[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]
[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]

بررسی تأثیر ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی سنگ‌دانه‌های کربناته روی ویژگی‌های سنگ‌های مصنوعی

طیبه میرجلیلی، ماشااله خامه‌چیان*، محمدرضا نیکودل؛
دانشگاه تربیت مدرس، گروه زمین‌شناسی مهندسی

تاریخ: دریافت ۹۷/۱۰/۱۹ پذیرش ۹۸/۱۰/۲۱

چکیده

هدف این تحقیق بررسی تأثیر ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی سنگ‌دانه‌های کربناته روی ویژگی‌های سنگ‌های مصنوعی با سیمان غیررزینی و سپس مقایسه ویژگی‌های مهندسی سنگ‌های مصنوعی ساخته شده با سنگ‌های طبیعی است. در این تحقیق به‌منظور بررسی تأثیر ویژگی‌های سنگ‌دانه‌های کربناته بر سنگ‌مصنوعی از ۷ نمونه سنگ ساختمانی شامل سنگ‌چینی (مرمریت ریزبلور)، مرمر کریستال (مرمریت درشت بلور)، مرمریت (نهان بلور)، سنگ آهک سیاه، ۲ نمونه تراوراتن و انیکس استفاده شده است. از این نمونه‌های سنگی، ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی نمونه‌ها تعیین شد. پس از طراحی قالب برای ساخت سنگ‌مصنوعی، سنگ‌دانه‌هایی با دانه‌بندی و طرح اختلاط یک‌سان تهیه و برای تمامی سنگ-دانه‌ها با شرایط ویبره، فشار و خلأ یکسان، دو نمونه سنگ‌مصنوعی درشت‌دانه و ریزدانه ساخته شده است. بعد از ساخت، اقدام به انجام آزمایش‌های فیزیکی، مقاومتی و دوام شد و سپس نتایج حاصل مقایسه شد. بررسی نتایج پارامترهای مهندسی نشان داد سنگ‌های مصنوعی تراورتن حجت‌آباد دارای کیفیت مهندسی مشابه نسبت به سنگ طبیعی خود دارند. سنگ‌های مصنوعی مرمر و تراورتن توران‌پشت حدود ۱۱ تا ۳۲ ٪ افزایش کیفیت و ولی سنگ‌های مصنوعی سنگ‌چینی، آهک سیاه، انیکس و مرمریت حدود ٦ تا ۳۳ ٪ کاهش کیفیت نسبت به سنگ طبیعی خود دارند نمونه‌های تولید شده از این سنگ‌ها نیز اگرچه از

*نویسنده مسئول khamechm@modares.ac.ir

نظر پارامترهای مقایسه‌ای سنگ‌مصنوعی کم‌تر از سنگ طبیعی است اما در محدودهٔ قابل قبول به‌عنوان مصالح ساختمانی قرار می‌گیرند.

واژه‌های کلیدی: ویژگی‌های زمین شناسی مهندسی، سنگ ساختمانی، سنگ‌مصنوعی، سنگ‌دانه، کربناته.

مقدمه

با توجه به تنوع مصالح ساختمانی و استفاده وسیع از معادن سنگ طبیعی و تولید ضایعات معدنی غیرقابل استفاده لازم است که از این ضایعات معدنی مجدداً استفاده شود. یکی از این روش‌ها برای استفاده مجدد از ضایعات معدنی، ساخت سنگ‌مصنوعی و کاربرد آن به‌عنوان مصالح ساختمانی است. ضایعات معدنی را می‌توان به‌عنوان مواد باقی‌مانده، باطله‌ها و یا مواد بی‌ارزشی که بعد از استخراج و فرآوری مواد برای تولید محصول با ارزش به‌وجود می‌آیند در نظر گرفت [۱]. از ضایعات سنگ ساختمانی طبیعی و بلوک‌های کیفیت کم معدن در تولید سنگ‌مصنوعی می‌توان استفاده کرد. به‌علت فشردگی در فرایند ساخت، سنگ‌های مصنوعی دارای تخلخل ناچیز، درصد کم جذب آب، مقاومت مکانیکی و دوام زیاد دارند، سنگ‌های مصنوعی، مصالح ساختمانی همگن، سالم و زیبایی هستند که کاربرد گسترده‌ای در بخش ساخت و ساز ساختمان دارند [۲]. با توجه به‌ویژگی‌های ذکر شده، استفاده از سنگ مصنوعی برای پوشاندن دیوارها و سقف‌ها با استقبال بازار مواجه شده است [۳].

تکنولوژی تولید سنگ مصنوعی از سال ۱۹٦۰ در ایتالیا پدید آمد و پژوهش‌گران زیادی دربارهٔ استفاده از مواد زاید معدن برای ساخت سنگ مصنوعی [۱۳]، [۱٤]، [۱۵]، طراحی سیستم قالب‌گیری خط تولید سنگ مصنوعی [۱٦] و هم‌چنین تأثیر سنگ‌دانه‌ها کربناته و سیلیسی در کیفیت سنگ مصنوعی [۷]، [۸]، [۹]، [۱۰]، ویژگی‌ها و ساخت سنگ مصنوعی رزینی[۳]، [٤]، تأثیر نوع رزینی و مواد افزودنی در ساخت سنگ‌مصنوعی رزینی [۵]، [٦]، بررسی تکنیک های ساخت سنگ مصنوعی اصلاح شده (سنگ مهندسی) پایدار برای سختی، دوام، و حفاظت از انرژی [۱۱]، استفاده از سنگ مصنوعی برای ترمیم عناصر سنگی در بناهای تاریخی [۱۲] تحقیقاتی ارائه کردند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]
[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]

[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]

سنگ‌مصنوعی از ترکیب سنگ‌دانه‌های طبیعی با مواد افزاینده دیگر به‌دست می‌آید. این سنگ‌ها از ترکیب سنگ‌دانه‌های سنگ‌های ضایعاتی، پودرسنگ، چسباننده‌ها، رنگ‌دانه‌ها و افزودنی‌ها ساخته می‌شوند. سنگ‌دانه‌ها در اندازه‌های مختلف معمولا در حد ماسه هستند. انتخاب رنگ، جنس، اندازه و دانه‌بندی آن‌ها بستگی به سیمای سنگ و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی محصول دارد. رنگ‌دانه‌ها به‌همراه رنگ طبیعی سنگ‌دانه‌ها رنگ‌های جذاب زیبایی را به‌وجود می‌آورند. به‌عنوان چسباننده از چسب‌های ارگانیک (رزین‌های ساختاری) و هم چسباننده‌های غیرارگانیک (سیمان) استفاده می‌شود، البته هر چسباننده ویژگی‌های خاص خود را به محصول می‌دهد. افزودنی‌ها به مقاصد مختلف به مقدار بسیار کم به مخلوط اضافه می‌شوند. این سنگ‌ها در محیط خلأ فشرده و ویبره می‌شوند. عملیات مخلوط‌سازی تحت خلأ همراه با فشار و ویبره برای سنگ‌دانه‌ها این امکان را می‌دهد که بسیار نزدیک به هم قرار گرفته و بهترین آرایش مواد جامد مخلوط را داشته باشد، بنابراین مقدار مواد چسباننده که سنگ‌دانه‌ها را در بر می‌گیرد بسیار کاهش می‌یابد و این عاملی است که ویژگی‌های مهندسی سنگ را بهبود می‌بخشد [۱۷].

بدیهی است سنگ‌دانه‌ها، ماده متشکه‌ای که درصد بزرگی از سنگ‌مصنوعی را تشکیل می‌دهند، باید نقش مهمی در خواص زمین‌شناسی مهندسی سنگ‌مصنوعی داشته باشد پژوهش‌گران مختلفی در بارهٔ نقش سنگ‌دانه‌ها بر کیفیت مصالح بتنی تحقیقاتی ارایه کرده‌اند [۱۸]–[۲۵]. ولی این تحقیق توجه ویژه‌ای به تأثیر سنگ‌دانه سنگ‌های ساختمانی کربناته مختلف و اندازه آن‌ها روی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی سنگ‌های مصنوعی ساخته شده از هر یک از این سنگ‌دانه‌ها دارد. به‌منظور بررسی تأثیر ویژگی‌های مهندسی سنگ‌دانه‌های کربناته مختلف بر کیفیت سنگ‌مصنوعی، سنگ‌دانه‌هایی با خواص فیزیکی، دوام و مقاومت متفاوت گردآوری و به آزمایشگاه منتقل شده است. در ابتدا خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگ‌های انتخاب شده بررسی و تعیین شد. در مرحلهٔ بعد، سنگ‌های موجود به ذراتی در اندازه‌ی شن، ماسه و پودرسنگ خرد شده و سپس با استفاده از طرح اختلاط ثابتی از نمونه‌های موجود، ۲ نمونه سنگ مصنوعی ریزدانه و درشت‌دانه تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی سنگ‌های مصنوعی حاضر از قبیل دوام، مقاومت فشاری و کششی بعد از گذشت ۲۸ روز اندازه‌گیری شد. پس از به‌کارگیری و تعیین ویژگی‌های مهندسی سنگ مصنوعی

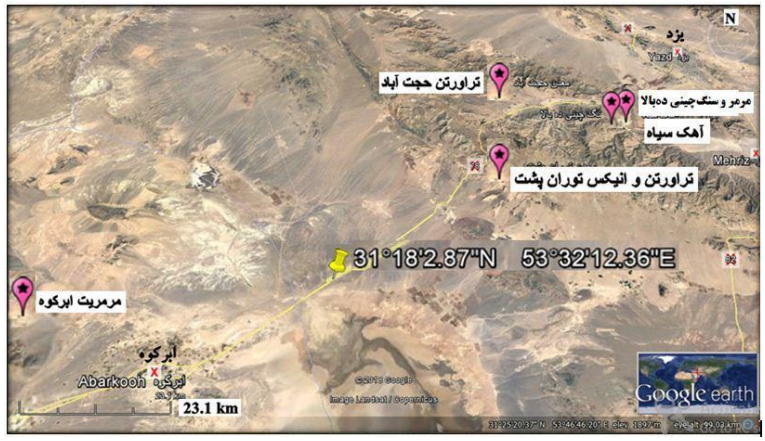
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]
[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]

ساخته شده و کسب پارامترهای لازم، تأثیر ویژگی‌های مهندسی سنگ‌دانه‌های کربناته بر ویژگی‌های سنگ‌های مصنوعی تهیه شده تفسیر و ارزیابی شد در نهایت ویژگی‌های مهندسی سنگ‌های مصنوعی ساخته شده با سنگ‌های طبیعی مقایسه شد [۱۰].

بررسی‌های آزمایشگاهی

۱. سنگ‌دانه‌ها

در ابتدا سنگ‌های ساختمانی کربناته مختلف از معادن جنوب‌غرب یزد گردآوری و به آزمایشگاه دانشگاه تربیت مدرس منتقل شد. در مرحلهٔ بعد ویژگی‌های فیزیکی، مقاومتی، دوام و سنگ‌شناسی سنگ‌های کربناته بررسی شد و سپس در آزمایشگاه با یک دستگاه سنگ‌شکن فکی (در اندازه‌های شن، ماسه و پودرسنگ) خرد شدند. محل نمونه‌برداری مصالح استفاده شده در شکل ۱ نشان داده شده است. از نظر شکل ظاهری سنگ‌دانه‌های خردشده در این تحقیق تیز گوشه و با سطح جانی زبر هستند. استفاده از سنگ‌دانه‌های تیز گوشه با سطح جانبی زبر، باعث درگیری و قفل و بست بهتر اجزا بتن شده و منجر به افزایش مقاومت فشاری می‌شود [۲٦]. بنابراین استفاده از سنگ‌دانه درشت با سطح خارجی کاملاً صاف منجر به مقاومت فشاری کم‌تری می‌شود [۲۷].



شکل ۱. منطقهٔ جغرافیایی بررسی شده در جنوب‌غرب یزد و محل‌های جمع‌آوری نمونه‌های مورد نظر (Google Earth)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]
[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]

۲. بررسی‌های میکروسکوپی سنگ‌های طبیعی کربناته

برای بررسی بافت و ویژگی سنگ‌شناسی، از نمونه‌ها مقطع نازک تهیه (شکل٤) و بررسی‌های میکروسکوپی انجام شد و نام‌گذاری نمونه‌ها به‌روش دانهام انجام شد [۲۸]. ویژگی کلی سنگ‌های ساختمانی با توجه به بررسی میکروسکوپی نشان داد ترکیب کانی‌شناسی از کربنات کلسیم ($CaCO3$) تشکیل شده است. سنگ‌های کربناته با توجه مزایای سنگ‌دانه (شامل استحکام خوب، احتمال کم واکنش قلیایی- سیلیس و انقباض خشک کننده در بتن) در صنعت ساخت و ساز کاربرد زیادی دارند [۲۹]. واکنش قلیایی- سیلیسی یک واکنش شیمیایی است که در بین برخی از سنگ‌دانه‌های سیلیکایی و محلول‌های قلیایی موجود در بتن رخ می‌دهد این واکنش سبب انبساط بتن شده و در نهایت نیز منجر به ترک خوردگی و کاهش ایمنی، عمر و مقاومت آن می‌شود [۳۰].

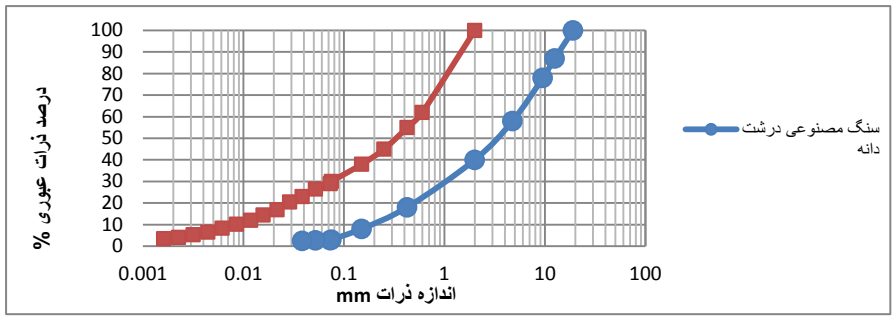
۳. منحنی دانه‌بندی سنگ‌دانه

منظور از دانه‌بندی، چگونگی توزیع قطر ذرات موجود در هر مخلوط بر حسب درصد وزنی است. توزیع اندازه ذرات عموماً به‌صورت یک منحنی به‌نام منحنی دانه‌بندی نشان داده می‌شود [۳۱]. با توجه به تنوع دانه‌بندی سنگ‌دانه‌های تولید شده از سنگ اولیه از نظر شکل و ابعاد هندسی و جهت یکسان کردن میزان تخلخل در آنها ضرورت دارد تا منحنی دانه‌بندی نمونه سنگ‌مصنوعی واحدی تهیه شده با نسبت یکسانی از سیمان مخلوط شود بدین‌ترتیب خصوصیات ترکیبی سنگ مصنوعی تهیه شده یک‌نواخت بوده و تنها عامل متغییر در آنها جنس سنگ‌دانه‌ها است. به‌منظور بررسی تأثیر اندازه سنگ‌دانه روی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی سنگ‌مصنوعی دو منحنی دانه‌بندی سنگ‌دانه برای ساخت سنگ‌های مصنوعی ریزدانه و سنگ‌های مصنوعی درشت‌دانه طبق استاندارد ASTM C 136-01 در نظر گرفته شد [۳۲].

٤. تعیین طرح اختلاط

طرح اختلاط سنگ‌مصنوعی به این مفهوم است که به چه نسبتی اجزاء سنگ‌مصنوعی (سیمان، آب، شن و ماسه) مخلوط شوند تا سنگ‌مصنوعی ساخته شده دارای ویژگی (از نظر رسیدن به مقاومت مورد نظر، تامین دوام کافی و کارائی و روانی مورد نظر) مشخصی شود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]
[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]



شکل۲. نمودار دانه‌بندی سنگ‌دانه برای ساخت سنگ‌مصنوعی ریزدانه و درشت‌دانه

ویژگی مقاومتی و دوام مستقیماً متأثر از توزیع درصد منافذ در خمیر سیمان، سنگ‌دانه و سطح مشترک بین خمیر سیمان و سنگ‌دانه است. از طرف دیگر ساختار منافذ و نحوهٔ توزیع آنها متأثر از عوامل متعددی است که یکی از آنها عیار سیمان موجود در مخلوط است. بنابراین عیار سیمان نقش بسیار مهمی را در مقاومت و دوام ایفا می‌کند [۳۳]. مقدار سیمان زیاد باعث افزایش حجم خمیر سیمان می‌شود که مهم‌ترین عامل تخلخل است که باعث افزایش حجم کل منافذ می‌شود [۳٤]. اگر سیمان موجود در مخلوط کافی نباشد، مخلوط بعد از ساخت به درستی متراکم نمی‌شود و بافتی لانه زنبوری با سایر معایب سطحی در آن به وجود می‌آید که موجب تسهیل راه یابی عوامل آسیب رسان به درون آن می‌شود [۳۵]. مقاومت فشاری با کاهش نسبت آب به سیمان افزایش می‌یابد. که بیش‌ترین مقاومت‌ها در نسبت‌های آب به سیمان کم و زمان ۲۸ روز بعد از ساخت حاصل می‌شود [۳٦]. مقاومت فشاری علاوه بر نسبت آب به سیمان، نیز به اندازه سنگ‌دانه‌ها بستگی دارد [۳۷]. کارائی و روانی مخلوط تنها به مقدار آب بستگی دارد. مقدار آب به نوع دانه‌ها، توزیع اندازه ذرات، شکل و بافت دانه‌ها، و مقدار ریز دانه بستگی دارد [۳۸]. پودر سنگ برای تولید سنگ مصنوعی در مقایسه با سنگ‌دانه‌های به‌کار رفته در مخلوط دارای سطح بیش‌تر و در نتیجه مقدار جذب آب زیادی دارد، با فشرده کردن مواد مخلوط می‌توان مقدار آب مورد نیاز را حداقل کرد [۳۹]. ویژگی‌های مهندسی سنگ‌مصنوعی به‌ویژگی‌های فیزیکی مواد پرکننده [۲]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]
[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]

و واکنش‌های سطحی و جذب آب سنگ‌مصنوعی به ترکیب شیمیایی، انـدازهٔ ذرات و میـزان پودر سنگ بستگی‌دارد [٤٠].

سیمان پرتلند، سیمان سفید و سیمان‌های رنگی در ساخت سنگ مصنوعی کاربرد دارنـد، در این تحقیق ساخت سنگ‌مصنوعی با سیمان سفید مدنظر بود تا رنگ طبیعی سنگ‌دانه‌ها در متن سنگ نمایان شود بنابراین سیمان استفاده شده در این تحقیق از نوع سیمان سفید (بـه‌نـام سیمان سفید دماوند تولید کارخانه سیمان شمال) است. این نوع سیمان با مشخصات تیپ یـک (سیمان معمولی) و تیپ سه (سیمان زود سخت شونده) مطابقت دارد. برای تولید آن از مـواد خام دارای آهن و منگنز کم استفاده می‌شود تا رنگ سفید خالص برای آن به‌دست آیـد [٤١]. این نوع سیمان هم‌چنین دارای این مزیت است که سطح بتن را لکه‌دار نمی‌کنـد زیـرا مقـدار قلیایی قابل حل آن کم است و عموماً مقاومت سیمان پرتلند سـفید کـم‌تـر از سـیمان پرتلنـد معمولی است [٤٢].

جدول۱. طرح اختلاط سنگ مصنوعی درشت‌دانه و ریزدانه با نسبت آب به سیمان ۰/٤٥ [۱۰]

نام نمونه	سیمان (kg/m^3)	آب (kg/m^3)	ماسه (kg/m^3)	شن (kg/m^3)	پودرسنگ(kg/m^3)
سنگ‌مصنوعی درشت دانه	۴۲۵	۱۹۰	۶۳۸/۴۱	۱۰۵۵/۳۹	۵۲/۳۸
سنگ‌مصنوعی ریزدانه	۴۵۰	۲۰۵	۸۲۱/۸۲	۰	۳۶۹/۲۲

در این تحقیق برای انتخاب طرح اختلاط سنگ‌مصنوعی سعی شده است بر اساس روش آئین‌نامهٔ ACI-211 سال ۲۰۰۷ [٤٣] (جدول۱) طرحی انتخاب شود که برای سنگ مصـنوعی قابل کاربرد باشد. زیرا در بحث عملکرد تأثیر سنگ‌دانه‌ها در ویژگی سنگ مصـنوعی بررسـی شده، ثابت بودن نسبت آب به سیمان حائز اهمیت است. این طرح انتخـابی بـر اسـاس یـک طرح تجربی و بیش‌تر به‌منظور امکان ساخت سنگ مصنوعی بوده اسـت در جـدول ۱ طـرح اختلاط نمونه‌ها برای ساخت سنگ مصنوعی درشت‌دانـه و ریزدانـه نشـان داده شـده اسـت. فشار تراکمی، ویبره و خلأ، از عوامل مؤثر در تکنولـوژی سـاخت سـنگ مصـنوعی و باعـث بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی است. علاوه بر فشار تراکمی زیاد، ویبره هم لازم است، تا دانه‌ها با دقت بیش‌تر فشرده شوند، در هنگام متراکم کردن، هوای محبوس شده بین سنگ-دانه‌ها را به‌راحتی نمی‌توان حذف کرد، فقط زمانی که تراکم و خلأ هم‌زمان با هم انجام شـود هوای بین سنگ‌دانه‌ها را می‌توان به‌راحتی حذف کرد. حذف کردن هـوا باعـث جلـوگیری از

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]
[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]

تشکیل خلل و فرج بین سنگ‌دانه‌ها و کاهش جذب آب شده، در نتیجه مقاومت فشاری سنگ مصنوعی افزایش می‌یابد [٤].

۵. روش ساخت نمونه‌ها

برای ساخت سنگ مصنوعی درشت‌دانه و ریزدانه، بر اساس طرح اختلاط آئین‌نامهٔ ACI-211 با توجه به جدول ۱، سنگ‌دانه، پودرسنگ و سیمان سفید با هم مخلوط شده [٤۳]. و سپس مخلوط با مقدارآب مورد نیاز مرطوب و در درون قالب فلزی مکعبی با سطح داخلی ۱۵×۱۵ cm و ارتفاع ۱۵cm ریخته و ویبره شده و در مرحلهٔ بعد مخلوط تحت فشار معادل ۱۵/۵ Mp همراه با خلأ قرار گرفت است. بعد از ساخت نمونه از قالب خارج و برای عمل‌آوری در درون پلاستیک در دمای اتاق تا ۲۸ روز قرار گرفت. چنان‌که در شکل ۳ و ٤ (تصاویر ماکروسکوپی و میکروسکوپی) مشاهده می‌شود از هر نوع سنگ‌دانه سنگ کربناته طبیعی، ۲ نمونه سنگ مصنوعی ریزدانه و درشت دانه در آزمایشگاه ساخته شده است.

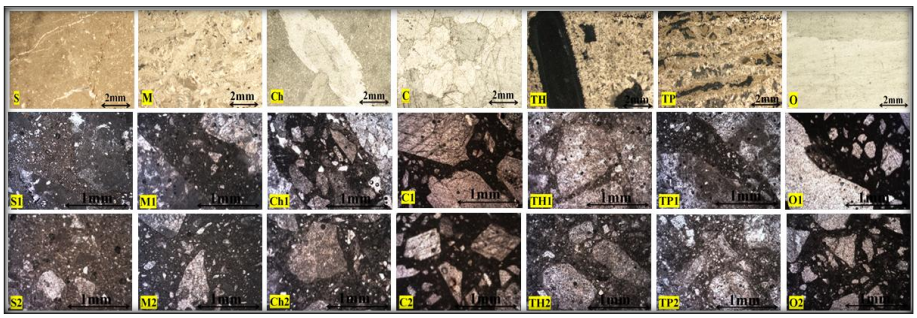
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]
[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]
[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]

شکل۳. سنگ مصنوعی ریزدانه و درشت‌دانه ساخته شده از ۷ نوع سنگ‌دانه سنگ ساختمانی کربناته

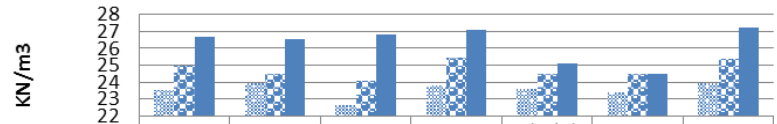
٦. آزمایش های انجام شده

با توجه به نتایج آزمایش شکل‌های ۵ تا ۱۰، آزمایش‌های گوناگونی پس از کرگیری برای تعیین ویژگی‌های مهندسی سنگ‌های مصنوعی ساخته شده و سنگ‌های طبیعی اولیه انجام شد که می‌توان به بررسی‌های میکروسکوپی، آزمایش مقاومت تراکمی تک‌محوری (ASTM D2938)، مقاومت کششی برزیلین (ASTM D3967) و دوام وارفتگی (ASTM D4644 – 08) اشاره کرد. برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی از روش استاندارد (ISRM, 1981) استفاده شده است [٤٤]–[٤٧].



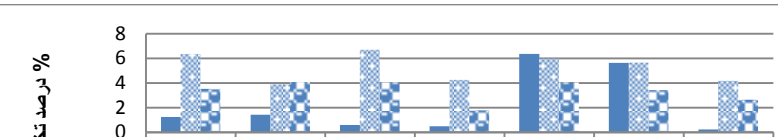
شکل٤. تصاویر میکروسکوپی از مقاطع سنگ‌طبیعی (ردیف اول)، سنگ مصنوعی درشت‌دانه (شمارهٔ ۱) و ریزدانه (شمارهٔ ۲) ساخته شده از ۷ نوع سنگ‌دانه سنگ ساختمانی کربناته شامل: انیکس (O) و تراورتن توران‌پشت(TP)، تراورتن کرم حجت‌آباد(TH)، سنگ‌چینی(Ch)، مرمر(C) و سنگ آهک سیاه ده‌بالا (S)، مرمریت ابرکوه(M)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]
[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]



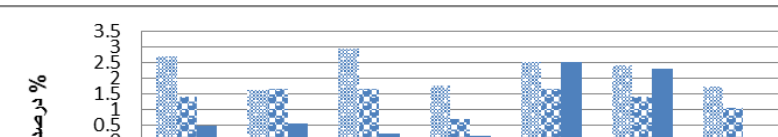
	مرمریت ابرکوه	مرمر	سنگ چینی	آهک سیاه	تراورتن توران پشت	تراورتن حجت آباد	انیکس
سنگ مصنوعی ریزدانه	23.5	23.9	22.61	23.82	23.56	23.36	23.93
سنگ مصنوعی درشت دانه	24.97	24.5	24.1	25.48	24.51	24.46	25.39
سنگ طبیعی	26.72	26.52	26.82	27.11	25.08	24.46	27.25

شکل۵. نمودار ستونی وزن واحد حجم خشک سنگ‌های مصنوعی (ریزدانه، درشت‌دانه) و سنگ‌های طبیعی



	مرمریت ابرکوه	مرمر	سنگ چینی	آهک سیاه	تراورتن توران پشت	تراورتن حجت آباد	انیکس
سنگ طبیعی	1.24	1.41	0.58	0.47	6.35	5.62	0.21
سنگ مصنوعی ریزدانه	6.35	3.89	6.69	4.25	5.96	5.64	4.17
سنگ مصنوعی درشت دانه	3.52	4.07	4.05	1.75	4.04	3.41	2.65

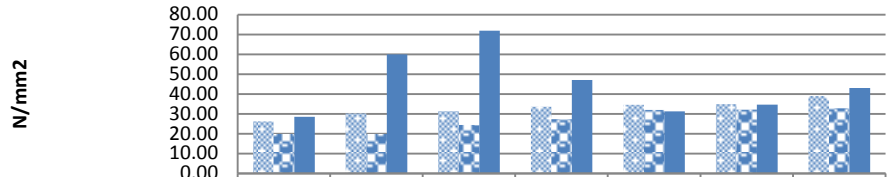
شکل٦. نمودار ستونی درصد تخلخل (درصد نسبت حجم منافذ به حجم کل نمونه) سنگ‌های مصنوعی (ریزدانه، درشت‌دانه) و سنگ‌های ساختمانی طبیعی



	مرمریت ابرکوه	مرمر	سنگ چینی	آهک سیاه	تراورتن توران پشت	تراورتن حجت آباد	انیکس
سنگ مصنوعی ریزدانه	2.7	1.63	2.96	1.79	2.53	2.42	1.74
سنگ مصنوعی درشت دانه	1.41	1.66	1.68	0.69	1.65	1.4	1.04
سنگ طبیعی	0.47	0.55	0.22	0.17	2.54	2.3	0.077

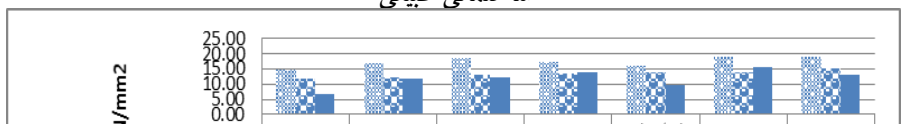
شکل۷. نمودار ستونی درصد جذب آب سنگ‌های مصنوعی (ریزدانه، درشت‌دانه) و سنگ‌های

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]
[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]



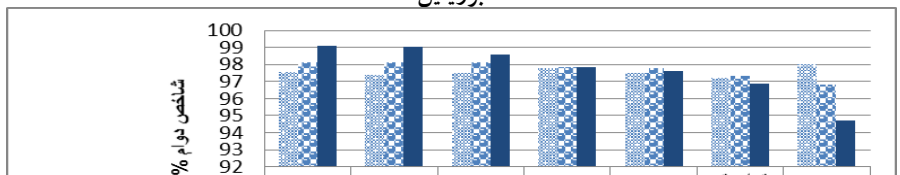
	مرمر	سنگ آهک سیاه	سنگ چینی	مرمریت ابرکوه	تراورتن توران پشت	تراورتن حجت آباد	انیکس
سنگ مصنوعی ریزدانه	26.08	30.18	31.26	33.56	34.41	34.79	38.81
سنگ مصنوعی درشت دانه	19.74	19.79	24.34	27.21	31.96	31.98	32.68
سنگ طبیعی	28.45	59.95	71.83	46.98	31.2	34.68	43.07

شکل ۸. نتایج آزمایش مقاومت فشاری سنگ‌های مصنوعی (ریزدانه، درشت‌دانه) و سنگ‌های ساختمانی طبیعی



	مرمر	تراورتن حجت آباد	انیکس	سنگ آهک سیاه	تراورتن توران پشت	سنگ چینی	مرمریت ابرکوه
سنگ مصنوعی ریزدانه	14.97	16.91	18.41	17.31	16.18	19.01	19.10
سنگ مصنوعی درشت دانه	11.74	12.35	12.89	13.68	13.81	13.93	15.04
سنگ طبیعی	6.6	12	12.37	14	9.75	15.8	13.26

شکل ۹. نتایج مقاومت کششی سنگ‌های مصنوعی و سنگ‌های ساختمانی طبیعی در آزمایش برزیلین



	سنگ چینی	آهک سیاه	مرمریت	انیکس	تراورتن حجت آباد	تراورتن توراتن پشت	مرمر
سنگ مصنوعی ریزدانه	97.57	97.41	97.5	97.78	97.52	97.22	98.01
سنگ مصنوعی درشت دانه	98.13	98.12	98.15	97.86	97.77	97.35	96.83
ستگ طبیعی	99.07	99.04	98.57	97.84	97.62	96.90	94.72

شکل۱۰. نتایج آزمایش دوام وارفتگی سنگ‌های مصنوعی (ریزدانه، درشت‌دانه) و سنگ‌های ساختمانی طبیعی تا ۱۰ چرخه (Id10) در محلول اسید سولفوریک با PH=5.25

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]
[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]

تحلیل نتایج

۱. مقایسهٔ میکروسکوپی سنگ‌های مصنوعی ساخته شده با سنگ‌های کربناته طبیعی

برای بررسی بافت و ویژگی سنگ‌شناسی، از نمونه‌ها مقطع نازک تهیه و بررسی‌های میکروسکوپی انجام شد شکل ٤ تصاویری از نمونه سنگ‌های طبیعی و مصنوعی (دانه‌درشت و ریزدانه) را در زیر میکروسکوپ نشان می‌دهد.

الف) بررسی‌های میکروسکوپی سنگ‌های طبیعی کربناته

سنگ آهک سیاه ده‌بالا: نام سنگ وکستون بایوکلاستی (بایومیکرایت) است در نمونه آثار استیلولیت مشاهده می‌شود که در امتداد سطوح استیلولیت‌ها اکسیدهای آهن و مواد آلی تجمع یافته است. بافت شیمیایی و بیوشیمیایی در آن قابل مشاهده است.

مرمر ده‌بالا: این نمونه به‌طور کامل از بلورهای درشت (در حدود ۲ تا ۵ میلی‌متر) کلسیت تشکیل شده است. مرز دانه‌ها در سنگ به‌صورت مضرس است و دارای بافت دگرگونی است.

سنگ‌چینی ده‌بالا: این سنگ دارای ۵ تا ۷ درصد فسیل‌های خارپوست، بلورهای ریز کلسیت و بافت دگرگونی است.

تراورتن کرم حجت‌آباد: کانی کلسیت به‌صورت نواری متن سنگ را تشکیل می‌دهد. لایه‌های میکرایتی (کلسیت‌های دانه‌ریز) در بخش‌هایی از سنگ مشاهده می‌شود. تخلخل سنگ از نوع حفره‌ای و دارای بافت شیمیایی است.

انیکس توران‌پشت: نمونه سنگ از بلورهای سوزنی شکل آراگونیت تشکیل شده که به‌صورت لایه‌ای و تکرار شونده در سنگ مشاهده می‌شود. نام سنگ تراورتن (نوعی انیکس) با ظاهر شفاف (آهک متبلور) فاقد تخلخل است و در شرایط شیمیایی مربوط به چشمه‌های آب گرم تشکیل شده است.

تراورتن چوب‌درختی توران‌پشت: لامینه‌های جلبکی به تناوب با بلورهای کلسیت اسپاری متن سنگ را تشکیل می‌دهد. بلورهای موجود در سنگ کربنات کلسیم (آراگونیت و کلسیت) است. تخلخل زیادی در متن سنگ در امتداد سطوح لامینه‌ها و بین لامینه‌ها مشاهده می‌شود. نام سنگ تراورتن و دارای بافت شیمیایی است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]

[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]

مرمریت ابرکوه: نام سنگ گرینستون بایوکلاستی (سنگ آهک با فسیل‌های فراوان) است به‌صورت شیمیایی و بیوشیمیایی شکل گرفته است. ترکیب اصلی سنگ از نظر شیمیایی کربنات کلسیم (کلسیت) است به‌علت تراکم فیزیکی و شیمیایی اکثر دانه‌ها در یک‌دیگر تداخل کرده و مرز دانه‌ها (فسیل‌ها) به‌صورت مضرس در آمده است. به‌میزان کمی رگچه‌ها و درزهای استیلولیتی در سنگ مشاهده می‌شود که باعث کاهش استحکام سنگ می‌شود.

ب) بررسی‌های میکروسکوپی سنگ‌های مصنوعی ساخته شده

با توجه به ردیف دوم و سوم شکل ٤، سیمان سنگ‌دانه‌ها را به یک‌دیگر چسبانده و جسم یک‌پارچه و مقاومی را ایجاد کرده است. اجزای اصلی شامل سنگ‌دانه‌های آهکی از نوع کربنات کلسیم (کلسیت) است. سنگ‌دانه‌ها زاویه‌دار و در طیف گسترده‌ای از ریز تا درشت است و اجزا از یک نوع سنگ کربناته خردشده انتخاب شده‌اند. در بافت سنگ به علت خروج حباب‌های هوا و گاز تخلخل‌های حفره‌ای مشاهده می‌شود. سنگ مصنوعی درشت‌دانه (ردیف دوم) دانه‌بندی بهتری نسبت به سنگ مصنوعی ریزدانه دارند.

سنگ‌های مصنوعی درشت‌دانه و ریزدانه تراورتن نسبت به سنگ طبیعی اولیه خود تخلخل ندارند علت آن این است خلل و فرج موجود در سطح سنگ‌دانه‌های تراورتن در مخلوط، پیوند با خمیر سیمان بر قرار کرده و باعث حذف تخلخل حفره‌ای در تراورتن حجت‌آباد و تخلخل زیادی در امتداد سطوح لامینه‌ها و بین لامینه‌ها در تراورتن توران‌پشت شده است.

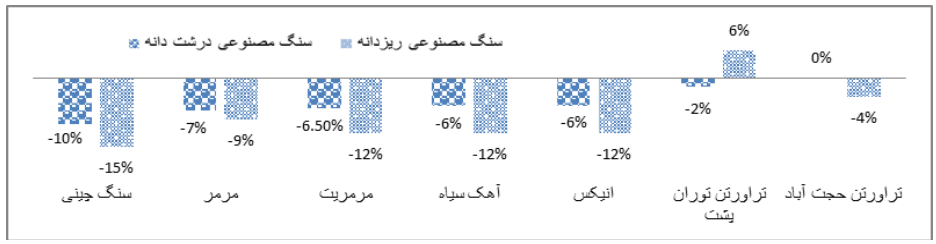
در سنگ‌مصنوعی ریزدانه مرمر با کوچک شدن اندازه سنگ‌دانه‌ها، تأثیر ساختار سنگ (سطح رخ و سستی بلورهای کلسیت) در سنگ‌دانه‌های مرمر کمتر شده و باعث کم شدن سطوح ضعف ساختاری (سطوح رخ) در سنگ‌دانه‌های ریز مرمر شده است.

۲. مقایسه ویژگی‌های فیزیکی سنگ‌های مصنوعی ساخته شده با سنگ‌های کربناته طبیعی

با توجه به نتایج مقایسه وزن واحد حجم خشک در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود به‌طور کلی وزن واحد حجم سنگ‌های مصنوعی (درشت‌دانه و ریزدانه) کم‌تر از سنگ طبیعی اولیه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]
[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]

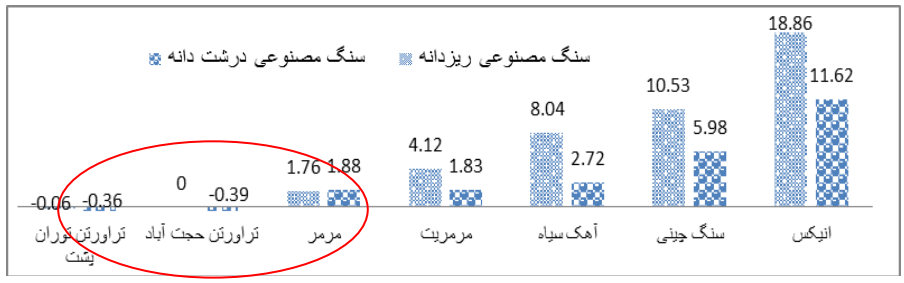
است. به جز یک نمونه تراورتن، در بقیهٔ نمونه‌ها تخلخل و درصد جذب آب سنگ مصنوعی درشت و ریزدانه بیش‌تر از سنگ طبیعی اولیه است.



شکل ۱۱. درصد افت و افزایش وزن واحد حجم خشک سنگ‌های مصنوعی درشت‌دانه و ریزدانه نسبت به سنگ طبیعی اولیه

بنابراین با توجه به نتایج تخلخل در شکل ۱۲ سنگ‌های مصنوعی درشت‌دانه و ریزدانه تراورتن نسبت به سنگ طبیعی اولیه خود تخلخل کم‌تری نشان می‌دهند. علت آن این است خلل و فرج موجود در سطح سنگ‌دانه‌های تراورتن در مخلوط پیوند با خمیر سیمان بر قرار کرده و در نتیجه تخلخل موثر کم‌تری نسبت به سنگ طبیعی اولیه خود دارند.

با توجه به این‌که در این تحقیق مقدار فشار، ویبره و خلأ یک‌سان در هنگام ساخت به نمونه‌های درشت‌دانه و ریزدانه اعمال شده، ولی نمونه سنگ‌های مصنوعی ریزدانه وزن واحد حجم کم‌تر و درصد جذب آب و تخلخل بیش‌تری نسبت به سنگ‌های مصنوعی درشت‌دانه نشان می‌دهند بنابراین هرچه اندازه سنگ‌دانه‌ها کوچک‌تر می‌شود باعث افزایش سطح کانی‌های آن و سبب افزایش درصد جذب آب و تخلخل می‌شود که می‌توان با افزایش فشار، در هنگام ساخت سنگ‌مصنوعی ریزدانه کیفیت فیزیکی سنگ‌مصنوعی ریزدانه را بهبود داد.

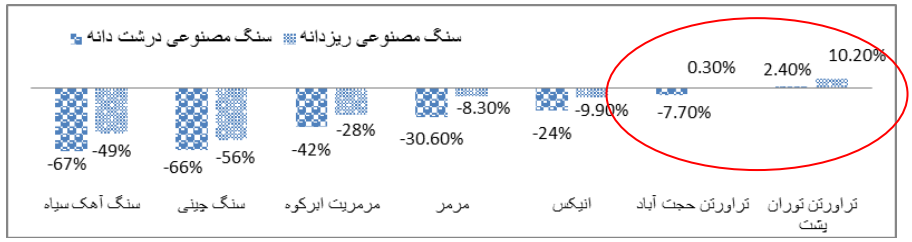


شکل۱۲. نسبت افت و افزایش تخلخل سنگ‌های مصنوعی درشت‌دانه و ریزدانه نسبت به سنگ طبیعی اولیه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]
[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]

۳. مقایسه ویژگی‌های مکانیکی سنگ‌های مصنوعی ساخته شده با سنگ‌های طبیعی اولیه

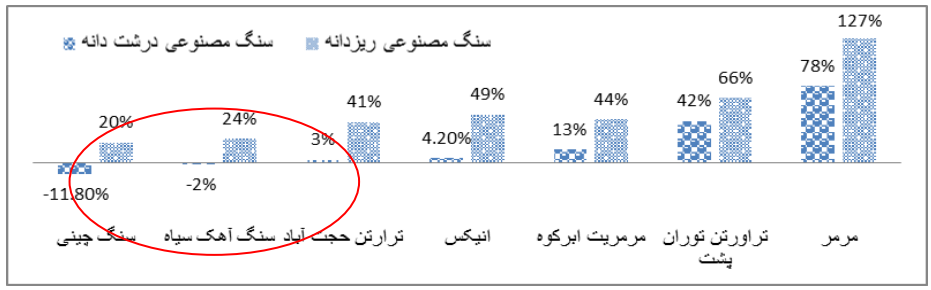
با توجه به شکل ۱۳ مقاومت فشاری سنگ‌مصنوعی متاثر بر مقاومت و پیوستگی سیمان و ویژگی‌های سنگ‌دانه است. به‌عنوان مثال مقاومت فشاری سنگ‌چینی و مرمریت در سنگ‌های طبیعی زیاد است ولی در سنگ مصنوعی سنگ‌چینی و مرمریت مقاومت و پیوستگی سیمان نتوانسته مقاومت و پیوستگی سنگ اولیه را تأمین کند. بنابراین سنگ مصنوعی این سنگ‌دانه‌ها مقاومت کم‌تری نسبت به سنگ اولیه دارند. ولی در سنگ‌های نرم‌تر مثل تراورتن، مقاومت و پیوستگی سیمان در سنگ‌مصنوعی توانسته مقاومت و پیوستگی سنگ اولیه را تأمین کند و مقاومت سنگ مصنوعی را به حد مقاومت سنگ طبیعی اولیه برساند. مقاومت فشاری علاوه بر مقاومت و پیوستگی سیمان به‌ویژگی‌های سنگ‌دانه متأثر است. سنگ‌دانه‌هایی که دارای خلل و فرج در سطح هستند در مخلوط با خمیر سیمان پیوند بهتری برقرار کرده و مقاومت بیش‌تری نسبت به سنگ‌دانه‌های دارای سطح صاف دارند. هر چه اندازه سنگ‌دانه‌ها ریزتر می‌شود در مخلوط سطح تماس سنگ‌دانه به‌دلیل افزایش سطح ویژه آن با خمیر سیمان پیوند بیش‌تری برقرار کرده و در نتیجه مقاومت فشاری سنگ‌های مصنوعی ریزدانه بیش‌تر از درشت‌دانه است.



شکل۱۳. درصد افزایش و افت مقاومت فشاری سنگ‌های مصنوعی درشت‌دانه و ریزدانه نسبت به سنگ طبیعی اولیه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]
[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]

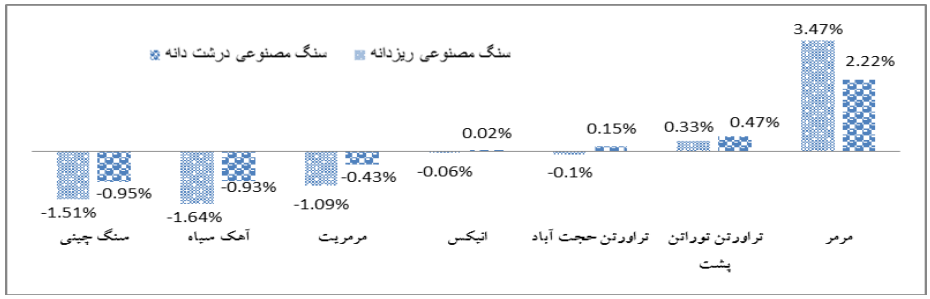
شکل۱٤. الف) وجود ۳ سطح رخ و سستی بلورهای درشت کلسیت در مرمر، ب) خلل و فرج و لامینه در تراورتن، وجود رگچه‌ها و استیلولیت در مرمریت



شکل۱۵. درصد افزایش و افت مقاومت کششی سنگ‌های مصنوعی درشت‌دانه و ریزدانه نسبت به سنگ طبیعی اولیه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]
[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]

با توجه به شکل ۱۵ سیمان سنگ‌دانه‌ها را به یک‌دیگر چسبانده و جسم یک‌پارچه و مقاومی را ایجاد کرده و سبب حذف ساختار سنگ (با توجه به شکل ١٤ خلل و فرج و لامینه در تراورتن، وجود رگچه‌ها و استیلولیت در مرمریت و سطح رخ و سستی بلورهای درشت کلسیت در مرمر) موجود در سنگ طبیعی شده است. بنابراین سبب افزایش مقاومت کششی سنگ‌های مصنوعی دارای سنگ‌دانه‌های تراورتن، مرمریت و مرمر شده است. در سنگ‌چینی و آهک سیاه به‌علت کم بودن ساختار سنگ، مقاومت کششی سنگ طبیعی بیش‌تر از سنگ مصنوعی(درشت‌دانه) است در نتیجه افت مقاومت کششی سنگ مصنوعی فقط در سنگ‌دانه‌های (درشت‌دانه) سنگ‌چینی و آهک سیاه مشاهده می‌شود. هر چقدر اندازه سنگ‌دانه‌ها ریزتر، تأثیر ساختار سنگ (سطح رخ، تخلخل و لامینه) در سنگ‌دانه‌ها کم‌تر می‌شود و هم‌چنین سطح تماس سنگ‌دانه به‌دلیل افزایش سطح ویژه آن با خمیر سیمان پیوند بیش‌تری برقرار کرده و در نتیجه مقاومت کششی سنگ‌های مصنوعی ریزدانه بیش‌تر از سنگ مصنوعی درشت‌دانه است.



شکل١٦. درصد افزایش و افت شاخص دوام وارفتگی در چرخه ۱۰ (Id_{10}) در محلول اسید سولفوریک با PH=5.25

سنگ‌های مصنوعی درشت‌دانه و ریزدانه نسبت به سنگ طبیعی اولیه

مقایسه نتایج شاخص دوام در شکل١٦ نشان می‌دهد که شاخص دوام سنگ‌های مصنوعی سنگ‌چینی، آهک سیاه و مرمریت کم‌تر از سنگ‌های طبیعی اولیه و سنگ‌های مصنوعی تراورتن تقریبا مشابه یا بیش‌تر از سنگ‌های طبیعی اولیه است، هم‌چنین سنگ‌های مصنوعی مرمر شاخص دوام بیش‌تری نسبت به سنگ طبیعی اولیه نشان می‌دهند. سیمان

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]

[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]

سنگ‌دانه‌ها را به یک‌دیگر چسبانده و جسم یک‌پارچه و مقاومی را ایجاد کرده و سبب حذف ساختار سنگ مانند خلل و فرج و لامینه در تراورتن و سطح رخ و سستی بلورهای درشت کلسیت در مرمر) موجود در سنگ طبیعی اولیه شده است. بنابراین سبب افزایش شاخص دوام سنگ‌های مصنوعی دارای سنگ‌دانه‌های تراورتن و مرمر شده است. باتوجه به شکل۱٦ به جز سنگ مصنوعی درشت‌دانه مرمر، در بقیه نمونه‌ها سنگ‌های مصنوعی درشت‌دانه نسبت به ریزدانه دارای شاخص دوام بیش‌تری هستند، در سنگ‌مصنوعی ریزدانه مرمر با کوچک شدن اندازه سنگ‌دانه‌ها، تأثیر ساختار سنگ (سطح رخ و سستی بلورهای کلسیت) در سنگ‌دانه‌های مرمر کم‌تر شده بنابراین سیمان، سنگ‌دانه‌ها را به یک‌دیگر چسبانده و جسم یک‌پارچه و مقاوم‌تری نسبت به سنگ مصنوعی درشت‌دانه مرمر ساخته است. این مسئله ناشی از بین رفتن سطوح ضعف ساختاری (سطوح رخ) در سنگ‌دانه‌های ریز مرمر است.

بررسی نتایج مقایسه ویژگی‌های مکانیکی (شکل‌های ۱۳، ۱۵ و ۱٦) نشان می‌دهند از بین سنگ‌های مصنوعی ساخته شده تحت شرایط یک‌سان از سنگ‌دانه‌های کربناته مختلف، سنگ‌دانه‌های تراورتن نسبت به سنگ طبیعی اولیه خود از نظر ویژگی‌های مقاومت و دوام دارای کیفیت بیش‌تری است. در تراورتن‌ها به‌دلیل خلل و فرج موجود در سطح سنگ‌دانه‌های تراورتن در مخلوط، پیوند با خمیر سیمان بر قرار کرده و در نتیجه سبب کاهش تخلخل موثر و افزایش مقاومت و دوام سنگ‌های مصنوعی می‌شود.

٤. امتیازبندی سنگ‌های مصنوعی و طبیعی

مبنای امتیازدهی براساس آئین‌نامهٔ انتخاب سنگ برای موج شکن‌ها و سازه‌های هیدرولیکی است اما جدول ۲ پیشنهاد تحقیق است اثر وزن واحد حجم خودش را در دوام نشان می‌دهد برای سنگ‌های ساختمانی اهمیت دوام و مقاومت بیش‌تر از وزن واحد حجم است هرچه درصد جذب آب افزایش یابد دوام در زمان مشابه کاهش می‌یابد بنابراین سنگ‌های با جذب آب کم‌تر اهمیت بیش‌تری دارند.

در این تحقیق پارامترهای مهندسی سنگ بر اساس درجهٔ اهمیت برای سنگ‌های ساختمانی مطابق جدول ۲ امتیازبندی شد و سپس با توجه به جدول امتیازبندی، نتایج امتیاز هر سنگ طبیعی و سنگ‌های مصنوعی ساخته شده از آن تعیین شد (جدول ۳).

جدول۲. امتیازبندی سنگ ساختمانی براساس پارامترهای مهندسی [۱۰]

پارامترها	توصیف	عالی	خوب	متوسط	وضعیف
	امتیاز کل	۱۰۰	۷۵	۵۰	۲۵
درصد جذب آب ٪	محدوده	۰–۲	۲–۳	۳–۵	بیش‌تر از ۵
	امتیاز	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰
وزن واحد حجم kN/m^3	محدوده	بیش‌تر از ۲٤	۲۲–۲٤	۱۸–۲۲	کم‌تر از ۱۸
	امتیاز	۱۵	۱۰	۵	۳
مقاومت فشاری MPa	محدوده	بیش‌تر از ۵۰	٤۰–۵۰	۳۰–٤۰	کم‌تر از ۳۰
	امتیاز	۲۰	۱۵	۱۰	٤
مقاومت کششی MPa	محدوده	بیش‌تر از ۲۰	۲۰–۱۵	۱۵–۱۰	کم‌تر از ۱۰
	امتیاز	۲۰	۱۵	۱۰	٤
دوام ٪	محدوده	کم‌تر از ۱٪	۱٪–۲٪	۲٪– ۳٪	بیش‌تر از ۳٪
	امتیاز	۲۰	۱۵	۱۰	٤

با توجه به جدول ۳، نتایج امتیازبندی ویژگی‌های مهندسی سنگ‌های طبیعی و مصنوعی نشان داد سنگ مصنوعی مرمر کیفیت مهندسی بیش‌تری نسبت به سنگ طبیعی مرمر دارند و هم‌چنین سنگ‌مصنوعی‌های تراورتن نسبت به سنگ اولیه دارای کیفیت مشابه سنگ طبیعی و حتی بیش‌تر است ولی نمونه سنگ‌های طبیعی شامل سنگ‌چینی، آهک سیاه، انیکس، مرمریت کیفیت مهندسی بیش‌تری نسبت به سنگ‌های مصنوعی ساخته شده خود دارند.

بررسی نتایج نشان داد که سنگ‌های مصنوعی ساخته شده از سنگ‌دانه‌های تراورتن نسبت به سنگ طبیعی اولیه از نظر ویژگی‌های فیزیکی، مقاومت و دوام دارای کیفیت بیش‌تری است. نمونه‌های تولید شده از سایر سنگ‌ها نیز اگرچه از نظر پارامترهای مقایسه‌ای سنگ‌مصنوعی کم‌تر از سنگ طبیعی است اما در محدودهٔ قابل قبول به‌عنوان مصالح ساختمانی قرار می‌گیرند. با مقایسهٔ نتایج جدول ۳ با آیین‌نامهٔ ملی برای کاربرد سنگ در موج شکن‌ها و سازه‌های حفاظت [٤۸]، سنگ‌ها عموماً در رده مقاوم تا خیلی مقاوم قرار می‌گیرند در حالی‌که برمبنای مشاهدات محقق (جدول ۲)، این نمونه‌ها در محدودهٔ عالی تا متوسط هستند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]
[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]
[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]

جدول۳. نتایج امتیازبندی سنگ‌های طبیعی و سنگ‌های مصنوعی ساخته شده

نام سنگ	درصد جذب آب ٪	وزن واحد حجم KN/m3	مقاومت فشاری Mpa	مقاومت کشش Mpa	دوام ٪	امتیاز کل	درصد افزایش و افت امتیاز کل سنگ-مصنوعی نسبت به سنگ طبیعی اولیه	توصیف
سنگ‌مصنوعی درشت‌دانه مرمر	۲۵	۱۵	٤	۱۰	٤	۵۸	٪ ۱۱/۵ +	خوب – متوسط
سنگ‌مصنوعی ریزدانه مرمر	۲۵	۱۰	٤	۱۰	۱۵	٦٤	٪ ۲۳ +	خوب – متوسط
سنگ طبیعی اولیه مرمر	۲۵	۱۵	٤	٤	٤	۵۲		متوسط
سنگ‌مصنوعی درشت‌دانه تراورتن توران پشت	۲۵	۱۵	۱۰	۱۰	۱۰	۷۰	٪ ۳۲ +	خوب – متوسط
سنگ‌مصنوعی ریزدانه تراورتن توران پشت	۲۰	۱۰	۱۰	۱۵	۱۰	٦۵	٪ ۲۲/٦ +	خوب – متوسط
سنگ طبیعی تراورتن توران پشت	۲۰	۱۵	۱۰	٤	٤	۵۳		متوسط
سنگ‌مصنوعی درشت‌دانه تراورتن حجت آباد	۲۵	۱۵	٤	۱۰	۱۰	٦٤	٪ ۱/۵ _	خوب – متوسط
سنگ‌مصنوعی ریزدانه تراورتن حجت آباد	۲۰	۱۰	۱۰	۱۵	۱۰	٦۵	٪ ۰	خوب – متوسط
سنگ طبیعی اولیه تراورتن حجت آباد	۲۰	۱۵	۱۰	۱۰	۱۰	٦۵		خوب – متوسط
سنگ‌مصنوعی درشت‌دانه انیکس	۲۵	۱۵	٤	۱۰	۱۰	٦٤	٪ ۱٤/٦–	خوب – متوسط
سنگ‌مصنوعی ریزدانه انیکس	۲۵	۱۰	۱۰	۱۵	۱۰	۷۰	٪ ٦/٦ –	خوب – متوسط
سنگ طبیعی اولیه انیکس	۲۵	۱۵	۱۵	۱۰	۱۰	۷۵		خوب
سنگ‌مصنوعی درشت‌دانه مرمریت	۲۵	۱۵	٤	۱۵	۱۵	۷٤	٪ ۷/۵ –	خوب – متوسط
سنگ‌مصنوعی ریزدانه مرمریت	۲۰	۱۰	۱۰	۱۵	۱۰	٦۵	٪ ۱۸/۷–	خوب – متوسط
سنگ طبیعی اولیه مرمریت	۲۵	۱۵	۱۵	۱۰	۱۵	۸۰		عالی – خوب
سنگ‌مصنوعی درشت‌دانه سنگ‌چینی	۲۵	۱۵	٤	۱۰	۱۵	٦۹	٪ ۲۷/٤–	خوب – متوسط
سنگ‌مصنوعی ریزدانه سنگ‌چینی	۲۰	۱۰	۱۰	۱۵	۱۰	٦۵	٪ ۳۳/۳ –	خوب – متوسط
سنگ طبیعی اولیه سنگ‌چینی	۲۵	۱۵	۲۰	۱۵	۲۰	۹۵		عالی – خوب
سنگ‌مصنوعی درشت‌دانه آهک سیاه	۲۵	۱۵	٤	۱۵	۱۵	۷٤	٪ ۱۷/۸ –	خوب –

								متوسط
سنگ‌مصنوعی ریزدانه آهک سیاه	۲۵	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	٦٥	٪ ۲۷/۸ -	خوب – متوسط
سنگ طبیعی اولیه آهک سیاه	۲۵	۱۵	۲۰	۱۰	۲۰	۹۰		عالی- خوب

نتیجه‌گیری

سنگ مصنوعی درشت‌دانه به‌علت دانه‌بندی خوب، تخلخل و درصد جذب آب کم‌تر، دوام بیش‌تری نسبت به سنگ مصنوعی ریزدانه نشان می‌دهند. در سنگ مصنوعی ریزدانه کاهش اندازه سنگ‌دانه‌ها و افزایش سطح آنها سبب افزایش تخلخل و درصد جذب آب و کاهش دوام شده است. از طرف دیگر کاهش اندازه سنگ‌دانه‌ها و افزایش سطح آنها سبب افزایش جذب دوغاب و پیوند بیش‌تری با خمیره سیمان در مخلوط می‌شود و باعث افزایش مقاومت فشاری و کششی در سنگ‌مصنوعی ریزدانه شده است. می‌توان با افزایش اعمال فشار در هنگام ساخت تخلخل و دوام سنگ‌مصنوعی ریزدانه را بهبود داد.

با توجه جدول ۳، امتیاز کل سنگ‌های مصنوعی ریزدانه (٦٥٪) تقریباً مشابه یک‌دیگرند که نشان می‌دهند نوع سنگ‌دانه کربناته، تأثیری روی ویژگی‌های سنگ‌مصنوعی ریزدانه ندارد ولی امتیاز کل سنگ‌های مصنوعی درشت‌دانه در محدوده گسترده‌تر ۵۸ تا ۷٤ ٪ هستند که نشان می‌دهند سطوح ضعف ساختاری به‌ویژه سطح رخ نسبت تخلخل، لامینه، رگچه و استیلولیت در ویژگی‌های مهندسی اندازه سنگ‌دانه در سنگ‌مصنوعی تأثیر بیش‌تری دارد تأثیر سطح رخ را می‌توان در سنگ مصنوعی مرمر مشاهده کرد سنگ‌های مصنوعی مرمر کیفیت مهندسی بیش‌تری نسبت به سنگ طبیعی مرمر دارند. به‌ویژه در سنگ‌مصنوعی ریزدانه مرمر با کاهش اندزه سنگ‌دانه، سبب افزایش مقدار مقاومت و دوام شده است که این مسئله ناشی از بین رفتن سطوح ضعف ساختاری (سطوح رخ) در سنگ‌دانه‌های ریز مرمر است.

سنگ‌مصنوعی‌های تراورتن نسبت به سنگ طبیعی اولیه از نظر ویژگی‌های فیزیکی، مقاومت و دوام دارای کیفیت مشابه سنگ طبیعی و حتی بیش‌تر هستند. به‌دلیل وجود خلل‌و فرج موجود در سطح سنگ‌دانه‌های تراورتن در مخلوط، پیوند با خمیر سیمان بر قرار کرده و در نتیجه سبب کاهش تخلخل مؤثر و افزایش مقاومت و دوام سنگ‌مصنوعی می‌شود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]
[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]

[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]

با توجه به جدول ۳، نتایج درصد افزایش و افت امتیاز کل (کیفیت مهندسی) سنگ‌های مصنوعی درشت‌دانه و ریزدانه نسبت به سنگ طبیعی اولیه نشان داد سنگ‌های مصنوعی مرمر و تراورتن توران‌پشت حدود ۱۱ تا ۳۲ ٪ افزایش امتیاز نسبت به سنگ طبیعی خود دارند و هم‌چنین سنگ‌های مصنوعی تراورتن حجت‌آباد نسبت به سنگ طبیعی خود امتیاز مشابهی دارد ولی نمونه سنگ‌های مصنوعی سنگ چینی و آهک سیاه حدود ۱۷ تا ۳۳ ٪ کاهش و هم‌چنین سنگ‌های مصنوعی انیکس و مرمریت حدود ٦ تا ۱۸٪ کاهش نسبت به امتیاز کل سنگ‌های طبیعی خود دارند. از نظر امتیاز کل تمام سنگ‌های مصنوعی ریزدانه ساخته شده در محدودهٔ ٦٤ تا ۷۰ ٪ و هم‌چنین تمام سنگ‌های مصنوعی درشت دانه ساخته شده در محدودهٔ ۵۸ تا ۷٤ قرار می‌گیرند که از نظر امتیاز کل با ویژگی‌های مهندسی سنگ طبیعی تراورتن (٦۵ ٪) و انیکس (۷۵ ٪) معدن حجت‌آباد مشابه هستند.

نمونه سنگ‌های طبیعی شامل سنگ‌چینی، آهک سیاه، انیکس و مرمریت کیفیت مهندسی بیش‌تری نسبت به سنگ‌های مصنوعی ساخته شده خود دارند. نمونه‌های تولید شده از این سنگ‌دانه‌ها اگرچه از نظر پارامترهای مقایسه‌ای سنگ‌مصنوعی کم‌تر از سنگ طبیعی است اما با توجه به نتایج امتیازبندی (جدول ۳) در محدودهٔ قابل قبول به‌عنوان مصالح ساختمانی قرار می‌گیرند. در صورت بهبود وسایل، امکان تولید سنگ‌مصنوعی بهتر از سنگ‌های سست طبیعی مقدور است.

منابع

1. Mitchell C. J., Harrison D. J., Robinson H. L., Ghazireh N., "Minerals from waste recent BGS and Tarmac experience in finding uses for mine and quarry waste", Miner Eng, Vol.17 (2004) 279-284.
2. Bilgin A., Gurkan y., Sonmez A., Nursev B., Suleyman P., "The effects of mineralogical and petrographical features of the Lake District rocks (Isparta, Turkey) on the quality of artificial marbles", Recycling-Waste Recovery-Hulladekhasznositas, Vol. 5 (2013).
3. Peng L., Qin S., "Mechanical behaviour and microstructure of an artificial stone slab prepared using a SiO2 waste crucible and quartz sand", Construction and Building Materials, 171 (2018) 273-280.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]
[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]

4. Lee M. y., Ko Ch. H., Chang F., Ch., Lo Sh.Li., Lin J. D., Shan M.Y., Lee J.ch., "Artificial stone slab production using waste glass stone fragments and vacuum vibratory compaction", cement and concrete composites,Vol. 30 (2008) 583-587.

5. Kandelbauer A., Tondi G., zaske O. C., Goodman S. H, "Unsaturated polyesters and vinyl esters", In Handbook of Thermoset Plastics (Third Edition) (2014) 111-172.

٦. جعفرآذری خزینه اکبر، ارومیه‌ای ع.، نیکودل م. ر.، "بررسی تأثیر مواد افزودنی در استحکام و کاربری سنگ‌های مصنوعی تولید شده از سنگ‌های گرانیتی"، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۹۷).

۷. باباآدم ن.، ارومیه‌ای ع.، نیکودل م. ر.، "تأثیر خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی سنگ دانه‌های سیلیسی بر ویژگی‌های مهندسی سنگ مصنوعی"، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۹٤).

۸. صحبت‌زاده ل.، فضلوی ع.، کریمی غ. ل.، باقرپور ز.، "بررسی کمی و کیفی فاکتورهای مؤثر ماسه سیلیسی (کارخانه ریخته‌گری) بر تولید سنگ مصنوعی"، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، دانشکده فنی (۱۳۹۲).

9. Fernanda Souza S., Carlos Eduardo Gomes R., Ruben Jesus Sanchez R., ,"Physical and Mechanical Characterization of Artificial Stone with Marble Calcite Waste and Epoxy Resin", Materials Research. Vol. 21 No. 1 (2018).

۱۰. میرجلیلی ط.، خامه‌چیان م.، نیکودل م. ر.، "بررسی تأثیر ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی سنگ-دانه‌های آهکی روی خصوصیات سنگ‌های مصنوعی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۹۳).

11. Hamoush S., Abu-Lebdeh T., Picornell M., Amer S., "Development of sustainable engineered stone cladding for toughness, durability, and energy conservation", construction and Building materials, 25 (10) (2011) 4006-4016.

12. Stefanidou M., Pachta V., Papayianni I., "Design and testing of artificial stone for the restoration of stone elements in monuments and historic buildings", *Construction and Building Materials*, *93* (2015) 957-965.

13. Carvalho E. A. S., Vilela N. D. F., Monteiro S. N., Vieira C. M. F., Silva L. C. D., "Novel Artificial Ornamental Stone Developed with Quarry Waste in Epoxy Composite", Materials Research, 21(2018).

۱٤. اسماعیلی ح.، بارانی بیرانوند ک.، رشیدی ر.، "استفاده مجدد و به‌کارگیری لجن کارخانجات سنگ‌بری جهت تولید سنگ مصنوعی"، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه لرستان، دانشکده فنی (۱۳۹۳).

۱۵. حسین‌پور ا.، شیخ ر.، عبدالهی شریف ج.، "ارزیابی فنی و اقتصادی تولید سنگ‌های تزئینی مصنوعی از ذخایر معدنی استان و تدوین برنامه‌ریزی تولید این ذخایر با دیدگاه تأمین نیاز بازار"، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه، دانشکده فنی(۱۳۹۱).

۱٦. دوست‌محمدی ا.، اصفهانیان م.، مصطفی غیور م.، "طراحی سیستم قالب‌گیری خط تولید سنگ مصنوعی سمنت‌پلاست"، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک (۱۳۹۷).

۱۷. شرکت شهرک‌های صنعتی خراسان، "امکان سنجی تولید سنگ‌مصنوعی"، (۱۳۷۸).

۱۸. یوسف‌وند ف.، نیکودل م. ر.، "بررسی تأثیر نوع سنگ‌دانه در دوام بتن گوگردی"، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۹۳).

۱۹. قاسمی ش.، نیکودل م. ر.، "تأثیر جنس و بافت سنگ‌دانه‌ها بر ویژگی‌های مقاومتی بتن‌های گوگردی و معمولی"، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۹۱).

۲۰. شریفی ج.، نیکودل م. ر.، "بررسی اثر جنس سنگ‌دانه‌های مختلف بر خواص مقاومتی بتن"، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران (۱۳۸۷).

21. Kou Shi-Cong, Poon Chi-Sun. Miren, Etxeberria, "Influence of recycled aggregates on long term mechanical properties and pore size distribution of concrete", cement & concrete composites, Vol. 33 (2011) 286-29.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]
[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]

22. EI-Dash K. M., Ramadan M. O., "Effect of aggregate on the performance of confined concrete", cement and Concrete Research, Vol. 36 (2006) 599-605.

23. Basheer p., Basheer L., Lange D. A., Long A. E., "Influence of coarse aggregate on the permeation, durability and the microstructure characteri- stics of ordinary Portland cement", construction and building Materials, Vol.19 (2005) 682-690.

24. Beshr H., Almusallam A. A., Maslehuddin M., "Effect of coarse aggregate quality on the mechanical properties of high strength concrete", construction And Building Materials, Vol.17 (2003) 97-103.

25. Donza H., Cabrera O., Irassar E. F., "High-strength concrete with different fine aggr egate", cement and Concrete Research, Vol. 32 (2002) 1755-1761.

26. Elices M., Rocco C.G., "Effect of aggregate size on the fracture and mechanical properties of a simple concrete", Engineering fracture mechanics, 75 (2008) 3839-3851.

27.Basheer P., Basheer L., Lange D., Long A. E., "Role of thresholding to determine the size of interfacial transition zone", ACI special publication SP-189, ACI spring convention, Chicago, (1990) 164-86.

28. Dunham R. G., "classification of carbonate rocks according to deposition texture", in: Classification of Carbonate rocks (ed. By W. E. Ham) A A P G Mem., No. 1 (1962) 108-121.

29. Carlos A., Masumi I., Hiroaki M., Maki M., Takahisa O., "The effects of limestone aggregate on concrete properties", Construction and Building Materials, Vol. 24 (2010) 2363-2368

۳۰. حاجی‌قاسمی س.، رمضانیان‌پور ع. ا.، لطفی و.، کاشفی‌زاده م. ح.، "بررسی اثر واکنش قلیایی – سیلیسی بر رفتار سازه ای تیره‌های بتنی مسلح با استفاده از روش المان محدود"، نشریه مهندسی عمران امیرکبیر. دورهٔ ٤۹، شمارهٔ ۱ (۱۳۹٦) ۲۳–۳۳.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]
[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]

۳۱. رحیمی ح.، "مصالح ساختمانی"، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم، تهران (۱۳۸۸).

32. ASTM, "American society for testing and materials C 136-01", Standard Test Method (2004).

33. Güneyisi E., Özturan T., Gesoğlu M., "A study on reinforcement corrosion and related properties of plain and blended cement concretes under different curing conditions", Cement & Concrete Composites,Vol. 27 (2005) 449-461 .

34. Kolias S., Georgiou C., "The effect of paste volume and of water content on the strength and water absorption of concrete", Cement and Concrete Composites, Vol. 27 (2005) 211-216.

35. Ahmad S., "Reinforcement corrosion in concrete structures, its monitoring and service life prediction - a review", Cement & Concrete Composites, Vol. 25 (2003) 459-471.

36. Alawode O., Dip P., Idowu O., "Effects of Water-Cement Ratios on the Compressive Strength and Workability of Concrete and Lateritic Concrete Mixes", The Pacific Journal of Science and Technology, Vol.12, 2 (2000) 99-105.

37. Chi J., Huang R., Yang C., Chang J., "Effect of aggregate properties on the strength and stiffness of lightweight concrete", Cement and Concrete Composites, Vol. 25 (2003) 197-205.

38. Topličić-Ćurčić G., Grdić Z., Despotović I., Ristić., "NInfluence of crushed stone aggregate type on concrete consistency", Architecture and Civil Engineering ,Vol.8,1 (2010) 99-109.

39. Galetakis M., Raka S., "Utilization of limestone dust for artificial stone production:an experimental approach", Mineral Engineering,Vol. 17 (2004) 355-357.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]
[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]

40. Sakai T., "artificial stone composition and method of manufacturing artificial stone", Doppel Co. Ltd., Tokyo' Japan, Patent Number, Vol. 6 (2000) 127-458.

٤۱. رمضانیان‌پور ع. ا.، طاحونی ش.، پیدایش م.، "دستنامه اجرای بتن"، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، چاپ اول، تهران (۱۳۸۰).

٤۲. فامیلی ه.، "بتن‌شناسی (ویژگی بتن)"، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه علم و صنعت ایران، چاپ اول (۱۳٦۸).

43. Aci-Committee-221, "Guide for Use of Normal Weight and Heavyweight Aggregates in Concrete", American Concrete Institute (2007).

44. ASTM, "American society for testing and materials D 2938-95", Standard test method of unconfined compressive strength of intact rock core specimens, (2002).

45. ASTM, "American society for testing and materials D 3967-95", Standard test method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens, Designation (2001).

46. ASTM, "American society for testing and materials D 4644", Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks (1998).

47. ISRM, "Commission on Standartization of Laboratory and Fild Tests", Suggested Methods for Rock Characterization Teesting and Monit, In: Brown, E.T. (Ed.), oring. Pergamon, Oxford, (1981) 113-116 and 123-127.

٤۸. شفیعی‌فر م.، رحمانی ا.، نیکودل م. ر.، حافظی‌مقدس ن.، "معرفی آیین‌نامه ملی برای کاربرد سنگ در موج شکن‌ها و سازه‌های حفاظت، نهمین همایش بین المللی سواحل"، بنادر و سازه‌های دریایی ICOPMAS 2010 ، ۱۰–۸ آذر ماه (۱۳۸۹).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.4.3.7]
[DOI: 10.52547/jeg.14.4.749]