

تأثیر خزه‌ها بر ایجاد و توسعه‌ی لایه‌های حفره‌ای در سنگ‌های کربناته

ابرج جباری* - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی کرمانشاه
سعید شیرزادی - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی کرمانشاه

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۴/۲۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۱۱/۰۵

چکیده

از جمله اشکال کارست سطحی، حفره‌های کوچک انحلالی روی سنگ‌ها هستند که در اصطلاح لایه‌های حفره‌ای نامیده می‌شوند. در ایجاد لایه‌های حفره‌ای، عواملی چون، اثر قطره‌های باران، انحلال سنگ در محل تقاطع درزها و تبلور نمک مؤثر هستند. در این پژوهش اثر خزه‌های سطح سنگ در ایجاد این اشکال بررسی شده است. بر این اساس حداکثر ابعاد هر کدام از خزه‌ها، به همراه حداکثر ابعاد حفره‌ی سنگی موجود در زیر ۴۱۴ مورد از خزه‌ها با استفاده از دستگاه کولیس اندازه‌گیری شد. سپس رابطه‌ی تعداد خزه‌های سطح سنگ با تعداد حفره‌های زیر آنها در شرایط رویشی خزه‌ها روی دو نوع سنگ کربناته با آزمون کای دو بررسی شد. برای نشان دادن تأثیر شکل خزه‌ها در شکل حفره‌های زیر خزه‌ها نیز، ابعاد حفره‌ها به ابعاد خزه‌ها محاسبه و اختلاف آنها در شرایط مختلف سطح سنگ شامل، جنس، شیب و جهت سنگ با استفاده از آزمون تی جفتی در سطح معنادار ۰/۵ بررسی شد. نتایج نشان داد که بین ابعاد خزه‌ها و ابعاد حفره‌های سنگی زیر آنها، همبستگی معناداری وجود دارد. در زیر ۷۰ درصد خزه‌هایی که روی سنگ آهک رشد کرده بودند، حفره‌ی سنگی قابل اندازه‌گیری مشاهده شد. در حالی که در نمونه‌های مربوط به سنگ دولومیت، تنها در زیر ۲۰ درصد خزه‌ها حفره‌ی سنگی قابل اندازه‌گیری مشاهده شد؛ ولی آزمون تی جفتی درباره‌ی آنها به نتایج مثبتی منجر نشد و از این رو تلاش شد این آزمون درباره‌ی مرحله‌ی تحول به اجرا گذاشته شود. در نتیجه آزمون نشان داد در شرایطی که لایه‌ها رشد می‌کنند، شکل آنها و به‌ویژه، عمق آنها با خزه‌های رویی تطابق پیدا می‌کنند.

کلیدواژه‌ها: لایه، کارن، خزه، کارست، انحلال، ژئومورفولوژی.

مقدمه

گاهی عمل انحلال سنگ منجر به ایجاد حفره‌های کوچک با ابعاد دسی متری می‌شود. این حفره‌های کوچک را لایپه یا کارن‌های حفره‌ای می‌نامند. گرچه این پدیده بیشتر در سنگ‌های آهکی و دولومیتی دیده می‌شود، اما در اقلیم‌های بسیار مرطوب در سنگ‌هایی با انحلال پذیری کم، مانند کوارتز دیوریت و در مناطق خشک در سنگ‌های گچی، هالیت و انیدریت نیز، رخ می‌دهد (پاولوپلوس و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۳۷). لایپه‌ها ممکن است در سطوح چینه‌بندی و درزه‌های غیر خطی توسعه یابند (عشقی و ثروتی، ۱۳۸۱) و عواملی مانند اثر قطره‌های باران، انحلال ناشی از رواناب سطح سنگ‌ها در محل درزه‌های متقاطع، تجمع لکه‌های خاکی و تبلور نمک (Mustoe, 1982: 109) و در مناطق بیابانی شبیم و تجمع جانداران (Rodriguez et al., 1999) در تشکیل آنها نقش داشته باشند. ولی به نظر می‌رسد که در محدوده‌ی مناطق آهکی زاگرس، مناطقی که رویشگاه گیاهان پست به‌ویژه خزها هستند، لایپه‌ها گسترش بیشتری یافته‌اند.

مطالعات نشان می‌دهند که خزها در طول یک سال حدود ۱ تا ۵ میلی‌متر از لحاظ ضخامت رشد می‌کنند (Skotnicki, 2007). ضخامت خزها با حجم آب نگه‌داشته‌شده ارتباط مستقیم و با تبخیر آب حفظ شده رابطه‌ی معکوسی دارد (Rice et al., 2001: 1567; Proctor, 2000: 3; O'Donnell et al., 2009: 646; Zotz et al., 2000). آنها در مقایسه با گیاهان دیگر توانایی بیشتری برای جذب آب دارند (Ross et al, 1984: 2). در اثر جذب رطوبت، سرعت انتقال حرارت کاهش یافته و سطح زیرین بدنه‌ی آنها به‌کندی رطوبت خود را از دست می‌دهند (Proctor, 2000: 3). به این ترتیب روی سطح سنگ زیر خزها، شرایط میکرو اقلیمی به‌وجود می‌آید که از لحاظ رطوبت و حتی دما، شرایط لازم برای انحلال موضعی سطح سنگ ایجاد می‌کند. بنابراین، آنها باید در هوازدگی فیزیکی و شیمیایی نقش داشته باشند.

هاگ خزها می‌توانند به‌صورت ریزگرد جوی وارد شکاف‌های ریز و خلل و فرج سنگ‌ها شوند و از آنجا رشد خود را آغاز کنند (Lisci et al., 2002: 10). لی و پارسونز^۱ (۱۹۹۹) نشان دادند که گلسنگ‌ها هر ساله به‌میزان ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۰۳ میلی‌متر میان شکاف‌ها و ترک‌های ریز سنگ نفوذ می‌کنند و باعث شکافتن سنگ‌ها و تخریب آنها می‌شوند. از سوی دیگر، خزها و گلسنگ‌ها می‌توانند با نفوذ خود در بدنه‌ی سنگ‌ها، تولید خاک و اسیدهای گوناگون و نگه‌داشت رطوبت و گاز کربنیک، زمینه‌ی هرچه بیشتر انحلال در سنگ‌ها، به‌ویژه سنگ‌های کربناته را فراهم آورند (Adamo and Violent, 2000: 230). اخوان قالیباف و المدرسی (۱۳۸۱) با آزمایش نمونه‌های خاک زیر خزها به این نتیجه رسیدند که کربنات‌های کلسیم و منیزیم در نمونه‌های خاک زیر خزها نسبت به سنگ بستر، به‌میزان قابل توجهی کاهش داشته‌اند. این امر نشان‌دهنده‌ی انحلال مواد کربناته در نمونه‌های سنگی است. چن و بلوم^۲ (۲۰۰۰) نیز سنگ‌های کربناته را نسبت به سنگ‌های دیگر در برابر فرسودگی حاصل از گلسنگ‌ها مستعدتر معرفی کردند و معتقدند که چنانچه

1. Lee and Parsons

2. Chen and Blume

گسترش آنها زیاد شود، می‌توان سنگ‌ها را در برابر هوازدگی فیزیکی حفظ کرد. هال و آروسنه^۱ (۲۰۰۲) پا را از این فراتر گذاشته و نشان دادند که نمونه‌های خاک زیر خزه‌ها و گل‌سنگ‌ها در جهت‌های مختلف یک دامنه، درصدهای متفاوتی از کانی‌های ثانویه را تشکیل می‌دهند و از این رو در جهت‌های مختلف یک دامنه‌ی هوازدگی زیستی، تأثیر متفاوتی را به جا می‌گذارد. با وجود این، نقش این گیاهان در تولید و توسعه‌ی اشکال زمین‌ریخت‌شناختی، مانند لایپه‌ها، هنوز در بوت‌ه ابهام است. در این پژوهش نیز تلاش بر این است تا با یک بررسی آماری نقش سنگ‌های مختلف، شیب‌ها و جهت‌های گوناگون سطح سنگ در شیوه‌ی تولید لایپه‌ها روشن شده و میزان تأثیر شکل خزه‌ها در شکل لایپه‌ها مشخص شود.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، نخست موقعیت مناسب برای نمونه‌برداری مشخص شد و سپس ابعاد لایپه‌ها و خزه‌ها اندازه‌گیری شد. در محلی که این اندازه‌گیری انجام می‌گرفت، جهت دامنه و میزان شیب نیز اندازه‌گیری شد. برای تجزیه و تحلیل این داده‌ها نیز، آزمون‌های آماری خاصی انجام گرفت. در ادامه این فرایند شرح داده می‌شود.

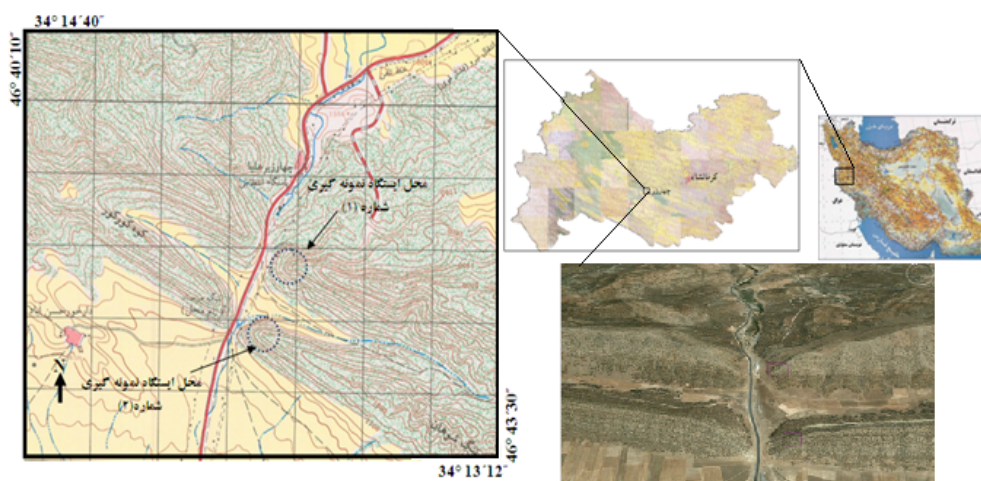
موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

چهار زبر نام گردنه‌ای است در جنوب غرب کرمانشاه که امتداد شمال غربی - جنوب شرقی آن، کوه‌های تنگ شوهان به ارتفاع ۲۱۰۰ متری و کورکور و شیرینی به ارتفاع ۲۳۶۹ متری را در ارتفاع ۱۶۰۰ متری قطع و دو دشت حسن‌آباد در جنوب (ارتفاع ۱۴۴۰ متر) و ماهیدشت (۱۳۶۰ متر) را در شمال، به هم متصل می‌کند. در محل این گردنه یک دره‌ی طولی موجب تقسیم خط‌الرأس به دو قسمت شمالی - جنوبی شده و بنابراین در مسافت‌های کوتاه جهت‌های مختلفی از دامنه را تولید می‌کند (شکل شماره ۱) که شیب لایپه‌های آهکی و دولومیتی آن را از زوایای مختلف در معرض دید قرار می‌دهد.

بر اساس داده‌های حاصل از ایستگاه‌های هواشناسی نزدیک به منطقه (کرمانشاه، اسلام‌آباد غرب و ماهیدشت) و ملاحظات توپوگرافیک، میانگین تقریبی دمای سالانه در این گردنه ۱۱-۱۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه نزدیک به ۴۵۰ میلی‌متر برآورد می‌شود. بارش‌ها به‌طور عمده از آبان تا اردیبهشت رخ می‌دهند. تابستان فصل گرم و خشک و زمستان فصل سرد و مرطوب به‌شمار می‌رود که افت دما گاهی تا کمتر از ۲۰- درجه‌ی سانتی‌گراد شرایط مناسب را برای تخریب سنگ‌های کربناته فراهم آورده و تولید واریزه‌ها را در سطح دامنه‌ها میسر کرده است. با وجود این، شرایط یاد شده موجب وقوع انحلال در سطح دامنه‌ها نیز شده و آثار آن به‌صورت لایپه‌هایی با ابعاد متعدد ظاهر شده است. سطح سنگ‌ها به‌صورت پراکنده به‌وسیله‌ی خزه‌هایی پوشیده می‌شود که گاهی رشد درختان بلوط در بین منافذ سنگی یا روی پوشش کمی از خاک، یکنواختی چشم‌انداز را بر هم می‌زند.

این ویژگی‌های منطقه به‌همراه در دسترس بودن آن، موقعیت مناسبی را برای انجام این پژوهش فراهم آورد. از این رو، دو ایستگاه در دامنه‌های شمال غربی مشرف به این گردنه انتخاب شد (شکل ۱): ایستگاه اول منطبق با سنگ آهک

تله‌زنگ که براساس نظر سخاوتی (۲۰۰۸) از نوع وکستون، پکستون و گرینستون (آهک‌های ناپیوسته در طبقه‌بندی دانه‌ام) است و ایستگاه دوم نیز، هماهنگ با سنگ دولومیت شه‌بازان است که براساس پژوهش‌های عیدی و آدابی (۲۰۰۹)، ۸۵ درصد آن را دولومیت‌های بسیار ریز بلور (دولومیکرات) تشکیل می‌دهند. در مجموع ۴۱۴ نمونه از این منطقه برداشت شد که ۳۱۱ نمونه‌ی آن به‌طور تصادفی از ایستگاه اول و ۱۰۳ نمونه‌ی آن از ایستگاه دوم انتخاب شد. خزه‌ها از روی تخته‌سنگ‌هایی با سطوح به‌نسبت صاف، بدون هوازدگی و خوردگی زیاد برداشت شدند. همچنین تلاش شد خزه‌هایی انتخاب شوند که با دارا بودن شکل هندسی بیضوی یا دایره‌ای بتوانند از لحاظ حداکثر طول، حداکثر عرض و حداکثر عمق اندازه‌گیری شوند.



شکل ۱. موقعیت منطقه‌ی مطالعاتی و ایستگاه‌های اندازه‌گیری

روش نمونه‌گیری

برای انجام نمونه‌گیری، نخست یک برگه‌ی پژوهش‌های میدانی تنظیم شد که در آن اطلاعات مربوط به محل نمونه‌گیری، شامل مختصات جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، جهت، شیب و جنس سنگ، یادداشت شد. علاوه‌بر این، اطلاعات لازم مربوط به اندازه‌گیری حداکثر طول، حداکثر عرض و حداکثر ضخامت (عمق) هر خزه و حفره‌ی ایجاد شده در زیر آن در روی سطح سنگ، درج شد. اگر در زیر خزه‌ای، حفره‌ی سنگی وجود نداشت، برای ابعاد حفره‌ی متناظر با آن خزه، رقم صفر در نظر گرفته شد. مختصات جغرافیایی و ارتفاع با استفاده از دستگاه GPS مدل ماژالان map330 به‌دست آمد و شیب و جهت شیب نیز به‌وسیله‌ی کمپاس برانتون اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری ابعاد خزه‌ها و حفره‌های سنگی ایجاد شده در زیر آنها نیز با کمک دستگاه کولیس انجام گرفت (شکل ۲).

بعد از ذخیره‌سازی اولیه، همه‌ی داده‌ها براساس شیب سطح سنگ به پنج گروه تقسیم‌بندی شدند. دامنه‌ی شیب برای گروه اول و گروه پنجم ۱۵ درجه و برای گروه‌های دوم، سوم و چهارم ۲۰ درجه است. تمام داده‌های دو جنس سنگ بر اساس جهت سطح سنگ، در جهت حرکت عقربه‌های ساعت در چهار گروه شمال شرقی، جنوب شرقی، جنوب غربی و شمال غربی تقسیم‌بندی شد. گفتنی است که ۱۰ تا از نمونه‌هایی که از شیب صفر درجه گرفته شده‌اند، در این تقسیم‌بندی وارد نشده است؛ چرا که شیب صفر درجه یک سطح، به‌معنای نبود جهت خاصی برای آن سطح است.



شکل ۲. اندازه‌گیری حداکثر طول، حداکثر عرض (سمت راست) و حداکثر ضخامت خزه‌ها (سمت چپ) با دستگاه کولیس

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای مشخص شدن اینکه آیا خزه‌ها در تولید لایپه‌ها نقش دارند یا خیر، تعداد خزه‌هایی که زیر آنها حفره داشت با تعداد خزه‌هایی که زیر آنها حفره‌ای وجود نداشت، روی دو نوع سنگ آهک و دولومیت با آزمون کای دو در رابطه گذاشته شدند. از سوی دیگر برای بررسی رابطه‌ی ابعاد خزه‌ها با ابعاد حفره‌های زیر آنها، داده‌های مربوط به حداکثر طول، حداکثر عرض و حداکثر ضخامت خزه‌ها را در مقابل داده‌های مربوط به حداکثر طول، حداکثر عرض و حداکثر عمق حفره‌های زیرین آنها قرار داده تا همبستگی آنها با استفاده از نرم‌افزار SPSS18 محاسبه شود. برای اطمینان از آزمون تی جفتی نیز استفاده شد. این آزمون همچنین برای نشان دادن نقش نوع سنگ، جهت شیب و مقدار شیب سنگ در تولید حفره‌های هم شکل خزه‌ها نیز، به کار گرفته شد.

یافته‌های پژوهش

هنگامی که خزه‌ها کنده می‌شوند، اثر کمابیش هم شکل آنها روی سنگ باقی می‌ماند، ولی حفره‌های زیر آنها کمی متفاوت است (شکل شماره ۱). مقایسه‌ی داده‌های مربوط به ابعاد خزه‌ها و حفره‌ها در دو ایستگاه مختلف که روی دو سنگ آهک و دولومیت قرار داشتند، نشان می‌دهد که ابعاد خزه‌ها روی این دو نوع سنگ کمابیش مشابه بودند، در حالی که ابعاد حفره‌های زیر آنها متفاوت نشان می‌دهند (جدول شماره ۲). از سوی دیگر، در بررسی روابط بین خزه‌ها و حفره‌های زیر آنها مشخص شد که از بین ۳۱۱ نمونه خزه‌ای که از روی سنگ‌های آهکی گرفته شد، در زیر ۲۱۸ مورد حفره وجود داشت و ۹۳ مورد بدون حفره بودند. در حالی که در ایستگاه دوم که منطبق با دولومیت بود از ۱۰۳ نمونه، تنها در زیر ۲۱ مورد از آنها حفره وجود داشت و در زیر ۸۲ مورد حفره‌ای مشاهده نشد (شکل ۱- الف). نتایج حاصل از آزمون کای دو نشان داد که در سنگ آهک تعداد حفره‌های تولید شده در زیر خزه‌ها نسبت به دولومیت به میزان معناداری بیشتر است (جدول شماره ۳)؛ به‌گفته‌ی دیگر، اگر فرض شود که فعالیت خزه‌ها به‌طور همزمان آغاز شده باشد، میزان گسترشی که در نتیجه‌ی انحلال آهک زیر خزه‌ها انجام گرفته، بیشتر از دولومیت بوده است. این آزمون برای شیب‌های مختلف و جهت‌های مختلف سنگ معنادار نیست؛ یعنی در شیب‌های مختلف و در جهت‌های مختلف سنگ، شمار خزه‌هایی که زیر آنها لایپه‌ها گسترش یافته بودند، نسبت به شمار خزه‌هایی که در زیر آنها لایپه‌ها گسترش زیادی

نداشتند، تفاوتی نداشت (شکل ۳-ب و ۳-ج و جدول ۳) و مقدار شیب سطح سنگ و همچنین جهت آن، در میزان تحول لایه‌های زیر خزه‌ها نقشی نداشته‌اند.

جدول ۱. ویژگی‌های آماری ابعاد خزه‌ها و حفره‌های سنگی زیر آنها

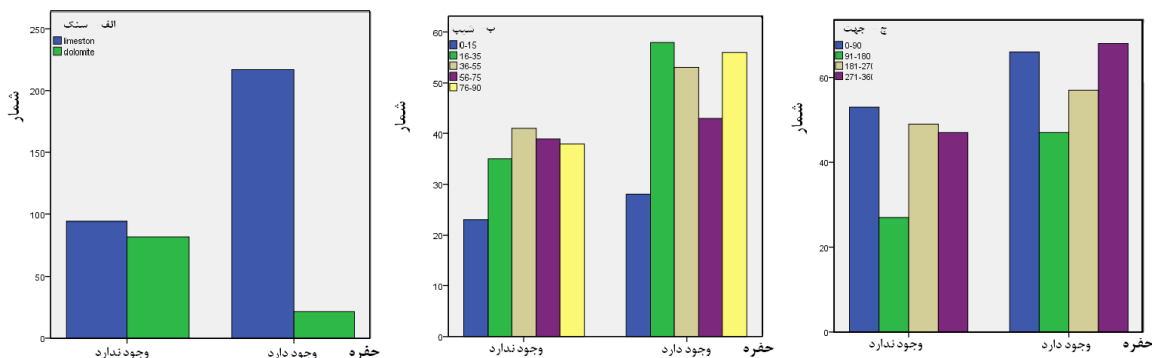
متغیرها	میانگین	شمار داده‌ها	انحراف معیار	خطای معیار میانگین
LM	۴/۴۵۲۱	۴۱۴	۱/۳۷۹۲۳	۰/۰۶۷۷۹
LP	۰/۹۰۷۱	۴۱۴	۰/۹۱۱۷۳	۰/۰۴۴۸۱
WM	۳/۲۸۷۵	۴۱۴	۱/۰۰۳۱۵	۰/۰۴۹۳۰
WP	۰/۳۴۴۶	۴۱۴	۰/۵۶۵۳۷	۰/۰۲۷۷۹
DM	۱/۰۷۰۸	۴۱۴	۰/۴۳۵۲۷	۰/۰۲۱۳۹
DP	۰/۴۳۱۸	۴۱۴	۰/۴۷۲۹۴	۰/۰۲۳۲۴

نکته: در این نمونه‌ها LM، WM، DM به ترتیب بزرگترین قطر، کوچکترین قطر تاج و بیشترین ضخامت خزه به سانتی‌متر و LP، WP، DP نیز به ترتیب بزرگترین قطر، کوچکترین قطر رأس و عمق حفره‌های زیر خزه‌ها به سانتی‌متر هستند.

جدول ۲. ویژگی‌های آماری ابعاد خزه‌ها و حفره‌ها در آهک‌ها و دولومیت‌ها

متغیرها	ایستگاه نمونه‌گیری شماره ۱ یک			ایستگاه نمونه‌گیری شماره ۲ دو		
	بیشترین مقدار	کمترین مقدار	میانگین	بیشترین مقدار	کمترین مقدار	میانگین
حداکثر طول خزه (سانتی‌متر)	۹/۷۶	۱/۶۲	۴/۳۶	۹/۵	۲/۱	۴/۷۲
حداکثر عرض خزه (سانتی‌متر)	۷/۱۶	۱/۲۳	۳/۲۳	۶/۷۳	۱/۳۵	۳/۴۶
حداکثر ضخامت خزه (سانتی‌متر)	۲/۹۷	۰/۳۱	۱/۰۹	۳/۴۲	۰/۳۱	۱/۰۱
حداکثر طول حفره (سانتی‌متر)	۴/۰۲	۰ *	۱/۰۱	۲/۶۶	۰ *	۰/۳۴۴
حداکثر عرض حفره (سانتی‌متر)	۳/۴	۰ *	۰/۷۲۶	۲/۰۴	۰ *	۰/۲۱۸
حداکثر عمق حفره (سانتی‌متر)	۲/۰۶	۰ *	۰/۵۲۵	۲/۰۳	۰ *	۰/۱۵

* در مواقعی که در زیر خزه‌ها حفره‌ای وجود نداشت ابعاد حفره‌ها نیز صفر منظور شده است.



شکل ۳. شمار خزه‌هایی که بر حسب نوع سنگ (الف)، شیب (ب) جهت شیب سطح سنگ (ج) دارای حفره و فاقد حفره‌اند.

جدول ۳. آزمون کای دو برای آزمون شمار حفره‌های زیر خزه‌ها نسبت نوع سنگ، شیب سطح زمین و جهت شیب سطح سنگ

سطح معنادار (دو طرفه)	درجه آزادی	مقدار	
۰/۰۰۰	۱	۷۷/۲۱۹	مربع کای پیرسون (برای نوع سنگ)
۰/۷۱۵	۴	۲/۱۱۵	مربع کای پیرسون (برای شیب سطح سنگ)
۰/۵۶۷	۳	۲/۰۲۵	مربع کای پیرسون (برای جهت شیب سطح سنگ)
		۴۱۴	تعداد مقادیر معتبر (برای همه موارد آزمون)

همبستگی بین ابعاد خزه‌ها با ابعاد حفره‌های زیر آنها، نشان می‌دهد که کمترین قطر تاج و ضخامت خزه، به ترتیب با عرض حفره و عمق آن ارتباط معناداری دارد (جدول ۴). ولی این ارتباط با آزمون تی. جفتی به‌اندازه‌ای که ضریب همبستگی نشان می‌دهد معنادار ظاهر نشد (جدول ۵)؛ به‌گفته‌ی دیگر، طول، عرض و عمق حفره‌ها از طول و عرض و ضخامت خزه‌ها پیروی نمی‌کنند و حتی نوع سنگ نیز در این رابطه اثرگذار نیست؛ یعنی این رابطه در هر دو نوع سنگ آهک و دولومیت معنادار نیست. با وجود اینکه آزمون به‌صورت جفتی برای شیب‌ها و جهت‌های مختلف سنگ نیز انجام گرفت، ولی در هیچ‌یک از موارد، رابطه‌ی معناداری بین ابعاد حفره‌ها و ابعاد خزه‌ها مشاهده نشد. این بدان معناست که به‌طور کلی، ابعاد هر خزه با ابعاد حفره‌ی زیرین خود در هیچ شرایطی تناسب ندارد و ابعاد حفره‌ها مستقل از ابعاد خزه‌ها گسترش می‌یابند.

جدول ۴. همبستگی نمونه‌های جفتی

		شمار داده‌ها	همبستگی	معنادار بودن
جفت اول	LM & LP	۴۱۴	۰/۱۳۴	۰/۰۰۶
جفت دوم	WM & WP	۴۱۴	۰/۰۰۹	۰/۸۵۶
جفت سوم	DM & DP	۴۱۴	۰/۵۳۴	...

جدول ۵. آزمون تی. نمونه‌های جفتی

		اختلاف‌های جفت شده				ت.:	درجه آزادی	معنادار بودن (دوطرفه)	
		میانگین	انحراف معیار	میانگین خطای معیار	۹۵٪ فاصله اطمینان اختلاف				
					کمتر				بیشتر
جفت اول	LM-LP	۳/۵۵	۱/۵۵	۰/۰۷۶	۳/۳۹۵	۳/۶۹۵	۴۶/۶۱	۴۱۳	۰/۰۰
جفت دوم	WM-WP	۲/۹۴	۱/۱۵	۰/۰۵۶	۲/۸۳۲	۳/۰۵۳	۵۲/۲	۴۱۳	۰/۰۰
جفت سوم	DM-DP	۰/۶۴	۰/۴۴	۰/۰۲۲	۰/۵۹۶	۰/۶۸۱	۲۹/۵۷	۴۱۳	۰/۰۰

در این نمونه‌ها LM، WM، DM به‌ترتیب بزرگترین قطر، کوچکترین قطر تاج و بیشترین ضخامت خزه و LP، WP، DP نیز به‌ترتیب بزرگترین قطر، کوچکترین قطر رأس و عمق حفره‌های زیر خزه‌ها هستند.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از آزمون کای دو مبنی بر تفاوت واکنش دو نوع سنگ، در برابر تعداد خزه‌ها و حفره‌های زیرشان را می‌توان گویای نقش خزه‌ها دانست؛ زیرا در هر دو نوع سنگ خزه وجود دارد، ولی در یکی از آنها که انحلال پذیرتر است، حفره‌های بیشتری گسترش یافته است. اگر خزه‌ها در گسترش لایپه‌ها نقش نداشتند، در زیر اغلب آنها حفره‌ای وجود نداشت و از سوی دیگر، در هر دو نوع سنگ تعداد حفره‌های زیر خزه کمابیش برابر بود. از آنجا که مطالعات آدامو و ویولان (۲۰۰۰)، چن و بلومی (۲۰۰۰)، اخوان قالیباف و المدرسی (۱۳۸۱) نقش خزه‌ها را در هوازدگی شیمیایی و انحلال مشخص کرده‌اند، نمی‌توان نتیجه‌ی حاصل از این پژوهش را حمل بر اثر حفره‌ها بر خزه‌ها دانست، یا به‌گفته‌ای ایجاد حفره‌ها را مقدم بر رشد خزه‌ها شمرد. از سوی دیگر، معنادار بودن تفاوت فراوانی حفره‌های زیر خزه‌ها را نیز، می‌توان به‌شدت عمل انحلالی متفاوت خزه‌ها روی آهک و دولومیت نسبت داد؛ زیرا میزان اکسید کلسیم و کاهش اکسید منیزیم سنگ‌های آهکی، نشانه‌ی خالص بودن سنگ کربناته است که همراه با تخلخل زیاد سنگ، به‌ایجاد و گسترش کارست و اشکال انحلالی کمک می‌کند (قبادی و کرمی، ۱۳۸۴: ۳۵). با وجود این، ناهماهنگی ابعاد خزه‌ها با ابعاد حفره‌ها که در آزمون تی. نشان داده شد، ممکن است باعث تضعیف دلایل تبیین‌کننده‌ی رابطه بین اشکال خزه‌ها و اشکال حفره‌های زیر آنها باشد، ولی نباید فراموش کرد که این نتیجه حاصل بررسی دوبه‌دوی داده‌هاست و همبستگی همین داده‌ها رابطه‌ی معناداری را بین آنها نشان داده است (جدول ۴). بنابراین، اگر موضوع با رویکرد دیگری بررسی شود و رابطه‌ی ابعاد خزه‌ها با ابعاد حفره‌ها براساس مرحله‌ی تحول کنکاش شود، به‌احتمال نتایج روشن‌تری به‌دست می‌آید.

برای این بررسی لازم است که نخست شاخصی را به‌دست آورد که مراحل تکامل را نشان دهد. بنابراین ممکن است نسبت ابعاد لایپه‌ها به ابعاد معادل خزه (برای نمونه پهنای لایپه به پهنای خزه) شاخص مناسبی باشد. از این رو بین نسبت‌ها همبستگی برقرار شد و بیشترین همبستگی را نسبت عمق لایپه به ضخامت خزه به‌دست آورد (جدول ۶) که به‌عنوان شاخص برگزیده شد. برای اینکه در مراحل تحول متفاوت آزمون تی انجام گیرد، داده‌های پایین‌تر از مقدار معلوم شاخص در هر مرحله از فرایند تجزیه و تحلیل کنار گذاشته شده و بقیه داده‌ها آزمون شدند.

نتایج نشان داد که در هر مرحله از آزمون، تفاوت بین دو گروه داده (مربوط به خزه و لایپه) کمتر شد تا مرحله‌ای که تنها نسبت‌های بالای ۰/۸ حفظ شد. در این حالت، علاوه‌بر اینکه همبستگی روابط بیشتر شد، تفاوت معناداری بین ضخامت خزه‌ها و عمق لایپه‌های زیر آنها مشاهده نشد (جدولهای ۷، ۹ و ۸) و این نشان می‌دهد که زمانی که خزه‌ها در زیر خود لایپه‌های بزرگ داشته باشند، قطر بزرگ سطح خزه و به‌ویژه ضخامت آنها با قطر بزرگ و عمق لایپه‌ی زیر خود هماهنگی بیشتری نشان می‌دهد. براساس آنچه رایس و همکاران (۲۰۰۱: ۱۵۶۸)، پروکتور (۲۰۰۲: ۳)، آدونیل و همکاران (۲۰۰۹) و زوتز و همکاران (۲۰۰۰) در رابطه با ارتباط ضخامت خزه و نگه‌داشت رطوبت ذکر کرده‌اند، این منطقی به نظر می‌رسد که خزه‌ها با مسن‌تر شدن خود، عملکرد انحلالی بیشتری را به‌واسطه‌ی حجم آب در اختیار داشته باشند و به‌مرور شکل لایپه را به‌شکل خود نزدیک کنند و به‌ویژه عمق آنها را افزایش دهند. از آنجا که در بعضی نمونه‌های گسترش یافته، عمق حفره‌ها بیشتر از ضخامت خزه‌ها است، به‌نظر می‌رسد که در مراحل تکاملی، خزه‌ها نمی‌توانند ضخامت نامحدودی داشته باشند و با نگه‌داشت رطوبت در داخل حفره، باعث انحلال بیشتر آن می‌شوند.

جدول ۶. همبستگی بین نسبت‌های ابعاد لایپه به خزه برای تعیین شاخص مرحله‌ی تحول

		LP/LM	WP/MM	DP/DM
LP/LM	همبستگی پیرسون	۱	۰/۶۵۲ ^{**}	۰/۲۰۹ ^{**}
	معناداری (دو طرفه)		۰/۰۰۰	۰/۰۰۱
	شمار داده‌ها	۲۳۹	۲۳۹	۲۳۹
WP/MM	همبستگی پیرسون	۰/۶۵۲ ^{**}	۱	۰/۱۹۲ ^{**}
	معناداری (دو طرفه)	۰/۰۰		۰/۰۰۱
	شمار داده‌ها	۲۳۹	۲۳۹	۲۳۹
DP/DM	همبستگی پیرسون	۰/۲۰۹ ^{**}	۰/۱۹۲ ^{**}	۱
	معناداری (دو طرفه)	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	
	شمار داده‌ها	۲۳۹	۲۳۹	۲۳۹

^{**} همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنادار است (دو طرفه)

جدول ۷. آماره‌های نمونه‌های جفتی ابعاد لایپه‌ها و خزه‌ها موقعی که شاخص تحول به ۰/۸ می‌رسد.

		میانگین	شمار داده‌ها	انحراف معیار	خطای معیار
جفت اول	LM	۴/۰۶۵۳	۵۵	۱/۲۴۳۹	۰/۱۶۷۷۹
	LP	۱/۶۰۹۱	۵۵	۰/۵۵۶۲۱	۰/۰۷۵۰۰
جفت دوم	WM	۲/۸۸۰۹	۵۵	۰/۸۴۰۹۳	۰/۱۱۳۳۹
	WP	۱/۰۵۹۱	۵۵	۰/۴۴۶۵۵	۰/۰۶۰۲۱
جفت سوم	DM	۱/۰۷۳۳	۵۵	۰/۳۹۹۸۸	۰/۰۵۳۹۲
	DP	۱/۰۶۶۵	۵۵	۰/۳۸۲۳۷	۰/۰۵۱۵۶

جدول ۸. همبستگی نمونه‌های جفتی دارای شاخص تحول بیشتر از ۰/۸

		شمار داده‌ها	همبستگی	معناداری
جفت اول	LM & LP	۵۵	۰/۲۸۶	۰/۰۳۴
جفت دوم	WM & WP	۵۵	۰/۳۵۳	۰/۰۰۸
جفت سوم	DM & DP	۵۵	۰/۸۳۶	۰/۰۰۰

جدول ۹. آزمون تی. نمونه‌های جفتی برای داده‌های با شاخص تحول بیشتر از ۰/۸

		اختلاف‌های جفت شده					ت.ج.	درجه آزادی	معنا داری (دوطرفه)
		میانگین	انحراف معیار	خطای معیار	۹۵٪ فاصله اطمینان اختلاف				
					کمتر	بیشتر			
جفت اول	LM-LP	۲/۴۵۶	۱/۲۰۹	۰/۱۶۳	۲/۱۲۹	۲/۷۸۳	۱۵/۰۷	۵۴	۰/۰۰
جفت دوم	WM-WP	۱/۸۲۲	۰/۸۰۱	۰/۱۰۸	۱/۶۰۵	۲/۰۳۸	۱۶/۸۶	۵۴	۰/۰۰
جفت سوم	DM-DP	۰/۰۰۷	۰/۲۲۴	۰/۰۳۰	-۰/۰۵۴	۰/۰۶۷	۰/۲۲۵	۵۴	۰/۸۲

بنابراین خزها با فعالیت‌های بیولوژیک و شیمیایی خود، سبب انحلال سنگ‌های کربناته می‌شوند. حاصل این عمل ایفای نقش آنها در تولید لاپیسه‌های حفره‌ای در دامنه‌های زاگرس شده است که تحول بعدی خود را به‌ویژه، اگر به انواع دیگر لاپیسه‌ها تبدیل شوند، مدیون سایر عوامل می‌شوند. در خزهای جوان، اثر شکل آنها روی سنگ به‌واسطه‌ی هوازگی برجا می‌ماند، ولی در مراحل‌ی که در زیر آنها حفره‌هایی به‌وجود می‌آید، شکل خود را نمی‌توانند بر شکل حفره‌ها تحمیل کنند. با گسترش حفره‌ها، ابعاد خزها به‌ویژه عمق آنها به ابعاد حفره‌ها خیلی نزدیک می‌شود.

منابع

- اخوان قالیباف، م. و المدرسی، ص. (۱۳۸۱). تأثیر خزها و گل‌سنگ‌ها در هوازگی و خاکسازگی سنگ‌های آهکی و دولومیتی سازند سلطانیه در جنوب غربی حوضه‌ی آبریز یزد، مجموعه مقالات پانزدهمین همایش انجمن بلورشناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، صص. ۱۱۶-۱۱۲.
- سختوتی، ب. (۱۳۸۷). شناسایی میکروفسیل‌های سازند تله‌زنگ در برش تنگه مرصاد، جنوب باختری کرمانشاه، مجله‌ی علوم پایه دانشگاه بوعلی سینا، جلد ۵، صص. ۴۰-۳۴.
- عبدی، ا. و آدابی، م. ح. (۱۳۸۸). پتروگرافی انواع دولومیت‌ها، بررسی دیاژنز، مرز احتمالی سازند شه‌بازان - آسماری و تفکیک رخساره‌ها بر اساس ویژگی‌های ژئوشیمیایی دولومیکرایت‌ها، شواهد پتروگرافی و روش‌های آماری در برش دارابی (جنوب غرب ایران)، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، شماره ۳۶، صص. ۱۰۰-۸۱.
- عشقی، ا. و ثروتی، م. ح. (۱۳۸۳). ویژگی‌های ژئومورفولوژی مناظر کارستی در حوضه‌ی آبریز کارده، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۸، صص. ۱۵-۱.
- قبادی، م. ح. و کرمی، ر. (۱۳۸۴). لزوم توجه به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سنگ‌های کربناته در مطالعات زمین‌شناسی مهندسی کارست، چهارمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس، صص. ۴۳-۳۵.

Abdi, A., Adabi M. H., 2009, **Dolomites Petrography Diagenesis analysis, Probable Shahbazan- Asmari Formations Boundary and Facies Based on Dolomicrite Geochemistry, Petrographic Evidences and Statistic Methods in Darabi Section (Southwest Iran)**, Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches, Vol. 25, No. 1 & 36, PP. 81- 100.

- Adamo, P., Violant, P., 2000, **Weathering of Rocks and Neogenesis of Minerals Associated with Lichen Activity**, Clay Sciences, Vol. 16, No. 5-6, PP. 229-256.
- Akhavan Ghalibaf, M., Almodaresi S., 2000, **The Effect of Mosses and Lichens on Weathering and Pedogenesis of Limestone and Dolomite of Soltanieh Formation in the Southwest of Yazd Watershed**, Proceedings of 15th conference of Iranian Society of Crystallography , Ferdosi University of Mashhad, 112-116.
- Chen, J., Blume, H. P., 2002, **Rock- Weathering by Lichens in Antarctic: Patterns and Mechanisms**, Journal of Geographical Sciences, Vol. 12, No. 4, PP. 387-396.
- Chen, J., Blume, H.P., Beyer, L., 2000, **Weathering of Rocks Induced by Lichen Colonization**, Catena, Vol. 39, No. 2, PP. 121-146.
- Eshgi A. R. , Servati M.R., 2004, **Characteristic of Karst Landscape of Drainage Basin of Kadeh-River (East of Kopeh-Dagh Zone)**, Geographical Research Quarterly ; 36(48):1-16.
- Ghobadi M. H. and Karemi R., 2005, **Requisiteness of Attention to Physical and Chemical Characteristics of Carbonate Rocks in Engineering Geology Studies of Karst**, 4th conference on engineering geology and environment of Iran, Terbiat Moderes University, 35-43.
- Hall, K., Arocena, J.M., 2002, **the Influence of Aspect on the Biological Weathering of Granites**, Geomorphology, Vol. 67, PP.171-188.
- Lee, M.R., Parsons, I., 1999, **Biomechanical and Biochemical Weathering of Encrusted Granit**, Chemical Geology, Vol. 161, PP. 385- 397.
- Lisci, M., Monte, M. and Pacini, E., 2002, **Lichens and Higher Plants on Stone: a Review**, International Biodeterioration & Biodegradation, Vol. 51, No. 1, PP. 1-17.
- Mustoe, G.E., 1982, **the Origin of Honeycomb Weathering**, Geological Society of America Bulletin, Vol. 93, No. 2, PP. 108-115.
- O'Donnell, J.A., 2009, **The Effect of Moisture Content on the Thermal Conductivity of Moss and Organic Soil Horizons from Black Spruce Ecosystems in Interior Alaska**, Soil Science, Vol. 174, No. 12, PP. 646-651.
- Pavlopoulos, K., Evelpidou, N. and Vassilopoulos, A., 2009, **Mapping Geomorphological Environments**, Springer, Verlag Berlin Heidelberg.
- Proctor, M.C.F., 2000, **Mosses and Alternative Adaptation to Life on Land**, New Phytol, Vol. 148, PP. 1-6.
- Rice, S.K., Collins, D., and Anderson, A. M., 2001. Functional significance of variation In bryophyte canopy structure. Amer. J. Bot. 88. 1568-1576.
- Rodriguez-Navarro, C., Doehne, E and Sebastian, E., 1999, **Origins of Honeycomb Weathering: the Role of Salts and Wind**, Geological Society of America Bulletin, Vol. 111, No. 8, PP. 1250-1255.
- Ross, B.A. and Webster, G.R., Vitt, D. H., 1984, **The Role of Mosses in Reclamation of Brine Spills in Forested Areas**, Petroleum Technology, Vol. 23, No. 6, PP. 1-4.

- Sekhavati B., 2008, **The Identify of Microfossils in Teleh-Zeng formation on Section of Mersad gorge, Southwest of Kermanshah**, Magazine of Basic Sciences of Buali Sina University, 5, 34-40.
- Selkirk, P.M., Skotnicki M, L., 2007, **Measurement of Moss Growth Continental Antarctica**, Polar Biological Sciences, Vol. 30, PP. 407-413.
- Smith, B.J., 1994, **Weathering Processes and forms**, in Abrahams, A.D., and Parsons, A.J., eds Geomorphology of Desert Environments, Chapman and Hall, London.
- Smith, B.J., Wark, P.A and Moses, C. A., 2000, **Limestone Weathering in Contemporary Arid Environmental: A Case Study from Southern Tunisia**, Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 25, PP. 1343-1354.
- Zotz, G., and Schweikert A., Jetz W., **Westerman H., 2000, Water Relations and Carbon Gain Are Closely Related to Cushion Size in the Moss Grimmia Pulvinata**, New Phytologist, Vol. 148, No. 1, PP. 59-67.