



گزارش نتایج

آزمون‌های آزمایشگاهی سنگ ساختمانی

مشاور:

دکتر سعید نجاتی

مجری:

دانشگاه تربیت مدرس (آزمایشگاه مکانیک سنگ)

نام سنگ: Raven Black Granite

بهار ۱۴۰۵



فهرست مطالب

- ۱.....آزمون تعیین خواص فیزیکی سنگ
- ۲.....نتایج آزمون تعیین خواص فیزیکی سنگ
- ۲.....آزمون و نتایج تعیین سختی موس
- ۳.....آزمون مقاومت فشاری تک محوری
- ۴.....نتایج و تصاویر آزمون مقاومت فشاری تک محوری
- ۶.....ارزیابی کیفی سنگ بر اساس نمونه‌های ارسال شده به آزمایشگاه
- ۷.....نتیجه آزمایش (XRF)
- ۸.....نتیجه آزمایش (XRD)
- ۹.....تحلیل نتایج آزمون‌های XRF و XRD

آزمون تعیین خواص فیزیکی سنگ

خواص فیزیکی سنگ از جمله چگالی، دانسیته خشک، تخلخل، آب محتوی و جذب آب از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در رفتار مهندسی سنگ به شمار می‌روند و نقش بسزایی در ارزیابی دوام، مقاومت و عملکرد سنگ در شرایط مختلف محیطی دارند. این ویژگی‌ها در طراحی سازه‌های سنگی، تحلیل پایداری شیب‌ها، تونل‌ها و همچنین بررسی مقاومت سنگ در برابر عوامل هوازدگی و نفوذ آب مورد استفاده قرار می‌گیرند.

به منظور تعیین خواص فیزیکی نمونه‌های سنگی، آزمایش‌های دانسیته خشک، تخلخل و درصد جذب آب در آزمایشگاه مکانیک سنگ بر اساس روش اشباع و غوطه‌وری و مطابق با روش‌های پیشنهادی ISRM انجام شد. این روش برای نمونه‌های سنگی با اشکال هندسی منظم و نامنظم قابل استفاده بوده و از دقت مناسبی در تعیین ویژگی‌های فیزیکی سنگ برخوردار است. همچنین تعیین آب محتوی (رطوبت) نمونه‌ها بر اساس استاندارد ASTM C97 و توصیه‌های ISRM صورت پذیرفت.

در ابتدا نمونه‌های سنگی با استفاده از پمپ خلأ و دسیکاتور شیردار تحت فرآیند اشباع‌سازی قرار گرفتند. در این فرآیند، هوای موجود در منافذ سنگ تخلیه شده و آب جایگزین آن گردید تا تمامی فضاهای خالی و تخلخل‌های باز نمونه به طور کامل از آب پر شوند. پس از اشباع کامل، وزن غوطه‌ور نمونه‌ها در آب با استفاده از ترازوی هیدرواستاتیک اندازه‌گیری شد و حجم دقیق آن‌ها بر اساس اصل ارشمیدس محاسبه گردید. سپس وزن اشباع سطح خشک (SSD) نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت 0.01 گرم تعیین شد.

در مرحله بعد، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در گرمخانه با دمای 105°C درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا رطوبت موجود در منافذ آن‌ها به طور کامل حذف شده و وزن خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری شود. در نهایت، با استفاده از مقادیر وزن خشک، وزن اشباع و وزن غوطه‌ور در آب و بهره‌گیری از روابط استاندارد وزنی و حجمی، پارامترهای فیزیکی شامل دانسیته خشک، چگالی ظاهری، درصد تخلخل، میزان جذب آب و آب محتوی سنگ محاسبه گردید. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها مبنای مناسبی برای ارزیابی کیفیت، دوام و رفتار مهندسی سنگ در شرایط بهره‌برداری مختلف فراهم می‌آورد.

نتایج آزمون تعیین خواص فیزیکی سنگ

NUM	Sample Name	Saturated Density ($\frac{gr}{cm^3}$)	Dry Density ($\frac{gr}{cm^3}$)	Porosity (%)	Water Absorption (%)	Specific Gravity
1	Raven Black Granite	2.65	2.64	0.90	0.34	2.67

آزمون و نتایج تعیین سختی موس

آزمایش سختی موس یکی از ساده‌ترین و متداول‌ترین روش‌های تعیین سختی نسبی کانی‌ها و سنگ‌ها است که بر اساس مقاومت سطح نمونه در برابر خراشیدگی انجام می‌شود. این روش نخستین بار توسط کانی‌شناس آلمانی، فردریش موس، ارائه شد و امروزه به عنوان یک روش سریع و کاربردی برای شناسایی کانی‌ها و ارزیابی مقاومت نسبی آن‌ها در برابر سایش و خراش مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این سیستم، سختی کانی‌ها در مقیاسی از ۱ تا ۱۰ طبقه‌بندی می‌شود؛ به‌طوری‌که تالک با سختی ۱ نرم‌ترین و الماس با سختی ۱۰ سخت‌ترین کانی شناخته می‌شود. در این آزمایش، سختی نمونه سنگ با استفاده از مجموعه استاندارد کانی‌های موس یا ابزارهای مرجع با سختی مشخص تعیین می‌شود. بدین منظور، سطحی تازه و سالم از نمونه انتخاب شده و سپس با کانی‌ها یا ابزارهای دارای سختی معلوم خراش داده می‌شود. اگر ابزار بتواند بر روی سطح سنگ خراش ایجاد کند، سختی نمونه کمتر از سختی ابزار خواهد بود و در صورتی که خراشی ایجاد نشود، سختی سنگ بیشتر از سختی جسم خراش‌دهنده در نظر گرفته می‌شود. با تکرار این فرآیند و مقایسه نتایج، محدوده سختی موس نمونه تعیین می‌گردد. سختی موس یکی از ویژگی‌های مهم سنگ‌ها و کانی‌ها محسوب می‌شود و اطلاعات ارزشمندی درباره مقاومت آن‌ها در برابر سایش، فرسایش و تخریب مکانیکی ارائه می‌دهد. این پارامتر در مطالعات زمین‌شناسی، اکتشاف مواد معدنی، انتخاب مصالح ساختمانی و ارزیابی دوام سنگ‌ها کاربرد فراوانی دارد. هرچند مقیاس موس یک مقیاس نسبی است و بیانگر مقاومت مطلق مواد نیست، اما به دلیل سادگی، سرعت و هزینه پایین، همچنان یکی از پرکاربردترین روش‌های تعیین سختی در آزمایشگاه‌های زمین‌شناسی و مکانیک سنگ به شمار می‌رود.

طبق اطلاعات فوق برای نمونه ارسالی سختی ۶/۵ تعیین گردید.

آزمون مقاومت فشاری تک محوری

آزمایش مقاومت فشاری یکی از مهم‌ترین و متداول‌ترین آزمون‌های مکانیکی برای ارزیابی کیفیت و رفتار مقاومتی سنگ‌های ساختمانی است. این آزمایش میزان توانایی سنگ در تحمل بارهای فشاری را تعیین کرده و نقش مهمی در انتخاب سنگ برای کاربردهای مختلف ساختمانی و عمرانی نظیر نما، کف‌پوش، پله، دیوارهای باربر و سایر اجزای سازه‌ای ایفا می‌کند. مقاومت فشاری همچنین یکی از پارامترهای اصلی در ارزیابی دوام، استحکام و کیفیت سنگ به شمار می‌رود و نتایج آن در مطالعات مهندسی سنگ، ژئوتکنیک و طراحی سازه‌های سنگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. علی‌رغم سادگی ظاهری این آزمایش، دستیابی به نتایج دقیق و قابل اعتماد مستلزم رعایت شرایط و الزامات متعددی است. عواملی نظیر کیفیت آماده‌سازی نمونه، ابعاد و شکل هندسی آن، وضعیت سطوح بارگذاری، نرخ اعمال بار و وجود ناپیوستگی‌ها و ضعف‌های ساختاری در سنگ می‌توانند بر مقدار مقاومت اندازه‌گیری‌شده تأثیرگذار باشند. از این رو، رعایت استانداردهای معتبر و آماده‌سازی صحیح نمونه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این آزمایش، مقاومت فشاری در آزمایشگاه مکانیک سنگ دانشگاه تربیت مدرس و مطابق با الزامات استاندارد ASTM D7012 و توصیه‌های انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ (ISRM) انجام شد. برای این منظور، نمونه‌های سنگی مکعب‌مستطیلی پس از برش و آماده‌سازی، به گونه‌ای تهیه شدند که سطوح بارگذاری آن‌ها کاملاً صاف، موازی و عاری از هرگونه ترک و ناهمواری قابل توجه باشد. میزان ناصافی سطوح بارگذاری نیز کمتر از 0.2% میلی‌متر در نظر گرفته شد تا توزیع تنش در حین بارگذاری به صورت یکنواخت انجام شود. نمونه‌ها بین صفحات دستگاه بارگذاری قرار گرفته و بار فشاری به وسیله دستگاه کنترل خودکار با نرخ بارگذاری استاندارد در محدوده 0.5 تا 1 مگاپاسکال بر ثانیه اعمال گردید. بارگذاری به صورت پیوسته تا زمان وقوع گسیختگی کامل ادامه یافت و حداکثر بار تحمل‌شده توسط نمونه به عنوان بار شکست ثبت شد. در نهایت، مقاومت فشاری سنگ از تقسیم حداکثر بار گسیختگی بر سطح مقطع بارگذاری محاسبه گردید. نتایج حاصل از این آزمایش علاوه بر تعیین مقاومت فشاری، اطلاعات ارزشمندی در خصوص کیفیت ساختاری، میزان یکپارچگی، رفتار شکست و قابلیت استفاده سنگ در کاربردهای ساختمانی ارائه می‌دهد. به طور کلی، سنگ‌هایی که دارای مقاومت فشاری بالا، تخلخل کم و ساختار

متراکم‌تری هستند، از دوام و عملکرد مناسب‌تری در شرایط بهره‌برداری برخوردار بوده و برای استفاده در سازه‌ها و محیط‌های تحت بارگذاری فشاری گزینه‌های مطلوب‌تری محسوب می‌شوند.

نتایج و تصاویر آزمون مقاومت فشاری تک محوری

NUM	Sample Name	Porosity	Specimen dimensions(mm)		Ultimate Force (KN)	Compressive strength σ_c (MPa)
			Length	Width		
1	Raven Black Granite	Normal	70.01	68.81	779.33	161.77

تصاویر آزمون مقاومت فشاری تک محوری



تصاویر نمونه قبل از انجام مقاومت فشاری تک محوری



تصاویر نمونه پس از انجام مقاومت فشاری تک محوری

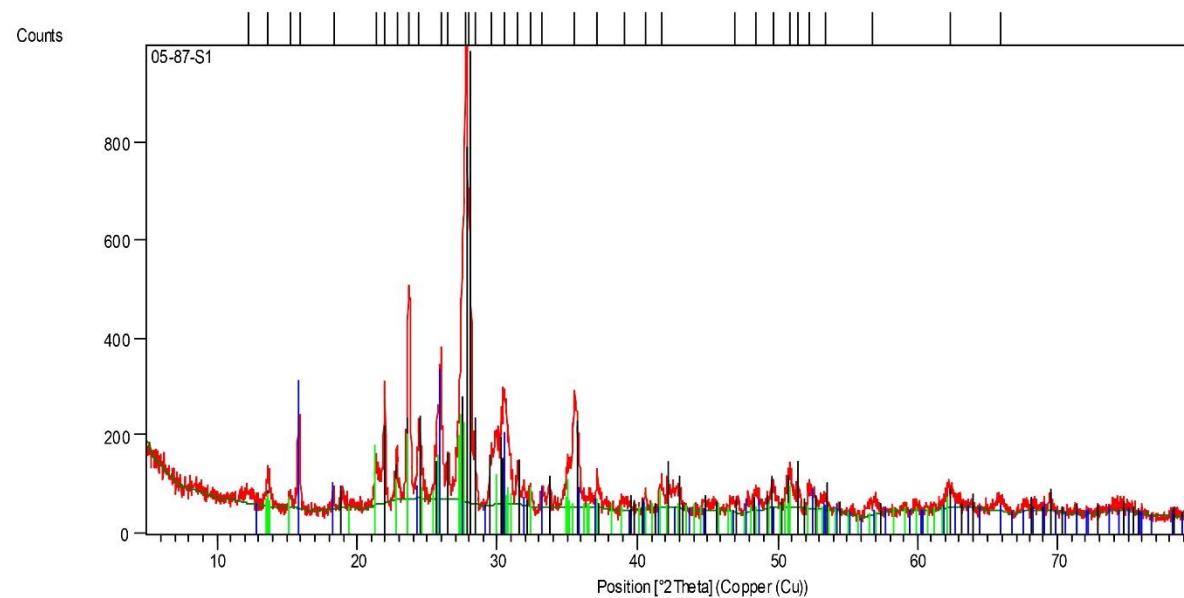
ارزیابی کیفی سنگ بر اساس نمونه‌های ارسال شده به آزمایشگاه

ارزیابی	استاندارد مرجع	مقدار اندازه‌گیری شده	پارامتر
بسیار خوب	ASTM C97	0.34	جذب آب (%)
عالی	ISRM Suggested Methods / EN 1936	0.90	تخلخل (%)
عالی	ASTM C97	2.64	دانشیته خشک (gr/cm^3)
عالی	ASTM D7012	161.77	مقاومت فشاری تک‌محوری (MPa)
عالی	ASTM C97	2.67	چگالی ویژه (Specific Gravity)

نتیجه آزمایش (XRF)

File: 05-87-S1

Date: 2026/06/23

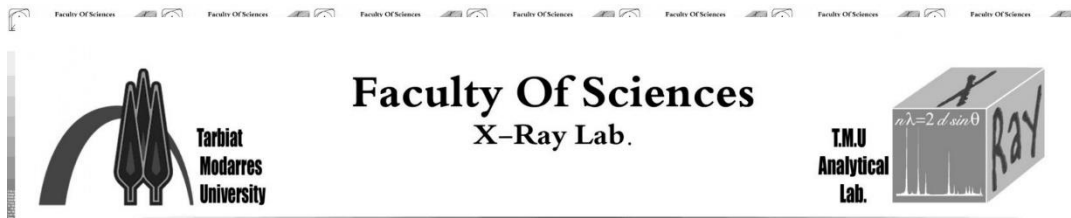


Peak List
00-041-1481; (Ca, Na)(Si, Al) ₄ O ₈ ; Anorthite, sodian, disordered
01-083-1732; Na ₁₆ Al ₁₅ Si ₃₂ O ₉₆ (H ₂ O) ₁₆ ; Natron
00-019-1227; (K, Na)(Si ₃ Al) ₃ O ₉ ; Sandrine



دانشگاه تربیت مدرس
(آزمایشگاه مکانیک سنگ)

نتیجه آزمایش (XRD)



Date:	Sunday, June 21, 2026
Customer:	Nejaty
Sample No:	05-87

S1	05-87	L.O.I.	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5
	(%)	2.18	5.021	2.192	21.545	51.638	0.624
K2O	CaO	TiO2	MnO	Fe2O3	Cu	Zn	Rb
3.579	6.701	0.817	0.136	5.325	0.01	0.006	0.004
Sr	Zr	Nb	Ba				
0.093	0.037	0.004	0.089				

Semi Quantitative Result
Trace elements should be analysis by AAS or ICP.

- * **Preparation procedure:** Powder press
- * **Loss on Ignition (L.O.I) Method (ASTM D7348):** sample put in furnace, for 1 hour at 950 °C
- * Instrument (XRF PW2404) Calibrate with Philips Analytical X-Ray B.V. standards with certificate of the secondary for the *SEMIQ*.
- * **Working range elements:** Cs, Ga, Rb, Cl, Na, Ba, F, S, Mg, Cr, U, Sr, Pd, Pt, Ge, Mn, Mo, Br, La, K, Pr, Ta, Zr, Al, Fe, P, Si, Sm, Zn, Ca, In, Nb, Nd, Ti, W, Bi, Ce, Co, Hf, Th, Y, Hg, Ni, V, Pb, Sn, Ag, As, Se, Te, Sb, Cd, Cu, I, Tl.
- * Detection Limit: 20ppm—100%
- * Monitor system repeats every week with SRM samples.
- * We are using internal method for QC, with SRM samples every month.

M. Yousefi
X-Ray Lab.

X-Ray Laboratory
Geology Dept.,
Faculty of Sciences,
Tarbiat Modarres University
P.O.Box: 14117-43116
Tel: +98 21 82883426
+98 21 82883427
Fax: +98 21 82883448
E-mail: Xraylab@modares.ac.ir
Tehran - I. R. Iran



تحلیل نتایج آزمون‌های XRF و XRD

نتایج آزمون XRF نشان می‌دهد که این سنگ عمدتاً از اکسیدهای سیلیس، آلومینیوم، کلسیم، سدیم و پتاسیم تشکیل شده است که با ترکیب کانی‌شناسی حاصل از آزمون XRD مطابقت دارد. بر اساس نتایج XRD، کانی‌های اصلی سنگ شامل آنورتیت سدیک (Anorthite, sodian)، آنالسیم (Analcime) و سانیدین (Sanidine) هستند که بیانگر غلبه فازهای فلدسپاتی در ساختار سنگ است. بنابراین هیچ عنصر یا کانی مضر در این سنگ دیده نشد.