

شناسایی و طبقه‌بندی اشکال کارستی براساس مدل‌های سویچیک، والتهام، کماتینا و هراک (مطالعه موردی: حوضه کوهستانی کلات در شمال شرق ایران)^۱

محسن رضائی عارفی^۲، محمد علی زنگنه اسدی^۳، ابوالفضل بهنیا فر^۴، محمد جوانبخت^۵

چکیده

در زون هزار مسجد-کپه داغ، توده‌های کارستی متعددی وجود دارد که هرگونه تحقیقات کارست ژئومورفولوژی بر روی آنها می‌تواند به لحاظ زمین‌شکل‌های کارست، آبخوان‌های آهکی، ارتباط لندفرم‌های کارستی با سیستم هیدرولیک کارست و کاربری و مدیریت سرزمین در این قلمروها حائز اهمیت باشد. این پژوهش با هدف شناسایی و طبقه‌بندی اشکال کارستی حوضه کلات انجام می‌شود و نقش مهمی در پروژه‌های مدیریت سرزمین در مناطق کارستی خواهد داشت. ابزار تحقیق شامل نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، مدل رقومی ارتفاع (DEM) و نرم‌افزار ARC GIS می‌باشد. پس از مرزبندی حوضه مورد مطالعه و شناسایی اشکال کارستی آن، از روش‌های طبقه‌بندی سویچیک، والتهام، کماتینا و هراک جهت طبقه‌بندی اشکال کارستی این حوضه استفاده شد. اشکال کارستی این حوضه از تنوع بالایی برخوردار بوده و انواع کارنها، دولین‌ها، دره‌های کارستی و چشمه‌های کارستی را شامل می‌شوند. مطالعه اشکال کارستی حوضه کلات مشخص نمود براساس طبقه‌بندی سویچیک، این اشکال در ردیف کارست‌های انتقالی، براساس طبقه‌بندی والتهام و فوکس در ردیف کارست‌های جوان، براساس طبقه‌بندی کماتینا در ردیف کارست‌های ناودیزی و براساس طبقه‌بندی هراک در ردیف کارست‌های کوهزایی قرار می‌گیرد.

واژگان کلیدی: ژئومورفولوژی کارست، حوضه کلات، دولین، کارن، دره‌های کارستی

۱ - این مقاله مستخرج از رساله دکتری با عنوان بررسی کارست ژئومورفولوژی حوضه کوهستانی کلات با تأکید بر مدیریت سرزمین می‌باشد.

۲. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

۳. دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران (نویسنده مسئول)

ma.zanganehasadi@hsu.ac.ir

۴. دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، مشهد، ایران

۵. استادیار زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، مشهد، ایران

ژئومورفولوژی کارست به مطالعه سیمای خاص مورفولوژیکی و هیدرولوژیکی در سنگ های قابل انحلال (بیشتر کربنات) می پردازد، اشکال کارستی محصول عملکرد پدیده ها و عناصر اقلیمی و شرایط زمین شناسی در پهنه های آهکی است (زنگنه اسدی و همکاران، ۱۳۸۱: ۸۷). لندفرم های کارستی عمدتاً در مناطقی با سنگ بستر کربناتی قابل حل به وسیله انحلال شیمیایی آب با اسیدیته کم شکل می گیرند (Palmer, 2007 : 454). مناطق گسترده ای از سرزمین های خشک و نیمه خشک غیر یخچالی سیاره زمین با سازندهای کربناته مستعد کارست، پوشیده شده و کمابیش ۲۰ تا ۲۵ درصد جمعیت کره زمین، بیشتر یا به طور کلی زندگی شان به منابع کارست وابسته است Ford 2007:1, (and Williams). حدود ۲۰ درصد از خشکی های جهان را سنگهای کارستی پوشانده اند (Milanovic, 1981:1). در سال ۲۰۱۳ میلادی ۲۸ درصد از جمعیت جهان از منابع آب کارست استفاده می کردند. در کشور ما ۱۱ درصد از مساحت ایران را سازندهای کارستی پوشانیده اند (افراسیبیان، ۱۳۷۷). طبق آخرین تحقیقات صورت گرفته حدود ۱۳ درصد مساحت ایران را سازندهای کربناته تشکیل می دهند که حدود ۸ درصد از منابع آب ایران از منابع آب کارست استفاده می شود که در تأمین آب شرب کشور نقش بسیار مهمی دارند (بهینافر و قنبرزاده، ۱۳۹۵: ۱۶). گرچه مطالعات کارست در بخش های مختلف کشور بویژه در زاگرس و البرز مورد توجه زیاد محققین قرار گرفته است در ارتباط با حوضه کوهستانی کلات تحقیقات بسیار اندکی صورت گرفته است. بنابراین شناسایی و طبقه بندی اشکال کارستی در حوضه مورد مطالعه می تواند در آمایش سرزمین و فعالیت های عمرانی، شهرسازی، راه سازی و ... مورد توجه برنامه ریزان محیطی قرار گیرد. طبقه بندی اشکال کارستی به منظور مطالعه بهتر آنها انجام می شود و نقش مهمی در تفکیک و شناسایی آنها دارد. امروزه اجرای پروژه های عمرانی مانند احداث شهرها، مراکز صنعتی، سد ها، تونل ها، آزاد راه ها و مسیرهای راه آهن در مناطق کارستی بدون توجه به شناسایی و طبقه بندی پدیده های کارستی دشوار به نظر می رسد. مطالعات میدانی، تصاویر ماهواره ای، عکس های هوایی و نقشه های زمین شناسی حوضه کلات مبین این است که اشکال کارستی این حوضه از تنوع بالایی برخوردارند. بنابراین شناسایی و دسته بندی آنها می تواند اطلاعات ارزشمندی در ارتباط با نوع و میزان کارستی شدن منطقه ارائه نماید. در این پژوهش سعی بر این است تا اشکال کارستی این حوضه شناسایی و با مدل های موجود طبقه بندی شود تا نتایج آنها در پروژه های عمرانی مورد استفاده قرار گیرد. به دلیل اهمیت مناطق کارستی در فعالیتهای انسانی، مطالعه و طبقه بندی این مناطق از دیرباز مورد توجه پژوهشگران بوده است. قدیمی ترین مطالعات در این زمینه مطالعاتی بود که در سال ۳۷ قبل از میلاد توسط ژوزف فلاوسوس^۱ در حوضه رود اردن انجام گرفت (میلانوویچ^۲، ۱۹۸۱: ۱۸). طبقه بندی سویجیک^۳ در سال ۱۹۲۵ قدیمی ترین طبقه بندی اشکال کارستی به شیوه علمی محسوب می شود (سویجیک، ۱۹۲۵: ص ۱۸۰). این طبقه بندی بر اساس معیارهای ژئومورفولوژیکی و زمین شناختی استوار است. کماتینا در سال ۱۹۷۳ در یوگسلاوی اشکال کارستی را بر اساس شرایط هیدرولوژیکی طبقه بندی کرد (کوماتینا، ۱۹۷۳: ص ۲۹-۲۱). یکی از معتبرترین تقسیم بندیهای اشکال کارستی توسط (وایت) در سال ۱۹۸۸ انجام شده است. وی اشکال کارستی را به دو دسته اشکال اپی کارست (سطحی) و اندوکارست (عمقی) تقسیم بندی کرده است. در سال ۲۰۰۳ والتهام^۴ و فوکس^۵ روش جدیدی را مطرح کردند که به

1- Jusef.Floves

2- Milanovic

3- Cvijic

4- Waltham

5- Fookes

دلیل کاربرد آن در پروژه های مهندسی به روش طبقه بندی مهندسی معروف شد. در سال ۱۹۷۷ طبقه بندی اشکال کارستی براساس فعالیتهای تکتونیکی، توسط هراک^۱ ارائه شد. اساس این طبقه بندی تاثیر فعالیتهای تکتونیکی در طبقه بندی کارست ها می باشد (هراک، ۱۹۷۷، ص: ۲۳۸-۲۲۷). کارست در جهان و ایران توسط محققین مختلفی بررسی شده است از جمله: از دهه هشتاد به بعد مطالعه مناطق کارستی شتاب بیشتری به خود گرفت و پژوهش های بیشتری در بیشتر مناطق جهان انجام شد که از مهم ترین آنها می توان به طبقه بندی اشکال کارستی در کشور چین توسط باومین^۲ در سال ۲۰۰۹ بر اساس معیارهای ژئومورفولوژیکی (باومین، ۲۰۰۹)، طبقه بندی چشمه های کارستی و غارها بر اساس معیارهای هیدرولوژیکی توسط لومان^۳ (۲۰۱۱) و طبقه بندی کارستهای جزیره سالوادور در کشور باهادا با استفاده از مدل فضایی و سنجش از دور در سال ۲۰۱۲ توسط هوهانگ چاک^۴ اشاره کرد (هوهانگ چاک، ۲۰۱۲). همچنین یکی از جدیدترین مطالعات در این زمینه طبقه بندی بود که در سال ۲۰۱۵ مصطفی در کشور کردستان عراق انجام داد و چشمه های کارستی این منطقه را براساس عناصر شیمیایی طبقه بندی کرد (مصطفی، ۲۰۱۵). ژوان و همکاران (۲۰۱۷) در مقاله خود به مطالعه ژئومتری، توپولوژی و غارشناسی با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری Kruskal-Wallis و PCA در مجراهای سه بعدی کارستی در آمریکا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که سیستم های کارست به صورت سلسله مراتبی به طور فضایی شبکه های سه بعدی را ایجاد می کنند که به عنوان تخلیه جریان آب زیرزمینی عمل می کنند. در ایران نیز به دلیل اینکه نزدیک به ۱۳ درصد از مساحت کشور را سازندهای کارستی تشکیل داده است مطالعه و طبقه بندی این اشکال از سوی محققین زیادی مورد توجه قرار گرفت است. در سال ۱۳۸۱ زنگنه اسدی و همکارانش اشکال کارستی حوضه اخلمد را از دیدگاه ژئومورفولوژی بررسی کردند و به رابطه مناظر مورفولوژیکی - هیدرولوژیکی فرسایش کارستی با مدیریت محیط پرداختند. در سال ۱۳۸۲ ولایتی و اسدی به بررسی تکامل ژئومورفیک حوضه کارستی اخلمد پرداختند. در سال ۱۳۸۳ عشقی و ثروتی در پژوهشی به بررسی ویژگی های ژئومورفولوژیکی مناظر کارستی در حوضه آبریز کارده در شرق زون کپه داغ پرداختند و مهمترین اشکال ژئومورفولوژی حوضه مزبور را طبقه بندی و شناسایی کردند. در سال ۱۳۸۷ ملکی و همکارانش اشکال کارستی استان کرمانشاه را از دیدگاه ژئومورفولوژی مطالعه و پهنه بندی کردند (ملکی شوهانی و علایی طالقانی، ۱۳۸۷). بهنیافر و همکاران (۱۳۸۸) در مقاله خود به بررسی ویژگی های ژئومورفیک توده کارستی اخلمد در دامنه های شمالی ارتفاعات بینالود پرداختند و پدید های ژئومورفیک در حوضه مورد مطالعه را شناسایی و ژئومتری کردند و فرایندهای مؤثر در شکل گیری کارست در منطقه را تحلیل نمودند. ولایتی و خانعلی زاده (۱۳۹۰) به بررسی رابطه ساختارهای تکتونیک و اشکال کارستی در حوضه آبریز کارده پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مهمترین اشکال کارستی در منطقه شامل کارن، شکاف های انحلالی، حفرات انحلالی، غارها و گالری های کوچک که در امتداد درزه ها و شکاف ها و گسل ها گسترش یافته اند بیانگر ارتباط بین این اشکال و ساختارهای تکتونیکی می باشند. خانلری و مؤمنی (۱۳۹۱) در مقاله خود، ژئومورفولوژی، هیدروژئولوژی و مطالعه فاکتورهای مؤثر بر توسعه کارست در منطقه گرین در غرب ایران را بررسی کردند و با استفاده از مطالعات کتابخانه ای، میدانی، نقشه زمین شناسی، ژئوشیمی و ردیابی آبهای زیرزمینی به این نتیجه رسیدند که ژئومورفولوژی کارست در منطقه گسترش قابل توجهی دارد و آب اکثر چشمه ها به صورت بیکربنات کلسیت-منیزیم می باشد. میرعلایی مودی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهش خود به معرفی ژئومورفولوژی کارستی

6- Herak

7-Baomin

8- Luhmann

1- Hung Chak

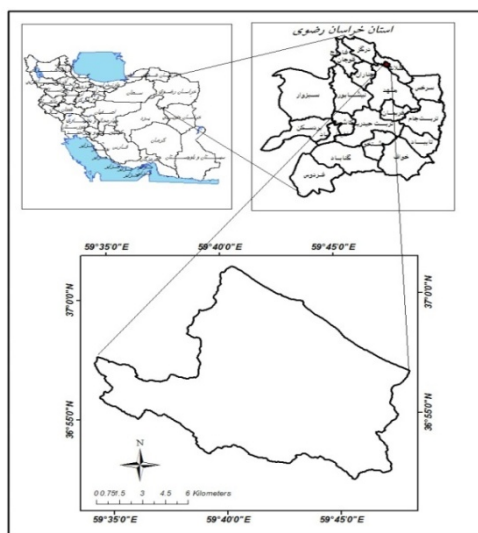
سنگ های کربناته منطقه آهنگران در شمال شرق بیرجند پرداختند و اشکال کارستی کارن ها، چاله های بارانی و دره های خشک را در منطقه مورد مطالعه طبقه بندی و شناسایی نمودند. خوش رفتار و همکاران (۱۳۹۵) در مقاله خود به بررسی اشکال کارستی در توده کوهستانی درفک در گیلان پرداختند و اشکال کارستی از قبیل دولین سبز و کارن (لایه)، حفره های بلعنده و تعداد زیادی دولین کوچک را در منطقه مورد مطالعه طبقه بندی و شناسایی نمودند. خضری و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهش خود به ارزیابی و پهنه بندی تحول کارست حوضه آبریز غار سهولان مهاباد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که به ترتیب عوامل زمین شناسی، هیدرولوژی، توپوگرافی و عوامل انسانی مهم ترین نقش را در توسعه کنونی کارست در این منطقه داشته اند.

روش تحقیق

به منظور طبقه بندی اشکال کارستی حوضه کوهستانی کلات، ابتدا با استفاده از نقشه های توپوگرافی با مقیاس های ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰، نقشه های زمین شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، عکس های هوایی باند ۱ مشهد (بلوک کلات) با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، موقعیت منطقه مشخص و مرزبندی گردید. پس از مرزبندی حوضه با استفاده از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلات مناطق مستعد کارستیفیکاسیون مشخص گردید. این موضوع با بررسی جنس سازندها و میزان گستردگی آنها و نیز مطالعه انواع گسل ها در منطقه انجام شد. جهت بررسی نقش تکتونیک در اشکال کارستی، نقشه تکتونیک منطقه تهیه شد. در نهایت با استفاده از روش های طبقه بندی متناسب با شرایط حوضه، اشکال شناسایی شده، طبقه بندی و از یکدیگر متمایز شد. روش طبقه بندی ژئومورفولوژی یا سویجیک، اولین و مهمترین روش در زمینه طبقه بندی اشکال کارستی محسوب می شود. اساس این طبقه بندی مبتنی بر شرایط ژئومورفولوژیکی و زمین شناختی است. در این طبقه بندی اشکال کارستی در سه دسته کارست کامل، ناقص و انتقالی تقسیم می شوند. اساس روش والتهام و فوکس که به طور گسترده در فعالیت های راه سازی، عمرانی، شهرسازی و آمایش سرزمین به کار گرفته می شود مبتنی بر نوع و حضور دولین ها در یک منطقه است. در طبقه بندی کوماتینا، نوع کارست با در نظر گرفتن خصوصیات زمین شناسی، توپوگرافیکی و هیدرولوژیکی حوضه مشخص می گردد. در این روش کارست ها به دو دسته کارست های ناودیدی و سکویی تقسیم بندی می شوند (کوماتینا، ۱۹۷۳: ۲۹-۲۱). در طبقه بندی هراک تأثیر فعالیت های تکتونیک نقش مهمی در طبقه بندی کارست ها ایفا می کند. بر این اساس کارست ها به دو گروه قبل از کوهزایی (شامل کارستهای ستونی، چین خورده، حوضه ای و عمیق) و کوهزایی (شامل کارست های عدسی شکل، خردشده و تجمعی) تقسیم می شوند (هراک، ۲۳۸: ۱۹۷۷-۲۲۷).

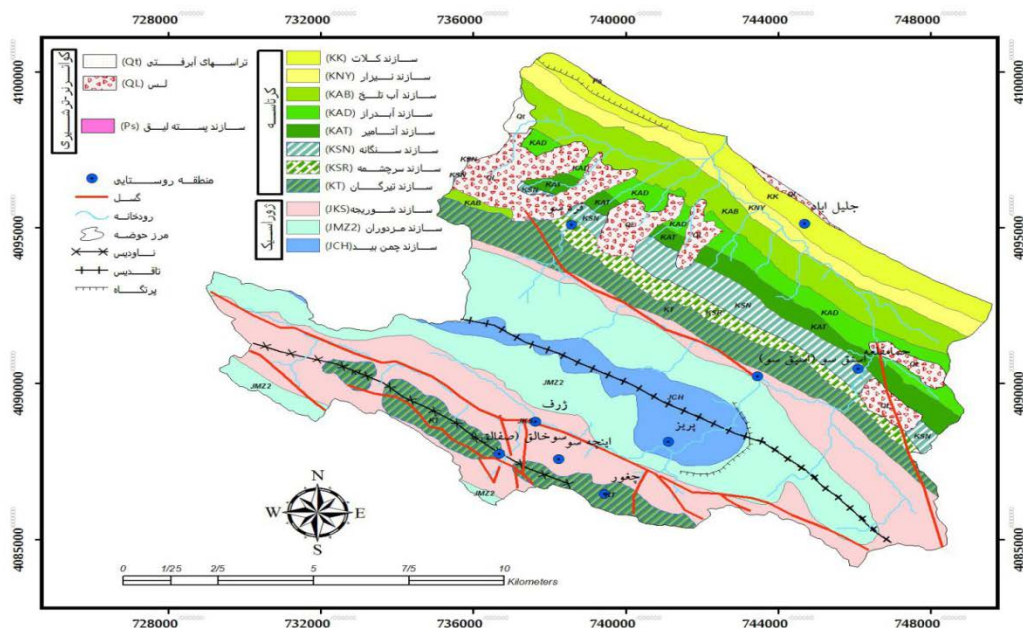
موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه، حوضه کوهستانی کلات در زون کپه داغ می باشد که در ارتفاعات هزار مسجد و شمال شرق کشور واقع شده است. این حوضه با وسعت ۱۶۸/۳۷ کیلومتر مربع در ۱۴۵ کیلومتری شمال شهر مشهد و در استان خراسان رضوی قرار گرفته است که بالاترین نقطه ارتفاعی ۲۷۰۹ متر و حداقل ارتفاع آن ۶۲۰ متر می باشد. از نظر موقع ریاضی بین ۵۹ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۴۷ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. مهم ترین راه های دسترسی به این حوضه از مسیر مشهد به کلات، درگز به کلات و سرخس به کلات می باشد.



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

براساس طبقه بندی اقلیمی کوپن، آب و هوای این حوضه نیمه خشک می باشد. متوسط دمای سالیانه منطقه برابر با ۱۶/۴۹ درجه سانتیگراد و متوسط بارش سالیانه حوضه برابر با ۳۱۴ میلیمتر می باشد. کمترین دمای متوسط ماهانه منطقه مربوط به دی ماه برابر با ۳/۵۴ درجه سانتی گراد و بیشترین دمای متوسط ماهانه مربوط به ماه تیر برابر با ۲۸/۱۹ درجه سانتی گراد می باشد. همچنین کمترین میانگین حداقل دما مربوط به دی ماه برابر با ۰/۴ درجه سانتی گراد و میانگین حداکثر دمای ثبت شده برابر با ۳۴/۲ درجه سانتی گراد مربوط به تیر ماه می باشد. کاهش دما در منطقه از اوایل پاییز شروع شده و با آغاز بهار و فروردین دوباره دمای هوا روند افزایشی پیدا می کند. واحدهای زمین شناسی منطقه مورد مطالعه از رسوبات اوایل دوران دوم و سوم و چهارم زمین شناسی در وجود دارد. در اوایل کرتاسه پیشروی دریا در کپه داغ صورت می گیرد و در اواخر کرتاسه زیرین به اوج خود میرسد و سپس پسروی آغاز می شود. این پیشروی و پسروی ها، سنگ بنای سازندهای منطقه را تشکیل می دهد و فعالیت بعدی گسل ها منجر به ایجاد چین خوردگیها به صورت آنتی کلینال و سنکلینال در منطقه می شود. قدیمیترین رخنمون های این واحدها به دوره ژوراسیک مربوط می شود (سازند چمن بید) و وسیع ترین گسترش رخنمون ها متعلق به سازندهای مزدوران و شورپیچه می باشد. سازندهای آهکی عمده حوضه مورد مطالعه، تیرگان، مزدوران، کلات و چمن بید می باشد. در حوضه مورد مطالعه مجموعاً ۱۳ واحد سنگ چینه ای مشخص شده است.



شکل ۲: نقشه زمین شناسی حوضه کوهستانی کلات (نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلات) وزارت صنایع و معادن سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

بحث و نتایج

شناسایی اشکال کارستی منطقه مورد مطالعه

لازمه طبقه بندی اشکال کارستی شناسایی آنها می باشد که با استفاده از روش ها و تکنیک های میدانی، عکس های هوایی، تصاویر ماهواره ای و نقشه های زمین شناسی انجام می شود. جدول یک مهمترین اشکال کارستی شناسایی شده حوضه کلات را نشان می دهد. با توجه به دو بازدید میدانی ۳ و ۱۱ مرداد ۱۳۹۷ به حوضه، متنوع ترین و بیشترین اشکال کارستی مربوط به کارن ها می باشد. کارن های حوضه شامل: کارن کریدوری، ریلن کارن ها، ماندراکارن ها، کارن های شیباری، کارن های بارانی (راین کارن ها)، کارن های حفره ای (پیت ها)، ریلن کارن و ... می باشد. در زیر نمونه ای از کارن های حوضه مورد مطالعه را مشاهده می کنید.



حوضه اشکال ۳ و ۴ و ۵ و ۶ و ۷ و ۸ به ترتیب از سمت راست: کارست کریدوری (اشکال پلی ژنیک) در کوهستانی کلات (عکس از نگارنده گان: ۳ مرداد ۹۷)، کارن های حفره ای (پیت ها) دو وجهی در شرق حوضه. روستای حمام قلعه بر روی دولومیت تیرگان. بازدید میدانی ۱۱ مرداد ۹۷، کارن ماندر در شمال غرب حوضه. عکس از نگارنده گان ۱۱ مرداد ۹۷، کارن خطی یا ریلن کارن عکس از نگارنده گان: ۱۱ مرداد ۹۷، کارن شیباری یا

پله ای. شمال غرب حوضه. عکس از نگارنده گان(۱۱ مرداد ۹۷)، ریپل کارن یا کارن موجی شکل در محل آبشار قره سو. شمال غرب حوضه. عکس از نگارنده گان: ۱۱ مرداد ۹۷

در بین کارن های حوضه، کارن های حفره ای یا پیت ها، کارن های کریدوری و ریلن کارن ها از تنوع و گستردگی قابل توجهی برخوردارند(شکل های ۳ و ۴ و ۶). کارن های کریدوری به شکل بسیار زیبا و خیره کننده و تپیک وجود دارند که چشم هر بیننده ای را به خود جلب می کنند. این اشکال زیبا ضمن برگشتگی لایه ها از حالت افقی به حالت عمودی تحت تأثیر تکتونیک، شیل و آهک تحت تأثیر فرسایش دیفرانسیل یا تفریقی در دو سازند آهکی تیرگان و سرچشمه به صورت متناوب وجود دارند به این صورت که شیل تحت تأثیر فرسایش خرد شده و آهک به صورت تیغه ای درآمد است. دولین ها در حوضه مورد مطالعه گسترش زیادی ندارند و معمولاً "درنواحی یافت می شوند که حوضه از حالت کوهستانی خارج می شود. دولین انحلالی در حوضه فراوان تر می باشد(اشکال ۹ و ۱۰).



اشکال ۹ و ۱۰: سمت راست: دولین در بالادست حوضه کلات. سمت چپ: دولین ایجاد شده در مسیر بالا

دست قره سو به طرف دامنه های جنوبی حوضه که در آبرفتهای روی سنگ آهک ایجاد شده است. از نظر وسعت، دره های کارستی بیشترین گستردگی را به خود اختصاص می دهند که شامل دره های خشک، تنگ یا گورچ و دالان می باشد(شکل های ۱۱ و ۱۲).



اشکال ۱۱ و ۱۲: سمت راست: دره فروریزشی کارستی در مسیر آبشار قره سو. سمت چپ: تنگ یا گلوگاه در مرز حوضه به سمت شهر کلات.

تعداد غارهای حوضه کم، طول آنها کوتاه، عمقشان ناچیز و دهانه آنها تنگ می باشد(شکل ۱۵).

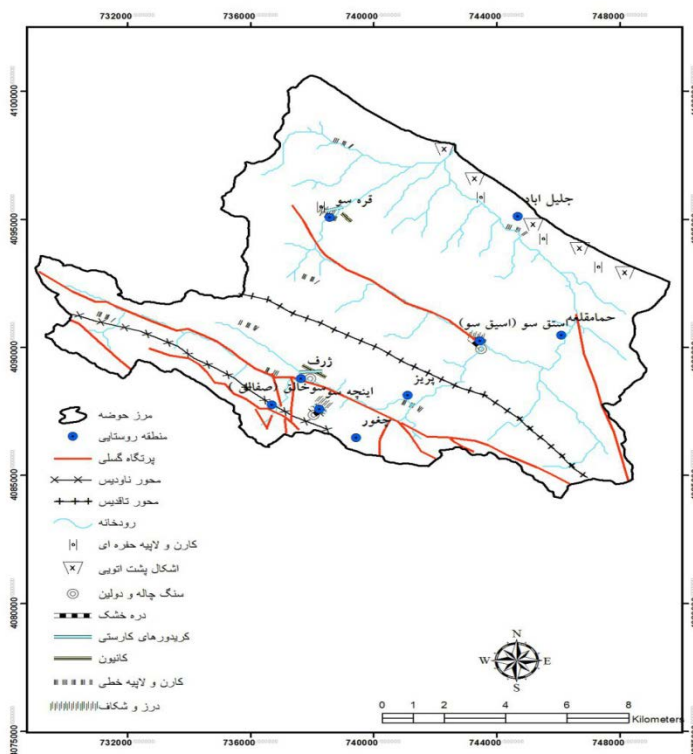


شکل ۱۳: مدخل غار تشکیل شده در قسمت غربی حوضه که در یک شکاف کارستی ایجاد شده است.

با توجه به اشکال ژئومورفولوژیکی که در بالا آورده شد در جدول شماره یک، نام لندفرم ها در حوضه و مشخصات و موقعیت هر کدام به تفکیک آورده شده است.

جدول ۱: اشکال کارستی منطقه و موقعیت مکانی در حوضه کلات

ردیف	نام لند فرم	مشخصات و موقعیت
۱	درز و شکاف ها	قره سو، اینچه سو، استق سو
۲	کارن ها و لایه های خطی	قره سو، دامنه کل صخره ها
۳	سنگ چاله ها و دولین ها	کف دره استیق سو، اینچه سو، ژرف
۴	کانیون	اطراف قره سو، ژرف
۵	غار	سمت راست تونل کلات
۶	کریدورها(کوچه های کارستی)	قره سو، دره ژرف
۷	آبشارها	محدوده قره سو، ژرف
۸	پیناکل کارستی	در آهکهای تیرگان و قره سو، ژرف
۹	دره های خشک و معلق کارستی	استیق سو، اینچه سو
۱۰	چین خوردگی های جناقی(مثلثی)	در مرکز و غرب حوضه بویژه در مسیر قره سو
۱۱	هوک بک ها	در خط الراس حوضه در سازند کلات
۱۲	کارن ها و لایه های حفره ای	مسیر آبشار قره سو، دیواره شمالی کلات



شکل ۱۴: نقشه ژئومورفولوژی حوضه کلات با تاکید بر اشکال کارستی

طبقه بندی اشکال کارستی حوضه کوهستانی کلات

به دلیل تنوع و گستردگی اشکال کارستی، روش های مطالعاتی و تقسیم بندی آنها نیز متنوع است. بر این اساس سعی شد در شناسایی و طبقه بندی اشکال کارستی حوضه کلات از روش هایی استفاده شود که با ژئومورفولوژی آن همخوانی داشته باشد. بدین جهت شناسایی و طبقه بندی اشکال کارستی منطقه براساس رده بندی های سویجیک (۱۹۲۵)، والتهام و فوکس (۲۰۰۳)، کماتینا (۱۹۷۳) و هراک (۱۹۷۷) انجام شد.

طبقه بندی اشکال کارستی حوضه کلات بر اساس روش سویجیک

در این طبقه بندی، کارست ها طبق جدول ذیل به سه دسته تقسیم می شوند:

جدول ۲: تقسیم بندی اشکال کارستی بر اساس تقسیم بندی سویجیک (۱۹۲۵، ص ۱۸۰)

نوع کارست	نوع سنگ	چهره سطح زمین	اشکال کارستی	توسعه کارست
کارست کامل (Holokarst)	سنگ های آهک با انحلال بالا	کاملاً "سنگی و بدون پوشش گیاهی"	پدیده های سطحی و عمقی کارست	بسیار بالا
کارست ناقص (Merokarst)	سنگ های غیرآهکی، آهک با خلوص کم	پوشش گیاهی - خاک های غیر آهکی	اشکال کارستی ناقص، فقدان ماکرو کارست	خیلی کم
کارست انتقالی (Transitional karst)	ترکیبی از لایه های آهکی بین لایه های نازکی از سازندهای غیرآهکی	ترکیبی از آهک و سایر سازندها - پوشش گیاهی پراکنده	کارست زیرزمینی، میکروکارست، دولین های ناقص، فقدان پولیه ها	گسترش اشکال زیرزمینی، شکل گیری کند کارن ها و عدم گسترش پولیه

با بررسی توضیحات و جدول بالا و بر اساس این تقسیم بندی، کارست های حوضه کلات در ردیف کارست های انتقالی قرار می گیرد. زیرا در این حوضه ابعاد غارها کوچک بوده و گسترش چندانی ندارند. پولیه ها نیز که به عنوان نماد مناطق کارستی محسوب می شوند در این حوضه شکل نگرفته و به دلیل شیب زیاد و توپوگرافی نامناسب احتمال شکل گیری آنها در آینده نیز فراهم نیست. دولین ها هم در حوضه گسترش چندانی ندارند. سایر اشکال کارستی نیز به تکامل نرسیده اند. تنها اشکالی که در این حوضه به تکامل رسیده و امکان گسترش آنها در آینده وجود دارد کارن ها می باشند. علاوه بر موارد یاد شده، شرایط آب و هوایی منطقه نیز در شکل گیری و گسترش اشکال کارستی منطقه، محدودیت ایجاد کرده است. مناسب ترین آب و هوا برای شکل گیری و گسترش اشکال کارستی، آب و هوای مرطوب است (احمدی، ۱۳۸۲: ۹۲). با توجه به اینکه میزان بارش در این حوضه نیاز رطوبتی آن را برای شکل گیری و تکامل اشکال کارستی فراهم نمی آورد و از سوی دیگر کمبود بارش، سبب پراکندگی پوشش گیاهی نیز شده است. بنابراین از نظر طبقه بندی سویجیک، کارست های حوضه کلات در ردیف کارست های انتقالی قرار می گیرد (جدول ۲).

تقسیم بندی اشکال کارستی براساس روش والتهام و فوکس

تقسیم بندی دیگری از کارست ها، توسط والتهام^۱ و فوکس^۲ (۲۰۱۰) صورت گرفته که اساس طبقه بندی آن را میزان بلوغ و نرخ تکامل یافتگی کارست در نظر گرفته اند. طبق این تقسیم بندی، اشکال کارستی ایجاد شده در سنگ های کربناته، می تواند از مرحله جوانی تا مرحله پیری کامل یا بیشترین تکامل یافتگی را در بر گیرد.

معیارها و شاخص های این طبقه بندی در جدول ۳ مشاهده می شود.

جدول ۳: طبقه بندی اشکال کارستی براساس روش والتهام و فوکس (۲۰۱۰)

نوع کارست شدگی	محیط یا قلمرو	وضعیت درز و شکستگی ها	اشکال ژئومورفیک و درجه توسعه
مرحله نوجوانی	در قلمروهای بیابانی و ارتفاعات با سازندهای کربناته ناخالص یا سیلیکاته	درزه های بسیار ریز و باریک با میزان انحلال شدگی کم	نفوذپذیری به دلیل تخلخل ثانویه بسیار کم، مادرغارهای نخستین در این غارها دیده می شود و اشکال سطحی مانند کارن های کندوئی پراکنده هستند.
کارست جوان یا مرحله جوانی	در مناطق معتدل و قلمروهای نیمه خشک بویژه در ارتفاعات	درزه ها کوچک ولی بسیار متراکم هستند و دولین های کوچک بوجود آمده اند.	کارن های کندوئی و شیاری در سطح سنگ متراکم تر می شود و بخاطر شکاف های بسیار کوچک، غارهای کوچکی با طول کم تر از ۳ متر تشکیل می شود. سنگ آهک ممکن است لایه ای ولی پرضخامت باشد.
کارست بالغ یا مرحله بلوغ	در مناطق معتدل و کوهستان های نواحی حاره ای قابل مشاهده است ولی ممکن است در آهک های مزوزوئیک در قلمروهای نیمه خشک وجود داشته باشد.	شکاف ها عریض تر شده و تخلخل ثانویه زیاد است	دولین های کوچک تبدیل به سنگ چاله های بزرگ انحلالی گردیده و غارهایی با ابعاد ۵ متر در ترازهای مختلف سنگ بوجود می آید. اشکال کارستی در سطح و عمق توسعه می یابند.

1 - Waltham

2- Fokes

وجود کارست های پیناکل، غارهای چند طبقه ای با سیستم زهکشی تکامل یافته در کارست زیرین	درزه های انحلالی بزرگ همراه با تخلخل ثانویه توسعه یافته	در محیط معتدل و گرم و بویژه در قلمروهای حاره ای مشاهده می شود.	کارست تکامل یافته با مرحله پیری
سنگ چاله های بسیار بزرگ، وجود سینک هول های مدفون شده، غارهای تکامل یافته با گالری ها و تالارهای بزرگ با طول چند کیلومتر، فرم های تופا و غارهای خشک بسیار قدیمی در توده سنگ تشکیل می شود.	سیستم درزو شکاف به صورت شدیداً انحلالی با فراخ شدگی شدید	در محیط حاره ای مرطوب و ارتفاعات منطقه استوائی دیده می شود. همچنین در کارست های زیرآبی بوجود می آیند.	کارست فوق تکاملی یا مرحله بسیار پیر

منبع: (والتهام و فوکس ، ۲۰۱۰)

اساس طبقه بندی کوپن، آب و هوای این حوضه در ردیف آب و هوای نیمه خشک قرار می گیرد. این نوع آب و هوا یک فصل خشک و یک فصل سرد دارد که این دو فصل محدودیت های زیادی برای شکل گیری و گسترش اشکال کارستی این حوضه ایجاد نموده است. فصل خشک با کاهش رطوبت نقش مهمی در کاهش فرایندهای مختلف کارستی ایجاد می نماید. فصل سرد سال نیز با کاهش پوشش گیاهی، کاهش جریان آبهای سطحی در اثر انجماد، بارش برف و پوشش برفی منطقه سبب کاهش انحلال و کاهش کارست زایی در این حوضه می شود که این شرایط، کارست های حوضه را در ردیف کارست های جوان قرار می دهد. همچنین شکل گیری دولین های ناقص، گسترش اندک غارها، و عدم وجود پولیه ها، از نشانه های جوان بودن کارست های این حوضه می باشد. علاوه بر این با توجه به اینکه انحلال سنگ ها معمولاً در امتداد درزه ها، گسل ها یا سطوح لایه بندی با سهولت بیشتری انجام می گیرد (صدقت و معاریان، ۱۳۶۹:۳۶۹) عدم وجود درز و شکستگی گسترده در توده سنگ های آهکی حوضه فرایند انحلال در این سنگ ها را محدود کرده است و اشکال کارستی گسترش زیادی ندارند. این وضعیت نشان می دهد که کارستی شدن در این منطقه در مرحله جوانی قرار داشته و هنوز به تکامل نرسیده است.



شکل ۱۵: دیاکلازهای موجود در سنگ آهک تیرگان که به صورت مایل نمایان می باشد. عکس از نگارنده گان

۱' طبقه بندی اشکال کارستی حوضه بر اساس روش کماتینا

این تقسیم بندی بر اساس خصوصیات اصلی زمین شناسی و مهمتر از همه خصوصیات لیتولوژی و ساختمانی می باشد. در این طبقه بندی، کارست ها به دو دسته ذیل تقسیم بندی می شوند:

الف- کارست مسطح یا سکویی^۱: در این نوع کارست لایه ها کم شیب یا افقی هستند و به علت گسترش سنگ های حاوی مواد ماری و شرایط آب و هوایی عمل کارستی شدن در آنها گسترش کمتری دارد.

- 1- Komatina
- 2- platform karst

ب- کارست ناودیسی^۱: این نوع کارست در مناطق دارای چین خوردگی و گسیختگی های زیاد گسترش دارد. بزرگ ناودیس هایی که متشکل از سنگ های کربناته می باشند، به علت چین خوردگی های بعدی با داشتن تکنونیک فعال و آب و هوای مساعد برای انحلال و توسعه کارست نواحی مناسبی هستند (میلانویچ، ۱۹۸۱: ۱۹).



شکل ۱۶: کارست ناودیسی در شرق حوضه. روستای حمام قلعه. عکس از نگارنده گان

در حوضه مورد مطالعه طبق مدل کماتینا، کارست ناودیسی مشاهده می شود. به دلیل فعال بودن منطقه از نظر تکنونیک و وجود سازندهای آهکی امکان گسترش کارستهای ناودیسی فراهم شده است. اما به دلیل شرایط آب و هوایی شرایط انحلال کند شده و کارست های ناودیسی فقط در ابتدای برخی از دره های فرعی این حوضه که دارای آب بیشتری می باشند شکل گرفته اند. در قسمت های شرقی، جنوبی و جنوب غرب حوضه به دلیل سنکلینالی بودن حوضه، چین خوردگی و گسل خوردگی بیشتر، شرایط بهتری برای تشکیل کارست ناودیسی فراهم آمده است.

۲ طبقه بندی کارست های حوضه بر اساس روش هراک

این تقسیم بندی براساس وضعیت تکتونز صورت گرفته است که بیشتر ویژگی های تکتونومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی در این طبقه بندی لحاظ گردیده است. بر این اساس، کارست ها به دو گروه بزرگ ذیل تفکیک می شوند:

۳۴ ب) کارست های کوهزایی یا اوروژنالف) کارست های بین کوهزایی (قبل کوهزایی) یا اپی اروژن

الف- کارست بین کوهزایی: این کارست در سنگ های کربناته و یا در سایر سنگ های قابل حل که در ناحیه کم عمق دریا و روی فلات قاره قرار دارند، توسعه پیدا می کنند. کارست بین کوهزایی در چهار نوع متفاوت دیده می شوند:

۱- کارست تختانکی یا ستونی: در این کارست ها، آب از طریق بازشدگی های لایه ای و درزه ها وارد توده کارستی گردیده و مجاری انحلالی و غارها را در آنها بوجود می آورد.

۲- کارست چین خورده (کارست های کوهستانی متراکم): قرارگیری طبقاتی از سنگ های چین خورده انحلال پذیر بر روی سنگ های نفوذناپذیر به ایجاد این نوع کارست منجر می شود.

3 - Syncline karst

۲ - Herak

۳ -- Epi orogenic karst

۴- - Orogenic karst

۳- کارست حوضه ای: این نوع کارست به طور عمده در فرورفتگی های بزرگ چاله ای یا گرابن های یک پی سنگ کوهزایی قدیمه به وجود آمده اند.

۴- کارست عمیق (کارست های کوهستانی ضخیم لایه): در این نوع کارست سنگ های کربناته خیلی ضخیم بر روی سنگ های نفوذناپذیر قرار دارند و ضخامت سنگ کربناته بیش از چندصد متر و یا چند هزار متر می باشد.

ب- کارست کوهزایی: این نوع کارست در سنگ های کربناته و سایر سنگ های انحلال پذیری که تکتونیک شدیدی را تحمل کرده اند، ایجاد می گردد. کارست کوهزایی در چهار نوع معرفی شده است:

۱- کارست کوهزایی عدسی شکل: در این نوع کارست، سنگ آهک به صورت لایه های عدسی شکلی وارد دیگر سنگهای غیر کربناته چین خورده شده و فرایند انحلالی در داخل همین عدسی رخ داده است.

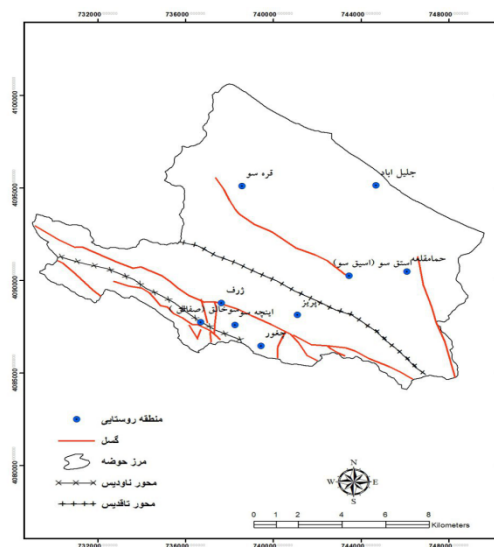
۲- کارست کوهزایی چین خورده: نوعی کارست که به طور عمده در حوضه های ژئوسنکلینالی به وجود آمده اند و از چین خوردگی های فراوانی (تاقدیس ها و ناودیس ها) برخوردارند.

۳- کارست کوهزایی خرد شده (گسیخته شده): این نوع کارست در سنگ های کربناته که به شدت خرد شده وجود دارد. در واقع کارست کوهزایی خرد شده بر اثر شدت نیروهای تکتونیکی در سنگهای آهکی به صورت بلوکه های بسیار بزرگی قطعه قطعه گردیده اند.

۴- کارست کوهزایی تجمعی (فروریخته و آواری): این نوع کارست دارای خصوصیات کارست کامل است. به شدت تکتونیزه بوده و تمام اشکال کارستی در آن وجود دارند. در این نوع کارست ها، رودخانه های کور زیرزمینی و غاررودهای زیادی تشکیل می گردد. (هراک، ۱۹۷۷: ۲۲۸) (میلانوویچ، ۱۹۸۱: ۲۱) (بهنیافر و قنبرزاده، ۱۳۹۵).



اشکال ۱۷ و ۱۸: سمت راست چین خوردگی به صورت تاقدیس و ناودیس در بالای روستای حمام قلعه بر روی سازند سرچشمه. شرق حوضه. عکس از نگارنده گان. ۱۱ مرداد ۹۷. سمت چپ: ناودیس معلق یا پرشه یا هوایی در مرز شرقی حوضه. عکس از نگارنده گان. ۳ مرداد ۹۷



شکل ۱۹: نقشه تکتونیک حوضه کوهستانی کلات

با توجه به شکل ۲۰ که فرم چین خوردگی به صورت ناقدیس و ناودیس را بر روی سازند سرچشمه نشان می دهد و نیز شکل شماره ۲۱ که فرم چین خوردگی از نوع ناودیس معلق را نشان می دهد و نیز شکل شماره ۲۲ و با توجه به وجود گسل ها و زمین لرزه های متعدد و شواهد میدانی برگشتگی لایه ها در محل کریودر کارستی در آبشار قره سو که نشان دهنده تکتونیک فعال در منطقه می باشد و نیز با توجه به وجود گسل ها که باعث خرد شدن سنگ های آهکی در این حوضه شده است. بنابراین اشکال کارستی، کوهزایی چین خورده را در این حوضه بوجود آورده است. همچنین عدم وجود پولیه، توسعه ناقص اشکال کارستی، سازندهای آهکی و نوع آب و هوا در این حوضه سبب شده که کارست ها از نوع جوان باشد.

نتیجه گیری

حوضه کوهستانی کلات یکی از حوضه های آبریز شمال شرق ایران و شرق زون کپه داغ می باشد که از نظر زمین شناسی بیشتر سازندهای آن آهکی می باشد و از نظر شرایط آب و هوایی، آب و هوای آن نیمه خشک می باشد. به دلیل وجود سازندهای آهکی، کارست های متنوعی در این حوضه شکل گرفته است. در بین اشکال کارستی این حوضه، کارن ها متنوع ترین و فراوان ترین اشکال بوده و شرایط بهتری برای شکل گیری داشته و از تنوع بیشتری برخوردارند که در بین آنها کارن های حفره ای و ریلن کارن از تنوع بیشتری برخوردارند. پولیه در این حوضه به معنای واقعی وجود نداشته و شکل نگرفته است دلیل آن شیب زیاد و شرایط آب و هوایی نامناسب حوضه می باشد. به دلیل اینکه بیشتر مساحت حوضه از سازندهای آهکی شکل گرفته است در قسمت هایی که این سازندها در تماس مداوم با آب قرار داشته اند اشکال کارستی علاوه بر شکل گیری به تکامل خود نیز رسیده اند. بنابراین فراوان ترین متنوع ترین اشکال کارستی این حوضه در اطراف دره های اصلی در بالای روستای حمام قلعه و تمام قسمت های آبشار قره سو (۸ آبشار) مشاهده می شوند. پس از شناسایی اشکال کارستی حوضه، براساس روش های مرتبط با ژئومورفولوژی تقسیم بندی گردید که براساس طبقه بندی سویچیک، کارست های این حوضه در ردیف کارست های انتقالی، براساس طبقه بندی والتهام و فوکس، در ردیف کارست های جوان، براساس طبقه بندی کمتینا، در ردیف کارست های ناودیسی و بر اساس طبقه بندی هراک در ردیف کارست های کوهزایی چین خورده قرار گرفتند. این

طبقه بندی مشخص نمود که اشکال کارستی حوضه اغلب جوان و تکامل نیافته هستند و مهمترین عامل تسریع کننده آنها، شرایط زمین شناسی و مهمترین عامل محدود کننده آنها، شرایط آب و هوایی می باشد.

منابع و ماخذ

- ۱- افراسیابیان، احمد (۱۳۷۷). اهمیت مطالعات و تحقیقات منابع کارست در ایران، مجموعه مقالات دومین همایش جهانی آب در سازندهای کارستی، کرمانشاه-تهران. صص ۹۷-۸۸.
- ۲- احمدی. حسن (۱۳۸۲). ژئومورفولوژی کاربردی، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۳- بهنیافر، ابوالفضل، قنبرزاده، هادی (۱۳۹۵). ژئومورفولوژی کارست، مشهد، انتشارات نگاران سبز.
- ۴- بهنیافر و همکاران (۱۳۸۸). ویژگیهای ژئومورفیک توده ی کارستی اخلمد در دامنه های شمالی ارتفاعات بینالود، زاهدان، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۴، صص ۱۴۰-۱۲۱.
- ۵- بهرامی، شهرام، زنگنه اسدی، محمدعلی و جهانفر، علی (۱۳۹۵). ارزیابی توسعه کارست با استفاده از ویژگیهای هیدرودینامیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه های کارستی در زاگرس (منطقه مورد مطالعه: تاقدیس قلاجه و توده پراو بیستون)، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۳، صص ۷۴-۶۱.
- ۶- خانلری، غلامرضا و مؤمنی، علی اکبر (۱۳۹۱). ژئومورفولوژی، هیدروژئولوژی و مطالعه فاکتورهای موثر بر توسعه کارست در منطقه گرین، غرب ایران. جغرافیا و آمایش شهری منطقه ای، شماره ۳، صص ۷۴-۶۱.
- ۷- خضری، سعید، شهابی، هیمن و محمدی، سارا (۱۳۹۶). ارزیابی و پهنه بندی تحول کارست حوضه آبریز غار سهولان مهاباد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، مجله پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، شماره ۱، صص ۳۹-۲۱.
- ۸- خوش رفتار، رضا. سرور، جلیل الدین و فرید مجتهدی، نیما (۱۳۹۵). بررسی اشکال کارستی در توده کوهستانی برفک گیلان، فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، شماره ۵۳، صص ۵۶-۳۹.
- ۹- زنگنه اسدی، محمدعلی. غیور، حسنعلی. رامشت، محمدحسین و ولایتی، سعداله (۱۳۸۱). چشم اندازهای کارستی اخلمد و مدیریت محیطی آن، تهران، مجله پژوهشهای جغرافیایی، شماره ۴۲، صص ۱۰۱-۸۷.
- ۱۰- عشقی، ابوالفضل و ثروتی، محمد رضا (۱۳۸۳). ویژگیهای ژئومورفولوژی مناظر کارستی در حوضه آبریز کارده، پژوهشهای جغرافیایی، شماره ۸، صص ۱۵-۱.
- ۱۱- کلتات، دیتیر. (۱۳۷۸). جغرافیای طبیعی دریاها و سواحل، ترجمه محمد رضا ثروتی، انتشارات سمت، تهران.
- ۱۲- میرعلایی مودی، مهدی، میراب شبستری، غلامرضا، اعتباری، بهروز و هیهات، محمود رضا (۱۳۹۲). شماره ۸، منطقه ای، - شهری آمایش و معرفی ژئومورفولوژی کارستی سنگهای کربناته منطقه آهنگران، جغرافیا صص ۱۳۰-۱۱۵.
- ۱۳- ملکی، امجد، شوهانی، داوود، علایی طالقانی، محمود (۱۳۸۸). پهنه بندی تحول کارست در استان کرمانشاه، برنامه ریزی و آمایش فضا، مدرس علوم انسانی، شماره ۱۳، صص ۲۷۱-۲۵۹.
- ۱۴- مقامی مقیم، غلامرضا (۱۳۹۵). طبقه بندی اشکال کارستی حوضه درپرچین براساس مدل های سوچ، والتهام، هراک و کمتینا، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای، شماره ۱، بهار و تابستان ۹۵.

- 15- ولایتی، سعداله و خانعلی زاده، فریده (1390). بررسی رابطه ساختارهای تکتونیک و اشکال کارستی، مطالعه موردی حوضه آبریز کارد، مجله جغرافیا، شماره 31، صص 171-189.
- 16- ولایتی، سعداله. زنگنه اسدی، محمدعلی (1382). حوضه کارستی اخلمد، نمادی از تکامل ژئومورفیک کارست، مشهد، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای صص 123-146
- 17- Cvijic, J. (1925). Type's morphologiques des terrains calcaires. Comptes Rendus, Académie des Sciences (Paris), 180, 592-594
- 18- Ford, D., & Williams, P. D. (2007). Karst hydrogeology and geomorphology. West Sussex, England: John Wiley & Sons
- 19- Herak, M. (1977). Tecto-genetic approach to the classification of karst terrains. Carsus Jugoslaviae, 9(4), 227-238
- 20- Johan, J. et al (2017). Speleogenesis, geometry, and topology of caves: A quantitative study of 3D karst conduits ., Journal of geomorphology , Vol. 298, pp.86-106 .
- 21- Komatina, M. (1975). Development conditions and regionalization of karst In A. Burger & L. Dubertret (Eds.), Hydrogeology of karstic terrains: Case histories (pp. 21-29). Paris, France: IAH
- Milanovic, P. J. (1981). Karst hydrogeology. Colorado, CO: Water - Resources publications
- 22- Palmer, A. N., (2007). Cave Geology: Dayton, Ohio, Cave Books, p. 454.
- 23- Waltham, A.C. and Fookes, P.G. (2003). Engineering classification of karst ground conditions. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 36, 101-118
- 24- White, W.B., (1988). Geomorphology and hydrology of karst terrains, Oxford University press.