پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال یازهم، شماره ۱، تابستان ۱۴۰۱
صص. ۱۷۰-۱۵۴

بررسی تخریب‌پذیری سری سازندی قم در منطقهٔ بیابانی (مطالعهٔ موردی: کاشان)

عباسعلی ولی*- دانشیار گروه علوم مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع‌طبیعی و علوم‌زمین کاشان، ایران.
مهدیه افشاری- دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، دانشکدهٔ منابع‌طبیعی و علوم‌زمین کاشان، ایران.
محمد شمس‌آبادی- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت و کنترل بیابان، دانشکدهٔ منابع‌طبیعی و علوم‌زمین کاشان، ایران.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۱/۲۲ تائید نهایی: ۱۴۰۰/۰۶/۲۸

چکیده

از جمله عوامل اثرگذار و تعیین‌کنندهٔ شدت تخریب، میزان رسوب‌زایی و تخریب‌پذیری سازندها است. حساسیت متفاوت سازندها سهم آن‌ها را در شکل‌گیری واحدها برعهده می‌گیرد. سازندهای زمین‌شناسی متعددی در شکل‌گیری هر منطقه دخیل است. در این مطالعه، عمده سازندهای تشکیل‌دهنده از سازندهای سری قم است. در این پژوهش براساس روش سلبی اصلاح شده، مقاومت سازندهای قرمز بالایی، قم، قرمز زیرین و ولکانیک ائوسن برآورد و در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی بااستفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شده است. در روش سلبی شش پارامتر سختی چکش اشمیت، جهت درزه، درجهٔ هوازدگی، عرض، فاصله و پیوستگی درزه ملاک بررسی مقاومت سنگ می‌باشد که وضعیت تخریب‌پذیری سازند را از خیلی حساس تا خیلی مقاوم تعیین می‌نماید. در روش اصلاح شده، فاکتور پوشش‌گیاهی نیز اضافه شد. طبق نتایج به‌دست آمده سازند ولکانیک ائوسن با ۷۶/۱۶ امتیاز در ردهٔ سازندهای مقاوم، سازند قم با ۶۳/۶۶ امتیاز در ردهٔ سازندهای متوسط، سازند قرمز زیرین با ۴۷/۵ امتیاز در ردهٔ سازندهای حساس و در نهایت سازند قرمز بالایی با ۲۶/۳۳ امتیاز در ردهٔ سازندهای خیلی حساس قرار گرفت. بنابراین، می‌توان اذعان نمود باتوجه به وضعیت تخریب‌پذیری؛ سازندهای سری قم عمدتاً حساس بوده و قدرت رسوب‌زایی بالایی دارند. بررسی شواهد ژئومورفیک دامنه‌ها نیز مؤید نتایج به‌دست آمده از پژوهش است به‌طوریکه سازند ولکانیک ائوسن با دامنهٔ پرشیب و تشکیل رخساره‌های ستیغ و پرتگاهی بیش‌ترین مقاومت و سازند قرمز بالایی با ایجاد در رخساره‌های دامنه‌های کم شیب و تپه ماهوری بیش‌ترین حساسیت را نشان داده‌اند.

واژگان کلیدی: دامنه، رسوب‌زایی، فرسایش‌پذیری، مواد پیوسته، هوازدگی.

* نویسنده مسئول: E-mail: Vali@kashanu.ac.ir

مقدمه

در اغلب سازندهای زمین‌شناسی اختلاف در توان تولید رسوب به‌دلیل تفاوت در بافت، مقاومت و حساسیت سازند به فرسایش است. یکی از عوامل اثرگذار در رسوب‌زایی جنس سازندهای موجود در منطقه می‌باشد به‌طوریکه سازندهای حساس به فرسایش در برابر سازندهای مقاوم رسوب‌دهی بیش‌تری دارند (عسگری و همکاران، ۱۳۹۹، ۱۷۸). حساسیت متفاوت سازندها در حقیقت اختلاف سهم آن‌ها را در شکل‌گیری واحدهای دشت‌سر و پلایا برعهده می‌گیرد (جعفری و همکاران، ۱۳۸۸، ۲۵). به‌منظور بررسی مقاومت مواد پیوستهٔ زمین‌شناسی به فرسایش، اغلب خصوصیاتی نظیر سختی، درز و شکاف، لایه‌بندی، عوامل درزه‌ها شدت هوازدگی سنگ‌ها و در مواد ناپیوسته، بافت، ساختمان، نفوذپذیری، کانی‌شناسی، مواد آلی، نوع رس مد نظر قرار می‌گیرد (احمدی و فیض‌نیا، ۱۳۸۵، ۶۵). انواع سنگ‌ها از طریق خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، بر روی فرآیند هوادیدگی تأثیر می‌گذارند. میزان هوادیدگی کانی‌ها به ترکیب شیمیایی، شکل بلور، اندازه و درجهٔ بلوری شدن آن‌ها بستگی دارد و به کمک سطح قابل دسترس کنترل می‌شود، بنابراین کانی‌های بزرگ، سخت‌تر از کانی‌های کوچک با حجم یکسان هوادیده می‌شوند. اگر هوادیدگی شدید و چشم‌انداز پایدار باشد، ضخامت زیاد مواد هوادیده که نیمرخ هوادیدگی نام دارد، ممکن است با خصوصیات ویژهٔ مرتبط با ماهیت سنگ‌های هوادیده توسعه یابد (کریم‌پور ریحان و کیانیان، ۱۳۸۷، ۸۹). سازند سری قم با سن الیگومیوسن در ایران مرکزی از گذشته تا به امروز مورد توجه زمین‌شناسان می‌باشد (قبادی و کاپله‌ای، ۱۳۹۱، ۱۱۸). طبقاتی از آهک‌های کم‌عمق و مارن که به‌طور مشخصی از نظر رنگ و لیتولوژی از سازند قرمز زیرین و قرمز بالایی متمایز هستند؛ سازند قم نامیده می‌شوند. این سازند برای نخستین بار توسط گانسر[1] و همکاران (۱۹۵۵) تشخیص داده شده است (دهقان و همکاران، ۱۳۸۹، ۷۴). براساس مطالعات چینه‌شناسی سنوزوئیک حوضهٔ قم تاکنون سه مجموعهٔ رسوبی شاخص در این حوضه قابل تشخیص است که این سه مجموعه توسط کنگلومرای پلیوسن و رسوبات عهد حاضر پوشیده می‌شوند در محدودهٔ دشت کاشان واقع در جنوب کاشان و در مسیر کاشان– نطنز از نواب تا شجاع‌آباد، مجموعه‌ای از چین‌خوردگی سازندهای قرمز تحتانی، سازند قم و سازند قرمز بالایی دیده می‌شود (مکاریان و همکاران، ۱۳۹۰، ۳۶ و بیات، ۱۳۹۶، ۲۴). دهداری‌فر و همکاران (۱۳۹۹)، در مطالعه‌ای با هدف مقایسهٔ حساسیت به فرسایش و طبقه‌بندی مقاومت سازندها با استفاده از روش سلبی[2] بیان کردند، سنگ آهک آسماری با میانگین امتیاز روش سلبی بین ۷۰/۹۹–۶۶/۷۲ مقاوم‌ترین سنگ است که پس از آن به‌ترتیب سنگ آهک میشان، آغاجاری و انیدریت گچساران قرار دارد. دهداری‌فر (۱۳۹۴)، با بررسی حساسیت به فرسایش و طبقه‌بندی سنگ‌های آهک آسماری، آهک میشان، ماسه سنگ آهکی آغاجاری و انیدریت گچساران با استفاده از روش‌های سلبی و سایش لس آنجلس در زون زاگرس بیان داشت، روش سلبی به‌دلیل دارا بودن پارامترهای زیاد و قدرت طبقه‌بندی سنگ‌ها بهترین روش رده‌بندی است و بیش‌ترین همبستگی را دارد. محمد خان و احمدی (۱۳۹۶)، با بررسی رابطهٔ سختی سنگ و تولید واریزه به روش سلبی اصلاح‌شده در ماسه سنگ آغاجاری بیان کردند، رابطهٔ قوی و مستقیم بین واریزه‌های سنگی با پارامترهای سختی چکش اشمیت، هوازدگی، پیوستگی درزه و رابطهٔ متوسط با پیوستگی درزه و تخلخل و رابطهٔ ضعیف با فاصلهٔ درزه و فقدان رابطه با پهنای درزه‌ها است. عسگری و همکاران (۱۳۹۸)، با بررسی مقاومت سازندهای زمین‌شناسی نسبت به فرسایش در حوضهٔ آبخیز چنذاب اردبیل، بیان کردند سازندهای زمین‌شناسی این منطقه نسبت به فرسایش مقاوم است و توان رسوب‌زایی پایینی دارند، لذا اقدامات حفاظتی که انجام می‌شود باید در جهت حفظ شرایط فعلی ادامه یابد. دهداری‌فر و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای با هدف تعیین مقاومت به فرسایش سنگ‌های سازندهای گروه فارس شامل آهک مارنی میشان، ماسه سنگ آهکی آغاجاری، انیدریت گچساران و توده سنگ آهک آسماری در سه منطقهٔ بهبهان، گچساران و دیلم با کمک روش رتبه‌بندی مقاومت توده سنگ و حساسیت گزارش نمودند؛ بین سنگ‌های سازند فارسو سنگ آهک آسماری

[1]. Ganser
[2]. Selby

تفاوت معنی‌دار وجود دارد. سنگ آهک آسماری از نظر مقاومتی جزء سنگ‌های خوب تا خیلی خوب است. چریستوفر[1] و همکاران (۲۰۱۸)، با بررسی رسوب‌زایی در سندی هوک نیوجرسی ایالات متحدهٔ آمریکا اذعان داشتند، براساس تخلخل و اندازهٔ دانه‌ها و همچنین سن رسوبات تراکم رسوبات محاسبه شد و بیان کردند تجمع رسوب در منطقهٔ مورد مطالعه سبب افزایش سطح دریا شده است. آیدین و باسو[2] (۲۰۰۵) و دی و گودی[3] (۱۹۷۷)، گزارش نمودند چکش اشمیت ابزار مناسبی در جهت اندازه‌گیری سختی سازند است. التین[4] (۲۰۱۵)، به بررسی تغییرات زیست‌محیطی و اقلیمی در طی پلیستوسن–هولوسن در دشت بور، آناتولی مرکزی ترکیه پرداختند و دریافتند که این تغییرات منجر به تغییر روند چرخه‌های رسوب در این نواحی گردیده است. لی[5] و همکاران (۲۰۱۷)، در مطالعه‌ای بیان کردند، تولید رسوب با انتقال از فاز پلیستوسن–هولوسن ارتباط معناداری ندارد. توی[6] و همکاران (۲۰۰۲) و اریکسون[7] (۲۰۰۴)، بیان کردند سازندهای بسیار فرسایش‌پذیر نسبت به سازندهای مقاوم در برابر تخریب تا ۱۰ برابر نسبت به فرآیند تخریب حساس‌تر است. هدف کلی پژوهش حاضر، مطالعهٔ رفتار سازندهای منطقهٔ مطالعاتی که عمدتاً متشکل از سری سازندی قم است، در تولید رسوب و تخریب‌پذیری آن‌ها می‌باشد. به‌طوریکه بااستفاده از بررسی و برآورد پارامترهای فیزیکی دامنه‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و باتوجه به شناخت وضعیت استقرار پوشش‌گیاهی برروی دامنه‌ها امکان افزودن پارامتر فیتولوژیکی به پارامترهای فیزیکی بررسی و سرانجام شواهد ژئومورفولوژی سازندها مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

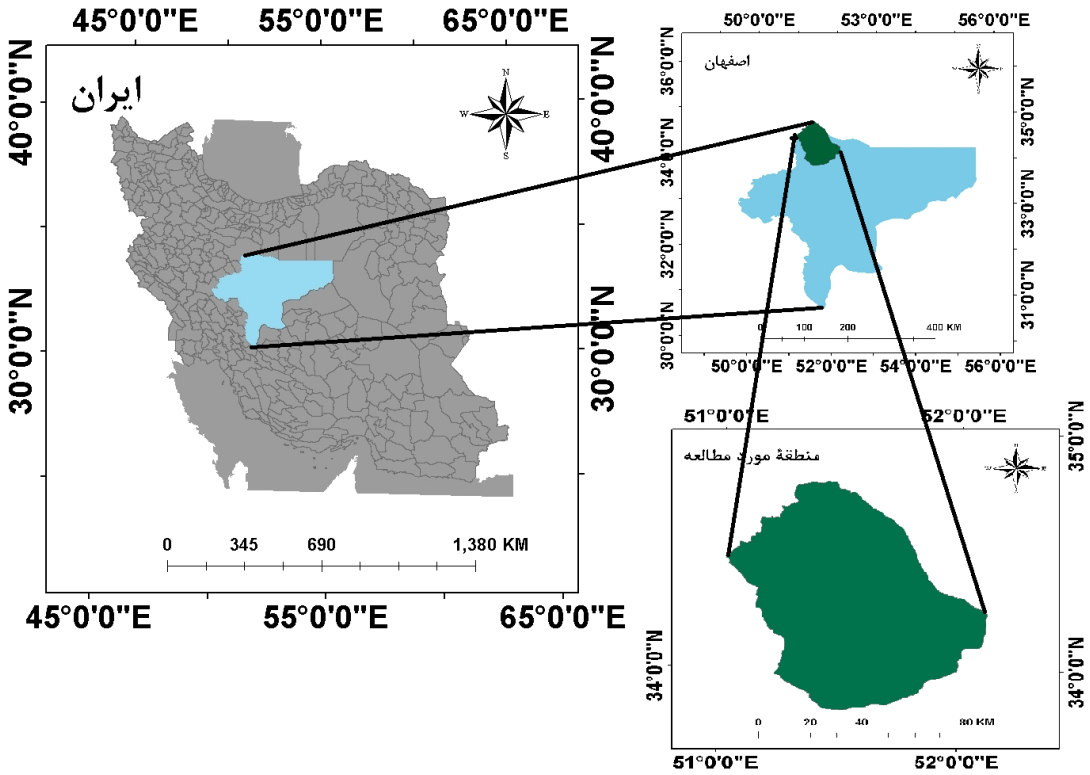
روش تحقیق

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی ساختمانی منطقهٔ مورد مطالعه

کاشان یکی از مهم‌ترین شهرستان‌های استان اصفهان است که دارای طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۴ دقیقه و ۳۹ ثانیه تا ۵۲ درجه و ۶ دقیقه و ۳ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۶ دقیقه و ۳۶ ثانیه تا ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه و ۶ ثانیه است و در ارتفاع ۱۶۰۰ متری از سطح دریا واقع شده است. میزان نزولات جوی سالانه بالغ بر ۱۳۰ میلیارد متر مکعب است (افشاری‌نیا و پناهی، ۱۴۰۰، ۳۹). کاشان بخش کوچکی از یک واحد طبیعی و ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی است که خود به دو بخش مجزا و متمایز کوهستانی و دشتی تقسیم می‌شود. از نظر زمین‌شناسی ساختمانی ارتفاعات جنوب غرب و جنوب کاشان جزء ارتفاعات ایران مرکزی بوده و در کمربند آتش‌فشانی بزمان–تبریز قرار دارند. واحد ایران مرکزی جزء بزرگ‌ترین و پیچیده‌ترین واحد زمین‌شناسی به‌شمار می‌رود. در این واحد قدیمی‌ترین سنگ‌های دگرگون‌شده (پرکامبرین) تا آتش‌فشان فعال و نیمه‌فعال امروزی وجود دارد. منطقهٔ کوهستانی از نظر لیتولوژی منحصراً شامل تشکیلات دوران سوم زمین‌شناسی است که عبارت است از، تشکیلات پالئوسن، تشکیلات ائوسن، تشکیلات الیگوسن، تشکیلات میوسن (میانی– فوقانی)، تشکیلات پلیوسن. قسمت دشتی منطقهٔ کاشان شامل دشت‌سرها، دشت‌ها و پلایا است. از جانب شمال شرق به زمین‌های شوره‌زار کویر مرکزی ایران اتصال پیدا می‌کند. در شکل ۱، موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه نسبت به کشور و استان نشان داده شده است.

---

1. Christopher
2. Aydin and basu
3. Day and Goudie
4. Altin
5. Li
6. Toy
7. Ericson



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه نسبت به کشور و استان

روش کار

در پژوهش حاضر، رخنمون سری سازندی قم در منطقهٔ مطالعاتی به تفکیک سازند قرمز بالایی، قرمز زیرین، قم و ولکانیک ائوسن شناسایی شد (شکل‌های ۲، ۳ و ۴). پس از شناسایی رخنمون اقدام به تعیین واحدهای نمونه‌برداری از سازندهای منطقهٔ مطالعاتی براساس واحدهای معرف سازندی شد (شکل ۶). واحد M_u برای سازند قرمز بالایی (دامنه از جنس مارن، کنگلومرای قرمز و ژیپس)، واحد O_1 برای سازند قرمز زیرین (دامنه از جنس کنگلومرای قرمز، ماسه سنگ و مارن)، واحد OM_q برای سازند قم (دامنه از جنس آهک ریفی، شیل خاکستری و مارن ماسه‌ای) و واحد E_{v6} برای سازند ولکانیک ائوسن (دامنه از جنس گدازه‌های آندزیت، بازالت و ریولیت) شناسایی شد. پس از تعیین واحدهای نمونه‌برداری؛ روش سلبی جهت بررسی تخریب‌پذیری واحدهای انتخاب شده از سازندها براساس طرح آماری کاملاً تصادفی با شش تکرار روی دامنه اجرا شد. روش سلبی در سال (۱۹۸۰)، توسط سلبی به‌منظور رده‌بندی تودهٔ سنگ‌ها برای اهداف ژئومورفولوژی معرفی گردید. در این روش در هر سطح اقدام به اندازه‌گیری و امتیازدهی به پارامترهای موردنظر خواهد شد و متشکل از پارامترهای شش‌گانهٔ سختی چکش اشمیت، جهت درزه، درجهٔ هوازدگی، عرض، فاصله و پیوستگی درزه است. در این پژوهش از چکش اشمیت سری N استفاده شد. عدد به‌دست آمده از چکش اشمیت در نوع سنگ‌های هوازده متفاوت است و هرچه میزان هوازدگی بیشتر باشد مقاومت کمتری در سنگ دیده می‌شود. سلبی (۱۹۹۳) در ارتباط با چکش اشمیت به نمره‌دهی پرداخت به‌طوریکه سنگ‌های بسیار ضعیف با فشردگی کم و بسیار هوازده نمرهٔ ۳۵–۱۰، سنگ‌هایی با سیمان ضعیف نمرهٔ ۳۵–۴۰، سنگ‌های با مقاومت متوسط نمرهٔ ۵۰–۴۰، سنگ‌هایی با مقاومت زیاد نمرهٔ ۶۰–۵۰ و سنگ‌هایی با مقاومت بسیار زیاد و فشردگی بالا نمرهٔ بالای ۶۰ دارند (گودی[1]، ۲۰۱۳). برای بررسی شدت هوازدگی، مقدار تغییر رنگ سنگ در اثر هوازدگی مورد بررسی قرار می‌گیرد. به‌طوریکه تکه‌ای از سنگ را با چکش جدا نموده، با سنگ‌های هوازده در روی زمین

[1]. Goudie

مقایسه می‌شود سپس میزان تغییر رنگ تعیین شده بررسی می‌شود (دهداری‌فر و همکاران، ۱۳۹۹، ۵۹۸). به‌منظور اندازه‌گیری فواصل درزه از خط‌کش استفاده شد و فاصلهٔ بین دو درزهٔ متوالی برآورد گردید. عرض درزه‌ها نیز با استفاده از خط‌کش تعیین گردید. براساس این که درزه‌ها جهت‌یافته‌اند یا خیر و شیب آن‌ها نسبت به شیب دامنه به چه صورت می‌باشد، امتیازدهی داده شد. پیوستگی درزه‌ها با بررسی امتداد درزه‌ها و مقدار پرشدگی مشخص و بر این اساس امتیازدهی شد. هم‌چنین وضعیت پوشش‌گیاهی برروی دامنهٔ سازندی براساس انبوه پوشش‌گیاهی در ۱۰۰ متر مربع دسته‌بندی شد و نمونه‌برداری به روش تصادفی سیستماتیک انجام شد. از آنجایی که فاکتور پوشش‌گیاهی به سبب نقش مثبت در مقاومت سازندها از اهمیت بسزایی برخوردار است لذا ۵–۰ بوته در ۱۰۰ متر مربع در طبقهٔ خیلی حساس، ۱۰–۵ بوته در ۱۰۰ متر مربع در طبقهٔ حساس، ۱۵–۱۰ بوته در ۱۰۰ متر مربع در طبقهٔ متوسط، ۲۰–۱۵ بوته در ۱۰۰ متر مربع در طبقهٔ نسبتاً مقاوم و ۲۵–۲۰ بوته در ۱۰۰ متر مربع در طبقهٔ مقاوم قرار گرفته شد. تحلیل نتایج نیز به کمک آنالیز واریانس و آزمون مقایسهٔ میانگین‌های چند دامنه‌ای دانکن و استنباط آماری نتایج انجام گرفت. در نهایت نیز تحلیل نتایج و مقایسهٔ وضعیت تخریب‌پذیری واحدهای سازندی و انطباق نتایج با شواهد ژئومورفولوژی دامنه‌ها صورت گرفت و فاکتور پوشش‌گیاهی به عوامل مدل سلبی اضافه شد. در جدول۱، روش اصلاح یافتهٔ سلبی ارائه شده است.

شکل ۲: سازند قم در منطقهٔ مطالعاتی

شکل ۳: سازند قرمز زرین در منطقهٔ مطالعاتی

شکل ۴: سازند قرمز بالایی در منطقهٔ مطالعاتی

شکل ۵: سازند قرمز بالایی هوازده در منطقهٔ مطالعاتی

شکل ۶: تصاویری از نحوهٔ نمونه‌برداری

جدول ۱: روش اصلاح یافتهٔ سلبی

طبقه‌ها / پارامترها	۱ بسیار نامقاوم	۲ نامقاوم	۳ مقاومت متوسط	۴ مقاوم	۵ بسیارمقاوم
مقاومت	۱۰–۳۵ درجه	۳۵–۴۰ درجه	۴۰–۵۰ درجه	۵۰–۶۰ درجه	۶۰–۱۰۰ درجه
	نمره ۵	۱۰	۱۴	۱۸	۲۰
هوازدگی	کاملاً هوازده	هوازدگی زیاد	هوازدگی متوسط	کمی هوازده	بدون هوازدگی
	نمره ۳	۵	۷	۹	۱۰
فاصلهٔ بین درزه‌ها	کمتر از ۵۰ میلیمتر	بین ۵۰ تا ۳۰۰ میلیمتر	بین ۰/۳ تا ۱ متر	بین ۱ تا ۳ متر	بیش از ۳ متر
	نمره ۸	۱۵	۲۱	۲۸	۳۰
جهت یافتگی درزه‌ها نسبت به شیب دامنه	خیلی نامساعد	نامساعد	نسبتاً نامساعد	مساعد	خیلی مساعد
	نمره ۵	۹	۱۴	۱۸	۲۰
عرض درزه‌ها	بیش از ۲۰ میلیمتر	۵ تا ۲۰ میلیمتر	۱ تا ۵ میلیمتر	۰/۱ تا ۱ میلیمتر	کمتر از ۰/۱ میلیمتر
	نمره ۲	۴	۵	۶	۷
پیوستگی‌درزه‌ها	پیوسته با پرشدگی زیاد	پیوسته با پرشدگی کم	پیوسته بدون پرشدگی	تعداد کمی از درزه‌ها پیوسته	غیرپیوسته
	نمره ۱	۴	۵	۶	۷
پوشش‌گیاهی (تعداد)	خیلی حساس	حساس	متوسط	نسبتاً مقاوم	مقاوم
	نمره ۰–۵	۵–۱۰	۱۰–۱۵	۱۵–۲۰	۲۵–۳۰
مجموع	کمتر از ۲۵	۲۶ تا ۵۱	۵۲ تا ۷۶	۷۷ تا ۱۰۵	۱۰۶ تا ۱۲۴

بحث و یافته‌ها

نتایج حاصل از متغیرهای اندازه‌گیری شده و آنالیز واریانس فاکتورهای هفت‌گانه

در جدول ۲، نتایج حاصل از متغیرهای اندازه‌گیری شدهٔ سازندهای قرمز بالایی، قم، قرمز زیرین و ولکانیک ائوسن ارائه شده است. هم‌چنین نتایج حاصل از واریانس فاکتورهای هفت‌گانه شامل واجهش، هوازدگی، فاصله درزه‌ها، جهت یافتگی، عرض درزه‌ها، پیوستگی درزه‌ها و پوشش‌گیاهی در جدول‌های ۳ تا ۹ ارائه شده است.

جدول ۲: متغیرهای اندازه‌گیری شدهٔ جدول اصلاح یافتهٔ سلبی سازندهای قرمز بالایی، قرمز زیرین، قم و ولکانیک ائوسن

ردیف	سازند	واجهش	هوازدگی	فاصلهٔ‌درزه‌ها	جهت‌یافتگی	عرض درزه‌ها	پیوستگی	پوشش‌گیاهی
۱	قرمز بالایی	۵	۳	۵	۴	۳	۲	۷
۲	قرمز بالایی	۱۰	۴	۷	۵	۴	۳	۸
۳	قرمز بالایی	۱۵	۴	۶	۳	۳	۳	۶
۴	قرمز بالایی	۵	۵	۶	۴	۵	۱	۸
۵	قرمز بالایی	۵	۲	۸	۵	۴	۱	۵
۶	قرمز بالایی	۳	۲	۵	۴	۲	۱	۴
۷	قرمز زیرین	۴۰	۷	۲۰	۱۱	۴	۵	۱۲
۸	قرمز زیرین	۲۰	۵	۲۵	۱۷	۵	۴	۱۰
۹	قرمز زیرین	۳۵	۶	۱۷	۱۳	۶	۶	۱۴
۱۰	قرمز زیرین	۳۰	۷	۲۷	۱۴	۵	۴	۱۵
۱۱	قرمز زیرین	۴۵	۵	۱۴	۱۲	۶	۳	۱۱
۱۲	قرمز زیرین	۴۰	۵	۱۲	۱۵	۴	۵	۱۰
۱۳	قم	۲۰	۳	۱۰	۶	۴	۳	۶
۱۴	قم	۲۵	۵	۱۵	۷	۳	۴	۷
۱۵	قم	۱۵	۷	۱۴	۵	۴	۵	۵
۱۶	قم	۳۰	۶	۱۷	۵	۵	۲	۶
۱۷	قم	۲۰	۴	۱۴	۶	۳	۲	۴
۱۸	قم	۱۵	۶	۱۲	۷	۲	۳	۳
۱۹	ولکانیک ائوسن	۵۰	۷	۲۰	۱۸	۶	۷	۱
۲۰	ولکانیک ائوسن	۶۰	۸	۲۰	۱۹	۶	۷	۲
۲۱	ولکانیک ائوسن	۴۵	۹	۲۵	۱۶	۷	۵	۱
۲۲	ولکانیک ائوسن	۵۵	۹	۲۵	۱۷	۵	۶	۳
۲۳	ولکانیک ائوسن	۶۵	۱۰	۲۷	۱۲	۵	۵	۱
۲۴	ولکانیک ائوسن	۵۰	۱۰	۲۰	۱۲	۶	۶	۲

جدول ۳: نتایج آنالیز واریانس فاکتور واجهش

سطح معناداری	آماره	میانگین مربعات	درجهٔ آزادی	مجموع مربعات	واجهش
۰/۰۰۰	۵۱/۴۵۵	۲۴۲۴/۸۱۹	۳	۷۲۷۴/۴۵۸	بین گروه‌ها
		۴۷/۱۲۵	۲۰	۹۴۲/۵۰۰	داخل گروه‌ها
			۲۳	۸۲۱۶۹۸۵	جمع

جدول ۴: نتایج آنالیز واریانس فاکتور هوازدگی

سطح معناداری	آماره	میانگین مربعات	درجهٔ آزادی	مجموع مربعات	هوازدگی
۰/۰۰۰	۲۱/۰۳۴	۳۱/۳۷۵	۳	۹۴/۱۲۵	بین گروه‌ها

		۱/۴۹۲	۲۰	۲۹/۸۳۳	داخل گروه‌ها
			۲۳	۱۲۳/۹۸۵	جمع

جدول ۵: نتایج آنالیز واریانس فاکتور فاصلهٔ درزه‌ها

سطح معناداری	آماره	میانگین مربعات	درجهٔ آزادی	مجموع مربعات	فاصلهٔ درزه‌ها
۰/۰۰۰	۲۳/۷۲۷	۳۱۵/۳۷۵	۳	۹۴۶/۱۲۵	بین گروه‌ها
		۱۳/۲۹۲	۲۰	۲۶۵/۸۳۳	داخل گروه‌ها
			۲۳	۱۲۱۱/۹۸۵	جمع

جدول ۶: نتایج آنالیز واریانس فاکتور جهت‌یافتگی

سطح معناداری	آماره	میانگین مربعات	درجهٔ آزادی	مجموع مربعات	جهت یافتگی
۰/۰۰۰	۵۰/۶۰۷	۱۹۱/۴۲	۳	۵۷۳/۱۲۵	بین گروه‌ها
		۳/۷۷۵	۲۰	۷۵/۵۰۰	داخل گروه‌ها
			۲۳	۶۴۸/۶۲۵	جمع

جدول ۷: نتایج آنالیز واریانس فاکتور عرض درزه‌ها

سطح معناداری	آماره	میانگین مربعات	درجهٔ آزادی	مجموع مربعات	عرض درزه‌ها
۰/۰۰۰	۹/۰۱۹	۸/۰۴۲	۳	۲۴/۱۲۵	بین گروه‌ها
		۰/۸۹۲	۲۰	۱۷/۸۳۳	داخل گروه‌ها
			۲۳	۴۱/۹۸۵	جمع

جدول ۸: نتایج آنالیز واریانس فاکتور پیوستگی درزه‌ها

سطح معناداری	آماره	میانگین مربعات	درجهٔ آزادی	مجموع مربعات	پیوستگی درزه‌ها
۰/۰۰۰	۱۸/۰۹۷	۱۶/۱۵۳	۳	۵۷/۴۵۸	بین گروه‌ها
		۱۰/۰۵۸	۲۰	۲۱/۱۶۷	داخل گروه‌ها
			۲۳	۷۸/۶۲۵	جمع

جدول ۹: نتایج آنالیز واریانس فاکتور پوشش‌گیاهی

پوشش‌گیاهی	مجموع مربعات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات	آماره	سطح معناداری
بین گروه‌ها	۵۷۶/۱۴	۳	۱۸۱/۰۳۲	۵۰/۷	۰/۰۰۰
داخل گروه‌ها	۶۸/۶۰۰	۲۰	۳/۸۸۵		
جمع	۶۴۴/۷۴	۲۳			

طبق نتایج حاصل از آنالیز واریانس فاکتورهای هفت‌گانه، چنان‌چه سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ باشد آن فاکتور دارای اختلاف معنادار می‌باشد و چنان‌چه سطح معناداری بزرگتر از ۰/۰۵ باشد آن فاکتور دارای اختلاف معنادار نمی‌باشد. لذا در تمام فاکتورهای فوق سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ است و دارای اختلاف معنادار می‌باشد.

نتایج حاصل از آزمون دانکن فاکتورهای هفت‌گانه

در جدول‌های ۱۰ تا ۱۶، نتایج حاصل از آزمون دانکن ارائه شده است. در این آزمون اختلاف معنادار عامل تعیین شده در آنالیز واریانس توسط آزمون دانکن مورد تحلیل قرار گرفته است.

جدول ۱۰: نتایج آزمون دانکن فاکتور واجهش

سازند	تعداد	۱	۲	۳	۴
قرمز بالایی	۶	۷/۱۶			
قرمز زیرین	۶		۲۰/۸۳		
قم	۶			۳۵	
ولکانیک ائوسن	۶				۵۴/۱۶
سطح معناداری		۱	۱	۱	۱

جدول ۱۱: نتایج آزمون دانکن فاکتور هوازدگی

سازند	تعداد	۱	۲	۳
قرمز بالایی	۶	۳/۳۳		
قرمز زیرین	۶		۵/۱۶	
قم	۶		۵/۸۳	
ولکانیک ائوسن	۶			۸/۸۳
سطح معناداری		۱	۰/۳۵	۱

جدول ۱۲: نتایج آزمون دانکن فاکتور فاصلهٔ درزه‌ها

سازند	تعداد	۱	۲	۳
قرمز بالایی	۶	۶/۱۶		
قرمز زیرین	۶		۱۳/۶۶	
قم	۶			۱۹/۱۶
ولکانیک ائوسن	۶			۲۲/۸۳
سطح معناداری		۱	۱	۰/۰۹۷

جدول ۱۳: نتایج آزمون دانکن فاکتور جهت‌یافتگی

سازند		تعداد	۱	۲
قرمز بالایی		۶	۴/۱۶	
قرمز زیرین		۶	۶	
قم		۶		۱۳/۶۶
ولکانیک ائوسن		۶		۱۵/۶۶
سطح معناداری			۰/۱۱۸	۰/۰۹۰

جدول ۱۴: نتایج آزمون دانکن فاکتور عرض درزه‌ها

سازند	تعداد	۱	۲
قرمز بالایی	۶	۳/۵۰	
قرمز زیرین	۶	۳/۵۰	
قم	۶		۵
ولکانیک ائوسن	۶		۵/۸۳
سطح معناداری		۱	۰/۱۴۲

جدول ۱۵: نتایج آزمون دانکن فاکتور پیوستگی درزه‌ها

سازند	تعداد	۱	۲	۳	۴
قرمز بالایی	۶	۱/۸۳			
قرمز زیرین	۶		۳/۱۶		
قم	۶			۴/۵۰	
ولکانیک ائوسن	۶				۶
سطح معناداری		۱	۱	۱	۱

جدول ۱۶: نتایج آزمون دانکن فاکتور پوشش‌گیاهی

سازند	تعداد	۱	۲	۳	۴
قرمز بالایی	۶	۶/۳۳			
قرمز زیرین	۶		۱۲		
قم	۶			۵/۱۶	
ولکانیک ائوسن	۶				۱/۶۶
سطح معناداری		۱	۱	۱	۱

مطابق جدول ۱۰، نتایج آزمون دانکن فاکتور واجهش بیانگر وجود اختلاف معنادار در سطح خطای کمتر از پنج درصد بین تمام سازندها است. مطابق جدول ۱۱، نتایج آزمون دانکن فاکتور هوازدگی بیانگر وجود اختلاف معنادار در سطح خطای کمتر از پنج درصد بین سازندهای قرمز بالایی و ولکانیک ائوسن و عدم وجود اختلاف معنادار بین سازندهای قرمز زیرین و قم است. مطابق جدول ۱۲، نتایج آزمون دانکن فاکتور فاصلهٔ درزه‌ها بیانگر وجود اختلاف معنادار در سطح خطای کمتر از پنج درصد بین سازندهای قرمز بالایی و قرمز زیرین و عدم وجود اختلاف معنادار بین سازندهای قم و ولکانیک ائوسن است. مطابق جدول ۱۳، نتایج آزمون دانکن فاکتور جهت یافتگی بیانگر عدم وجود اختلاف معنادار در سطح خطای کمتر از پنج درصد بین سازندهای قرمز بالایی و قرمز زیرین و هم‌چنین سازند قم و ولکانیک ائوسن است. مطابق جدول ۱۴، نتایج آزمون دانکن فاکتور عرض درزه‌ها بیانگر وجود اختلاف معنادار در سطح خطای کمتر از پنج درصد بین سازندهای قرمز بالایی و قرمز زیرین و عدم وجود اختلاف معنادار بین سازندهای قم و ولکانیک ائوسن است. مطابق جدول ۱۵ و ۱۶، نتایج آزمون دانکن فاکتورهای پیوستگی درزه‌ها و پوشش‌گیاهی بیانگر وجود اختلاف معنادار در سطح خطای کمتر از پنج درصد بین تمام سازندها است.

نتایج حاصل از شناسایی جامعه‌شناسی گیاهی

در جدول ۱۷ و ۱۸، نتایج حاصل از شناسایی جامعه‌شناسی گیاهی و نتایج کیفی پوشش‌گیاهی ارائه شده است. طبق نتایج به‌دست آمده گونه‌های اشنان، آتریپلکس و شور در سازند قرمز بالایی، گونه‌های ملیکا، کاکوتی و تنگرس در سازند قرمز زیرین، گونه‌های کاسنی و چرخه در سازند قم و گونه‌های درمنهٔ کوهستانی، کنگر، چوبک، گون و کرقیچ نیز در سازند ولکانیک ائوسن مشاهده شد.

جدول ۱۷: شناسایی جامعه‌شناسی گیاهی سازندها

ردیف	گونهٔ گیاهی	قرمز بالایی	قرمز زیرین	قم	واکانیک ائوسن
۱	کاسنی (*Cichoim intybus*)			✓	
۲	درمنهٔ کوهستانی (*Artemisia aucheri*)				✓
۳	ملیکا (*Melica persica*)		✓		
۴	کنگر (*Goundelia tournefortii*)				✓
۵	چوبک (*Acanthophyllum bracteatum*)				✓
۶	کاکوتی (*Ziziphora clinopoides*)		✓		
۷	اشنان (*Seidlitzia rosmarinus*)	✓			
۸	آتریپلکس (*Atriplex leucocloda*)	✓			
۹	گون (*Astragalus gossypium*)				✓
۱۰	چرخه (*Launaea acanthodes*)			✓	

۱۱	تنگرس (*Amygdalus lycioides*)		✓		
۱۲	کرقیچ (*Hertia angustifolia*)				✓
۱۳	شور (*Salsola kali*)	✓			

جدول ۱۸: نتایج کیفی پوشش‌گیاهی

ردیف	سازند	شورپسندی	تراکم‌پوشش
۱	قرمز بالایی	دارای بیشترین گیاهان شورپسند	متوسط
۲	قرمز زیرین	مشاهده نشد	کم
۳	قم	دارای کمترین گیاهان شورپسند	متوسط
۴	ولکانیک ائوسن	مشاهده نشد	زیاد

نتایج حاصل از امتیازدهی کلی سازندها

در جدول ۱۸ و شکل ۷، نتایج حاصل از امتیازدهی کلی سازندها ارائه شده است. سازند ولکانیک ائوسن با ۷۶/۱۶ امتیاز در ردهٔ سازندهای مقاوم، سازند قم با ۶۳/۶۶ امتیاز در ردهٔ سازندهای متوسط، سازند قرمز زیرین با ۴۷/۵ امتیاز در ردهٔ سازندهای حساس و سازند قرمز زیرین با ۲۶/۳۳ امتیاز در ردهٔ سازندهای خیلی حساس قرار گرفته است.

جدول ۱۸: امتیازدهی کلی

ردیف	سازند	امتیاز
۱	قرمز بالایی	۲۶/۳۳
۲	قرمز زیرین	۴۷/۵
۳	قم	۶۳/۶۶
۴	ولکانیک ائوسن	۷۶/۱۶

شکل ۷: امتیازدهی کلی

نتیجه‌گیری

عکس‌العمل متفاوت سازندها در مقابل تخریب در جهت مدیریت یکپارچهٔ منابع‌طبیعی از اهمیت بسزایی برخوردار است به‌طوریکه می‌توان آن را در مقوله‌های متعددی از قبیل مدیریت فرسایش، مدیریت پوشش‌گیاهی و مدیریت چشم‌انداز مطرح نمود. به‌طور کلی، رفتار سازندهای مختلف به عوامل بیولوژیک خصوصاً پوشش‌گیاهی و جوامع مستقر پوشش بر آن‌ها اثرگذار است (افشاری‌نیا، ۱۳۹۹). از آن‌جایی که پوشش‌گیاهی منعکس‌کنندهٔ عوامل محیطی و عوامل انسانی نظیر بهره‌برداری است لذا مدیریت پوشش‌گیاهی رکن اصلی مطالعهٔ اکوسیستم‌ها به حساب می‌آید و بررسی وضعیت آن می‌تواند سلامت پوشش‌گیاهی و جایگاه آن را نسبت به حالت تعادل مشخص کند. از طرفی باتوجه به اینکه بوته‌های مستقر روی سازندها غالباً ارتفاعی کمتر از نیم‌متر دارند و فرسایش بادی مؤثر نیز در این ارتفاع صورت می‌گیرد بنابراین تعیین وضعیت پوشش‌گیاهی و شناسایی آن می‌تواند در برآورد میزان فرسایش سازندها نقش ویژه‌ای داشته باشد. هم‌چنین شناخت رفتارهای رسوب‌زایی فیزیکی- بیولوژیکی سازندها در مناطق بیابانی می‌تواند زمینهٔ شناسایی وضعیت تخریب و فرسایش این مناطق باشد و منشاء اولیهٔ رسوبات آبی و بادی منطقه به‌شمار آید و شناسایی عکس‌العمل بیولوژیکی سازندها و احیاء چرخه‌های حیات بر روی سازندهای مناطق بیابانی می‌تواند به توسعهٔ چرخه جامع حیات کمک کند. به‌همین دلیل در پژوهش حاضر، به‌غیر از شش پارامتر روش سلبی از فاکتور پوشش‌گیاهی برای بررسی تخریب‌پذیری سازندهای ماقبل کواترنر استفاده شد. براساس نتایج به‌دست آمده از مطالعه؛ بارزترین نمونه از مقاومت پایین سازندها با استفاده از چکش اشمیت در سازند قرمز بالایی با نمرهٔ پنج دیده شد و این گویای نامقاوم بودن سازند بود. هم‌چنین، درجهٔ هوازدگی برای سازندهای منطقهٔ مطالعاتی از سازندهای کاملاً هوازده تا سازندهای با هوازدگی زیاد دیده شد. به‌طوریکه سازند قرمز بالایی کاملاً هوازده و سازندهای قم و قرمز زیرین و ولکانیک ائوسن دارای درجه هوازدگی زیاد بود. فاصله درزه‌ها بین ۳۰۰ تا ۵۰ میلیمتر دیده شد و نمره به‌دست آمده در تمام سازندها از ۶/۱۷ تا ۲۲/۸۳ متغیر بود که نشان از نامقاوم بودن و مقاومت متوسط سازندها است. در ارتباط با فاکتور جهت یافتگی، سازند قرمز بالایی، قرمز زیرین، قم و ولکانیک ائوسن به‌ترتیب با نمرهٔ پنج، شش، ۱۴ برآورد شد که بیانگر جهت‌یافتگی نامساعد بود. میانگین عرض درزه‌ها در بیشتر سازندهای منطقهٔ مطالعاتی در محدوده ۱ تا ۵ میلیمتر بود و نمرهٔ پنج را به خود اختصاص داد که نشان از مقاومت متوسط بود. فاکتور پیوستگی درزه‌ها و پوشش‌گیاهی نیز از نظر سختی متوسط بود. در ارتباط با شواهد ژئومورفولوژیک می‌توان اذعان نمود رخساره‌های دامنه‌های معرف سازندی تطابق نسبی با وضعیت تخریب برآورد شده دارد؛ به‌طوریکه دامنه‌های پرشیب با رخسارهٔ سنگی و ستیغ برای سازندهای مقاوم، رخساره‌های ترکیبی با شیب متوسط برای سازندهای با مقاومت متوسط و رخساره‌های تپه ماهوری و کم شیب برای سازندهای حساس در نظر گرفته شد. در نهایت نیز سازند ولکانیک ائوسن با ۷۶/۱۶ امتیاز در ردهٔ سازندهای مقاوم، سازند قم با ۶۳/۶۶ امتیاز در ردهٔ سازندهای متوسط، سازند قرمز زیرین با ۴۷/۵ امتیاز در ردهٔ سازندهای حساس و سازند قرمز زیرین با ۲۶/۳۳ امتیاز در ردهٔ سازندهای خیلی حساس قرار گرفت. این بخش از نتایج تحقیق با نتایج مطالعاتی چون مکاریان و همکاران (۱۳۹۰)، شریعت جعفری و همکاران (۱۳۸۵)، حقیان و همکاران (۱۳۸۷)، جهان‌تیغ و همکاران (۱۳۹۲)، بختیاری و همکاران (۱۳۹۳)، مهرورز مقانلو (۱۳۹۳)، فتحی‌زاد و همکاران (۱۳۹۵)، پیروان و شریعت جعفری (۱۳۹۲)، غیاثی و همکاران (۱۳۹۶)، رضایی (۱۳۹۷)، دهداری‌فر و همکاران (۱۳۹۹)، مور[1] و همکاران (۲۰۰۹)، بنجامین[2] (۲۰۱۸)، تورنتون و استنفسون[3] (۲۰۰۶)، گوپتا[4] و همکاران (۲۰۰۹) و قنواتی و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت دارد. در نهایت نتیجه‌گیری می‌شود، شناخت رفتارهای متفاوت تخریب‌پذیری انواع سازندها در مدیریت منابع‌طبیعی پایدار بسیار حائز اهمیت است و رفتارهای گوناگون سازندها در برقراری پایداری محیط از مطالعات پایه به‌حساب می‌آید و نقش مهمی

1. Moore
2. Benjamin
3. Thornton and Stephenson
4. Gupta

ایفا می‌کند. سازندهای مختلف در برابر تخریب‌پذیری مقاومت متفاوتی دارند و بعضی از واحدهای زمین‌شناسی بسیار مستعد تخریب و رسوب‌زایی می‌باشد. بنابراین، می‌توان اذعان داشت پدیدهٔ تخریب و آثار نامطلوب آن شاید در کوتاه‌مدت چشمگیر نباشد اما در دراز مدت بسیار محسوس خواهد بود و باید مدنظر قرار بگیرد.

منابع

- احمدی، ح. و فیض‌نیا، س.، ۱۳۸۵. سازندهای دورهٔ کواترنر. چاپ دوم. مؤسسهٔ انتشارات دانشگاه تهران.
- افشاری‌نیا، م. و پناهی، ف.، ۱۴۰۰. تأثیر خشکسالی اقلیمی بر شوری خاک سطحی در دشت کاشان. نشریهٔ مدلسازی و مدیریت آب و خاک. دورهٔ ۱، شمارهٔ ۲، صص ۴۶-۳۶.
- افشاری‌نیا، م.، ۱۳۹۹. مقابله با بیابان‌زایی و تخریب سرزمین (استراتژی‌های فضایی با استفاده از پوشش‌گیاهی). چاپ اول، انتشارات دانشیاران ایران.
- بختیاری، ح.، مقیمی، ب. و ثروتی، م. ر.، ۱۳۹۳. ارزیابی اثر خصوصیات ساخت و بافت واحدهای سنگی تودهٔ نفوذی الوند بر مقاومت رخنمون‌ها در برابر تخریب و هوازدگی. فصلنامهٔ جغرافیایی سرزمین، سال ۱۵، شماره ۴۳، پائیز ۱۳۹۳.
- بیات، ز.، ۱۳۹۶. زیست چینه‌نگاری سازند قم در برش آزران واقع در جنوب غرب کاشان. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکدهٔ علوم، دانشگاه خوارزمی.
- پیروان، ح. ر. و شریعت جعفری، م.، ۱۳۹۲. ارائهٔ روشی جامع برای تعیین فرسایش‌پذیری واحدهای سنگ‌شناسی با نگرشی به زمین‌شناسی ایران. نشریهٔ علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز. جلد ۵، شماره ۳، صص ۲۱۳ - ۱۹۹.
- جعفری، م.، نصری، م. و طویلی، ع.، ۱۳۸۸. تخریب خاک و اراضی. چاپ اول، مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
- جهان‌تیغ، م. و رضایی‌نوری، ع.، ۱۳۹۲. بررسی رشد پوشش‌گیاهی در خاک‌های شور و تأثیر آن‌ها بر فرسایش مناطق خشک (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ سیستان). اولین کنفرانس ملی تنش شوری در گیاهان و راهکارهای توسعه کشاورزی در شرایط شور، شهریور ۱۳۹۲.
- حقیان، ا.، رخ فیروز، گ. و قربانی پاشاکلایی، ج.، ۱۳۸۷. مقایسهٔ سازندهای زمین‌شناسی از نظر خصوصیات خاک و پوشش‌گیاهی. همایش زمین‌شناسی کاربردی و محیط زیست.
- خسرو تهرانی، خ.، ۱۳۸۹. زمین‌شناسی ایران. چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران.
- دستورانی، ج.، ۱۳۸۴. بررسی حساسیت به فرسایش و رسوبزایی سازندهای زمین‌شناسی در حوزه آبخیز گرگانرود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه تهران.
- دهداری‌فر، م.، فرجی، م.، صالحی ویسی، م. و احسانی، ج.، ۱۳۹۸. مقایسهٔ حساسیت به فرسایش و مقاومت سنگ‌های آهک آسماری، آهک میشان، ماسه‌سنگ آغاجاری و انیدریت گچساران بااستفاده از روش RAR. نشریهٔ مرتع و آبخیزداری. دورهٔ ۷۲، شمارهٔ ۳. صص ۷۲۵-۷۰۹.
- دهداری‌فر، م.، فرجی، م.، صالحی ویسی، م. و احسانی، ج.، ۱۳۹۹. مقایسهٔ حساسیت به فرسایش و مقاومت سنگ‌های آهک آسماری، آهک میشان، ماسه‌سنگ آغاجاری و انیدریت گچساران بااستفاده از روش سلبی. نشریهٔ علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز. جلد ۱۲، شمارهٔ ۲، صص ۵۹۳-۶۰۷.
- رضایی، خ.، ۱۳۹۷. ارزیابی نقشهٔ حساسیت نسبت به فرسایش بر اساس روش تصمیم‌گیری درختی (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبریز سمنان). پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، سال ۳۴، شماره پیاپی ۷۰، شماره اول، صص ۶۶ – ۴۷.
- شریعت جعفری، م.، غیومیان، ج. و پیروان، ح. ر.، ۱۳۸۵. حساسیت ذاتی سازندهای زمین‌شناسی به هوازدگی و فرسایش در حوضه‌های واقع در پهنهٔ رسوبی – ساختاری خرده قارهٔ ایران مرکزی. نشریهٔ علوم (دانشگاه خوارزمی). دوره ۶، شماره ۲- ۱، صص ۷۲۲ – ۷۰۹.

- عسگری، ا.، میرزایی، ش.، مهری، س.، حاجی، خ. و نصیری خیاوی، ع.، ۱۳۹۸. تعیین و بررسی مقاومت سازندهای زمین‌شناسی نسبت به فرسایش در حوضهٔ آبخیز چنذاب اردبیل. چهاردهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران.
- غیاثی، س. س.، فیض‌نیا، س.، مقدم‌نیا، ع. ر. و ناجی‌راد، س.، ۱۳۹۶. بررسی حساسیت واحدهای سنگی به فرسایش با استفاده از ویژگی‌های کانی شناسی. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال ششم، شماره سوم، بهار ۱۳۹۶.
- فتحی‌زاد، ح.، کریمی، ح. و توکلی، م.، ۱۳۹۵. نقش حساسیت به فرسایش سازندهای زمین‌شناسی در فرسایش و تولید رسوب (مطالعهٔ موردی: زیرحوزه‌های رودخانهٔ دویرج استان ایلام). پژوهشنامهٔ مدیریت حوزهٔ آبخیز. سال ۷، شماره ۱۳، بهار و تابستان ۱۳۹۵.
- قبادی، م.ج. و کاپله‌ای، م.، ۱۳۹۱. مطالعهٔ خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی سنگ آهک‌های سازند قم (مطالعهٔ موردی: شرق و شمال شرق همدان). مجلهٔ زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته. جلد ۱، شمارهٔ ۳، صص ۱۳۰-۱۱۷.
- قنواتی، ک.، رضایی، پ. و شب افروز، ر.، ۱۳۹۹. بررسی رخساره‌ها، محیط رسوبی و چینه‌شناسی توالی تبخیری کربناته قاعدهٔ آسماری در تاقدیس بنگستان در حوضهٔ رسوبی زاگرس، جنوب غرب ایران. مجلهٔ زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، ۱۲ مهر ۱۳۹۹.
- کریم‌پور ریحان، م. و کیانیان، م. ک.، ۱۳۸۷. مبانی خاک‌ها. چاپ اول، مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
- محمدخان، ش. و احمدی، ا.، ۱۳۹۶. بررسی رابطهٔ سختی سنگ و تولید واریزه به روش سلبی اصلاح شده (مطالعهٔ موردی: ماسه سنگ آغاجاری). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی دوره ۴۹، شماره ۲، صص ۲۸۱ – ۲۵۹.
- مکاریان، م.، پورکرمانی، م.، شرکتی، ش. و معتمدی، ح.، ۱۳۹۰. بررسی ساختاری چین‌خوردگی‌ها در بخشی از حوضهٔ ایران مرکزی. اکتشاف و تولید، شمارهٔ ۷۸، اردیبهشت ۱۳۹۰.
- مهرورز مقانلو، ک.، ۱۳۹۳. بررسی فرسایش‌پذیری سازندهای زمین‌شناسی و پهنه‌بندی مناطق حساس به فرسایش در زیر حوزهٔ شمال دریاچهٔ ارومیه. دومین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار.

- *Altin, A., 2015. The Schmidt hammer in rock material characterization, Engineering Geology, 81. pp: 1-14.*
- *Aydin, A. and Basu, A., 2005. The Schmidt hammer in rock material characterization, Engineering Geology, 81. pp: 1-14.*
- *Benjamin, P., 2018. The role sediment compaction and groundwatr withrawal in local sea – livel rise, sandy Hook, New Jersey, USA. Quaternary Science Reviews 181. Pp: 30 – 42.*
- *Christopher, S., Johnson. Kenneth, G., and Benjamin, P., 2018. The role sediment compaction and groundwatr withrawal in local sea – livel rise, sandy Hook, New Jersey, USA. Quaternary Science Reviews 181. pp: 30 – 42.*
- *Day, M.J. and Goudie, A.S., 1977. Field assessment of rock hardness using the Schmidt test hammer, British Geomorphology Research Group Technical Bulletin, 18: 19-29.*
- *Ericson, K., 2004. Geomorphological surfaces of different age and origin in granite landscapes: an evaluation of the Schmidt test hammer, Earth Surface Processes and Landforms, 29. pp: 495-509.*
- *Goudie. A.S., 2013. The Schmidt Hammer and Related Devices in Geomorphological Research, Treatise on Geomorphology, pp: 338-345.*
- *Goudie, A.S., 2006. The Schmidt Hammer in geomorphological research, Progress in Physical Geography, 30(6), pp: 703-718.*
- *Gupta, V., Sharma, R. and Prasad Sah., M., 2009. An Evaluation of Surface Hardness of Natural and Modified Rocks Using Schmidt Hammer: Study from Northwestern Himalaya, India. Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography, 91(3). pp: 179-188.*

- *Li, P., Mu, X., Holden, J., Wu, Y., Irvine, B., Wang, F., Gao, P., Zhao, G. and Sun, W., 2017. Comparison of soil erosion models used ti study the Chinese Loess Plateau, Earth – Science Reviews, 170. pp: 17 – 30.*
- *Moore, J., Sanders, J., Dietrich, W., and Glaser, S., 2009. Influence of rock mass strength on the erosion rate of alpine cliffs. Earth surface processes and landforms Earth surf, process.*
- *Selby, M. J., 1980. A rock mass classification for reomorphic purposes with tests from Antarctica and New Zealand, zeit. Fur Geomorphic, 24. pp: 51-31.*
- *Thornton, L.E. and Stephenson, W.J., 2006. Rock Strength: A Control of Shore Platform Elevation, Journal of Coastal Research, 22(1). Pp: 224-231.*
- *Toy, T. J., Foster, G. R. and Renard, K.G., 2002. Soil Erosion: processes, prediction, measurement and control. John wiley and sons, New York.*