جغرافیا (فصلنامه علمی ـ پژوهشی و بین المللی انجمن جغرافیایی ایران)
سال هجدهم، شماره ٦٤، بها ر۱۳۹۹

پهنه‌بندی تحول کارست با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی
مطالعه موردی : حوضه کوهستانی کلات (خراسان رضوی)

محسن رضائی عارفی[۱]، محمد علی زنگنه اسدی [۲]، ابوالفضل بهنیافر[۳]، محمد جوانبخت[٤]

تاریخ وصول: ۱۳۹۸/۱۱/۰۲، تاریخ تأیید: ۱۳۹۹/۰۳/۲۵

چکیده

فرایند تحول کارست، فرایندی پیچیده و متأثر از متغیرهای گوناگون است. شناخت عوامل مؤثر در توسعه و پهنه بندی تحول کارست در زمینه مطالعات مربوط به مدیریت سرزمین و منابع کارست دارای جایگاه ویژه‌ای است. هدف از این پژوهش ارزیابی و پهنه بندی پتانسیل توسعه کارست در حوضه کوهستانی کلات در استان خراسان رضوی با استفاده از روش AHP می باشد. در این تحقیق با روش تحلیل سلسله مراتبی، لایه‌های اطلاعاتی لیتولوژی، فاصله از گسل، شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از آبراهه، فاصله ازگسل و کاربری اراضی به عنوان نقشه های عامل در نظرگرفته شدند. همچنین به منظور استخراج مدل پتانسیل توسعه کارست، لایه‌های فوق در محیط GIS فراخوانی شد. لایه های اطلاعاتی مختلف با اعمال قضاوت کارشناسی و بازدیدهای میدانی به صورت نقشه های معیار طبقه بندی شدند. درنهایت با توجه به وزن به دست آمده نقشه پهنه بندی توسعه کارست بدست آمد. نتایج حاصله نشان که از کل مساحت حوضه کلات، ۱۹/۰٤ درصد در طبقه کمتر توسعه یافته، ۲٤/۵۷ درصد در طبقه توسعه نیافته، ٤۲/۰۱درصد در طبقه متوسط و ۱٤/۳۸ درصد در طبقه توسعه یافته قرار گرفته است. از این رو، عامل لیتولوژی منطقه با ارزش ۰/۵۳ بیشترین وزن و مهمترین عامل کنترل کننده پتانسیل توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه بوده است و عامل کاربری اراضی با ارزش ۰/۰۱ کمترین وزن را به خود اختصاص داده است که کمترین تأثیر را در کارست زایی کنونی حوضه به خود اختصاص داده است. نتایج نشانگر آن است که به ترتیب عوامل زمین شناسی، ارتفاع، توپوگرافی و فاصله از آبراهه مهمترین نقش را در توسعه کنونی کارست در این منطقه داشته اند.

کلیدواژگان: ژئومورفولوژی، روش تحلیل سلسله مراتبی، پهنه بندی کارست، حوضه کوهستانی کلات.

۱- دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری(نویسنده مسئول، ایمیل: rezaei.arefi61@yahoo.com).
۲- عضو هیات علمی دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار.
۳- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد.
٤- استادیار زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد .

مقدمه

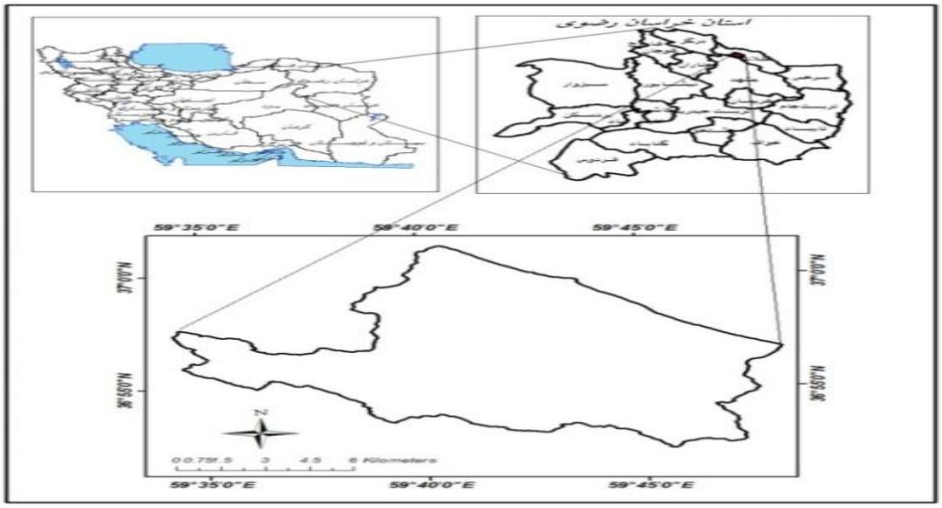
کارست یک سیستم ژئومورفیک و هیدرولوژی است که توسط انحلال سنگهای انحلال پذیر مانند سنگ آهک، دولومیت و ژیپس شکل می‌گیرد (اوزیورت و همکاران[1] ۲۰۱٤). لندفرمهای کارستی عمدتاً در مناطقی با سنگ بستر کربناتی قابل حل به وسیله انحلال شیمیایی آب با اسیدیته کم شکل می‌گیرند (پالمر[2] ٤٥٤:۲۰۰۷). عوامل و فرآیندهای مختلفی، تکامل کارست را تحت تأثیر قرار می‌دهند، توپوگرافی، لیتولوژی و ویژگیهای زمین ساختی به عنوان عوامل منفعل عمل می کنند و فرآیندهای دیگری مانند: زمین ساخت فعال، فرآیندهای هیدرولوژیکی وابسته به اقلیم، انحلال زیستی وابسته به محیط زیست و فرآیندهای ژئومورفولوژی، هوازدگی، شیب، آبراهه ها و یخبندان به طور فعال در توسعه اشکال کارست نقش دارند (کالیک[3] ۳۲:۲۰۱۱). از نظر ژئومورفولوژیست ها به مناطق شگفت انگیز تشکیل شده در سنگ های کربناته، دولومیته و تبخیری در هر ناحیه، پدیده های کارستی یا مجموعه زمین شکل های کارست حقیقی می گویند (لاموركس[4] ۵۱:۲۰۰۷). مناطق گسترده ای از سرزمین های خشک و نیمه خشک غیریخچالی سیاره زمین با سازندهای کربناته مستعد کارست، پوشیده شده و کمابیش ۲۰تا ۲۵ درصد جمعیت کره زمین، بیشتر یا به طور کلی زندگیشان به منابع کارست وابسته است (فورد و ویلیامز[5] ۱:۲۰۰۷) حدود ۲۰ درصد از خشکی های جهان را سنگ های کارستی پوشانده‌اند (فورد و ویلیامز، ۵:۲۰۰۷)، (میلانویچ[6] ۱:۱۹۸۱). در سال ۲۰۱۳ میلادی ۲۸ درصد از جمعیت جهان از منابع آب کارست استفاده می کردند. 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 (بهنیافر و قنبرزاده، ۱۳۹۵: ١٦). سرزمین ایران به دلیل وجود نهشته های کربناته در دوره های مختلف زمین شناسی از پهنه های کارستی شایان توجهی برخوردار است، به طوری که در ایران علاوه بر غارها، توسعه یافته ترین اشکال کارستی یعنی پولیه ها و اشکال مینیاتوری کارستی در حوضه ها (مانند لاپیه-ها) نیز مشهود است. سرزمین های کارستی از دیدگاههای مختلفی بررسی شده‌اند. اهمیت اصلی این پهنه‌ها در حجم قابل توجه آب های زیرزمینی موجود در سازندهای کارستی است. این مخازن آب هم از نظر کمّی و هم از بعد کیفی عموماً مطلوبند و به مصرف شرب می رسند. دیگر اهمیت این پهنه ها در اشکال متنوعی است که در مناطق کارستیک تشکیل می شوند و توسعه می یابند. این موضوع برای سرزمینی مانند ایران که از یکسو به دلیل شرایط اقلیمی از منابع آب کافی برخوردار نیست و از سوی دیگر حدود ۱۳ درصد مساحت آن را سنگهای کربناته می پوشاند اهمیت دارد، چرا که بسیاری از شهرها و روستاهای کشور به شدت به منابع آب کارست وابسته اند(افراسیابیان، ۱۸:۱۳۷۳). همین امر موجب شده است تا به شناسایی و بهره برداری از ذخایر سازندهای کارستی در کشور به طور فزاینده ای توجه شود. در ایران پهنه بندی اشکال کارستی را محققان مختلفی بررسی کرده اند.

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 ١٦٨/٣٧ کیلومترمربع در ١٤٥ کیلومتری شمال شهر مشهد و در استان خراسان رضوی قرار گرفته است که بالاترین نقطه ارتفاعی ۲۷۰۹ متر و حداقل ارتفاع آن ٦٢٠ متر می باشد. از نظر

1- Ozyurt et al
2- Palmer
3- Calic
4- Lamoreaux
5- Ford and williams
6- Milanovic

موقع ریاضی بین ۵۹ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۵۹ درجه و ٤٧ دقیقه طول شرقی و ٣٦ درجه و ٥٢ دقیقه تا ٣٦ درجه و ٥٧ 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

بر اساس طبقه بندی اقلیمی کوپن، آب و هوای این حوضه نیمه خشک می باشد. متوسط دمای سالیانه منطقه برابر با ١٦/٤٩ درجه سانتیگراد و متوسط بارش سالیانه حوضه برابر با ٣١٤ میلیمتر می باشد. کمترین دمای متوسط ماهانه منطقه مربوط به دی ماه برابر با ٣/٥٤ درجه سانتی گراد و بیشترین دمای متوسط ماهانه مربوط به ماه تیر برابر با ٢٨/١٩ درجه سانتی گراد می باشد. همچنین کمترین میانگین حداقل دما مربوط به دی ماه برابر با ٠/٤ درجه سانتی گراد و میانگین حداکثر دمای ثبت شده برابر با ٣٤/٢ 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.

مواد و روشها

این مقاله بر روش میدانی، کتابخانه ای و اسنادی متکی است. نخست با استفاده از نقشه های توپوگرافی، محدوده مورد مطالعه مشخص شد. از نقشه های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ کلات و زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلات جهت استفاده در شناسایی عوارض و سازندها استفاده شد. منابع لایه های کاربری اراضی، ارتفاع، بارندگی و دما از نقشه زمین شناسی ۱/۵۰۰۰۰ توپوگرافی کلات تهیه گردید. در این تحقیق به استناد منابع (تصاویر رقومی سازمان نقشه برداری کشور) و بر اساس درجه اهمیت عوامل مؤثر در توسعه کارست در حوضه کلات فاکتورهای مهم گزینش شدند. با توجه به نقش عوامل مختلف و توسعه کارست در گذشته منطقه و با عنایت به پالئوکلیمای متفاوت گذشته منطقه با وضعیت کنونی و نقش عوامل مختلف در توسعه کارست هشت لایه اطلاعاتی انتخاب شدند. با استناد به مطالعات میدانی و نظر کارشناسان و مشاوران، عامل لیتولوژی به عنوان یک پارامتر مهم در توسعه کارست انتخاب شد و بعد از آن فاصله از گسل با توجه به نقش مهم آن در توسعه درز و شکاف انتخاب گردید. اقلیم و بعد از آن چون ارتفاع به عنوان یکی از پارامترهای فیزیکی نقش مؤثری در میزان وقوع بارندگی، تبخیر و تعرق و دما دارد و یکی از فاکتورهایی است که در طول زمان کمتر دستخوش تغییر قرارگرفته به عنوان عامل مهم و تأثیرگذار بر بارندگی، تبخیر و تعرق و دما در این مطالعه انتخاب شده است. بعد از آن لایه های شیب، فاصله از آبراهه، جهت شیب و کاربری اراضی انتخاب شدند. براساس منابع مطالعاتی موجود از بین عوامل دخیل در تحول کارست، در این پژوهش لایه

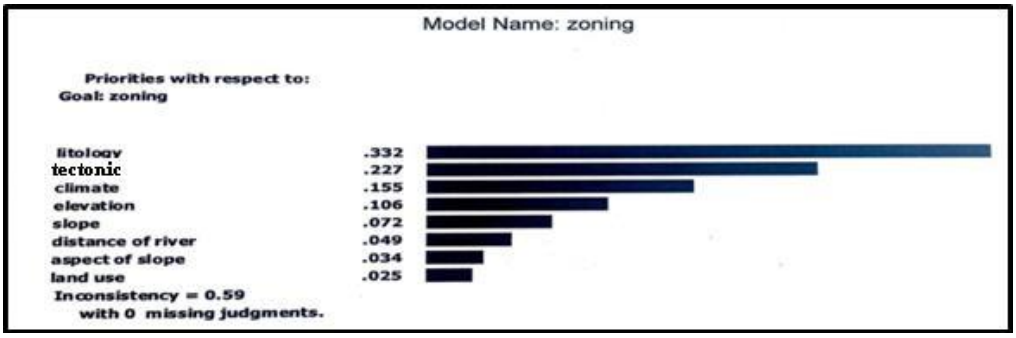
های اطلاعاتی لیتولوژی، فاصله از گسل، اقلیم (بارش و دما)، ارتفاع، شیب، فاصله از آبراهه، جهت شیب و کاربری اراضی به عنوان نقشه های عامل در نظر گرفته شدند و به منظور استخراج مدل پتانسیل توسعه کارست لایه های فوق در محیط GIS فراخوانی شد. لایه‌های اطلاعاتی مختلف با اعمال قضاوت کارشناسی و اختصاص وزن به هر لایه و بازدیدهای میدانی به صورت نقشه‌های معیار طبقه بندی شده است و با توجه به وزن به دست آمده نقشه پهنه بندی توسعه کارست به دست آمد. برای تهیه مدل پتانسیل توسعه کارست لایه‌های اطلاعاتی فوق به نرم افزار Arc GIS 10. 3 معرفی شدند. لایه های اطلاعاتی فوق به صورت نقشه های معیار طبقه بندی شده اند و با توجه به درجه اهمیت هرکدام از پارامترها، رتبه ای از ۱ تا ۹ بر اساس روش ساعتی[1] (ساعتی، ۱:۱۹۸۰) به آنها داده شد. انتخاب این ارزش ها براساس مطالعات صورت گرفته است، بازدیدهای صحرایی و عنایت به کلیمای گذشته و توسعه کارست دیرین منطقه و اعمال نظر کارشناسی و شناخت منطقه بوده است. پس از ارزش دهی به رده های مختلف، به هر یک از لایه ها بر اساس روش کارشناسی و روش AHP وزن مناسبی که مشخص کننده تأثیر هر عامل در درجه توسعه کارست می باشد، به آنها داده شد. لازم به ذکر است که جمع وزن ها عدد ۱ در نظر گرفته شد. در این مورد از نرم افزار EXPERT choice که بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی طراحی شده است، جهت وزن دهی پارامترها استفاده شده است. بعد از آن نقشه رستری هشت پارامتر مذکور در محیط GIS تهیه و هر یک از این نقشه های رستری طبقه بندی شدند.

جدول۱: وزن لایه های اطلاعاتی به روش AHP و اعمال نظر کارشناسی در حوضه کلات

نام لایه	وزن نهایی
لیتولوژی	/۳۳۲
تکتونیک	/۲۲۷
اقلیم	/۱۵۵
ارتفاع	/۱۰۶
شیب	/ .۷۲
فاصله از آبراهه	/ .٤۹
جهت شیب	/ .۳٤
کاربری اراضی	/ .۲۵
جمع	۱

نهایتاً تمام نقشه های رستری طبقه بندی شده در محیط GIS فراخوانی شدند و با دستور Raster Calculator هر پارامتر در وزن به دست آمده در نرم افزار Expert Choice ضرب شدند و نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست بدست آمد که بر اساس هدف به چهار طبقه توسعه یافته، طبقه توسعه متوسط، طبقه توسعه یافته و طبقه توسعه نیافته تقسیم شدند.

1-Saaty



شکل ۲: ضرایب حاصل از مقایسه زوجی معیارهای اصلی موثر در توسعه یافتگی کارست فرایند تحلیل سلسله مراتبی

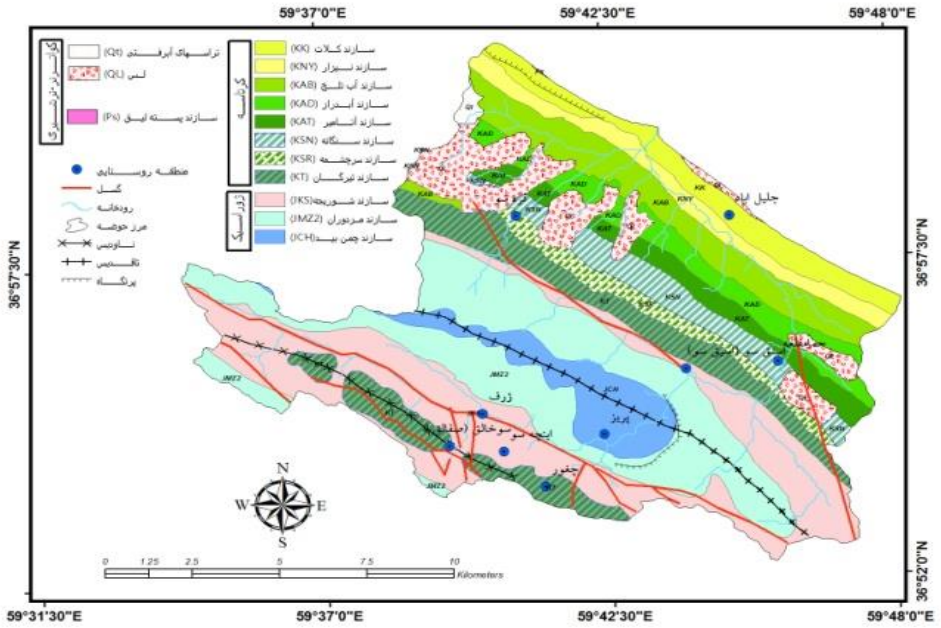
پارامترهای محیطی مورد مطالعه مؤثر بر توسعه کارست منطقه انتخاب شد و نرخ سازگاری ۵۹. /. به دست آمد. بر این اساس به بحث و بررسی پارامترهای محیطی مورد مطالعه مؤثر بر توسعه کارست منطقه که شامل موارد زیر است پرداخته می‌شود:

بحث و یافته های تحقیق

بر این اساس به بحث و بررسی پارامترهای محیطی مورد مطالعه مؤثر بر توسعه کارست منطقه که شامل موارد زیر است پرداخته می‌شود:

عامل لیتولوژی

خصوصیات مختلفی از قبیل میزان رخنمون، ضخامت و خصوصیات لیتولوژیکی سنگهای کارستی و ارتباط با لیتولوژی های دیگر در مقیاس ناحیه ای، کنترل کننده های زمین شناسی توسعه ی کارست را تشکیل می‌دهند (رئیسی و کوثر، ۱۹۹۷). حوضه کوهستانی کلات در بخشی از فلات ایران که از نقطه نظر زمین شناسی ساختاری تحت عنوان زون هزار مسجد- کپه داغ نامیده می‌شود، واقع گردیده است. ویژگی اصلی این زون سیستم ژورایی آن می باشد. در واحدهای زمین شناسی منطقه مورد مطالعه از رسوبات اوایل دوران دوم و سوم و چهارم زمین شناسی وجود دارد .در اوایل کرتاسه پیشروی دریا در کپه داغ صورت می گیرد و در اواخر کرتاسه زیرین به اوج خود می رسد و سپس پسروی آغاز می گردد .این پیشروی و پسروی ها، سنگ بنای سازندهای منطقه را تشکیل می‌دهد و فعالیت بعدی گسلها منجر به ایجاد چین خوردگیها به صورت آنتی کلینال و سنکلینال در منطقه می‌شود. قدیمیترین رخنمونهای این واحدها به دوره ژوراسیک مربوط می‌شود (سازند چمن بید) و وسیع ترین گسترش رخنمون ها متعلق به سازندهای مزدوران و شوریجه می باشد. سازندهای آهکی عمده حوضه مورد مطالعه، تیرگان، مزدوران، کلات و بخشی ازسرچشمه می باشد. در حوضه مورد مطالعه مجموعاً ۱۳ واحد سنگ چینه ای مشخص شده است.



شکل ۳: نقشه زمین شناسی حوضه کوهستانی کلات (نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلات) وزارت صنایع و معادن سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

مطالعات زمین شناسی در مناطق کارستی، باتوجه به نقش زیاد نوع لیتولوژی در توسعه کارست اهمیت زیادی دارد. وجود سنگهای انحلال پذیر که دارای ضخامت مناسبی باشند، یکی از پیش شرط های توسعه سرزمین های کارستی می باشد. وجود یک لایه با نفوذناپذیری کم نیز در زیر لایه نفوذپذیر باعث می‌شود که انحلال به یک لیتولوژی خاص معطوف شده و تشکیلات کارستی توسعه یابند. در پژوهش حاضر واحدهای زمین شناسی به ۱۳ طبقه دسته بندی شده اند. طبق طبقه بندی آهک ضخیم لایه االیتی تیرگان، آهک مزدوران و کلات برای پتانسیل کارست زایی بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است. بعد از آن به ترتیب سرچشمه و شوریجه، چمن بید، نیزار، آبداز، آب تلخ، پسته لیق، لس و آبرفت های کواترنر قرارگرفته اند. در جدول شماره ۲، توزیع سازندهای کربناته و غیرکربناته به مساحت و درصد آمده است.

جدول ۲ : توزیع و نسبت سازندهای کربناته و غیرکربناته در حوضه کوهستانی کلات

ردیف	نام سازند	مساحت سازند به کیلومترمربع	نوع سازند	مساحت سازند به درصد
۱	چمن بید (JCh)	۱۰/۱۰	کربناته- مارن	۵/۹۹
۲	مزدوران۲ (Jmz2)	۳۵/۷۵	کربناته-آهکی	۲۱/۲۳
۳	شوریجه (JkS)	۳٦/٦۱	غیر کربناته-ماسه سنگ	۲۱/۷٤
٤	تیرگان (KT)	۱۸/۱۸	کربناته-آهکی	۱۰/۷۹
٥	سرچشمه (KSR)	٤/۸٦	غیر کربناته- شیل	۲/۸۸
٥	سنگانه (KSN)	٦/۹٥	غیر کربناته- شیل	٤/۱۲
٦	آتامیر (KAT)	٦/۰۸	غیر کربناته-ماسه سنگ	۳/٦۱
۷	آبدراز (KAD)	۷/۲۲	کربناته-گل سفید	٤/۲۸
۸	آب تلخ (KAB)	۱۳/۱٥	کربناته-مارن	۷/۸
۹	نیزار (KNY)	٦/۹٥	غیرکربناته-ماسه سنگ	٤/۱۲

۱۰	کلات (KK)	۸/۹۷	کربناته-آهکی	۵/۳۲
۱۱	پسته لیق (Ps)	۰/۰۱۹	غیرکربناته-ماسه سنگ و کنگلومرا	۰/۰۱۱
۱۲	لس (QL)	۱۲/۹۳	غیرکربناته	۷/٦۷
۱۳	تراسهای آبرفتی (Qt)	۰/٦۵	غیر کربناته	۰/۳٦

عامل فاصله از گسل

علت اصلی نفوذپذیری سنگهای کربناته، وجود درزه هاست که امکان ورود آب و جریان یافتن آن را به داخل توده سنگ فراهم می کند. طی فرآیندهای تکتونیکی با ایجاد درزه ها در توده سنگی، کارستی شدن در جهت‌های عمودی، افقی و یا مایل گسترش پیدا می کند و شکل گیری اشکال زیرزمینی مانند مجاری به هم پیوسته و تشکیل آبخوان های کارستی به سیستم درزه های موجود وابسته است (قبادی، ۱۳۸۸ :٤٦). شکستگی ها و ساختارهای تکتونیکی که اصطلاحاً خطواره نیز نامیده می‌شوند، به دلیل ایجاد فضاهایی در سازندها و واحدهای زمین شناسی جهت عبور آب و حرکت آن به نقاط پایین تر درون زمین نقاط ضـــعیفی تلقی می شـــوند که اهمیت آنها در سازندهای سخت و آهکی بیشتر است (محمودی، ۱۳۸۵). بنابراین به عنوان پارامتر مثبتی جهت پتانسیل توسعه کارست در نظرگرفته می شود. منطقه مورد مطالعه در یکی از نواحی به نسبت فعال تکتونیکی شمال شرق کشور واقع شده که به تبع آن گسل هایی با امتداد تقریبی شمال غربی- جنوب شرقی به وجود آمده اند. وجود درزه‌های سنگ های آهکی رابطه مستقیمی با گسل های منطقه دارد. در وزن دهی به لایه گسل، فرض اصلی بر این استوار است که میزان توسعه یافتگی کارست در مناطق نزدیک به گسل بیشتر است و وزن بیشتری را به خود اختصاص می دهد و مناطق دور از خطوط گسل وزن کمتری را به خود اختصاص داده است. فاصله از گسل در پنج طبقه برای محدوده مورد مطالعه تهیه گردید (شکل۳) که تا حریم ۱۰۰متری بیشترین وزن را به خود اختصاص داد یعنی بیشتر مستعد توسعه کارست می باشد و حریم بیشتر از ۳۰۰ متر کمترین وزن را به خود اختصاص داد، یعنی کمترین پتانسیل را در منطقه برای توسعه کارست دارا می باشد.

عامل بارندگی

یکی از مهمترین عوامل توسعه کارست اقلیم و در رأس آن بارندگی می باشد. بارندگی، منبع اولیه تأمین کننده آب زیرزمینی در هر منطقه می باشد. ارتباط بارندگی با ایجاد آب زیرزمینـی به وسیله فاکتورهایی مانند توپوگرافی، پوشش گیاهی و لیتولوژی کنترل می شود، این فاکتورها بر مقدار آبی که به درون زمین نفوذ می کند، مؤثر هستند. با توجه به اینکه حجم بارش در توسعه کارست و پتانسیل آبهای کارستی نقش بسـزایی دارد، اقدام به تهیه لایه اطلاعاتی بارش گردید. هرچه بارندگی بیشتر باشد شرایط برای توسعه کارست فراهم تر می باشد. به عبارتی بارندگی بالای ۳۰۰ میلیمتر شرایط مساعدی را برای توسعه کارست در یک منطقه دارد. بارندگی، منبع اولیه تأمین کننده آب زیرزمینی در هر منطقه می باشد. ارتباط بارندگی با ایجاد آب زیرزمینـی به وسیله متغیرهایی مانند توپوگرافی، پوشش گیاهی و لیتولوژی کنترل می شود، این فاکتورها بر مقدار آبی که به درون زمین نفوذ می کند، مؤثر هستند. با توجه به اینکه حجم بارش در توسعه کارست و پتانسیل آبهای کارستی نقش بسـزایی دارد، اقدام به تهیه لایه اطلاعاتی بارش گردید. در حوضه مورد مطالعه لایه بارندگی به چهار طبقه کاملا مناسب با بارش بالای ٤۰۰ میلیمتر، مناسب با بارش ٤۰۰-۳۰۰ میلیمتر، نسبتاً مناسب با بارندگی ۳۰۰-۲۰۰ میلیمتر و نامناسب با بارندگی ۲۰۰-۱۰۰ میلیمتر تقسیم شده است، (شکل ٤ب).

عامل دما

یکی دیگر از عوامل مهم در توسعه کارست دما می باشد. هر چه دما پایین تر باشد امتیاز بالاتری را در توسعه کارست می گیرد. لایه دما به چهار طبقه تقسیم شده است که بر اساس محاسبه میانگین دمای ایستگاههای مجاور صورت گرفته است. بالاترین امتیاز را دمای بین ۹-۷ به خود اختصاص داد. بعد از آن ۱۱-۹ درجه سانتیگراد و سپس ۱۳-۱۱ و بالای ۱۳ درجه سانتیگراد به ترتیب بقیه امتیازات را در توسعه کارست به خود اختصاص دادند. (شکل ٤ ج).

عامل ارتفاع

یکی از پارامترهای فیزیکی که نقش مؤثری در میزان وقوع بارندگی، تبخیر و تعرق، دما و پو شش گیاهی دارد، ارتفاع است. به طورکلی توپوگرافی نقش مؤثری در تغذیه و تخلیه و برونزد چشمه های کارستی دارد. با افزایش ارتفاع در یک منطقه پتانسیل توسعه کارست به دلیل افزایش گرادیان هیدرولیکی، افزایش می‌یابد. با افزایش ارتفاع، میزان دما کاهش و میزان بارش افزایش می یابد. بیشترین تحول یافتگی کارست در سطوح ارتفاعی بالا با شـــرط خلوص آهک مشـــاهده می شـــود. از اینرو نقش زیادی در توســـعه یافتگی فرآیند کارســـت دارد (زروش و همکاران، ۱٤۹:۱۳۹۳). نقشـــه رســـتری طبقات ارتفاعی حوضـــه مورد مطالعه با اســـتفاده از دســـتور Breaks Natural در ArcGIS 10. 3 در طبقه به دست آمد (شکل ٤د). حد ارتفاعی که دارای بیشترین مساحت است با مساحت ۹۷/۳۳ کیلومتر مربع در ترازهای ارتفاعی ۱۳۰۰-۱۰۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. کمترین مساحت نیز مربوط به ترازهای ارتفاعی کمتر از ۲۵۰۰متر است که دارای مساحت ٤/٤٤ کیلومترمربع است.

عامل شیب

از دیگر فاکتورهای توپوگرافی مؤثر که گرادیان هیدرولیکی و جهت حرکت آب زیرزمینی را تعیین می کند، شیب توپوگرافی یا شیب سطح زمین می باشد. میزان شیب هم در میزان رواناب حاصل از بارش و هم در میزان نفوذ آب به داخل زمین و عمل انحلال توسط بارش نقش مؤثری ایفا می کند (زروش و همکاران، ۱۳۹۳ :۱۵۰). برای تهیه این لایه ابتدا مدل رقومی ارتفاعی منطقه از روی نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ کلات تهیه و سپس لایه شیب استخراج و به شیب کمتر امتیاز بیشتری اختصاص داده شد. نقشه نهایی شیب منطقه مورد مطالعه در ۹ طبقه از کلاس ۲ درصد تا بیشتر از ٤۰ درصد براساس دستور نقاط شکست طبیعی در ArcGIS 10. 3 بدست آمد (شکل ٤ر). شـــیب توپوگرافی یک عامل مهم کنترل کننده ســـیســـتم جریان آب زیرزمینی اســـت. باتوجه به مبانی نظری، شیب های کم و مناطق مسطح بیشترین پتانسیل را در کارستی شدن دارند. در حوضه مورد مطالعه شیب ۱۵-۰ در قلمرو شیب کم می‌باشند. گسترش پدیده کارست درشیب های کم به دلیل تماس بیشتر آب با آهک بیشتر بوده و پدیده انحلال در این شیب ها تشدید می شود. جدول شماره ۳ مساحت طبقات شیب منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد. در وزن دهی با توجه به این که در شیب های کم، فرصت نفوذ بیشتر است، ارزش بیشتری داده شده **است**.

جدول ۳ : درصد مساحت طبقات شیب منطقه مورد مطالعه

ردیف	طبقات شیب	مساحت به کیلومتر مربع	درصد مساحت هر طبقه
۱	۰ -۲	۱/۷۹	۱/۰٦۰
۲	۲-۵	۸/٤٦	۵/۰۲
۳	۵-۱۰	۳۰/۳۹	۱۸/۰٤
٤	۱۰-۱٤	۲٤/٤۲	۱٤/۵۱
۵	۱٤-۱۹	۲۸/۸٤	۱۷/۱۲
٦	۱۹-۲۳	۲۱/۸۰	۱۲/۹٤
۷	۲۳-۳۰	۳۲/۳۰	۱۹/۱۸
۸	۳۰-٤۰	۱۹/۳٤	۱۱/۵۰
۹	بیشتر از ٤۰	۰/۹۲	/٦۳.

عامل فاصله از آبراهه

ارتباط بین نسبت آب نفوذی و رواناب به وسیله قابلیت نفوذ کنترل می شود و قابلیت نفوذ خود به نوع سنگ و شکستگی های موجود در سنگهای زیرسطحی بستگی دارد (سپند و همکاران، ۱۳۸٦). نوع شبکه زهکشی هر منطقه توسط لیتولوژی واحدهای زمین شناسی، توپوگرافی و ساختارهای تکتونیکی و زمین شناسی منطقه کنترل می شود. از عوامل مهم در پتانسیل کارست زایی، هیدرولوژی، تراکم آبراهه ها و فاصله از آنهاست که هرچه میزان تراکم آبراهه بالا باشد و فاصله از آبراهه کم باشد میزان توسعه و تخریب کارست بیشتر خواهد بود. وزن دهی به این صورت می باشد که در مکان هایی که تراکم آبراهه بالا و فاصله از آبراهه کم است وزن بیشتری به خود اختصاص می‌دهد چون فرایند کارستی شدن بیشتر خواهد بود و هرقدر فاصله از آبراهه بیشتر و تراکم کمتر شود، میزان توسعه و تخریب کارست کمتر خواهد بود. شکل شماره ۹ تراکم آبراهه های منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد. فاصله از آبراهه برای منطقه مورد مطالعه به پنج دسته طبقه بندی شده که هرچه فاصله از آبراهه کمتر، وزن بیشتری به خود اختصاص داده است. فاصله از آبراهه تا ۱۰۰ متری بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است یعنی بیشتر مستعد توسعه کارست می باشد و فاصله بیشتر از ۳۰۰ متر کمترین وزن را به خود اختصاص داده اســـت یعنی کمترین پتانســـیل را در منطقه برای توســـعه کارســـت دارد. در این بین باید به نقش پالئوکلیمای منطقه نیز توجه داشت که معمولاً در مناطق کوهستانی مرتفع امروزی در دوره های یخبندان کواترنری گسترش یخچال ها و متلاشی شدن بر اثر یخبندان (برفساب)[1]بر تخریب و تحول مناطق کارســـتی تأثیرگذار بوده اســـت و برای این منطقه با توجه به ارتفاع بالا و عرض جغرافیایی آن باید مطالعات تکمیلی صورت گیرد (شکل ٤).

عامل جهت شیب

تأثیر جهت شـیب بر روی تنوع پوشـش گیاهی و بعضـی فرآیندهای هیدرولوژیک مثل ذوب برف اهمیت دارد (علیزاده، ۱۳۸۹:۵۱۳). بهترین جهت ها به منظور توسعه یافتگی کارست، جهت های پشت به آفتاب می باشند. باتوجه به اهمیت کیفیت تابش نور خورشـــید در تأمین انرژی مورد نیاز مناطق، جهت گیری دامنه ها نقش مهمی در این ارتباط دارد. با توجه به مبانی نظری و بررسی های دیگر و مصاحبه با کارشناسان، شیب های کم و مناطق هموار بیشترین پتانسیل را در کارستی شدن دارند. مناطق با جهت های شمالی، شرقی و شمال شرقی بیشترین امتیاز و وزن

1- Nivation

را به خود اختصاص می دهند و بهترین جهت ها به منظور توسعه یافتگی کارست هستند. جهت های پشـــت به آفتاب به دلیل تبخیر کمتر و ماندگاری بیشـــتر برف به دلیل کمبود نور آفتاب زمینه مســـاعدتری برای توسعه کارست دارند (یمانی و همکاران، ۱۳۹۲: ۵۹). در تهیه نقشه نهایی همین امر لحاظ شده است (شکل ن٤). در منطقه مورد مطالعه، جهت جغرافیایی شمال شرق با ۲۸/۱۰ درصد بیشترین مساحت و جهت هموار با ۰/۰۵۱ درصد، کمترین مساحت حوضه را به خود اختصاص داده اند (جدول ٤و).

جدول ٤: درصد مساحت جهات شیب منطقه موردمطالعه

ردیف	جهات شیب حوضه	مساحت به کیلومتر مربع	مساحت به درصد
۱	هموار	۰/ ۸۷	۰/ .۵۱
۲	شمال	۱۵/۵۸	۹/۲۵
۳	شمال شرق	٤۷/۳۲	۲۸/۱۰
٤	شرق	۱۹/۰۷	۱۱/۳۲
۵	جنوب شرق	۱۲/۲۱	۷/۲۵
٦	جنوب	۱٤/۵٤	۸/٦۳
۷	جنوب غرب	۱۹/۸۳	۱۱/۷۷
۸	غرب	۹/۲٦	۵/٤۹
۹	شمال غرب	۱٤/۳٦	۸/۵۲
۱۰	شمال	۱۰/۹۷	٦/۵۱

عامل کاربری اراضی

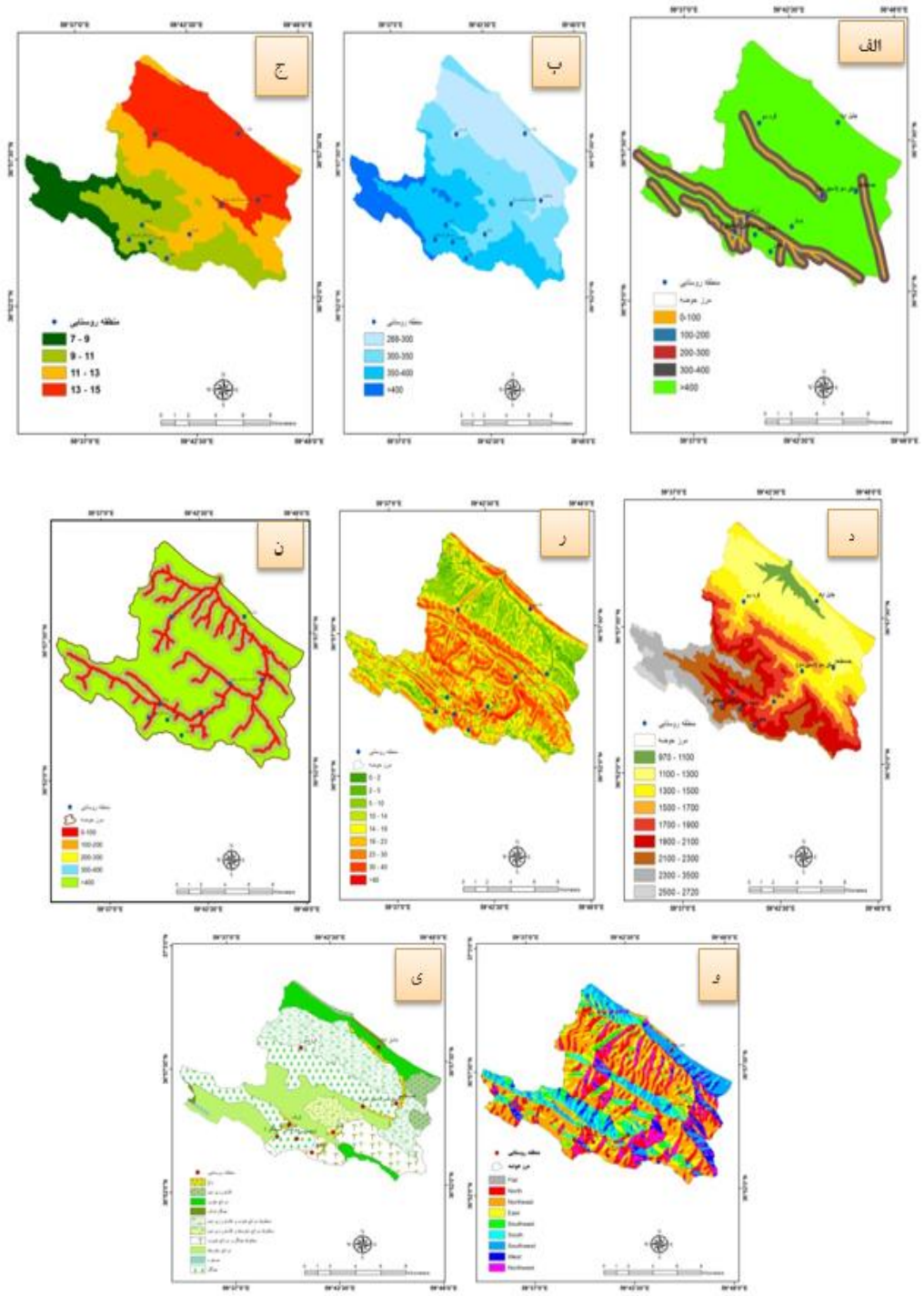
برای بررسی میزان قابلیت پوشش زمین و کاربری اراضی جهت پتانسیل کارست زایی در محدوده موردنظر، از نقشه کاربری اراضی استفاده شده است. نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه از روی نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ کلات استخراج شد. بیشترین وزن به مراتع، جنگل، کشاورزی، صخره و باغ داده شد (جدول ۵) و(شکل ٤ی).

جدول ۵ : مساحت کاربری اراضی حوضه مورد مطالعه

کاربری اراضی	مساحت هر طبقه به کیلومتر مربع	درصد مساحت هر طبقه
باغ	۳/۳۳	۱/۹۷
جنگل	۳۹/۳۹	۲۳/۳۹
جنگل تنک	۱/۱۸	۰/۷۰
جنگل و مرتع خوب	۱۹/۹٤	۱۱/۸٤
صخره	۰/۷۰	۰/۳۹
کشاورزی دیم	۷/٤۷	٤/۳٦
مراتع خوب و کشاورزی دیم	٤۰/٤۲	۲٤
مراتع متوسط و کشاورزی دیم	۷/۷٦	٤/٦۰
مراتع خوب	۱۵/٦۸	۹/۳۱
مراتع متوسط	۳۲/۷٤	۱۹/٤٤

جدول شماره ۵ مساحت کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. به ترتیب با توجه به میزان تأثیر آنها در کارست زایی منطقه مورد مطالعه، بیشترین وزن به ترتیب به جنگل، مراتع، کشاورزی، صخره و باغ داده شد (جدول ۵) و (شکل ٤ی). دلیل اینکه بیشترین وزن به جنگل اختصاص یافته این است که ترشح اسید فولیک از طریق ریشه در جنگل خیلی بیشتر از بقیه موارد است. جدول ۵ مساحت کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. طبق

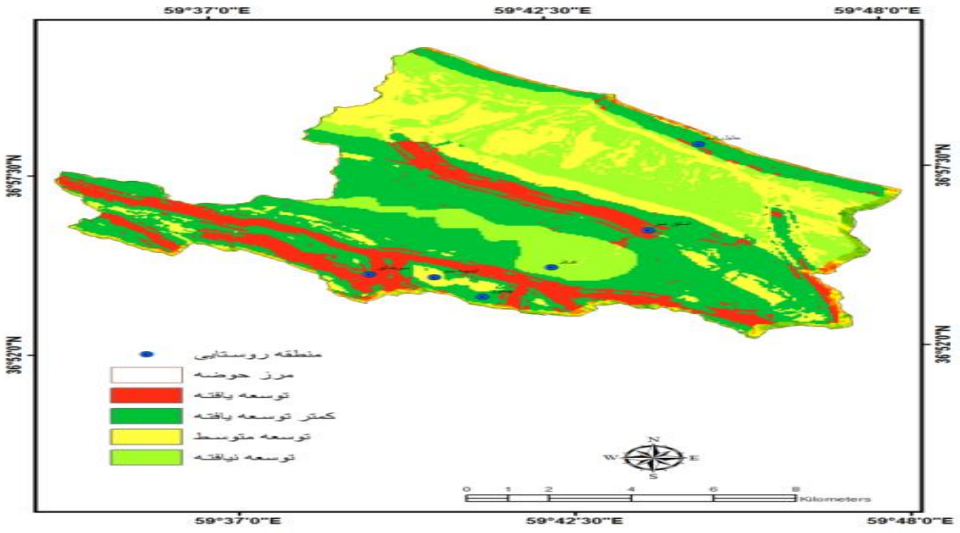
جدول ۵ بیشترین مساحت به جنگل اختصاص یافته و کمترین مساحت به صخره اختصاص یافته است. با توجه به محدود بودن منطقه مورد مطالعه علاوه بر نقشه های توپوگرافی، مشاهدات میدانی نیز در استخراج کاربری ها دخالت داده شده است.



شکل٤: الف) نقشه حریم خطوط گسلی در منطقه مورد مطالعه (برحسب متر)، ب) نقشه هم باران حوضه کلات، ج) : نقشه هم دمای حوضه کلات، د) نقشه طبقات ارتفاعی حوضه مورد مطالعه (برحسب متر)، ر) : نقشه شیب منطقه مورد مطالعه برحسب درصد، ن): نقشه حریم خطوط آبراهه ای منطقه موردمطالعه (برحسب متر)، و) نقشه جهت شیب حوضه مورد مطالعه، ی) نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

نقشه نهایی پهنه بندی توسعه کارست با روش تحلیل سلسله مراتبی

نقشه نهایی پهنه بندی حوضه کوهستانی کلات با استفاده از لایه های رستری زمین شناسی، فاصله از گسل، دما، بارندگی، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، ارتفاع و فاصله از آبراهه با ترکیب وزن های به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی با هر لایه و همپوشانی آنها در محیط GIS به دست آمد. بر اساس اصول مبانی کارست و مشاهدات میدانی، نقشه نهایی حاصل از پهنه بندی به چهار طبقه : توسعه نیافته، کمتر توسعه یافته، توسعه متوسط و توسعه یافته طبقه بندی شد. شکل شماره ۵ نقشه نهایی پهنه بندی توسعه کارست و جدول شماره ٦ مساحت و درصد طبقات توسعه کارست به روش تحلیل سلسله مراتبی را نشان می دهد که از کل مساحت حوضه کلات، ۱۹/۰٤ درصد در طبقه کمتر توسعه یافته، ۲٤/۵۷ درصد در طبقه توسعه نیافته، ٤۲/۸۸درصد در طبقه متوسط و ۱٤/۳۸ درصد در طبقه توسعه یافته قرار گرفته است. ازاین رو، عامل لیتولوژی منطقه با ارزش ۰/۵۳ بیشترین وزن و مهمترین عامل کنترل کننده پتانسیل توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه بوده است و عامل کاربری اراضی با ارزش ۰/۰۱ کمترین وزن را به خود اختصاص داده است که کمترین تأثیر را در کارست زایی کنونی حوضه به خود اختصاص داده است. نتایج نشانگر آن است که به ترتیب عوامل زمین شناسی، اقلیم، ارتفاع، توپوگرافی و فاصله از آبراهه مهمترین نقش را در توسعه کنونی کارست در این منطقه داشته‌اند.

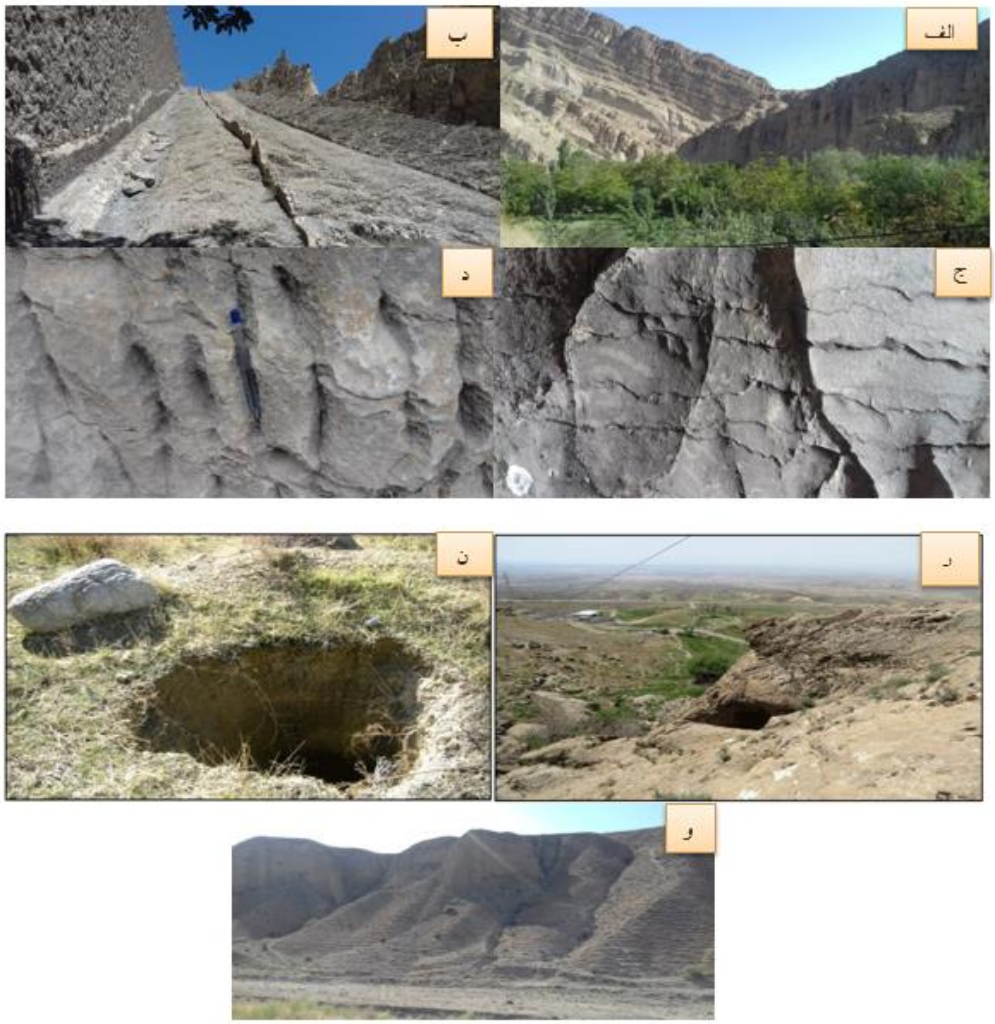


شکل ۵ : نقشه پهنه بندی توسعه کارست حوضه مورد مطالعه

جدول ٦ : مساحت و درصد طبقات توسعه کارست به روش AHP

یف	طبقه	مساحت به کیلومترمربع	درصد مساحت طبقات
۱	توسعه نیافته	۳۹/٦۹	۲٤/۵۷
۲	کمتر توسعه یافته	۳۰/۳۸	۱۹/۰٤
۳	توسعه متوسط	٦۷/۱۲	٤۲/۰۱
٤	توسعه یافته	۲۳/۱۲	۱٤/۳۸

در ذیل نمونه ای از لندفرمهای کارستی در حوضه کوهستانی کلات که توسط نگارندگان گرفته شده است از نظر می گذرد :



شکل٦ : الف)تنگ یا گورج کارستی(توسعه یافته)، ب)کریدور کارستی(توسعه متوسط)، ج)ماندر کارن(کمتر توسعه یافته)، د)ریلن کارن(کمتر توسعه یافته)، ر) غار(توسعه یافته)، ن)دولین(توسعه متوسط) و) سولیفلکسون پای دامی(توسعه نیافته) در حوضه کوهستانی کلات (عکس از نگارندگان : بازدید های میدانی سال ۹۷).

نتیجه گیری

هدف از این پژوهش شناسایی و پهنه بندی پتانسیل توسعه کارست در حوضه کوهستانی کلات در شمال شرق ایران در استان خراسان رضوی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی می باشد. بر اساس اصول مبانی کارست و مشاهدات میدانی و یافته های دیگر، هشت پارامتر به عنوان عوامل مؤثر بر توسعه کارست در منطقه در نظرگرفته شد که نتایج حاصل به صورت نقشه ای با چهار کلاس توسعه کارست: کارست توسعه نیافته، کمتر توسعه یافته، توسعه متوسط و توسعه یافته استخراج گردید. از کل مساحت حوضه کلات، ۱۹/۰٤ درصد در طبقه کمتر توسعه یافته، ۲٤/۵۷ درصد در طبقه توسعه نیافته، ٤۲/۰۱ درصد در طبقه متوسط و ۱٤/۳۸ درصد در طبقه توسعه یافته قرار گرفته است. ازاین رو، عامل لیتولوژی منطقه با ارزش ۰/۵۳ بیشترین وزن و مهمترین عامل کنترل کننده پتانسیل توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه بوده است و عامل کاربری اراضی با ارزش ۰/۰۱ کمترین وزن را به خود اختصاص داده است که کمترین تأثیر را در کارست زایی کنونی حوضه به خود اختصاص داده است. نتایج نشانگر آن است که به ترتیب عوامل زمین شناسی، اقلیم، ارتفاع، توپوگرافی و فاصله از آبراهه مهمترین نقش را در توسعه کنونی کارست در این منطقه داشته‌اند. با

توجه به بازدیدهای میدانی زیادی که نگارنده گان به حوضه مورد مطالعه داشته اند با مشاهده اشکال و فرایندهای کارستیفیکاسیون مشخص شد که اولاً حوضه مورد مطالعه از لحاظ درجه کارستی جوان تا نیمه تکاملی می باشد و ثانیاً مساحت سازندهای کربناته در این حوضه بالا نمی باشد و این یک دلیل محکم بر توسعه متوسط کارست در منطقه می باشد. جهت کنترل صحت و سقم مدل به ساندهای کربناته حوضه و مشاهدات میدانی و انطباق آنها بر روی زمین توجه ویژه شده است. در بررسی عوامل هفتگانه : به لحاظ لیتولوژی سازندهای مزدوران، تیرگان و کلات، سازندهای آهکی حوضه می باشند که مساحت آنها ٤٥/٣٢ درصد از کل مساحت حوضه را به خود اختصاص داده اند که بالاترین امتیاز را در توسعه کارست دارا بودند. به لحاظ فاصله از گسل بالاترین امتیاز در بافر ۱۰۰-۰ متر از گسل واقع شده است. به لحاظ فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه ای نیز بالاترین امتیاز در بافر ۱۰۰-۰ متری آبراهه واقع است. فاصله کمتر با آبراهه و تراکم بیشتر آبراهه ای توسعه بیشتر کارست را نشان می دهد. به لحاظ جهت شیب نیز جهت های شمال، شرق و شمال شرق با ۳۵/۵ درصد بالاترین امتیاز را برای توسعه کارست دارا بودند. به لحاظ طبقات ارتفاعی : ارتفاع ۲۵۰۰-۲۰۰۰ متر بالاترین امتیاز در توسعه کارست و کمتر از ۱۰۰۰ متر کمترین امتیاز را دارا بود. به لحاظ شیب، شیب ۵-۰ بالاترین امتیاز و شیب بالاتر از ٤٠ درصد کمترین امتیاز را دارا بودند زیرا هرچه شیب کمتر باشد توسعه کارست بیشتر خواهد بود. عامل بارندگی بین ٤٠٠-۳۰۰ بالاترین امتیاز و عامل دما با ۱۰-۰ درجه بالاترین امتیاز را دارا بودند. در کل عامل لیتولوژی منطقه با ارزش ۰/۵۳ بیشترین وزن و مهمترین عامل کنترل کننده پتانسیل توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه است و عامل کاربری اراضی با ارزش ۰/۰۱ کمترین وزن را به خود اختصاص داده است که کمترین تأثیر را در کارست زایی کنونی حوضه به خود اختصاص داده است.

منابع

۱-افراسیبیان، احمد(۱۳۷۳). اهمیت مطالعات و تحقیقات منابع کارست در ایران، مجموعه مقالات دومین همایش جهانی آب در سازندهای کارستی، کرمانشاه-تهران.

۲- بهنیافر، ابوالفضل‌و قنبرزاده، هادی(۱۳۹۵). ژئومورفولوژی‌کارست، مشهد، انتشارات نگاران سبز.

۳- باقری‌سید شکری، سجاد، یمانی، مجتبی، جعفربیگلو، منصور، کریمی، حاجی و مقیمی، ابراهیم (۱۳۹٤). بررسی توسعه یافتگی و ویژگیهای هیدرودینامیکی سامانه‌های کارستی با استفاده از تجزیه‌و تحلیل منحنی فرود هیدروگراف در آبخوان های کارستی حوضه رودخانه الوند، مجله پژوهشهای جغرافیای طبیعی، دوره ٤٧، شماره ۳، صص ۳٤٦-۳۳۳.

٤- بهرامی، شهرام، زنگنه‌اسدی، محمدعلی‌و 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 ۷٤-٦۱.

۵- خانلری، غلامرضاومؤمنی، علی اکبر(۱۳۹۱). ژئومورفولوژی، هیدروژئولوژی و مطالعه فاکتورهای مؤثر برتوسعه کارست در منطقه گرین، غرب ایران، جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای، شماره ۳، صص ۷٤-٦۱.

٦- خضری، سعید، شهابی، هیمن و محمدی، سارا(۱۳۹٦). 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.

۷ - زروش، ناهید، واعظی، عبدالرضا و کریمی، حاجی(۱۳۹۳). ارزیابی پتانسیل توسعه کارست در تاقدیس کبیر کوه استان ایلام با استفاده از تلفیق فازی و روش تحلیل سلسله مراتبیAHP و سنجش ازدور و GIS، مجله پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، سال ۳، شماره ۳، صص ۱٤٤-۱۵۷.

۸- سپند، ساحل، چیتسازان، منوچهر، رنگزن، کاظم و میرزایی، یحیی(۱۳۸٦). تلفیق سنجش ازدور و GIS در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی محدوده لالی، همایش ژئوماتیک تهران.

۹- قربانی، محمدصدیق‌واونق، محمد(۱۳۹۱).. پهنه‌بندی تحول و حساسیت کارست با استفاده از مدل رگرسیون خطی چند متغیره در منطقه کارستی شاهو، مجله پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، شماره ۱، صص۳۲-۱۹

۱۰- علیزاده، امین(۱۳۸۹). اصول‌هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام‌رضا، چاپ سیام، مشهد، ایران.

۱۱- قبادی، محمدحسین(۱۳۸۸). زمین شناسی مهندسی کارست، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۱۲- قبادی، محمدحسین و بهزاد تبار، پریا (۱۳۹۵). ارزیابی توسعه کارست براساس ویژگیهای لیتولوژیکی، مورفولوژیکی و ساختاری در منطقه بیدسرخ، شرق صحنه، شرق استان کرمانشاه، مجله یافته های نوین زمین شناسی کاربردی، سال ۱۰، شماره ۲۰ صص ۹۱-۷٦.

۱۳- قره‌خوانی، مریم، واعظی، عبدالرضا و بهرامیان، ابراهیم(۱۳۹۲). بررسی توسعه کارست و غارهای کارستی در استان آذربایجان شرقی، سی‌و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، مشهد، ایران.

۱٤- محمودی، فرج الله، (۱۳۸۵). ژئومورفولوژی ساختمانی، چاپ هشتم، انتشارات پیام نور.

۱۵- مزیدی، احمد، کرم، امیرو کوراوند، مژگان(۱۳۹۵). پتانسیل یابی توسعه کارست با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی : حوضه دشت سوسن و دشت ایذه)، مجله پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، سال پنجم، شماره ۲، صص ۱٤۱-۱۳۰.

۱٦- ملکی، امجد، شوهانی، داود و علایی طالقانی، محمود(۱۳۸۹). پهنه‌بندی تحول کارست در استان کرمانشاه، - فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۳، شماره۱، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۱۷- مرادی، صمد، رضایی، محسنو پرهمت، جهانگیر (۱۳۸۹). بررسی تأثیر عوامل مختلف در توسعه کارست پهنه های کارستی زاگرس، بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین، بهمن، تهران، ایران.

۱۸- یمانی، مجتبی، شمسی پور، علی اکبر، جعفری اقدم، مریم و باقری سید شکری، سجاد (۱۳۹۲). بررسی عوامل مؤثر در توسعه یافتگی و پهنه‌بندی کارست حوضه چله با استفاده از منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی، استان کرمانشاه، مجله علوم زمین سال، شماره ۲۲، صص ٦٦-۵۷ .

19-Calic, J. ,(2011). Karstic uvula revisited: Toward a redefinition of the term, Geomorphology, Vol. 134, No. 1, pp. 32-42

20-Chenini, I. , Ben M. A. , 2010, Groundwater Recharge Study in Arid Region: An Approach Using GIS Techniques and Numerical Modeling, Computers & Geosciences36: 801-817

21-Ford, D. , & Williams, P. D. (2007). Karst hydrogeology and geomorphology. West Sussex, England: John Wiley & Sons

22-Hung, L. Q. , Dimr, N. Q. , Tam, V. T. , Lagrou, D. , 2002, Remote sensing & GISbased analysis of cave development in the Suoimuoi Catchment (Son La- NW Vietnam). Journal of cave & Karst

23- Lamoreaux, P. E. , 2007, Karst: the foundation for concepts in hydrogeology. Bull Eng Geol Environ, 51. Studies, Vol. 64, No. 1, pp. 23-33.

24- Milanovic, P. J. (1981). Karst hydrogeology. Colorado, CO: Water Resources ublications

25- Palmer, A. N. , (2007). Cave Geology: Dayton, Ohio, Cave Books, p. 454.

26- Mishra, R. C. , Biju, C. , Naik, R. D. , 2010, Remote Sensing and GIS for Groundwater Mapping and Identification of Artificial Recharge Sites, Geo-environmental Engineering and Geotechnics: Progress in Modeling and Applications. Proceedings of Sessions of GeoShanghai China. 216-223.

27- Ozyurt, N. N. , Lutz, H. O. , Hunjak, T. , Mance, D. & Roller-Lutz, Z. , 2014. Characterization of the Gacka River basin karst aquifer (Croatia): Hydrochemistry, stable isotopes and tritium-based mean residence times. Science of The Total Environment, 487, pp 245–254.

28- Rao, P. J. , Harikrishna P. , Srivastav S. K. , Satyanarayana P. V. V, Rao B. V. D. , 2009, Selection of groundwater potential zones in and around Madhurawada DomeVisakhapatnam District A GIS approach, Jurnal Ind Geophys Union. 13 (4) :191-200.

29- Saaty, T. L. , 1980, The Analytic Hierarchy Process, Mcgraw _ Hill, Inc. , Reprinted By RWS Publications, Pittsburgh

30- Tirla, L. , Vijulie, I. , 2013, Structural–tectonic controls and geomorphology of the karst corridors in alpine limestone ridges: Southern Carpathians, Romania. Journal Geomorphology, Vol. 197, pp. 123–136.

31-White, W. B. , (1988). Geomorphology and hydrology of karst terrains, Oxford University press.

32- Zeng, S. , Jiang, Y. and Liu, Z. , 2016. Assessment of climate impacts on the karstrelated carbon sink in SW China using MPD and GIS. Global and Planetary Change, Vol. 144, pp. 171-181.