معرفی دستگاه دوام بزرگ مقیاس و کارایی آن برای ارزیابی دوام سنگ‌های سخت

محمدرضا نیکودل، حبیب‌اله بهرام‌خانی، ماشاله خامه‌چیان، امین جمشیدی؛ دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ: دریافت ۹۱/۸/۲۸ **پذیرش** ۹۲/٤/۱۸

چکیده

از مهم‌ترین مسائل مرتبط در طراحی و اجرای سازه‌های مهندسی، ارزیابی و بررسی دوام آن‌ها در مقابل فرآیند سایش و تر و خشک شدن‌های متوالی است. با توجه به این که دوام عبارت است از مقاومت سنگ در برابر هوازدگی فیزیکی و شیمیایی، حفظ شکل، اندازه و وضیعت ظاهری اولیه در زمانی طولانی و در شرایط محیطی حاکم بر سنگ، ارزیابی و بررسی آن دارای اهمیت زیادی است. از آن‌جا که دستگاه آزمایش دوام استاندارد برای ارزیابی و بررسی دوام سنگ‌های آرژیلیتی و نرم طراحی شده است، ضروری است دستگاه دوامی طراحی شود که بتواند برای ارزیابی دوام سنگ‌های سخت کارایی لازم را داشته باشد. بدین‌منظور، با تلاش محققان گروه زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس تهران، دستگاه دوامی به‌نام "دستگاه دوام بزرگ مقیاس" طراحی و ساخته شد. طول و قطر این دستگاه به‌ترتیب ٦ و ٤/٣ برابر دستگاه دوام استاندارد طراحی شده فرانکلین و چاندر (۱۹۷۲) [۱] است. برای انجام آزمایش به ده نمونه با وزن ٤۰۰ تا ٦۰۰ گرم نیاز است. برای بررسی کارایی این دستگاه در ارزیابی دوام سنگ‌های سخت، ۱۷ نمونه سنگ با منشأ آذرین، رسوبی، دگرگونی و آذر آواری تهیه و ویژگی‌های کانی‌شناسی، فیزیکی و مکانیکی آن‌ها بررسی شد. در ادامه آزمایش‌های دوام استاندارد و بزرگ مقیاس تا ۱۵ چرخه انجام و داده‌های به‌دست آمده تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان می‌دهد دستگاه دوام بزرگ مقیاس کارایی بیش‌تر و مناسب‌تری نسبت به دستگاه دوام استاندارد در ارزیابی دوام سنگ‌های سخت دارد.

واژه‌های کلیدی: دوام، دوام بزرگ مقیاس، دوام استاندارد، سنگ‌های سخت

*نویسنده مسئول nikudelm@modares.ac.ir

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.2.7.5]

مقدمه

دوام سنگ ارزیابی و سنجش مقاومت سنگ در برابر هوازدگی، حفظ شکل، اندازه و وضیعت ظاهری اولیه در مدت زمانی طولانی و در شرایط محیطی حاکم بر سنگ است [۲]. شاخص دوام نه تنها ویژگی مهمی در ارزیابی کنترل کردن پایداری شیب‌ها و کنترل کردن حفاری‌های زیرزمینی به‌شمار می‌آید بلکه در طراحی سازه‌های سنگی، ساختمان‌ها و بناهای تاریخی نیز نقش مهمی دارد [۳]. دوام از جمله ویژگی‌های اساسی سنگ‌ها است و تقریباً در همهٔ پروژه‌های ژئوتکنیکی که مربوط به سنگ‌هاست، 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 به‌طور دقیق پیش‌بینی کرد. با وجود این، آزمایش‌هایی مانند شاخص دوام وارفتگی، 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 [٤]، 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 وارفتگی» معروف است.

مقدار شاخص دوام یک سنگ، به عوامل متعددی بستگی دارد و از آن‌ها تأثیر می‌پذیرد. این عوامل را بسته به ماهیت آن‌ها می‌توان در دو گروه کلی جای داد. گروه اول عوامل مرتبط با ویژگی‌ها و ماهیت سنگ مورد آزمایش است که از آن جمله می‌توان به مواردی نظیر ساخت، بافت، ترکیب کانی‌شناسی، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی و . . . اشاره کرد. گروه دوم عوامل مرتبط با شرایط و نحوه آزمایش است که مواردی نظیر دما و ترکیب شیمیایی محلول آزمایش دوام، شکل و میزان گردشدگی نمونه‌های آزمایش شده، کرویت، درجهٔ زبری سطح نمونه‌ها، تعداد چرخه‌های آزمایش و ویژگی‌های دستگاه آزمایش در این گروه جا می‌گیرند.

در تحقیق حاضر ویژگی‌های کانی‌شناسی، نوع دستگاه آزمایش شده و تعداد چرخه‌های آزمایش در ارزیابی دوام سنگ‌ها بررسی شده است. برای این منظور، به‌جای دستگاه دوام استاندارد که صرفاً می‌تواند برای ارزیابی سنگ‌های آرژیلیتی و نرم در برابر سایش و تر و

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.2.7.5]

خشک متوالی به‌کار رود، دستگاه دوام بزرگ مقیاسی معرفی شده که برای ارزیابی دوام سنگ‌های سخت استفاده می‌شود. علاوه براین، نقش ویژگی‌های کانی‌شناسی و تعداد چرخه‌های آزمایش به‌عنوان عواملی تأثیرگذار روی شاخص دوام سنگ‌ها، نیز بررسی شده است.

مواد و روش پژوهش

برای انجام یافتن تحقیق حاضر، ۱۷ قطعه سنگ ساختمانی به ابعاد تقریبی (۳۰×۴۰×۴۰ سانتی‌متر) از کارخانه‌های سنگ‌بری اطراف تهران تهیه شد و از آن‌ها نمونه‌ها و مغزه‌های لازم با قطر NX برای انجام آزمایش‌های پیش‌بینی شده تهیه شد. در ادامه به بررسی‌های سنگ‌شناسی، ویژگی‌های فیزیکی شامل چگالی، تخلخل، جذب آب و ویژگی‌های مکانیکی شامل مقاومت فشاری تک‌محوری و سرعت موج P آن‌ها پرداخته شد. علاوه بر این، آزمایش دوام استاندارد و بزرگ مقیاس تا ۱۵ چرخه در آب شرب تهران با pH= ۷/۳ و دمای ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد انجام شد. در ادامه با توجه به داده‌های به‌دست آمده از آزمایش‌ها، با مقایسهٔ نتایج دوام استاندارد و دوام بزرگ مقیاس به بررسی کارایی دستگاه دوام بزرگ مقیاس و تعیین کاربرد آن برای ارزیابی دوام سنگ‌های سخت می‌پردازیم.

بررسی‌های سنگ‌شناسی

بررسی‌های سنگ‌شناسی 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 به‌شمار می‌آیند [۵]. دوام سنگ در برابر عوامل هوازدگی شیمیایی و فیزیکی، سایش و تر و خشک شدن به‌مقدار زیادی به پارامترهای ذاتی سنگ از جمله ترکیب کانی‌شناسی بستگی دارد. سنگ‌ها به‌دلیل داشتن کانی‌های تشکیل‌دهندهٔ متفاوت، دوام متفاوتی در برابر این عوامل از خود نشان می‌دهند. در این تحقیق با تهیهٔ مقطع نازک از نمونه‌ها، ترکیب کانی‌شناسی آن‌ها در زیر میکروسکوپ پلاریزان بررسی شده که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است.

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.2.7.5]

جدول ۱. نام زمین‌شناسی، رده و ترکیب کانی‌شناسی نمونه‌ها

نام زمین‌شناسی	رده	ترکیب کانی‌شناسی
توف (۱)	آذرآوری	شیشه آتشفشانی- زمینه شیشه آتشفشانی با تبلور مجدد- چرت- میکروفسیل
توف (۲)	آذرآوری	شیشه آتشفشانی- فلدسپار در حال تجزیه به کائولینیت- کوارتز- بیوتیت
گرانیت	آذرین	کوارتز- فلدسپارهای آلکالن (ارتوکلاز)- پلاژیوکلاز- بیوتیت در حال تجزیه به کلریت
کوارتز مونزونیت	آذرین	فلدسپارهای آلکالن- پلاژیوکلاز- کوارتز- آمفیبول سدیم‌دار- بیوتیت- منیتیت-آپاتیت
تراکی آندزیت	آذرین	شیشه آتشفشانی- پلاژیوکلاز- هورنبلند
تراورتن (۱)	رسوبی	زمینه میکرو اسپاریت– کلسیت اسپاری با تبلور مجدد
تراورتن (۲)	رسوبی	کلسیت اسپاری- زمینه میکرواسپاریت ریزدانه با تبلور مجدد
تراورتن (۳)	رسوبی	کلسیت ریزدانه- زمینه میکرایت و میکرو اسپاریت – کوارتز –اکسیدهای آهن
تراورتن (٤)	رسوبی	کلسیت اسپاری- سیمان اسپاریتی با تبلور مجدد– زمینه میکرایت و اسپاریت– اکسیدهای آهن
تراورتن (۵)	رسوبی	آراگونیت– کلسیت اسپاری ریز بلور– اکسیدهای آهن
سنگ آهک (۱)	رسوبی	خرده‌های آلوکم- کلسیت اسپاری و فسیل اسپاراتی شده- زمینه میکرایت و اسپارایت
سنگ آهک (۲)	رسوبی	خرده‌های فسیل اربیتولین– کلسیت اسپاری – زمینه دولومیت
لوماشل (۱)	رسوبی	خرده‌های صدف (بریوزوآ- استراکود)– فسیل‌های پلاژیک- سیمان اسپاراتی و میکراتی
لوماشل (۲)	رسوبی	خرده‌های صدف دو کفه‌ای‌ها- کوارتز- سیمان میکرایتی و اسپارایتی
ماسه سنگ	رسوبی	خرده‌های سنگی- کوارتز- فلدسپار- کانی‌های فلزی- سیمان کلسیتی- ماتریکس رسی
ژیپس	رسوبی	ژیپس– انیدریت
مرمر	دگرگونی	کلسیت اسپاری- مواد آلی هیدروکربوری

ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی

برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌ها (چگالی، تخلخل و جذب آب) و مکانیکی (مقاومت فشاری تک‌محوری و سرعت موج P) از روش استاندارد [٦] استفاده شد. لازم به یادآوری است که بر روی هر یک از نمونه‌ها ۵ آزمایش انجام شد و نتایج ارائه شده در این جدول میانگین مقادیر این آزمایش‌ها هستند. نتایج میانگین مقادیر به‌دست آمده از آزمایش‌های تعیین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نمونه‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.2.7.5]

بر اساس رده‌بندی آنون برای چگالی و تخلخل [۷]، بیش‌تر نمونه‌ها در رده با چگالی زیاد (۲/۷۵–۲/۵۵) و متوسط (۲/۵۵–۲/۲) و تخلخل کم (۵–۱٪) و متوسط (۱۵–۵٪) قرار گرفته‌اند. با توجه به رده‌بندی سنگ‌ها بر اساس مقاومت فشاری تک‌محوری که آنون (۱۹۹۷) انجام داد [۸]، لوماشل (۲) در ردهٔ سنگ‌های با مقاومت کم، سنگ آهک (۱)، لوماشل (۱) و ماسه‌سنگ و تمامی نمونه‌های تراورتن در ردهٔ مقاومت زیاد و سایر نمونه‌ها در ردهٔ مقاومت بسیار بیش‌تر قرار می‌گیرند. با توجه به رده‌بندی سنگ‌ها بر اساس سرعت موج P به‌وسیلهٔ آنون [۷]، لوماشل (۲) در ردهٔ سنگ‌های با سرعت خیلی اندک (کم‌تر از ۲۵۰۰ m/s)، ماسه‌سنگ در ردهٔ سرعت کم (۳۵۰۰m/s–۲۵۰۰)، تراکی آندزیت و لوماشل (۱) در ردهٔ سرعت متوسط (m/s ۴۰۰۰–۳۵۰۰)، سایر نمونه‌ها در ردهٔ سرعت زیاد (m/s ۵۰۰۰–۴۰۰۰) و سرعت خیلی زیاد (بیش از m/s ۵۰۰۰) قرار می‌گیرند.

جدول ۲. نتایج آزمون تعیین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نمونه‌ها

نام زمین‌شناسی	چگالی خشک (g/cm^3)	چگالی اشباع (g/cm^3)	تخلخل مؤثر (٪)	جذب آب (٪)	مقاومت فشاری تک محوری (MPa)	سرعت موج P(m/s)
توف (۱)	۲/۳۳	۲/۴۲	۹/۲۲	۳/۹۶	۱۲۲	۴۲۷۷
توف (۲)	۲/۴۵	۲/۴۹	۴/۲۳	۱/۷۳	۱۴۱	۵۱۳۹
گرانیت	۲/۶۵	۲/۶۶	۰/۷۳	۰/۲۸	۱۲۴	۵۱۴۰
کوارتز مونزونیت	۲/۶۰	۲/۶۲	۱/۳۰	۰/۵۰	۱۰۷	۴۹۱۴
تراکی آندزیت	۲/۴۰	۲/۴۸	۸/۳۳	۳/۴۸	۸۴	۳۸۱۷
تراورتن (۱)	۲/۳۴	۲/۴۴	۱۰/۹۵	۴/۶۹	۲۶	۴۸۴۸
تراورتن (۲)	۲/۱۹	۲/۳۶	۱۷/۶۹	۸/۰۹	۲۴	۴۴۵۲
تراورتن (۳)	۲/۲۲	۲/۳۷	۱۵/۴۳	۶/۹۶	۴۱	۴۵۵۸
تراورتن (۴)	۲/۴۵	۲/۵۲	۶/۸۳	۲/۷۹	۳۷	۴۸۹۸
تراورتن (۵)	۲/۵۵	۲/۵۶	۰/۳۷	۰/۱۵	۵۳	۵۴۰۷
سنگ آهک (۱)	۲/۵۶	۲/۵۸	۲/۱۸	۰/۸۵	۴۲	۵۹۳۳
سنگ آهک(۲)	۲/۶۷	۲/۶۸	۱/۰۰	۰/۳۸	۸۹	۶۰۴۸
لوماشل (۱)	۲/۱۶	۲/۳۴	۱۸/۷۸	۸/۷۱	۱۵	۳۹۸۳
لوماشل (۲)	۱/۷۶	۲/۰۹	۳۳/۲۷	۱۸/۸۸	۴	۲۳۷۹
ماسه سنگ	۲/۲۱	۲/۳۸	۱۷/۲۰	۷/۸۰	۱۷	۳۴۹۰
ژیپس	۲/۲۸	۲/۲۹	۰/۹۰	۰/۳۹	۲۶	۴۲۱۳
مرمر	۲/۶۱	۲/۶۲	۰/۲۰	۰/۰۸	۶۷	۵۵۲۹

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.2.7.5]

آزمایش دوام استاندارد

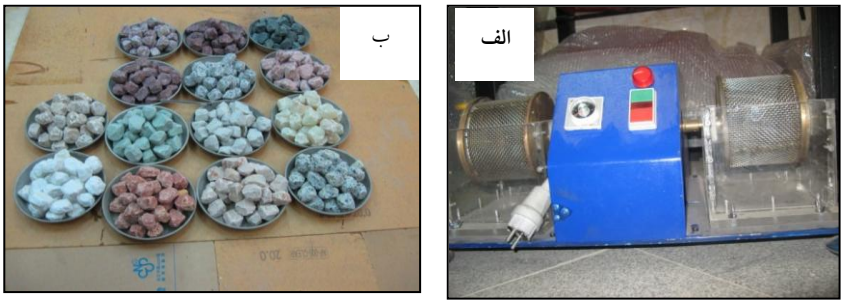
شاخص دوام معیاری بسیار مناسب برای نشان دادن حساسیت سنگ در برابر سایش و تر و خشک شدن متوالی و تأثیرات شیمیایی آب است که روش تعیین آن را فرانکلین و چاندرا ارائه کردند [۱] و در سال ۱۹۷۹ توسط انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ به‌صورت استاندارد درآورد [٦].

برای انجام دادن این آزمایش تعداد ۱۰ نمونه سنگ به‌وزن ٤۰ تا ٦۰ گرم نیاز است. نمونه‌ها به‌مدت ۱۰ دقیقه در داخل سبد دستگاه با سرعت ۲۰ دور در دقیقه و در داخل آب می‌چرخند. با مشخص بودن وزن خشک نمونه‌ها قبل و بعد از هر چرخهٔ آزمایش، شاخص دوام در چرخه Nام از رابطهٔ (۱) به‌دست می‌آید:

$$Id_{(N)}=((C-D)/(A-D))\times ۱۰۰ \qquad (۱)$$

در این رابطه D وزن سبد، C وزن ثانویهٔ خشک و سبد و A وزن اولیهٔ نمونه و سبد است.

جدول ۵ مشخصات و شکل ۱ دستگاه دوام استاندارد استفاده شده در تحقیق حاضر و تعدادی از نمونه‌های تهیه شده را نشان می‌دهد. در آزمایش دوام، ترکیبی از سایش و تر و خشک شدن به‌منظور تسریع کردن فرآیند هوازدگی روی نمونه‌های سنگ اعمال می‌شود [۹]. در این تحقیق، آزمایش دوام بر اساس روش استاندارد .I.S.R.M [٦] تا ۱۵ چرخه انجام شد و شاخص دوام در چرخه‌های ۲، ۵ و ۱۵ محاسبه شد. در جدول ۳ (این جدول به همراه نتایج بزرگ مقیاس ارائه شده است) شاخص دوام در چرخه‌های ۲، ۵ و ۱۵ ارائه شده است. چنان‌که مشاهده می‌شود با افزایش تعداد چرخه‌ها، شاخص دوام نمونه‌ها به‌دلیل فرایند سایش و تر و خشک شدن کاهش پیدا کرده است.



شکل ۱. الف) دستگاه آزمایش دوام استاندارد [٦]، ب) تعدادی از نمونه‌های تهیه شده برای آزمایش

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.2.7.5]

جدول ۳. شاخص دوام نمونه‌ها در چرخه‌های ۲، ۵ و ۱۵

شاخص دوام	$Id_2(\%)$		$Id_5(\%)$		$Id_{15}(\%)$	
نوع دستگاه / نام زمین‌شناسی	دوام استاندارد	دوام بزرگ مقیاس	دوام استاندارد	دوام بزرگ مقیاس	دوام استاندارد	دوام بزرگ مقیاس
توف (۱)	۹۹/۷۰	۹۹/۵٤	۹۹/٤۳	۹۹/۱۳	۹۸/۹۲	۹۸/۲۰
توف (۲)	۹۹/۸٦	۹۹/۷۳	۹۹/۷۹	۹۹/۵۵	۹۹/٦۰	۹۹/۲۸
گرانیت	۹۹/۵۲	۹۹/۳٤	۹۹/۱۹	۹۸/۸۳	۹۸/۵۸	۹۷/۸۲
کوارتز مونزونیت	۹۹/۷٦	۹۹/۷۳	۹۹/٦۰	۹۹/۲۷	۹۹/۲۲	۹۸/٦٤
تراکی آندزیت	۹۹/٤۱	۹۹/۱٦	۹۸/۹٦	۹۸/٤۸	۹۸/۰۸	۹٦/۸۵
تراورتن (۱)	۹۸/۵۹	۹۷/۷۳	۹۷/٤۲	۹۵/۵۵	۹٤/٦۰	۸۹/٦۵
تراورتن (۲)	۹۸/۲۰	۹۷/۷۳	۹٦/۸۷	۹۵/٦۹	۹۳/۹۱	۹۰/۳۰
تراورتن (۳)	۹۸/۳۰	۹۷/۳۱	۹٦/۹۵	۹٤/۹۷	۹۳/۸۰	۸۹/۳۱
تراورتن (٤)	۹۹/۲٤	۹۸/۸٦	۹۸/۵۹	۹۷/۵۵	۹٦/۵۷	۹٤/۲٤
تراورتن (۵)	۹۹/۵۳	۹۹/۵۰	۹۹/۰۸	۹۸/۹۳	۹۷/۸۷	۹۷/۳۳
سنگ آهک (۱)	۹۹/۵۰	۹۹/٤۵	۹۹/۰۳	۹۸/۸۳	۹۷/۷۲	۹۷/۰۷
سنگ آهک (۲)	۹۹/۵۲	۹۸/۹۹	۹۹/۱۱	۹۸/۱۵	۹۸/۲۵	۹٦/۲۱
لوماشل (۱)	۹۷/٤۳	۹٤/۹٤	۹۵/۵٦	۹۱/۱٦	۹۱/۷۰	۸۲/٤۱
لوماشل (۲)	۸۸/۷۵	۸۸/۸٤	۷۹/۹۹	۸۰/۳۸	٦۱/۹۸	٦۲/۰۵
ماسه سنگ	۸۹/۲۱	۹۳/۸٤	۷٤/۳۰	۸۷/۲۰	٤٦/۵۹	٤۲/۸۲
ژیپس	۹۵/٦٤	۹٤/۹۲	۹۱/٦۰	۹۰/۲۷	۸۳/۰۳	۷۸/۸۲
مرمر	۹۹/۳٤	۹۸/۹۱	۹۸/۸۲	۹۷/٦۳	۹٦/۹۲	۹۳/۸۰

رابطهٔ شاخص دوام با ویژگی‌های کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی

ویژگی‌های کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی نقش مهمی در ارزیابی دوام سنگ‌ها در برابر عوامل هوازدگی شیمیایی و فیزیکی دارند [۵]. در این بخش از تحقیق، به بررسی رابطهٔ شاخص دوام با ویژگی‌های کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی نمونه‌ها می‌پردازیم. با توجه به جدول ۱ و ۳ مشاهده می‌شود که سنگ‌هایی با ترکیب سیلکاتی (غنی از کوارتز، فلدسپار، میکا) مانند گرانیت ۱ و تراکی آندزیت نسبت به نمونه‌های با ترکیب غیرسیلیکاتی(غنی از کلسیت، دولومیت، میکریت) مانند سنگ آهک‌ها دارای شاخص دوام ($Id_{۱۵}$) تقریباً مشابه‌ای هستند. این موضوع نشان می‌دهد هر چند ترکیب کانی‌شناسی این سنگ‌ها با یک‌دیگر متفاوت است، ولی سایر عوامل

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.2.7.5]

سنگ‌شاسی مانند بافت (اندازه، شکل و نحوهٔ قرارگیری کانی‌ها در یک سنگ) و یا ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی در میزان دوام نمونه‌ها تأثیرگذار است که باعث شده دوام نمونه‌ها تقریباً مشابه باشد. هم‌چنین داده‌های جدول ۳ نشان می‌دهد نمونه‌های لوماشل، ماسه‌سنگ و تراورتن‌ها دارای دوام کم‌تری نسبت به سایر نمونه‌ها هستند. در واقع این موضوع به‌دلیل ضعیف‌تر بودن بافت این نمونه‌ها (وجود خلل و فرج زیاد و سست بودن اتصال کانی‌های تشکیل دهنده آن‌ها) و هم‌چنین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی ضعیف‌تر آن‌ها نسبت به سایر نمونه‌ها است. گوکچه اوغلو[1] و همکاران (۲۰۰۰) نیز نشان دادند ترکیب کانی‌شناسی تأثیر به‌سزایی در شاخص دوام سنگ‌هایی مانند ایگنمبریت، ماسه‌سنگ، گل‌سنگ و مارن دارد [۱۰]. هم‌چنین گویتا و احمد (۲۰۷) با بررسی شاخص دوام نمونه‌هایی از سنگ‌های کربناتی نشان دادند که سنگ آهک‌های دانه‌ریز شاخص دوام کم‌تری نسبت به سنگ‌آهک‌های دانه درشت دارند [۱۱].

دستگاه دوام بزرگ مقیاس

ضرورت طراحی دستگاه

دستگاه دوام استاندارد که امروزه به‌طور معمول برای ارزیابی دوام سنگ‌ها استفاده می‌شود، برای سنگ‌های نرم نظیر شیل و دیگر سنگ‌های آرژیلیتی طراحی شده است؛ از این‌رو استفاده از این دستگاه برای تعیین دوام سنگ‌های سخت و غیرآرژیلیتی جای ابهام دارد. هم‌چنین در مواردی که نمونه آزمایش شده دارای ذرات بزرگ‌تر از ۳ میلی‌متر باشد، بر اساس پیشنهاد انجمن جهانی مکانیک سنگ [٦] استفاده از این دستگاه امکان‌پذیر نیست. محدویت دیگر این دستگاه کم بودن وزن نمونه‌های سنگی است که در هر مرحله می‌توان آزمایش کرد. به‌طوری که در هر مرحلهٔ آزمایش وزن نمونه‌ها نباید از ۵۵۰ گرم بیش‌تر باشد. این محدودیت مانند محدودیت قبلی معلول کوچک بودن ابعاد دستگاه آزمایش است. بدیهی است هر چه وزن نمونه و ابعاد دستگاه کوچک باشد میزان خطای آزمایش بیش‌تر خواهد بود. طبقه‌بندی که گمبل (۱۹۷۱) بر اساس نتایج آزمایش‌های دوام استاندارد به‌دست آورد در جدول ٤ ارائه شده است [۱۲]. این طبقه‌بندی برای ارزیابی دوام سنگ‌ها ناکافی و ناقص است که باعث شده تا

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.2.7.5]

تعدادی از محققان با بررسی دوام سنگ‌ها، طبقه‌بندی جدیدی از دوام ارائه دهند که می‌توان به طبقه‌بندی‌های ارائه شدهٔ نیکمن و همکاران (۲۰۰٦) و ارگولر و اولوسای (۲۰۰۹) اشاره کرد [۱۳]، [۱٤].

جدول ٤. طبقه‌بندی سنگ‌ها بر اساس شاخص دوام [۱۲]

نام گروه	شاخص دوام مرحله اول (Id_1 (%)	شاخص دوام مرحله دوم (Id_2 (%) [۱۲]
دوام خیلی زیاد	>۹۹	>۹۸
دوام زیاد	۹۸–۹۹	۹۵–۹۸
دوام متوسط تا زیاد	۹۵–۹۸	۸۵–۹۵
دوام متوسط	۸۵–۹۵	٦۰–۸۵
دوام کم	٦۰–۸۵	۳۰–٦۰
دوام خیلی کم	<٦۰	<۳۰

یکی از نقایصی که از طبقه‌بندی گمبل مشاهده می‌شود کوچک بودن محدودهٔ مربوط به سنگ‌های دوام زیاد است. سه گروه از شش گروه موجود در این طبقه‌بندی در محدودهٔ کوچکی از شاخص دوام قرار می‌گیرند (محدوده بیش‌تر از ۹۵٪ برای دوام یک مرحله‌ای و بیش‌تر از ۸۵٪ برای دوام دو مرحله‌ای). واضح است که هر چه این محدوده‌ها کوچک‌تر باشند احتمال خطا در تعیین طبقه مربوط به سنگ افزایش می‌یابد. این محدودیت‌ها باعث شد نگارندگان این مقاله دستگاه دوام بزرگ مقیاسی را برای ارزیابی دوام سنگ‌های سخت طراحی کنند.

دستگاه حاضر قابلیت چرخش ٤ تا ٤۰ دور در دقیقه (٤–٤۰ rpm)را دارد که انتخاب سرعت چرخش موتور به‌هدف آزمایش و تا حدودی سلیقهٔ علمی فرد استفاده کننده از دستگاه بستگی خواهد داشت. علاوه بر این، با تعبیه تیغه آلومینیومی در داخل توری استوانه‌ای دستگاه، امکان بررسی دوام وارفتگی و مقاومت در برابر ضربه و سایش را به‌صورت توام روی سنگ‌ها خواهیم داشت. اگرچه هم‌اکنون دستگاه دوام استاندارد برای ارزیابی دوام وارفتگی سنگ‌ها و دستگاه لس آنجلس برای ارزیابی مقاومت سنگ‌ها برای ضربه و سایش (فقط در شرایط خشک) موجود هستند، ولی دستگاه طراحی شده در تحقیق حاضر این امکان را فراهم می‌کند تا دو آزمایش یاد شده، با دستگاهی واحد (در هر دو شرایط خشک و مرطوب) صورت

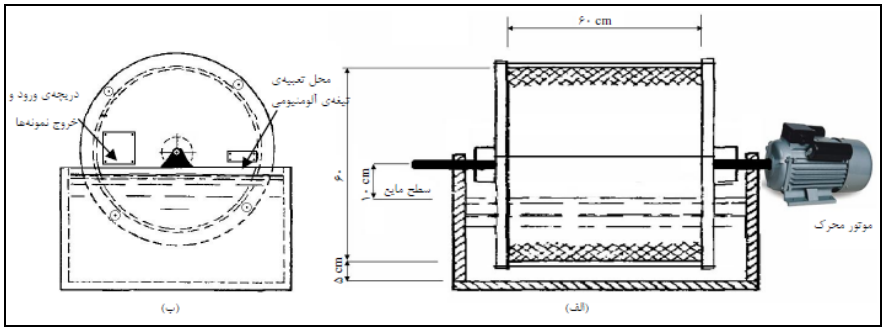
[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.2.7.5]

پذیرد. شرکت رشد علوم زمین مدرس این دستگاه را پس از طراحی ساخته است که در بخش بعدی به مشخصات ابعادی آن اشاره می‌شود.

مشخصات ابعادی دستگاه

دستگاه دوام بزرگ مقیاس که تصویر شماتیک آن در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است و هم‌چنین مشخصات آن در جدول ۵ ارائه شده است، دستگاهی است که با الگو گرفتن از دستگاه دوام استاندارد ولی با اعمال تغییراتی حائز اهمیت، طراحی و ساخته شده است. این دستگاه دارای یک توری استوانه‌ای شکل با قطر و طول یک‌سان (٦۰ سانتی‌متر) است. ابعاد سوراخ‌های این توری معادل قطر الک شماره‌ای ٤ یعنی ٤/۷۵ میلی‌متر است. جنس توری از فولاد ضد زنگ است که در دو انتها به صفحاتی از همان جنس ختم می‌گردد. بر روی هر یک از این صفحه‌ها دریچه‌ای برای ورود و خروج نمونه‌ها به‌داخل توری استوانه‌ای در نظر گرفته شده است که علت تعبیه آن در هر دو سمت، سهولت در ورود و خروج نمونه‌ها است. حوضچه در نظر گرفته شده برای این دستگاه نیز از جنس فولاد ضد زنگ و دارای طول، عرض و ارتفاع به‌ترتیب ۸۰، ٦۵ و ۳۰ سانتی‌متر است که کف آن ۵ سانتی‌متر پایین‌تر از بخش زیرین توری استوانه‌ای قرار دارد.



شکل ۲. تصویر شماتیک دستگاه دوام بزرگ مقیاس الف) نیمرخ محوری ب) نیمرخ قطری

در جدول ۵ و شکل ۳ ج مقایسه‌ای بین دستگاه دوام استاندارد و دوام بزرگ مقیاس طراحی شده ارائه شده است.

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.2.7.5]

جدول ۵. مقایسهٔ بین دستگاه دوام استاندارد و بزرگ مقیاس طراحی شده در این تحقیق

نوع دستگاه / خصوصیات / دستگاه و نمونه	دوام استاندارد	دوام بزرگ مقیاس
(طول×قطر) استوانه مشبک	(۱۰×۱٤) سانتی‌متر	(٦۰×٦۰) سانتی‌متر
(طول×عرض× ارتفاع) حوضچه	(۱۸×۱۵×۱۵) سانتی‌متر	(۸۰×٦۵×۳۰) سانتی‌متر
فاصلهٔ سطح آب تا محور دوران استوانه مشبک	۲ سانتی‌متر	۱۰ سانتی‌متر
فاصلهٔ کف حوضچه تا کف استوانه مشبک	٤ سانتی‌متر	۵ سانتی‌متر
قطر سوراخ‌های استوانه مشبک	۲ میلی‌متر	٤/۷۵ میلی‌متر
سرعت چرخش استوانه مشبک	۲۰ دور در دقیقه	۲۰ دور در دقیقه
مدت زمان یک چرخه آزمایش	۱۰ دقیقه	۱۰ دقیقه
جنس استوانهٔ مشبک	فولاد ضد زنگ	فولاد ضد زنگ
نوع موتور محرک	چرخش با برق خانگی(۲۲۰ ولت)	چرخش با برق خانگی(۲۲۰ ولت)
تعداد نمونه آزمایش	۱۰	۱۰
وزن هر نمونه	٤۰ تا ٦۰ گرم	٤۰۰ تا ٦۰۰ گرم
مجموع وزن نمونه‌ها	٤۵۰ تا ۵۵۰ گرم	٤۵۰۰ تا ۵۵۰۰ گرم

شکل ۳. الف و ب) دستگاه دوام بزرگ مقیاس

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.2.7.5]

شکل ۳. ج) مقایسه دستگاه دوام استاندارد و بزرگ مقیاس، د) نمونه‌های تهیه شده برای دستگاه دوام استاندارد و بزرگ مقیاس

چنان‌که در شکل ۳ الف و ب مشاهده می‌شود، دستگاه دوام روی چهار پایه‌ای فلزی به ارتفاع ۹۰ سانتی‌متر قرار دارد. حوضچه نیز با قرار دادن دو میله‌ای فلزی افقی زیر آن در ارتفاع خاصی نگه داشته می‌شود. این دو میله قابل خارج کردن و در نتیجه حوضچه، قابل جدا شدن از دستگاه است. در زیر حوضچه پیچی تعبیه شده که با باز کردن آن می‌توان آب داخل حوضچه را خارج کرد.

دستگاه دوام بزرگ مقیاس طراحی شده در این تحقیق تا حدودی مشابه دستگاه لس‌آنجلس است که برای تعیین قابلیت سایش سنگ‌ها به کار می‌رود. در آزمایش لس‌آنجلس نمونه‌های سنگی با ابعاد مشخص به‌همراه تعدادی گوی فولادی استاندارد در داخل استوانهٔ فولادی دستگاه آزمایش ریخته می‌شود که تعداد این گوی‌ها با توجه به‌اندازهٔ ذرات تعیین می‌گردد. در سطح داخلی این استوانه، زایده‌ای در راستای محوری وجود دارد که در حین چرخش استوانه، سنگ و گوی‌های فولادی بر روی آن سوار شده و تا ارتفاع خاصی بالا برده می‌شوند، سپس به پایین سقوط می‌کنند. پس از آزمایش لس‌آنجلس نمونه‌ها از دستگاه خارج گردیده و الک می‌شوند و میزان کاهش وزن آن‌ها به‌صورت درصد محاسبه می‌گردد. اگر چه در خرد شدن و کاهش وزن نمونه‌ها با این دستگاه، سایش و ضربه هر دو تأثیر دارند، ولی سهم سایش کم‌تر است و این دستگاه بیش‌تر مقاومت در برابر ضربه را می‌سنجد تا سایش.

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-10-12]

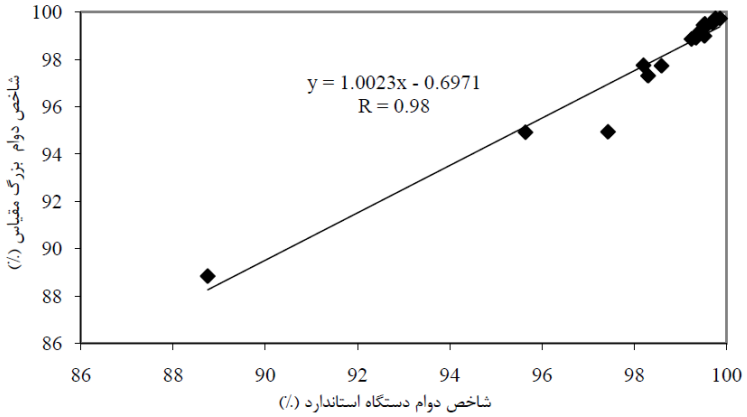
[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.2.7.5]

در این تحقیق، آزمایش دوام بزرگ مقیاس بر اساس روش استاندارد [٦] تا ۱۵ چرخه انجام شد و شاخص دوام در چرخه‌های ۲، ۵ و ۱۵ محاسبه و نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.

کالیبراسیون دستگاه طراحی شده و صحت آزمایش‌ها

به‌منظور کالیبراسیون سرعت چرخش دستگاه (این سرعت بین ٤ تا ٤٠ دور بر دقیقه متغیر است که قابل تنظیم است)، قبل از انجام آزمایش، نقطه‌ای روی توری استوانه‌ای مارک می‌شود و تعداد دور چرخش آن در یک دقیقه تعیین می‌شود. در صورتی که تعداد دور چرخش مدنظر به‌دست آمد، دستگاه کالیبره است در غیر این صورت سرعت چرخش دستگاه به‌گونه‌ای تنظیم می‌شود تا تعداد دور مورد نظر حاصل و دستگاه کالیبره شود.

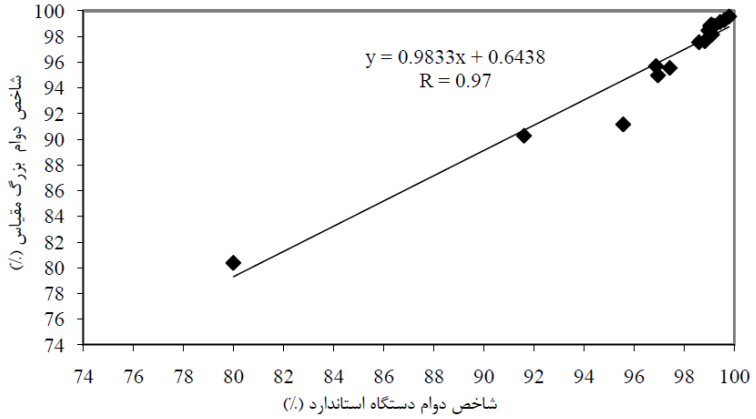
به‌منظور بررسی صحت کار دستگاه و آزمایش‌های انجام شده با آن، هم‌بستگی بین شاخص دوام استاندارد و شاخص دوام دستگاه طراحی شده در چرخه‌های ۲، ۵ و ۱۵ تعیین شد (شکل‌های ٤ تا ٦). لازم به ذکر است به‌دلیل ناهنجاری که ماسه‌سنگ در این هم‌بستگی‌ها ایجاد کرده بود، این نمونه از تحلیل حذف شد. در این شکل‌ها مشاهده می‌شود که روابط خطی با ضرایب هم‌بستگی زیاد (R>۰/۹۵) بین شاخص دوام استاندارد و شاخص دوام دستگاه طراحی شده وجود دارد. این موضوع نشان‌دهندهٔ صحت کار دستگاه و آزمایش‌های انجام شده با آن است.



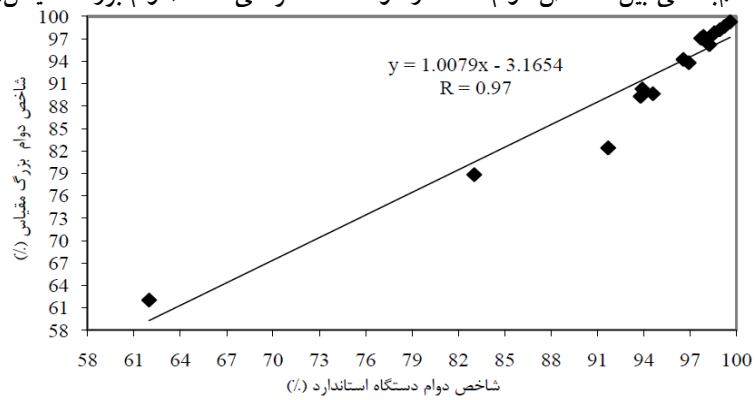
شکل ٤. هم‌بستگی بین شاخص دوام استاندارد و دستگاه طراحی شده (دوام بزرگ مقیاس) (Id_2)

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.2.7.5]



شکل ۵. هم‌بستگی بین شاخص دوام استاندارد و دستگاه طراحی شده (دوام بزرگ مقیاس) (Id_5)



شکل ٦. هم‌بستگی بین شاخص دوام استاندارد و دستگاه طراحی شده (دوام بزرگ مقیاس) (Id_{15})

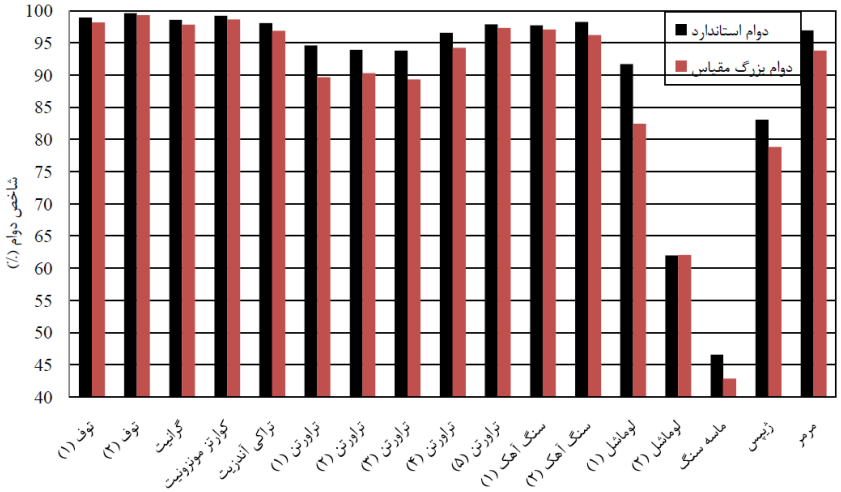
مقایسهٔ نتایج دوام استاندارد و دوام بزرگ مقیاس

میزان شاخص دوام استاندارد و دوام بزرگ مقیاس

شکل ۷ شاخص دوام استاندارد و بزرگ مقیاس را در چرخهٔ ۱۵(Id_{15}) نشان می‌دهد و سایر چرخه‌ها در جدول ۳ ارائه شده‌اند. چنان‌که مشاهده می‌شود در تمامی نمونه‌ها به استثنای لوماشل (۲) شاخص دوام بزرگ مقیاس مقادیر کم‌تری نسبت به دوام استاندارد را می‌دهد. این موضوع به‌دلیل بیش‌تر بودن ابعاد و وزن نمونه‌ها، بزرگ‌تر بودن سوراخ توری برای عبور ذرات بزرگ‌تر از ۳ میلی‌متر (به‌طوری که این ذرات در دوام استاندارد نمی‌توانند از سوراخ توری

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.2.7.5]

عبور کنند و باعث بیش‌تر بودن شاخص دوام می‌شود) و بزرگ‌تر بودن ابعاد دستگاه دوام بزرگ مقیاس است. این دلایل باعث سایش بیش‌تر نمونه‌ها و در نتیجه کم‌تر بودن شاخص دوام بزرگ مقیاس نسبت به دوام استاندارد شده است. علاوه بر این، اختلاف بین شاخص دوام استاندارد و دوام بزرگ مقیاس در تمامی نمونه‌های تراورتن، لوماشل (۱)، ماسه‌سنگ، ژیپس و مرمر بیش‌تر از سایر نمونه‌ها است. این موضوع به‌دلیل ایجاد ذرات بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر در طی آزمایش دوام استاندارد (قطر سوراخ‌ها ۲ میلی‌متر) است که نمی‌توانند از سوراخ‌های استوانه مشبک عبور کنند در حالی که همین ذرات در طی آزمایش بزرگ مقیاس به‌راحتی از سوراخ‌های استوانه مشبک (قطر سوراخ‌ها ٤/٧٥ میلی‌متر) عبور می‌کنند.



شکل ۷. شاخص دوام استاندارد و بزرگ مقیاس نمونه‌ها در چرخهٔ ۱۵ (Id_{15})

طبقه‌بندی نمونه‌ها بر اساس شاخص دوام

در این بخش نمونه‌ها بر اساس شاخص دوام چرخه دوم (Id_2) که گمبل [۱۲] ارائه کرده است، طبقه‌بندی شده‌اند (جدول ٦). چنان‌که از این جدول مشاهده می‌شود تراورتن (۱)، تراورتن (۲)، تراورتن (۳) بر اساس دوام استاندارد در گروه نمونه‌های با دوام خیلی زیاد قرار می‌گیرند در صورتی که بر اساس دوام بزرگ مقیاس در گروه نمونه‌های با دوام زیاد قرار می‌گیرند. هم‌چنین لوماشل (۱) و ژیپس بر اساس دوام استاندارد در گروه نمونه‌های با دوام

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.2.7.5]

زیاد و بر اساس دوام بزرگ مقیاس یک رده تنزل پیدا کرده و در گروه دوام متوسط تا زیاد قرار می‌گیرند.

جدول ٦. طبقه‌بندی نمونه‌های بررسی شده بر اساس شاخص دوام چرخهٔ دوم [۱۲]

نام گروه	شاخص دوام چرخه دوم $Id_2(\%)$	بر اساس دوام استاندارد	بر اساس دوام بزرگ مقیاس
دوام خیلی زیاد	>۹۸	توف (۱)، توف (۲)، گرانیت، کوارتز مونزونیت، تراکی آندزیت، تراورتن (۱)، تراورتن (۲)، تراورتن (۳)، تراورتن (٤)، تراورتن (۵)، سنگ آهک (۱)، سنگ آهک (۲)، مرمر	توف (۱)، توف (۲)، گرانیت، کوارتز مونزونیت، تراکی آندزیت، تراورتن (٤)، تراورتن (۵)، سنگ آهک (۱)، سنگ آهک (۲)، مرمر
دوام زیاد	۹۵-۹۸	لوماشل (۱)، ژیپس	تراورتن (۱)، تراورتن (۲)، تراورتن (۳)
دوام متوسط تا زیاد	۸۵-۹۵	لوماشل (۲)، ماسه سنگ	لوماشل (۱)، لوماشل (۲)، ماسه سنگ، ژیپس
دوام متوسط	٦۰-۸۵	-	-
دوام کم	۳۰-٦۰	-	-
دوام خیلی کم	<۳۰	-	-

هم‌بستگی شاخص دوام با ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی

شاخص دوام پارامتر مهندسی مهمی در ارزیابی زوال‌پذیری سنگ‌ها در برابر عوامل هوازدگی شیمیایی و فیزیکی است که ارتباط نزدیکی با ویژگی‌های کانی‌شناسی، فیزیکی و مکانیکی سنگ‌ها دارد [۱۱]. بررسی ویژگی‌های کانی‌شناسی، فیزیکی و مکانیکی برای شناخت مناسب بودن یک سنگ برای استفاده به‌عنوان سنگ ساختمانی ضروری است [۱۵]. نیکودل و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی ١٤ سنگ ساختمانی نشان دادند که شاخص دوام ارتباط نزدیکی با ویژگی‌های مکانیکی سنگ‌ها دارد [١٦]. در نتیجه می‌توان از هم‌بستگی بین شاخص دوام با ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی برای ارزیابی دوام سنگ‌ها استفاده کرد به‌طوری که هر چه ضریب هم‌بستگی بیش‌تر باشد می‌توان ارزیابی دقیق‌تری از دوام سنگ‌ها داشت. در این بخش از تحقیق با مقایسهٔ ضرایب هم‌بستگی بین شاخص دوام با ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی، به بررسی کارایی دستگاه دوام بزرگ مقیاس در مقابل دوام استاندارد و تعیین کاربرد آن برای ارزیابی دوام سنگ‌های سخت پرداخته شده است. در جدول ۷ نوع منحنی برازش و ضرایب

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.2.7.5]

هم‌بستگی بین شاخص دوام($Id_۲$) برای دوام استاندارد و بزرگ مقیاس با ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نمونه‌ها ارائه شده است.

جدول ۷. نوع منحنی برازش و ضرایب هم‌بستگی شاخص دوام ($Id_۲$) با ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی

نوع آزمایش دوام / ویژگی فیزیکی و مکانیکی	دوام استاندارد	دوام بزرگ مقیاس
چگالی خشک ($g/cm^۳$)	$y = ۰/۸۸۲٤\ e^{۰/۰۲۳}\ x$ $R = ۰/۷۷$	$y = ۰/۱۰۸٦e^{۰/۰۳۱٦}\ x$ $R = ۰/۸۹$
چگالی اشباع ($g/cm^۳$)	$y = ۰/٦٦\ e^{۰/۰۱۳۵}\ x$ $R = ۰/۷۳$	$y = ۰/۳۹۲۹e^{۰/۰۱۸۸}\ x$ $R = ۰/۸٦$
تخلخل مؤثر (٪)	$y = -۱۷۹/۱\ \ln(x) + ۸۲۹/۱۱$ $R = ۰/۷۱$	$y = ۲/۵۳٤٦\ x + ۲۵٦/۰۲$ $R = ۰/۸۰$
جذب آب (٪)	$y = -۱/۰۵٤x + ۱۰۷/۱۱$ $R = ۰/۷۵$	$y = -۱۳٤/۷\ \ln(x) + ٦۲۰/۸۱$ $R = ۰/۸٤$
مقاومت فشاری تک‌محوری (MPa)	$y = ۳\ E\text{-}۰۸e^{۰/۲۱۵۹}\ x$ $R = ۰/۸۰$	$y = ۲E\text{-}۱۱e^{۰/۲۹۰۵}x$ $R = ۰/۹۰$
سرعت موج P (m/s)	$y = ۲٤/۵۱۳e^{۰/۰۵۳٤}x$ $R = ۰/۸۲$	$y = ٦/۸٤۵٤e^{۰/۰٦٦٦}x$ $R = ۰/۸٦$

Y : ویژگی فیزیکی و مکانیکی X: شاخص دوام (Id_2) R: ضریب هم‌بستگی

با توجه به جدول ۷، رابطهٔ مستقیمی بین شاخص دوام استاندارد و بزرگ مقیاس در برابر چگالی خشک و اشباع، مقاومت فشاری تک‌محوری و سرعت موج P با ضرایب هم‌بستگی بین ۰/۷۳ تا ۰/۹۰ و یک رابطهٔ معکوس با تخلخل مؤثر و جذب آب با ضرایب هم‌بستگی بین ۰/۷۱ تا ۰/۸٤ وجود دارد. مشاهده می‌شود که در تمامی روابط ارائه شده، شاخص دوام بزرگ مقیاس ضرایب هم‌بستگی ببیش‌تری با ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی دارد. چنان‌که در بخش قبل گفته شد نتایج آزمایش دوام بزرگ مقیاس بیش از آزمایش دوام استاندارد از مقاومت سایشی سنگ تأثیر می‌پذیرد. از سوی دیگر، به‌دلیل محرز بودن وجود ارتباط بین دوام و سایر ویژگی‌های سنگ، طبیعی است هر چه دقت آزمایش دوام بیش‌تر باشد ارتباط و ضرایب هم‌بستگی بیش‌تری با سایر ویژگی‌ها خواهد داشت. در نتیجه با توجه به روابط و ضرایب

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.2.7.5]

هم‌بستگی بیش‌تر دوام بزرگ مقیاس در مقایسه با دوام استاندارد، می‌توان گفت دقت نتایج به‌دست آمده از آزمایش دوام بزرگ مقیاس بیش از دقت آزمایش استاندارد است.

بحث

ویژگی‌های کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی، نوع دستگاه آزمایش دوام و تعداد چرخه‌های آزمایش به‌عنوان عواملی تأثیرگذار روی شاخص دوام سنگ‌ها هستند. مشاهده شد علاوه بر ویژگی‌های کانی‌شناسی، سایر ویژگی‌های سنگ‌شناسی مانند بافت (اندازه، شکل و نحوهٔ قرارگیری کانی‌ها در یک سنگ) و یا ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی می‌تواند در میزان دوام نمونه‌ها تأثیرگذار باشد. هنگامی که نتایج به‌دست آمده برای شاخص دوام با استفاده از دو دستگاه استاندارد و بزرگ مقیاس مقایسه شدند، ملاحظه شد که نتایج دستگاه بزرگ مقیاس مطابق آن‌چه انتظار می‌رفت تقریباً برای همه سنگ‌ها (به استثنای لوماشل (۲)) کم‌تر از نتایج دستگاه استاندارد است (جدول ۳). در واقع می‌توان گفت سنگ‌ها در آزمایش دوام بزرگ مقیاس نسبت به دوام استاندارد متحمل سایش و کاهش وزنی بیش‌تری می‌شوند که در شاخص دوام نمود پیدا می‌کند. البته نتایج این دو روش با هم مرتبط است و سنگ‌هایی که در یک روش شاخص دوام کمی نشان می‌دهند در روش دیگر عمدتاً چنین عمل می‌کنند. با وجود این اگر بخواهیم سنگ‌ها را بر اساس میزان دوام مرتب کنیم نتایج آن برای دو دستگاه بزرگ مقیاس و استاندارد اندکی متفاوت به‌دست می‌آید (جدول ۸). به‌نظر می‌رسد این تفاوت‌ها به دو عامل ارتباط داشته باشد. یکی میزان دقت دستگاه اندازه‌گیری و دیگری تأثیرپذیری متفاوت سایش نمونه‌ها از دو شیوه آزمایش.

اگر بخواهیم طبقه‌بندی موجود برای دوام سنگ‌ها را بر اساس نتایج حاصل از دستگاه دوام بزرگ مقیاس بازنویسی کنیم، انتظار می‌رود محدودهٔ مربوط به سنگ‌های سخت (جدول ٤) بزرگ‌تر شده و امکان خطا در تعیین گروه مربوط به این سنگ‌ها کم شود. برای بازنویسی این طبقه‌بندی باید تعداد زیادی از سنگ‌های مختلف با هر دو دستگاه آزمایش شود و نتایج به‌دست آمده در نموداری اجرا شده و برای هر میزان از کاهش وزنی دوام استاندارد، عدد

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.2.7.5]

جدول ۸. ترتیب نمونه‌ها بر اساس نتایج حاصل برای شاخص دوام در چرخه ۲، ۵ و ۱۵ از بیش‌ترین به کم‌ترین

$Id_{۲}$(%)		$Id_{۵}$(%)		$Id_{۱۵}$(%)	
دوام استاندارد	دوام بزرگ مقیاس	دوام استاندارد	دوام بزرگ مقیاس	دوام استاندارد	دوام بزرگ مقیاس
توف (۲)	توف (۲)	توف (۲)	توف (۲)	توف (۲)	توف (۲)
کوارتز مونزونیت	کوارتز مونزونیت	کوارتز مونزونیت	کوارتز مونزونیت	کوارتز مونزونیت	کوارتز مونزونیت
توف (۱)	توف (۱)	توف (۱)	توف (۱)	توف (۱)	توف (۱)
تراورتن (۵)	تراورتن (۵)	گرانیت	تراورتن (۵)	گرانیت	گرانیت
گرانیت	سنگ آهک (۱)	سنگ آهک (۲)	گرانیت	تراورتن (۵)	تراورتن (۵)
سنگ آهک (۲)	گرانیت	تراورتن (۵)	سنگ آهک (۱)	سنگ آهک (۲)	سنگ آهک (۱)
سنگ آهک (۱)	تراکی آندزیت	سنگ آهک (۱)	تراکی آندزیت	تراکی آندزیت	تراکی آندزیت
تراکی آندزیت	سنگ آهک (۲)	تراکی آندزیت	سنگ آهک (۲)	سنگ آهک (۱)	سنگ آهک (۲)
مرمر	مرمر	مرمر	مرمر	مرمر	تراورتن (٤)
تراورتن (٤)	تراورتن (٤)	تراورتن (٤)	تراورتن (٤)	تراورتن (٤)	مرمر
تراورتن (۱)	تراورتن (۱)	تراورتن (۱)	تراورتن (۲)	تراورتن (۱)	تراورتن (۲)
تراورتن (۳)	تراورتن (۲)	تراورتن (۳)	تراورتن (۱)	تراورتن (۲)	تراورتن (۱)
تراورتن (۲)	تراورتن (۳)	تراورتن (۲)	تراورتن (۳)	تراورتن (۳)	تراورتن (۳)
لوماشل (۱)	لوماشل (۱)	لوماشل (۱)	لوماشل (۱)	لوماشل (۱)	لوماشل (۱)
ژیپس	ژیپس	ژیپس	ژیپس	ژیپس	ژیپس
ماسه سنگ	ماسه سنگ	لوماشل (۲)	ماسه سنگ	لوماشل (۲)	لوماشل (۲)
لوماشل (۲)	لوماشل (۲)	ماسه سنگ	لوماشل (۲)	ماسه سنگ	ماسه سنگ

متناظر بزرگ مقیاس آن پیدا شود (شکل ۸). لازم به‌ذکر است به‌دلیل ناهنجاری که لوماشل (۲) و ماسه‌سنگ در این هم‌بستگی ایجاد کرده بود، این نمونه‌ها از تحلیل حذف شد. با توجه به این شکل، بین کاهش وزن نمونه‌ها در چرخه ۵ ($Id_{۵}$) برای دستگاه دوام استاندارد و بزرگ مقیاس رابطهٔ (۲) برقرار است:

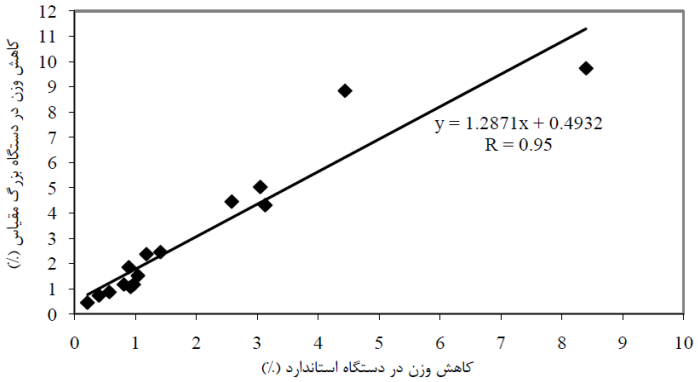
$$y=۱/۲۸۷۱\ x+۰/٤۹۳۲ \qquad (۲)$$

در این رابطه y کاهش وزن نمونه در دستگاه دوام بزرگ مقیاس و x کاهش وزن نمونه در دستگاه دوام استاندارد است.

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.2.7.5]

بنا بر این، اگر بخواهیم بر اساس این رابطه، طبقه‌بندی دوام سنگ‌ها [۱۲] را بازنویسی کنیم، محدودهٔ مربوط به سنگ‌های سخت افزایش می‌یابد. بر این اساس یک طبقه‌بندی دوام سنگ‌های سخت با توجه به شاخص دوام چرخهٔ ۵ $Id_5(\%)$ برای هر دو دستگاه پیشنهاد شده است که در جدول ۹ ارائه شده است.



شکل ۸. هم‌بستگی بین کاهش وزن نمونه‌ها در چرخه ۵ (Id_5) برای دستگاه استاندارد و بزرگ مقیاس

جدول ۹. طبقه‌بندی دوام سنگ‌های سخت بر اساس شاخص دوام چرخه ۵ $Id_5(\%)$ برای هر دو دستگاه استاندارد و بزرگ مقیاس

توصیف	**شاخص دوام مرحلهٔ پنجم $Id_5(\%)$** (دستگاه استاندارد)	توصیف	**شاخص دوام مرحلهٔ پنجم $Id_5(\%)$** (دستگاه دوام بزرگ مقیاس)
دوام خیلی زیاد	>۹۹	دوام خیلی زیاد	>۹۸/۵
دوام زیاد	۹۸–۹۹	دوام زیاد	۹۷–۹۸/۵
دوام متوسط تا زیاد	۹۶–۹۸	دوام متوسط تا زیاد	۹٤/۵–۹۷
دوام متوسط	۹۰–۹۶	دوام متوسط	۸۶–۹٤/۵
دوام کم	کم‌تر از ۹۰	دوام کم	کمتر از ۸۶

برای بررسی کارایی دستگاه دوام بزرگ مقیاس در مقابل دوام استاندارد و تعیین کاربرد آن برای ارزیابی دوام سنگ‌های سخت مجموعه‌ای از روابط هم‌بستگی بین شاخص دوام با ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی برقرار شد. با توجه به ضرایب هم‌بستگی بیش‌تر شاخص دوام

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.2.7.5]

بزرگ مقیاس با ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی می‌توان گفت این دستگاه کارایی و دقت بیش‌تری در ارزیابی دوام سنگ‌های سخت نسبت به دستگاه دوام استاندارد دارد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق ویژگی‌های کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی، نوع دستگاه آزمایش دوام و تعداد چرخه‌های آزمایش به‌عنوان عواملی تأثیرگذار روی شاخص دوام سنگ‌ها بررسی شدند و نتایج زیر حاصل شد:

- علاوه بر ویژگی‌های سنگ‌شناسی، فیزیکی و مکانیکی، دو عامل نوع دستگاه آزمایش و تعداد چرخه‌های آزمایش نیز در میزان دوام نمونه‌ها تأثیرگذار است.
- شاخص دوام بزرگ مقیاس مقادیر کم‌تری نسبت به دوام استاندارد می‌دهد. این موضوع به‌دلیل ابعاد و وزن نمونه‌ها، بزرگ‌تر بودن سوراخ توری برای عبور ذرات بزرگ‌تر از ۳ میلی‌متر (به‌طوری که این ذرات در دوام استاندارد نمی‌توانند از سوراخ توری عبور کنند و باعث بیش‌تر بودن شاخص دوام می‌شود) و بزرگ‌تر بودن ابعاد دستگاه دوام بزرگ مقیاس است.
- با توجه به روابط و ضرایب هم‌بستگی بیش‌تر دوام بزرگ مقیاس با ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی، می‌توان گفت دقت نتایج به‌دست آمده از آزمایش دوام بزرگ مقیاس بیش‌تر از دقت آزمایش دوام استاندارد است و این دستگاه کارایی بیش‌تر و مناسب‌تری نسبت به دستگاه دوام استاندارد در ارزیابی دوام سنگ‌های سخت دارد.
- تعداد چرخه‌های تر و خشک شدن تأثیر چشم‌گیری روی شاخص دوام سنگ‌ها دارد. به‌طوری که هر چه تعداد چرخه‌های آزمایش بیش‌تر شود میزان شاخص دوام نمونه‌ها به‌دلیل فرآیند سایش و تر و خشک شدن کاهش می‌یابد.
- طبقه‌بندی جدید دوام سنگ‌های سخت بر اساس شاخص دوام مرحلهٔ پنجم $Id_5(\%)$ برای هر دو دستگاه استاندارد و بزرگ مقیاس پیشنهاد شد که می‌تواند ارزیابی مناسب‌تری از دوام سنگ‌های سخت داشته باشد.

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.2.7.5]

سپاس‌گزاری

این کار تحقیقاتی با حمایت مالی دانشگاه تربیت مدرس در آزمایشگاه زمین‌شناسی مهندسی انجام شده است، نویسندگان کمال قدردانی و سپاس‌گزاری را از دانشگاه یاد شده دارند.

منابع

1. Franklin J. A., Chandra R., "The slake-Durability test", International Journal of Mechanics and Mining Science, Vol. 9 (1972) 325-341.
2. Bell F. G., "Durability of carbonate rock as building stone with comments on its preservation", Environmental Geology, Vol. 21 (1993) 187-200.
3. 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.
4. Fookes P. G., Gourdly C. S., Ohikere C., "Rock weathering in engineering time", Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, Vol. 21 (1998) 33-57.
5. Dreesen R., Dusar 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.
6. I.S.R.M. Rock characterization, Testing and monitoring-Brown ET, editor, ISRM suggested methods. Oxford: Pergamon Press (1981) 211.
7. Anon., "Classification of rocks and soils for engineering geological mapping", Part 1: Rock and soil materials, Bulletin International Association Engineering Geology, Vol. 19 (1979) 355-371.

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.2.7.5]

8. Anon, "The description of rock masses for engineering purposes", Working Partly Report, Quarterly Journal Engineering Geology Vol.10 (1977) 355-388.

9. Koncagul E., Santi P., "Predicting the unconfined compressive strength of the Breathitt shale using slake durability, Shore hardness and rock structural properties", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 36 (1999) 139-153.

10. Gokceoğlu C., Ulusay R., Sönmez H., "Factors affecting the durability of selected weak and claybearing rocks from Turkey, with particular emphasis on the influence of then number of drying and wetting cycles", Engineering Geology, Vol. 57 (2000) 215-237.

11. Gupta V., Ahmed I., "Effect of pH of water and mineralogical properties on the slake durability (degradability) of different rocks from the Lesser Himalaya", India, Engineering Geology, Vol. 95 (2007) 79-87.

12. Gamble J. C., "Durability-Plasticity Classification of shales and other argillaceous rocks", Ph.D. Thesis, University of Illinois, Urabana.

13. Nickmann M., Spaun G., Thuro K., "Engineering geological classification of weak rocks", Proceedings of the 10th IAEG International Congress, 8 p. Paper number 492, CD-ROM.

14. Erguler Z. A., Ulusay R., "Assessment of physical disintegration characteristics of claybearing rocks: Disintegration index test and a new durability classification chart", Engineering Geology, Vol. 105 (2009) 11-19.

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.2.7.5]

15. Sousa L., Suarez del Rio L., Calleja L., Ruiz de Aragandona V., Rodriguez Rey, A., "Influence of microfractures and porosity on the physico-mechanical properties and weathering of ornamental granites", Engineering Geology, Vol. 77 (2004) 153-168.

۱٦. نیکودل م.، جمشیدی ا.، حافظی‌مقدس ن.، *هم‌بستگی شاخص دوام با ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌هایی از سنگ‌های ساختمانی با تأکید بر تأثیر تعداد چرخه‌های تر و خشک‌شدن*، فصلنامهٔ زمین‌شناسی ایران، سال چهارم، شماره شانزدهم (۱۳۸۹) ۳-۱٤.

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1393.8.2.7.5]