



## بررسی تاثیر شاخص دوام بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی سنگهای آهکی (مطالعه موردی سازند مزدوران)

مریم عباسی<sup>۱</sup>، غلامرضا لشکری پور<sup>۲</sup>، محمد خانه باد<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، Mary abbasi2013@gmail.com

<sup>۲</sup>استاد گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد، lashkaripour@um.ac.ir

<sup>۳</sup>استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد، mkhanehbad@ferdowsi.um.ac.ir

### چکیده

دوام از جمله ویژگی‌های اساسی سنگها است و تقریباً در همه پروژه‌های ژئوتکنیکی که مربوط به سنگهاست، اهمیت فراوانی دارد. دوام سنگ ارزیابی و سنجش مقاومت سنگ در برابر هوازدگی، حفظ شکل، اندازه و وضعیت ظاهری اولیه در مدت زمانی طولانی و در شرایط محیطی حاکم بر سنگ است. هوازدگی سبب ایجادیک تغییر سریع در اجزاء تشکیل دهنده سنگ و تبدیل آنها به موادی با خواص بسیار متفاوت با خواص اولیه‌شان می‌گردد. به عبارتی هوازدگی به میزان زیادی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به همین جهت بررسی خصوصیات هوازدگی و ارزیابی دوام پذیری مصالح سنگی از دیدگاه مهندسی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. نتایج به دست آمده از تحلیل رگرسیون نشان می‌دهد که چرخه دوم آزمایش دوام، نشان دهنده دوام واقعی نیست و برای ارزیابی دقیق‌تر دوام سنگها، ضروری است آزمایش با چرخه‌های بیشتری انجام شود. به همین منظور در این تحقیق، آزمایش دوام را تا ده سیکل ادامه داده‌ایم. در این راستا از ۸ نمونه سنگ آهک سازند مزدوران استفاده شده است. پس از بررسی خصوصیات فیزیکی شامل دانسیته خشک و اشباع، تخلخل، درصد جذب آب و خصوصیات مکانیکی شامل مقاومت تراکمی تک محوری، بار نقطه‌ای محوری، مقاومت کششی برزیلی، ارتباط بین این پارامترها و شاخص دوام - شکستگی بررسی شده است.

### واژه‌های کلیدی

شاخص دوام، سنگ آهک، خصوصیات فیزیکی، خصوصیات مکانیکی، سازند مزدوران.

### مقدمه

دوام سنگ ارزیابی و سنجش مقاومت سنگ در برابر هوازدگی، حفظ شکل، اندازه و وضعیت ظاهری اولیه در مدت زمانی طولانی و در شرایط محیطی حاکم بر سنگ است [۱]. شاخص دوام نه تنها ویژگی مهمی در ارزیابی کنترل کردن پایداری شیب‌ها و کنترل کردن حفاری‌های زیرزمینی به شمار می‌آید بلکه در طراحی سازه‌های سنگی، ساختمان‌ها و بناهای تاریخی نیز نقش مهمی دارد [۲]. دوام از جمله ویژگی‌های اساسی سنگها است و تقریباً در همه پروژه‌های ژئوتکنیکی که مربوط به سنگها است، اهمیت فراوانی دارد. از آنجا که عوامل هوازدگی سنگها در طبیعت بسیار زیاد و متغیر است، با هیچ آزمایشی نمیتوان روند زوال سنگها در شرایط طبیعی را به طور دقیق پیش‌بینی کرد. با وجود این، آزمایش‌هایی مانند شاخص دوام وارفنگی، ارزش ضربه‌ای، سایش لس‌آنجلس، تر و خشک شدن متناوب، سلامت سنگ و انجماد و آب شدن برای تعیین این خصوصیت سنگها، پیشنهاد شده و استفاده می‌شود [۳]، که هر یک از آنها تنها بخشی از فرآیند هوازدگی را شبیه‌سازی کرده و آزمایش می‌شوند. از معروفترین و مهمترین این آزمایش‌ها، دوام سنگ در برابر چرخه‌های مختلف سایش و تر و خشک شدن است که به «دوام وارفنگی» معروف است.

ترکیب کانی‌شناختی، بافت (اندازه، شکل و نحوه قرارگیری کانی‌ها در یک سنگ) صفحات ضعف، شکستگی‌های داخل سنگ، درجه‌ی آلتراسیون کانی‌ها، اندازه‌ی دانه، شکل دانه، دانسیته‌ی فشرده‌ی سنگ، درجه‌ی درهم شدگی، نوع کنتاکت‌ها و میزان و نوع سیمان یا خمیره (در صورت موجود بودن) و سایر ویژگی‌های فیزیکی به طور

داده شد. سعی شد نمونه هایی برداشت شود که حتی المقدور تازه و فاقد هوازدگی باشند.

جدول ۱: موقعیت ایستگاهها

ایستگاه	موقعیت ایستگاه (UTM)	ارتفاع از سطح دریا (m)
۱	36.15 – 60.55	950
۲	36.15 – 60.54	968
۳	36.16 – 60.55	919

### مطالعات آزمایشگاهی

#### بررسی های سنگ شناسی

بررسی های سنگ شناسی نه تنها اطلاعاتی در مورد ترکیب کانی شناسی و منشا سنگ به دست می دهند، بلکه در ارزیابی دوام سنگها در برابر عوامل هوازدگی شیمیایی و فیزیکی نیز ابزاری مهم به شمار می آیند. [۹] دوام سنگ در برابر عوامل هوازدگی شیمیایی و فیزیکی، سایش و تر و خشک شدن به مقدار زیادی به ترکیب کانی شناسی بستگی دارد. سنگها به دلیل داشتن کانی های تشکیل دهنده متفاوت، دوام متفاوتی در برابر این عوامل از خود نشان می دهند. در این تحقیق با تهیه مقطع نازک از نمونه ها، ترکیب کانی شناسی آنها در زیر میکروسکوپ پلاریزان بررسی شده که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: ترکیب کانی شناسی نمونه ها

نام سنگ	رده	ترکیب کانی شناسی	درصد کربنات کلسیم
دولستون	رسوبی	دانه های کلسیت، دولومیت	73
مادستون	رسوبی	کلسیت، گل کلسیتی، دانه های دولومیت	83
دولستون	رسوبی	دانه های کلسیت، دولومیت	78
مادستون	رسوبی	کلسیت، گل کلسیتی، دانه های دولومیت	86
مادستون	رسوبی	کلسیت، گل کلسیتی، دانه های دولومیت	80
دولستون	رسوبی	دانه های کلسیت، دولومیت	76
مادستون	رسوبی	کلسیت، گل کلسیتی، دانه های دولومیت	79
پکستون	رسوبی	دانه های اسکلتی و غیر- اسکلتی، کلسیت، گل کلسیتی	77

#### بررسی ویژگی های فیزیکی

برای تعیین ویژگی های فیزیکی نمونه ها از روش های استاندارد ISRM استفاده شده است. نتایج حاصل از این آزمایش ها در جدول ۳ ارائه شده است.

عمده در ارتباط با دوام هستند، این عوامل همچنین روی ویژگی های مکانیکی سنگها تأثیرگذار می باشند [۴،۵،۶].

در واقع دوام، تعادلی بین مقاومت ذاتی مصالح و پیشروی نیروهای تأثیر گذار در طول زمان سرویس دهی است [۷]. یکی از راه های بررسی تأثیر این ویژگی ها بر روی دوام سنگ، آزمایش های تعیین خواص فیزیکی است. چرا که خواص فیزیکی، یعنی دانسیته و وزن مخصوص، جذب آب و تخلخل سنگ، خود تابعی از ویژگی های ذاتی سنگ است. هرچه سنگ خواص فیزیکی بهتری داشته باشد، دوام داری آن نیز افزایش می یابد. وزن مخصوص پایین می تواند نشانگر درز و شکاف و تخلخل بیشتر و هوازدگی شدیدتر باشد. همچنین تخلخل و جذب آب بیشتر، باعث تشدید عملکرد عوامل هوازدگی می شود، در مقابل هرچه مقدار شاخص دوام بیشتر باشد، میزان فرسایش، انحلال و خورد شدن سنگ در برابر هوازدگی کمتر است. شاخص دوام - شکستگی با نسبت تخلخل و نفوذپذیری سنگ، طبیعت سیال مورد استفاده در آزمایش، مقاومت سنگ در برابر تورم، قطعه قطعه شدن، شکل قطعات سنگی مورد استفاده، ویژگی دستگاه آزمایش، شرایط نگهداری و انبار نمونه ها و تعداد سیکل های تر و خشک شدن مرتبط می باشد. هر چند که این آزمایش به منظور بررسی استعداد سنگهای سست و دارای رس به هوازدگی شدن ابداع و معرفی شده است، اما مطالعات برخی از محققان نشان دهنده آن است که این شاخص برای ارزیابی هوازدگی و حتی پاره ای از ویژگی های مقاومتی سنگهای سخت و مقاوم نیز مناسب است. از مزایای قابل توجه این آزمایش می توان عدم نیاز به نمونه گیری (مشابه آنچه در آزمایشهای تراکمی تک محوره نیاز است) و هزینه بسیار پایین آزمایش در مقایسه با دیگر آزمایش ها را نام برد. نیاز به زمان بیش از ۱۶ ساعت برای خشک شدن نمونه ها و در نتیجه افزایش دوره زمانی انجام آزمایش از معایب بزرگ این آزمایش می باشد. [۸]

#### منطقه نمونه برداری

برش مطالعه شده سازند مزدوران در استان خراسان رضوی و در جنوب شرق شهر مشهد در سلسله ارتفاعات کپه داغ واقع شده است. سازند مزدوران بین مختصات جغرافیایی "۵۰'۵۰" ۳۶° عرض شمالی و "۳۳'۰۴" ۶۰° طول شرقی و "۳۵'۰۹" ۳۶° عرض شمالی و "۳۲'۵۰" ۶۰° طول شرقی قرار گرفته است.

دسترسی به سازند مزدوران از طریق مسیر اصلی جاده آسفالتی مشهد- سرخس با روند شمال شرقی- جنوب غربی، در کیلومتر ۷۴ جاده، در گردنه مزدوران امکان پذیر است. جاده آسفالتی مشهد- صالح آباد با روند شرقی- غربی و نیز جاده مشهد کلات با روند شمالی - جنوبی یکی از راه های ارتباطی مهم دسترسی به این سازند محسوب می گردند.

در این پژوهش از سه ایستگاه مختلف نمونه برداری انجام شده است که موقعیت ایستگاهها در جدول ۱ آورده شده است. مجموعاً ۸ بلوک سنگی از سه ایستگاه برداشت گردید و به آزمایشگاه زمین شناسی مهندسی گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد انتقال

جدول ۳: نتایج آزمایشات فیزیکی نمونه‌ها

Rock code	$P_{sat}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$P_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\omega$ (%)	n (%)
M.1	2.708	2.666	1.572	4.192
M.2	2.717	2.706	0.381	1.032
M.3	2.681	2.653	1.049	2.783
M.4	2.672	2.660	0.460	1.224
M.5	2.720	2.707	0.476	1.288
M.6	2.746	2.725	0.762	2.076
M.7	2.704	2.690	0.522	1.405
M.8	2.672	2.660	0.474	1.261

براساس رده‌بندی [۱۰] برای چگالی و تخلخل، تمام نمونه‌ها در رده با چگالی بالا (۲/۷۵ - ۲/۵۵) و تخلخل خیلی پایین (کمتر از ۱٪) و پایین (۱-۵٪) قرار گرفته‌اند.

### بررسی ویژگی‌های مکانیکی

برای تعیین ویژگی‌های مکانیکی نیز مطابق با استانداردهای ISRM عمل نموده‌ایم. نتایج حاصل از این آزمایشات در جدول ۴ قابل مشاهده است. لازم به ذکر است که کلیه آزمایشات در شرایط، رطوبت طبیعی سنگ انجام شده است.

جدول ۴: نتایج آزمایشات مکانیکی نمونه‌ها

Rock code	$V_p$ (m/s)	$\tau$ (Mpa)	$\sigma_c$ (Mpa)	$I_s$ (Mpa)
M.1	4205/196	5/954	52/713	4/003
M.2	6071/659	5/925	33/428	1/867
M.3	5723/068	5/853	52/713	2/546
M.4	5853/898	4/132	38/142	2/648
M.5	6464/282	9/209	45/427	4/648
M.6	6363/060	7/294	54/856	4/843
M.7	6173/184	6/241	54/427	3/973
M.8	5985/892	5/491	48/460	3/675

بر اساس رده‌بندی [۱۰] بیشتر نمونه‌ها در رده سنگهای با سرعت خیلی بالا (بیش از 5000m/s) و دیگر نمونه‌ها در رده سنگهای با سرعت بالا (4000-5000 m/s) قرار می‌گیرند.

### آزمایش شاخص دوام

برای انجام آزمایش شاخص دوام - شکستگی، تعداد ۱۰ نمونه سنگ به وزن ۴۰ تا ۶۰ گرم نیاز است. نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در داخل سبد دستگاه با سرعت ثابت ۲۰ دور در دقیقه و در داخل آب می‌چرخد. اغلب تحقیقات انجام شده، مطابق استاندارد بر پایه سیکل دوم آزمایشات دوام - شکستگی استوار می‌باشد. در عمل توده‌های سنگی در معرض تعداد سیکل‌های تر و خشک شدن متناوب قرار داشته و حتی این موضوع برای مخازن طرح‌های تلمبه-ذخیره‌ای بسیار مشخص و بارزتر است. به گونه‌ای که سنگ در یک بازه زمانی کوتاه در معرض چندین سیکل تر و خشک شدن قرار می‌گیرد. با افزایش تعداد سیکل، شاخص دوام - شکستگی کاهش می‌یابد، این کاهش برای نمونه‌های دارای رس بسیار محسوس‌تر است.

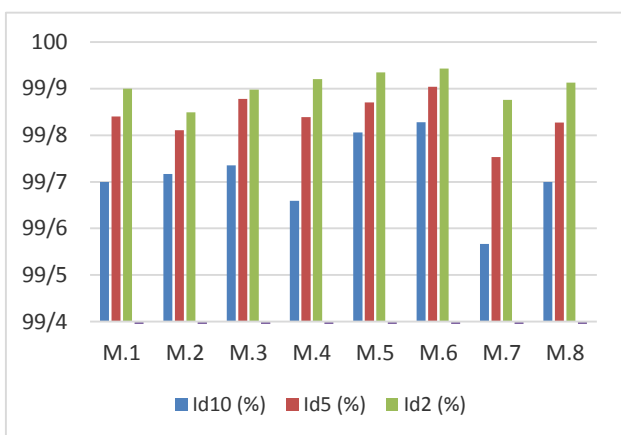
مدت زمان قرار گرفتن در معرض آب نیز از جمله مواردی است که با شرایط واقعی مطابقت زیادی ندارد. در این تحقیق برای افزایش دقت کار آزمایش تا ده سیکل تکرار شده است و نتایج حاصل در جدول ۵ و شکل ۱ ارائه گردیده است. لازم به ذکر است که در بررسی‌ها از نتایج میانگین تغییرات نمونه‌ها طی ده سیکل استفاده کرده‌ایم.

همان گونه که مشاهده می‌شود با افزایش سیکل‌ها، شاخص دوام نمونه‌ها به دلیل تاثیر فرایند سایش و تر و خشک شدن کاهش می‌یابد. این موضوع، علاوه بر لزوم داشتن دقت بسیار بالا در انجام آزمایشات دوام - شکستگی بر روی نمونه‌های مقاوم، لزوم انجام بیش از دو سیکل آزمایش در این دسته سنگها را مشخص می‌نماید.

همان گونه که مشاهده می‌شود نمونه‌ها دارای شاخص دوام تقریباً مشابهی هستند. این موضوع نشان می‌دهد هر چند ترکیب کانی شناسی این سنگها با یکدیگر متفاوت است، ولی سایر عوامل سنگ شناسی مانند بافت (اندازه، شکل و نحوه قرارگیری کانیها در یک سنگ) و یا ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی در میزان دوام نمونه‌ها تاثیرگذار است که باعث شده دوام نمونه‌ها تقریباً مشابه باشد. بررسی شاخص دوام نمونه‌هایی از سنگهای کربناتی نشان داده است که سنگ آهک‌های دانه‌ریز شاخص دوام کمتری نسبت به سنگ آهک-های دانه درشت دارند [۵].

جدول ۵: نتایج آزمایش دوام

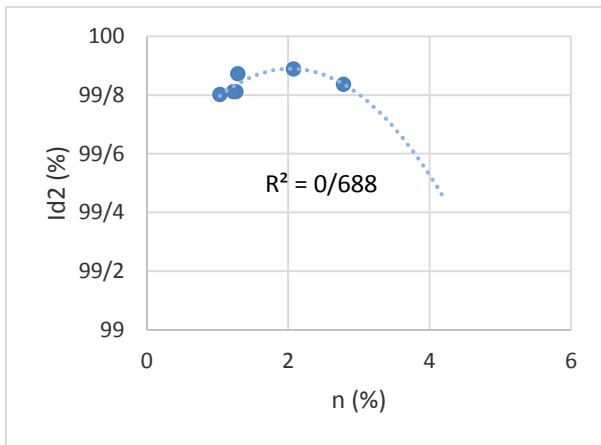
Rock code	$Id_2$ (%)	$Id_5$ (%)	$Id_{10}$ (%)
M.1	99/90	99/840	99/70
M.2	99/849	99/811	99/717
M.3	99/898	99/878	99/735
M.4	99/920	99/839	99/659
M.5	99/935	99/870	99/806
M.6	99/943	99/904	99/828
M.7	99/876	99/753	99/567
M.8	99/913	99/827	99/70



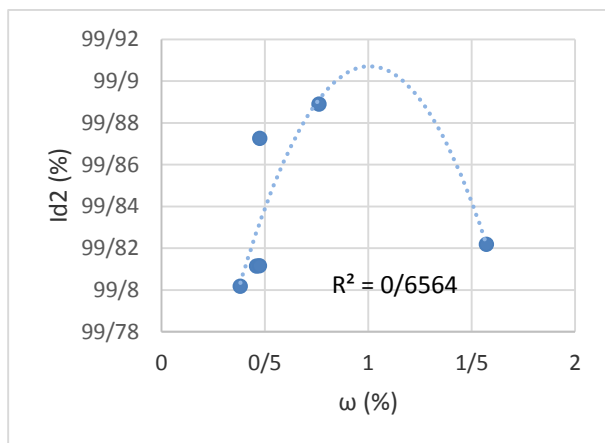
شکل ۱: نمودار شاخص دوام نمونه‌ها در سیکل‌های ۲، ۵، ۱۰

### ارزیابی و نتایج

#### ارتباط شاخص دوام و ویژگی‌های فیزیکی



شکل ۴: ارتباط شاخص دوام و تخلخل



شکل ۵: ارتباط شاخص دوام و درصد جذب آب

### ارتباط شاخص دوام و ویژگی‌های مکانیکی

آزمایش دوام نسبت به آزمایشات مکانیکی دیگر مانند مقاومت تراکمی تک محوری، بارنقطه‌ای محوری، مقاومت کششی برزلی نیاز به صرف زمان بیشتری دارد، اما با این وجود هزینه کمتری در بر دارد و انجام دادن آن راحت تر است. بنابر دلایل ذکر شده، در این تحقیق به بررسی ارتباط بین شاخص دوام و ویژگی‌های مکانیکی نیز پرداخته‌ایم.

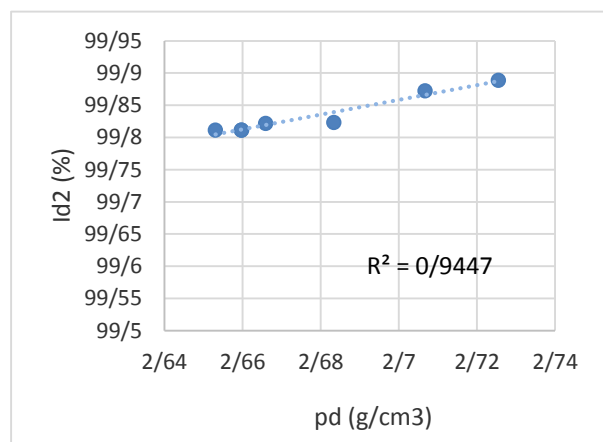
با افزایش تعداد چرخه‌های تر و خشک شدن آزمایش شاخص دوام، ضریب همبستگی آن با ویژگی‌های مکانیکی افزایش می‌یابد. این امر نشان می‌دهد که در چرخه‌های اولیه به دلیل ناهموار و گوشه‌دار بودن نمونه‌ها، افت وزنی که در طی انجام آزمایش صورت می‌گیرد، نشانگر دوام واقعی نمونه نیست و با افزایش تعداد چرخه‌ها به دلیل از 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.

نتایج این بررسی‌ها در جدول ۷ و اشکال ۶ تا ۹ قابل مشاهده است. بالاترین ضریب تعیین مربوط به رابطه شاخص دوام و مقاومت تراکمی تک محوری با مقدار ۰/۸۲ و کمترین ضریب تعیین مربوط به ارتباط بین شاخص دوام و سرعت موج طولی با مقدار ۰/۷۰ می‌باشد. پایین بودن ضریب همبستگی بین شاخص دوام و سرعت موج

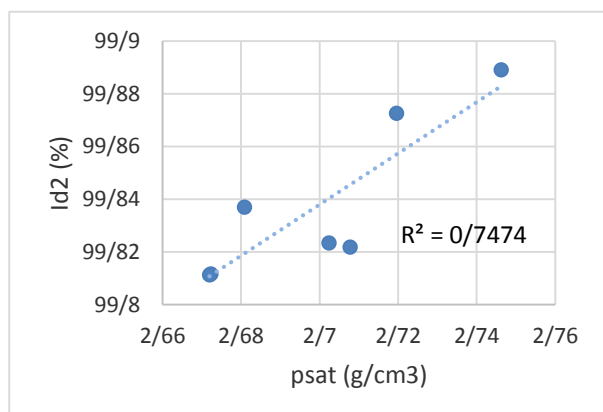
همان طور که پیش از این اشاره شد، تعداد سیکل‌ها تاثیر مستقیمی بر شاخص دوام سنگها دارد. در سنگهای مقاوم برای نزدیک بودن نتایج به شرایط واقعی، ناچاریم آزمایش را تا سیکل‌های بالاتر مانند ۱۰ و ۱۵ ادامه دهیم. اما از آنجا که انجام ۱۵ سیکل آزمایش برای نمونه‌های مختلف، زمان بر و در بسیاری از مواقع، با توجه به نتایج حاصله، غیر ضروری است، می‌توان فاکتورهای دیگری را به صورت موازی با آزمایش شاخص دوام - وارفتگی بررسی کرد. از جمله این فاکتورها، ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌ها، به ویژه وزن مخصوص و جذب آب است. نتایج این بررسی‌ها در جدول ۶ و اشکال ۲ تا ۵ قابل مشاهده است. بالاترین ضریب تعیین مربوط به رابطه شاخص دوام و وزن مخصوص خشک با مقدار ۰/۹۴ و کمترین ضریب تعیین مربوط به ارتباط بین شاخص دوام و تخلخل با مقدار ۰/۶۶ می‌باشد.

جدول ۶: ارتباط شاخص دوام و ویژگی‌های فیزیکی

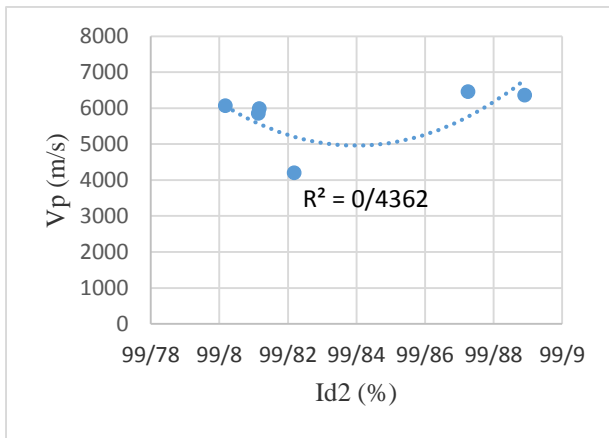
رابطه شاخص دوام و دانسیته خشک	$Id = 1/1449 Pd + 96/767$ ( $R^2 = 0/94$ )
رابطه شاخص دوام و دانسیته اشباع	$Id = 0/9701 Psat + 97/219$ ( $R^2 = 0/75$ )
رابطه شاخص دوام و تخلخل	$Id = -0/2661 \omega^2 + 0/5353 \omega + 99/638$ ( $R^2 = 0/66$ )
رابطه شاخص دوام و درصد جذب آب	$Id = -0/0934 n^2 + 0/3796 n + 99/504$ ( $R^2 = 0/69$ )



شکل ۲: ارتباط شاخص دوام و دانسیته خشک



شکل ۳: ارتباط شاخص دوام و دانسیته اشباع



شکل ۹: ارتباط شاخص دوام و سرعت موج طولی

### نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

بررسی‌های متعدد صورت گرفته توسط محققین و این تحقیق، نشان می‌دهند که افزایش سیکل‌های تر و خشک شدن باعث افزایش دقت نتایج به دست آمده می‌گردد.

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 دست آمده از آزمایش‌های مختلف، روابط تجربی بین شاخص دوام و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی ارائه شد.

نتایج این تحقیق نمایان‌گر این نکته است که، بین شاخص دوام - شکستگی و خصوصیات فیزیکی روابط خوبی برقرار شده است ولی ضرایب همبستگی بسیار بالایی مشاهده نشده است. از بین خصوصیات فیزیکی ضریب همبستگی برای وزن مخصوص خشک با مقدار ۰/۹۴ بالاترین مقدار و پس از آن به ترتیب وزن مخصوص اشباع، تخلخل و درصد جذب آب بالاترین مقادیر را به خود اختصاص داده‌اند که مقادیر آنها به ترتیب ۰/۷۵ و ۰/۶۹ و ۰/۶۶ بوده است.

ضرایب همبستگی روابط بین شاخص دوام - شکستگی و خصوصیات مکانیکی، به استثنا سرعت موج طولی، بسیار بهتر از روابط بین خصوصیات فیزیکی و شاخص بوده است. به صورتی که ضریب همبستگی مقاومت تراکمی تک محوری با مقدار ۰/۸۳ بالاترین مقدار را به خود اختصاص داده است و پس از آن به ترتیب مقاومت کششی برزیلی و بار نقطه‌ای با مقادیر ۰/۷۳ و ۰/۷۲ بالاترین جایگاه را دارند. پایین بودن ضریب همبستگی بین شاخص دوام و سرعت موج طولی، به دلیل متفاوت بودن پارامترهای تاثیرگذار روی آنها می‌باشد به گونه‌ای که شاخص دوام بیشتر تحت تاثیر کانی شناسی و بافت قرار می‌گیرد، در صورتی که سرعت موج طولی به ویژگی‌های الاستیک سنگ بستگی بیشتری دارد. بنابر دلایل ذکر شده سرعت موج طولی ضریب همبستگی ۰/۷۰ که کمترین ضریب در بین خصوصیات مکانیکی است، را به خود اختصاص داده است.

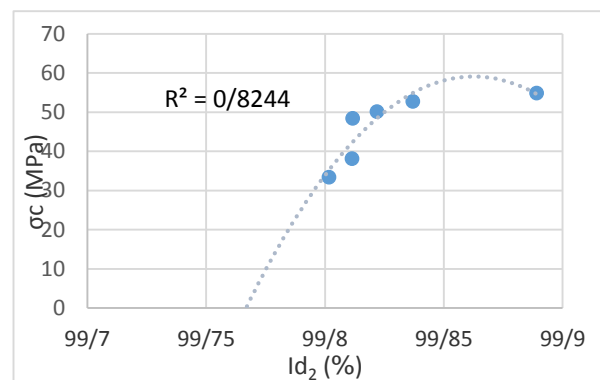
### فهرست علائم

Id شاخص دوام، %

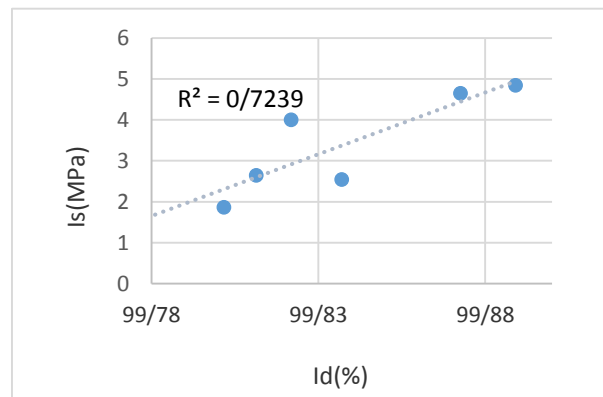
طولی به دلیل متفاوت بودن پارامترهای تاثیرگذار روی آنها می‌باشد، به گونه‌ای که شاخص دوام بیشتر تحت تاثیر کانی شناسی و بافت قرار می‌گیرد، در صورتی که سرعت موج به ویژگی‌های الاستیک سنگ بستگی زیادی دارد.

جدول ۷: ارتباط شاخص دوام و ویژگی‌های مکانیکی

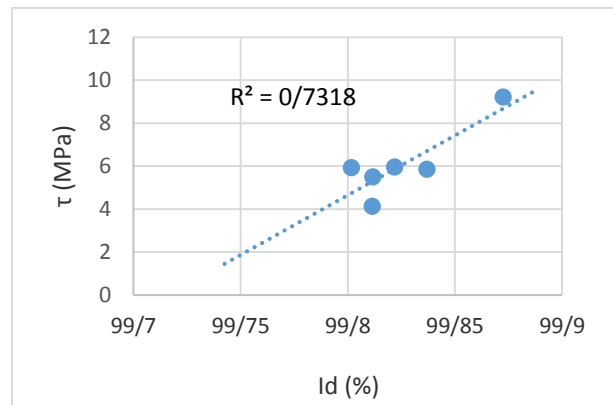
رابطه شاخص دوام و مقاومت تراکمی تک محوری	$\sigma_c = -6428/9 Id_2 + 1E+06 Id - 6E+07 (R^2 = 0/82)$
رابطه شاخص دوام و بار نقطه‌ای محوری	$Is = 30/158 Id - 3007/6 (R^2 = 0/72)$
رابطه شاخص دوام و مقاومت کششی برزیلی	$\tau = 55/622 Id - 5546/5 (R^2 = 0/73)$
رابطه شاخص دوام و شاخص سرعت موج طولی	$Vp = 179585 Id_2 - 4E+07 Id + 2E+09 (R^2 = 0/70)$



شکل ۶: ارتباط شاخص دوام و مقاومت تراکمی تک محوری



شکل ۷: ارتباط شاخص دوام و بار نقطه‌ای محوری



شکل ۸: ارتباط شاخص دوام و مقاومت کششی برزیلی

ornamental granites. Engineering Geology, 77(2004): 153-168.

[5] 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(2007): 79-87.

[۶] امانیان، م.، حافظی مقدس، ن.، نیکودل، م.، شریفی تشنیزی، ا.، مهدی‌زاده شهری، ح. ارزیابی خصوصیات مقاومتی و دوام داری سنگ های آذرین بر اساس اندازه ی دانه ها، مطالعه ی موردی موج شکن شهید رجایی، ۱۳۸۷.

[7] Latham, J.P., Lienhart, D. and Dupray, S. Rock quality, durability and service life prediction of armourstone, Engineering geology, 87(2006): 122-140.

[8] Franklin, J.A. and Chandra, R. The slake-Durability test. International Journal of Mechanics and Mining Science, 9(1972): 325-341.

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

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

Is شاخص بار نقطه‌ای، Mpa

n تخلخل، %

Vp سرعت موج طولی، m/s

علائم یونانی

$\rho_d$  چگالی خشک، gr/cm<sup>3</sup>

$\rho_{sat}$  چگالی اشباع، gr/cm<sup>3</sup>

$\omega$  درصد جذب آب، %

$\tau$  مقاومت کششی، Mpa

$\sigma_c$  مقاومت فشاری تک محوری، Mpa

## مراجع

- [1] Bell F. G. Durability of carbonate rock as building stone with comments on its preservation, Environmental Geology, Vol. 21 (1993): 187-200.
- [2] Dhakal G., Yoneda T., Kato M., Kaneko K. Slake durability and mineralogical properties of some pyroclastic and sedimentary rocks, Engineering Geology, Vol. 65 (2002): 31-45.
- [3] Fookes P. G., Gourdy C. S., Ohikere C. Rock weathering in engineering time, Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, Vol. 21 (1998): 33-57.
- [4] Sousa, L., Suárez del Río, L., Calleja, L., Ruiz de Aragondoña, V., and Rodríguez Rey, A. Influence of microfractures and porosity on the physico-mechanical properties and weathering of