۵۰ در حوضه‌های کارستی زاگرس آغاز شده است اما مطالعات جامع از سال ۱۳۶۹ با تأسیس مرکز مطالعات و پژوهش‌های کارست در شیراز آغاز گردید این مرکز ابتدا مطالعات خود را در حوضه کارست مهارلو به مساحت ۴۲۰۰ کیلومتر مربع شروع کرد و سپس مطالعات خود را در سایر حوضه‌های کارستی گسترش داد. (افراسیابیان، ۱۳۷۷ ص: ۱۲۶) از طرف دیگر مطالعاتی در این زمینه توسط افرادی چون احمدی‌پور در حوضه الشتر، رئیسی و کرمی در چشمه‌های کارستی کوه‌های گر، برم فیروز و

www.SID.ir

Archive of SID

مور در غرب شیراز، رضایی و زمانی در شمال اردکان فارس، ایجل در استان چهارمحال و بختیاری و سایرین انجام گرفته است.

روش تحقیق

برای انجام تحقیق از دو روش توصیفی ـ تحلیلی و استقرایی استفاده شده است. ابتدا اشکال کارستی منطقه تحت مطالعه مورد بررسی و شناسایی قرار گرفته، آن‌گاه نحوه تشکیل آن‌ها در ارتباط با تکتونیک منطقه و ایجاد پتانسیل‌های آبی مدنظر قرار گرفته است با توجه به این‌که در این تحقیق ویژگی‌های سیماهای کارستی به طور جزئی بررسی شده است لذا روش تحقیق به کار رفته در این بخش استقرایی است.

روش جمع‌آوری اطلاعات به دو روش اسنادی و صحرایی است در روش اسنادی از آمارنامه‌های مورد نیاز در زمینه اقلیم، هیدرولوژی استفاده شده است و در روش صحرایی توسط کمپاس اقدام به اندازه‌گیری شیب وامتداددرزه‌ها و گسل‌ها در ۴ ایستگاه مطالعاتی شده و با استفاده از نرم‌افزار tectonies FP دیاگرام گل سرخی امتداد درزه‌ها و گسل‌ها رسم شده و با اطلاعات موجود در اسناد سنجش از دور (تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی) مورد ارزیابی قرار گرفته است.

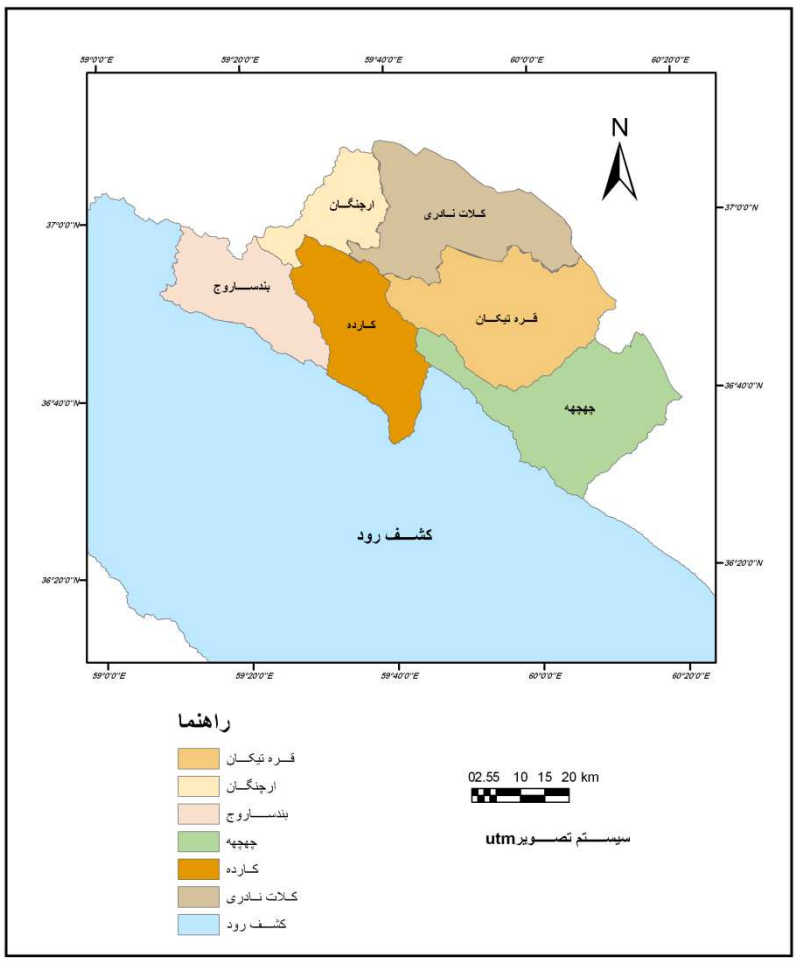
موقعیت جغرافیایی

حوضه آبریز کارده در شمال شهر مشهد به فاصله ۴۵ کیلومتری آن در دامنه‌های رشته کوه‌های هزارمسجد ـ کپه‌داغ واقع است. از نظر موقعیت ریاضی این منطقه بین ´۵۸ ـ °۳۶ تا ´۳۸ ـ °۳۶ عرض شمالی و ´۴۵ °۵۹ تا ´۲۸ ـ °۵۹ طول شرقی واقع شده این حوضه بخشی از حوضه آبریز کشف‌رود بوده که از شمال و غرب به حوضه‌های آبریز ارچنگان، کلات، قره‌تیکان، چهچه و از سمت جنوب شرق به حوضه آبریزکشف رودوبند ساروج منتهی می‌شود. رودخانه کارده از به هم پیوستن دوشاخه فرعی آل و کوشک‌آباد که از ارتفاعات کوه تنگه، صندوق‌شکن و خواجه سرچشمه می‌گیرد و پس از عبور از حواشی اندرخ به شهر مشهد

www.SID.ir

Archive of SID

می‌رسد. بلندترین و پست‌ترین ارتفاع حوضه به ترتیب۲۹۳۶ و ۱۱۸۲ متر است و میزان ارتفاع متوسط حوضه ۱۹۵۵ متر است.



نقشه۱ : موقعیت نسبی حوضه آبریزکارده دراستان خراسان رضوی

آب و هوا و اقلیم

منطقه مورد مطالعه براساس اقلیم‌نمای آمبرژه جزء مناطق نیمه خشک و سرد است. دمای متوسط حوضه با توجه به داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه حدود ۱۲ درجه

www.SID.ir

Archive of SID

سانتی‌گراد و گرادیان درجه حرارت در این منطقه به ازای هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع کاهش ۶/۰۲ درجه سانتیگراد دما و متوسط تعداد روزهای یخبندان ۱۰۸ روز در سال است.

رژیم بارش در منطقه مدیترانه است یعنی فصل خشک منطبق بر تابستان و فصل بارندگی منطبق بر زمستان است متوسط بارش حدود ۳۵۰ میلی‌متر در سال است. پرباران‌ترین ماهها فروردین، اردیبهشت، اسفند و کم باران‌ترین ماهها، تیر، مرداد و شهریور است. (طوس‌آب، ۱۳۸۷) مجموع شرایط اقلیمی فوق‌الذکر منطقه مورد مطالعه را به لحاظ هوازدگی‌های فیزیکی فعال می‌نماید به طوری‌که می‌تواند پدیده کرایوکلاستی و ترموکلاستی را تشدید کرده و منجر به تشکیل شکستگی و درز و شکاف در سازندهای آهکی شود.

زمین‌شناسی و تکتونیک

این پهنه رسوبی جزئی از بلندی‌های کپه‌داغ ـ هزارمسجد در شمال شرق ایران است. از دیدگاه ژئومورفولوژی این منطقه، کوهستانی، جوان و توپوگرافی آن رابطه مستقیم با ساختارهای زمین‌شناسی دارد یعنی طاقدیس‌ها ارتفاعات و ناودیس‌ها دشت‌های میان‌کوهی را می‌سازند. علاوه بر عوامل تکتونیکی لیتولوژی و شرایط آب و هوایی نقش اساسی در توپوگرافی منطقه ایفا می‌کنند اما در کل مورفولوژی آن توسط سنگ‌های کربناته سازند مزدوران کنترل می‌شود.

چینه‌شناسی منطقه شامل سازند کشف‌رود، چمن بید، مزدوران، شوریجه، نئوژن و رسوبات آبرفتی کواترنری است اما قسمت عمده حوضه توسط سنگهای کربناته مزدوران اشغال شده است به‌طوری‌که مساحت این سازند در منطقه بیش از ۵۰ درصد است.

چین‌ها در این حوضه کشیده با شیب ملایم بوده محور چین‌ها اکثراً شرقی ـ غربی یا شمال غرب ـ جنوب شرق است، گسل‌های بسیاری از نوع نرمال و معکوس سبب ایجاد هورست (برآمدگی) و گرابن‌های (فرورفتگی‌های) متعدد گشته و موجب به هم‌ریختگی در نظم و توالی رسوبی شده است. این بهم‌ریختگی را به وفور می‌توان در منطقه مشاهده کرد. این شکستگی‌ها و گسل‌ها به حدی است که رودخانه‌ها و آبراهه‌های فصلی منطقه توسط این ساختمان‌ها کنترل می‌شوند. گسترش زون‌های برشی خرد شده در امتداد شکستگی‌های اصلی که دارای روند شمال غرب ـ جنوب شرق و یا شمال شرق ـ جنوب غرب هستند حاکی از

www.SID.ir

Archive of SID

فعالیت تکتونیکی شدید در منطقه است. شدت چین خوردگی‌ها و تراکم شکستگی‌ها در بخش جنوبی و غربی منطقه بیشتر است. (سازآب شرق،۱۳۷۴)

گسل کارده مهمترین گسل حوضه محسوب می‌شود که یک گسل رورانده با روند شمال غرب ـ جنوب شرق است. علاوه بر این گسل‌های دیگری به صورت طولی و عرضی در منطقه به فراوانی دیده می‌شوند.

گسل‌های طولی از امتداد محور طاقدیس‌ها تبعیت نموده و گسل‌های عرضی عمود یا با زاویه‌ای محور طاقدیس‌ها را قطع می‌کند. به دلیل همین گسل‌خوردگی‌ها مجموعه سازند مزدوران به شدت خرد شده و شکاف‌های متعددی در جهات مختلف در این سازندها ایجاد شده است. (کوهدرزی:به نقل ازگزارش سازمان زمین شناسی) همین شکستگی‌ها و گسل‌ها و لیتولوژی موجود در منطقه شرایط لازم را جهت تشکیل اشکال کارستی در منطقه فراهم کرده است.

عوامل مؤثر در ایجاد پدیده کارست

۱. حل‌پذیری و خلوص سازندهای تحت فرآیند کارستی؛
۲. تکتونیک برای ایجاد درزه و شکاف و گسل؛
۳. وجود منافذ که به آب امکان می‌دهد تا در سازند نفوذ نماید؛
۴. پدیده اقلیمی وشرایط آب وهوایی.

انحلال تدریجی سنگ آهک یک فرآیند کاملاً ساده‌ای است که طی آن دوکانی کلیست و دولومیت در آب اسیدی حل می‌شوند. اگرچه اسیدهای آلی و معدنی ممکن است در این واقعه بسیار اهمیت داشته باشند، ولی غالباً تحت‌تأثیر شرایط یکسان انحلال سنگ آهک توسط اسیدکربنیک محلول در آب استیلا می‌یابد.

در فرآیند انحلال سنگ‌های آهکی یک سری فعل و انفعالات وجود دارد.

معادله انحلال کلسیت به صورت زیر می‌باشد:

$$CaCo_3 + H_2Co_3 \leftrightarrow Ca_2 + 2HCO_3^-$$

www.SID.ir

Archive of SID

در مورد دولومیت وجود یون Mg^{+2} فرآیند انحلال را پیچیده می‌کند که شکل کلی آن به صورت زیر می‌باشد. (غارشناسی،۱۳۸۷ :ص : ۱۱۱-۱۱۰)

$$CaMg(CO_3)_2 + 2H_2CO_3 \leftrightarrow Ca^{2+} + Mg^{+2} + 4HCO_3^-$$

بررسی‌های هواشناسی هر پهنه کارستی مورد مطالعه به ویژه کسب اطلاع از میزان نزولات جوی، رژیم بارندگی، نوع بارش، توزیع زمانی ومکانی آن، شدت و مدت بارندگی حائز اهمیت است. (ولایتی ، ۱۳۸۷ص: ۲۶۶)

بنابراین فرایند کارستی شدن نتیجه نفوذ آب به داخل توده‌های سنگ تراوا و قابل حل است. علاوه بر انحلال‌پذیری، قابلیت تراوایی نیز یک عامل مهم به شمار می‌آید. عامل اساسی قابلیت تراوایی سنگ‌های کربناته درز و شکاف دار بودن آنهاست که حاصل عملکرد تکتونیک است.

اشکال کارستی منطقه

اشکال کارستی در منطقه به دو دسته سطحی و عمقی تقسیم می‌شود. بررسی و مشاهدات صحرایی نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه همه اشکال کارست سطحی یا وجود ندارند، یا در مناطق صعب‌العبور واقع بوده و قابل مشاهده نیستند از جمله اشکال سطحی که طی این مطالعه بررسی شده‌اند عبارتند از کارن، دره کانیونی، شکاف‌های انحلالی و حفرات انحلالی واز اشکال کارست عمقی موجود در منطقه می‌توان به چشمه‌های کارستی و غارها اشاره کرد. پراکندگی و گستردگی اشکال کارستی در تمام منطقه یکسان نیست که این موضوع نشان‌دهنده نابرابر بودن پدیده‌های تکتونیکی و درجه خلوص سنگ آهک در منطقه است.

تصویر۱: حفره‌های انحلالی در منطقه کارده

تصویر۲: پدیده کارن در سازند مزدوران (بین کارده و آل)

www.SID.ir

Archive of SID

حفره‌های انحلالی در منطقه بارزتر و فراوان‌تر بوده و دارای اشکال و ابعاد متفاوت و پراکنش ناموزون هستند وابستگی حفره‌های انحلالی به پدیده‌های تکتونیکی به ویژه درزه‌ها و گسل‌ها زیاد بوده به طوری‌که هر حفره در راستای یک درزه یا ترک یا درزه‌های بین سطوح لایه‌بندی بوجود آمده است.

چشمه‌های کارستی مهمترین پدیده عمقی در منطقه است. این چشمه‌ها به صورت دائمی و فصلی بوده و به سه دسته قابل تقسیم‌اند کنتاکتی، کارستی و زهکشی واریزه‌ای. اغلب این چشمه‌ها در محل امتداد گسل‌ها تجمع دارند. بررسی کیفیت آب چشمه‌ها نشان می‌دهد که دارای PH بالاتر از ۷ هستند که دلیل بر جاری بودن آنها در سازندهای آهکی است.

ارتباط بین تکتونیک و اشکال کارستی

شکل‌گیری اشکال کارستی ناشی از انحلال سنگ قابل حل و زهکشی مستمر آب از محل ورود به خروج است. به عبارت دیگر وجود فضاهای خالی چه تکتونیکی و چه غیرتکتونیکی (مانند آهک‌های متخلخل) شرط اولیه نفوذ و انتقال آب از سازند است. در صورتی‌که سنگ آهک یک منطقه شکننده و خالص باشد عامل تکتونیک بیشتر از سایر عوامل می‌تواند در ایجاد اشکال کارستی نقش داشته باشد.

نقش تکتونیک در منطقه مورد مطالعه از دو جهت قابل بررسی است.

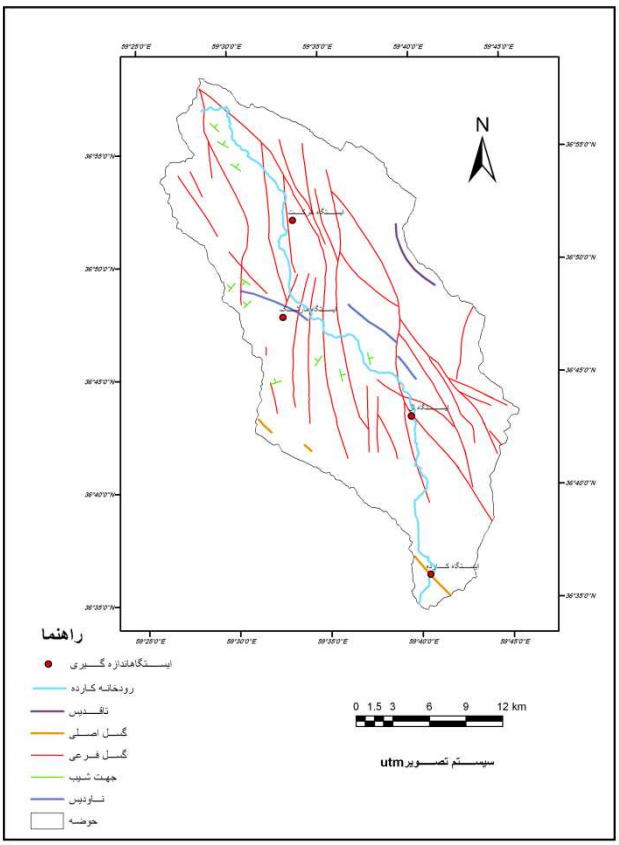
۱. تکتونیک و ژئومورفولوژی مسیر رودخانه کارده

۲. تکتونیک و اشکال کارستی منطقه

به منظور بررسی ارتباط تکتونیک با دو موضوع مطرح شده ۴ ایستگاه مطالعاتی در امتداد رودخانه کارده برای اندازه‌گیری امتداد و شیب گسل‌ها و درزه‌ها انتخاب شد. محل ایستگاه‌ها با توجه به تغییر جهت در مسیر رودخانه کارده است رودخانه کارده در طول مسیر خود در ۴ نقطه تغییر جهت داده است.

www.SID.ir

Archive of SID



نقشه۲ : موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری

در مطالعات صحرایی امتداد و شیب درزه‌ها و گسل‌های موجود در ایستگاه‌های موردنظر اندازه‌گیری شده و با استفاده از نرم‌افزار tectonics FP دیاگرام گل سرخی آن‌ها رسم گردید.

در حوضه مورد مطالعه درزه ها به انواع سیستماتیک و غیرسیستماتیک تقسیم می‌شوند که اندازه‌گیری‌ها بیشتر بر روی درزه‌های سیستماتیک انجام گرفته است.

اندازه‌گیری در ۴ ایستگاه مطالعاتی نشان می‌دهد که ۳ دسته درز اصلی در منطقه وجود دارد که امتداد آن به صورت N10W ، N30W ، N15E است که با راستای گسل‌های منطقه انطباق دارد. این درزه‌ها کششی بوده و نقش اصلی را در ایجاد اشکال کارستی به عهده دارند.

www.SID.ir

Archive of SID

شیب اکثر درزه‌ها زیاد است که نشانگر اهمیت درزه‌های قائم در ایجاد حفرات انحلالی است این درزه‌ها به راحتی آب‌های سطحی را در زمین فرو برده و به غارها و کانال‌های زیرزمینی انتقال می‌دهند. اغلب درزه‌ها در اثر انحلال به کارن‌های درزه‌ای تبدیل می‌شوند که در منطقه موردمطالعه به فراوانی یافت می‌شوند. این درزه‌ها به دلیل این‌که در مسیر حرکت آب به داخل سنگهای کربناته است دارای اهمیت‌اند.

گسترش حفره‌های انحلالی با ابعاد بزرگ‌تر در امتداد درزه‌های بین لایه‌ای بیشتر از گسترش آن‌ها در امتداد درزه‌های تکتونیکی است. شاید یکی از دلایل چنین امری شیب کم لایه‌های آهکی نسبت به شیب درزه‌ها در منطقه است که از سرعت جریان آب کم کرده و زمان لازم را جهت انحلال آهک فراهم می‌کند.

ایستگاه اول در نزدیکی روستای "خرکت" با موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۲ دقیقه و ۲۴ ثانیه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۳۳ دقیقه و۲۶ ثانیه طول شرقی است. این نقطه به ارتفاع ۲۱۰۹ متر از سطح دریا قرار گرفته و موقعیت لایه‌ها در منطقه N ۱۰، ۸ SE است.

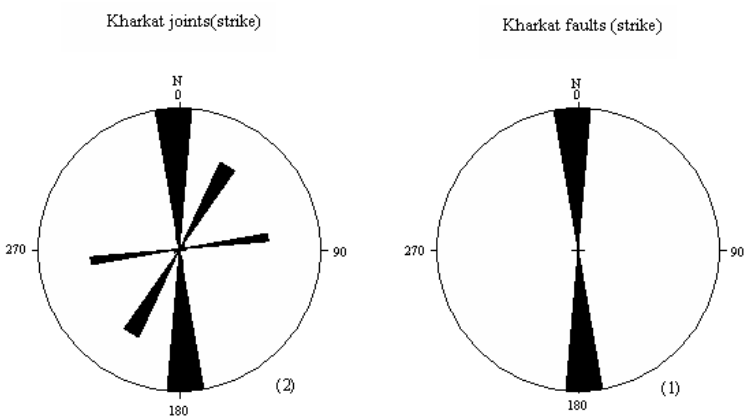
در این ایستگاه تعداد ۱۰۱ اندازه‌گیری شیب و امتداد درزه انجام گرفت. همچنین شیب و امتداد یک گسل که در منطقه قابل رؤیت بود اندازه‌گیری شد و دیاگرام گل سرخی امتداد درزه‌ها و گسل رسم شده است. (نمودارالف) سه دسته درزه در این ایستگاه قابل تشخیص است که امتداد غالب درزه ها در این منطقه N10W است. این امتداد با امتداد گسل موجود در منطقه مطابقت دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱: متداد و شیب درزه‌ها در ایستگاه اول (خرکت)

206,64 NW	207,64 NW	169,61 SW	176,63 SW	179,62 SW	211,62 NW	170,64 SW	۷
205,65 NW	205,63 NW	174,63 SW	175,61 SW	181,61 NW	212,64 NW	169,61 SW	178,62 SW
212,61 NW	205,61 NW	173,59 SW	176,64 SW	180,61 W	210,60 NW	170,63 SW	180,63 W
214,64 NW	209,63 NW	172,62 SW	179,61 SW	182,63 NW	235,59 NW	181,62 NW	183,63 NW
213,60 NW	207,61 NW	174,61 SW	179,61 SW	180,60 W	212,65 NW	179,60 SW	184,63 NW
209,64 NW	180,64 W	180,63 W	180,63 W	182,63 NW	80,71 SE	178,65 SW	181,60 NW
210,61 NW	179,61 SW	173,60 SW	181,61 NW	180,60 W	82,72 SE	176,63 SW	178,59 NW
212,65 NW	178,64 SW	172,64 SW	177,61 SW	179,61 SW	81,70 SE	180,63 W	170,64 SW
207.64 NW	179,60 SW	176,59 SW	180,62 SW	180,60 W	82,74 SE	83,72 SE	80,72 SE
206,60 NW	180,63 W	172,64 SW	177,60 SW	212,60 NW	81,72 SE	81,72 SE	81,70 SE
205,64 NW	170,64 SW	171,63 SW	176,62 SW	212,62 NW	80,70 SE	80,70 SE	
207,63 NW	171,60 SW	170,60 SW	174,64 SW	210,60 NW	85,73 SE	187,62 SW	
207,60 NW	174,64 SW	177,60 SW	174,64 SW	212,64 NW	89,72 SE	80,71 SE	



نمودار (الف) دیاگرام گل سرخی جهت گسل‌ها (۱) و جهت درزه ها (۲) برای ایستگاه

ارزیابی و مقایسه اطلاعات به دست آمده از برداشت‌های صحرایی در ایستگاه اول با نقشه تکتونیک و زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد که امتداد دو گسل طولی منطبق با امتداد و شیب درزه‌های غالب در ایستگاه اول است. شبکه آبراهه اصلی نیز با توجه به نقشه موقعیت ایستگاه‌ها در امتداد گسل‌های طولی یعنی شمال غرب- جنوب شرق است. (نمودارالف)

ایستگاه دوم در حوالی روستای "مارشک" در سنگ آهک‌های مزدوران منطقه با موقعیت جغرافیایی۳۶ درجه و ۴۷ دقیقه و ۴۳ ثانیه عرض شمالی و ۵۹ درجه و۳۲ دقیقه و۴۶ ثانیه طول شرقی است. این نقطه به ارتفاع ۱۸۵۳ متر از سطح دریا واقع شده است. شیب وامتداد لایه ها N ۱۲،۳۵۰ NW است.

www.SID.ir

Archive of SID

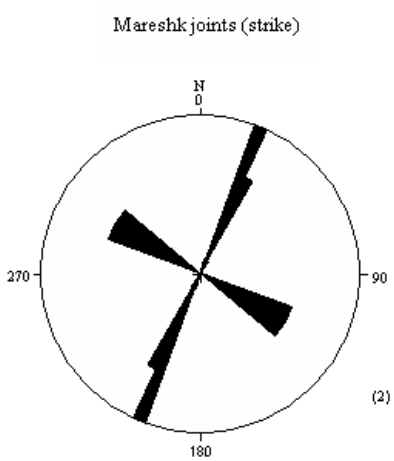
در این ایستگاه تعداد ۹۲ اندازه‌گیری شیب وامتداد درزه انجام گرفت. (جدول ۲) دو گسل در اطراف این ایستگاه تشخیص داده شد که شیب وامتداد آنها اندازه‌گیری شد تا ارتباط بین تکتونیک و ژئومورفولوژی منطقه مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد.

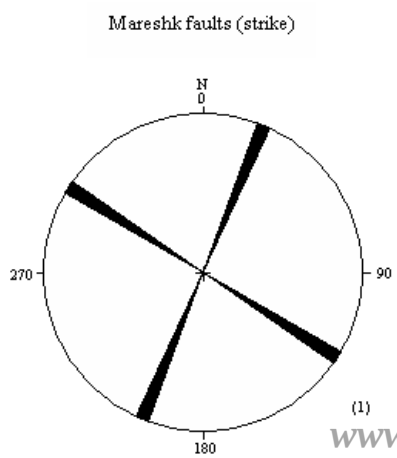
با توجه به دیاگرام گل سرخی رسم شده (نمودار ب) سه دسته درزه در این ایستگاه وجود دارد. دو سری از درزه‌ها با امتداد یکی از گسل‌ها مطابقت دارد و دسته‌ای دیگر از درزه‌ها با امتداد گسل دوم تطابق نشان می‌دهد. بررسی مسیر اصلی آبراهه با ساختمان زمین‌شناسی منطقه، حاکی از جریان یافتن رودخانه در امتداد محور ناودیس و یکی از گسل‌ها که طولی است.

شیب گسل‌ها و درزها در ایستگاه دوم تقریباً ۸۰ الی ۹۰ درجه به سمت شمال شرق و جنوب شرق است. اشکال کارستی تشکیل شده در منطقه شامل حفره‌های انحلالی در آهک‌های توده‌ای مزدوران است که در امتداد همین درزه ها بوجود آمده است. (نمودار ب)

جدول۲: امتداد و شیب درزه‌ها در ایستگاه دوم (مارشک)

116,71 NE	120,71 NE	112,72 NE	110,72 NE	19,73 SE	117,68 NE	21,72 SE	۷
122,71 NE	117,69 NE	111,71 NE	112,71 NE	22,71 SE	118,71 NE	22,73 SE	110,71 NE
119,73 NE	29,69 NE	111,67 NE	22,74 SE	115,62 NE	124,69 NE	25,71 SE	23,70 SE
113,69 NE	29,68 SE	110.61 NE	24,73 SE	117,72 NE	115,72 NE	22,74 SE	25,71 SE
118,71 NE	25,69 SE	127,70 NE	2,72 SE	117,72 NE	113,68 NE	22,74 SE	111.63 NE
119,71 NE	27,70 SE	127,70 NE	20,68 SE	125,70 NE	21,67 SE	21,73 SE	119,70 NE
121,69 NE	30,73 SE	10,71 NE	30,75 SE	119,72 NE	22,69 SE	24,63 SE	23,74 SE
121,69 NE	26.71 SE	108,75 NE	25,75 SE	116,72 NE	125,72 NE	25,71 SE	125,71 NE
121,69 NE	27,72 SE	125,73 NE	22,74 SE	126,71 NE	112,73 NE	23,70 SE	20,74 SE
121,69 NE	27,74 SE	123,73 NE	20,70 SE	125,70 NE	128,72 NE	122,72 NE	
121,69 NE	21,75 SE	128,70 NE	280,71 SE	124,71 NE	130,73 NE		
121,69 NE	19,75 SE	125,72 NE	23,74 SE	122,69 NE	125,64 NE		





www.SID.ir

Archive of SID

نمودار (ب) دیاگرام گل سرخی جهت گسل ها (۱) و جهت درزه ها (۲) برای ایستگاه

محل ایستگاه سوم بین روستای"آل" و "پنج‌منه" دقیقاً در مسیر آبراهه اصلی رودخانه کارده انتخاب شده است. موقعیت جغرافیایی آن ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه و ۱۲ ثانیه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۳۹ دقیقه و ۴۱ ثانیه طول شرقی است. ارتفاع محل این ایستگاه ۱۴۳۳ متر از سطح دریا و موقعیت لایه‌های منطقه ۱۲NE و ۳۵۰ N است. (نقشه موقعیت ایستگاه‌ها)

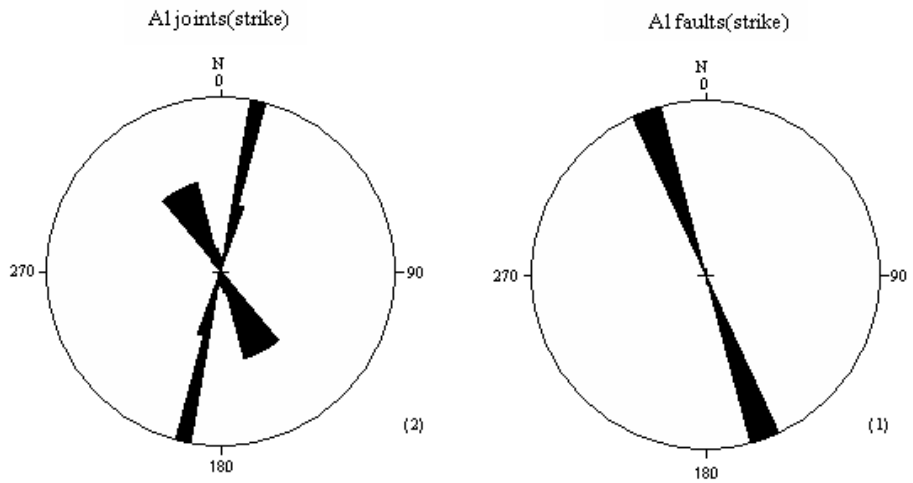
جدول۳: امتداد و شیب درزه‌ها در ایستگاه سوم (آل)

151,70NW	164,63 SW	195,72 NW	195,72 NW	195,73 NW	170,71 SW	141,54 SW	160,53 SW
150,72NW	165,61 SW	192,70 NW	194,74 NW	192,75 NW	170,68 SW	139,52 SW	145,47 SW
150,60 SW	159,63 SW	190,68 NW	190, 71 NW	192,75 NW	159,55 SW	139,52 SW	145,47 SW
154,63 SW	153,60 SW	190,70 NW	195,72 NW	190,78 NW	165,62 SW	144,55 SW	140,55 SW
155,61 SW	148,61 SW	197,74 NW	194,70 NW	190,78 NW	160,62 SW	160,50 SW	150,61 SW
150,64 SW	143,59 SW	190,72 NW	196,67 NW	195,80 NW	157,52 SW	160,50 SW	148,58 SW
152,59 SW	140,63 SW	200,72 NW	190,72 NW	187,80 NW	159,49 SW	143,52 SW	147,55 SW
147,61 SW	160,59 SW	168,67 S	191,73 NW	187,80 NW	159,49 SW	143,52 SW	140,55 SW
148,64 SW	154,62 SW	170,68 SW	195,72 NW	192,79 NW	160,52 SW	157,50 SW	152,61 SW
147,61 SW	150,57 SW	150,60 SW	196,70 NW	192,7 NW	160,52 SW	157,50 SW	140,57 SW
150,60 SW	145,60 SW	150,60 SW	196,70 NW	192N	141,54 SW	157,50 SW	147,60 SW
159,62 SW	140,55 SW	168,67 SW	192,74 NW	190,80 NW	141,54 SW	157,50 SW	145,56 SW
161,60 SW	191,69 NW	145,56 SW	191,74 NW	152,61 SW	141,54 SW	160,53 SW	

www.SID.ir

Archive of SID

در این ایستگاه تعداد ۱۰۴اندازه‌گیری درزه انجام گرفت. همچنین شیب و امتداد یک گسل در نزدیکی ایستگاه اندازه‌گیری شد. با رسم دیاگرام گل سرخی امتداد درزه‌ها و گسل‌ها مشخص شدکه امتداد درزه‌های غالب با امتداد گسل اندازه‌گیری شده مطابقت دارد. شیب درزه‌ها نیز به سمت جنوب غرب است. با توجه به بررسی‌های انجام شده در منطقه حفره‌های انحلالی در منطقه مورد مطالعه در امتداد همین درزه‌ها و درزه های میان لایه‌ای است.(نمودارج)



نمودار (ج) دیاگرام گل سرخی جهت گسل‌ها (۱) و جهت درزه ها (۲) برای ایستگاه

ایستگاه چهارم پایین‌تر از "سد کارده" در مسیر آبراهه اصلی (دره کانیونی کارده) قرار دارد. موقعیت این ایستگاه ۳۶ درجه و ۳۶ دقیقه و ۱۰ ثانیه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۴۰ دقیقه و ۳۱ ثانیه طول شرقی است. ارتفاع آن ۱۱۹۹ متر از سطح دریا است. موقعیت لایه‌ها در محل ایستگاه N ۱۰،۳۵۰NE. (نقشه۱: موقعیت ایستگاه‌ها)

در این ایستگاه تعداد ۸۶ اندازه‌گیری شیب وانمتداد درزه انجام گرفته است در بخش شمالی این منطقه دو گسل مشاهده می‌شود شیب و امتداد این گسل‌ها نیز جهت بررسی اندازه‌گیری شده و دیاگرام گل سرخی آنها ترسیم کرده است که در نمودار (د) نشان داده شده، چنانچه ملاحظه می‌کنیم امتداد گسل‌ها با امتداد یک سری از درزه‌های غالب (N10W) مطابقت نشان می‌دهد. مسیر آبراهه اصلی با امتداد گسل‌های طولی اندازه‌گیری شده در منطقه یکی است، توجه به مسیر آبراهه که در این منطقه مسیری تقریباً مستقیم دارد، می‌تواند این گفته را تأئید

www.SID.ir

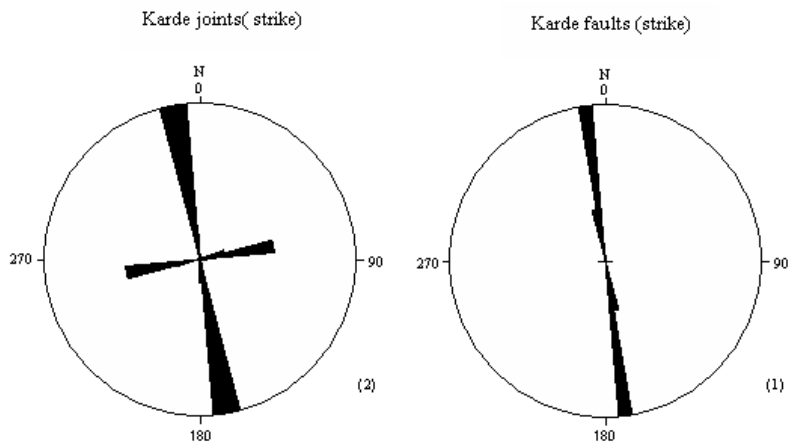
Archive of SID

کند. شیب درزه زیاد نبوده و رودخانه در امتداد یک کانیون جریان دارد.

جهت شیب درزه‌ها اکثراً به سمت جنوب غرب و شمال غرب و جهت شیب گسل‌ها به سمت جنوب غرب است. وجود درزه و شکاف‌های متعدد در دو طرف دره کارده سبب ایجاد تخلخل ثانویه در سنگ‌های اطراف دره شده و نفوذپذیری سنگ‌ها را افزایش داده است. به همین دلیل اشکال کارستی در این منطقه نسبت به سایر مناطق حوضه گسترش زیادی دارد.

جدول۴: امتداد و شیب لایه‌ها در ایستگاه۴ (رودخانه کارده)

173,72 SW	167,64 SW	159,70 SW	170,69 SW	17,68 SW	17,68 SW	170,71 SW	83,61 NW
175, 72 SW	168,61 SW	168,72 SW	175,71 SW	167,61 SW	167,61 SW	80,62 NW	81,62 NW
169,60 SW	168,62 SW	75,60 NW	75,64 NW	73,64 NW	73,64 NW	170,70 SW	75, 64 NW
168,62 SW	168,66 SW	82,63 NW	76,64 NW	75,64 NW	75,64 NW	174,69 SW	77,60 NW
167,62 SW	169,64 SW	82NW	75,61 NW	74,65 NW	74,65 NW	184,61 NW	74,63 NW
167,62 SW	165,61 SW	80,62 NW	172,67 SW	73,65 NW	73,65 NW	78,63 NW	
168,64 SW	169, 60 SW	83,63 NW	170,71 SW	170,69 SW	170,69 SW	80,63 NW	
168,61 SW	174, 71 SW	79,63 NW	169,70 SW	80,63 NW	80,63 NW	75,64 NW	
168,63 SW	175, 73 SW	169,69 SW	170,72 SW	171,74 SW	171,74 SW	174,69 SW	
167,60 SW	179,69 SW	165,74 SW	81,64 NW	170,74 SW	170,74 SW	160,73 SW	
167,64 SW	82, 64 NW	171,72 SW	170,72 SW	171,74 SW	171,74 SW	80,61 NW	



نمودار (د) دیاگرام گل‌سرخی جهت گسل‌ها (۱) و جهت درزه ها (۲) برای ایستگاه چهارم

در یک ارزیابی و نتیجه‌گیری کلی از بررسی‌های انجام شده می‌توان گفت که رابطهٔ بین پدیده‌های تکتونیکی و اشکال کارستی در منطقه بسیار زیاد است، به صورتی که بیشتر حفرات

www.SID.ir

Archive of SID

انحلالی (تافونی)، شکاف‌های کوچک و بزرگ، درهٔ کانیونی و غار، به ویژه غار حاشیه رودخانه کارده، در اثر پدیدهٔ تکتونیکی بوجود آمدند. (نمودار د)

شیب اکثر درزه‌ها زیاد است که نشانگر اهمیت درزه‌های قائم در ایجاد حفره‌های انحلالی است این درزه‌ها به راحتی آب‌های سطحی را در زمین فرو برده و به غارها و کانال‌های زیرزمینی انتقال می‌دهند. این درزه‌ها در اثر انحلال به کارن‌های درزه‌ای تبدیل می‌شوند که در منطقه مورد مطالعه به فراوانی یافت می‌شوند. این درزه‌ها به دلیل این‌که در مسیر حرکت آب به داخل سنگهای‌کربناته است دارای اهمیت‌اند.

گسترش حفرات انحلالی با ابعاد بزرگ‌تر در امتداد درزه‌های بین لایه‌ای بیشتر از گسترش آن‌ها در امتداد درزه‌های تکتونیکی است. شاید یکی از دلایل چنین امری، شیب کم لایه‌های آهکی نسبت به شیب درزه‌ها در منطقه باشد که از سرعت جریان آب کم کرده و زمان لازم را جهت فراهم می‌کند. ابعاد این حفرات بسیار متنوع هستند. اندازه‌گیری‌های به عمل آمده بر روی تعدادی از حفره‌ها نشان می‌دهد که طول آنها از ۱۰ سانتی‌متر تا ۲ متر و عرض آنها از حدود ۵ سانتی‌متر تا ۱/۵متر متغیر است.

مسیر آبراهه اصلی رودخانه کارده در سه منطقه از طول آبراهه با امتداد گسل‌ها و درزه‌ها هم راستاست، در حالی که در طول مسیر سوم، یعنی حدفاصل روستای مارشک تا آل مسیر آبراهه از محور ناودیس موجود در منطقه تبعیت می‌کند.

تصویر۳: دهانه غار در ایستگاه چهارم حاشیه رودخانه کارده

تصویر۴: ارتباط درزه‌ها با حفرات انحلالی

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

عوامل متعددی در شکل‌گیری اشکال کارستی نقش دارند که عبارتند از لیتولوژی، ساختارهای تکتونیکی، آب و هوا، وجود آب و منافذ در سنگ‌ها.

عامل اساسی در قابلیت تراوایی سنگ‌های کربناته درز و شکاف‌دار بودن آنهاست. بنابراین هدف از این تحقیق بررسی رابطهٔ بین تکتونیک و اشکال کارستی منطقه بوده است. در این رابطه، ساختار تکتونیکی منطقه، یعنی درزه و گسل‌ها تحت مطالعه قرار گرفته است.

بررسی‌های صورت گرفته در ۴ ایستگاه انتخاب شده در سطح حوضه آبریز کارده و اندازه‌گیری امتداد و شیب پدیده‌های ساختاری منطقه، یعنی گسل‌ها، درزه‌ها و لایه‌های رسوبی نشان می‌دهد، که امتداد غالب درزه‌ها با امتداد گسل‌های مهم منطقه که بیشتر از نوع امتدادی است انطباق دارد. از طرف دیگر، دره رودخانه کارده در طول مسیر خود در ۴ نقطه تغییر مسیر می‌دهد.

با بررسی‌های انجام شده می‌توان گفت که امتداد در سه نقطه از مسیر رودخانه با امتداد گسل‌های طولی یکی بوده و فقط در یک نقطه از مسیر یعنی از روستای مارشک تا آل مسیر دره در جهت محور ناودیس موجود در منطقه است.

بررسی چینه‌شناسی منطقه موردمطالعه حاکی از این است که سه سازند چمن بید، مزدوران و شوریجه دارای بیشترین رخنمون در منطقه هستند، در این بین سازند مزدوران بیش از ۵۰ درصد حوضه را پوشش می‌دهد. این سازند از سنگ آهک‌های ضخیم لایه که از درجه خلوص نسبی بالایی برخوردار است، تشکیل شده و شرایط لازم را جهت انحلال و ایجاد تخلخل دارا است. از طرف دیگر با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در عملیات صحرایی بیشترین شکستگی و خردشدگی در سازند مزدوران تظاهر پیدا کرده است. پس می‌توان گفت که گسترش پدیده‌های کارستی نظیر حفرات انحلالی (تافونی) در این سازند بوده و پتانسیل لازم را جهت بوجود آمدن آبخانه‌های کارستی فراهم کرده است. علاوه بر این منشأ اغلب چشمه‌های موجود در منطقه از نوع کارستی و تکتونیکی است. پس می‌توان گفت که این چشمه‌ها در سازند مزدوران جاری هستند.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

۱. آقانباتی، علی، زمین‌شناسی ایران، ۱۳۸۳، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

۲. افراسیابیان، احمد، ۱۳۷۷، مجموعه مقالات دومین همایش منابع آب در سازندهای کارستی، انتشارات مرکز مطالعات و تحقیقات کارست کشور: سازمان آب منطقه‌ای غرب

۳. افراسیابیان، احمد، ۱۳۸۶، کارست گنجینه‌ای مطمئن برای تأمین منابع آب

۴. افشارحرب، عباس، زمین‌شناسی کپه داغ، انتشارات سازمان زمین‌شناسی واکتشافات معدنی کشور

۵. افشار حرب، عباس، ۱۳۶۵، نقشه زمین‌شناسی شهرمشهد (۲۵۰۰۰۰: ۱)، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

۶. امور مطالعات و منابع آب استان خراسان رضوی، ۱۳۸۸، منابع آب استان خراسان

۷. طوس آب، شرکت مهندسین مشاوره، ۱۳۸۷، مجموعه گزارشات مربوط به مدیریت بهم پیوسته منابع آب (IWRM) حوضه آبریز کشف رود (۴جلد)، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی

۸. علیجانی، بهلول، آب و هوای ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور

۹. گیلیسون، دیوید، ۱۳۸۶، غارشناس، ترجمه ولایتی، سعداله و بهنیافر، ابوالفضل، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

۱۰. میلانوویچ، پطر، ۱۹۸۱، ترجمه افراسیابیان، آغاسی، انتشارات طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور

۱۱. نبویه، ۱۹۹۸، نقشه زمین‌شناسی کلات نادری (۱۰۰۰۰۰: ۱)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

۱۲. ولایتی، سعداله، ۱۳۸۷، هیدرولوژی سازندهای نرم و سخت، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد

۱۳. ولایتی، سعداله، ۱۳۷۶، آب و جغرافیای آبها، انتشارات خراسان

14. **Berberian, M, and, king, G.C.p, 1981, Toward Palegeography and tectonic evolution of Iran.Canadian Journal of Earth sciences**, 18,210-265.

www.SID.ir