

همبستگی شاخص دوام با ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌هایی از سنگ‌های ساختمانی با تأکید بر تأثیر تعداد چرخه‌های تر و خشک شدن

محمد رضا نیکودل^(*)، امین جمشیدی^۲ و ناصر حافظی مقدس^۳

۱. استادیار گروه زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲. دانشجوی دکتری زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود

تاریخ دریافت: ۸۸/۶/۱۶

تاریخ پذیرش: ۹۰/۳/۷

چکیده

شاخص دوام یک پارامتر مهندسی مهم در ارزیابی زوال‌پذیری سنگ‌ها در برابر عوامل هوازدگی شیمیایی و فیزیکی است که رابطه نزدیکی با ویژگی‌های مکانیکی سنگ‌ها دارد. در این تحقیق، ۱۴ نمونه سنگ ساختمانی تهیه و خصوصیات سنگ‌شناختی، ویژگی‌های فیزیکی شامل چگالی، وزن مخصوص قسمت جامد (Gs)، تخلخل، جذب آب و ویژگی‌های مکانیکی شامل مقاومت فشاری تک محوری، مقاومت کششی برزیلین، شاخص مقاومت بار نقطه‌ای، شاخص مقاومت پانچ، ارزش ضربه و سرعت موج P آنها تعیین شده است. همچنین آزمایش شاخص دوام تا ۱۵ چرخه انجام شد و همبستگی آن در چرخه‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ در برابر ویژگی‌های مکانیکی با انجام تحلیل رگرسیون دو متغیره مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که رابطه مستقیمی با ضریب همبستگی (R) ۰/۵۵ تا ۰/۹۱ بین شاخص دوام (Id_{15}) و ویژگی‌های مکانیکی وجود دارد. علاوه بر این، با افزایش تعداد چرخه‌های تر و خشک شدن، ضریب همبستگی (R) بین شاخص دوام در برابر ویژگی‌های مکانیکی افزایش یافته است. نتایج به دست آمده از تحلیل رگرسیون نشان می‌دهد که چرخه دوم آزمایش شاخص دوام، نشان دهنده دوام واقعی نیست و برای ارزیابی دقیق‌تر دوام سنگ‌ها، ضروری است آزمایش با چرخه‌های بیشتری انجام شود.

واژه‌های کلیدی: چرخه، شاخص دوام، ضریب همبستگی (R)، ویژگی‌های مکانیکی

مقدمه

به شمار می‌آید بلکه در طراحی سازه‌های سنگی، ساختمان‌ها و بناهای تاریخی نیز نقش مهمی دارد (Dhakal et al., 2001). بررسی ویژگی‌های کانی‌شناسی، فیزیکی و مکانیکی برای شناخت مناسب بودن یک سنگ برای استفاده به عنوان سنگ ساختمانی ضروری است (Sousa et al., 2004). ترکیب کانی‌شناختی، بافت (اندازه، شکل و نحوه قرارگیری کانی‌ها در یک سنگ) و ویژگی‌های فیزیکی به طور عمده در ارتباط با دوام هستند، این عوامل همچنین روی ویژگی‌های مکانیکی سنگ‌ها تأثیرگذار می‌باشند (Gupta and Ahmed, 2007). تحلیل رگرسیون بین شاخص دوام و ویژگی‌های

شاخص دوام یک پارامتر مهندسی مهم در ارزیابی زوال‌پذیری سنگ‌ها در برابر عوامل هوازدگی شیمیایی و فیزیکی است که ارتباط نزدیکی با ویژگی‌های کانی‌شناسی و مکانیکی سنگ‌ها دارد (Gupta and Ahmed, 2007). دوام سنگ عبارت است از ارزیابی و سنجش مقاومت سنگ در برابر هوازدگی، حفظ شکل، اندازه و وضعیت ظاهری اولیه در یک مدت زمان طولانی و در شرایط محیطی حاکم بر سنگ (Bell, 1993). شاخص دوام نه تنها یک پارامتر مهم در ارزیابی کنترل کردن پایداری شیب‌ها و کنترل کردن حفاری‌های زیرزمینی

* نویسنده مرتبط: nikudelm@modares.ac.ir

بررسی‌های سنگ‌شناختی، ویژگی‌های فیزیکی شامل چگالی، وزن مخصوص قسمت جامد (Gs)، تخلخل، جذب آب و ویژگی‌های مکانیکی شامل مقاومت فشاری تک‌محوری، مقاومت کششی برزیلین، شاخص بار نقطه‌ای، شاخص مقاومت پانچ، ارزش ضربه و سرعت موج P آنها پرداخته شد. علاوه بر این، آزمایش شاخص دوام تا ۱۵ چرخه در آب شرب تهران با $pH=7/3$ و دمای ۲۰ درجه انجام و با تحلیل رگرسیون دو متغیره، همبستگی بین شاخص دوام (Id_{15}) و ویژگی‌های مکانیکی برقرار شد. همچنین با به دست آوردن ضریب همبستگی بین شاخص دوام در چرخه‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ با ویژگی‌های مکانیکی و مقایسه آنها با همدیگر، تأثیر تعداد چرخه‌های تر و خشک شدن به منظور ارزیابی دقیق‌تر دوام سنگ‌ها بررسی شده است.

بررسی‌های سنگ‌نگاری

مطالعات سنگ‌نگاری نه تنها اطلاعاتی در مورد ترکیب کانی‌شناسی و منشأ سنگ به دست می‌دهند، بلکه در ارزیابی دوام سنگ‌ها در برابر عوامل هوازدگی شیمیایی و فیزیکی نیز ابزاری مهم به شمار می‌آیند (Dreesen and Duser, 2004). دوام سنگ در برابر عوامل هوازدگی شیمیایی و فیزیکی، سایش و تر و خشک شدن به مقدار زیادی به پارامترهای ذاتی سنگ از جمله ترکیب کانی‌شناسی بستگی دارد. سنگ‌ها به دلیل دارا بودن کانی‌های تشکیل دهنده متفاوت، دوام متفاوتی در برابر این عوامل از خود نشان می‌دهند. در این تحقیق با تهیه مقطع نازک از نمونه‌ها، ترکیب کانی‌شناسی آنها در زیر میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه قرار گرفته که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین در شکل ۱ درصد نوع سنگ‌های ساختمانی مورد مطالعه نشان داده شده است.

مکانیکی در مطالعات گذشته کمتر صورت گرفته است. Cargill and Shakoore (1990) تلاش‌هایی را برای برقراری ارتباط بین شاخص دوام و ویژگی‌های مکانیکی انجام دادند. این محققان مطالعات خود را روی دامنه گسترده‌ای از انواع سنگ‌ها شامل ماسه‌سنگ‌ها، سنگ‌های کربناتی (سنگ آهک، دولومیت، مرمر) و سنگ‌های گرانیتی (گرانیت، سینیت و ...) انجام دادند و به ضریب همبستگی $0/72$ بین شاخص دوام و مقاومت فشاری تک‌محوری دست یافتند. در بیشتر مطالعات قبلی، ارزیابی دوام بر اساس دومین چرخه شاخص دوام بوده است. (Gokceoglu et al. (2000) به ضریب همبستگی $0/76$ بین چهارمین چرخه شاخص دوام (Id_4) و مقاومت فشاری تک‌محوری رسیدند. همچنین این محققان نشان دادند که انجام آزمایش در چهار چرخه دارای نتایج منطقی‌تر و قابل قبول‌تری است. (Gamble (1971), Ulusay et al. (1999) بر این باورند که انجام آزمایش طی چند چرخه، دارای نتایج واقعی‌تر و مفیدتری دست می‌یابد. Konncagul and Santi (1999) نیز نشان دادند که ضریب همبستگی بین شاخص دوام و مقاومت فشاری تک‌محوری با افزایش تعداد چرخه‌های تر و خشک شدن بیشتر می‌شود. در تحقیق حاضر، به بررسی همبستگی بین شاخص دوام و ویژگی‌های مکانیکی و همچنین تأثیر تعداد چرخه‌های تر و خشک شدن بر ضریب همبستگی بین شاخص دوام و ویژگی‌های مکانیکی پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

برای انجام تحقیق حاضر، ۱۴ قطعه سنگ ساختمانی به ابعاد تقریبی $40 \times 30 \times 30$ سانتیمتر از کارخانه‌های سنگبری اطراف تهران تهیه شد و از آنها نمونه‌ها و مغزه‌های لازم با قطر NX برای انجام آزمایش‌های پیش‌بینی شده نیز تهیه گردید. در ادامه به



شکل ۱- درصد نوع سنگ‌های ساختمانی مورد مطالعه

جدول ۱- نام زمین‌شناسی، رده و ترکیب کانی‌شناسی نمونه‌ها

نام زمین‌شناسی	رده	ترکیب کانی‌شناسی
توف فرحزاد (تهران)	آذر آواری	شیشه آتشفشانی در حال تبلور دوباره به کوارتز (۶۵٪) - کوارتز (۲۵٪) - پلاژیوکلاز (۵٪) - فلدسپار پتاسیم (۵٪)
مرمر کرمان	دگرگونی	میکرو اسپاریت (۱۰۰٪)
سنگ آهک سنندج	رسوبی	زمینه میکرایت (۷۵٪) - رگه‌های کلسیت اسپاری همراه با کانی‌های کدر (۲۵٪)
مرمر سیرجان	دگرگونی	کلسیت اسپاری (۱۰۰٪)
سنگ آهک انارک (۱)	رسوبی	کلسیت اسپاری و فسیل اسپاریتی شده (۴۰٪) - زمینه میکرایت (۳۰٪) - دولومیت (۳۰٪)
سنگ آهک انارک (۲)	رسوبی	کلسیت اسپاری و فسیل اسپاریتی شده (۵۵٪) - زمینه میکرایت (۳۵٪) - دولومیت (۱۰٪)
گرانیت قلیایی مشهد	آذرین	کوارتز (۵۰٪) - فلدسپار قلیایی در حال تجزیه به سریسیت (۳۰٪) - بیوتیت (۱۰٪) - مسکوویت (۱۰٪)
آمفیبولیت بیرجند	دگرگونی	آمفیبول در حال تجزیه به کلریت (۳۵٪) - پلاژیوکلاز آلبیتی و الیگوکلازی (۳۰٪) - گارنت (۲۰٪) - اسفن (۱۰٪) - اپیدوت (۵٪)
ایگنبریت نائین	آذرین	شیشه آتشفشانی (۶۵٪) - خرده سنگ با ترکیب آندزیتی و تراکیتی (۲۰٪) - شیشه آتشفشانی در حال تبلور دوباره به کوارتز (۱۰٪) - فلدسپار پتاسیم (۵٪)
داسیت یزد	آذرین	زمینه شیشه آتشفشانی (۵۵٪) - فلدسپار قلیایی (۲۵٪) - کوارتز (۱۵٪) - بیوتیت (۵٪)
گرانیت قلیایی نایبندان	آذرین	کوارتز (۴۵٪) - فلدسپار قلیایی (۴۰٪) - پلاژیوکلاز (۱۰٪) - بیوتیت (۵٪)
تراورتن	رسوبی	زمینه میکرو اسپاریت (۵۵٪) - اکسیدهای آهن (۳۵٪) - کلسیت اسپاری (۱۰٪)
تراکیت	آذرین	زمینه کوارتز و فلدسپار ریز بلور (۶۵٪) - فلدسپار (۱۵٪) - کوارتز (۱۰٪) - بیوتیت (۱۰٪)
تراورتن	رسوبی	کلسیت اسپاری (۵۵٪) - زمینه میکرو اسپاریت (۴۵٪)

ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی

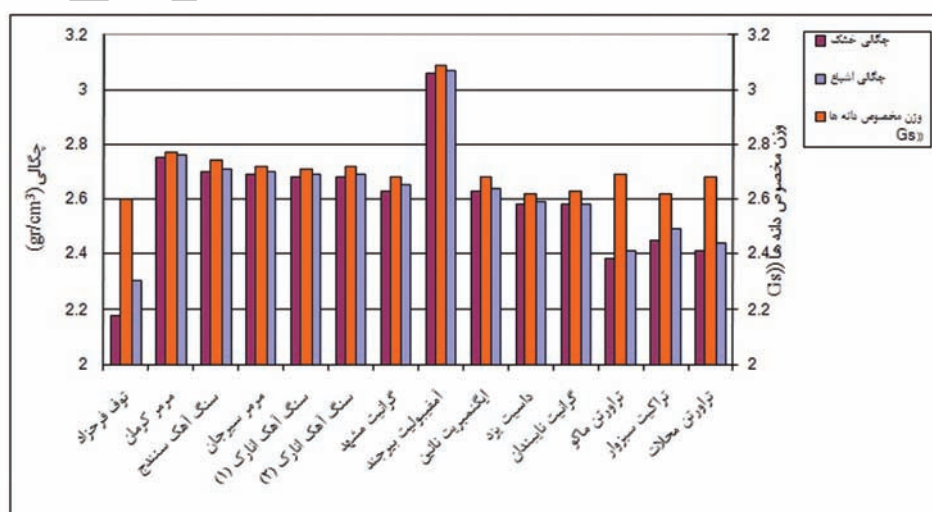
برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌ها شامل چگالی، وزن مخصوص قسمت جامد (GS)، تخلخل و جذب آب از روش استاندارد (ISRM, 1981) استفاده شده است. لازم به یادآوری است که بر روی هر کدام از نمونه‌ها ۵ آزمایش انجام شد و نتایج ارائه شده در جدول ۲ میانگین مقادیر این آزمایش‌ها هستند. نتایج میانگین مقادیر به دست آمده از آزمایش‌های تعیین ویژگی‌های فیزیکی هر یک از نمونه‌ها در جدول ۲ و شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها دیده می‌شود، تفاوت بین چگالی خشک و اشباع نمونه‌ها، به استثنای توف فرحزاد خیلی کم است که این موضوع به دلیل تخلخل پایین نمونه‌هاست. بر اساس رده‌بندی (Anon, 1979) برای چگالی و تخلخل، بیشتر نمونه‌ها در رده با چگالی بالا (۲/۷۵-۲/۵۵) و متوسط (۲/۵۵-۲/۵۵) (۲/۲) و تخلخل خیلی پایین (کمتر از ۱٪) و پایین (۵-۱٪) قرار گرفته‌اند.

برای تعیین ویژگی‌های مکانیکی شامل مقاومت فشاری تک‌محوری، مقاومت کششی برزیلین، شاخص بار نقطه‌ای، شاخص مقاومت پانچ و سرعت موج P از روش استاندارد (ISRM, 1981) و برای تعیین ارزش ضربه (AIV) از استاندارد

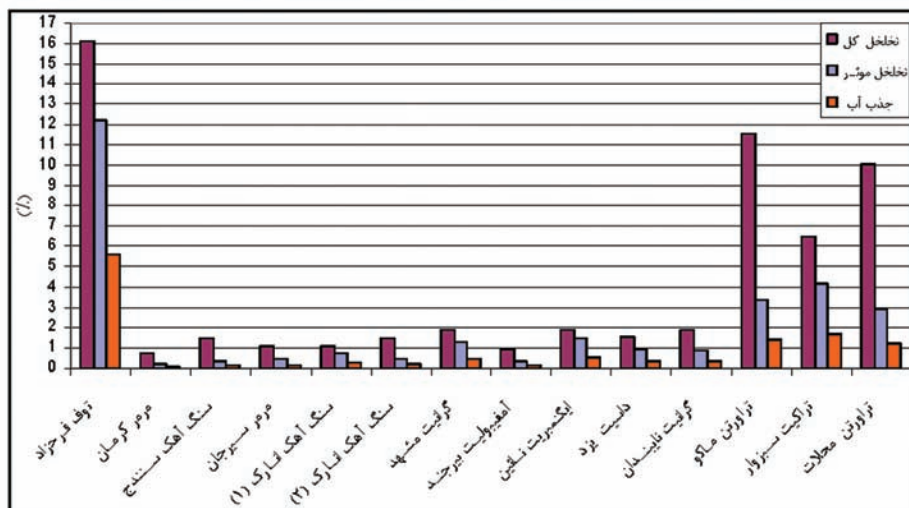
۱۱-۸۱۲ BS استفاده شده است. نتایج آزمایش‌های فوق در جدول ۳ ارائه شده است. همچنین ویژگی‌های مقاومتی نمونه‌ها برای مقایسه بهتر نتایج به صورت نمودار ستونی در شکل ۴ نشان داده شده است. لازم به یادآوری است که به استثنای ارزش ضربه، بر روی هر کدام از نمونه‌ها ۵ آزمایش در حالت اشباع انجام شده و نتایج ارائه شده در این جدول میانگین مقادیر این آزمایش‌ها هستند. با توجه به رده‌بندی سنگ‌ها بر اساس مقاومت فشاری تک‌محوری و شاخص بار نقطه‌ای توسط (Broch and Franklin, 1972)، تمامی نمونه‌ها بجز تراورتن ماکو و تراورتن محلات، در رده سنگ‌های با مقاومت خیلی بالا و بسیار بالا قرار می‌گیرند. همچنین نتایج حاصل از آزمایش مقاومت پانچ نشان می‌دهد تراورتن ماکو، تراورتن محلات و مرمر سیرجان در رده سنگ‌های با مقاومت متوسط (۲۰-۲۰ MPa) و دیگر نمونه‌ها در رده مقاومت بالا (۵۰-۲۰ MPa) قرار گرفته‌اند (Ulusay et al., 2001). با توجه به رده‌بندی سنگ‌ها بر اساس سرعت موج P توسط (Anon, 1979)، توف فرحزاد در رده سنگ‌های با سرعت پایین (۳۵۰۰ m/s) - تراورتن ماکو و تراورتن محلات در رده سنگ‌های با سرعت بالا (۵۰۰۰-۴۰۰۰ m/s) و دیگر نمونه‌ها در رده سنگ‌های با سرعت خیلی بالا (بیش از ۵۰۰۰ m/s) قرار می‌گیرند.

جدول ۲- نتایج آزمون تعیین ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌ها

نام زمین‌شناسی	چگالی خشک (g/cm ³)	چگالی اشباع (g/cm ³)	وزن مخصوص قسمت جامد (GS)	تخلخل مؤثر (%)	تخلخل کل (%)	جذب آب (%)
توف فرحزاد	۲/۱۸	۲/۳۰	۲/۶۰	۱۲/۲۱	۱۶/۱۵	۵/۶۱
مرمر کرمان	۲/۷۵	۲/۷۶	۲/۷۷	۰/۲۲	۰/۷۲	۰/۰۸
سنگ آهک سنندج	۲/۷۰	۲/۷۱	۲/۷۴	۰/۳۷	۱/۴۶	۰/۱۴
مرمر سیرجان	۲/۶۹	۲/۷۰	۲/۷۲	۰/۴۴	۱/۱۰	۰/۱۶
سنگ آهک انارک (۱)	۲/۶۸	۲/۶۹	۲/۷۱	۰/۷۷	۱/۱۱	۰/۲۹
سنگ آهک انارک (۲)	۲/۶۸	۲/۶۹	۲/۷۲	۰/۴۶	۱/۴۷	۰/۱۷
گرانیت قلیایی مشهد	۲/۶۳	۲/۶۵	۲/۶۸	۱/۲۶	۱/۸۷	۰/۴۸
آمفیبولیت بیرجند	۳/۰۶	۳/۰۷	۳/۰۹	۰/۳۵	۰/۹۷	۰/۱۲
ایگنمبریت نائین	۲/۶۳	۲/۶۴	۲/۶۸	۱/۴۸	۱/۸۷	۰/۵۶
داسیت یزد	۲/۵۹	۲/۵۹	۲/۶۲	۰/۹۶	۱/۵۳	۰/۳۷
گرانیت قلیایی نایبندان	۲/۵۸	۲/۵۸	۲/۶۳	۰/۹۱	۱/۹۰	۰/۳۵
تراورتن ماکو	۲/۳۸	۲/۴۱	۲/۶۹	۳/۳۶	۱۱/۵۲	۱/۴۱
تراکیت سبزوار	۲/۴۵	۲/۴۹	۲/۶۲	۴/۱۵	۶/۴۹	۱/۶۹
تراورتن محلات	۲/۴۱	۲/۴۴	۲/۶۸	۲/۹۳	۱۰/۰۷	۱/۲۲



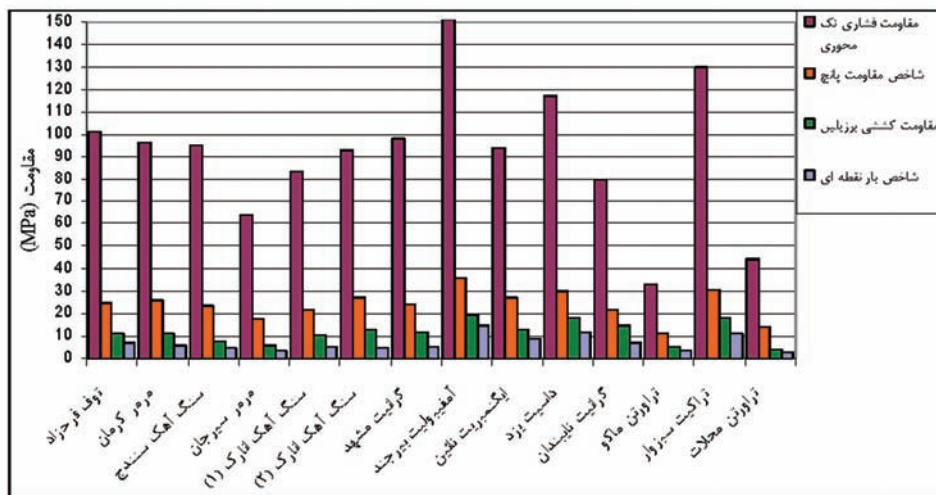
شکل ۲- نمودار ستونی چگالی خشک، چگالی اشباع و وزن مخصوص قسمت جامد (Gs) نمونه‌ها



شکل ۳- نمودار ستونی تخلخل مؤثر، تخلخل کل و جذب آب نمونه‌ها

جدول ۳- نتایج آزمون تعیین ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌ها

سرعت موج P (m/s)	ارزش ضربه (AIV) (%)	شاخص مقاومت پانچ (MPa)	شاخص بار نقطه‌ای IS (۵۰) (MPa)	مقاومت کششی برزیلین (MPa)	مقاومت فشاری تک‌محوری (MPa)	نام زمین‌شناسی
۳۷۲۰	۹/۳	۲۵	۷/۲	۱۱/۲	۱۰۱	توف فرحزاد
۵۵۱۳	۱۵/۵	۲۵/۷	۵/۷	۱۱/۳	۹۶	مرمر کرمان
۵۹۲۱	۱۳/۷	۲۳/۸	۵/۱	۷/۸	۹۵	سنگ آهک سنندج
۵۲۱۰	۲۱/۳	۱۷/۶	۳/۳	۵/۸	۶۴	مرمر سیرجان
۶۱۲۰	۹/۹	۲۱/۸	۵/۳	۱۰/۵	۸۳	سنگ آهک انارک (۱)
۶۰۶۰	۱۰/۲	۲۷/۱	۵	۱۲/۹	۹۳	سنگ آهک انارک (۲)
۵۶۶۱	۱۷/۳	۲۴/۴	۵/۱	۱۲/۱	۹۸	گرانیت قلیایی مشهد
۶۵۱۰	۴/۵	۳۵/۸	۱۴/۹	۱۹/۲	۱۵۱	آمفیبولیت بیرجند
۵۴۲۰	۶/۷	۲۷/۲	۸/۹	۱۲/۹	۹۴	ایگنمبریت نائین
۵۷۲۱	۷/۵	۳۰/۲	۱۲	۱۸/۴	۱۱۷	داسیت یزد
۵۷۴۸	۱۴/۱	۲۱/۷	۷	۱۴/۵	۸۰	گرانیت قلیایی نایبندان
۴۷۵۰	۱۸/۲	۱۱	۳/۶	۵/۲	۳۳	تراورتن ماکو
۵۳۹۰	۵/۱	۳۰/۷	۱۱/۲	۱۸/۳	۱۳۰	تراکیت سبزوار
۴۹۵۰	۱۷/۴	۱۴/۱	۲/۷	۴/۱	۴۴	تراورتن محلات

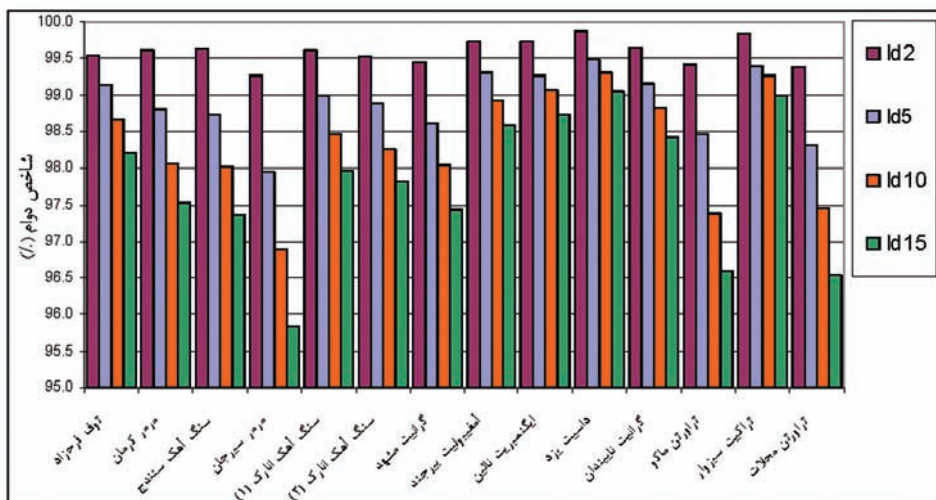


شکل ۴- نمودار ستونی ویژگی‌های مقاومتی نمونه‌ها

(Konncagul and Santi, 1999). در این تحقیق، آزمایش دوام بر اساس روش استاندارد (ISRM, 1981) تا ۱۵ چرخه انجام شد و شاخص دوام در چرخه‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ محاسبه شد. در جدول ۴ و شکل ۵ شاخص دوام در چرخه‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش تعداد چرخه‌ها، شاخص دوام نمونه‌ها به دلیل فرایند سایش و تر و خشک شدن کاهش پیدا کرده است.

شاخص دوام^۱

شاخص دوام یک معیار بسیار مناسب برای نشان دادن حساسیت سنگ در برابر سایش و تر و خشک شدن متوالی و تأثیرات شیمیایی آب است که روش تعیین آن توسط (Franklin and Chandra, 1972) ارائه شد و در سال ۱۹۷۹ توسط انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ (ISRM) به صورت استاندارد درآمد (ISRM, 1981). در آزمایش دوام، ترکیبی از سایش و تر و خشک شدن به منظور تسریع کردن فرایند هوازدگی روی نمونه‌های سنگ اعمال می‌شود



شکل ۵- نمودار ستونی شاخص دوام نمونه‌ها در چرخه‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵

جدول ۴- شاخص دوام نمونه‌ها در چرخه‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵

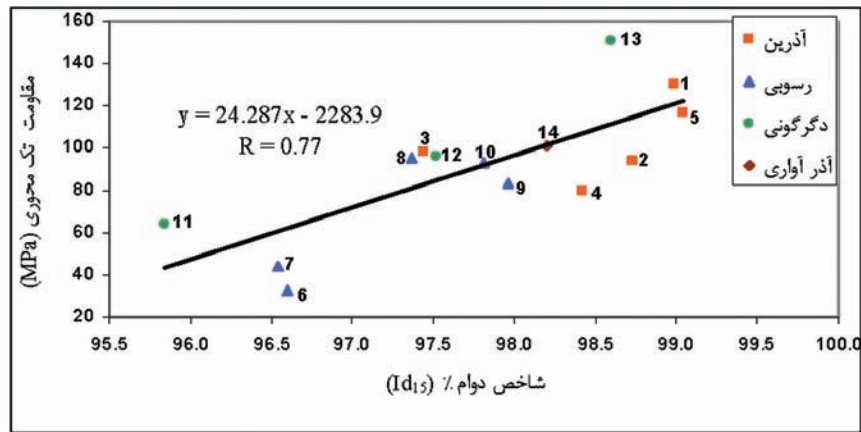
شاخص دوام				نام زمین‌شناسی
(%)Id ₁₅	(%)Id ₁₀	(%)Id ₅	(%)Id ₂	
۹۸/۲۰	۹۸/۶۶	۹۹/۱۴	۹۹/۵۴	توف فرحزاد
۹۷/۵۲	۹۸/۰۷	۹۸/۸۱	۹۹/۶۱	مرمر کرمان
۹۷/۳۷	۹۸/۰۳	۹۸/۷۳	۹۹/۶۳	سنگ آهک سنندج
۹۵/۸۴	۹۶/۸۹	۹۷/۹۵	۹۹/۲۶	مرمر سیرجان
۹۷/۹۷	۹۸/۴۵	۹۸/۹۹	۹۹/۶۲	سنگ آهک انارک (۱)
۹۷/۸۱	۹۸/۲۷	۹۸/۸۸	۹۹/۵۳	سنگ آهک انارک (۲)
۹۷/۴۴	۹۸/۰۳	۹۸/۶۰	۹۹/۴۴	گرانیت قلیایی مشهد
۹۸/۵۹	۹۸/۹۱	۹۹/۳۰	۹۹/۷۳	آمفیبولیت بیرجند
۹۸/۷۳	۹۹/۰۷	۹۹/۲۷	۹۹/۷۳	ایگنمبریت نائین
۹۹/۰۴	۹۹/۳۱	۹۹/۴۹	۹۹/۸۷	داسیت یزد
۹۸/۴۲	۹۸/۸۳	۹۹/۱۵	۹۹/۶۶	گرانیت قلیایی نایبندان
۹۶/۵۹	۹۷/۳۹	۹۸/۴۷	۹۹/۴۱	تراورتن ماکو
۹۸/۹۸	۹۹/۲۶	۹۹/۳۹	۹۹/۸۴	تراکیت سبزوار
۹۶/۵۴	۹۷/۴۶	۹۸/۳۲	۹۹/۳۸	تراورتن محلات

۱- تراکیت سبزوار ۲- ایگنمبریت نائین ۳- گرانیت قلیایی مشهد ۴- گرانیت قلیایی نایبندان ۵- داسیت یزد ۶- تراورتن ماکو ۷- تراورتن محلات ۸- سنگ آهک سنندج ۹- سنگ آهک انارک (۱) ۱۰- سنگ آهک انارک (۲) ۱۱- مرمر سیرجان ۱۲- مرمر کرمان ۱۳- آمفیبولیت بیرجند ۱۴- توف فرحزاد

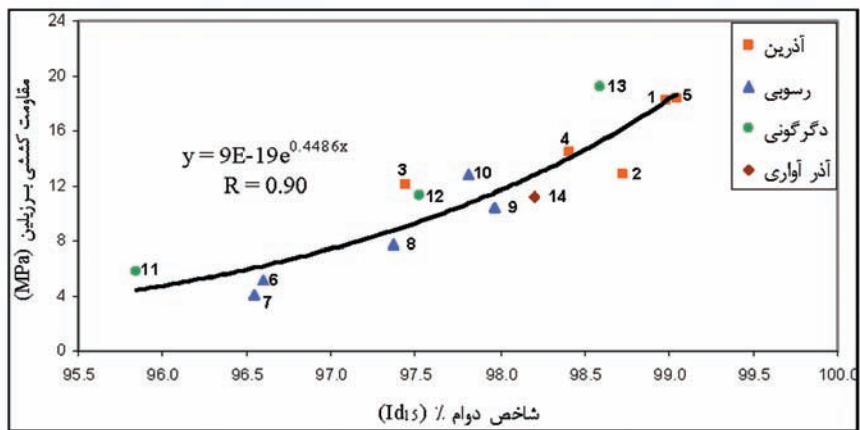
همبستگی شاخص دوام و ویژگی‌های مکانیکی

الاستیک سنگ بستگی زیادی دارد. لازم به ذکر است به دلیل ناهنجاری که توف فرحزاد در رابطه شاخص دوام و سرعت موج P ایجاد کرده بود، این نمونه از تحلیل حذف شد. نتایج تحقیقات Gokceoglu et al. (2000) نیز نشان داد که رابطه مستقیمی بین شاخص دوام و مقاومت فشاری تک‌محوری نمونه‌هایی از سنگ‌های رسی وجود دارد. همچنین Konncagul and Santi (1999) با انجام تحلیل رگرسیون، به ضریب همبستگی ۰/۶۳ بین شاخص دوام و مقاومت فشاری تک‌محوری دست یافتند. Cargill and Shakoor (1990) تحقیقات خود را روی دامنه گسترده‌ای از انواع سنگ‌ها مانند ماسه‌سنگ‌ها، سنگ‌های کربناتی (سنگ آهک، دولومیت، مرمر) و سنگ‌های گرانیتی (گرانیت، سینیت) انجام دادند. این محققان به ضریب همبستگی ۰/۷۲ بین شاخص دوام و مقاومت فشاری تک‌محوری دست یافتند.

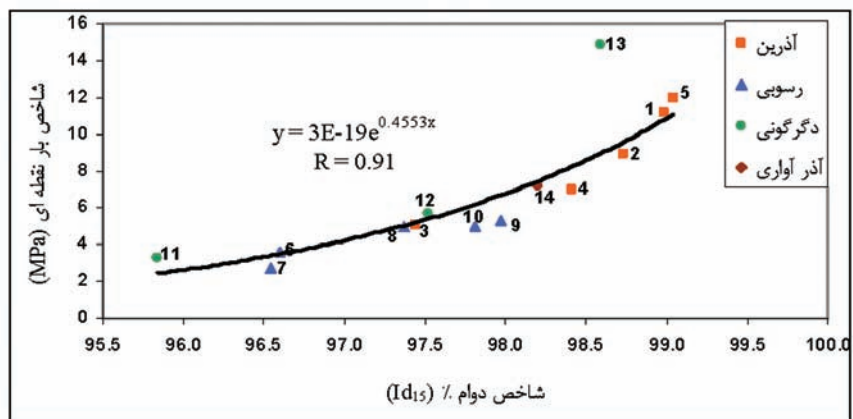
شکل‌های ۶ تا ۱۱ نمودارهای همبستگی بین شاخص دوام در پانزدهمین چرخه (Id_{15}) در برابر مقاومت فشاری تک‌محوری، مقاومت کششی برزیلین، شاخص بار نقطه‌ای، شاخص مقاومت پانچ، ارزش ضربه و سرعت موج P نمونه‌ها را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، رابطه مستقیمی بین شاخص دوام در برابر ویژگی‌های مکانیکی با ضریب همبستگی بین ۰/۵۵ تا ۰/۹۱ وجود دارد. بالاترین ضریب همبستگی بین شاخص دوام در برابر شاخص بار نقطه‌ای و ارزش ضربه با ۰/۹۱ و کمترین آن مربوط به شاخص دوام در برابر سرعت موج P با ۰/۵۵ است. پایین بودن ضریب همبستگی بین شاخص دوام و سرعت موج P به دلیل متفاوت بودن پارامترهای تأثیرگذار روی آن‌ها می‌باشد، به گونه‌ای که شاخص دوام بیشتر تحت تأثیر کانی‌شناسی و بافت قرار می‌گیرد، در صورتی که سرعت موج P به ویژگی‌های



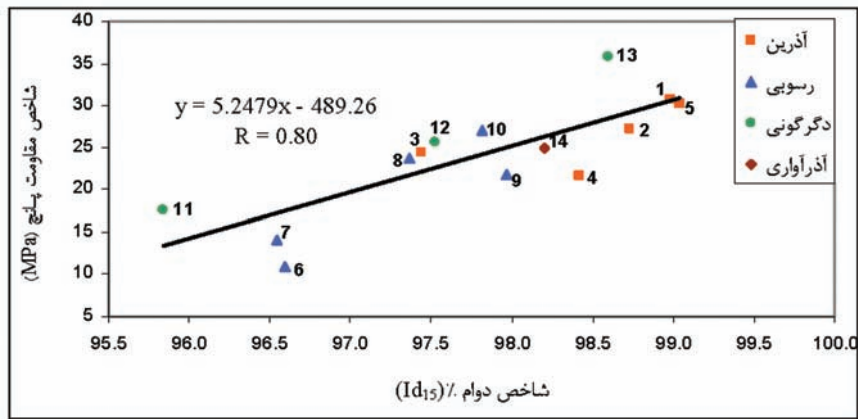
شکل ۶- رابطه شاخص دوام (Id_{15}) - مقاومت فشاری تک محوری



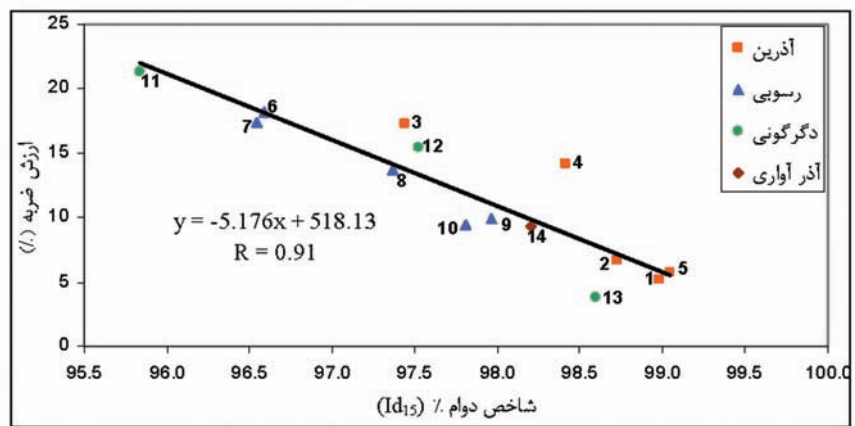
شکل ۷- رابطه شاخص دوام (Id_{15}) - مقاومت کششی برزیلین



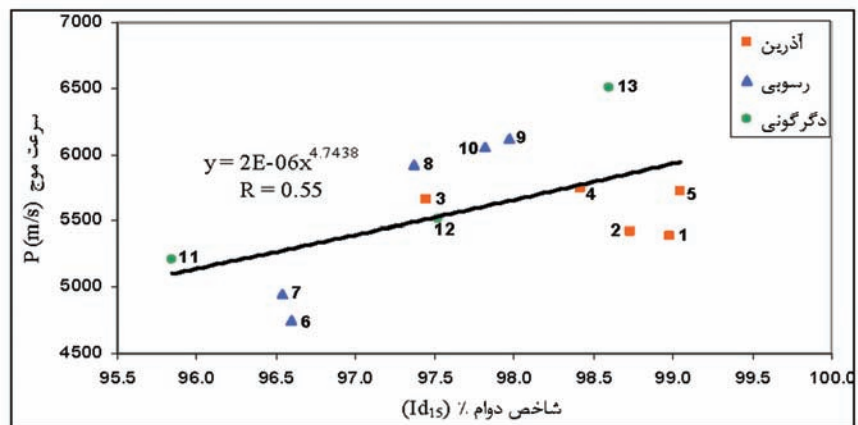
شکل ۸- رابطه شاخص دوام (Id_{15}) - شاخص بار نقطه‌ای



شکل ۹- رابطه شاخص دوام (Id_{15}) - شاخص مقاومت پانچ



شکل ۱۰- رابطه شاخص دوام (Id_{15}) - ارزش ضربه



شکل ۱۱- رابطه شاخص دوام (Id_{15}) - سرعت موج P

واقعی نمونه نیست و با افزایش تعداد چرخه‌ها به دلیل از بین رفتن ناهمواری‌ها و گوشه‌های نمونه‌ها، دوام واقعی را خواهیم داشت. در نتیجه، برای ارزیابی دقیق‌تر دوام، آزمایش را باید با تعداد چرخه‌های بیشتری انجام داد. این موضوع با نتایج حاصل از بررسی‌های Gokceoglu et al. (2000) مطابقت دارد. این محققان نیز نشان دادند که با افزایش تعداد چرخه‌های آزمایش شاخص دوام، ضریب همبستگی آن با مقاومت فشاری تک‌محوری افزایش می‌یابد. نتایج تحقیقات (Ulusay et al. (1995), Gamble (1971)) نیز نشان داد که انجام آزمایش شاخص دوام به صورت چند چرخه‌ای دارای نتایج واقعی‌تر و مفیدتری است.

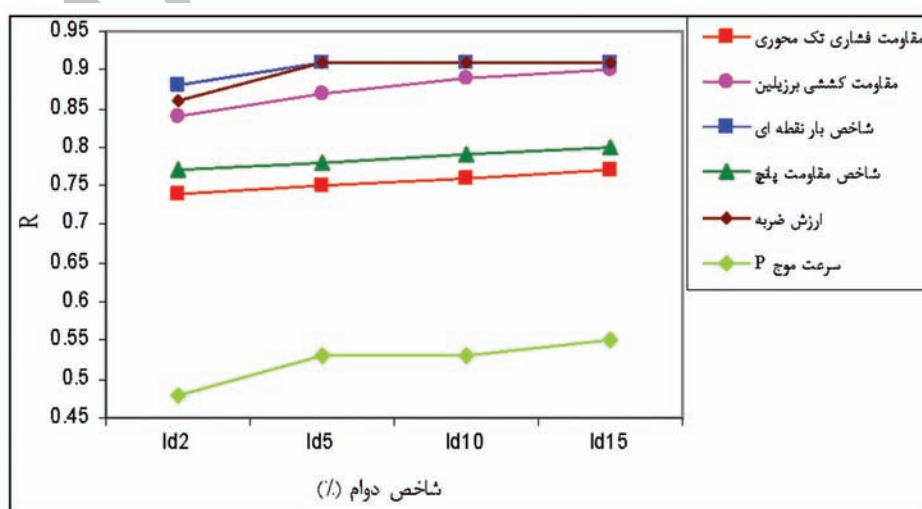
تأثیر تعداد چرخه‌های تر و خشک شدن بر ضریب همبستگی بین شاخص دوام و ویژگی‌های مکانیکی

به منظور بررسی تأثیر افزایش تعداد چرخه‌های تر و خشک شدن برای ارزیابی دقیق‌تر دوام سنگ‌ها، تحلیل رگرسیون بین شاخص دوام در چرخه‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ با ویژگی‌های مکانیکی انجام شد. در جدول ۶ و شکل ۱۲ نتایج این تحلیل ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، با افزایش تعداد چرخه‌های تر و خشک شدن آزمایش شاخص دوام، ضریب همبستگی آن با ویژگی‌های مکانیکی افزایش می‌یابد. این امر نشان می‌دهد که در چرخه‌های اولیه به دلیل ناهموار و گوشه‌دار بودن نمونه‌ها، افت وزنی که در طی انجام آزمایش صورت می‌گیرد، نشانگر دوام

جدول ۶ نوع منحنی برازش و ضریب همبستگی در چرخه‌های مختلف آزمایش شاخص دوام و ویژگی‌های مکانیکی

شاخص دوام ویژگی‌های مکانیکی	Id ₂ (%)	Id ₅ (%)	Id ₁₀ (%)	Id ₁₅ (%)
	مقاومت فشاری تک‌محوری	۰/۷۴ (Li)	۰/۷۵ (Li)	۰/۷۶ (Li)
مقاومت کششی برزیلین	۰/۸۴ (Log)	۰/۸۷ (E)	۰/۸۹ (E)	۰/۹۰ (E)
شاخص بار نقطه‌ای	۰/۸۸ (E)	۰/۹۱ (E)	۰/۹۱ (E)	۰/۹۱ (E)
شاخص مقاومت پانچ	۰/۷۷ (Li)	۰/۷۸ (Li)	۰/۷۹ (Li)	۰/۸۰ (Li)
ارزش ضربه	۰/۸۶ (Li)	۰/۹۱ (Li)	۰/۹۱ (Li)	۰/۹۱ (Li)
سرعت موج P	۰/۴۸ (P)	۰/۵۳ (P)	۰/۵۳ (P)	۰/۵۵ (P)

P: Power Log: Logarithmic L: Linear E: Exponential



شکل ۱۲- تغییرات ضریب همبستگی بین شاخص دوام در چرخه‌های مختلف و ویژگی‌های مکانیکی

و ارزش ضربه با ۰/۹۱ و کمترین آن مربوط به شاخص دوام و سرعت موج P با ۰/۵۵ است.

- پایین بودن ضریب همبستگی بین شاخص دوام و سرعت موج P، به دلیل متفاوت بودن پارامترهای تأثیرگذار روی آن‌هاست می‌باشد به گونه‌ای که شاخص دوام بیشتر تحت تأثیر کانی‌شناسی و بافت قرار می‌گیرد، در صورتی که سرعت موج P به ویژگی‌های الاستیک سنگ بستگی بیشتری دارد.

- استفاده از چرخه دوم (Id_2) آزمایش شاخص دوام، برای ارزیابی دوام سنگ‌های ساختمانی کافی نیست و برای ارزیابی دقیق‌تر دوام آنها، آزمایش باید با چرخه‌های بیشتری انجام شود.

- با افزایش تعداد چرخه‌های تر و خشک شدن، ضریب همبستگی بین شاخص دوام در برابر ویژگی‌های مکانیکی افزایش می‌یابد. این نشان می‌دهد که در چرخه‌های اولیه به دلیل ناهموار و گوشه‌دار بودن نمونه‌ها، افت وزنی که در طی انجام آزمایش شاخص دوام صورت می‌گیرد، نشانگر دوام واقعی نمونه نیست و با افزایش تعداد چرخه‌ها به دلیل از بین رفتن ناهمواری‌ها و گوشه‌های نمونه‌ها، دوام واقعی به دست می‌آید، در نتیجه برای ارزیابی دقیق‌تر دوام، آزمایش را باید با تعداد چرخه‌های بیشتری انجام داد.

- نتایج شاخص دوام در چرخه ۱۵ (Id_{15}) نشان داد سنگ‌هایی با ترکیب سیلکاتی (غنی از کوارتز، فلدسپار، میکا) نسبت به نمونه‌های با ترکیب غیرسیلکاتی (غنی از کلسیت، دولومیت، میکریت) دارای دوام بیشتری در برابر سایش و تر و خشک شدن در طی آزمایش شاخص دوام دارند.

تشکر و قدردانی

در پایان از مسئولین آزمایشگاه زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به خاطر همکاری در طول انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌کنیم.

منابع

- Anon., 1979. Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. part 1: Rock and soil materials. Bulletin International Association Engineering Geology, 19, 355-371.

- Bell, F.G., 1993. Durability of carbonate rock as building stone with comments on its preservation. Environmental Geology, 21, 187-200.

- British Standard Institution, 1989. Code of Practice for Determination of Aggregate Impact Value. BS 812.

- Broch, E. and Franklin, J.A., 1972. The point-load test. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics, Abstracts, 9, 669-676.

- Cargill, J.S., and Shakoor, A., 1990. Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial compressive

رابطه شاخص دوام با ویژگی‌های کانی‌شناسی و سنگ‌شناختی

ویژگی‌های کانی‌شناسی و سنگ‌شناختی نقش مهمی در ارزیابی دوام سنگ‌ها در برابر عوامل هوازدگی شیمیایی و فیزیکی دارند (Dreesen and Dusar, 2004). (Gokceoglu et al. (2000) نشان دادند ترکیب کانی‌شناسی تأثیر بسزایی در شاخص دوام سنگ‌هایی مانند ایگنمبریت، ماسه‌سنگ، گل‌سنگ و مارن دارد. Gupta and Ahmed (2007) با بررسی شاخص دوام نمونه‌هایی از سنگ‌های کربناتی نشان دادند که سنگ آهک‌های دانه ریز شاخص دوام پایین‌تری نسبت به سنگ‌آهک‌های دانه درشت دارند. در این بخش از تحقیق، به بررسی رابطه شاخص دوام با ویژگی‌های کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی نمونه‌های مورد مطالعه پرداخته شده است. با توجه به جدول ۴ مشاهده می‌شود که سنگ‌هایی با ترکیب سیلکاتی (غنی از کوارتز، فلدسپار، میکا) مانند داسیت یزد، تراکیت سبزوار و گرانیت قلیایی ناپبندان نسبت به نمونه‌های با ترکیب غیرسیلکاتی (غنی از کلسیت، دولومیت، میکریت) مانند تراورتن ماکو، مرمر سرجان و سنگ آهک انارک دارای شاخص دوام (Id_{15}) بیشتری است. این موضوع به دلیل متفاوت بودن ترکیب کانی‌شناسی این سنگ‌ها با یکدیگر است، که این امر باعث متفاوت بودن شاخص دوام نمونه‌ها با یکدیگر می‌شود. در واقع، بالاتر بودن سختی کانی‌های سیلکاتی نسبت به کانی‌های غیرسیلکاتی باعث دوام بیشتر آنها در برابر سایش و تر و خشک شدن در طی آزمایش شاخص دوام می‌شود. از آنجا که تهیه نمونه‌های گرد شده برای سنگ‌های سخت اندکی دشوار است و نمونه‌های آماده شده عموماً گوشه‌دار هستند، بنابراین (Id_2) برای سنگ‌های سخت نمی‌تواند شاخص مناسبی برای ارزیابی دوام آنها باشد. با توجه به اینکه با افزایش تعداد چرخه‌های آزمایش، نمونه‌های تهیه شده از سنگ‌های سخت شکل کروی‌تری به خود می‌گیرند، نتایج شاخص دوام در چرخه‌های بالاتر (در این تحقیق ۱۵ چرخه)، ارزیابی دقیق‌تری از دوام سنگ‌های سخت می‌دهد. این موضوع توسط تحلیل رگرسیون بین شاخص دوام در چرخه‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ با ویژگی‌های مکانیکی در بخش قبل نشان داده شد.

نتیجه‌گیری

- با توجه به اینکه برقراری همبستگی بین نتایج آزمایش‌های مختلف مهندسی، سبب جایگزینی روابط ساده به جای روابط پیچیده و همچنین تسریع در ارزیابی دوام مصالح سنگی می‌شود، با بررسی نتایج به دست‌آمده از آزمایش‌های مختلف، روابط تجربی بین شاخص دوام و ویژگی‌های مکانیکی ارائه شد.

- با توجه به روابط همبستگی، رابطه مستقیمی بین شاخص دوام با مقاومت فشاری تک محوری، مقاومت کششی برزیلین، شاخص بار نقطه‌ای، شاخص مقاومت پانچ، سرعت موج P و رابطه معکوسی با ارزش ضربه وجود دارد. بالاترین ضریب همبستگی بین شاخص دوام (Id_{15}) در برابر شاخص بار نقطه‌ای

strength of rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics*, 27, 495-503.

- Dhakal, G., Yoneda, T., Kato, M., and Kaneko, K., 2001. Slake durability and mineralogical properties of some pyroclastic and sedimentary rocks. *Engineering Geology*, 65, 31-45.

- Dreesen, R., and Duser, M., 2004. Historical building stones in the province of Limburg (NE Belgium): role of petrography in provenance and durability assessment. *Materials Characterization*, 53, 273-287.

- Franklin, J.A. and Chandra, R., 1972. The slake-durability test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 9, 325-328.

-Gamble, J. C., 1971. Durability-plasticity classification of shale and other argillaceous rocks. Ph.D Theses, University of Illinois.

- Gökceoğlu, C., Ulusay, R., and Sönmez, H., 2000. Factors affecting the durability of selected weak and clay-bearing rocks from Turkey, with particular emphasis on the influence of the number of drying and wetting cycles. *Engineering Geology*, 57, 215-237.

- Gupta, V., and Ahmed, I., 2007. Effect of pH of water and mineralogical properties on the slake durability (degradability) of different rocks from the Lesser Himalaya,

India. *Engineering Geology*, 95, 79-87.

- I.S.R.M. 1981. Rock characterization, Testing and monitoring. In: Brown ET, editor., *ISRM suggested methods*. Oxford: Pergamon Press, 211.

- Koncagül, E., and Santi, P., 1999. Predicting the unconfined compressive strength of the Brethitt shale using slake durability, Shore hardness and rock structural properties. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 36, 139-153.

- Sousa, L., Suárez del Río, L., Calleja, L., Ruiz de Aragondoña, V., and Rodríguez Rey, A., 2004. Influence of microfractures and porosity on the physico-mechanical properties and weathering of ornamental granites. *Engineering Geology*, 77, 153-168.

-Ulusay, R., Arıkan, F., Yoleri, M.F. and Caglayan, D., 1995. Engineering geological characterization of coal mine waste material and evaluation in the context of back analysis of spoil pile instabilities in a strip mine SW Turkey. *Engineering Geology* 40, 77-101.

- Ulusay, R., Gokceoglu, C., and Sulukcu, S., 2001. Draft ISRM suggested method for determining block punch strength index (BPI). *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 38, 1113-1119.

Archive