تأثیر سنگ‌دانه‌های سیلیکاته بر تغییر خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی سنگ مصنوعی نسبت به سنگ طبیعی

نیلوفر باباآدم*، علی ارومیه‌ای، محمدرضا نیکودل؛
دانشگاه تربیت مدرس، دانشکدهٔ علوم گروه زمین‌شناسی

تاریخ: دریافت ۹۵/۰۳/۲۵ پذیرش ۹۶/۰۴/۲۶

چکیده

سنگ مصنوعی ترکیبی از سنگ‌دانه‌های طبیعی و ماده‌ای چسباننده مانند رزین‌های پلیمری و یا سیمان است. از آن‌جاکه این سنگ‌ها به‌طور مهندسی ساخته می‌شوند بنابراین خصوصیات آن‌ها از نظر رنگ، استقامت و ابعاد هندسی متناسب با نیاز بازار مصرف تعیین می‌شود. مصالح استفاده شده در تهیهٔ سنگ‌های مصنوعی باطله‌های معادن و دورریز کارگاه‌های سنگ‌بری است درنتیجه ارزش افزوده آن‌ها از نظر اقتصادی چشم‌گیر است. در این مقاله تأثیر نوع سنگ‌دانه‌های سیلیکاته بر تغییر خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی سنگ‌های مصنوعی نسبت به سنگ طبیعی بررسی شده است. در این راستا سه نوع سنگ آذرین شامل توف، گرانیت و آندزیت انتخاب شدند و سنگدانه‌های مورد نیاز برای تهیهٔ سنگ مصنوعی از آن‌ها تهیه شد. مادهٔ چسباننده استفاده شده رزین پلیمری است و از آن به‌میزان ۱۵٪ وزنی در تهیهٔ سنگ مصنوعی به‌کار گرفته شد. نمونه‌ها در قالب فولادی ریخته شده و به‌مدت ۲٤ ساعت تحت فشاری معادل ۱۲ مگاپاسکال قرار گرفتند. مغزه‌هایی از نمونه‌ها برای انجام آزمایش‌های مختلف از جمله مقاومت فشاری تک‌محوری تهیه شدند. نتایج بررسی‌ها از وجود تفاوت‌هایی در خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی و فیزیکی سنگ‌های تهیه شده از سنگ‌دانه‌های مختلف نسبت به خصوصیات سنگ اولیه نشان می‌دهند. بدین‌ترتیب که سنگ‌های مصنوعی تولید شده از سنگدانه‌های گرانیتی دارای ۸٦٪ کاهش جذب‌آب و ۲٤٪ افزایش مقاومت را نسبت به نمونه‌های گرانیت طبیعی نشان دادند. درمقابل دو سنگ مصنوعی دیگر تولید شده از سنگ‌دانه‌های توف و آندزیت دارای کاهش شاخص‌های مقاومتی ٥٦٪ و ٥۹٪ ، افزایش ۱۳۷٪ و ٥۲۷٪ جذب آب سنگ‌های اولیه بوده‌اند.

واژه‌های کلیدی: سنگ مصنوعی، رزین پلیمری، سنگدانه

*نویسنده مسئول n.babaadam@modares.ac.ir

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.3.2.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.3.391]

مقدمه

سنگ مصنوعی نوعی مصالح ساختمانی است که از ترکیب سنگدانه‌های طبیعی و ماده‌ای چسباننده مانند سیمان و یا مواد پلیمری (رزین) به اضافهٔ برخی مواد افزودنی به‌وجود می‌آید. سنگدانه‌های استفاده شده در ساخت این سنگ‌ها عموماً از باطله‌های معدنی و دورریزهای کارگاه‌های صنعتی سنگ‌بری تأمین می‌شود. در نتیجه سنگ تولید شده از نظر اقتصادی دارای ارزش افزوده چشم‌گیری است.

طرح اختلاط استفاده شده در تهیهٔ سنگ‌های مصنوعی شامل بیش از ۸۰٪ سنگ‌دانه‌های طبیعی و کم‌تر از ۲۰٪ مواد افزودنی و مادهٔ چسباننده مانند انواع مختلف رزین با منشأ پلیمری و یا سیمان است. به همین دلیل نام‌گذاری‌های متفاوتی برای این‌گونه سنگ‌ها به‌کار گرفته شده است از جمله آن‌ها به‌نام سنگ مهندسی و یا سنگ مصنوعی معرفی می‌کنند [۵]، [٦]. در کشور آمریکا از واژهٔ اگلومرا نیز برای معرفی این سنگ‌ها استفاده می‌شود. سنگ‌های مصنوعی برای اولین بار در دههٔ ٦۰ میلادی از قرن بیستم در کشور ایتالیا معرفی شد و شرکت بریتون Breton امتیاز ثبت این نوع محصولات را به‌عهده گرفت [۷]. سنگ‌دانه‌های کوارتزیتی و سنگ‌دانه‌های آهک مرمریتی با سختی به‌ترتیب ۷ و ۳ در مقیاس موس، پایه اصلی تهیه سنگ‌های مصنوعی هستند. امروزه شرکت‌های متعددی در سطح جهان و ایران بر مبنای همان الگوهای اولیه نسبت به تولید سنگ مصنوعی به‌طور انحصاری می‌پردازند.

با توجه به این‌که سنگ‌های مصنوعی به‌صورت هدف‌مند و مطابق الگوهای مهندسی تهیه می‌شوند بنابراین سنگ دارای طرح‌های متفاوت و رنگ‌های گوناگون است و بدین‌ترتیب می‌تواند پاسخ‌گوی تنوع سلیقه مصرف‌کنندگان بوده و جای‌گزین مناسبی برای سنگ‌های طبیعی در صنعت ساختمان باشد. کشور ایران به‌دلیل داشتن طیف گسترده‌ای از معادن سنگی متنوع و کارگاه‌های صنعتی سنگ ساختمانی فراوان، دارای توان تولید سنگ‌های مصنوعی است.

تولید سنگ‌های مصنوعی مورد توجه بسیاری از محققان در سال‌های اخیر بوده است. به‌عنوان مثال، ساکایی با استفاده از سنگدانه‌های مرمریتی و ۱۵٪ رزین پلیمری توانست سنگی مصنوعی با مقاومت تراکمی ۷ مگاپاسکال تولید کند [۸]. لی و همکاران توانستند سنگ

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.3.2.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.3.391]

مصنوعی با مقاومت فشاری معادل ۱٤۸/۸ مگاپاسکال را با استفاده از ٤۰٪ ضایعات شیشه و ٦۰٪ سنگ‌دانه طبیعی به‌همراه ۸٪ رزین تولید کنند نمونه‌ها در محیط خلأ و با اعمال فشار و ارتعاش (ویبره کردن) تهیه شدند [۹]. هاموش و همکاران سنگ‌های مصنوعی تولید شده از دولایه با جنس متفاوت را در تحقیقات خود بررسی کردند. لایهٔ رویی مقاوم، با دوام و دارای رنگ مناسب و نمای طبیعی است درحالی‌که لایه آستر سبک و از جنس خرده مواد پلاستیکی عایق شده است [۱۰].

روش آماده‌سازی

از آن‌جاکه هدف تحقیق در این مقاله بررسی تأثیر سنگ‌دانه‌های سیلیکاته بر خصوصیات مهندسی سنگ مصنوعی است بنابراین سنگ‌دانه‌های استفاده شده از سه نوع سنگ طبیعی توف، آندزیت و گرانیت انتخاب شدند. مبنای انتخاب سنگ‌های مورد نظر تنوع ترکیب کانی‌شناسی و تنوع ساختار بافتی است ضمن این‌که، این سه نوع سنگ از جمله سنگ‌های پر مصرف و در دسترس هستند.

مادهٔ چسباننده استفاده شده در ساخت سنگ‌های مصنوعی، نوعی رزین پلی‌استر غیراشباع است که ازنظر وزنی ۱۵٪ نمونه‌های سنگ ساخته شده را تشکیل می‌دهد.

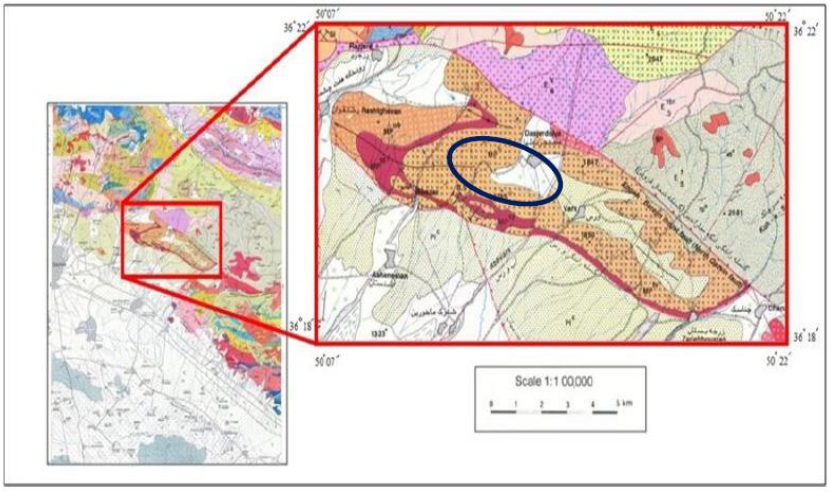
سنگدانه‌ها

نمونه سنگ‌های اولیه برای تهیهٔ سنگ‌های مصنوعی در این پژوهش از سه منطقهٔ تهران، همدان و قزوین تهیه شده‌اند خصوصات پتروگرافی این سنگ‌ها بدین‌شرح بررسی می‌شوند:

نمونه سنگ آندزیت: نمونه سنگ آندزیت از منطقهٔ امامزاده اباذر واقع در فاصله ۲۰ کیلومتری شمال شرق قزوین نهیه شده است. بر اساس اطلاعات نقشهٔ زمین‌شناسی قزوین (شکل ۱)، سن این سنگ‌ها به ائوسن تعلق دارد و از نظر کانی‌شناسی دربرگیرنده کانی‌های پلاژیوکلاز، آمفیبول و پیروکسن است.

نمونه سنگ توف: نمونهٔ سنگ توف استفاده شده در این تحقیق از معدن سنگ توف سبز فرحزاد واقع در شمال تهران برداشت شده است. این سنگ‌ها متعلق به سازند کرج با سن ائوسن هستند. نقشهٔ زمین و محل برداشت نمونه در شکل ۲ نشان داده شده است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.3.2.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.3.391]



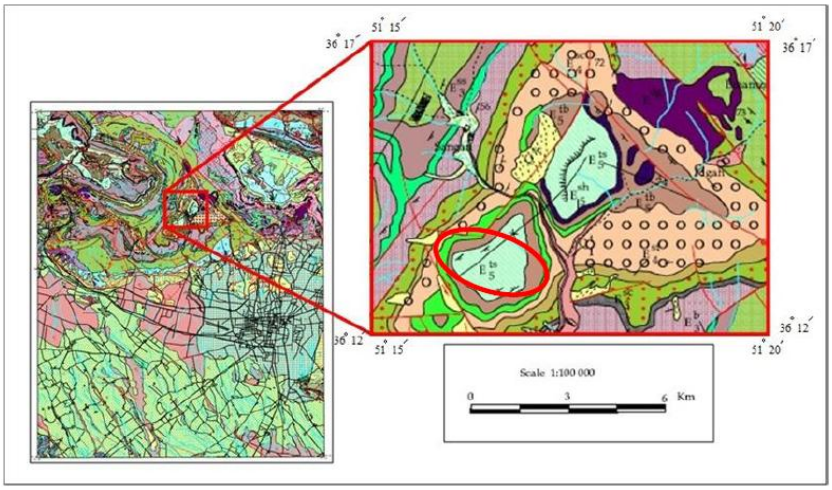
شکل ۱. موقعیت زمین‌شناسی و محل برداشت نمونه آندزیت، نقشهٔ ۱:۱۰۰۰۰۰ قزوین [۱]

نمونه سنگ گرانیت: نمونه سنگ گرانیت استفاده شده در این تحقیق از منطقهٔ سولان واقع در جنوب شهر همدان برداشت شده است. کانی‌شناسی این سنگ عمدتاً شامل کوارتز، فلدسپات و کانی‌های فرعی میکا و مقدار کمی آمفیبول است. بافت سنگ متبلور و درشت‌دانه است. محل برداشت نمونه و نقشهٔ زمین‌شناسی منطقه در شکل ۳ نشان داده شده است.

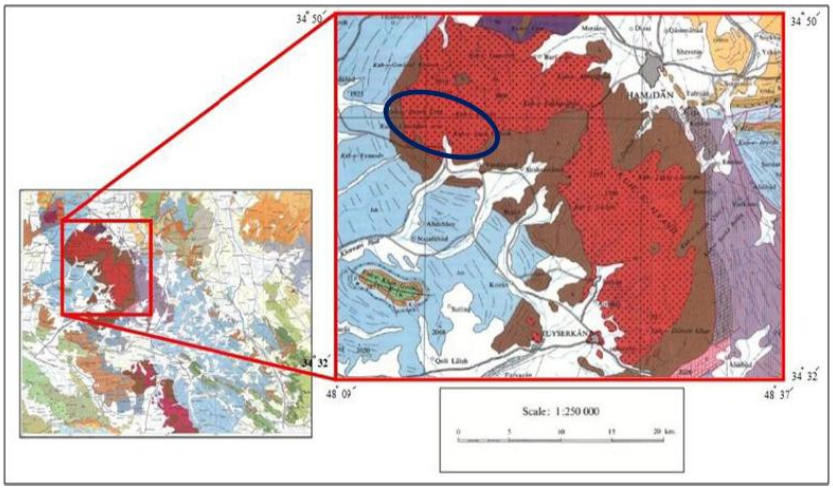
شرح خصوصیات کانی‌شناسی و بافت سنگ بر مبنای بررسی‌های مقاطع نازک میکروسکوپی و هم‌چنین نتایج تجزیهٔ پرتوسنجی (آزمایش XRD) در جدول ۱ ارائه شده است. نمودارهای تجزیهٔ پرتوسنجی برای سه نمونه سنگ نیز در شکل‌های ٤، ٥ و ٦ ارائه شده‌اند.

باتوجه به تنوع دانه‌بندی سنگ‌دانه‌های تولید شده از سنگ اولیه از نظر شکل و ابعاد هندسی و برای یک‌سان کردن میزان تخلخل در آن‌ها ضرورت دارد تا منحنی دانه‌بندی نمونه‌های سنگ مصنوعی واحدی تهیه شده و با نسبت یک‌سانی از رزین مخلوط شود. بدین‌ترتیب خصوصیات ترکیبی سنگ مصنوعی تهیه شده یک‌نواخت است و تنها عامل متغیر در آن‌ها جنس سنگ‌دانه‌ها است. با در نظر گرفتن استانداردهای معرفی شده در این خصوص [۱۱] منحنی دانه‌بندی مطابق شکل۷ به‌کارگرفته شده است. این ترکیب دانه‌بندی دارای حداقل تخلخل به‌دست آمده، ۱۵٪، است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.3.2.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.3.391]



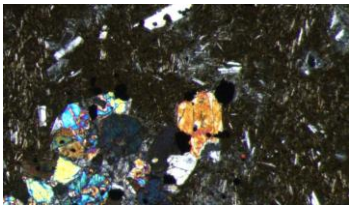
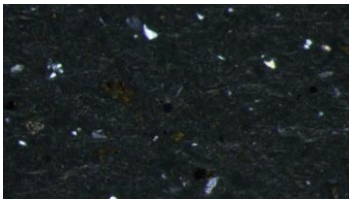
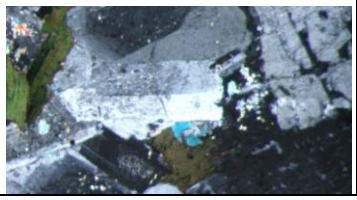
شکل ۲. موقعیت زمین‌شناسی و محل برداشت نمونه سنگ توف، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ تهران

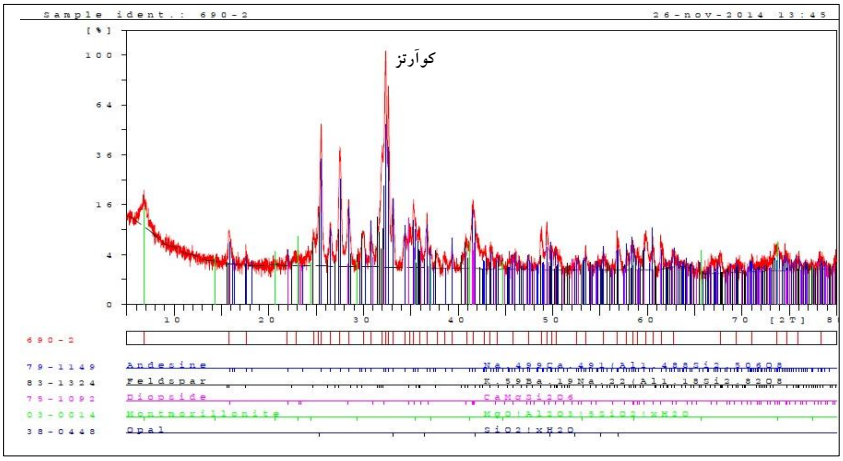


شکل ۳. موقعیت زمین‌شناسی منطقه نمونه‌برداری گرانیت، نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ تهران [۳]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.3.2.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.3.391]

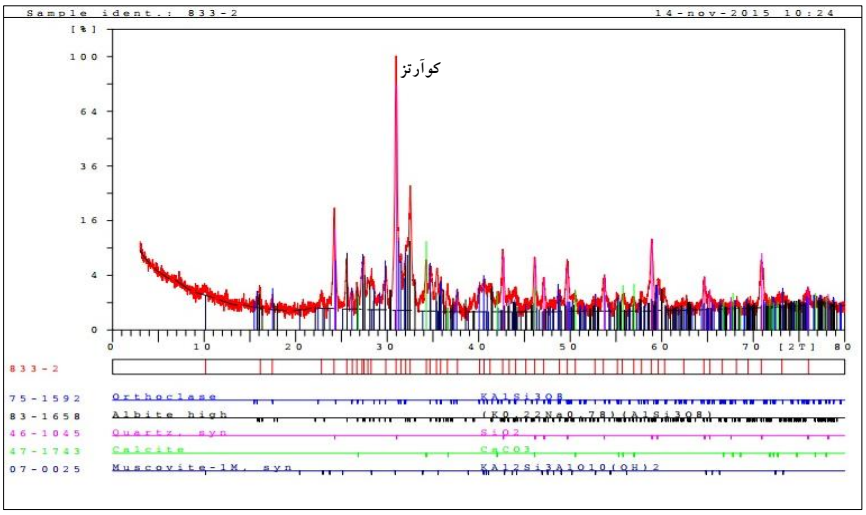
جدول ۱. نتایج بررسی‌های کانی‌شناسی و بافت نمونه سنگ‌ها

کد نمونه	نام سنگ	کانی شناسی		بافت سنگ	تصویر میکروسکپی
		تجزیهٔ XRD	مقطع نازک		
A	آندزیت	آندزین، فلدسپات، اُپال، دیوپسیت	پلاژیوکلاز، آمفیبول، کلینوپیروکسن	ریز بلور، متبلور	
T	توف	ارتوز، آلبیت، کوارتز، کلسیت، موسکویت	کلسیت و کوارتز ثانویه، زمینه شیشه	بافت شیشه‌ای آتشفشانی	
G	گرانیت	کوارتز، آلبیت، موسکویت، ارتوز	کوارتز، بیوتیت، فلسپات، سریسیت	بافت بلورین، درشت بلور	

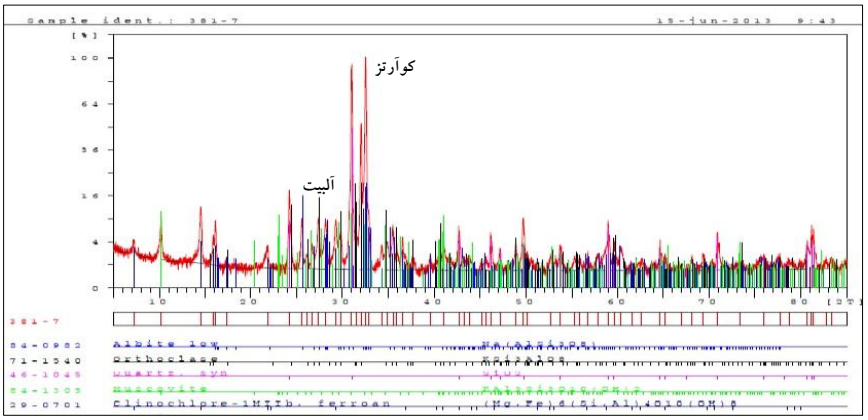


شکل ٤. نمودار XRD تهیه شده برای نمونهٔ آندزیت

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.3.2.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.3.391]



شکل ۵. نمودار XRD تهیه شده برای توف

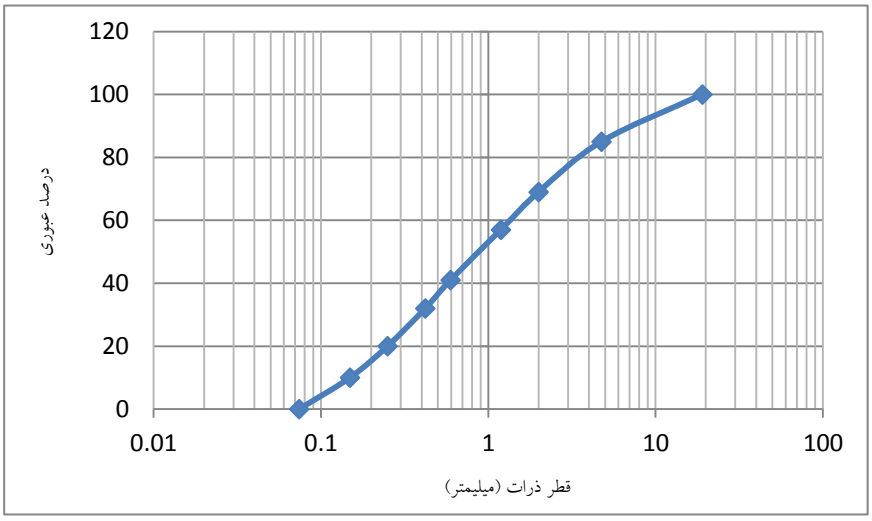


شکل ٦. نمودار XRD تهیه شده برای گرانیت

ماده چسباننده

ماده چسبانندهای که در این تحقیق برای ساخت سنگ‌های مصنوعی استفاده شد از نوع رزین پلی‌استر غیراشباع بوده است. به‌منظور افزایش قابلیت گیرش رزین از ۰/۹۲٪ هاردنر که شامل ۰/۲۵ درصد کبالت و ۰/۷۵ درصد پراکسید است، استفاده شد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.3.2.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.3.391]



شکل ۷. نمودار دانه‌بندی استفاده شده برای ساخت سنگ‌های مصنوعی

روش ساخت نمونه‌ها

نمونه‌های خردشده و دانه‌بندی شده پس از ترکیب با رزین به نسبت ۸۵٪ به ۱۵٪، با استفاده از مخلوط‌کن، در داخل قالب ریخته شده و به‌مدت ۲٤ ساعت تحت اعمال فشاری معادل ۱۲مگاپاسکال قرار گرفت. نمونه‌ها پس از خروج از قالب به‌مدت ۱ هفته در محیط آزمایشگاه قرار گرفتند تا کاملاً خشک گردند. به‌منظور انجام آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی از نمونه‌های خشک شده مغزه‌هایی با اندازه‌های استاندارد برای هر آزمایش تهیه شد.

آزمایش‌های انجام شده

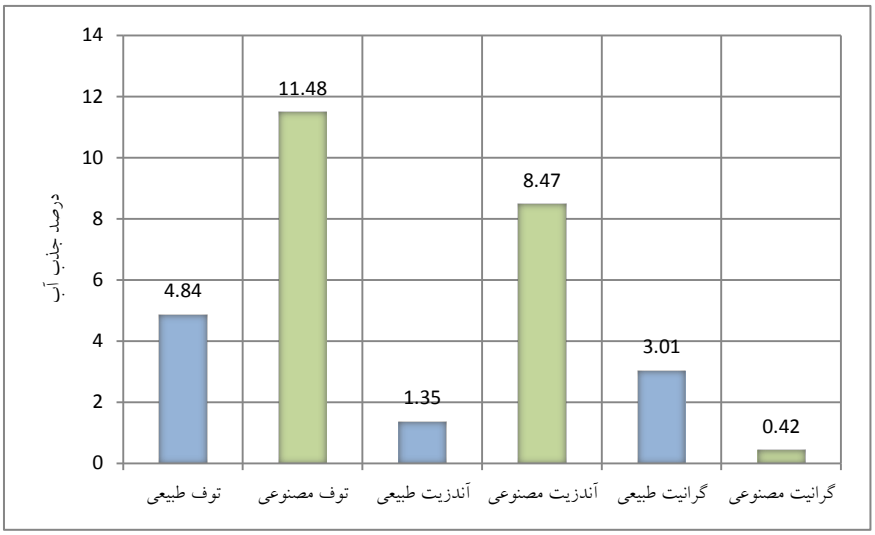
به‌منظور تعیین خصوصیات مهندسی نمونه‌های سنگ مصنوعی و مقایسه نتایج با خصوصیات سنگ طبیعی، مجموعه‌ای از آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی مطابق استانداردهای تعریف شده روی آن‌ها انجام گرفت. این آزمایش‌ها شامل تعیین خصوصیات فیزیکی [۱۲]، آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری [۱۳]، آزمایش بارگذاری نقطه‌ای [۱٤]، آزمایش مقاومت کششی برزیلین [۱۵]، آزمایش سلامت سنگ [۱٦] و تهیه تصاویر میکروسکوپ الکترونیکی (SEM) می‌شود.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.3.2.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.3.391]

بررسی نتایج آزمایش‌ها

هر یک از آزمایش‌های مذکورروی نمونه‌های سنگ طبیعی و مصنوعی و هرکدام برای سه بار انجام گرفت. نتایج به‌دست آمده بدین‌شرح بررسی می‌شوند:

درصد جذب آب: مقایسهٔ نتایج درصد جذب آب برای نمونه‌های سنگ در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به ماهیت متخلخل سنگ توف طبیعی، بیش‌ترین درصد جذب آب در این نوع سنگ دیده می‌شود. نمونه سنگ‌های آندزیت و گرانیت با توجه به بلورین بودن ساختمان آن‌ها درصد جذب آب کم‌تری را نشان می‌دهند. درصد جذب آب در سنگ‌های مصنوعی تولید شده از سنگ توف و آندزیت به‌ترتیب به‌میزان ۱۳۷٪ و ۵۲۷٪ بیش از نمونه سنگ طبیعی هستند و در گرانیت به میزان ۸۶٪ کم‌تر از درصد جذب آب سنگ طبیعی است.



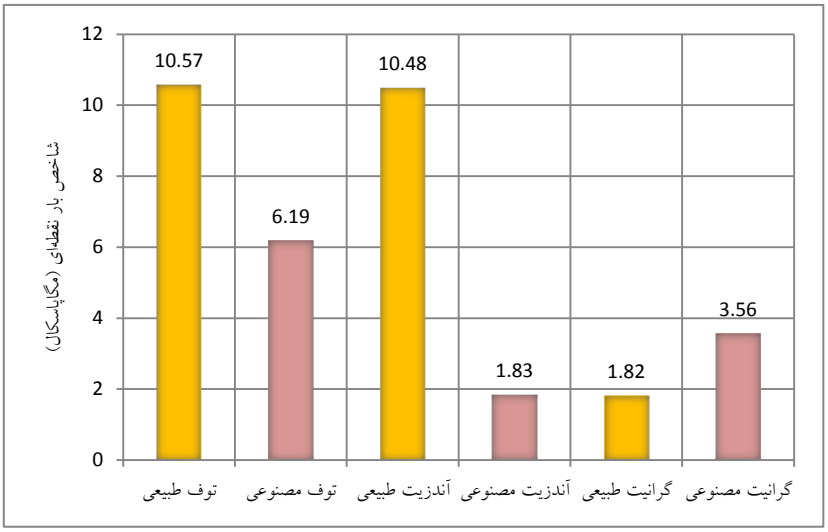
شکل ۸ مقایسهٔ جذب آب در سنگ‌های طبیعی و مصنوعی

شاخص بار نقطه‌ای: نتایج آزمایش بار نقطه‌ای نمونه سنگ‌های طبیعی و مصنوعی در شکل ۹ ارائه شده است. شاخص بار نقطه‌ای برای نمونه سنگ‌های طبیعی توف، آندزیت در مقایسه با نمونه‌های مصنوعی مقادیر بیش‌تری را نشان می‌دهند. افت شاخص در نمونه‌های مصنوعی این سنگ‌ها به‌ترتیب ۴۲٪ و ۸۳٪ است. در مقابل شاخص بار نقطه‌ای در نمونه سنگ مصنوعی گرانیت نسبت به نمونه طبیعی بیش‌تر است و ۹۵٪ افزایش ارزش را نشان می‌دهد

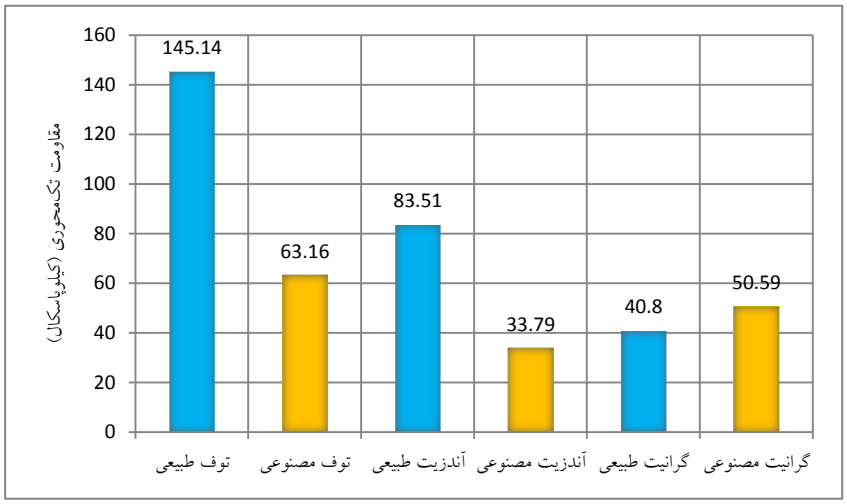
مقاومت تراکم **تک‌محوری:** نتایج آزمایش مقاومت تراکم تک‌محوری نمونه‌های سنگ در شکل ۱۰

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.3.2.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.3.391]

نشان داده شده‌اند. نتایج این آزمایش همانند مورد قبل روند کاهشی را برای نمونه سنگ‌های مصنوعی توف و آندزیت و روند افزایشی را برای سنگ مصنوعی گرانیت نشان می‌دهد. افت ارزش برای سنگ‌های توف و آندزیت به‌ترتیب ۵۶٪ و ۶۰٪ و افزایش ارزش برای سنگ گرانیت ۲۴٪ را نمایان می‌سازد.



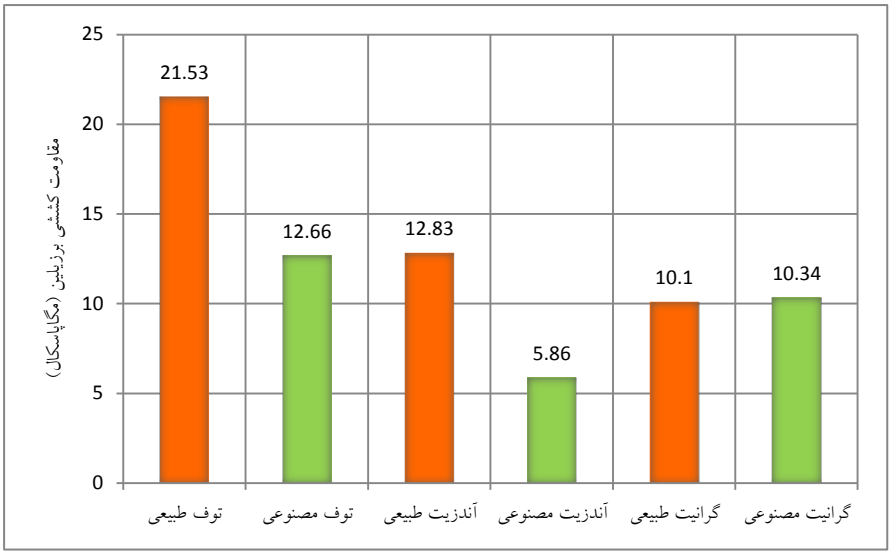
شکل ۹. مقایسهٔ شاخص بار نقطه‌ای در سنگ‌های طبیعی و مصنوعی



شکل ۱۰. مقایسهٔ مقاومت تراکم تک‌محوری در نمونه‌های سنگ طبیعی و مصنوعی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.3.2.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.3.391]

مقاومت کششی برزیلین: نتایج آزمایش مقاومت کششی برزیلین برای نمونه سنگ‌های طبیعی و مصنوعی در شکل ۱۱ ارائه شده است. نتایج این آزمایش نیز کاهش ارزش مقاومت کششی در نمونه‌های مصنوعی تولید شده از توف و آندزیت را نسبت به نمونه‌های طبیعی نشان می‌دهد. میزان این کاهش برای سنگ‌های مصنوعی توف و آندزیت به‌ترتیب ۴۱٪ و ۵۴٪ است. درصورتی‌که افزایش ارزش این شاخص برای گرانیت فقط ۲٪ به ثبت رسیده است.



شکل ۱۱. مقایسهٔ مقاومت کششی برزیلین در نمونه‌های سنگ طبیعی و مصنوعی

آزمایش سلامت سنگ: یکی از شیوه‌های ارزیابی استحکام و دوام سنگ انجام آزمایش سلامت است. این آزمایش مطابق استاندارد ASTM C88-13 [۱۶] صورت می‌پذیرد که در آن سنگدانه‌هایی از نمونه سنگ برای هر سیکل به‌مدت ۲۴ ساعت در معرض محلول سولفات منیزیم قرار می‌گیرند. میزان اختلاف وزن نمونه پیش و پس از هر سیکل نسبت به وزن اولیه به‌عنوان افت وزنی محاسبه شده و بر اساس آن دوام و سلامت سنگ سنجیده می‌شود. در این تحقیق نمونه‌های سنگ طبیعی و مصنوعی مورد این آزمایش و برای ۱۰ سیکل قرار گرفتند. نتایج به‌دست آمده در نمودارهای شکل ۱۲ نشان داده شده‌اند. با بررسی نمودارها می‌توان این موارد را نتیجه گرفت:

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.3.2.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.3.391]

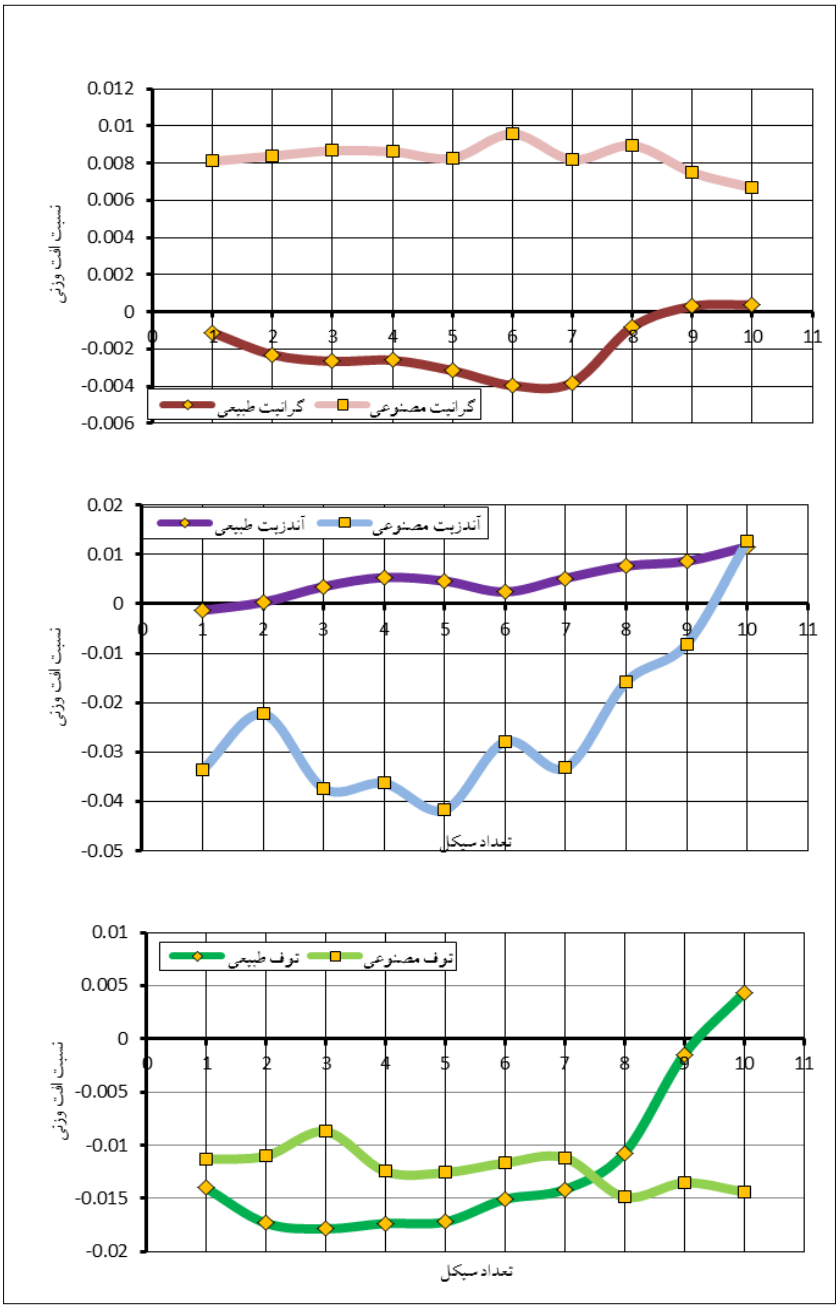
۱. افت وزنی نمونه سنگ مصنوعی توف نسبت به سنگ طبیعی متغیر، برای سنگ مصنوعی آندزیت بیش‌تر و برای سنگ مصنوعی گرانیت کم‌تر از نمونه سنگ‌های طبیعی هستند.
۲. کاهش افت وزنی در سنگ گرانیت مصنوعی به‌دلیل نفوذ رزین درون فضاهای خالی و ایجاد پیوستگی بیش‌تر ساختمان سنگ است.
۳. افزایش افت وزن در نمون سنگ مصنوعی آندزیت و متغیر بودن آن در نمونه سنگ مصنوعی توف به‌دلیل حضور فضاهای خالی بیتر و عدم نفوذ مناسب رزین درون فضای بین درون بوده است.
٤. این امر منعکس‌کنندهٔ ماهیت ذاتی و درونی سنگ گرانیت است که شرایط سرد شدن تدریجی و بافت منسجم بلورین را نشان می‌دهد. در این حالت امکان نفوذ محلول درون ساختمان سنگ کم‌تر بوده و واکنش‌های صورت گرفته به‌مراتب کم‌تر از دو نمونه دیگر است.

تصاویر الکترونیکی نمونه‌ها (SEM): به‌منظور بررسی بافت سنگ و میزان نفوذ رزین در میان سنگ‌دانه‌ها در نمونه‌های سنگ مصنوعی و مقایسهٔ آن با نمونه‌های سنگ طبیعی، از فناوری میکروسکوپ الکترونیکی (SEM) استفاده شد. نمونه‌هایی از تصاویر برداشت شده با بزرگ‌نمایی ۳ میکرون در شکل ۱۳ نشان داده شده‌اند. هرچند بررسی این تصاویر نیاز به تجربه و تخصص لازم دارند، ولی با نگاه کلی می‌توان به این‌موارد اشاره کرد:

۱. حضور مواد رزین در سنگ مصنوعی به‌صورت رشته‌های نواری در سنگ توف و ذرات منفصل چسبیده به دانه‌های درشت گرانیت و آندزیت کاملاً مشهود است.
۲. حجم فضاهای خالی در سنگ توف و آندزیت به‌مراتب بیش‌تر از حجم آن در سنگ گرانیت است و از آن‌جاکه نسبت اختلاط رزین برای همهٔ نمونه‌ها ثابت و به مقدار ۱۵٪ است در نتیجه حضور رزین در سنگ‌های توف و آندزت کم‌تر از گرانیت است. بنابراین تأثیر چسبندگی رزین در این سنگ‌ها (توف و آندزیت) در مقایسه با گرانیت کم‌تر است.

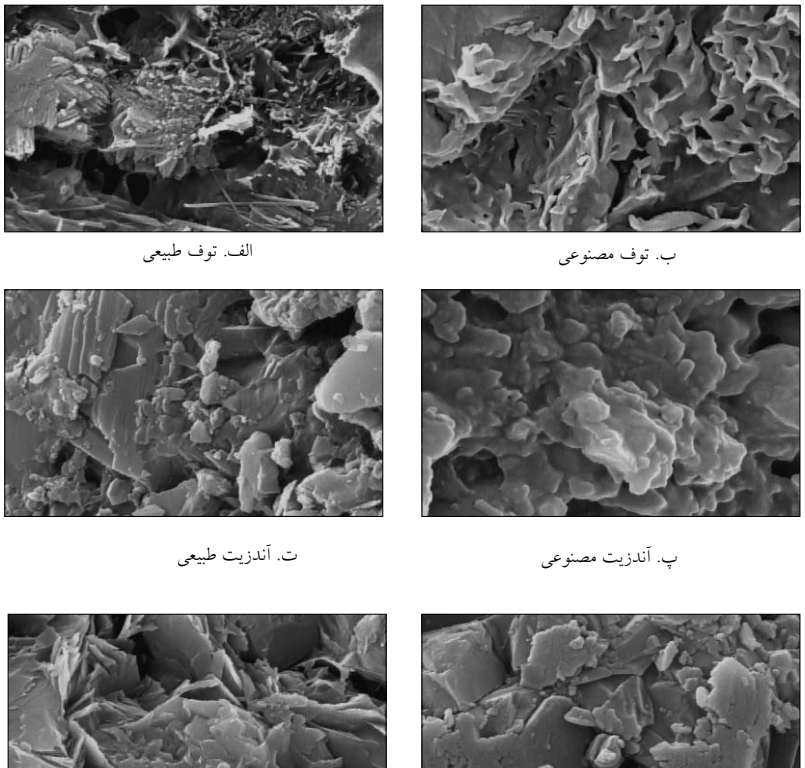
یک‌نواختی بافت و دانه‌بندی ذرات در سنگ گرانیت در مقایسه با دو سنگ توف و آندزیت بیش‌تر است درنتیجهٔ عملکرد گرانیت مصنوعی تولید شده از نظر خصوصیات مهندسی نسبت به دو نمونهٔ سنگ مصنوعی دیگر بهتر بوده است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.3.2.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.3.391]



شکل ۱۳. نمودارهای نسبت افت وزنی در نمونه‌های سنگ طبیعی و مصنوعی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.3.2.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.3.391]



شکل ۱۳. تصاویر SEM برای نمونه‌های سنگ طبیعی و مصنوعی با بزرگ‌نمایی ۳ میکرون

بحث و بررسی

خلاصه نتایج آزمایش‌های انجام شده در جدول ۲ ارائه شده است. با مروری به نتایج می‌توان چنین بیان داشت که نمونه سنگ گرانیت مصنوعی همهٔ شاخص‌های مطلوب برای یک سنگ ساختمانی را کسب کرده است. بدین‌ترتیب که درصد جذب آب و افت وزنی آن در مقایسه با سنگ گرانیت طبیعی کم‌تر، در مقابل، شاخص بار نقطه‌ای، مقاومت تراکم

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.3.2.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.3.391]

تک‌محوری و مقاومت کششی برزیلین نسبت به سنگ طبیعی بیش‌تر است. مشاهدات تصاویر الکترونیکی SEM نیز همگنی بیش‌تری بین رزین و سنگدانه‌ها را نشان می‌دهد. درصورتی‌که سنگ‌های توف و آندزیت مصنوعی شاخص‌های مطلوبی نسبت به سنگ طبیعی را به‌دست نیاورده‌اند. از طرفی میزان جذب آب آن‌ها بیش‌تر شده و از طرفی دیگر شاخص‌های مقاومتی آن‌ها نسبت به سنگ طبیعی کم‌تر شده است. میزان افت وزنی این دو نمونه سنگ متغیر است و تصاویر SEM آن‌ها فضای خالی بیش‌تر و عدم انسجام و تداخل رزین با سنگدانه‌ها را نشان می‌دهند.

جدول ۲. خلاصه نتایج آزمایش‌های انجام گرفته روی نمونه سنگ‌ها

نوع سنگ		درصد جذب آب	شاخص بار نقطه‌ای	مقاومت تراکم تک‌محوری	مقاومت کششی برزیلین	افت وزنی (سیکل ۵)
سنگ توف	طبیعی	٤/٨٤	١٠/٥٧	١٤٥	٢١/٥٣	-٠/٠١٧٢
	مصنوعی	١١/٤٨	٦/١٩	٦٣	١٢/٦٦	-٠/٠١٢٦
میزان تغییرات		▲	▼	▼	▼	▼
سنگ آندزیت	طبیعی	١/٣٥	١٠/٤٨	٨٤	١٢/٨٣	٠/٠٠٤٦
	مصنوعی	٨/٤٧	١/٨٣	٣٤	٥/٨٦	-٠/٠٤١٧
میزان تغییرات		▲	▼	▼	▼	▲
سنگ گرانیت	طبیعی	٣/٠١	١/٨٢	٤١	١٠/١٠	-٠/٠٠٣٢
	مصنوعی	٠/٤٢	٣/٥٦	٥١	١٠/٣٤	٠/٠٠٨٣
میزان تغییرات		▼	▲	▲	▲	▼

نتیجه‌گیری

با تهیه سه نمونه سنگ مصنوعی از سنگدانه‌های سه نمونه سنگ طبیعی توف، آندزیت و گرانیت و انجام آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی و بررسی خصوصیات کانی‌شناسی و بافتی سنگ این نتایج به‌دست آمد:

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.3.2.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.3.391]

- پژوهش‌های کانی‌شناسی از طریق میکروسکوپ پلاریزه و تجزیهٔ پرتوسنجی XRD نشان دادند که بافت دو سنگ توف و سنگ دربرگیرندهٔ کانی‌های ناپایدار مانند اُپال و مواد شیشه‌ای (آمورف) در کنار دیگر کانی‌ها است و بافت سنگ‌ها ریز بلور و دربرگیرندهٔ فضاهای خالی فراوان هستند. در مقابل سنگ گرانیت عمدتاً دربرگیرندهٔ کانی‌های کوارتز، فلدسپات و بیوتیت بوده و بافت سنگ دارای ساختمان بلورین منسجم است.
- نمونه‌های سنگ گرانیت مصنوعی همهٔ شاخص‌های مطلوب را نسبت به سنگ گرانیت طبیعی کسب کرده است. بدین‌ترتیب که درصد جذب آب و افت وزنی آن کاهش یافته، در مقابل، شاخص بار نقطه‌ای، مقاومت تراکم تک‌محوری و مقاومت کششی برزیلین افزایش را نشان می‌دهد. درصورتی‌که سنگ‌های توف و آندزیت مصنوعی شاخص‌های مطلوبی نسبت به سنگ طبیعی را به‌دست نیاورده‌اند. از طرفی میزان جذب آب آن‌ها بیش‌تر شده و از طرفی دیگر شاخص‌های مقاومتی آن‌ها نسبت به سنگ طبیعی کم‌تر شده است. میزان افت وزنی این دو نمونه سنگ نیز شرایط متغیری را نشان می‌دهند.
- تصاویر الکترونیکی SEM گرفته شده از نمونه سنگ گرانیت مصنوعی همگنی مناسبی بین رزین و سنگ‌دانه‌ها را در مقایسه با سنگ گرانیت طبیعی نشان می‌دهد. درصورتی‌که تصاویر SEM نمونه‌های سنگ مصنوعی آندزیت و توف نشان از وجود فضاهای خالی پر نشده و مواد رزین پراکنده را منعکس می‌کنند.

بدین‌ترتیب نتیجه‌گیری می‌شود که نمونه سنگ مصنوعی تهیه شده از سنگ‌دانه‌های سنگ گرانیت از نظر خصوصیات کانی‌شناسی، فیزیکی و مهندسی در مقایسه با دو سنگ آندزیت و توف مناسب‌تر است.

منابع

۱. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نقشهٔ زمین‌شناسی قزوین، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (۱۳۷۷).

۲. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نقشهٔ زمین‌شناسی تهران، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (۱۳٦۸).

۳. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نقشهٔ زمین‌شناسی همدان، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (۱۳٥٦).

٤. مقررات ملی ساختمان ایران، دفتر امور مقررات ملی ساختمان، مبحث پنجم (۱۳۸۸).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.3.2.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.3.391]

5. Quantum-Quartz, www.wk.com.au/quantumquartz_technical_info_pdf (2013).

6. Technistone, www.technistone.eu/en/index (2013).

7. Caesarstone,http://www.caesarstoneus.com/en/About-Us/Pages/Company-Info.aspx (2016)

8. Sakai T., "Artificial stone composition and method of manufacturing artificial stone", Doppel Co. "Ltd" Tokyo, Japan, Patent Number: 6, 127, 458 (2000).

9. Lee M., Ko C., Chang F., Lo S., Lin J., Shan M., Lee J., "Artificial stone slab production using waste glass, stone fragment and vacuum vibratory compaction", Cement and Concrete Composition, vol.30 (2008) 583-587 Elsevier.

10. Hamoush S., Abu-Lebdeh T., Picornell M., Amer S., "Development of sustainable engineered stone cladding for toughness", durability, and energy conservation. Constr. Build. Mater (2011). https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.035.

11. ASTM C136-01., "Standard Test Method for sieve analysis of fine and coarse aggregates" (2004).

12. ASTM D7370., "Standard Test Method for Determination of Relative Density and Absorption of Fin", Coarse and Blended Aggregate Using Combined Vacuum saturation and Rapid Submersion (2009).

13. ASTM D2938-95., "Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens" (2004).

14. ASTM D 5731-95., "Standard Test Method for Determination of the

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.3.2.0]

[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.3.391]

Point Load Strength Index of Rock (2004).

15. ASTM D 3967-95a., Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens" (2004).
16. ASTM C88-13., "Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate", (2004).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.3.2.0]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.3.391]