

مقایسه ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی گرانیتهای طبیعی با انواع مصنوعی

اکبر جعفرآذری خزینه، علی ارومیه‌ای*، محمدرضا نیکودل؛

دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم

پذیرش ۹۷/۰۴/۲۵

دریافت ۹۶/۱۱/۰۳

چکیده

شناخت خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی سنگ‌های مصنوعی به‌عنوان سنگ‌های ساختمانی اهمیت ویژه‌ای دارد. شکل ظاهری، اندازه و ابعاد، مشخصات سطح ذرات و کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ‌دانه‌ها از جمله ویژگی‌های مصالح سنگی است که در محیط همگن و یک‌پارچه تأثیرگذار است. در این تحقیق با در نظر گرفتن موارد مذکور، سنگ‌های مصنوعی طی چهار مرحله به‌ترتیب: آماده‌سازی، طرح اختلاط، شرایط‌فرآوری و انجام آزمایش ساخته شد و به بررسی و مقایسه ویژگی‌های مقاومتی (فشاری تک‌محوری، کششی، بار نقطه‌ای، ارتعاش فراصوت) و فیزیکی، سنگ‌های مصنوعی ساخته شده با مواد افزودنی (رزین پلی‌استر، رزین وینیل‌استر، الیاف شیشه) و حاوی سنگ‌دانه‌هایی از سه نوع گرانیته (الموت قزوین، نه‌بندان و تکاب) پرداخته شد. نتایج بررسی نشان می‌دهد که نمونه‌های ساخته شده با الیاف شیشه نسبت به نمونه‌های ساخته شده بدون الیاف شیشه فارغ از نوع رزین و سنگ‌دانه، ۱۵٪ مقاومت کششی، ۱۴٪ مقاومت فشاری تک‌محوری و ۱۲٪ شاخص بار نقطه‌ای بالاتری است. و همچنین نمونه‌های ساخته شده با رزین وینیل‌استر نسبت به نمونه‌های ساخته شده با رزین پلی‌استر ۱،۶۴ برابر مقاومت زیادی دارد. بر اساس این تحقیق طرح اختلاط و نسبت درصد‌های ترکیبی مهم‌ترین اصل در استحکام و مقاومت سنگ مصنوعی است.

واژه‌های کلیدی: سنگ مصنوعی، سنگ‌دانه، مواد افزودنی، الیاف شیشه، رزین پلی‌استر، رزین وینیل‌استر.

مقدمه

سنگ مصنوعی^۱ ترکیبی از سنگ‌دانه‌های طبیعی و مواد افزودنی مانند صمغ‌های صنعتی (رزین)، سیمان و دیگر مواد پلیمری است که برای کاربری‌های خاص در شرایط خاص تهیه و تولید و استفاده می‌شوند این‌گونه سنگ‌ها با توجه به نیازهای مصرف‌کننده با رنگ‌های مختلف، ابعاد هندسی، ویژگی‌های مقاومتی و چگالی‌های متفاوت ساخته می‌شوند [۱۲]. ایران دارای ذخایر عظیم سنگ و از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان سنگ در جهان است طبق آمار ۵۵۰۰ کارخانه در ایران در زمینه سنگ فعالیت دارند که سالانه ۵ میلیون تن سنگ پردازش و فراوری می‌کنند [۵]. تولید این محصول با عنوان تجاری سنگ مصنوعی و به‌صورتی که امروزه استفاده می‌شود از سال ۱۹۶۰ در کشور ایتالیا آغاز شده است هدف از ساخت این سنگ‌ها تأمین نیازهای صنعت ساختمان از سنگ‌هایی است که شاخص‌های مدرن و پیشرفته

*نویسنده مسئول uromeiea@modares.ac.ir

1. Artificial stone

مهندسی را از نظر رنگ، خواص فیزیکی، شیمیایی و مهندسی داشته باشد [۱]. استفاده از کامپوزیت‌ها برای ساخت سنگ‌های مصنوعی و امکان استفاده آن‌ها به جای سنگ طبیعی به دلیل چگالی پایین ماتریس پلیمری (1 g/cm^3) در مقایسه با سنگ طبیعی (2 g/cm^3) و همچنین داشتن منافذ کم‌تر در مقابل نقص میکروساختاری و تخلخل زیاد سنگ طبیعی است [۱۱]. اسلب‌های سنگ مصنوعی امروزه به دلیل قدرت خمشی زیاد، جذب کم آب، تخلخل اندک و سایش‌پذیری کم‌تر، به طور گسترده به مواد ساختمانی بسیار مهم برای دیوارپوش و کف‌پوش ساختمان تبدیل شده است [۱۶]. برخی از مواد زائد مثل گرد و غبار معادن را نمی‌توان با رزین ترکیب کرد و باید مبتنی با سیمان انجام شود هر دو سنگ مصنوعی مبتنی بر سیمان و رزین خواص مکانیکی کم‌تری نسبت به سنگ طبیعی دارد (راجگور^۱ و پیترودا^۲ ۲۰۱۳). پارامترهای زیادی از جمله نوع سنگ‌دانه‌ها، نوع رزین، روش‌های پخت، زمان پخت و شرایط تراکم ویژگی‌های سنگ مصنوعی را کنترل می‌کند [۱۶]. سنگ مصنوعی از مواد زائد بازیافتی از قبیل زباله شیشه و خرده-سنگ‌های حاصل از فرآوری سنگ به عنوان مواد خام با استفاده از تراکم و ویبره در یک محیط خلأ ساخته می‌شود. که این امر سبب سبک‌تر شدن سنگ‌ها نسبت به نمونه‌های طبیعی آن‌ها می‌شود که در نتیجه نصب و استفاده آسان‌تری دارد [۱۲]. رزین در حالت مایع فضای خالی منافذ سنگ را، پر می‌کند که نه تنها باعث انسجام می‌شود بلکه تخلخل، که همیشه در ذرات طبیعی بخاطر بافت و ساختار وجود دارد را حذف می‌کند و در نتیجه جذب آب کم‌تر و مقاومت مکانیکی بالا به سنگ مصنوعی می‌دهد [۷]. سنگ مصنوعی با توجه به انتخاب خرده سنگ و ترکیبی از مصالح مختلف، با ابعاد قابل تنظیم، مشابه به نوع سنگ خاص، تکرارپذیری زیاد، دوام و خاصیت جذب آب اندک، طول عمر زیاد، نداشتن کانی‌های ضعیف، می‌توانند در بسیاری از مشکلات مرمت‌سازی، قطعات گم‌شده یا شکسته‌شده جای‌گزین سنگ طبیعی شوند [۱۹]. داشتن رنگ‌دانه‌های تیره و محدود از نواقص سنگ‌های طبیعی است، که این نقص را می‌توان به طور مشهود در سنگ‌های گرانیات مشاهده کرد. ولی رنگ‌دانه‌ها به دلیل ساختار شیمیایی ثابت این اکسیدهای فلزی در سنگ‌های مصنوعی، به مرور زمان تغییر رنگ نمی‌دهند. در انتخاب رنگ و اجزای تشکیل‌دهنده سنگ مصنوعی محدودیت وجود ندارد، و می‌توان طرح‌های متنوع و زیبایی را در ساخت سنگ‌های مصنوعی به کار گرفت [۱۰]. پسماندهای صنعتی امروزه باعث نگرانی جهانی شده است زیرا نه تنها به آلودگی محیط زیست بلکه تغییرات آب و هوایی غیرقابل انکار نیز می‌انجامد [۱۱]. از لحاظ مقدار باطله باید گفت که سنگ‌های مصنوعی ضایعاتی نداشته و اگر از زاویه دیگری به موضوع نگاه شود حتی می‌توان خود آن‌ها را از قطعات باطله سنگ‌های طبیعی تولید کرد، بنابراین از لحاظ اقتصادی بسیار با صرفه هستند [۲]. این محصول می‌تواند در فضاهای داخلی اعم از آشپزخانه، کف-پوش، دیوارپوش، راه‌پله، مبلمان، پوشش شومینه، دیواره و کف کابین آسانسور استفاده شود [۱۷]. خلاصه مراحل تولید سنگ مصنوعی رزین‌دار در شکل ۱ مشاهده می‌شود.

جدول ۱ به مقایسه برخی از ویژگی‌های سنگ طبیعی و مصنوعی می‌پردازد.

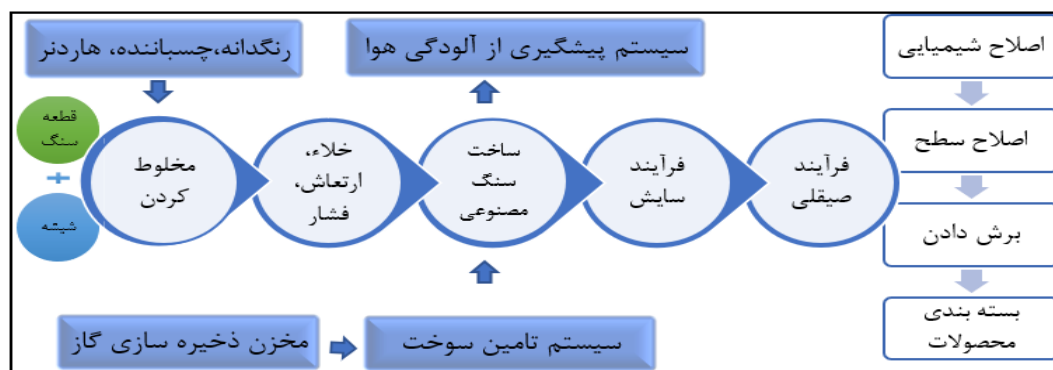
روش تحقیق و ضرورت آن

امروزه محیط‌زیست به عنوان یکی از مهم‌ترین ارکان توسعه پایدار قلمداد می‌شود و توسعه سایر بخش‌های اقتصادی و اجتماعی در گرو پایداری و کارکرد صحیح آن معنا و مفهوم پیدا می‌کند. بدون توجه به مسئله محیط‌زیست، منابع طبیعی و انسانی دچار نقصان شده و پیامدهای ناگواری را بر کره خاکی و حتی جوامع انسانی می‌گذارد. ارائه الگویی

1. Rajgor
2. Pitroda

جدول ۱. مقایسه ویژگی‌های سنگ‌های طبیعی و مصنوعی

سنگ مصنوعی	سنگ طبیعی
غیر متخلخل و یا تخلخل ناچیز	متخلخل
چگالی کم‌تر و سبک‌تر	چگالی بیش‌تر
ارزان‌تر	گران
قابل بازیافت	غیر قابل بازیافت
با دوام	تجزیه‌پذیر
یک‌پارچه و همگن	دارای ترک و انفصال



شکل ۱. مراحل ساخت سنگ مصنوعی [۱۴]

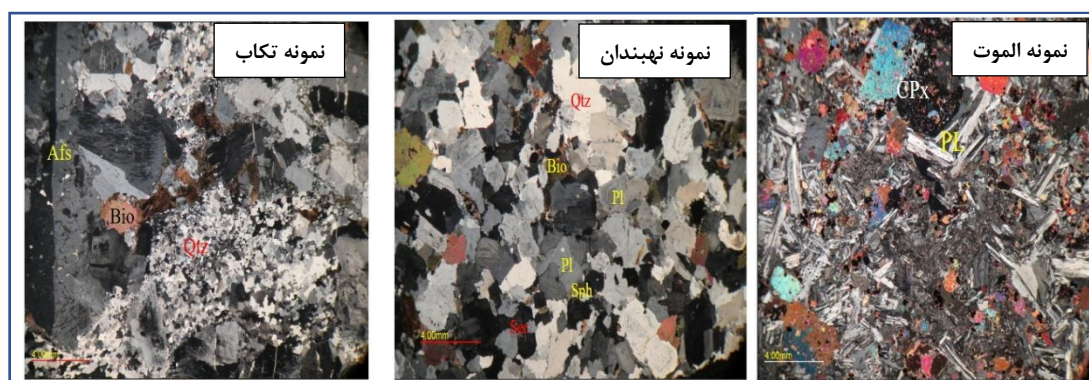
برای استفاده از همه مواد معدنی معادن سنگ‌های تزئینی، از جمله لاشه‌ها و دورریز معادن با هدف کاهش آلاینده‌های محیطی، با ساخت سنگ مصنوعی و بررسی پارامترهای مهندسی و مقاومتی آن‌ها هدف اصلی این مقاله است. برای این منظور سنگ‌های مصنوعی، بدون نیاز به سیستم خلأ به‌روش دستی، با استفاده از مواد افزودنی رزین پلی‌استر، رزین وینیل‌استر، الیاف شیشه، سنگ‌دانه‌های مختلف، در محیط آزمایشگاه ساخته شد. سپس آزمایش‌های مقاومت فشاری تک‌محوری، کششی، بار نقطه‌ای، تست صوت و آزمایش‌های فیزیکی روی نمونه‌ها صورت گرفت. مهم‌ترین پارامتر در این روش تعیین دقیق طرح اختلاط و سیستم پخت مناسب رزین‌های قید شده و همچنین به‌کار بردن مش سائزهای مناسب سنگ‌دانه‌ها است و در نهایت به مقایسه و تجزیه تحلیل اطلاعات آزمایش‌های انجام گرفته می‌پردازیم.

کانی‌شناسی و منطقه بررسی شده

بررسی‌های سنگ‌نگاری نه تنها اطلاعاتی در مورد ترکیب کانی‌شناسی، بافت و منشأ سنگ می‌دهد، بلکه در ارزیابی پتانسیل انحلال‌پذیری و زوال‌پذیری سنگ‌ها در برابر عوامل هوازدگی شیمیایی و فیزیکی نیز مهم است. در همین راستا تصاویر میکروسکوپی پلاریزان از نمونه‌ها گرفته شده است. شکل ۲ عکس‌های گرفته شده از مقاطع تهیه شده همراه با کانی‌های موجود را نشان می‌دهد.

تجزیه پراش اشعه ایکس^۱ (XRD) برای تأیید نتایج مقاطع میکروسکوپی و تعیین دقیق کانی‌های موجود و تعیین نام دقیق علمی نمونه سنگ‌ها تجزیه XRD صورت گرفت. جدول ۲ نتایج آزمایش XRD و همچنین نام علمی و بازاری، و کانی‌شناسی نمونه سنگ‌های قید شده را به‌طور دقیق نشان می‌دهد.

1. X-ray diffraction analysis



شکل ۲. عکس‌های میکروسکوپ پلاریزان از نمونه سنگ‌ها

جدول ۲. نتایج تجزیه XRD و کانی‌شناسی مقاطع میکروسکوپی پلاریزان

نام تجاری	نام زمین‌شناسی	ترکیب کانی‌شناسی	تجزیه XRD
گرانیت تکاب	میلونیت گرانیت	آلکالی فلدسپار، کوارتز، بیوتیت، کلریت، سریسیت	آلبیت، لابرادوریت، ارتوکلاز، کوارتز، هورنبلند، مسکوویت
گرانیت الموت	گابروی بیوتیت‌دار	پلاژیوکلاز، کلینو پیروکسن، بیوتیت، مسکوویت	لابرادوریت ارتوکلاز، آلبیت، آنالیت، بیوتیت
گرانیت نهبدان	مونزو گرانیت	آلکالی فلدسپار، کوارتز، بیوتیت، سریسیت	میکروکلین، لابرادوریت، کوارتز، مسکوویت

گرانیت الموت

محدوده بررسی شده در جنوب غرب چهارگوش و جنوب رودخانه طالقان رود به مختصات $30^{\circ} 49'$ تا $51^{\circ} 00'$ طول شرقی و $36^{\circ} 00'$ تا $37^{\circ} 30'$ عرض شمالی قرار دارد. این توده نفوذی به صورت لنز اولیوین مونزونیت درشت‌دانه به سن ترشیری با علامت (im) روی نقشه زمین‌شناسی (شکران) مشخص شده است که توف‌های اسیدی به سن ائوسن-اولیگوسن آن را احاطه کرده است. در جنوب محدوده، منطقه وسیعی به وسیله لاوای بازیگ با علامت (Ekv) پوشیده شده است و در قسمت‌هایی از شمال و شمال شرق منطقه لاوای آندزیتی با علامت (V) دیده می‌شود. در قسمت‌هایی از شرق و شمال محدوده نیز ورقه‌های تراکی‌آندزیت-داسیت دیده می‌شود. دایک‌های متوسط تا بازی به دلیل آتشفشانی‌های فرعی، سازندهای قبل از پالئوژن را قطع کرده‌اند. لنزهای اولیوین-مونزونیت درشت‌دانه در نزدیکی کوه الموت و جنوب طالقان، درون توف‌های پالئوژن نفوذ کرده‌اند. این لنزهای نفوذی و سیل‌های دولریتی، احتمالاً دارای ماگمای با ترکیب یک‌سان همراه با مقدار زیادی لاوای پالئوژن هستند. قسمت پرشیب با ترکیبات هورنبلند و توده گرانودیوریتی غنی از بیوتیت در شمال شرق کوه علم کوه و آلود احتمالاً هم‌سن این لنزهای مونزونیتی با منشأ هیبریدی هستند. لوکوگرانیت‌های غنی از کوارتز علم کوه باعث دگرگونی گلسنگ‌های پالئوژن در حالت دگرگونی خود شده‌اند. این لوکوگرانیت‌ها دیواره‌های پرشیب دارند و حلقه داخل حالت دگرگونی گرمایی در اطراف این دو توده دارای رخساره‌های هورنبلند-هورنفلس هستند. گرانیت علم کوه نیز به وسیله دایک‌های تیره‌ای قطع شده است. ورقه‌های نفوذی کوچک‌تر، از نظر زمانی بعد از گرانیت و گسل تراستی اصلی هستند که احتمالاً دارای سن بعد از پالئوژن هستند. از طرف دیگر تعدادی لامپروفیرهای نئوژن نیز وجود دارد.

گرانیت نه‌بندان

توده نفوذی مورد نظر توده گرانیتی بزرگی به رنگ صورتی پررنگ در جنوب شرقی ورقه، در کوهستان شاه‌کوه به مختصات سینه کار $31^{\circ}31'03''$ شمالی و $59^{\circ}29'02''$ شرقی رخنمون دارد که با علامت G روی نقشه زمین‌شناسی (بصیران) مشخص شده است. سن توده نفوذی مورد نظر ژوراسیک پیشین- قبل از کرتاسه است. این سنگ یک گرانیت دانه‌درشت و بیوتیت‌دار است و شیل‌های ژوراسیک پایین را از سمت شمال غربی، و مجموعه دگرگون شده ده‌سلم را از جنوب قطع کرده است. سنگ‌های کرتاسه به سن آپسین- آلبین به‌گونه‌ای پیش‌رونده روی این گرانیت قرار گرفته‌اند. این سنگ بافت دانه‌ای درشت بلور دارد و از بلورهای پلاژیوکلاز، فلدسپار آلکالی و بیوتیت تشکیل شده است. واحد بالایی که با علامت J_s^h روی نقشه نشان داده شده، شامل ترادف ضخیم و تقریباً یک‌نواخت است که در آن توف‌های ماسه‌ای و دگرگون شده، تشکیل‌دهنده اصلی هستند و از نظر لیتولوژی، از مسکویت، بیوتیت، کردیریت، آندالوزیت شیبست، شیبست‌های گرافیتی و مرمرهای فلدسپاردار تشکیل شده‌اند. این سنگ‌ها به‌گونه‌ای ناهم‌ساز زیر واحدهای سنگی کرتاسه قرار گرفته‌اند. در قسمت‌هایی از شرق و شمال محدوده، نهشته‌های آبرفت کواترنر دیده می‌شود. این نهشته‌ها به‌صورت تراس‌های رودخانه‌ای و گراول‌های دامنه کوه‌ها (Q^{t1}) در مناطقی که فرسایش، پادگانه‌ها را به‌صورت پهنه‌های صافی درآورده (Q^{t2}) و بالاخره رسوبات رسی و کفه‌های نمکی شورزار (Q^c) و نهشته‌های بستر آبراهه‌ها (Q^{al}) شناسایی شده‌اند. در قسمت جنوب محدوده، قسمت کوچکی با علامت JS با مشخصات ماسه سنگ کوارتزیتی و شیل (دگرگونی مجاورتی) به سن تریاس زیرین- ژوراسیک نشان داده شده است ولی به‌طور کلی نهشته‌های ژوراسیک در محدوده ورقه بصیران از نوع آواری و کم عمق هستند و با ریخت تپه‌ماهوری بخش وسیعی از ناحیه، به‌ویژه بخش مرکزی و جنوب غربی ورقه را پوشانده‌اند. نهشته‌های آواری عمدتاً از ماسه‌سنگ، شیل به رنگ خاکستری و سیاه و سبز، و ندرتاً طبقاتی از سیلت، مارن و کنگلومرا به‌صورت بین لایه‌ای و شیل‌های ذغال‌دار با آثار خردشده گیاهی (JS)، ماسه سنگ و ماسه سنگ کوارتزیتی به رنگ خاکستری (JSS) تشکیل شده‌اند. در ماسه‌سنگ‌ها ساختمان‌های اولیه مانند دانه‌بندی تدریجی، چین‌بندی متقاطع دیده می‌شود. ضخامت واقعی این نهشته‌ها به دلیل چین‌خوردگی و تکتونیک شدید که سبب شکستگی‌ها و تکرار طبقات گردیده مشخص نیست. گرانیت شاه‌کوه در داخل شیل و ماسه‌سنگ‌های ژوراسیک نفوذ کرده و تأثیر حرارتی آن در شمال روستای رخنه باعث شده که زمینه رسی موجود در بین دانه‌های ماسه‌سنگ متبلور و به کلریت و مسکویت تبدیل شود.

گرانیت تکاب

توده نفوذی مورد نظر در چهارگوش ایرانخواه (چاپان) در قسمت‌هایی از شمال و شمال غرب نقشه موردنظر به طول جغرافیایی $48^{\circ}48'38''$ و عرض جغرافیایی $36^{\circ}27'42''$ گسترده شده است. توده‌های نفوذی واقع شده در محدوده معدنی با علامت‌های gd و dr مشخص شده‌اند که gd در شمال و شمال غربی منطقه بررسی شده، ردیفی از سنگ‌های آذرین نفوذی برونزد دارند که از شرق، به غرب آبادی بلوز-ساری قوری‌خان، از شمال، به آبادی‌های اینچه-باغ بالا، از جنوب، به آبادی‌های حاج حسن- علی‌آباد و از غرب، به آبادی‌های جان‌بلاغ- احمدآباد- قلندر (غرب نقشه ایرانخواه) با گستره تقریبی ۴۸۰ کیلومتر مربع محدود شده و به نام توده نفوذی جان‌بلاغ- بلوز معرفی شده‌اند. به‌نظر می‌رسد تشکیل این توده نفوذی و نهشته‌های آتشفشانی مرتبط به آن در جنوب منطقه بررسی شده، با رخداد

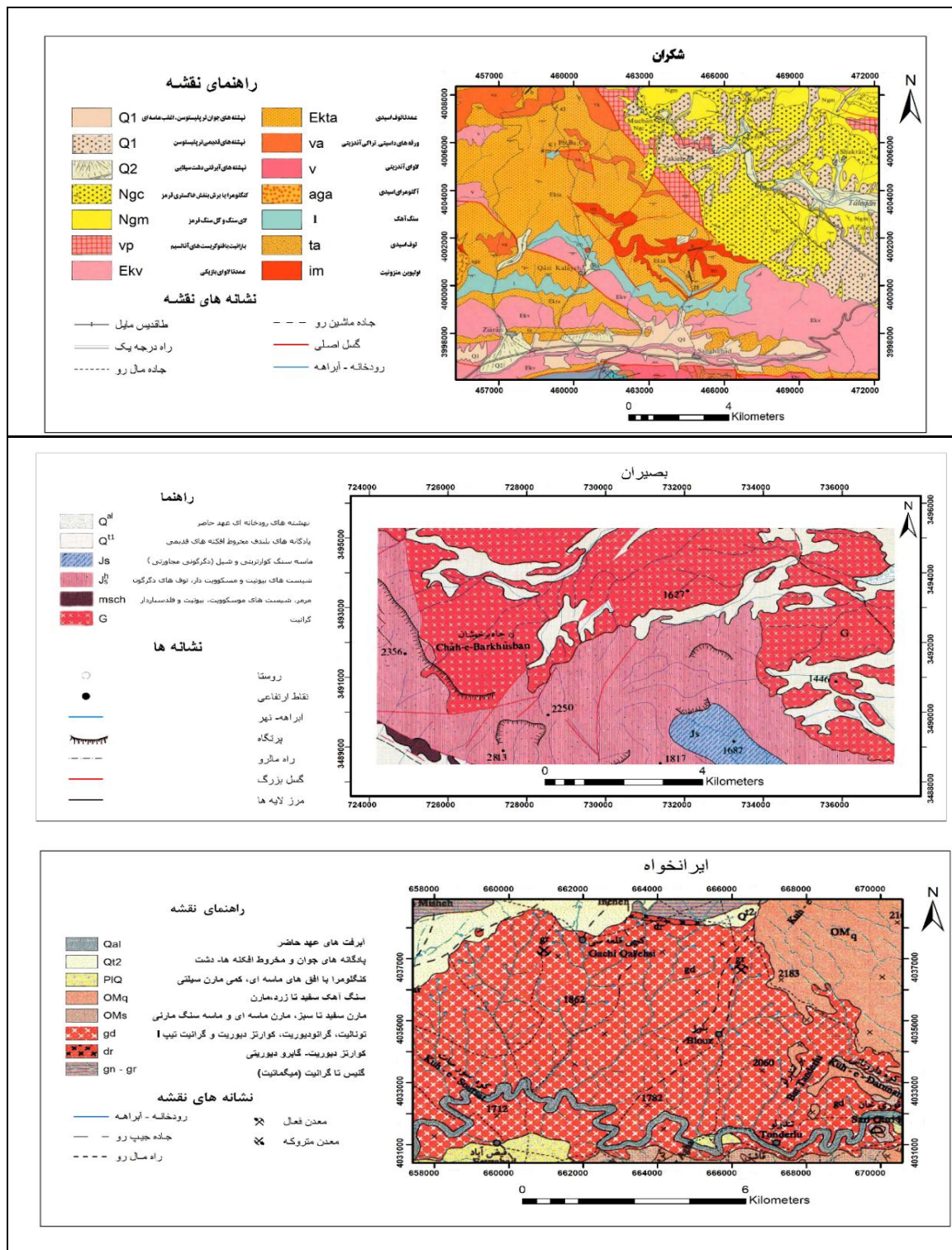
تکتونیکی اوستترین در ارتباط باشد. dr در شمال منطقه بررسی شده، در جنوب شرق آبادی اینچه، ردیفی از سنگ‌های آذرین نفوذی از گونه کوارتز دیوریت- گابرویدیوریتی به‌رنگ خاکستری تیره برونزد دارند. آپوفیزهائی از سنگ‌های آذرین نفوذی (gd) و دایک‌های پگماتیتی آن‌ها را بریده است. از بررسی‌های پترولوژی و ژئوشیمیایی چنین استنباط می‌شود که این واحد (dr)، از رخساره‌های ژرف نهشته‌های واحد (gd) است که در اثر عوامل تکتونیکی، بخشی از آن برونزد یافته است. نهشته‌های ترشیر نیز در شرق و شمال توده نفوذی دربرگیرنده محدوده معدنی، رخنمون دارند. پس از رخدادهای پیرنن و ساوین، رسوبات سازند قم در شمال و شرق چهارگوش ایرانخواه تهنشین شده‌اند. از سازند قم، واحد OM_q در شمال شرق و شرق محدوده معدنی بررسی شده، ردیفی از سنگ آهک‌های مارنی سفید تا روشن در پیکر تاقدیس و ناودیس‌های باز برونزد دارند. در بخش‌هایی از پایه این سنگ آهک‌ها، دانه‌های گردشده با تراکم ضعیف از نوع خود دیده می‌شود که قابل تفکیک نیستند. در شمال و غرب محدوده مورد نظر، واحدهایی از رسوبات پلیو-پلیستوسن با علامت Q^{t2} دیده می‌شوند، این رسوبات در سطحی پست‌تر نسبت به رسوبات واحد Q^{t1} که رسوبات و تراس‌های کهن، به‌صورت پادگانه‌های بلند و مخروط‌افکنه است قرار گرفته‌اند و شامل انباشته‌های سخت نشده قلوهدار هستند. ستبرای این انباشته‌ها متغیر است و گاهی به بیش از ۱۰ متر می‌رسد. در شمال محدوده معدنی، رخنمونی از سنگ‌های دگرگونی زون سندنجد-سیرجان با علامت $gr-gn$ روی نقشه مشخص شده، که نهشته‌های دگرگونه‌ای از نوع گنیس تا گرانیت (میگماتیت) وجود دارد که به‌وسیله سنگ‌های آذرین نفوذی (gd) و (dr) قطع شده‌اند و به‌وسیله رسوبات کواترنر پوشیده می‌شوند. این نهشته‌ها به‌سوی شمال ناحیه (نقشه زمین‌شناسی شاهین‌دژ) گسترش می‌یابند و به‌تدریج به نهشته‌های دگرگونه (رخساره شیست سبز دگرگونی ناحیه‌ای) تبدیل می‌شوند. نهشته‌های دگرگونه یاد شده در نقشه زمین‌شناسی شاهین‌دژ نیز، به‌وسیله سنگ‌های نفوذی کرتاسه بالا قطع شده‌اند. در نتیجه، نهشته‌های یاد شده در اثر رخدادهای تکتونیکی پس از کامبرین-پالئوسن دگرگون شده‌اند.

شکل ۳ موقعیت جغرافیایی سه منطقه گرانیت نهبندان، گرانیت تکاب و گرانیت الموت



شکل ۳. موقعیت جغرافیایی سه منطقه گرانیت نهبندان، گرانیت تکاب و گرانیت الموت

شکل ۴ نقشه زمین‌شناسی مناطق برداشت نمونه را نشان می‌دهد که نقشه زمین‌شناسی شکران متعلق به گرانیت الموت، نقشه زمین‌شناسی بصیران متعلق به گرانیت نهبندان و در نهایت نقشه زمین‌شناسی ایرانخواه متعلق به گرانیت تکاب است.

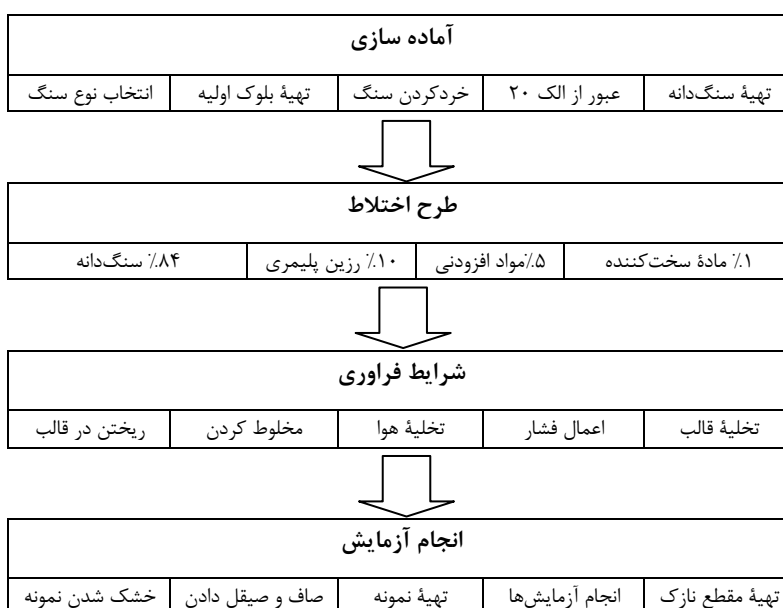


شکل ۴. نقشه زمین‌شناسی مناطق برداشت نمونه: گرانیت الموت (شکران)، گرانیت نه‌بندان (بصیران) و گرانیت تکاب (ایرانخواه)

مراحل ساخت سنگ مصنوعی در این تحقیق

سنگ مصنوعی طی مراحل خاصی تولید می‌شود روندی که برای تولید به کار می‌رود معمولاً برای هر نوع سنگ مصنوعی ثابت است. بیش‌تر تفاوت‌ها در روش‌ها ناشی از اندازه قالب‌های ایجاد شده و نوع چسباننده به کار رفته است. به مجموعه‌ای از مواد حاصل از فعالیت‌های انسانی که غیرقابل استفاده و یا مازاد فرض می‌شود، مواد زائد اطلاق می‌شود. سنگ مصنوعی که از مواد زائد بازیافتی از قبیل زباله شیشه و خرده سنگ‌های حاصل از فرآوری سنگ به عنوان مواد خام با استفاده از تراکم و ویبره در یک محیط خلأ ساخته می‌شود [۱۴]. جدول ۳ مراحل ساخت سنگ مصنوعی در این تحقیق را به ترتیب نشان می‌دهد که شامل مراحل آماده‌سازی، طرح اختلاط، شرایط فرآوری و انجام آزمایش است.

جدول ۳. مراحل ساخت سنگ مصنوعی



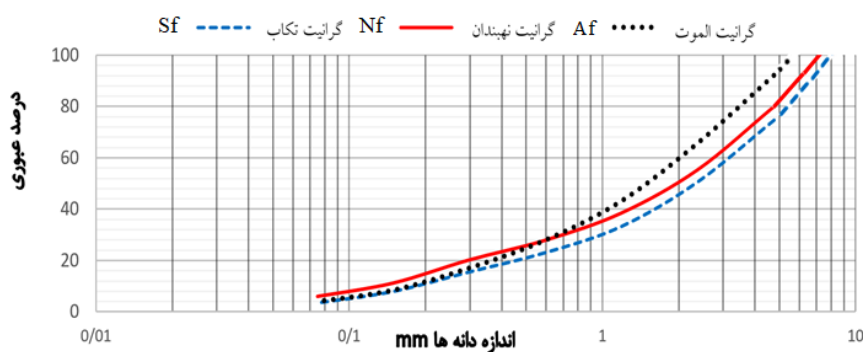
جدول ۴ نوع سنگ‌دانه و درصد مواد افزودنی برای نمونه سنگ‌های ساخته شده را نشان می‌دهد در نمونه‌هایی که از الیاف شیشه استفاده شده است درصد استفاده رزین‌های پلی‌استر و ویلین‌استر ثابت است و درصد سنگ‌دانه از ۸۴ به ۸۲ درصد کاهش یافته و به همان میزان الیاف شیشه استفاده شده است. لازم به ذکر است که همه مراحل ساخت سنگ مصنوعی بدون نیاز به ابزار خاصی و کاملاً به صورت دستی و بدون نیاز به سیستم خلأ و فشار صورت گرفته است.

جدول ۴. نوع سنگ‌دانه و درصد مواد افزودنی

سنگ‌دانه (۸۴٪)	نوع رزین (۱۵٪)	افزودنی	پروکسی (۱٪)
گرانیت تکاب	پلی‌استر		کبات + اسید
	ویلین‌استر	الیاف شیشه	
گرانیت الموت	پلی‌استر		کبات + اسید
	ویلین‌استر	الیاف شیشه	
گرانیت نه‌بندان	پلی‌استر		کبات + اسید
	ویلین‌استر	الیاف شیشه	

شرح اطلاعات مواد افزودنی به کار برده شده در ساخت سنگ‌های مصنوعی

چنانچه دانه‌بندی مصالح سنگی استاندارد باشد، میزان فضای خالی بین دانه‌ها حداقل بوده است و در این صورت خمیر سیمان با آغشته کردن اطراف دانه‌های سنگی، یک پارچگی مناسب ایجاد می‌کند که باعث حصول مقاومت فشاری حداکثر می‌شود. استفاده از دانه‌های تیز گوشه با سطح جانبی زبر باعث درگیری و قفل و بست بهتر اجزا بتن شده و منجر به افزایش مقاومت فشاری می‌شود [۱۸]. ویژگی سنگ‌دانه‌ها مانند ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی، ساختار حفرات، زبری، درجه هواز دگی، وزن واحد حجم، سختی، دوام شیمیایی و مکانیکی که مرتبط با سنگ مادر است، همچنین تعدادی از ویژگی‌های دیگر مانند مساحت سطح اندازه و شکل دانه‌ها، بافت سطحی، مدول الاستیسیته و جذب آب که مرتبط با جنس و نوع سنگ‌دانه‌ها هستند [۱۵]. سایز سنگ‌دانه‌های استفاده شده در ساخت سنگ مصنوعی این تحقیق با آزمون سعی و خطا به منظور دستیابی به بهترین آرایش، طرح اختلاط، کاهش جذب آب و تخلخل از بین هفت مش به وزن یکسان به ترتیب از الک‌های ۳/۸، ۴، ۱۰، ۱۶، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ انتخاب شد. شکل ۵ نتایج آزمایش دانه‌بندی سه نمونه سنگ را نشان می‌دهد.



شکل ۵. منحنی دانه‌بندی سنگ دانه‌ها

رابطه ۱ ضریب یک‌نواختی را نشان می‌دهد که هر چه این ضریب به یک نزدیک‌تر باشد، یک‌نواختی خاک بیش‌تر است. رابطه ۲ ضریب خمیدگی را نشان می‌دهد و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد، خمیدگی منحنی دانه‌بندی یک‌نواخت‌تر است.

$$c_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (1)$$

$$c_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} \quad (2)$$

D_{60} قطر بزرگ‌ترین دانه‌ای است که می‌تواند از الکی که ۶۰ درصد دانه‌ها از آن عبور کرده‌اند رد شود. D_{30} قطر بزرگ‌ترین دانه‌ای است که می‌تواند از الکی که ۳۰ درصد دانه‌ها از آن عبور کرده‌اند رد شود. D_{10} قطر بزرگ‌ترین دانه‌ای است که می‌تواند از الکی که ۱۰ درصد دانه‌ها از آن عبور کرده‌اند رد شود.

محاسبه ضریب یک‌نواختی و ضریب انحنا برای گرانیت تکاب (Sf):

$$c_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = \frac{0.44}{2 \cdot 0.19} = 1.15 \quad c_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{2}{0.19} = 10.52$$

محاسبه ضریب یک‌نواختی و ضریب انحنا برای گرانیت نه‌بندان (Nf):

$$c_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = \frac{1}{3.1 \cdot 0.19} = 1.48 \quad c_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{2.8}{0.12} = 23.33$$

محاسبه ضریب یک‌نواختی و ضریب انحنا برای گرانیت الموت (Af):

$$c_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = \frac{0.44}{2 \cdot 0.19} = 1.15$$

$$c_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{3.1}{0.19} = 16.31$$

با توجه به ضریب یک‌نواختی^۱ و ضریب انحنا^۲ و محدوده دانه‌بندی، نمونه سنگ‌های خرد شده دارای دانه‌بندی خوب^۳ هستند. و این عاملی است که به سنگ‌دانه‌ها این امکان را می‌دهد که بسیار نزدیک به هم قرار گیرند و بهترین آرایش مواد جامد مخلوط را داشته باشند. بنابراین مقدار مواد چسباننده که سنگ‌دانه‌ها را در بر می‌گیرد بسیار کاهش می‌یابد و این عاملی است که مشخصات تکنیکی سنگ را بهبود می‌بخشد و سبب تولید اسلب سنگ مصنوعی با مقاومت فشاری زیاد می‌شود. سنگ‌دانه‌های تیز گوشه و آن‌هایی که سطوح ناصافی و متخلخل دارند نسبت به سنگ‌دانه‌های گرد گوشه آب بیش‌تری جذب می‌کنند. ذرات با اشکال طویل و پولکی می‌توانند به نحو نامطلوبی بر دوام بتن تأثیر بگذارند زیرا دانه‌های پولکی تمایل به قرار گرفتن در یک جهت را دارند و آب منافذ هوا ممکن است در زیر این سطح جمع شده و مقاومت را کاهش دهند [۴].

رزین پلی استر

رزین ترکیبی طبیعی یا مصنوعی است که بسیار چسبناک است و تحت شرایطی سخت می‌شود. معمولاً در الکل قابل حل است اما در آب حل نمی‌شود. این ترکیب به طرق گوناگون طبقه‌بندی می‌شود که بستگی به ترکیب شیمیایی و مورد مصرف آن دارد. هم‌چنین کاربردهای زیادی در هنر، تولید پلیمر و غیره دارد. رزین‌های پلی‌استر غیراشباع که با علامت اختصاری (UPR) نام برده می‌شود رزین‌های استفاده شده در سنگ‌های مصنوعی از نوع مقاومت بالا هستند. رزین‌های استفاده شده می‌توانند متفاوت باشند، عمدتاً از رزین‌های پلی‌استر^۴، اپوکسی و یا سایر رزین‌های اختصاصی استفاده می‌شود [۱۸].

رزین وینیل‌استر

وینیل‌استرها^۵ محصول واکنش رزین‌های اپوکسی با اسیدهای غیراشباع اتیلنی هستند. رزین‌های وینیل‌استر خواص چقرمگی و مقاومت شیمیایی بسیار بهتری نسبت به رزین‌های پلی‌استر دارند. زنجیر اصلی اپوکسی سازنده وینیل‌استر، موجب پیدایش چقرمگی و ازدیاد طول کششی بیش‌تر می‌شود. جرم مولکولی رزین‌های وینیل‌استر به انتخاب نوع اپوکسی به کار رفته بستگی دارد. به این دلیل، استحکام کششی، ازدیاد طول، نقطه نرمی و واکنش‌پذیری رزین نهایی به وسیله جرم مولکولی و ساختار اولیه تعیین می‌شود. این موضوع، این امکان را به وجود می‌آورد که برای کاربردهای مختلف خواص مختلف طراحی شود. جدول ۵ مزایا و معایب رزین‌های استفاده شده در تحقیق را نشان می‌دهد.

الیاف شیشه

الیاف شیشه^۶ (GFRP) رشته‌های ظریف و انعطاف‌پذیری هستند که از طریق ذوب شیشه یا ترکیبات تشکیل دهنده شیشه با ترکیبات مشخصی از مواد تهیه می‌شوند. برای تولید این الیاف مخلوط مذاب حاصل از مواد اولیه تشکیل‌دهنده الیاف تحت فشار زیاد از سوراخ‌هایی با قطر بسیار کم خارج شده و پس از آغشته شدن به مواد روان کننده، روی قرقره چرخان پیچیده می‌شوند تا در مراحل بعدی برای تولید محصولات متنوع الیاف شیشه استفاده شوند.

1. Uniformity Coefficient
2. Curvature coefficient
3. Well Graded Soil
4. Polyester Resin
5. Vinylester Resin
6. Glass Fiber Reinforced Polymer

این محصول کاربرد بسیار زیادی در صنایع تولیدی به‌ویژه ساختمان‌سازی دارد [۳]. از ویژگی‌های الیاف شیشه می‌توان به استحکام کششی بالا، عایق الکتریکی خوب و مقاومت شیمیایی بالا اشاره کرد بنابراین مناسب محیط‌های مستعد خوردگی هست.

جدول ۵. مزایا و معایب انواع رزین‌ها

پلی‌استرها	
مزایا	معایب
سهولت در مصرف * پایین‌ترین قیمت در بین رزین‌های موجود	مقاومت‌های مکانیکی متوسط * انتشار زیاد استرین در قالب‌گیری باز * جمع‌شوندگی زیاد در حین پخت * زمان کار محدود بعد از افزودن فعال‌کننده
وینیل‌استرها	
مزایا	معایب
مقاومت شیمیایی و محیطی بسیار زیاد * مقاومت‌های مکانیکی بسیار زیاد نسبت به پلی‌استرها	مقاومت‌های مکانیکی متوسط * جمع‌شوندگی زیاد در حین پخت * قیمت زیادتر از پلی‌استر

شکل ۶ نمونه سنگ‌های مصنوعی ساخته شده، همراه با نمونه‌های طبیعی را نشان می‌دهد. مغزه‌های ساخته شده در قالب بعد از یک روز خشک شدن در داخل قالب (لوله پلیکا) در دمای آزمایشگاه خشک می‌شوند همچنین برای تسریع زمان ساخت سنگ مصنوعی می‌توان مغزه‌های ساخته شده را در آون در دمای بین ۴۵-۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داد. دمای بیش‌تر موجب شکسته شدن پیوند شیمیایی رزین می‌شود. لازم به ذکر است در حین ساخت از عینک و ماسک فیلتردار تمام صورت به دلیل خطرات احتمالی اشتغال رزین و هاردنر استفاده شود.



شکل ۶. نمونه سنگ‌های مصنوعی ساخته شده همراه با نمونه‌های طبیعی

بحث و نتایج

نتایج حاصل از آزمایش ویژگی‌های فیزیکی سنگ مصنوعی

نمونه‌های ساخته شده برای تعیین درصد جذب آب، تخلخل، چگالی مورد آزمایش ویژگی‌های فیزیکی واقع شدند و نتایج ویژگی‌های فیزیکی چنان‌که در جدول ۶ مشاهده می‌شود حاکی از آن است که نمونه سنگ‌های ساخته‌شده دارای چگالی کم درصد جذب آب و تخلخل اندک هستند. این ویژگی‌ها باعث می‌شود که سنگ مصنوعی با وجود سبک بودن و قابلیت نصب آسان در مقابل عوامل هوازدگی و یخبندان به علت عدم جذب آب یا بسیار ناچیز نسبت به سنگ طبیعی که دارای عدم یک‌نواختی در بافت و همچنین داشتن سطوح ضعف و ترک‌خوردگی است مناسب‌تر باشد زیرا بار اضافی وارد بر سازه را به همراه ندارند به همین دلیل در صنعت ساختمان مطلوبیت بیش‌تری دارد. جذب آب ناچیز نشان‌گر نداشتن درز و شکاف نیست (به علت عدم تراکم کامل) بلکه به علت خاصیت آب‌گریز بودن رزین‌ها است یکی از دلایل برتری سنگ‌های مصنوعی ساخته‌شده با رزین نسبت به سنگ مصنوعی ساخته‌شده با سیمان داشتن همین ویژگی آب‌گریز بودن رزین‌ها و نداشتن جذب آب است. در جدول ۶ نتایج آزمایش دوام^۱ نیز آورده شده است. داده‌ها حاکی از آن است که نمونه سنگ‌های ساخته شده در رده سنگ‌های با دوام‌پذیری زیاد در مقابل شرایط محیطی با توجه به شاخص Franklin and Chandra, (1972) هستند.

جدول ۶. نتایج آزمایش‌های ویژگی فیزیکی و آزمایش دوام نمونه سنگ‌های مصنوعی

سنگ‌دانه	رزین	ماده افزودنی	چگالی (gr/cm^3)	جذب آب (%)	تخلخل (%)	آزمایش دوام I_d %	
						سیکل اول	سیکل دوم
گرانیت تکاب	پلی‌استر	فاقد	۲/۱۳	۰/۷۹	۱/۶۸	۹۹/۸	۹۹/۴
	ویلین‌استر	فاقد	۲/۰۶	۰/۵۹	۱/۲۳	۹۹/۸	۹۹/۶
	ویلین‌استر	الیاف شیشه	۱/۸۹	۱/۷۹	۳/۳۹	۱۰۰	۹۹/۸
گرانیت الموت	پلی‌استر	فاقد	۲/۱۵	۰/۳۹	۰/۸۶	۱۰۰	۱۰۰
	ویلین‌استر	فاقد	۲/۱۳	۰/۵۹	۱/۲۷	۱۰۰	۹۹/۸
	ویلین‌استر	الیاف شیشه	۱/۹۷	۲/۳۱	۴/۴۸	۱۰۰	۹۹/۸
گرانیت نه‌بندان	پلی‌استر	فاقد	۲	۱/۱۹	۲/۳۹	۱۰۰	۱۰۰
	ویلین‌استر	فاقد	۱/۹۷	۱/۳۹	۲/۷۵	۹۹/۶	۹۹/۴
	ویلین‌استر	الیاف شیشه	۱/۷۳	۱/۳۸	۲/۴۰	۱۰۰	۹۹/۶

نتایج آزمایش برزیلی

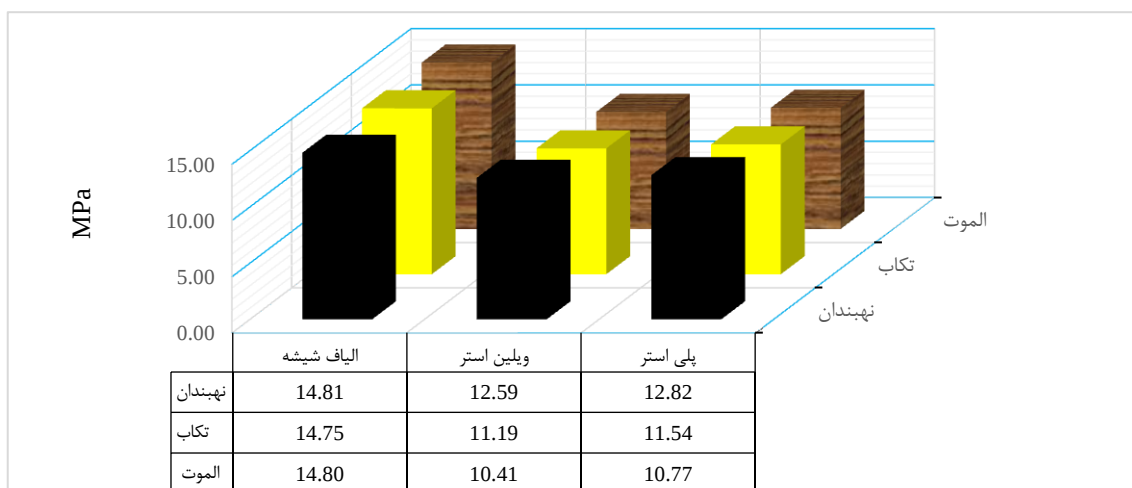
آزمایش برزیلی^۲ یکی از روش‌های متداول برای اندازه‌گیری غیرمستقیم مقاومت کششی^۳ سنگ‌ها است. شکل ۷ نتایج آزمایش برزیلی انجام شده بر سنگ‌های ساخته شده را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که نمونه‌های ساخته‌شده با الیاف شیشه فارغ از نوع سنگ‌دانه دارای دارای مقاومت کششی بیش‌تری نسبت به نمونه‌های ساخته شده بدون الیاف شیشه هستند همچنین نمونه‌های ساخته شده با خرده‌سنگ‌های گرانیت نه‌بندان نسبت به نمونه‌های

1. Slake Durability Test
2. Brazilian Test
3. Tensile Strength

ساخته‌شده با گرانیت تکاب و الموت قزوین نیز دارای مقاومت کششی بیش‌تری هستند. نمونه‌های ساخته شده با الیاف شیشه نسبت به نمونه‌های بدون الیاف شیشه فارغ از نوع رزین و سنگ‌دانه دارای تقریباً ۱۵٪ مقاومت کششی بیش‌تری هستند. از این نتایج نتیجه می‌شود که الیاف شیشه به‌علت درهم تنیدگی تارو پود مانند در بافت سنگ و هم‌چنین داشتن مقاومت بسیار زیاد، مقاومت کششی زیادی به سنگ می‌دهد.

نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری

آزمایش^۱ مقاومت فشاری تک‌محوری^۲ یکی از آزمایش‌های متداول برای تعیین مقاومت فشاری و دیگر شاخص‌های تغییرشکل‌پذیری سنگ بکر است. نتایج این آزمایش به ریزترک‌های اولیه سنگ و هم‌چنین موازی بودن سطوح بالایی و پایینی نمونه و هموار بودن آن بستگی دارد به‌همین دلیل نمونه سنگ‌ها مورد ساب قرار گرفتند. شکل ۸ نتایج آزمایش تک‌محوری انجام شده روی سنگ‌های مصنوعی را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که نمونه‌های ساخته شده با گرانیت سفید تکاب با هر نوع رزین و ماده افزودنی و الیاف شیشه نسبت به سنگ‌دانه‌های الموت قزوین و نه‌بندان مقاومت بیش‌تری را نشان می‌دهد که حاکی از آن است که خود سنگ‌دانه در مقاومت سنگ مصنوعی تأثیرگذار است. نسبت مقاومت نمونه‌های ساخته شده با رزین ویلین استر به مقاومت نمونه‌های ساخته شده با رزین پلی‌استر در هر سه نمونه سنگ گرانیت، تقریباً ۱/۶۴ برابر است و نشان‌دهنده آن است که برای ساخت سنگ مصنوعی با ویژگی و خصوصیات مد نظر باید از رزین مخصوصی استفاده کرد. هم‌چنین نمونه‌های ساخته شده با الیاف شیشه و رزین وینیل استر تقریباً ۱۴٪ با نمونه‌های مشابه بدون استفاده از الیاف شیشه مقاومت بیش‌تری را نشان می‌دهند. از این موارد می‌توان نتیجه گرفت که طرح اختلاط و هم‌چنین کاربرد هر ماده افزودنی با توجه به نیازهای درخواستی برای هر نوع سازه‌ای، متناسب با موقعیت مکانی استفاده شده سنگ مصنوعی با مقاومت فشاری خاص تولید کرد. دلیل زیاد بودن مقاومت سنگ‌های مصنوعی ساخته شده با الیاف شیشه زیاد بودن مقاومت خود الیاف شیشه در بافت سنگ مصنوعی است.

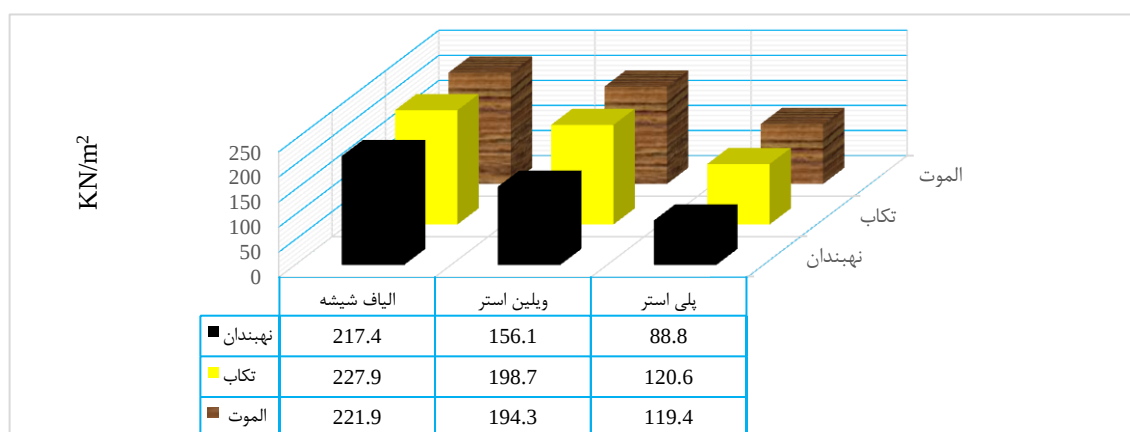


شکل ۷. نتایج آزمایش برزیلین روی نمونه سنگ‌های مصنوعی

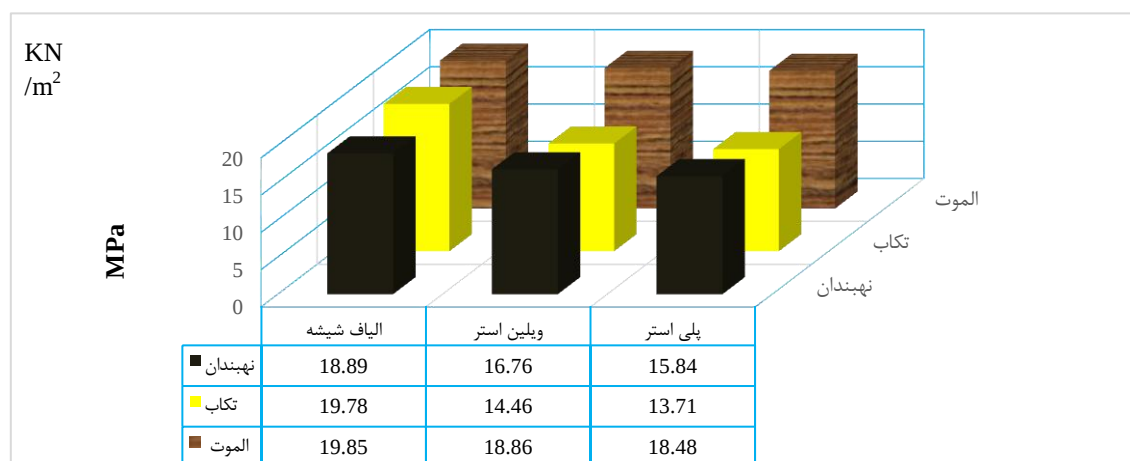
1. Compression Strength
2. Uniaxial Compression Test

نتایج آزمایش بار نقطه‌ای

در آزمایش بار نقطه‌ای^۱ نمونه‌ها بدون داشتن شکل هندسی مشخص می‌توانند در راستای ارتفاع خود به‌نحوی که طول نمونه حداقل ۱/۵ برابر قطر مغزه باشد آزمایش شوند. شکل ۹ نتایج آزمایش بار نقطه‌ای انجام شده بر سنگ‌های مصنوعی را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که نمونه‌های ساخته شده با الیاف شیشه دارای شاخص بار نقطه‌ای تقریباً ۱۲٪ بیش‌تر نسبت به نمونه سنگ‌های بدون الیاف شیشه هستند همچنین نمونه سنگ‌های ساخته شده با سنگ‌دانه‌های الموت با توجه به این‌که در نتایج آزمایش XRD آن سنگ‌هایی با مقاومت زیاد هستند شاخص بار نقطه‌ای بیش‌تری نسبت به نمونه سنگ‌های ساخته شده از سنگ‌دانه‌های نه‌بندان و تکاب هستند. بر اساس رده‌بندی Brouch and Franklin, (1972) نمونه سنگ‌های مصنوعی در محدوده سنگ‌های خوب از نظر رده‌بندی شاخص نقطه‌ای قرار می‌گیرند. سنگ‌های مصنوعی به‌دلیل همگن^۲ و هم‌سان^۳ بودن و نداشتن نقاط ضعف شاخص بار نقطه‌ای بیش‌تری را نشان می‌دهد.



شکل ۸. نتایج آزمایش فشاری تک‌محوری روی نمونه سنگ‌های مصنوعی

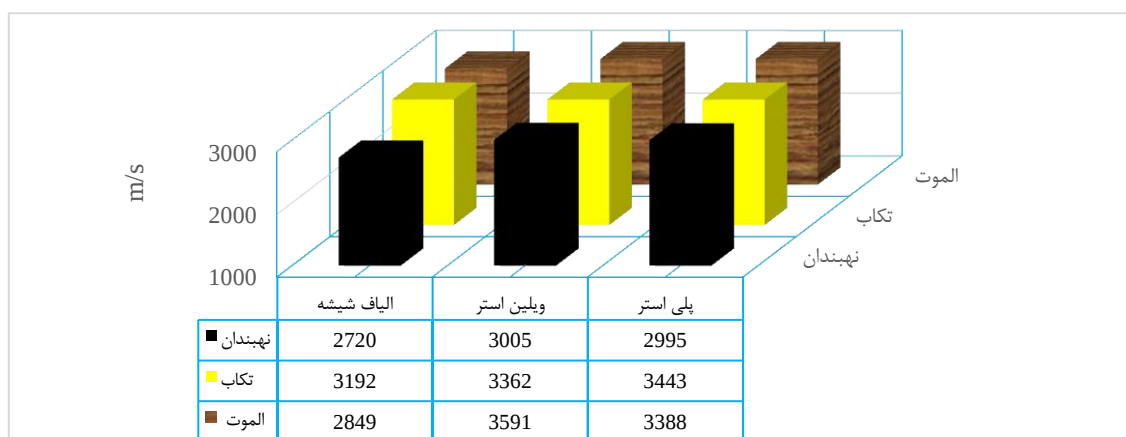


شکل ۹. نتایج آزمایش بار نقطه‌ای روی نمونه سنگ‌های مصنوعی

1. Point Load Test
2. Homogenous
3. Isotropic

نتایج آزمایش ارتعاش فراصوتی

ارتعاش فراصوتی^۱ آزمایشی غیرمخرب برای تعیین خواص فیزیکی و مهندسی سنگ به‌شمار می‌آید. این آزمایش بر مبنای اندازه‌گیری سرعت حرکت موج الاستیک در سنگ پایه‌ریزی شده است. به‌طور کلی، هر چه سرعت حرکت موج در یک محیط بیش‌تر باشد، نشانهٔ زیاد بودن چگالی و پیوستگی آن محیط است. علاوه بر آن با استفاده از نتایج این آزمایش می‌توان به ارزیابی میزان یک‌نواختی و همگنی تودهٔ سنگ دست یافت. شکل ۱۰ نتایج حاصل از آزمایش ارتعاش فراصوت موج P را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که نمونه‌های ساخته شده با الیاف شیشه به‌دلیل ویژگی فیبری الیاف شیشه و تراکم سخت و ناقص آن دارای سرعت موج P کم‌تری نسبت به نمونه سنگ‌های ساخته شده بدون الیاف شیشه است. اما با این وجود به‌دلیل قرارگیری تصادفی تار و پود مانند الیاف شیشه در حین ساخت سنگ مصنوعی و همچنین مقاومت زیاد شیشه نمونه سنگ‌های ساخته‌شده با الیاف شیشه مقاومت بیش‌تری دارند. همچنین نمونه‌های ساخته شده با رزین وینیل‌استر دارای سرعت صوت بیش‌تری هستند که حاکی از گیرش مناسب رزین وینیل‌استر در منافذ سنگ مصنوعی است.



شکل ۱۰. نتایج آزمایش ارتعاش فراصوت موج P روی نمونه سنگ‌های مصنوعی

نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش، بررسی و مقایسهٔ ویژگی‌های مقاومتی سنگ‌های مصنوعی ساخته شده با مواد افزودنی است. بر اساس بررسی‌های کانی‌شناسی دیده شد، سنگ‌دانه‌های سنگ مصنوعی از نظر جنس می‌تواند از یک نوع سنگ‌دانه یا دارای تنوعی از کانی‌ها باشد. سنگ‌دانه‌های مصرفی از نظر اندازه جورشدگی خوبی ندارند. (میزان تمایل دامنهٔ تغییرات اندازه ذرات مبنی بر قرارگیری در یک گروه اندازه را جورشدگی می‌گویند) انتخاب رنگ، جنس، اندازه و دانه‌ها بستگی به سیمای سنگ و مشخصات فیزیکی و مکانیکی محصول دارد. بر اساس ویژگی‌های فیزیکی و بررسی‌های کانی‌شناسی دیده شد کیفیت اساسی محصولات سنگ مصنوعی به کیفیت سنگ‌دانه‌ها و نوع رزین به‌کار برده شده بر می‌گردد نتایج آزمایش مشخصات فیزیکی نشان می‌دهد که نمونه‌های که با ماده افزودنی الیاف شیشه ساخته شده‌اند دارای تخلخل و جذب آب بیش‌تری به سایر نمونه‌ها هستند. مهم‌ترین فرآیندهایی که طی آن مصالح

سنگ‌دانه‌های منفصل به سنگ مصنوعی تبدیل می‌شوند عبارت از فشردگی: ساده‌ترین فرآیند فیزیکی که در اجزای تشکیل‌دهنده نقش مؤثر و اساسی دارد به تدریج با افزایش فشار، تغییراتی در آرایش سنگ‌دانه‌ها مصالح تشکیل‌دهنده می‌شود که در نهایت باعث کم شدن فضای خالی و در نتیجه حجم سنگ می‌شود. رزین مهم‌ترین عامل سنگ شدن مصالح است که طی آن فضاهای خالی موجود بر اثر فعل و انفعالات شیمیایی از سنگ‌دانه‌ها پر شده و آن را تبدیل به سنگ می‌کند. رزین در فاصله بین ذرات قرار می‌گیرد در حقیقت رزین جای‌گزین فضاهای خالی یا تخلخل و همچنین باعث انسجام می‌شود. سیستم پخت و درصد هاردنر و شتاب‌دهنده درصد هاردنر و شتاب‌دهنده با توجه به این‌که رزین‌های تولید داخل ناخالصی دارند تقریباً یک درصد میزان رزین تعیین شد. اگر میزان هاردنر و شتاب‌دهنده بیش از حد لازم باشد موجب آتش گرفتن محصول و اگر کمتر از حد لازم باشد رزین به صورت مایع باقی و پخته نخواهد شد. سیستم خلأ در این تحقیق برای اولین بار در ساخت سنگ مصنوعی به کار گرفته نشد چون رزین منافذ سیستم خلأ را کور کرده و مانع خروج هوا و خلأ شده و همچنین گیرش رزین به سرعت اتفاق افتاده و انجام خلأ تقریباً بی‌تأثیر است. نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری تک-محوری، کششی، بار نقطه‌ای و ارتعاش فراصوت نشان می‌دهد که سنگ مصنوعی با توجه به نوع ماده افزودنی می‌تواند محدوده مقاومتی و کششی گسترده‌ای داشته باشد. بر اساس این تحقیق طرح اختلاط و نسبت درصد‌های ترکیبی مهم‌ترین اصل در استحکام و مقاومت سنگ مصنوعی است. و همچنین تمامی ویژگی‌های سنگ مصنوعی قابل کنترل است و برای هر مکان، هر استفاده‌ای و سلیقه‌ای قابلیت انعطاف‌پذیری را دارد.

قدردانی

در پایان از مسئول آزمایشگاه و گروه زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس و همچنین از مسئول آزمایشگاه معدن دانشگاه تربیت مدرس "مهندس شیخانی" و مهندسین خانم وقایع‌نگار و خانم باباآدم به پاس تمام حمایت‌ها و همراهی سخاوتمندانه‌شان طی مراحل انجام این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌کنم.

منابع

۱. باباآدم ن.، "تأثیر خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی سنگ دانه‌های سیلیسی بر ویژگی‌های مهندسی سنگ مصنوعی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۹۴).
۲. میرجلیلی ط.، "تأثیر ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی سنگ دانه‌های آهکی روی خصوصیات سنگ‌های مصنوعی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۹۳).
۳. شاهی فر و.، حاجی حسینی م.، امیری ا.، "خواص و عملکرد کامپوزیت بر پایه رزین اپوکسی"، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، شماره ۳، سال بیست و سوم، گروه کامپوزیت، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، دانشگاه صنعتی مالک اشتر (۱۳۸۹) ۲۱۱-۲۰۳.

4. ACI-COMMITTEE-221, "Guide for use of normal weight and heavyweight aggregates in concrete", American concrete institute (2007).

5. Barani K., Esmaili H., "Production of artificial stone slabs using waste granite and marble stone sludge samples", *Journal of Mining and Environment*, 7(1) (2016) 135-141.
6. Broch E., Franklin J. A., "The point-load strength test", In *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, Vol. 9, No. 6 (1972, November) 669-676.
7. 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).
8. Elices M., Rocco C. G., "Effect of aggregate size on the fracture and mechanical properties of a simple concrete", *Engineering Fracture Mechanics*, 75(13) (2008) 3839-3851.
9. Franklin J. A., Chandra R., "The slake-durability test", In *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, Vol. 9, No. 3, (1972, May) 325-328, Pergamon.
10. Farmet M. C., "what is cast stone, *Concrete Repair Bulletin*", issue, 6 (2008) 18 -25.
11. Gomes M. L. P., Carvalho E. A., Sobrinho L. N., Monteiro S. N., Rodriguez R. J., Vieira C. M. F., "Production and characterization of a novel artificial stone using brick residue and quarry dust in epoxy matrix", *Journal of materials research and technology* (2018).
12. 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.
13. Kodur V. K. R., Phan L. "Critical factors governing the fire performance of high strength concrete systems", *Fire Safety Journal*, 42 (6-7) (2007) 482-488.
14. Lee M. Y., Ko C. H., Chang F. C., Lo S. L., Lin J. D., Shan M. Y., Lee J. C., "Artificial stone slab production using waste glass, stone fragments and vacuum vibratory compaction", *Cement and Concrete Composites*, 30 (7) (2008) 583-587.
15. Meddah M. S., Zitouni S., Belâabes S., "Effect of content and particle size distribution of coarse aggregate on the compressive strength of concrete", *Construction and Building Materials*, 24(4) (2010) 505-512.
16. 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.

17. Pompeii Quartz, www.pompeiiquartz.com/pompeiiQuartz_Product_Manual_pdf, (2015).
18. Quantum-Quartz, www.wk.au/quantumquartz_technical_info_pdf, (2013).
19. Stfanidou 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.
20. <https://www.noandishaan.com>.