نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و ششم، شماره پنجم، ۱۳۹۸
۱۹۷-۲۰۹
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2020.15693.3088

مقایسه مقاومت سنگ‌های آهک آسماری، میشان، آغاجاری و انیدریت‌گچساران به روش سایش‌لس‌آنجلس

مسلم دهداری‌فر[۱]، *محمد فرجی[۲]، محمد صالحی‌ویسی[۳] و جهانبخش احسانی[۴]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، ایران، [۲]استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، ایران، [۳]استادیار گروه آمار، دانشکده علوم، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، ایران، [۴]کارشناس سازمان آب منطقه‌ای استان کهگیلویه و بویراحمد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۱٤ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۱

چکیده

سابقه و هدف: بررسی مقاومت واحدهای سنگی نسبت به فرسایش در مطالعات فرسایش و رسوب از اهمیت زیادی برخوردار است؛ زیرا شناخت علمی و تجربی از مقاومت سنگ‌ها در منطقه و در نتیجه رتبه‌بندی آن‌ها نسبت به یکدیگر و هم‌چنین مقاومت آن‌ها نسبت به عوامل فرساینده می‌تواند کمک شایانی در جهت ارزیابی مقاومت سنگ‌ها و پیشنهاد راهکارهای مدیریتی در کنترل بهینه میزان فرسایش و تولید رسوب در حوزه آبخیز داشته باشد. به همین دلیل این مطالعه با هدف رتبه‌بندی مقاومت توده سنگ سازندهای گروه فارس شامل سنگ‌های آهک مارنی میشان، ماسه‌سنگ آهکی آغاجاری، انیدریت گچساران و آهک آسماری با کمک روش آزمایشگاهی سایش‌لس‌آنجلس با مقایسه میانگین مقاومت ٨٤ نمونه صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش ٤ نمونه سنگ با روش سایش‌لس‌آنجلس مورد بررسی قرار گرفت و برای هر سنگ ۷ دامنه گزینش و در هر دامنه در سه سطح نمونه‌برداری انجام گردید. در مجموع برای هر سنگ ۲۱ بار نمونه‌برداری صورت گرفت. با توجه به ساختار زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و این‌که سازندهای مورد مطالعه در یک منطقه خاص متمرکز نمی‌باشند با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و استفاده از نرم‌افزار گوگل‌ارث اقدام به گزینش مناطق خاصی گردید که دسترسی به آن مناطق میسر بود؛ سپس با استفاده از بازدید میدانی، ترانشه‌های کنار جاده و مناطقی که جهت نمونه‌برداری مناسب بودند گزینش گردیدند. نمونه از هر سطح اندازه‌گیری جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شد؛ سپس تست لس‌آنجلس روی این نمونه‌ها انجام گرفت. برای تحلیل نتایج از روش‌های آمار توصیفی مانند محاسبه میانگین، واریانس، انحراف معیار، کمینه و بیشینه استفاده گردید. به‌منظور تحلیل استنباطی نتایج، از روش‌های ANOVA برای مقایسه میانگین‌های سنگ‌های مختلف استفاده شد و از آنالیز تعقیبی توکی برای مقایسه میانگین‌های سنگ‌ها با هم استفاده شد. در مرحله آخر بررسی و تفسیر نتایج و در نهایت طبقه‌بندی سنگ‌ها و سازندهای موجود در منطقه موردمطالعه انجام شد.

* مسئول مکاتبه: mfaraji31@yahoo.com

یافته‌ها: نتایج حاصل از تحلیل پیگیری آزمون توکی در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ درصد نشان داد که بین سنگ آهک آسماری و آهک مارنی میشان با ماسه‌سنگ آهکی آغاجاری و سنگ انیدریت گچساران اختلاف معنی‌داری وجود دارد، در حالی‌که بین هر دو گروه نسبت به هم اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. هم‌چنین با توجه به نتایج آنالیز واریانس ANOVA در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ درصد بین مقاومت سایشی سنگ‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری وجود دارد.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی سنگ آهک آسماری با داشتن بیش‌ترین میانگین در سطح اطمینان ۹۵٪ مقاوم‌ترین سنگ و رتبه مقاومت بعد از آن به‌ترتیب متعلق به سنگ آهک‌مارنی میشان، ماسه‌سنگ آهکی آغاجاری و انیدریت گچساران می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: حساسیت به فرسایش، رتبه‌بندی سنگ‌ها، سایش‌لس‌آنجلس، سنگ آهک

مقدمه

سنگ‌های رسوبی بیش از ۸۰ درصد پوسته جامد زمین را تشکیل می‌دهند. عدم وجود رتبه‌بندی سنگ‌ها از لحاظ میزان حساسیت به فرسایش و تخریب باعث مشکلاتی در برآورد واقعی اثرات سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی حوضه آبخیز در فرسایش و تولید رسوب می‌گردد و معمولاً در انجام مطالعات این طرح‌ها کارشناس مسئول بادید کارشناسی خود سنگ‌ها را از مقاوم تا ضعیف طبقه‌بندی نموده و امتیازاتی به سنگ‌ها می‌دهد که در واقع بر مبنای علمی و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی تعیین مقاومت یا حساسیت سنگ نبوده و امکان اشتباه در طبقه‌بندی نیز وجود دارد. ایجاد خطا در برآورد و ارزیابی سنگ‌شناسی حوزه باعث برآورد غیردقیق میزان فرسایش و تولید رسوب حوزه گردیده و در نتیجه در تلفیق مطالعات و برنامه‌ریزی مبارزه با فرسایش حوزه مشکلاتی را به وجود می‌آورد. سازندهای حساس به فرسایش در مقایسه با سازندهای سخت و محکم دارای پتانسیل رسوب‌دهی بیش‌تری هستند. بنابراین با تعیین مقاومت سنگ‌ها و سازندها می‌توان به‌گونه‌ای مناسب مناطق مختلف را از نظر حساسیت به فرسایش مشخص نمود. علاوه بر این در حال حاضر استفاده از سنگ‌ها در مصارف گوناگون از جمله راه‌سازی، راه‌آهن، پروژه‌های عمرانی شهری و مهندسی رودخانه و سدسازی، مصالح ساختمانی و ... اهمیت زیادی پیدا نموده است. بنابراین مطالعه سنگ‌ها و ارزیابی کیفیت و دوام مصالح سنگی امری لازم به‌نظر می‌رسد (۱). روش‌های مختلف جهت تعیین مقاومت و حساسیت سنگ‌ها به تخریب و فرسایش وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها روش رده‌بندی توده‌سنگ (RMR) و استفاده از دستگاه سایش‌لس‌آنجلس می‌باشد. عدم وجود رتبه‌بندی سنگ‌ها از لحاظ میزان حساسیت به فرسایش و تخریب باعث مشکلاتی در برآورد واقعی اثرات سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی حوضه آبخیز در فرسایش و تولید رسوب می‌گردد و معمولاً در انجام مطالعات این طرح‌ها کارشناس مسئول بادید کارشناسی خود سنگ‌ها را از مقاوم تا ضعیف طبقه‌بندی نموده و امتیازاتی به سنگ‌ها می‌دهد که در واقع بر مبنای علمی و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی تعیین مقاومت یا حساسیت سنگ نبوده و امکان اشتباه در طبقه‌بندی نیز وجود دارد. وجود خطا در برآورد و ارزیابی سنگ‌شناسی حوزه باعث برآورد غیردقیق میزان فرسایش و تولید رسوب حوزه گردیده و در نتیجه در تلفیق مطالعات و برنامه‌ریزی مبارزه با

فرسایش حوزه مشکلاتی را به وجود می‌آورد. سازندهای حساس به فرسایش در مقایسه با سازندهای سخت و محکم دارای پتانسیل رسوب‌دهی بیش‌تری هستند. بنابراین، با تعیین مقاومت سنگ‌ها و سازندها می‌توان به‌گونه‌ای مناسب منطقه‌های مختلف را از نظر حساسیت به فرسایش مشخص نمود. برای رتبه‌بندی مقاومت سنگ‌های پیوسته به فرسایش، ویژگی‌هایی از سنگ مانند سختی، درز و شکاف، شدت هوازدگی سنگ‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد (۷). به‌عبارتی دیگر یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های مکانیکی سنگ که معمولاً در آیین‌نامه‌های کشورهای مختلف از جمله ایران و آمریکا به آن اشاره می‌شود مقاومت سایشی آن می‌باشد. آزمایش لس‌آنجلس متداول‌ترین روش برای تعیین مقاومت سایشی سنگ‌دانه‌ها می‌باشد (١٤). سایش به پاسخ سنگ‌ها نسبت به عوامل مخرب فیزیکی گفته می‌شود که در واقع مقدار فرسایش سنگ در برابر عوامل فرساینده را نشان می‌دهد این فرسایش ممکن است در اثر عوامل طبیعی مثل آب، باد و غیره و یا در اثر تماس سنگ‌ها با هم و یا با سایر مواد رخ دهد (١٦). برای بررسی سایش سنگ در آزمایشگاه روش‌های متنوعی توسط پژوهشگران مختلف ارائه شده است که برخی کاربرد عمومی پیدا کرده و برخی دیگر در کشوری خاص و یا در مراکزی محدود مورداستفاده قرار گرفته‌اند، در بین این آزمایش‌ها، آزمایش لس‌آنجلس کاربرد وسیعی پیدا کرده است، به‌طوری‌که بیش از ٩٤ درصد از ایالت‌های آمریکا از این روش استفاده می‌کنند (۱۷). در ایران نیز آزمایش لس‌آنجلس موردعلاقه پژوهشگران زیادی بوده است ازجمله؛ اندازه‌گیری میزان سایش سنگ‌ها با استفاده از دستگاه لس‌آنجلس و لاوال ماشین و مقایسه آن‌ها توسط معارف‌وند و عزیزی (٢٠١٤) که مشاهده نمودند. با وجود این‌که هر دو آزمایش از نوع سایش هستند، اما به‌علت تفاوت در نحوه عملکرد آن‌ها میزان سایش در لس‌آنجلس بیش‌تر از لاوال ماشین می‌باشد (۱۳). حسینی و نظری (٢٠١٤) میزان سایش چند نمونه سنگ را با استفاده از خصوصیات مکانیکی و فیزیکی آن توسط دستگاه سایش‌لس‌آنجلس محاسبه نمودند. هدف از انجام این پژوهش و آزمایش‌ها به‌دست آوردن روابطی بین شاخص بار نقطه‌ای، سرعت صوت، مقاومت کششی با درصد افت وزنی ناشی از آزمون سایش و ضربه لس‌آنجلس می‌باشد (۱۱). گودرزی و مهدیانی (۲۰۱۵) خصوصیات ژئومکانیکی سنگ‌آهک‌های سازند سروک به‌عنوان مصالح سنگ‌دانه‌ای، سنگ آهک های معدن سنگ شکن راه آهن دورود- خرم آباد را بررسی نمودند. مطابق نتایج آزمایش‌ها، نمونه‌های موردمطالعه با دستگاه سایش‌لس‌آنجلس خواص مهندسی مطلوبی دارند و برای استفاده در پروژه‌های عمرانی مورد تأیید می‌باشد (۹). قهرمانی و همکاران (۲۰۱۵) بررسی خصوصیات مهندسی سازند مزدوران به‌عنوان مصالح کوهی (کلان‌شهر مشهد) نتایج آزمایش‌ها نشان داد که استفاده از مصالح آهکی شکسته شده در بتن باعث بهبود خواص آن می‌گردد (۱۰). کمک‌پناه و آقا مجیدی (۲۰۱۰) خزش مصالح سنگریزه‌ای در دستگاه ادومتر با مقیاس بزرگ و رویکردی به پدیده شکست ذرات و آزمایش لس‌آنجلس را بر روی سه نمونه سنگ آیدغموش، سبلان و ونیار مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که سختی و مقاومت سنگ‌دانه‌های آیدغموش از سنگ‌دانه‌های سبلان و ونیار بیش‌تر است و با افزایش نرخ خزش، میزان سایش سنگ‌دانه‌ها در این آزمایش بیش‌تر می‌شود (۱۲). پلاسی و دانش (۲۰۱۳) با انجام آزمایش‌های لس‌آنجلس و ارزش ضربه بر روی ده نمونه سنگ‌دانه از نقاط مختلف و بررسی ارتباط نتایج آزمایش لس‌آنجلس با آزمایش ضربه سنگ‌دانه‌ها به این نتیجه رسیدند که آزمایش لس‌آنجلس از

تکرارپذیری بالایی برخوردار است (۱٤). معارف‌وند و عزیزی (۲۰۱٤) با اندازه‌گیری میزان سایش سنگ‌های گرانیت و آهک با استفاده از دستگاه لس‌آنجلس و ماشین دوال و مقایسه نتایج دو روش مشاهده کردند که با وجود این‌که هر دو آزمایش از نوع سایش هستند، اما به‌علت تفاوت در نحوه عملکرد آن‌ها میزان سایش در لس‌آنجلس بیش‌تر از ماشین دوال می‌باشد (۱۳). رانگاوجو و همکاران (۲۰۰۵) ویژگی‌های مقاومتی سنگ‌دانه‌های ایالت کارولینای جنوبی را با استفاده از روش‌های سایش‌لس‌آنجلس و سولفات منزیم مورد ارزیابی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که هیچ‌گونه ارتباط منطقی و معنی‌داری بین ارزش سایش‌لس‌آنجلس و ساندنس ناشی از استفاده از سولفات منیزیم وجود ندارد (۱۵). برندز و همکاران (۲۰۰٦) نیز این پژوهش را بر روی ۱۲ نمونه از مصالح سنگی در منطقه هاوایی انجام و همان نتیجه حاصل شد، به‌طوری‌که هیچ‌گونه ارتباط و همبستگی بین مقادیر ارزش سایش‌لس‌آنجلس و ساندنس به‌دست نیامد (۳). فولر و همکاران (۲۰۰٦) در یک ارزیابی جامع بر روی دوام و استحکام ۱۱۷ نمونه سنگ معدنی در ایالات‌متحده آمریکا و انجام ۱۰ آزمایش مختلف بر روی نمونه‌های جمع‌آوری‌شده، در گروه آزمایش‌های مربوط به استحکام سنگ‌دانه‌ها توانستند بین ارزش سایش‌لس‌آنجلس و ارزش خرد شدن، رابطه‌ای با ضریب همبستگی برابر با ۰/٦۵ به‌دست آورند (۵). در ارتباط با رده‌بندی و تعیین مقاومت سنگ‌ها و سازندها به‌جز چند مورد کار چندانی انجام نشده است. در این راستا می‌توان به دو نمونه اشاره نمود. فیض‌نیا (۱۹۹۵) با استفاده از مطالعات مختلف و اندازه‌گیری سختی سنگ‌ها، مقاومت سنگ‌های مختلف را در مقابل فرسایش در دو اقلیم نیمه‌مرطوب تا مرطوب و نیمه‌خشک تا خشک تعیین و رده‌بندی نمودند (٦). فرجی و همکاران (۲۰۰٦) جهت امتیازدهی عامل سنگ‌شناسی حوضه بابا احمدی خوزستان به‌منظور استفاده در مدل‌های MPESIAC و EPM با اندازه‌گیری سختی سنگ‌ها در آزمایشگاه، مقاومت سنگ‌های مختلف موجود در منطقه موردمطالعه در زاگرس جنوبی را تعیین و جدول رده‌بندی ارائه نمودند (۸). پیروان شریعت جعفری (۲۰۱۳) طبقه‌بندی جامعی برای سنگ‌های مختلف بر مبنای ویژگی‌های کانی‌شناسی، شیمیایی، بافت و ساخت و خصوصیات مقاومتی در ده رده حساسیت به فرسایش ارائه نمودند (۱٦). بنابراین با توجه به اهمیت موضوع مقاومت سنگ‌ها نسبت به فرسایش، مقاومت سنگ‌ها در کاربرد صنعتی و ساختمانی و هم‌چنین روش‌های ارائه‌شده برای تعیین و طبقه‌بندی سنگ‌ها در این مقوله، به‌علاوه اهمیت نظر به آثار و پیامدهای فرسایش در حوزه‌های آبخیز کشور و نیاز مبرم به مطالعه مقاومت و حساسیت سنگ‌ها نسبت به فرسایش در ارائه راهکارهای مدیریت و حفاظت از حوزه‌های آبخیز، این مطالعه نیز با هدف بررسی مقایسه حساسیت به فرسایش و مقاومت سنگ‌های آهک آسماری، آهک میشان، ماسه‌سنگ آهکی آغاجری و انیدریت گچساران با استفاده از روش سایش‌لس‌آنجلس انجام گرفت. لازم به ذکر است با توجه به بررسی انجام‌شده تاکنون چنین پژوهشی به‌منظور طبقه‌بندی سنگ‌ها، مورداستفاده و کاربرد در مطالعات فرسایش و رسوب در ایران انجام‌نشده و این پژوهش و تحقیق به‌نوعی نوآوری در این زمینه محسوب می‌گردد که می‌تواند از این به بعد موردتوجه سایر متخصصین مربوطه قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام این پژوهش مقاومت چهار نوع سنگ: آهک آسماری، آهک میشان، ماسه‌سنگ آهکی

آغاجاری و انیدریت گچساران در منطقه مورد مطالعه که شامل ترانشه‌های کنار جاده و در جایی که این سازندها رخنمون پیدا کرده‌اند، در هفت دامنه گزینش شدند. در هر دامنه در سه سطح نمونه‌برداری صورت گرفت. در مجموع برای هر سنگ ۲۱ بار نمونه‌برداری و در مجموع، طرح نمونه‌گیری شامل ۸٤ نمونه، با استفاده از روش سایش‌لس‌آنجلس مورد مطالعه قرار گرفتند.

تعیین محل نمونه‌برداری: با توجه به ساختار زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و این‌که سازندهای مورد مطالعه در یک منطقه خاص متمرکز نمی‌باشند، با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و نرم‌افزار گوگل‌ارث اقدام به گزینش مناطق خاص که دسترسی به آن مناطق میسر بود شد. سپس با استفاده از بازدید میدانی، ترانشه‌های تازه کنار جاده‌ها و مناطقی که سنگ‌های مورد مطالعه رخنمون پیدا کرده‌اند و جهت نمونه‌برداری مناسب بودند (شکل ۱) گزینش گردیدند. نمونه‌برداری سنگ آهک آسماری شامل دو دامنه در محدوده روستای خائیز و پنج دامنه در محدوده اطراف شهر تشان بهبهان صورت گرفت. نمونه‌برداری سنگ آهک میشان شامل سه دامنه در مسیر جاده بهبهان- گچساران و چهار دامنه در مسیر جاده بهبهان به بندر دیلم، نمونه‌برداری ماسه‌سنگ آهکی آغاجاری نیز شامل یک دامنه در مسیر جاده بهبهان به خائیز و بقیه دامنه‌ها در مسیر جاده گچساران به بهبهان و نمونه‌برداری سنگ انیدریت گچساران شامل یک دامنه در مسیر جاده بهبهان- خاییز و بقیه در مسیر جاده گچساران- بهبهان و گچساران به امامزاده جعفر صورت پذیرفت.

روش سایش‌لس‌آنجلس: به‌منظور سنجش مقاومت سنگ‌دانه‌های معدنی با دانه‌بندی استاندارد در برابر ضربه و سایش از روش لس‌آنجلس استفاده می‌شود. ماشین لس‌آنجلس یک استوانه فولادی دوار است که در آن تعداد مشخصی گلوله فولادی همراه نمونه‌ها داخل دستگاه قرار می‌گیرد. تعداد گلوله‌ها به دانه‌بندی نمونه مورد آزمایش بستگی دارد. هنگامی‌که استوانه می‌چرخد، یک پره، نمونه و گلوله‌ها را با خود به بالا می‌برد و از آن‌جا آن‌ها را به‌طرف مقابل استوانه می‌ریزد. به‌این‌ترتیب اثر ضربه و لهیدگی ایجاد می‌شود. سپس محتوای استوانه ضمن سائیده شدن در داخل آن حرکت می‌کنند تا باردیگر به پره برخورد کرده و این سیکل تکرار گردد. بعد از آن‌که استوانه به تعداد دورهای مشخصی چرخید، محتوای آن را خارج کرده و مصالح سنگی را از الک عبور داده تا درصدی را که به‌صورت خاکه درآمده است، مشخص شود. به‌منظور انجام این آزمایش دستگاه لس‌آنجلس، ماشینی که از یک استوانه فولادی توخالی که دو انتهای آن بسته است تشکیل می‌شود. قطر داخلی سیلندر ۵ ± ۷۱۱ میلی‌متر و طول داخلی آن ۵±۵۰۸ میلی‌متر است. استوانه باید روی انتهای میله‌هایی که به دو قاعده آن متصل گردیده‌اند، سوار شود. استوانه باید حول محور خود به‌طور افقی دوران نماید و خطا در شیب محور آن نباید بیش از ۱ درصد باشد، ترازو با دقت ۰/۵ گرم، الک با مشخصات استاندارد ASTM E11؛ و گلوله‌هایی از جنس سرامیکی، سنگی یا فولادی و با قطر متوسط ٤٦/۸ میلی‌متر و وزن ۳۹۰ تا ٤٤٥ گرم استفاده شده‌اند. گلوله‌ها با توجه به دانه‌بندی نمونه مورد آزمایش مطابق جدول ۱ انتخاب گردید.

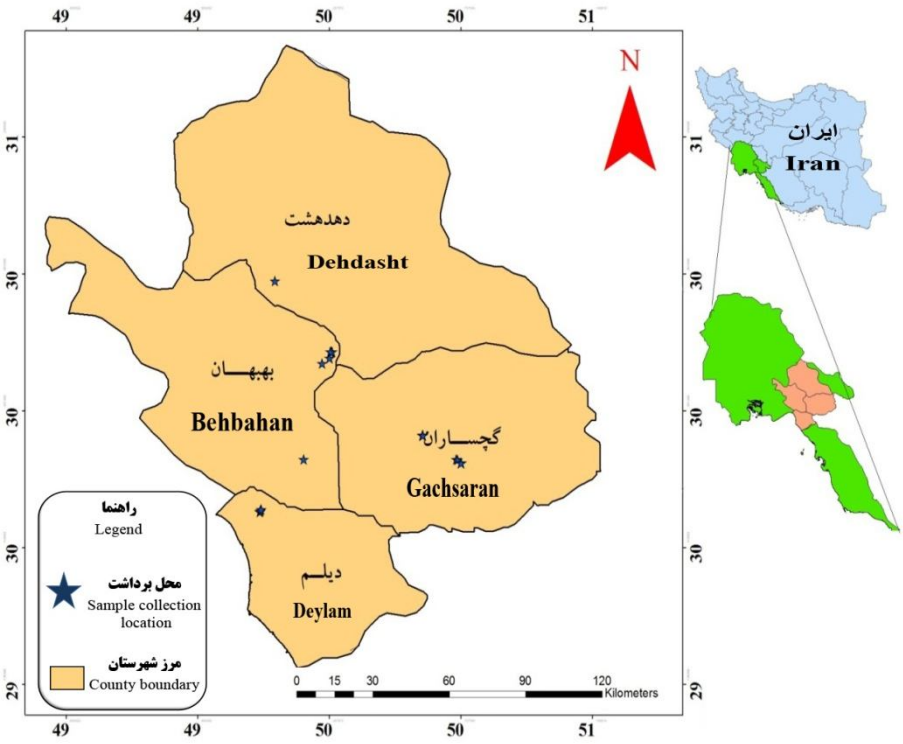
آماده‌سازی نمونه آزمایش: نمونه‌ها پس از جمع‌آوری از منطقه مورد مطالعه، به آزمایشگاه منتقل گردیده سپس با استفاده از چکش به اندازه‌های ٤-۲ سانتی‌متری تبدیل شدند. نمونه‌های خورد شده پس از شستشو در داخل کوره در دمای ۲۲۱ تا ۲۳۰ درجه فارنهایت (۱۰۵ تا ۱۱۰ درجه سلسیوس) تا رسیدن به وزن ثابت، خشک گردیدند.

روش آزمایش: در این آزمایش برای تمام نمونه‌ها از دانه‌بندی D استفاده گردید که وزن نمونه‌ها پس از خشک شدن به وزن ۱۵ ± ۲۵۰۰ گرم خواهد رسید. نمونه مورد آزمایش در ماشین لس‌آنجلس قرار گرفته و اجازه داده شد ماشین با سرعت ۳۰ تا ۳۳ دور در دقیقه، ۵۰۰ دور بچرخد. سپس مصالح از ماشین خارج و از الک درشت تر از ۱/۷ میلی‌متر طبق استاندارد ASTM 136 (نمره ۱۲) عبور داده شدند. دانه‌های مانده روی الک را شسته و در گرمخانه با دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد و به‌مدت ۲٤ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت نگهداری گردیدند تا خشک شوند. سپس وزن مصالح خشک شده با دقت یک گرم تعیین گردید.

نتیجه آزمایش: در نهایت برای دستیابی به درصد ساییدگی سنگ‌ها که در واقع معیار و ملاکی از مقاومت سنگ‌ها در برابر عوامل فرساینده است از رابطه ۱ به این صورت که تفاوت وزن اولیه مصالح و وزن آن پس از آزمایش بر حسب وزن اولیه آن درصد سائیدگی مصالح می‌باشد، تعیین می‌گردد.

$$\text{درصد سائیدگی} = \frac{\text{وزن اولیه} - \text{وزن نهایی}}{\text{وزن اولیه}} \times 100 \qquad (۱)$$

تجزیه تحلیل داده‌ها: برای تحلیل نتایج از روش‌های آمار توصیفی محاسبه میانگین‌ها، واریانس، انحراف معیار، کمینه و بیشینه به‌همراه نمودارهای توصیفی استفاده شد. به‌منظور تحلیل استنباطی نتایج از روش‌های ANOVA برای مقایسه میانگین مقاومت سنگ‌های مختلف و از آنالیز تعقیبی توکی برای مقایسه میانگین‌های سنگ‌ها باهم استفاده شد. تمام آزمون‌ها در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ مورد تحلیل قرار گرفته و از نرم‌افزارهای SPSS نسخه ۲۲ و اکسل ۲۰۱۳ استفاده گردید.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. Geolocation of the study area.

جدول ۱- دانه‌بندی، تعداد گلوله‌ها و وزن گلوله‌ها در نمونه‌های مورد آزمایش سایش‌لس‌آنجلس.

Table 1. Grading, number of bullets and bullets weight in tested samples of Los Angeles abrasion.

دانه‌بندی Grading	تعداد گلوله‌ها Number of bullets	وزن گلوله‌ها Bullets weight (gr)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

نتایج و بحث

با انجام آزمایش لس‌آنجلس بر روی سنگ‌های مورد مطالعه، نتایج درصد سایش برای هر سنگ در جدول ۲ آورده شده است.

بررسی و تحلیل اطلاعات توصیفی: به‌منظور رتبه‌بندی سنگ‌های مورد مطالعه در برابر سایش از مقاوم به ضعیف، از مقایسه میانگین (انحراف معیار) آن‌ها با استفاده از روش آزمایشگاهی سایش‌لس‌آنجلس استفاده گردید که نتایج توصیفی در جدول ۳ آورده شده است. سنگ‌آهک آسماری بیش‌ترین میانگین مقاومت در برابر سایش را در بین چهار نوع سنگ دارد که میانگین (انحراف معیار) آن برابر با ۸٦/٤۲ (۳/۹۸) می‌باشد. کم‌ترین میانگین مقاومت سایشی در بین کل نمونه‌های سنگ‌آهک آسماری برابر با ۸۰/۰۱ و بیش‌ترین میانگین برابر با ۹۱/۹۵ می‌باشد. در مجموع با ۹۵ درصد اطمینان می‌توان گفت میانگین مقاومتی سنگ‌آهک آسماری بین ۸٤/٦۱ و ۸۸/۲٤ می‌باشد. در مقایسه میانگین مقاومت در برابر سایش سنگ‌های مورد مطالعه پس از سنگ‌آهک آسماری به‌ترتیب سنگ‌های آهک‌میشان با میانگین (انحراف معیار) برابر با ۸۵/۳۸ (٤/۵۲)، ماسه‌سنگ آهکی آغاجاری با ۵۳/۲۲ (۲٦/۳۷) و انیدریت گچساران با ٤۹/٤۱ (۱٤/۳۷) در رده‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۳).

بررسی و تحلیل استنباطی طبقه‌بندی سنگ‌های مورد مطالعه با استفاده از روش آزمایشگاهی سایش‌لس‌آنجلس: به‌منظور مقایسه مقادیر حاصله از روش سایش‌لس‌آنجلس، با توجه به این‌که بیش از دو نوع سنگ موردمطالعه قرار گرفت، از روش آنالیز واریانس ANOVA استفاده شد که نتایج آن در جدول ٤ آمده است. با توجه به نتایج جدول ٤ و مقدار آماره F (۳۷/۷۵) و $sig = ۰$ که کم‌تر از ۰/۰۵ می‌باشد می‌توان گفت بین مقاومت سایشی سنگ‌های مورد مطالعه در سطح $\alpha = ۰/۰۵$ تفاوت معنی‌دار است.

نتایج آزمون توکی جهت بررسی مقاومت سایشی سنگ‌های موردمطالعه با استفاده از روش آزمایشگاهی سایش‌لس‌آنجلس: نتایج آزمون توکی برای بررسی مقاومت در برابر سایش سنگ‌های مورد مطالعه از ضعیف تا مقاوم در جدول ۵ آمده است. نتایج جدول نشان می‌دهد که بین سنگ‌آهک آسماری و آهک میشان اختلاف معنی‌دار وجود ندارد و در یک زیرمجموعه قرار گرفتند، همچنین بین سنگ‌های ماسه‌سنگ آهکی آغاجاری و انیدریت گچساران نیزاختلاف معنی‌دار نمی‌باشد ولی بین این دو مجموعه اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۵). به‌منظور بررسی بیش‌تر می‌توان به شکل ۲ مراجعه کرد. این شکل نشان می‌دهد که بیش‌ترین میانگین مقاومت در برابر سایش مربوط به سنگ‌های آهک آسماری است و سنگ‌آهک میشان مقامت کم‌تری را در مقابل سایش نسبت به سنگ‌آهک آسماری نشان می‌دهد. کم‌شدن مقاومت در برابر سایش این سنگ نسبت به سنگ‌آهک آسماری به‌دلیل وجود میکروفسیل‌های فراوانی است که در بافت این سنگ وجود دارد. در نمونه‌های ماسه‌سنگ‌آهکی آغاجاری میزان سایش بیش‌تری در مقایسه با سنگ‌های آهک آسماری و

آهک میشان مشاهده گردید؛ که بیانگر حساسیت‌پذیری بالای این سنگ دربرابر سایش می‌باشد. در نمونه‌های ماسه‌سنگ آهکی آغاجاری که از مناطق مجاور دریا برداشت گردیدند نسبت به نمونه‌های سایر مناطق که از دریا دور می‌باشند سایش بیش‌تری اندازه‌گیری گردید. در برخی نمونه‌های برداشت‌شده از مناطق اطراف محدوده شهر بندردیلم که غالباً رطوبت هوا بالا می‌باشد مشاهده گردید برخی نمونه‌ها پس از آزمایش لس‌آنجلس به‌طور کامل به پودر تبدیل گردیدند؛ برعکس این موضوع در نمونه‌های برداشت‌شده از منطقه خاییز شهرستان بهبهان به‌دلیل رطوبت هوای کم‌تر، میزان سایش کم‌تری نسبت‌به نمونه‌های منطقه بندردیلم اندازه‌گیری گردید و این بیانگر درجه حساسیت این سنگ در مناطق مستعد می‌باشد. نتایج این پژوهش نیز نشان داد سنگ انیدریت گچساران بیش‌ترین میزان درصد سایش را در بین چهار نوع سنگ مورد مطالعه دارد. این سنگ در هنگام نمونه‌برداری به شکل خاکستری تیره بوده ولی در هنگام آماده‌سازی نمونه‌ها و قرارگرفتن در حرارت بالا و از دست دادن آب به رنگ سفید تغییرشکل داد. در نتیجه از بین رفتن آب نمونه‌ها در اثر حرارت بالا، فضاهای خالی بین ذرات سنگ به‌وجود آمده که در نهایت باعث کاهش مقاومت سایشی سنگ گردید؛ به‌طوری‌که مشاهده شد اکثر نمونه‌های خارج‌شده از دستگاه لس‌آنجلس به پودر تبدیل شده‌اند.

جدول ۲- نتایج روش آزمایشگاهی درصد سایش‌لس‌آنجلس سنگ آهک آسماری، آهک میشان، آهک آغاجاری و انیدریت گچساران.

Table 2. Laboratory results Los Angeles abrasion percent Asmari limestone, Mishan limestone, Aghajari limestone and Gachsaran anhydrite.

دامنه	سطح	درصد سایش آهک آسماری Asmari limestone abrasion percent	درصد سایش آهک میشان Mishan limestone abrasion percent	درصد سایش آهک آغاجاری Aghajar limestone abrasion percent	درصد سایش انیدریت گچساران Gachsaran anhydrite abrasion percent
	A_1	18.7	7.3	10.5	59.5
A	A_2	10.5	13.3	14.5	84
	A_3	9.9	33.7	12.7	95.5
	B_1	10.4	23.3	78.5	61
B	B_2	7.9	12.7	99.2	39.1
	B_3	11.6	12.3	87.4	57.7
	C_1	7.9	20.5	84.4	58.8
C	C_2	11.8	24.3	65.4	63.4
	C_3	10.8	47.6	68.5	66.8
	D_1	15.4	22.7	43.9	71.2
D	D_2	9	30.5	36.8	26.9
	D_3	10.7	32	46.3	80.5
	E_1	9.3	15.3	30.9	44.1
E	E_2	14.6	28.4	41.6	49.3
	E_3	16.3	29.3	36.5	25.9
	F_1	13.8	15.7	20.3	42
F	F_2	17.8	15.5	19	48.7
	F_3	13.4	18.5	39.3	60.2
	G_1	18.4	13.3	-	57.1
G	G_2	20.7	15.5	-	41.6
	G_3	19.8	18.2	-	47.6

جدول ۳- اطلاعات توصیفی بررسی مقاومت در برابر سایش سنگ‌های آهک آسماری، آهک میشان، ماسه‌سنگ آهکی آغاجاری و انیدریت گچساران.

Table 3. Descriptive information on the resistance to abrasion of Asmari limestone, Mishan limestone, Aghajari lime sandstone and Gachsaran anydrite.

			تعداد number	میانگین Average	انحراف معیار Standard deviation	خطای انحراف معیار Standard deviation error	۹۵٪ اطمینان فاصله بین میانگین 95% confidence in the difference between the average		مینیمم Minimum	ماکزیمم Maximum
							کران پایین Down Bound	کران بالا Upper bound		
روش سایش لس‌آنجلس Los Angeles abrasion method	آهک آسماری Asmari limestone		21	86.42	3.98	0.87	84.61	88.24	80.01	91.95
	آهک میشان Mishan limestone		21	85.38	4.52	0.99	83.32	87.44	71.64	90.99
	ماسه‌سنگ آهکی آغاجاری Aghajari lime sandstone		18	53.22	26.37	6.22	40.11	66.34	10.71	90.57
	انیدریت گچساران Gachsaran anhydrite		21	49.41	14.37	3.14	42.87	55.96	20.89	75.65
	کل Total		81	69.18	22.70	2.52	64.16	74.20	10.71	91.95

جدول ٤- آنالیز واریانس ANOVA برای روش سایش‌لس‌آنجلس.

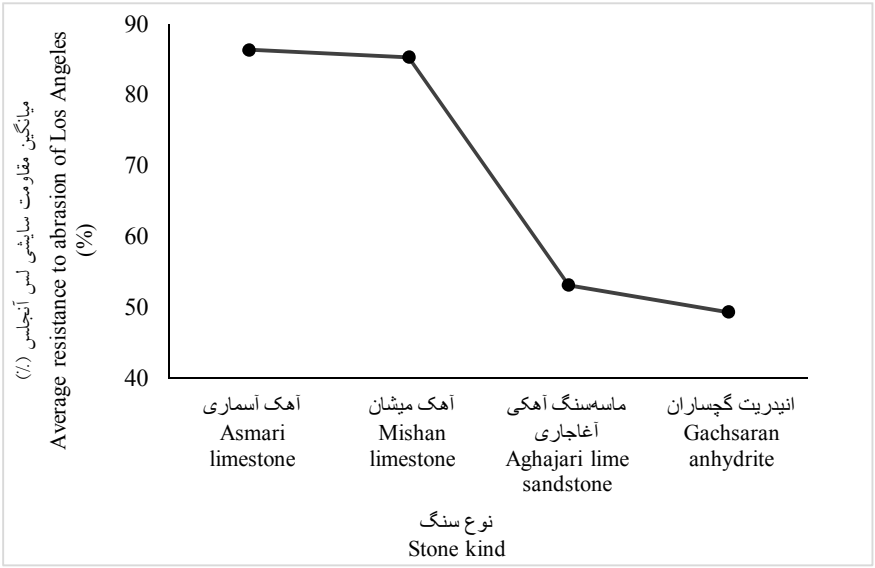
Table 4. ANOVA analysis of variance for Los Angeles abrasion method.

Sig	F	میانگین مربعات Average of squares	درجه آزادی Degrees of freedom	مجموع مربعات Sum of squares		
		8181.53	3	24544.61	درون‌گروهی Intergroup	روش سایش‌لس‌آنجلس Los Angeles abrasion method
0	37.75	216.68	77	16684.60	برون‌گروهی Outside the group	
			80	41229.21	کل Total	

جدول ۵- نتایج آزمون توکی برای بررسی مقاومت در برابر سایش سنگ‌های آهک آسماری، آهک میشان، ماسه‌سنگ آهکی آغاجاری و انیدریت گچساران.

Table 5. Tukey test results to investigate the resistance to abrasion of Asmari limestone, Mishan limestone, Aghajari lime sandstone and Gachsaran anydrite.

۰/۰۵ = زیرمجموعه آلفا Alpha subset = ۰/۰۵		تعداد number	نوع سنگ Stone kind
2	1		
	49.41	21	انیدریت گچساران Gachsaran anhydrite
	53.22	18	ماسه‌سنگ آهکی آغاجاری Aghajari lime sandstone
85.38		21	آهک میشان Mishan limestone
86.42		21	آهک آسماری Asmari limestone
0.99	0.84		Sig



شکل ۲- مقایسه میانگین مقاومت سایشی سنگ‌های آهک آسماری، آهک میشان، ماسه‌سنگ‌آهکی آغاجاری و انیدریت گچساران.

Figure 2. Comparison of the abrasive resistance average of Asmari limestone, Mishan limestone, Aghajari lime sandstone and Gachsaran anydrite.

همان‌گونه که برای رتبه‌بندی مقاومت سنگ‌های پیوسته به فرسایش، ویژگی‌هایی از سنگ مانند سختی، درز و شکاف، شدت‌هوازدگی سنگ‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد (۷)؛ عامل اختلاف مقاومت سنگ‌ها از نظر مقاوم یا ضعیف بودن سنگ‌ها نسبت به فرسایش یا سایش را نیز می‌توان علت در شدت یا ضعف این عوامل دانست. به‌گونه‌ای که این مطالعه ٤ نوع سنگ را مورد بررسی قرار داده و نتایج آن به این شرح است که روش سایش‌لس‌آنجلس نشان داد، آهک آسماری با داشتن سایش کم‌تر از ۲۰ درصد، (متوسط ۱۳/۳) کم‌ترین میزان سایش را در بین ٤ نمونه سنگ موردمطالعه داراست. سنگ‌آهک میشان با داشتن سایش متوسط ۲۱/۸ درصد در رتبه دوم از نظر میزان سایش قرار گرفت، نتایج این بخش با نتایج فخری و همکاران (۲۰۰۸) و معارف‌وند و همکاران (۲۰۱٤) هم‌خوانی دارد (٤ و ۱۳). هم‌چنین نتایج آزمایشگاهی ماسه‌سنگ آهکی آغاجاری با متوسط درصد سایش ٤٦/٤ و هم‌چنین درصد سایش تا ۹۰ درصد و نیز درصد سایش کم‌تر از ۳۰ درصد، بیانگر حساسیت‌پذیری بالای این سنگ است. نتایج این بخش نیز با نتایج فیض‌نیا (۱۹۹۵)، فرجی و همکاران (۲۰۰٦) و پیروان شریعت جعفری (۲۰۱۳) هم‌خوانی دارد (٦، ۸ و ۱٦). نتایج روش سایش‌لس‌آنجلس نشان داد که در بعضی مناطق این سنگ دارای سایش کم‌تر از ۲۰ درصد (دامنه A جدول ۲) و در بعضی مناطق دارای سایش بیش‌تر از ۷۰ درصد (دامنه B جدول ۲) که بیانگر تأثیر پارامترهای دیگر مؤثر بر فرسایش و رسوب هم‌چون شیب و اقلیم می‌باشد که با نتایج احمدی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۰)، فیض‌نیا (۱۹۹۵)، فرجی و همکاران (۲۰۰٦) و پیروان شریعت جعفری (۲۰۱۳) هم‌خوانی دارد (۲، ٦، ۸ و ۱٦). سنگ انیدریت گچساران با متوسط درصد سایش ٥٦/۳ بیش‌ترین میزان درصد سایش را در بین ٤ نوع سنگ موردمطالعه داشت و از لحاظ مقاومت در رده آخر قرار گرفت که با نتایج فیض‌نیا (۱۹۹۵)، فرجی و همکاران (۲۰۰٦) و پیروان شریعت جعفری (۲۰۱۳) همخوانی دارد (٦، ۸ و ۱٦). به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بین مقاومت سنگ‌آهک آسماری و آهک میشان اختلاف معنی‌دار وجود ندارد و در یک زیرمجموعه قرار گرفتند، هم‌چنین بین مقاومت سنگ‌های ماسه‌سنگ آهکی آغاجاری و انیدریت گچساران اختلاف معنی‌دار نمی‌باشد ولی بین این دو مجموعه اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به این‌که روش سایش‌لس‌آنجلس تاکنون به‌منظور اندازه‌گیری مقاومت مصالح ساختمانی استفاده گردیده است و نیز شاخص مناسبی برای بیان کیفیت سنگ‌ها به‌صورت کمی می‌باشد؛ پارامتر مهمی در تعیین کیفیت سنگ‌ها نسبت به فرسایش و سایر عوامل فرساینده محیطی می‌باشد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد از این روش برای بررسی مقاومت و حساسیت سایر سنگ‌ها و سازندها در اقلیم‌های مختلف کشور استفاده و نتایج آن با هم مقایسه گردد.

منابع

1. Ahmadi, L., Khanleri, Gh., and Mohammadi, D. 2007. Geological survey of calcareous stones engineering (case study). The 5th Iranian Engineering and Environmental Geology Conference, P 721-726, www.civilica.com. (In Persian)
2. Ahmadi Nejad, M., Ameri, M., and Shabani, Sh. 2010. Correlation study between glossy value and other physical and mechanical properties of wearing road aggregates. J. Transport. 7: 1. (In Persian)

3.Brandes, H.G., and Robinson, C.E. 2006. Correlation of aggregate test parameters to hot mix asphalt pavement performance in Hawaii. J. Transport. Engin. 132: 1.
4.Fakhri, M., and Hosseini, A. 2008. Evaluation of the slip resistance of stone materials and their relationship with the hardness of materials. Fourth National Congress on Civil Engineering, University of Tehran. 185p. (In Persian)
5.Fowler, D.W., Allen, J.J., Lange, A., and Range P. 2006. The prediction of coarse aggregate performance by micro - deval and other aggregate tests. 14th Annual Symposium, International Center for Aggregate Research, Texas.
6.Feyznia, S. 1995. Resistance to erosion of rocks in different climates of iran. J. Natur. Resour. Iran. Faculty of natural resources, University of Tehran. (In Persian)
7.Feyznia, S. 2001. Evaluation of sedimentation of formations. Faculty of Natural Resources, University of Tehran. (In Persian)
8.Farji, M. et al. 2006. Affecting erosion factors and sedimentation of Baba Ahmadi Khuzestan basin using experimental models MPSIAC and EPM. J. Natur. Resour. Iran. Faculty of natural resources, University of Tehran. 4: 59. (In Persian)
9.Goodarzi, Z., and Mahdiani, A. 2015. Study of geomechanical properties of in Sarvak formatin limestones as aggregat (limestone of Dorud-Khorramabad railway stone mining mine). Second national conference on soil mechanics and foundation engineering, Qom university of technology. (In Persian)
10.Ghahramani, N., Ghafouri M., Lashkari, Gh., and Hafezi Moghadas, N. 2015. Investigation of the engineering characteristics of the Mozdouran formation as a mountain material (Mashhad metropolis). (In Persian)
11.Hosseini, M., and Nazari, N. 2014. Estimating the amount of abrasion of stones using the mechanical and physical properties. First national conference on soil mechanics and foundation engineering, Shahid Rajaee teacher training university of Tehran. (In Persian)
12.Komakpanah, A., and Agha Majidi, M. 2010. Creep of rock fill material in large scale odometer with considering particle breakage in Loss Angeles test. Modares Civil Engin. J. 10: 1. (In Persian)
13.Moarefvand, P., and Azizi, F. 2014. Measuring the amount of abrasion of stones using the Los Angeles and Laval machine and comparing them. The 5th Iranian Rock Mechanics Conference. Iranian Rock Mechanics Association and Tarbiat Modares University. (In Persian)
14.Pelasi, M., and Danesh, A. 2013. Investigating the relationship of Los Angeles test results with the impact of aggregates test. 1st National geotechnical engineering conference of iran. Technical Engineering Faculty, University of Mohaghegh Ardabili. (In Persian)
15.Rangaraju, P.R., Edlinski, J., and Amikhanian, S. 2005. Evaluation of South Carolina aggregate durability properties. South Carolina Department of Transportation. 57p.
16.Shariat Jafari, P. 2013. Providing a comprehensive method to determine the erosion of lithology units with an attitude to iran's geology. J. Water. Engin. Manage. 5: 3. 199-213. (In Persian)
17.Wu, Y., Parker, F., and Kandhal, K. 1998. Aggregate toughness/abrasion resistance and durability/soundness tests related to asphalt concrete performance in pavements. National Center for Asphalt Technology. 26p.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 26(5), 2020
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2020.15693.3088

Comparison rock strength of Asmari, Mishan, Aghajari limestone and Gachsaran anhydrite using Los Angeles abrasion method

M. Dehdarifar[1], *M. Faraji[2], M. Salehi Veisi[3] and J. Ehsani[4]

[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Range and Watershed Management, Facuty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran, [2]Assistant Prof., Dept. of Range and Watershed Management, Facuty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran, [3]Assistant Prof., Dept. of Statistics, Facuty of Sciences, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran, [4]Expert of Water Organization, Kohgiloyeh and Boyer Ahmad Regional

Received: 10.06.2018; Accepted: 11.12.2019

Abstract

Background and Objectives: Examination of rock resistance to erosion is of great importance in erosion and sediment studies. This is due to that information on rock resistance and rating rocks in terms of resistance to erosion and erosive factors provide useful guidelines to manage and control erosion and sediment in the watersheds. Therefore, this study was conducted to examine the resistance of 84 rock samples collected from different geologic formations of Fars group including marl limestone (Mishan formation), calcareous sandstone (Aghajari formaton), anhydrite (Gachsaran formation) and limestone (Asmari formation). The rate of rock resistance to erosion was measured by Los Angeles abrasion method.

Materials and Methods: In the present study the resistance of four rock types was investigated using Los Angeles abrasion method. Geology map and Google earth image of the study area were used to select the sampling locations. Thereafter in field survey, roadsides that were appropriate for sampling were selected. For each rock type, stone samples were collected from seven back slopes with three replications (a total of 21 rock samples from each rock types). The resistance of rock samples to erosion was then examined using Los Angeles abrasion test. Statistical analysis was conducted using descriptive statistics including mean, variance, standard deviation, minimum and maximum. Moreover ANOVA and Tukey test were employed to compare means of rock resistances. Finally the results were described and discussed and rocks were rated in terms of their resistance to erosion.

Results: ANOVA results indicated that there was a significant difference between rock types in terms of resistance to erosion at the 0.05 level. Tukey test showed that Asmari limestone and marl limestone (Mishan formation) were not significantly different at the 0.05 level in terms of resistance to erosion. Similar result was found for calcareous sandstone (Aghajari formation) and anhydrite (Gachsaran formation). Further, results revealed that the resistance of Asmari limestone and marl limestone (Mishan formation) to erosion were significantly different from calcareous sandstone (Aghajari formation) and anhydrite (Gachsaran formation).

Conclusion: Generally, results indicated that Asmari limestone was the most *resistant* rock to erosion (with a 95% confidence interval) followed by marl limestone (Mishan formation), calcareous sandstone (Aghajari formation), and anhydrite (Gachsaran formation).

Keywords: Limestone, Los Angeles Abrasion, Ranking of Rocks, Sensitivity to Erosion

* Corresponding Author; Email: mfaraji31@yahoo.com