Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیستم، شماره‌ی ۷۱
پاییز ۱۳۹۹، صفحات ۷۴-۴۹

محسن رضائی‌عارفی [۱]
محمدعلی زنگنه اسدی [۲]
ابوالفضل بهنیافر [۳]
محمد جوانبخت [٤]

شناسایی درجه کارستی شدن حوضه کوهستانی کلات در شمال شرق ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۱۱

چکیده

شناخت درجه کارستی شدن یک حوضه کارستی اهمیت زیادی از نظر مدیریت منابع آب و گردشگری در یک منطقه دارد. هدف از این پژوهش شناسایی درجه کارستی شدن حوضه کارستی کلات می‌باشد. کارست‌های حوضه کلات از نوع کارست‌های جوان تا نیمه تکاملی می‌باشد. روش و تکنیک کار از نوع تجربی، میدانی و تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد. نتایج تحقیق نشان داد با استفاده از شواهد میدانی، تنوع لند فرم‌ها نسبتا کم، نهشته‌های غاری وجود ندارد، غارها توسعه‌یافته نیستند. در مراحل تکامل کارست با استفاده از روش والتهام و فوکس، حوضه در مرحله جوانی قرار دارد. با استفاده از روش سویجیک کارست در مرحله انتقالی قرار دارد. با استفاده از معادله تجربی کوربل، فرسایش کارستی عدد ۲۳/٦٦ میلی‌متر در هزار سال و با روش سوئیتینگ فرسایش کارستی عدد ۱۲/۹۲ میلی‌متر در هزار سال را نشان می‌دهد که وضعیت نیمه تکاملی کارست را نشان می‌دهد. با استفاده از تکنیک‌های آزمایشگاهی کلسیمتری، ICP و بررسی وزنی میزان درصد آهک در سازندهای کربناته به‌ترتیب ۳٦/۳ درصد،۳۸ درصد و ۳۹/۳ درصد به‌دست آمد که نشان از خلوص نسبتا پایین آهک در سازندهای کربناته حوضه می‌باشد که

۱- دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
*۲- گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری ، سبزوار ، ایران. (نویسنده مسئول). E-mail: ma.zanganehasadi@hsu.ac.ir
۳- گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، مشهد، ایران.
٤- گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، مشهد، ایران.

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024

نشان دهنده درجه تکامل کارست به سمت جوانی می‌باشد. در نهایت با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی، از کل مساحت حوضه کلات ۱۹/۰٤ درصد در طبقه کم‌تر توسعه‌یافته، ۲٤/۵۷ درصد در طبقه توسعه‌نیافته، ٤۲/۸۸ درصد در طبقه متوسط و ۱٤/۳۸ درصد در طبقه توسعه‌یافته قرار گرفته است که با توجه به وسعت پایین مناطق توسعه‌یافته کارست حوضه، مرحله جوانی را نشان می‌دهد.

کلید واژه‌ها: درجه کارستی شدن، حوضه کوهستانی کلات، تکنیک‌های ژئومورفولوژی و تجربی، تحلیل سلسله مراتبی.

مقدمه

کارست یک سیستم ژئومورفیک و هیدرولوژی است که توسط انحلال سنگ‌های انحلال‌پذیر مانند سنگ آهک، دولومیت و ژیپس شکل می‌گیرد (Osiourt et al., 2014: 254). لند فرم‌های کارستی عمدتاً در مناطقی با سنگ بسترکربناتی قابل حل به‌وسیله انحلال شیمیایی آب با اسیدیته کم شکل می‌گیرند (Palmer, 2007: 254). عوامل و فرآیندهای مختلفی، تکامل کارست را تحت تأثیر قرار می‌دهند، توپوگرافی، لیتولوژی و ویژگی‌های زمین ساختی به‌عنوان عوامل منفعل عمل می‌کنند و فرآیندهای دیگری مانند: زمین‌ساخت فعال، فرآیندهای هیدرولوژیکی وابسته به اقلیم، انحلال زیستی، وابسته به محیط‌زیست و فرآیندهای ژئومورفولوژی، هوازدگی، شیب، آبراهه‌ها و یخبندان به‌طور فعال در توسعه اشکال کارست نقش دارند (Calic, 2011: 32). از نظر ژئومورفولوژیست‌ها به مناطق شگفت‌انگیز تشکیل شده در سنگ‌های کربناته،دولومیته و تبخیری در هر ناحیه، پدیده‌های کارستی یا مجموعه زمین شکل‌های کارست حقیقی می‌گویند (Lamorx, 2007: 51). مناطق گسترده‌ای از سرزمین‌های خشک و نیمه‌خشک غیریخچالی سیاره زمین با سازندهای کربناته مستعد کارست، پوشیده شده و کمابیش ۲۰ تا ۲۵ درصد جمعیت کره زمین، بیش‌تر یا به‌طور کلی زندگی‌شان به منابع کارست وابسته است (Ford & Williams, 2007: 1) حدود ۲۰ درصد از خشکی‌های جهان را سنگ‌های کارستی پوشانده‌اند. (Milanovic, 1981: 1) در سال ۲۰۱۳ میلادی ۲۸ درصد از جمعیت جهان از منابع آب کارست استفاده می‌کردند. طبق آخرین تحقیقات صورت گرفته حدود ۱۳ درصد مساحت ایران را سازندهای کربناته تشکیل می‌دهند که حدود ۸ درصد از منابع آب ایران از منابع آب کارست استفاده می‌شود که در تأمین آب شرب کشور نقش بسیار مهمی دارند (Behniafar &Ghanbarzadeh, 2016: 16). Behniafar et al (2009) در مقاله خود با استفاده از تکنیک‌های تجربی به بررسی ویژگی‌های ژئومورفیک توده کارستی اخلمد در دامنه‌های شمالی ارتفاعات بینالود پرداختند و پدیده‌های ژئومورفیک در حوضه مورد مطالعه را شناسایی و ژئومتری کردند و فرآیندهای مؤثر در شکل‌گیری کارست در منطقه را تحلیل نمودند. Khanleri & Mo'meni (2012) ژئومورفولوژی، هیدروژئولوژی و مطالعه متغیرهای مؤثر بر توسعه کارست در منطقه گرین در غرب ایران را بررسی کردند و با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، میدانی، نقشه زمین‌شناسی، ژئوشیمی و ردیابی

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024

آب‌های زیرزمینی به این نتیجه رسیدند که ژئومورفولوژی کارست در منطقه گسترش قابل توجهی دارد و آب اکثر چشمه‌ها به‌صورت بیکربنات کلسیت–منیزیم می‌باشد. Yamani et al (2013) در مقاله خود با عنوان بررسی عوامل موثر بر توسعه یافتگی و پهنه‌بندی کارست چله با استفاده از منطق فازی و AHP در استان کرمانشاه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مناطق توسعه کارست ۲۲/۵ درصد از مساحت حوضه را به خود اختصاص داده است و مناطق توسعه متوسط ۳٤ درصد از مساحت کل حوضه را به‌خود اختصاص داده‌اند. Bahrami et al (2016) به ارزیابی توسعه کارست با استفاده از ویژگی‌های هیدرودینامیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی در تاقدیس قلاجه و توده پراو بیستون زاگرس پرداختند. نتایج پژوهش مذکور نشان‌دهنده‌ی ارتباط نزدیک بین لیتولوژی و شکستگی‌ها با رفتار هیدرولوژی سیستم آب زیرزمینی در زاگرس چین‌خورده و عدم ارتباط نزدیک بین شکستگی و لیتولوژی در سیستم رورانده بوده است. Bagheri Syed Shukry (2015) در پژوهشی با عنوان بررسی توسعه‌یافتگی و ویژگی‌های هیدرودینامیکی سامانه‌های کارستی با استفاده از تجزیه‌وتحلیل منحنی فرود هیدروگراف در آبخوان‌های کارستی حوضه رودخانه الوند پرداختند و به این نتیجه رسیدند که درجه توسعه کارست و ویژگی‌های هیدرودینامیکی آبخوان‌ها تحت تأثیر تفاوت‌های محلی در عوامل مؤثر بر توسعه کارست و ژئومورفولوژی کارست متفاوت است. سه عامل ژئوموفولوژی کارست سطحی، فیزیوگرافی حوضه‌های تغذیه کننده آبخوان‌ها و ارتفاع، به‌ترتیب بیش‌ترین اثر را بر ویژگی‌های هیدرودینامیکی و درجه توسعه کارست آبخوان‌های حوضه الوند دارند. Maghsoudi et al (2016) در پژوهشی به ارزیابی عوامل مؤثر در توسعه و پهنه‌بندی کارست در منطقه پالنگان در استان کردستان با استفاده از روش‌های منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی پرداخته‌اند. آن‌ها در پژوهش مذکور جهت بررسی توسعه کارست از هشت فاکتور شامل گسل، شیب، جهت شیب، ارتفاع، رودخانه، پوشش گیاهی و اقلیم استفاده نمودند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بخش‌های جنوبی و غربی منطقه مورد مطالعه به علت وجود شبکه گسلی متنوع و شرایط آب و هوایی مرطوب دارای بیش‌ترین پتانسیل توسعه کارست بودند ولی بخش‌های شمالی و شرقی به دلیل عدم وجود تشکیلات آهکی و شرایط آب‌وهوایی نیمه مرطوب دارای کم‌ترین پتانسیل توسعه کارست بودند. Khezri et al (2017) در پژوهش خود به ارزیابی و پهنه‌بندی تحول کارست حوضه آبریز غار سهولان مهاباد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی پرداختند Zanganeh Asadi et al (2016) به ارزیابی میزان فرسایش کارستی با استفاده از روش‌های میدانی و آزمایشگاهی در حوضه آهکی فهلیان فارس پرداختند که نرخ سالیانه آن را ٤۸ میلی‌متر در هزار سال برآورد نمودند.

با توجه به اهمیت مناطق کارستی، پژوهش‌های به نسبت جامعی در جهان در رابطه با توسعه کارست صورت گرفته است که در این میان می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: در مطالعات تحول مناطق کارستی Hung et al (2002) با استفاده از تکنیک RS و GIS موقعیت و رابطه تشکیل غار با زون شکستگی در منطقه کارستی حوضه سیومیو، واقع در شمال‌غربی ویتنام را بررسی کردند. آن‌ها در مطالعه تحول کارست جهت استخراج خطواره‌ها از باند پانکروماتیک سنجنده ETM با سایر باندها استفاده کردند و نشان دادند که زون شکستگی، محل مناسب جهت توسعه غار است،

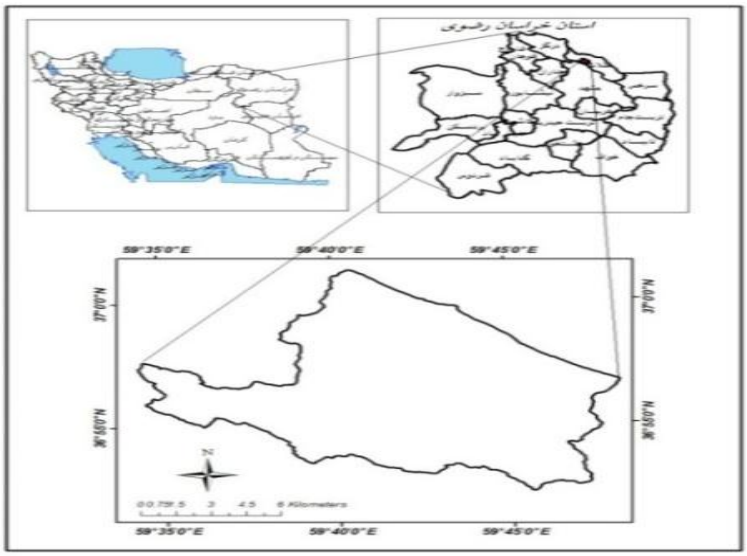
Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024

همچنین نشان دادند، فاصله بین غارها و گسل‌ها به‌خوبی انطباق بین رخداد غارها و زون شکستگی‌ها را مشخص می‌سازند.Rao et al (2009) از نقشه‌های هیدروژئومورفولوژی و هیدروژئولوژیکی برای محاسبه پتانسیل منابع آب در منطقه Visakhapatnam در هند استفاده کردند و پتانسیل منطقه را به کلاس‌های از خیلی فقیر تا خوب تقسیم کردند. Chenini & Mamo (2010) به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های عددی توان بازیابی منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک را مورد مطالعه قرار داده‌اند Mishra et al (2010). با استفاده از داده‌های سنجش از دور و تکنیک GIS، زمین‌شناسی، کاربری اراضی و مشخصات ژئومورفیک پتانسیل منابع آب زیرزمینی در حوضه رودخانه باهاما را تعیین نموده‌اند. Gunn (2013) در مقاله خود با استفاده از تکنیک‌های تجربی میزان و شدت فرسایش کارستی را مورد بررسی و تحلیل قرار داد و به این نتیجه رسیدند که فرمول‌های تجربی نظری می‌توانند حداکثر میزان فرسایش رواناب (مازاد آب)، دما و غلظت دی اکسید کربن را پیش‌بینی کنند اما اندازه‌گیری‌های میدان نشان می‌دهد که فرسایش به‌ندرت در حداکثر سرعت عمل می‌کند و در فضاهای مختلف متفاوت می‌باشد. zeng et al (2016) به ارزیابی تأثیرات آب‌وهوایی بر روی کربن موجود در مناطق کارستی جنوب غربی چین در بازه زمانی ۲۰۱۳-۱۹۷۰ با استفاده از روش انحلال بالقوه حداکثر (MPD) و GIS پرداختند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که کربن موجود در مناطق کارستی می‌تواند به تغییرات آب‌وهوایی آینده، سریع واکنش نشان دهد. Krklec et al (2016) در پژوهشی به بررسی نرخ جاری برهنه سازی در سنگ دولومیت در یک منطقه در اسپانیای مرکزی: پیامدها برای تشکیل غارهای روباز پرداختند و نتایج مطالعاتشان نشان داد که در فصل سرد و مرطوب هوازدگی افزایش می‌یابد. در این پژوهش با توجه به مطالعات انجام شده خارجی و داخلی و با توجه به وجود نقش پالئوکلیما و تفاوت زیاد اقلیم دیرین این منطقه با آب‌وهوای حاکم کنونی در درجه کارستی شدن کارست در منطقه به بررسی درجه کارستی شدن حوضه با شواهد میدانی، تجربی و مدل تحلیل سلسله مراتبی پرداخته شد.

محدوده مورد مطالعه

حوضه کوهستانی کلات در زون کپه داغ می‌باشد که در ارتفاعات هزار مسجد و شمال‌شرق کشور واقع شده است. این حوضه با وسعت ۱۶۸/۳۷ کیلومترمربع 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 می‌باشد. 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. مهم‌ترین راه‌های دسترسی به این حوضه از مسیر مشهد به کلات، درگز به کلات و سرخس به کلات می‌باشد.

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

figure 1: Location map of the study area

بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن، آب‌وهوای این حوضه نیمه‌خشک می‌باشد. متوسط دمای سالیانه منطقه برابر با ۱۶/۴۹ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارش سالیانه حوضه برابر با ۳۱۴ میلی‌متر می‌باشد. کم‌ترین دمای متوسط ماهانه منطقه مربوط به دی ماه برابر با ۳/۵۴ درجه سانتی‌گراد و بیش‌ترین دمای متوسط ماهانه مربوط به ماه تیر برابر با ۲۸/۱۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین کم‌ترین میانگین حداقل دما مربوط به دی ماه برابر با ۰/۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداکثر دمای ثبت شده برابر با ۳۴/۲ درجه سانتی‌گراد مربوط به تیر ماه می‌باشد. کاهش دما در منطقه از اوایل پاییز شروع شده و با آغاز بهار و فروردین دوباره دمای هوا روند افزایشی پیدا می‌کند.

این مقاله بر روش میدانی، کتابخانه‌ای و اسنادی متکی است. نخست با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، محدوده مورد مطالعه مشخص شد. از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ کلات و زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلات، عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰ بلوک ۱ و مشهد، جهت استفاده در شناسایی عوارض و سازندها استفاده شد. همچنین با استفاده از دستگاه‌های GPS و متر جهت مشخص کردن مختصات و ژئومتری کردن عوارض استفاده شد.

تکنیک‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل تکنیک‌های میدانی، تجربی و سلسله مراتبی می‌باشد که به تفکیک به آن‌ها اشاره می‌شود:

۱- شواهد میدانی

شواهد میدانی شامل روش‌های سویجیک، و التهام و شواهد ژئومورفولوژی می‌باشد. در ذیل، مشروح شواهد میدانی آورده می‌شود:

الف) طبقه‌بندی اشکال کارستی حوضه کلات بر اساس روش سویجیک

در این طبقه‌بندی، کارست‌ها طبق جدول ذیل به سه دسته تقسیم می‌شوند:

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024

جدول ۱- تقسیم‌بندی اشکال کارستی بر اساس تقسیم‌بندی سویجیک (۱۹۲۵:۱۸۰)

Table 1- Classification of karst forms based on Swedish division (1925: 180)

نوع کارست	نوع سنگ	چهره سطح زمین	اشکال کارستی	توسعه کارست
کارست کامل (Holokarst)	سنگ‌های آهک با انحلال بالا	کاملا سنگی و بدون پوشش گیاهی	پدیده‌های سطحی و عمقی کارست	بسیار بالا
کارست ناقص (Merokarst)	سنگ‌های غیرآهکی، آهک با خلوص کم	پوشش گیاهی – خاک‌های غیر آهکی	اشکال کارستی ناقص، فقدان ماکرو کارست	خیلی کم
کارست انتقالی (Transitional Karst)	ترکیبی از لایه‌های آهکی بین لایه‌های نازکی از سازندهای غیرآهکی	ترکیبی از آهک و سایر سازندها–پوشش گیاهی پراکنده	کارست زیرزمینی، میکروکارست، دولین‌های ناقص، فقدان پولیه‌ها	گسترش اشکال زیرزمینی، شکل‌گیری کند کارن‌ها و عدم گسترش پولیه

ب) تقسیم‌بندی اشکال کارستی براساس روش والتهام و فوکس

تقسیم‌بندی دیگری از کارست‌ها، توسط Waltham and fokes (2010) صورت گرفته که اساس طبقه‌بندی آن را میزان بلوغ و نرخ تکامل‌یافتگی کارست در نظر گرفته‌اند. طبق این تقسیم‌بندی، اشکال کارستی ایجاد شده در سنگ‌های کربناته، می‌تواند از مرحله جوانی تا مرحله پیری کامل یا بیش‌ترین تکامل یافتگی را در برگیرد. معیارها و شاخص‌های این طبقه‌بندی در جدول (۲) مشاهده می‌شود.

جدول ۲- طبقه‌بندی اشکال کارستی براساس روش والتهام و فوکس (۲۰۱۰)

Table 2- Classification of karst forms based on Waltham and Fox method (2010)

نوع کارست شدگی	محیط یا قلمرو	وضعیت درز و شکستگی‌ها	اشکال ژئومورفیک و درجه توسعه
مرحله نوجوانی	در قلمروهای بیابانی و ارتفاعات با سازندهای کربناته ناخالص یا سیلیکاته	درزه‌های بسیار ریز و باریک با میزان انحلال شدگی کم	نفوذپذیری به دلیل تخلخل ثانویه بسیار کم، مادر غارهای نخستین در این غارها دیده می‌شود و اشکال سطحی مانند کارن‌های کندوئی پراکنده هستند.
کارست جوان یا مرحله جوانی	در مناطق معتدل و قلمروهای نیمه‌خشک به‌ویژه در ارتفاعات	درزه‌ها کوچک ولی بسیار متراکم هستند و دولین‌های کوچک به وجود آمده‌اند.	کارن‌های کندوئی و شیاری در سطح سنگ متراکم‌تر می‌شود و به خاطر شکاف‌های بسیار کوچک، غارهای کوچکی با طول کم‌تر از ۳ متر تشکیل می‌شود. سنگ آهک ممکن است لایه‌ای ولی پرضخامت باشد.

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024

ادامه جدول ۲- طبقه‌بندی اشکال کارستی براساس روش والتهام و فوکس (۲۰۱۰)

Continue of Table 2- Classification of karst forms based on Waltham and Fox method (2010)

نوع کارست شدگی	محیط یا قلمرو	وضعیت درز و شکستگی‌ها	اشکال ژئومورفیک و درجه توسعه
کارست بالغ یا مرحله بلوغ	در مناطق معتدل و کوهستان‌های نواحی حاره‌ای قابل مشاهده است ولی ممکن است در آهک‌های مزوزوئیک در قلمروهای نیمه‌خشک وجود داشته باشد.	شکاف‌ها عریض‌تر شده و تخلخل ثانویه زیاد است	دولین‌های کوچک تبدیل به سنگ چاله‌های بزرگ انحلالی گردیده و غارهایی با ابعاد ۵ متر در ترازهای مختلف سنگ به وجود می‌آید. اشکال کارستی در سطح و عمق توسعه می‌یابند.
کارست تکامل یافته یا مرحله پیری	در محیط معتدل و گرم و به‌ویژه در قلمروهای حاره‌ای مشاهده می‌شود.	درزه‌های انحلالی بزرگ همراه با تخلخل ثانویه توسعه‌یافته	وجود کارست‌های پیناکل، غارهای چندطبقه‌ای با سیستم زهکشی تکامل‌یافته در کارست زیرین
کارست فوق تکاملی یا مرحله بسیار پیر	در محیط حاره‌ای مرطوب و ارتفاعات منطقه استوائی دیده می‌شود. همچنین در کارست‌های زیرآبی به وجود می‌آیند.	سیستم درزو شکاف به‌صورت شدیدا انحلالی با فراخ شدگی شدید	سنگ چاله‌های بسیار بزرگ، وجود سینک هول‌های مدفون شده، غارهای تکامل‌یافته با گالری‌ها و تالارهای بزرگ با طول چند کیلومتر، فرم‌های توفا و غارهای خشک بسیار قدیمی در توده سنگ تشکیل می‌شود.

ج) شواهد ژئومورفولوژی کارست حوضه کوهستانی کلات

یکی دیگر از تکنیک‌های شناخت درجه کارستی شدن در مناطق کارستی شواهد میدانی و ژئومورفولوژی می‌باشد که در حوضه مورد مطالعه چندین نوبت در سال ۱۳۹۷، این بازدیدها صورت گرفت. با استفاده از دستگاه GPS مختصات دقیق لند فرم‌ها مشخص شده و بر روی نرم‌افزار GIS علامت‌گذاری گردیدند. بوگلی[5]، کارست شناس برجسته آلمانی راه شناخت درجه کارستی شدن یک حوضه کارستی را در تنوع لند فرم‌ها، وجود نهشته‌های غاری از قبیل استالاگمیت و استالاکتیت، توسعه غارها و هیدرولوژی کارست می‌داند.

۲) فرمول‌های تجربی کارست

به‌طور کلی فرمول‌های تجربی معیار بسیار مناسبی جهت شناخت فرسایش کارستی و درجه تکامل کارست می‌باشند. دو فرمول مشهور کوربل و سوئیتینگ جهت شناخت درجه فرسایش کارست و درجه تکامل کارست در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است.

الف) معادله کوربل

یکی از مناسب‌ترین معادلات تعیین نرخ فرسایش انحلالی، معادله کوربل[6] می‌باشد که به‌صورت ذیل ارائه شده است:

$$X=4ET/100$$

که در آن X: مقدار انحلال سنگ‌آهک به میلی‌متر در هر هزار سال (m3km-2a-1)، E: مقدار رواناب (dm)، T: میانگین حجم CaCo3 آب به (mgl-1). این معادله به‌ویژه در مناطقی که اشکال سطحی کارست وجود دارد، یکی از مناسب‌ترین روش‌های محاسبه تعیین نرخ فرسایش انحلالی در هر حوضه کارستی است. برای استفاده از فرمول باید توجه داشت که میزان چگالی سنگ‌های کربناته بین ۱/۵ تا ۲/۹ باشد و برای دولومیت‌ها حتما مقدار سختی آب و

5- Bogli
6- Corbel

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024

دما اندازه‌گیری شوند تا میزان انحلال از طریق بارش به‌دست آید و برای تعیین سنگ‌های سولفاته مقدار +Ca2 و سختی سنگ‌های کربناته اندازه‌گیری شوند. Corbel (1959) بعد از بررسی‌های مفصل نتیجه‌گیری نمود که شرایط کارستی شدن در شرایط آب‌وهوای سرد، با بارش غالبا برف سریع‌تر از مناطقی است که دارای آب‌وهوای گرم می‌باشد. طبق نظر کوربل نرخ فرسایش، اعم از مکانیکی و شیمیایی در کوهستان‌های کم ارتفاع با بارش ۱۰۰۰ تا ۱۶۰۰ میلی‌متر و در شرایط آب‌وهوای سرد برابر ۱۶۰ میلی‌متر در ۱۰۰۰ سال است و در همین مدت در شرایط آب‌وهوای گرم این میزان ۱۰ برابر کم‌تر و فقط ۱۶ میلی‌متر می‌باشد. در مناطق نسبتا هموار با بارش ۳۰۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر و آب‌وهوای سرد، میزان فرسایش ۴۰ میلی‌متر در ۱۰۰۰ سال است و در رژیم آب و هوایی گرم این میزان فقط ٤ میلی‌متر در ۱۰۰۰ سال می‌باشد (Zanganeh Asadi, 2015: 85).

ب) معادله سوئیتینگ

محاسبات گوناگونی برای تعیین مقدار پایین آمدن سطح کارست بر اثر انحلال انجام گرفته است. این محاسبات بدون در نظر گرفتن انحلال عمقی و وجود اسیدهای آلی (یعنی بر اساس قانون هنری دالتون[۷] درباره جذب گاز انجام شده است)، یکی از متداول‌ترین آن‌ها به شرح ذیل است (Sweeting, 1972):

$$X=FQTN/(10^{12} \times AD)$$

در اینجا X = مقدار انحلال برحسب میلی‌متر در هزار سال در زمان معین، Q = تخلیه حوضه زهکشی به مترمکعب، A = مساحت حوضه زهکشی برحسب کیلومترمربع، T = سختی تخلیه آب (بخش در میلیون یا P.P.M)، D= چگالی سنگ، 1/n = قسمتی از حوضه که آهک در آن رخنمون دارد، F = ضریب ثابتی که به واحدهای استفاده نشده بستگی دارد (در سیستم متریک این ضریب ثابت برابر ۱۰۰۰ است).

۳) تکنیک‌های آزمایشگاهی جهت بررسی انحلال کارست حوضه

فن‌هایی آزمایشگاهی جهت شناخت فرسایش انحلالی و درجه تکامل کارست کاربرد زیادی دارند. سه تکنیک مهم آزمایشگاهی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است عبارتند از: کلسیمتری،ICP و روش بررسی وزنی

الف) اندازه‌گیری آهک در رسوب به روش کلسیمتری (حجم‌سنجی) با کلسیمتر برنارد

رسوب‌های آهکی فراوان‌ترین رسوب‌های شیمیایی هستند و اغلب با مواد دیگر خصوصا رس و یا ماسه مخلوط و خیلی کم به‌صورت خالص دیده می‌شوند. مثل‌دولومیت که ترکیبی از آهک و منیزیم است (Zanganehasadi, 2014: 43). اساس اندازه‌گیری آهک را انحلال[۸] آن در اسیدکلریدریک تشکیل می‌دهد و از راه گاز Co^2 حاصل، طبق رابطه زیر مقدار آهک موجود در رسوب را نشان می‌دهد (Yamani, 2015: 219).

$$CO_3Ca + 2ClH = Cl_2 + CO_2 + H_2O$$

مقدار کربنات کلسیم از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

7- Henry-Dalton
8- Solution

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024

$$0/0\ CaCo3 = \frac{.015\times V1\times 100}{V2\times P}$$

که در آن:

V1: حجم گاز متصاعد شده برای نمونه خاک

V2: حجم گاز متصاعد شده برای نمونه شاهد

P: نمونه وزن (gr)

کلسیمتر برنارد دستگاهی است که حجم گاز کربنیک حاصل از مقدار معینی کربنات کلسیم را در مقدار معینی از رسوب، معلوم می‌دارد. اگر برروی رسوب حاوی آهک، مقدار معینی اسید کلریدریک اضافه شود، در نتیجه تجزیه آهک موجود در رسوب به جوش آمده و گاز Co_2 از آن متصاعد می‌شود. با تعیین حجم گاز متصاعد شده می‌توان به‌طور غیرمستقیم درصد کربنات کلسیم یا آهک موجود در رسوب را تعیین کرد (Yamani, 2014: 129).

مواد و وسایل لازم: اسید کلریدریک ۶ نرمال، نمونه رسوبی، ترازو، دستگاه کلسیمتر (گازومتر)، بشر، ارلن، لوله آزمایش.

شرح کار: مقدار یک گرم رسوب را در ارلن ریخته و اسید را در یک ظرف مخصوص به شکل لوله آزمایش ریخته و در داخل ارلن بر روی رسوب قرار می‌دهیم بدون اینکه اسید روی رسوب واژگون شود، سپس باید دستگاه کلسیمتر را با بالا و پایین کردن مخزن یا بورت مدرج، روی صفر تنظیم کرد. برای جلوگیری از خروج گاز تولید شده باید سرپوش پلاستیکی یا چوب‌پنبه‌ای را روی درب ارلن گذاشته و سپس اسید را روی رسوب واژگون می‌کنیم. در این شرایط کربنات کلسیم موجود در رسوب با اسید کلریدریک ٦ نرمال واکنش نشان داده و Co_2 آزاد می‌شود. فشار $Co_۲$ آزاد شده باعث پایین بردن سطح آب در بورت مدرج می‌شود .در این حالت، حجم درون مخروط شیشه‌ای را با بورت مدرج هم راستا کرده تا Co_2 آزاد شده تحت تراکم نباشد، ارلن را به آرامی با دست تکان داده تا تمام CO_2 شود و آب بر روی یک عدد، ثابت بماند، سپس سطح آب تحت فشار گاز از روی جداره تیوب بورت مدرج قرائت می‌شود. در این پژوهش به‌منظور بررسی میزان فرسایش سالیانه در محدوده مورد مطالعه نیاز به آنالیز آزمایشگاهی داشتیم. به‌منظور کلسیمتری و مقدار آهک موجود در نمونه سنگ آهک از سازند آهکی تیرگان، سرچشمه، کلات و مزدوران ۲ از هر سازند یک نمونه سنگ با چکش اسمیت از محل دیواره‌ها کندیم. سپس مقدار معینی آهک را در هاون آزمایشگاهی پودر نمودیم و سپس ۵/۵ گرم از آن را در ارلن مخصوص کلسیمتری ریخته و مقداری اسید هیدروکلریدریک به آن اضافه نموده و اقدام به اندازه‌گیری حجم گاز متصاعد شده در دستگاه کلسیمتر برنارد نمودیم.

ب) روش ICP[9] (پلاسمای جفت شده‌ی القایی آنالیز عنصری)

طیف‌سنجی پلاسما جفت شده القایی از جمله روش‌های طیف‌سنجی اتمی است که در آن اتمی شدن عناصر (Atomization) به کمک محیط گرم پلاسما صورت می‌پذیرد. این روش در مقایسه با روش‌های دیگر، روشی

9- Inductively Coupled Plasma

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024

حساس‌تر، با حد تشخیص بهتر و تکرارپذیری بالاتر است. این روش یکی از مهم‌ترین روش‌های دستگاهی آنالیز عنصری است. از این روش می‌توان برای اندازه‌گیری حدود ۷۰ عنصر از جدول تناوبی با حدود تشخیص در حد ppb در نمونه‌های مختلفی مانند نمونه‌های خاک، آب، فلزات، سرامیک‌ها و نمونه‌های آلی استفاده کرد. اساس این روش برانگیختگی الکترون‌های عناصر مختلف در محیطی به نام پلاسما و نشر نور بعد از حالت آسایش الکترونی است و به دلیل تطبیق‌پذیری و تکرارپذیری، می‌توان نتایجی با دقت و صحت بالا به‌دست آورد. این محیط به‌وسیله امواج رادیویی با توان بالا ایجاد می‌شود. یکی از مزایای مهم این روش تکرارپذیری بالا و نیز امکان اندازه‌گیری هم‌زمان چند عنصر باهم می‌باشد. پلاسما جفت‌شده القایی از یک مشعل با سه لوله متحدالمرکز از جنس کوارتز تشکیل شده است. درون هر لوله گاز آرگون (با سرعت جریان‌های متفاوت) جهت خنک کردن و همچنین انتقال نمونه به درون پلاسما جریان دارد. نمایی از مشعل و سایر اجزا ICP در شکل (۱) آورده شده است.

ج) روش بررسی وزنی

بررسی وزنی نسبت به تکنیک کلسیمتری روش ساده‌تری است و به این صورت است که یک کیلوگرم سنگ آهک را آسیاب کرده، مجددا آن را وزن می‌کنیم تا کسری آسیاب آن معلوم شود، مقداری محلول اسید تهیه و آن را نیز وزن می‌کنیم. سنگ آهک آسیاب شده را در اسید می‌جوشانیم. در این صورت باقیمانده سنگ آهک مورد نظر را کاملا در دستگاه آون خشک می‌کنیم. چنانچه باقیمانده صفر درصد باشد معنی آن این است که سنگ آهک نمونه دارای صد در صد آهک بوده است و اگر وزن خشک باقیمانده مثلا ۳۰۰ گرم باشد به معنی این است که سنگ آهک نمونه مورد نظر دارای ۷۰ در صد آهک است و الی آخر (Moghimi & Mahmoudi, 2004: 205).

٤) مدل تحلیل سلسله مراتبی

یکی دیگر از تکنیک‌های شناخت درجه تکامل کارست یک حوضه مدل تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد. اساس این مدل مقایسه زوجی پارامترها می‌باشد و در نهایت به پهنه‌بندی تحول کارست می‌پردازد. با توجه به نقش عوامل مختلف و توسعه کارست درگذشته 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 در رساله دکتری، عامل لیتولوژی به‌عنوان 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 ارتفاع از فاکتورهایی است که به‌عنوان عامل مهم و تأثیرگذار بر بارندگی، تبخیر و تعرق و دما در این مطالعه انتخاب شده است. بعد از آن لایه‌های، شیب، فاصله از آبراهه، جهت شیب و کاربری اراضی انتخاب شدند. لایه‌های اطلاعاتی مختلف با اعمال قضاوت کارشناسی و اختصاص وزن به هر لایه و بازدیدهای میدانی به‌صورت نقشه‌های معیار طبقه‌بندی شده و با توجه به وزن به دست آمده نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست به‌دست آمده است. برای تهیه مدل پتانسیل توسعه کارست لایه‌های اطلاعاتی فوق به نرم‌افزار Arc GIS 10.3 معرفی شدند. لایه‌های اطلاعاتی فوق به‌صورت نقشه‌های معیار طبقه‌بندی‌شده‌اند و با توجه به درجه اهمیت هرکدام از پارامترها، رتبه‌ای از ۱ تا ۹ بر

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024

اساس روش ساعتی[۱۰] (Saaty, 11980: 1) به آن‌ها داده شد. پس از ارزش‌دهی به رده‌های مختلف، به هر یک از لایه‌ها بر اساس روش کارشناسی و روش AHP وزن مناسبی که مشخص‌کننده تأثیر هر عامل در درجه توسعه کارست می‌باشد، به آن‌ها داده شد. لازم به ذکر است که جمع وزن‌ها عدد ۱ در نظر گرفته شد.

جدول ۳- وزن لایه‌های اطلاعاتی به روش AHP و اعمال نظر کارشناسی در حوضه کلات

Table 3- Weight of information layers by AHP method and application of expert opinion in Kalat basin

نام لایه	وزن نهایی
لیتولوژی	۰/۳۳۲
فاصله از گسل	۰/۲۲۷
اقلیم	۰/۱۵۵
ارتفاع	۰/۱۰۶
شیب	۰/۰۷۲
فاصله از آبراهه	۰/۰۴۹
جهت شیب	۰/۰۳۴
کاربری اراضی	۰/۰۲۵
جمع	۱

یافته‌ها و بحث

جهت شناسایی درجه کارستی شدن حوضه با شواهد میدانی، تجربی و مدل تحلیل سلسله مراتبی به تفکیک به موارد ذیل اشاره می‌شود:

الف) نتایج شواهد میدانی

۱- روش سویجیک

با بررسی توضیحات و جدول سویجیک (جدول ۱) و بر اساس این تقسیم‌بندی، کارست‌های حوضه کلات در ردیف کارست‌های انتقالی قرار می‌گیرد؛ زیرا در این حوضه ابعاد غارها کوچک بوده و گسترش چندانی ندارند. پولیه‌ها نیز که به‌عنوان نماد مناطق کارستی محسوب می‌شوند در این حوضه شکل نگرفته و به دلیل شیب زیاد و توپوگرافی نامناسب احتمال شکل‌گیری آن‌ها در آینده نیز فراهم نیست. دولین‌ها هم در حوضه گسترش چندانی ندارند. سایر اشکال کارستی نیز به تکامل نرسیده‌اند. تنها اشکالی که در این حوضه به تکامل رسیده و امکان گسترش آن‌ها در آینده وجود دارد کارن‌ها می‌باشند. علاوه بر موارد یاد شده، شرایط آب و هوایی منطقه نیز در شکل‌گیری و گسترش اشکال کارستی منطقه، محدودیت ایجاد کرده است. مناسب‌ترین آب‌وهوا برای شکل‌گیری و

12- Saaty

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024

گسترش اشکال کارستی، آب‌وهوای مرطوب است (Ahmadi, 2003: 92). با توجه به این‌که میزان بارش در این حوضه نیاز رطوبتی آن را برای شکل‌گیری و تکامل اشکال کارستی فراهم نمی‌آورد و از سوی دیگر کمبود بارش، سبب پراکندگی پوشش گیاهی نیز شده است؛ بنابراین از نظر طبقه‌بندی سویجیک، کارست‌های حوضه کلات در ردیف کارست‌های انتقالی قرار می‌گیرد.

۲- روش والتهام و فوکس

بر اساس طبقه‌بندی کوپن، آب‌وهوای این حوضه در ردیف آب‌وهوای نیمه‌خشک قرار می‌گیرد. این نوع آب‌وهوا یک فصل خشک و یک فصل سرد دارد که این دو فصل محدودیت‌های زیادی برای شکل‌گیری و گسترش اشکال کارستی این حوضه ایجاد نموده است. فصل خشک با کاهش رطوبت نقش مهمی در کاهش فرآیندهای مختلف کارستی ایجاد می‌نماید. 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 می‌شود که این شرایط، کارست‌های حوضه را در ردیف کارست‌های جوان قرار می‌دهد. همچنین شکل‌گیری دولین‌های ناقص، گسترش اندک غارها و عدم وجود پولیه‌ها، از نشانه‌های جوان بودن کارست‌های این حوضه می‌باشد. علاوه بر این با توجه به این‌که انحلال سنگ‌ها معمولا در امتداد درزه‌ها، گسل‌ها یا سطوح لایه‌بندی با سهولت بیش‌تری انجام می‌گیرد (Sedaghat &Memarian,1990: 369) عدم وجود درز و شکستگی گسترده در توده سنگ‌های آهکی حوضه فرآیند انحلال در این سنگ‌ها را محدود کرده است و اشکال کارستی گسترش زیادی ندارند. این وضعیت نشان می‌دهد که کارستی شدن در این منطقه در مرحله جوانی قرار داشته و هنوز به تکامل نرسیده است بنابراین با توجه به شواهد و طبق طبقه‌بندی مطرح شده، کارست‌های حوضه در ردیف کارست‌های جوان قرار می‌گیرد (جدول ۲).

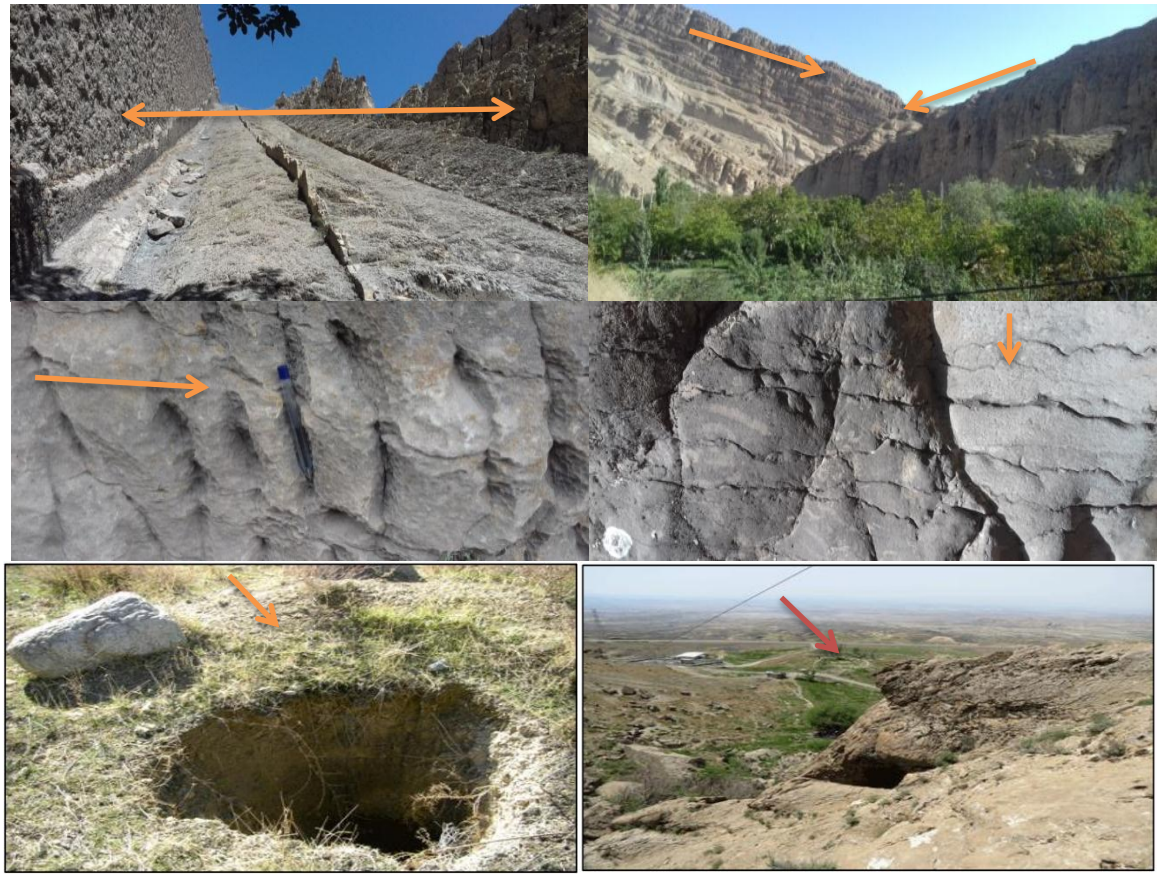
شکل ۲: دیاکلازهای موجود در سنگ آهک تیرگان که به‌صورت مایل نمایان می‌باشد

Figure 2: Diaclases in Tirgan limestone that are oblique

۳- شواهد ژئومورفولوژی

در حوضه مورد مطالعه تنوع لند فرم‌ها با توجه به بازدیدهای میدانی به حوضه کم می‌باشد و فاقد هرگونه نهشته‌های غاری می‌باشد و غار به معنای واقعی در آن وجود ندارد و هیدروژئولوژی کارست چندان توسعه یافته نمی‌باشد. این دلایل باعث می‌شود که کارست حوضه مورد مطالعه از نوع جوان تا نیمه تکاملی باشد. در ذیل چند نمونه از لندفرهای کارستی حوضه مورد مطالعه از نظر می‌گذرد:

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024



اشکال ۳، ٤، ٥، ٦، ٧، ٨ : به ترتیب از بالا سمت راست: تنگ یا گورج کارستی، کریدور کارستی، ماندر کارن، ریلن کارن، غار و دولین در حوضه کوهستانی کلات

Figures 3, 4, 5, 6, 7, 8: Respectively, from top right: Tang or Gors Karst, Karst corridor, Meander Karen, Rilen Karen, cave and Dolin in Kalat mountain basin

ب) فرمول‌های تجربی

۱- نتایج فرمول تجربی کوربل

طبق محاسبات صورت گرفته از فرمول کوربل، ۲۳/٦٦ میلی‌متر در هر هزار سال ($m^3km\text{-}2a\text{-}1$) می‌باشد که از کارآیی نسبی برخوردار می‌باشد. زیرا انحلال‌پذیری فقط در سازندهای آهکی می‌باشد و در بقیه سازندها، انحلال‌پذیری کمی وجود دارد به همین خاطر حوضه مورد مطالعه در مرحله جوانی و نیمه تکاملی می‌باشد.

۲- نتایج معادله سوئیتینگ

طبق محاسبات صورت گرفته در این مدل عدد به‌دست آمده ۱۲/۹۲ میلی‌متر در هزار سال می‌باشد. با توجه به عدد به‌دست آمده در فرمول سوئیتینگ این معادله از کارآیی نسبی برخوردار نمی‌باشد و با جدول (٤) چندان مطابقت نمی‌کند، زیرا تمام سازندهای حوضه، کارستی و آهکی نمی‌باشد و چون فرسایش به‌دست آمده عدد نسبتا پایینی را نشان می‌دهد و از طرفی بخش عمده حوضه از سنگ‌های عریان و برهنه پوشیده شده است لذا حوضه مورد مطالعه مرحله جوانی کارست را نشان می‌دهد.

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024

جدول ٤- مقدار انحلال کربنات کلسیم ($CaCo_3$) به میلی‌گرم در لیتر (Chorely et al.,1985)

Table 4- Dissolution rate of calcium carbonate ($CaCo_3$) in mg / L (Chorley et al., 1985)

اقلیم / نوع سنگ	سنگ عریان (بدون پوشش)	حد فاصل خاک و سنگ
سرد	٤٥	١٠٠
معتدل	٥٠	١١٤
گرم و خشک	٩٠	٨٥

ج) نتایج حاصل از تکنیک‌های آزمایشگاهی

۱- تکنیک کلسیمتری

میانگین میزان خلوص آهک و درصد کلسیت محاسبه شده از نمونه سنگ‌های چهار سازند مورد آزمایش برابر ۳٦/۳ درصد تعیین گردید. با توجه به عدد به‌دست آمده میزان کلسیم موجود در چهار سازند با این تکنیک عدد پایینی را نشان می‌دهد که نشان از جوانی و نیمه تکاملی بودن حوضه می‌باشد.

۲- تکنیک ICP

جهت انجام آزمایش با استفاده از تکنیک ICP از چهار سازند مهم آهکی حوضه چهار نمونه سنگ برداشت گردید و در آزمایشگاه مورد آنالیز قرار گرفت و نتایج آن به شرح جدول (۵) آمده است.

جدول ۵- میزان عنصر کلسیم (Ca) در حوضه کوهستانی کلات به تفکیک چهار سازند برحسب درصد

Table 5- Calcium (Ca) content in Kalat mountain basin by four formations by percentage

نوع سازند	میزان کلسیم به درصد
تیرگان	۳۸/۹۰
مزدوران ۲	۳۸/٤۳
سرچشمه	۳۸/٤۱
شوریجه	۰/۷

با توجه به جدول بالا، بالاترین درجه خلوص آهک در سازند آهکی و ضخیم لایه تیرگان مشاهده می‌شود، بعد از آن مزدوران ۲ و سپس سرچشمه و درنهایت شوریجه که کم‌ترین میزان خلوص آهک را دارا می‌باشد. اعداد پایین آنالیز ICP نشان دهنده خلوص آهک پایین حوضه می‌باشد که نشان دهنده این است که درجه تکامل کارست به

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024

سمت جوانی و نیمه تکاملی گرایش پیدا می‌کند. بنابراین شناخت درجه خلوص آهک و کلسیم جهت مدیریت سرزمین و برنامه‌ریزی محیطی که در راس آن پتانسیل‌یابی منابع آب می‌باشد آشکار می‌گردد.

۳- تکنیک وزنی

با توجه به انجام این آزمایش در آزمایشگاه رسوب‌شناسی از ٤ نمونه سازند تیرگان، مزدوران ۲، کلات و سرچشمه، میانگین میزان آهک مورد نظر عدد ۳۹/۳ درصد را نشان می‌دهد که به تکنیک کلسیمتری نزدیک می‌باشد. که وضعیت نیمه تکاملی کارست و خلوص پایین آهک را در منطقه نشان می‌دهد.

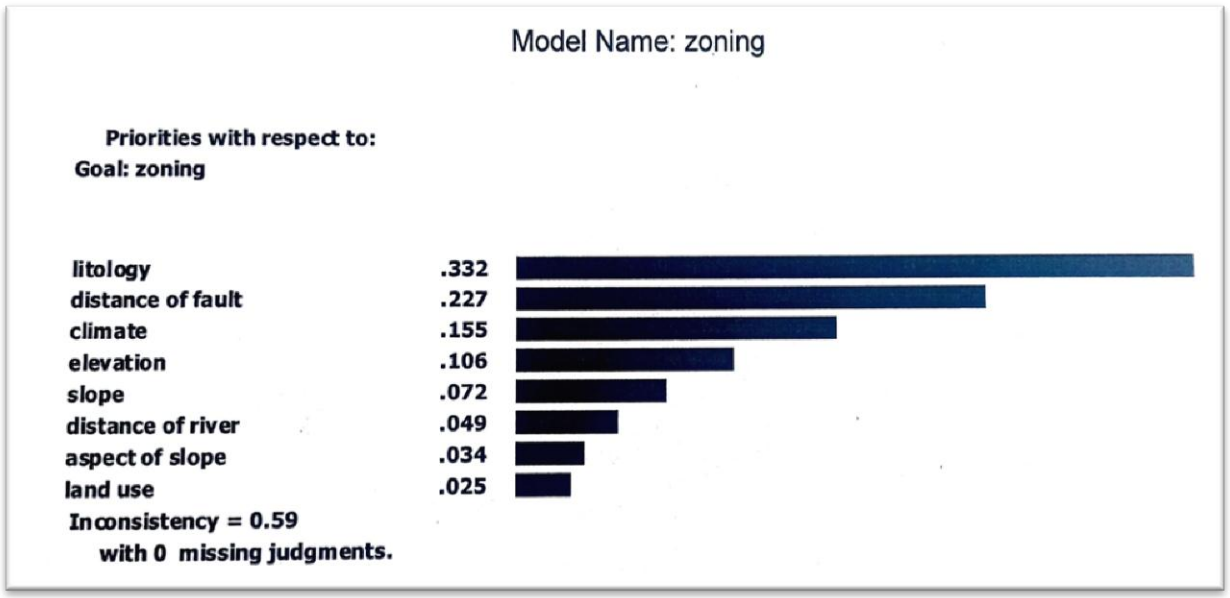
اشکال ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲: به‌ترتیب از سمت راست نمونه سنگ مورد آزمایش، سنگ پودر شده، پودر مخلوط با اسید کلریدریک رقیق و دستگاه آون جهت خشک کردن نمونه رسوب پودر شده در آزمایشگاه رسوب‌شناسی

Figures 9, 10, 11 and 12: Respectivety from the right side Rock sample, Powdered rock, Powder mixed with dilute hydrochloric acid and an oven to dry the powdered sediment sample in the sedimentology laboratory

د) نتایج حاصل از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی

در ابتدا نمودار گرافیکی مدل تحلیل سلسله مراتبی در رابطه با اولویت هر یک از معیارها و زیرمعیارهای مؤثر بر توسعه یافتگی کارست در منطقه مورد مطالعه ترسیم گردید. با توجه به یافته‌های تحقیق از بین معیارهای موجود در توسعه‌یافتگی کارست: به‌ترتیب لیتولوژی، فاصله از گسل و اقلیم با وزن نهایی، ۰/۳۳۲، ۰/۲۲۷، ۰/۱۵۵، به‌عنوان مهم‌ترین و اثرگذارترین معیار در رابطه با پتانسیل توسعه کارست در حوضه کلات شناسایی گردید (شکل ۱۳) نهایتاً تمام نقشه‌های رستری طبقه‌بندی شده در محیط GIS فراخوانی شدند و با دستور Raster Calculator هر پارامتر در وزن به‌دست آمده در نرم‌افزار Expert Choice ضرب شدند و نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست به‌دست آمد که بر اساس هدف به چهار طبقه توسعه‌یافته، طبقه توسعه متوسط، طبقه توسعه‌یافته و طبقه توسعه‌نیافته تقسیم شدند.

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024



شکل ۱۳: ضرایب حاصل از مقایسه زوجی معیارهای اصلی موثر در توسعه‌یافتگی کارست فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

Figure 13: Coefficients obtained from pairwise comparison of the main criteria effective in the development of karst hierarchical analysis process

پارامترهای محیطی مورد مطالعه مؤثر بر توسعه کارست منطقه انتخاب شد و نرخ سازگاری ۰/۰۵۹ به‌دست آمد. بر این اساس به بحث و بررسی پارامترهای محیطی مورد مطالعه مؤثر بر توسعه کارست منطقه که شامل موارد زیر است پرداخته می‌شود:

۱- عامل لیتولوژی

قدیمی‌ترین رخنمون‌های این واحدها به دوره ژوراسیک مربوط می‌شود (سازند چمن بید) و وسیع‌ترین گسترش رخنمون‌ها متعلق به سازندهای مزدوران و شوریجه می‌باشد. سازندهای آهکی عمده حوضه مورد مطالعه، تیرگان، مزدوران، کلات و بخشی از سرچشمه می‌باشد. در حوضه مورد مطالعه مجموعاً ۱۳ واحد سنگ چینه‌ای مشخص شده است. مطالعات زمین‌شناسی در مناطق کارستی، با توجه به نقش زیاد نوع لیتولوژی در توسعه کارست اهمیت زیادی دارد. وجود سنگ‌های انحلال‌پذیر که دارای ضخامت مناسبی باشند، یکی از پیش‌شرط‌های توسعه سرزمین‌های کارستی می‌باشد. در پژوهش حاضر واحدهای زمین‌شناسی به ۱۳ طبقه دسته‌بندی شده‌اند. طبق طبقه‌بندی آهک ضخیم لایه الیتی تیرگان، آهک مزدوران و کلات برای پتانسیل کارست زایی بیش‌ترین وزن را به خود اختصاص داده است. بعدازآن به‌ترتیب سرچشمه و شوریجه، چمن بید، نیزار، آبداز، آب تلخ، پسته لیق، لس و آبرفت‌های کواترنر قرار گرفته‌اند. در جدول (٦)، توزیع سازندهای کربناته و غیرکربناته به مساحت و درصد آمده است.

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024

جدول ٦- توزیع و نسبت سازندهای کربناته و غیرکربناته در حوضه کوهستانی کلات

Table 6- Distribution and ratio of carbonate and non-carbonate formations in Kalat mountain basin

ردیف	نام سازند	مساحت سازند به کیلومترمربع	مساحت سازند به درصد
۱	چمن بید (JCh)	۱۰/۱۰	۵/۹۹
۲	مزدوران ۲ (Jmz2)	۳۵/۷۵	۲۱/۲۳
۳	شوریجه (JkS)	۳٦/٦۱	۲۱/۷٤
٤	تیرگان (KT)	۱۸/۱۸	۱۰/۷۹
۵	سرچشمه (KSR)	٤/۸٦	۲/۸۸
۵	سنگانه (KSN)	٦/۹۵	٤/۱۲
٦	آتامیر (KAT)	٦/۰۸	۳/٦۱
۷	آبداز (KAD)	۷/۲۲	٤/۲۸
۸	آب تلخ (KAB)	۱۳/۱۵	۷/۸
۹	نیزار (KNY)	٦/۹۵	٤/۱۲
۱۰	کلات (KK)	۸/۹۷	۵/۳۲
۱۱	پسته لیق (Ps)	۰/۰۱۹	۰/۰۱۱
۱۲	لس (QL)	۱۲/۹۳	۷/٦۷
۱۳	تراس‌های آبرفتی (Qt)	۰/٦۵	۰/۳٦

۲- عامل فاصله از گسل

در وزن‌دهی به لایه گسل، فرض اصلی بر این استوار است که میزان توسعه‌یافتگی کارست در مناطق نزدیک به گسل بیش‌تر است و وزن بیش‌تری را به خود اختصاص می‌دهد و مناطق دور از خطوط گسل وزن کم‌تری را به‌خود اختصاص داده است. فاصله از گسل در پنج طبقه برای محدوده موردمطالعه تهیه گردیده است که تا فاصله و حریم ۱۰۰ متری بیش‌ترین وزن را به‌خود اختصاص داده است یعنی بیش‌تر مستعد توسعه کارست می‌باشد و فاصله و حریم بیش‌تر از ۳۰۰ متر کم‌ترین وزن را به‌خود اختصاص داده است، یعنی کم‌ترین پتانسیل را در منطقه برای توسعه کارست دارد (شکل ١٦).

۳- عامل بارندگی

هرچه بارندگی بیش‌تر باشد شرایط برای توسعه کارست فراهم‌تر می‌باشد. به عبارتی بارندگی بالای ۳۰۰ میلی‌متر شرایط مساعدی را برای توسعه کارست در یک منطقه دارد. با توجه به این که حجم بارش در توسعه کارست و پتانسیل آب‌های کارستی نقش بسزایی دارد، اقدام به تهیه لایه اطلاعاتی بارش گردید. در حوضه مورد مطالعه لایه

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024

بارندگی به چهار طبقه کاملا مناسب با بارش بالای ٤٠٠ میلی‌متر، مناسب با بارش ٤٠٠-٣٠٠ میلی‌متر، به نسبت مناسب با بارندگی ٣٠٠-٢٠٠ میلی‌متر و نامناسب با بارندگی ٢٠٠-١٠٠ میلی‌متر تقسیم شده است (شکل ١٧).

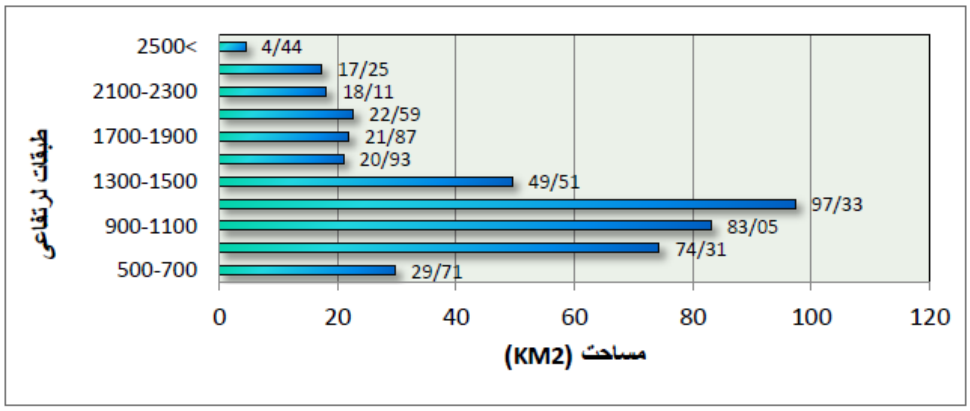
٤- عامل دما

عامل مهم بعدی در توسعه کارست دما می‌باشد که امتیاز بالایی را از لحاظ توسعه در بر می‌گیرد. هر چه دما پایین‌تر باشد امتیاز بالاتری را در توسعه کارست می‌گیرد. لایه دما به چهار طبقه تقسیم شده است که بالاترین امتیاز را دمای بین ١٠-٠ به‌خود اختصاص داد. بعد از آن ٢٠-١٠ درجه سانتی‌گراد و سپس ٣٠-٢٠ و بالای ٣٠ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب بقیه امتیازات را در توسعه کارست به‌خود اختصاص دادند (شکل ١٨).

٥- عامل ارتفاع

با افزایش ارتفاع در یک منطقه پتانسیل توسعه کارست به دلیل افزایش گرادیان هیدرولیکی، افزایش می‌یابد. بیش-ترین تحول یافتگی کارست در سطوح ارتفاعی بالا با شرط خلوص آهک مشاهده می‌شود. از این‌رو نقش زیادی در توسعه‌یافتگی فرآیند کارست دارد (Zarvash et al., 2013: 149). نقشه رستری طبقات ارتفاعی حوضه مورد مطالعه به ٩ طبقه به‌دست آمد (شکل ١٩).

حد ارتفاعی که دارای بیش‌ترین مساحت است با مساحت ٩٧/٣٣ کیلومتر مربع در ترازهای ارتفاعی ١٣٠٠-١٠٠٠ متر از سطح دریا واقع شده است. کم‌ترین مساحت مربوط به ترازهای ارتفاعی کم‌تر از ٢٥٠٠ متر است که دارای مساحت ٤/٤٤ کیلومترمربع است.



شکل ١٤: دامنه طبقات ارتفاعی حوضه کوهستانی کلات برحسب متر از سطح دریا

Figure 14: Amplitude of Kalat mountain basin in terms of meters above sea level

٦- عامل شیب

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 می‌کند (Zarvash et al., 2014: 150). نقشه نهایی شیب منطقه مورد مطالعه در ٩ طبقه از کلاس ٢ درصد تا بیش‌تر از ٤٠ درصد به‌دست آمد. با توجه به مبانی نظری، شیب‌های کم و مناطق مسطح بیش

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024

ترین پتانسیل را در کارستی شدن دارند. در حوضه مورد مطالعه شیب ۱۵-۰ در قلمرو شیب کم می‌باشند. گسترش پدیده کارست درشیب‌های کم به دلیل تماس بیش‌تر آب با آهک بیش‌تر بوده و پدیده انحلال در این شیب‌ها تشدید می‌شود. در وزن دهی با توجه به این‌که در شیب‌های کم، فرصت نفوذ بیش‌تر است، ارزش بیش‌تری داده شد (شکل ۲۰).

۷- عامل فاصله از آبراهه

از عوامل مهم در پتانسیل کارست زایی، هیدرولوژی، تراکم آبراهه‌ها و فا صله از آن‌هاست که هرچه میزان تراکم آبراهه بالا باشد و فاصله از آبراهه کم باشد میزان توسعه و تخریب کارست بیش‌تر خواهد بود. وزن‌دهی به این صورت می‌باشد که در مکان‌هایی که تراکم آبراهه بالا و فاصله از آبراهه کم است وزن بیش‌تری به خود اختصاص می‌دهد چون دامنه فروپاشی کارست بیش‌تر خواهد بود و هرقدر فاصله از آبراهه بیش‌تر و تراکم کم‌تر شود، میزان توسعه و تخریب کارست کم‌تر خواهد بود. شکل (٦) تراکم آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. فاصله از آبراهه برای منطقه مورد مطالعه به پنج دسته طبقه‌بندی شده که هرچه فاصله از آبراهه کم‌تر، وزن بیش‌تری به‌خود اختصاص داده است. فاصله از آبراهه تا ۱۰۰ متری بیش‌ترین وزن را به‌خود اختصاص داده است یعنی بیش‌تر مستعد توسعه کارست می‌باشد و فاصله بیش‌تر از ۳۰۰ متر کم‌ترین وزن را به‌خود اختصاص داده است یعنی کم‌ترین پتانسیل را در منطقه برای توسعه کارست دارد (شکل ۲۱).

۸- عامل جهت شیب

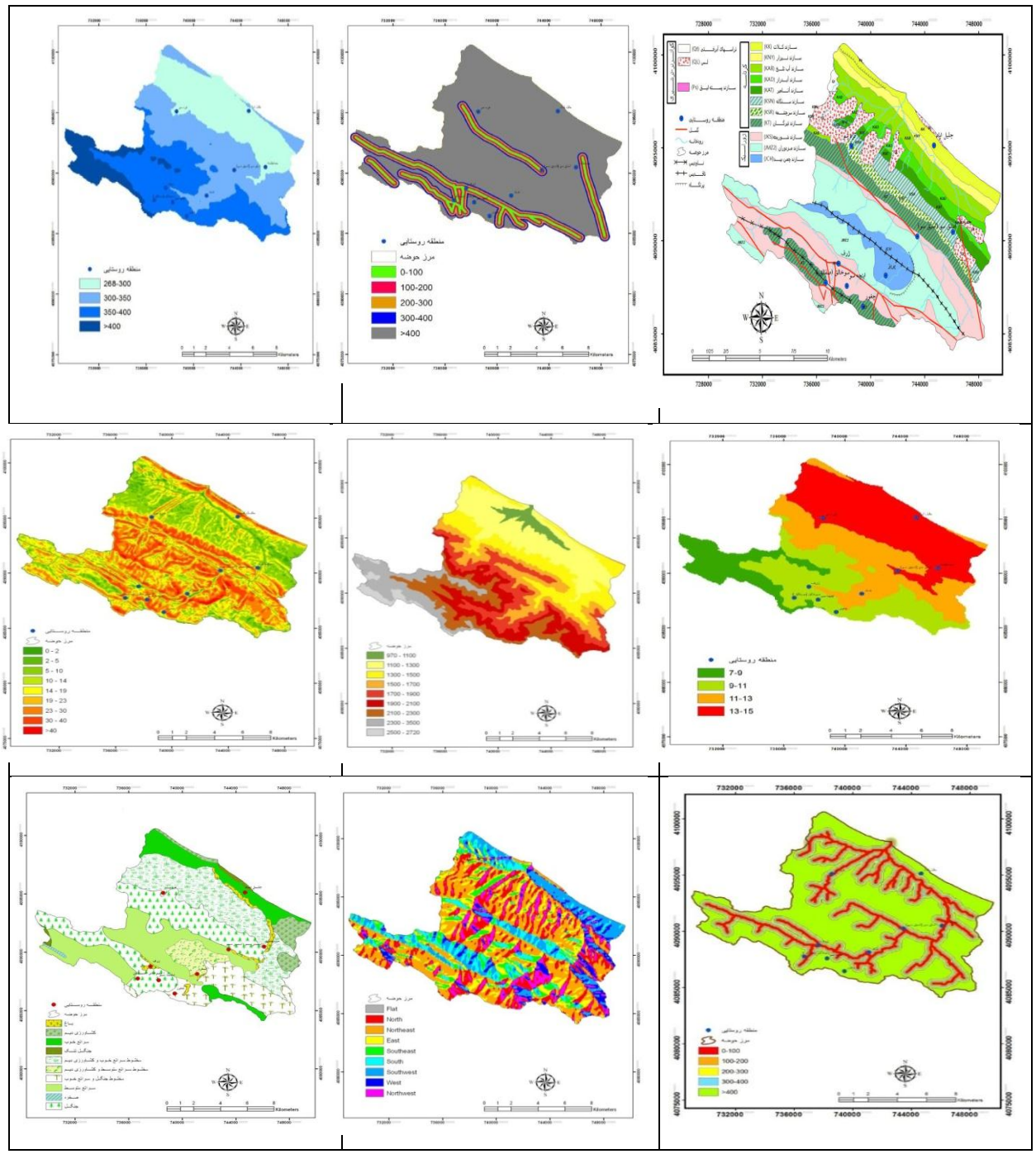
تأثیر جهت شیب بر روی تنوع پوشش گیاهی و بعضی فرآیندهای هیدرولوژیک مثل ذوب برف اهمیت دارد (Alizadeh, 2010:513). بهترین جهت‌ها به‌منظور توسعه‌یافتگی کارست، جهت‌های پشت به آفتاب می‌باشند. با توجه به اهمیت کیفیت تابش نور خورشید در تأمین انرژی مورد نیاز مناطق، جهت‌گیری دامنه‌ها نقش مهمی در این ارتباط دارد. با توجه به مبانی نظری و بررسی‌های دیگر و مصاحبه با کارشناسان، شیب‌های کم و مناطق هموار بیش-ترین پتانسیل را در کارستی شدن دارند. مناطق با جهت‌های شمالی، شرقی و شمال‌شرقی بیش‌ترین امتیاز و وزن را به‌خود اختصاص می‌دهند و بهترین جهت‌ها به‌منظور توسعه‌یافتگی کارست هستند. جهت‌های پشت به آفتاب به دلیل تبخیر کم‌تر و ماندگاری بیش‌تر برف به دلیل کمبود نور آفتاب زمینه مساعدتری برای توسعه کارست دارند (Yamani et al., 2013: 59) در تهیه نقشه نهایی همین امر لحاظ شده است. در منطقه مورد مطالعه، جهت جغرافیایی شمال‌شرق با ۲۸/۱۰ درصد بیش‌ترین مساحت و جهت هموار با ۰/۰۵۱ درصد، کم‌ترین مساحت حوضه را به‌خود اختصاص داده‌اند (شکل ۲۲).

۹- عامل کاربری اراضی

برای بررسی میزان قابلیت پوشش زمین و کاربری اراضی جهت پتانسیل کارست زایی در محدوده مورد نظر، از نقشه کاربری اراضی استفاده شده است. بیش‌ترین وزن به مراتع، جنگل، کشاورزی، صخره و باغ داده شد. به‌ترتیب با

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024

توجه به میزان تأثیر آن‌ها در کارست زایی منطقه مورد مطالعه، بی‌ارزش‌ترین وزن به باغ و صخره داده شد، بعد کشاورزی، جنگل و نهایتاً مرتع کم‌ترین وزن را به‌خود اختصاص داده‌اند (شکل ۲۳).



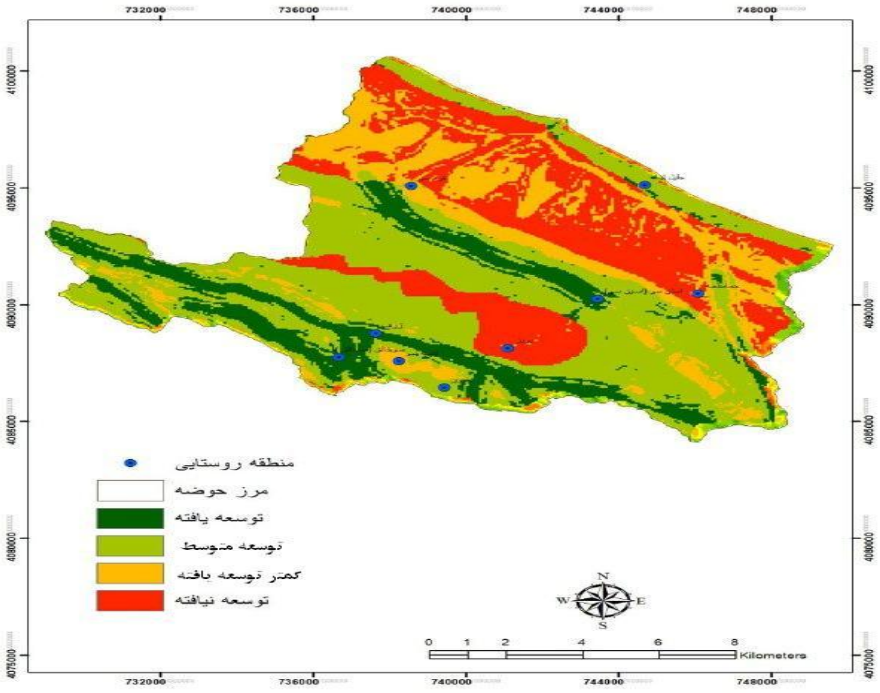
اشکال ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۳ به ترتیب از بالا سمت راست: نقشه‌های زمین‌شناسی، فاصله از گسل، هم باران، هم دما، سطوح ارتفاعی، شیب، فاصله از آبراهه، جهت شیب و کاربری اراضی

Figures 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 and 23, respectively, from top right: Geological maps, distance from fault, rainfall, temperature, altitude, slope, distance from waterway, direction Slope and land use

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024

۱۰- نقشه نهایی پهنه‌بندی توسعه کارست با روش تحلیل سلسله مراتبی

نقشه نهایی پهنه‌بندی حوضه کوهستانی کلات با استفاده از لایه‌های رستری زمین‌شناسی، فاصله از گسل، دما، بارندگی، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، ارتفاع و فاصله از آبراهه با ترکیب وزن‌های به‌دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی با هر لایه و همپوشانی آن‌ها در محیط GIS به‌دست آمد. براساس اصول مبانی کارست و مشاهدات میدانی، نقشه نهایی حاصل از پهنه‌بندی به چهار طبقه: توسعه نیافته، کم‌تر توسعه‌یافته، توسعه متوسط و توسعه‌یافته طبقه‌بندی شد. شکل (۲٤) نقشه نهایی پهنه‌بندی توسعه کارست و جدول (۷) مساحت و درصد طبقات توسعه کارست به روش تحلیل سلسله مراتبی را نشان می‌دهد که از کل مساحت حوضه کلات ۱۹/۰٤ درصد در طبقه کم‌تر توسعه یافته، ۲٤/۵۷ درصد در طبقه توسعه نیافته، ٤۲/۸۸ درصد در طبقه متوسط و ۱٤/۳۸ درصد در طبقه توسعه‌یافته قرار گرفته است. ازاین‌رو، 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 به‌خود اختصاص داده است که کم‌ترین تأثیر را در کارست زایی کنونی حوضه به‌خود اختصاص داده است. نتایج نشانگر آن است که به‌ترتیب عوامل زمین‌شناسی، اقلیم، ارتفاع، توپوگرافی و فاصله از آبراهه مهم‌ترین نقش را در توسعه کنونی کارست در این منطقه داشته‌اند. با توجه به این‌که هر چه توسعه کارست در یک منطقه بیش‌تر باشد از تکامل بیش‌تری برخوردار می‌باشد و با عنایت به این‌که حدود ۱۳/۷۱ درصد از مساحت حوضه، در طبقه توسعه‌یافتگی کارست قرار دارد لذا حوضه مورد مطالعه در مرحله جوانی کارست قرار دارد.



شکل ۲٤: نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست حوضه مورد مطالعه

Figure 24: Karst development zoning map of the studied basin

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024

جدول ۷- مساحت و درصد طبقات توسعه کارست به روش AHP

Table 7- Area and percentage of karst development classes by AHP method

ردیف	طبقه	مساحت به کیلومترمربع	درصد مساحت طبقات
۱	توسعه‌نیافته	٤۱/٦۹	۲٤/۵۷
۲	کم‌تر توسعه‌یافته	۳۲/۳۸	۱۹/۰٤
۳	توسعه متوسط	٦۹/۱۲	٤۲/۱۸
٤	توسعه‌یافته	۲٤/۱۹	۱٤/۳۸

نتیجه‌گیری

حوضه کوهستانی کلات در شمال‌شرقی ایران در زون کپه داغ قرار گرفته است که همه شرایط برای کارستی شدن را دارا می‌باشد. برای شناخت درجه تکامل کارست حوضه اقدام به بررسی تکنیک‌های میدانی، تجربی و آزمایشگاهی و مدل تحلیل سلسله مراتبی گردید. جهت شناخت درجه کارستی شدن و تکامل کارست ابتدا از روش‌های سویجیک و والتهام استفاده گردید که در روش سویجیک کارست حوضه از نوع انتقالی می‌باشد که با توجه به گسترش زیاد اشکال زیرزمینی و وجود کارن‌ها بخصوص کارن کریدوری، پتانسیل منابع آب و گردشگری با توجه به تنوع لند فرم‌ها در شمال‌غرب حوضه بیش‌تر آشکار می‌گردد. زیرا هم آب شرب شهر کلات از شمال‌غرب حوضه تامین می‌شود و هم به دلیل تنوع لند فرم‌ها، پتانسیل گردشگری این منطقه بیش‌تر می‌باشد. در روش والتهام، تکامل کارست حوضه از نوع جوان می‌باشد که به خاطر وجود دولین‌ها، غارهای کوچک و کارن‌ها، پتانسیل منابع آب و گردشگری با این روش از وضعیت نسبی برخوردار است. با استفاده از فرمول‌های تجربی کوربل و سوئیتینگ جهت شناخت فرسایش کارست حوضه استفاده شد که در فرمول کوربل عدد ۲۳/٦٦ میلی‌متر در هزار سال و در روش سوئیتینگ عدد ۱۲/۹۳ میلی‌متر در هزار سال را نشان می‌دهد که با توجه به تطبیق با جداول استاندارد فرمول کوربل و سوئیتینگ، روش کوربل مقادیر نزدیک‌تر به استاندارد ارائه شده برای درجه کارستی شدن در این حوضه را نشان داد که می‌توان عنوان نمود در حوضه‌های مشابه با کلات،استفاده از روش کوربل پیشنهاد می‌گردد لذا انتظار توسعه منابع آبی وسیع و نیز گردشگری بالا در این حوضه نمی‌باشد. در روش ژئومورفولوژی، در حوضه مورد مطالعه تنوع لند فرم‌ها با توجه به بازدیدهای میدانی به حوضه نسبتا کم می‌باشد و فاقد نهشته‌های غاری می‌باشد و غار به معنای واقعی در آن وجود ندارد و هیدروژئولوژی کارست توسعه متوسطی داشته است. این دلایل باعث می‌شود که کارست حوضه مورد مطالعه از نوع جوان تا نیمه تکاملی باشد و انتظار توسعه منابع آب وسیع در این حوضه نمی‌رود. با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی کلسیمتری، ICP و بررسی وزنی، میزان درصد آهک در سازندهای کربناته به‌ترتیب ۳٦/۳ درصد، ۳۸ درصد و ۳۹/۳ درصد به‌دست آمد که نشان از خلوص متوسط آهک در سازندهای

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024

کربناته حوضه می‌باشد و نشان دهنده این است که هرچه خلوص آهک پایین‌تر باشد درجه تکامل کارست به سمت جوانی و نیمه تکاملی گرایش پیدا می‌کند ولی علی‌رغم جوانی کارست حوضه و با توجه به درصد متوسط کلسیم حوضه، منابع آب کارست در نقاط برداشت، مشاهده شده ولی انتظار توسعه منابع آب وسیع و نیز ژئومورفوتوریسم عمده در این حوضه نمی‌رود. با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) توسعه کارست حوضه در چهار پهنه به‌دست آمد که از تلفیق لایه‌های رستری ارتفاع، شیب، جهت شیب، هم باران، هم‌دما، زمین‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و کاربری اراضی به‌دست آمد که از کل مساحت حوضه کلات ۱۹/۰٤ درصد در طبقه کم‌تر توسعه‌یافته، ۲٤/۵۷ درصد در طبقه توسعه‌نیافته، ٤۲/۸۸ درصد در طبقه متوسط و ۱٤/۳۸ درصد در طبقه توسعه‌یافته قرار گرفت. ازاین‌رو، عامل لیتولوژی به دلیل تنوع سازندهای تشکیل دهنده حوضه با کانی‌شناسی متنوع و تاثیر کم‌تر سایر فاکتورها بر اساس نظر کارشناسان خبره، در 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. با توجه به اینکه در نقشه نهایی مدل سلسله مراتبی پهنه‌های توسعه کارست حوضه به دست آمد و کارست توسعه‌یافته به رنگ سبز روشن مشخص گردید لذا پتانسیل منابع آب و گردشگری در مناطق کارست توسعه‌یافته بیش‌تر می‌باشد. بنابراین شناخت درجه کارستی شدن یک حوضه از نظر مدیریت منابع آب و گردشگری بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024

References

- Alizadeh, A., (2010), "***Principles of applied hydrology***", Imam Reza University Press**,** Siam Press: Mashhad. [In Persian].
- Bogli, A., (2009), "***Karst hydrology and physical speleology***", Springer-Verlag: Berlin.
- Behniyafar, A., Qanbarzadeh, H., Farzaneh, A., (2009), "Geomorphic features of Akhlamad karst massif in the northern slopes of Binalood heights, Zahedan", ***Journal of Geography and Development***, 14: 140-121. [In Persian].
- Behniyafar, A., Qanbarzadeh, H., (2016), "***Karst Geomorphology***", Mashhad: Negaran Sabz Publications. [In Persian].
- Bagheri Seyed Shokri, S., Yamani, M., Jafar Biglou, M., Karimi, H., Moghimi, E., (2015), "Investigation of development and hydrodynamic properties of karst systems using hydrograph landing curve analysis in karst aquifers of Alvand river basin", ***Journal of Natural Geography Research***, 47 (33): 46-333. [In Persian].
- Bahrami, S., Zanganeh Asadi, M. A., Jahanfar, A., (2015), "Evaluation of karst development using hydrodynamic and hydrogeochemical properties of karst springs in Zagros (Study area: Qalajeh anticline and Prav Biston massif)", ***Journal of Geography and Developmen***t, 3: 74-61. [In Persian].
-Calic, J., (2011), "Karstic uvula revisited: Toward a redefinition of the term", ***Geomorphology***, 134 (1): 32-42.
- Cvijic, J., (1925), "Type's morphologiques des terrains calcaires. Comptes Rendus", ***Académie des Sciences***, 180: 592-594. [In France].
- Chenini, I., Ben, M. A., (2010), "Groundwater recharge study in arid region: An approach using GIS techniques and numerical modeling", ***Computers & Geosciences*** , 36: 801-817.
- Ford, D., Williams, P. D., (2007), "***Karst hydrogeology and geomorphology***", West Sussex, England: John Wiley & Sons.
- Ghobadi, M. H., (2009), "***Karst engineering geology***", Bu Ali Sina University Press, :Hamadan. [In Persian].
- Ghobadi, M. H., Behzadatbar, P., (2015), "Evaluation of karst development based on lithological, morphological and structural features in Bidsorkh region, east of Sahneh, east of Kermanshah province", ***Journal of New Finds of Applied Geology***, 20 : 91-76. [In Persian].
- Hung, L. Q., Dimr, N. Q., Tam, V. T., Lagrou, D., (2002), "Remote sensing & GIS based analysis of cave development in the Suoimuoi catchment (Son La- NW Vietnam)", ***Journal of cave*** & Karst, 12: 81-90.
- Khanlari, Gh., Mo'meni, A., (2012), "Geomorphology, hydrogeology and the study of factors affecting karst development in the Green region, western Iran", ***Geography and Regional Urban Planning***, 3: 74-61. [In Persian].
- Khezri, S., Shahabi, H., Mohammadi, S., (2017), "Evaluation and zoning of karst evolution of Saholan cave in Mahabad cave using hierarchical analysis method", ***Journal of Quantitative Geomorphological Research***, 1: 21-29. [In Persian].
- Lamoreaux, P. E., (2007), "Karst: the foundation for concepts in hydrogeology", ***Bull.Eng. Geol. Environ. Studies***, 64 (1): 23-33.
- 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, China, GeoShanghai International Conference, 216-223.

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024

Mahmoudi, F., (2006), "***Structural geomorphology***", Eighth Edition",Tehran: Payame Noor Publications. [In Persian].
- Moghimi, A., Mahmoudi, F., (2004), "***Research method in matural geography***", Qoms Publications: Tehran. [In Persian].
- Milanovic, P. J., (1981), "***Karst hydrogeology***", colorado, CO: Water Resources ublications.
- Mazidi, A., Karam, A., Koravand, M., (2016), "Karst development potential using fuzzy logic (Case study: susan plain and lzeh plain basin)", ***Journal of Quantitative Geomorphology***, 5 P(2):141-130.[In Persian].
- Moradi, S., Rezaei, M., Parhamat, J., (2010), "Investigating the effect of different factors on karst development of Zagros karst zones", 29th Earth Sciences Conference, 11-12 February 2010, Tehran, Iran. [In Persian].
- 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: 245-254.
- Palmer, A. N., (2007), "***Cave geology, Cave Books***", Dayton: London. P 454.
- Qurbani, M. S., Onaq, M., (2011), "Karst evolution and sensitivity zoning using multivariate linear regression model in Shahu karst region", ***Journal of Quantitative Geomorphology Research***, 1: 19-32. [In Persian].
- Qara Khani, M., Vaezi, A., Bahramian, I., (2013), "Study of karst development and karst caves in East Azarbaijan province", ***gathering and the first international specialized congress of earth***, sciences, Mashhad, Iran. [In Persian].
- Rao, P. J., Harikrishna, P., Srivastav, S. K., Satyanarayana, P. V. V, Rao, B. V. D ., (2009), "Selection of groundwater potential zones in around Madhurawada dome Visakhapatnam district:A GIS approach", ***Jurnal Ind Geophys Union***, 13 (4): 191-200.
- Saaty, T. L., (1980), "The analytic hierarchy process, Mcgraw-Hill, Inc", Reprinted By RWS Pub: Pittsburgh.
- Sepand, S., Chitsazan, M., Rangzan, K., Mirzaei, Y., (2007), "Integration of remote sensing and GIS in potential detection of groundwater resources in Lali area", ***Third Geomatics Conference***, 4 February 2017, Tehran, Iran. [In Persian].
- Waltham, A. C., Fookes, P. G., (2003), "Engineering classification of karst ground conditions", ***Quaterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology***, 36: 101-18.
- Yamani, M., (2015), "***Practical guide to field and laboratory techniques***", Tehran: University of Tehran. [In Persian].
- Yamani, M., Shamsipour, A., Jafari Aqdam, M., Bagheri Seyed Lashkari, S., (2013), "Investigating the effective factors in the development and zoning of Chele basin karst using fuzzy logic and hierarchical analysis, Kermanshah province", ***Journal of Earth Sciences***, 22: 66-57. [In Persian].
- White, W. B., (1988), "***Geomorphology and hydrology of karst terrains***", Oxford: Oxford University press.
- Zeng, S., Jiang, Y., Liu, Z., (2016), "Assessment of climate impacts on the karstrelated carbon sink in SW China using MPD and GIS", ***Global and Planetary Change***, 144: 171-181.
- Zanganeh Asadi, M. A., Shafiee, N., Kolivand, T., (2017), "Evaluation of karst erosion in Fahlian limestone basin of Fars", ***Fifth National Conference of Iranian Geomorphological Association***, Iranian Geomorphological Association, Tehran, Knowledge Reference Publications, p 217. [In Persian].

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 10:26 IRST on Wednesday November 27th 2024

- Zroush, N., Vaezi, A., Karimi, H., (2014), "Evaluation of karst development potential in Kabir mountain anticlineIlam using fuzzy integration and AHP analysis method and remote sensing and GIS", ***Journal of ResearchQuantitative Geomorphology***, 3 (3): 144-157. [In Persian].