Archive of SID

Journal of Structural and Construction Engineering, 8(1), 2021, pp. 97-110

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Proposed new methods for modifying the mechanical characteristics of the artificial stone

Ahmad alinezhad[1], Sadegh Dardaei[2*], Hamed Bagheri[2]

1- MSc. Student, Smart Buildings engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2- Assistant Professor, Faculty of Interdisciplinary Science and Technologies,Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

ABSTRACT

In this paper, factors affecting the mechanical properties of polymeric granite artificial stone have been investigated. Epoxy resin and three types of additives called Poly ether ether ketone, Silicon rubber, and Nanoclay have been used to make the artificial stone. Unlike previous research on resin alone, this study has been conducted on artificial stone and samples made using these materials. These samples are compared with the control sample and the sample with optimal mechanical characteristics. The method of making artificial stone is that crushed stone blend with resin, and is molded into molds that are defined according to the American Association of Materials and Testing. Samples were made with two percentages of 7.5 and 15 percent to determine the optimum amount of additive. After curing, the sample is subjected to testing. The results obtained from these experiments for artificial stone show that the addition of polyether ether ketone to epoxy resin compressive strength by more than 30%. 7.5wt% of Nanoclay increases more than 6% in compressive strength in epoxy resin. Therefore, the amount of 7.5% by weight of the additive has been selected as the optimum percentage and only this percent is considered in the manufacture of flexural and tensile strength samples. Adding Silicon rubber to the epoxy resin, increases the flexural strength by 7%. Contrary to expectation, Nanoclay reduces flexural strength significantly. By examining the results of the tensile test, it was determined that the addition of silicon to the epoxy resin increased the resistance to 46% . It is concluded that the addition of silicon rubber has been effective in increasing the compressive strength and in increasing the flexural and tensile strength and adding polyether ether ketone.

ARTICLE INFO

Receive Date: 05 October 2018
Revise Date: 02 March 2019
Accept Date: 09 March 2019

Keywords:
Artificial stone
Epoxy
Vinyelester
Silicon Rubber
Poly Ether Ether Keton
Nanoclay

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2019.151172.1676

*Corresponding author: Sadegh Dardaei
Email address: dardaei@modares.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

پیشنهاد روش‌هایی برای اصلاح مشخصات مکانیکی سنگهای مصنوعی گرانیتی

احمد علی نژاد[۱]، صادق دردائی[۲]، حامد باقری[۲]

۱ -دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی ساختمان های هوشمند، دانشکده فناوری های برتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- استادیار دانشکده فناوری های برتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

سنگ مصنوعی گرانیتی محصولی است کامپوزیتی که از ترکیب سنگدانه گرانیت، رزین و مواد افزودنی تولید می شود. در این مقاله، روش هایی برای اصلاح مشخصات مکانیکی سنگ مصنوعی گرانیتی معرفی شده است. رزین استفاده شده در ساخت سنگ مصنوعی گرانیتی شامل رزین اپوکسی از نوع دیگلیسیدیل اتر بیس فنول نوع آ با نام تجاری EPONATE 557 و سخت کننده آن با نام EPONATE 567 می باشد. در این پژوهش برای اصلاح مقاومت مکانیکی سنگهای مصنوعی گرانیتی، روشهای مناسب، مانند استفاده از سه ماده افزودنی "نانوکلی"، "پلی اتر اترکتون" و "سیلیکون رابر" به عنوان مواد افزودنی با درصد وزنی ۷/۵٪ و ۱۵٪ نسبت به مجموعه رزین انتخاب و درصد وزنی بهینه برای رسیدن به حداکثر مقاومت، بررسی و پیشنهاد گردیده است. نتایج مربوط به آزمایش مقاومت فشاری نشان دهنده بهبود مقاومت در نمونه های با ماده افزودنی پلی اتر اترکتون و نانوکلی می باشد، درحالیکه افزودن سیلیکون رابر باعث افت قابل توجه مقاومت فشاری می شود. نتایج مربوط به آزمایش مقاومت خمشی نشان دهنده بهبود مقاومت در نمونه های ساخته شده با ماده افزودنی سیلیکون رابر می باشد. همچنین نتایج مربوط به آزمایش مقاومت کششی نشان از بهبود خواص کششی در نمونه های ساخته شده با سیلیکون رابر می دهد. نتایج نشان می دهد که افزودن ۱۵درصد وزنی از هر سه ماده افزودنی در نمونه ها، باعث افت مقاومت سنگ نسبت به نمونه های ۷/۵ درصد وزنی می گردد. بر اساس نتایج برای اصلاح مقاومت فشاری سنگهای مصنوعی گرانیتی استفاده از مواد افزودنی "پلی اتر اترکتون" با درصد وزنی ۷/۵ نسبت به مجموعه رزین و برای اصلاح مقاومت خمشی و کششی سنگ مصنوعی استفاده از ماده افزودنی سیلیکون رابر با درصد وزنی ۷/۵ درصد وزنی نسبت به مجموعه رزین پیشنهاد می گردد.

کلمات کلیدی: سنگ مصنوعی، مشخصات مکانیکی، رزین اپوکسی، نانوکلی، پلی اتر اتر کتون و سیلیکون رابر

سابقه مقاله:					
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	شناسه دیجیتال:
۱۳۹۷/۰۷/۱۳	۱۳۹۷/۱۲/۱۱	۱۳۹۷/۱۲/۱۸	۱۳۹۷/۱۲/۱۸	۱۴۰۰/۰۱/۳۰	doi: 10.22065/JSCE.2019.151172.1676
					https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2019.151172.1676

*نویسنده مسئول: صادق دردائی

پست الکترونیکی: dardaei@modares.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

یکی از مواد پرکاربرد در صنعت ساختمان سنگ می‌باشد که بسته به کارایی، انواع مختلف دارد. در سده‌های اخیر از سنگ به روش سنتی استفاده می‌شد؛ به صورتی‌که سنگ، از معدن استخراج شده و سپس با انجام فرآیند و عملیاتی مورد استفاده قرار می‌گرفت. در دهه‌های گذشته با ترکیب رزین[1] و سنگ‌دانه‌های سنگ طبیعی، توانستند سنگ مصنوعی را تولید کنند که از بسیاری جهات نسبت به سنگ طبیعی برتری داشته است. موارد برتری این نوع سنگ عبارتست از: وزن سبک (در نتیجه حمل و نصب سریع تر و راحت‌تر)، توانایی ساخت به هر ابعاد و طرح و رنگ (بیش از ۲۰۰ طرح و رنگ)، عدم اتلاف مواد اولیه که هنگام برش‌کاری سنگ طبیعی اتفاق می‌افتد و مقاومت بالا در برابر عوامل محیطی. از جمله سنگ‌های مصنوعی که تولید گردیده است سنگ مصنوعی گرانیتی می‌باشد. سنگ مصنوعی گرانیتی محصولی کامپوزیتی است که از ترکیب سنگ‌دانه گرانیت، رزین و مواد افزودنی تولید می‌شود. از طرفی نوع کاربرد این نوع سنگ‌ها در شرایطی که تحت اثر بارهای محتمل قرار می‌گیرند به دلیل اهمیت مقاومت آن، همیشه مدنظر بوده است تا شرایط تولید این سنگ به نحوی باشد که با اصلاح مشخصات مواد سازنده، نسبت به اصلاح مشخصات محصول نهایی اقدام شود. رزین‌های مورد استفاده دراین نوع سنگ عمدتاً از نوع اپوکسی[2] و پلی‌استر[3] و وینیل استر[4] می‌باشند[۱]. مشخصات هر یک از اجزای سنگ مصنوعی در مقاومت نهایی نقش بسزایی دارد، به عنوان مثال می‌توان با اضافه نمودن موادی، مشخصات رزین را بهبود بخشید. کروشنامورتی و همکاران [۲] پژوهشی در زمینه افزودن نانوکلی به رزین اپوکسی با درصدهای ۱٪ و ۳٪ و ۵٪ انجام دادند. نتایج حاصله نشان می دهد که افزودن نانوکلی باعث افزایش مقاومت خمشی و کششی می‌شود. البته این افزایش مقاومت تا درصد وزنی ۳٪ مشاهده شده است و اگر مقدار نانوکلی به ۵٪ وزنی رسانده شود باعث افت مقاومت می‌شود؛ آنها دلیل این پدیده را عدم پراکندگی یکنواخت نانوکلی و در نتیجه ترد شدن ماتریس به ازای درصدهای بیشتر از ۳٪ وزنی اعلام کردند. تاثیر نانوکلی بر خواص فشاری رزین اپوکسی توسط ایدا و همکاران [۳]و بازدهی خواص مکانیکی و ترمودینامیکی نانو کاپوزیت‌های اپوکسی توسط بزرگیان و همکاران بررسی شده است [۴]. سلطان و مک گری [۵] در تحقیقشان از رابر برای اصلاح خواص رزین اپوکسی استفاده کرده‌اند. یو و همکاران[۶] در پژوهشی تأثیر پلی اتر اترکتون را بر روی چقرمه سازی رزین اپوکسی مورد مطالعه قرار داده‌اند. بر اساس نتایج آن‌ها، مقدار پلی اتر اترکتون از مهمترین پارامترهای تغییر مقدار مقاومت فشاری و کششی به شمار رفته است، به نحوی که افزودن پلی اتر اترکتون با جرم مولکولی ۹۵۰۰، باعث افزایش مقاومت فشاری به میزان ۱۷درصد شده است. تحقیقات پیشین در خصوص بهبود خواص و تاثیر افزودنی‌ها به رزین اپوکسی به تنهایی بوده است و توجه کمی به مقایسه اثر این مواد به طور همزمان و خصوصاً بر روی سنگ مصنوعی صورت گرفته است. بدین منظور در پژوهش حاضر به اصلاح مشخصات مکانیکی سنگ مصنوعی گرانیتی پرداخته شده است. در این پژوهش، تاثیر مواد افزودنی نانوکلی[5] ، سیلیکون رابر[6] و پلی اتر اترکتون[7] بر مشخصات مکانیکی سنگ مصنوعی ساخته شده با رزین اپوکسی بررسی شده است؛ نمونه‌های ساخته شده با استفاده از مواد افزودنی را با نمونه‌های شاهد بررسی و نمونه با مشخصات مکانیکی بهینه انتخاب می‌شود.

۲- مواد و روش ساخت

مواد مورد استفاده در این پژوهش، شامل رزین اپوکسی و مواد افزودنی شامل پلی اتر اترکتون، نانوکلی و سیلیکون‌رابر بوده است. رزین اپوکسی مورد استفاده، سامانه دوجزئی شامل دیگلیسیدیل‌اتر بر پایه بیس فنول نوع آ با رنگ روشن و ویسکوزیته ۸۰۰ mPa.s و چگالی gr/cm^3 ۱/۱۷ با نام تجاری اپونیت ۵۵۷ بوده و هاردنر آن از نوع شفاف با ویسکوزیته ۳۲۰ mPa.s و چگالی gr/cm^3 ۱/۰۳ بوده که با نسبت وزنی ۴۰ به ۶۰ نسبت به پایه اپوکسی (قسمت اول) مخلوط شده است. سنگ‌دانه استفاده شده از نوع سنگ گرانیت مشکی گابرو از معدن گُدار سیاوش نطنز با مشخصات فیزیکی از قبیل چگالی gr/cm^3 ۳/۱ ، سختی ۶ ، جذب آب ۰/۰۶ درصد است. پلی‌اتر اترکتون

[1] Resin
[2] Epoxy
[3] Poly Ester
[4] Vinyl Ester
[5] Nanoclay
[6] Silicon Rubber
[7] Poly Ether Ether Keton

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده شده دارای CAS Number[8] به شماره ۲-۲۹-۲۹۶۵۹ بوده و نقطه ذوب آن ۳۲۲ درجه سانتی‌گراد و چگالی آن gr/cm^3 ۱/۳ و میانگین وزن مولکولی آن gr/mol ۲۰۸۰۰ و نانوکلی استفاده شده با قطر ۱تا ۵ نانومتر می باشد. سیلیکون‌رابر استفاده شده با نام تجاری ۳۳۳۵ خریداری‌شده و چگالی آن gr/cm^3 ۱/۲۶ ، سختی آن ۲۵ واحد و نیروی کششی قابل تحمل آن ۴/۵ نیوتن بر میلیمتر مربع است.

۲-۱- طرح اختلاط سنگ مصنوعی

برای ساخت نمونه‌ها بایستی در ابتدا طرح اختلاط مناسب سنگ مصنوعی تهیه گردد. بر اساس پژوهش‌های پیشین، معمولاً رزین با نسبت (۷٪ -۱۰٪) با سنگ‌دانه به نسبت (۹۳٪ - ۹۰٪) مورد استفاده قرار گرفته اند. سنگ مصنوعی شامل ۹۳٪ سنگ‌دانه طبیعی (عمدتاً کوارتزیت و یا گرانیت) و ۷٪ رزین می باشد. برای انتخاب درصد مناسب رزین نمونه‌هایی با درصد رزین ۷ تا ۲۰ درصد ساخته شد. با توجه به شرایط آزمایش، در نمونه‌های با درصد رزین کمتر از ۱۵درصد سنگ‌ها به شدت در برابر ضربه آسیب‌پذیر بوده‌اند و در نمونه‌های حدوداً ۲۰ درصد رزین، مواد ته‌نشین می‌شدند و مخلوطی یکنواخت بوجود نمی‌آمد؛ در نهایت میزان ۱۵٪، به عنوان درصد مناسب رزین انتخاب شد.

۲-۲- ساخت سنگ مصنوعی

برای ساخت نمونه‌ها ابتدا باید سنگ گرانیت توسط دستگاه خردکن[9]، خرد شده و پس از آن با استفاده از الک‌های استاندارد ASTM، به دانه‌بندی مناسب رسانده شود. منظور از دانه‌بندی، چگونگی توزیع قطر ذرات موجود در هر مخلوط بر حسب درصد وزنی است. توزیع اندازه ذرات عموماً به صورت یک منحنی، به نام منحنی دانه‌بندی نشان داده می‌شود. برای ساخت سنگ مصنوعی در ابتدا به دانه-بندی مناسبی برای سنگ‌دانه‌ها نیاز است. انتخاب بهترین منحنی دانه‌بندی با استناد بر منحنی‌های دانه‌بندی موجود برای ساخت بتن و اندازه‌گیری میزان تخلخل به منظور یافتن مناسب‌ترین فضای خالی (تخلخل) انجام شد. کمترین میزان تخلخل با استفاده از منحنی‌های مختلف بدست آمد ۱۵٪ بود. در این دانه‌بندی‌ها از سری الک‌هایی شامل ۹ الک از شماره‌ی ۳/۴ (۱۹ میلیمتر) تا الک نمره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلیمتر) استفاده شده است. برای هر منحنی طراحی‌شده، میزان تخلخل موجود در بین سنگ‌دانه‌ها محاسبه شده است که درنهایت منحنی دانه‌بندی که در شکل (۱) نشان داده شده، جهت ساخت سنگ مصنوعی در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. ازآنجائیکه هدف این پژوهش بررسی عوامل موثر بر مشخصات مکانیکی سنگ مصنوعی گرانیتی می‌باشد، بدین منظور مصالح و تجهیزات آزمایشگاهی زیر مورد استفاده قرار گرفته اند:

۱) رزین اپوکسی به همراه سیستم پخت
۲) رزین وینیل استر به همراه سیستم پخت
۳) مواد افزودنی شامل نانوکلی، سیلیکون رابر، پلی اتر اتر کتون
۴) دستگاه تست مقاومت فشاری
۵) دستگاه تست مقاومت خمشی
۶) دستگاه تست مقاومت کششی برزیلین
۷) سنگ دانه سنگ گرانیت

۲-۲-۱- ساخت نمونه‌های آزمون تعیین مقاومت فشاری

مراحل ساخت و آزمایش نمونه‌های مقاومت فشاری بر اساس آئین‌نامه سازمان ملی استاندارد ایران به شماره ISNO 16618-15 [۷] و عنوان "سنگ مصنوعی-قسمت ۱۵- تعیین مقاومت فشاری -روش های آزمون" بوده است. قالب‌های مورد استفاده دراین پژوهش بر اساس آئین‌نامه، با شکل استوانه‌ای مدوّر قائم با قطر و ارتفاع مساوی به اندازه ۵۰ میلیمتر می‌باشد. برای تولید سنگ مصنوعی گام اول این است که سنگ‌دانه‌ها بر اساس منحنی دانه‌بندی باهم مخلوط گردند، درگام بعد رزین با درصد وزنی مناسب با سنگ‌دانه‌ها به طور یکنواخت

[8] Chemical Abstract Services
[9] Crasher

www.SID.ir

Archive of SID

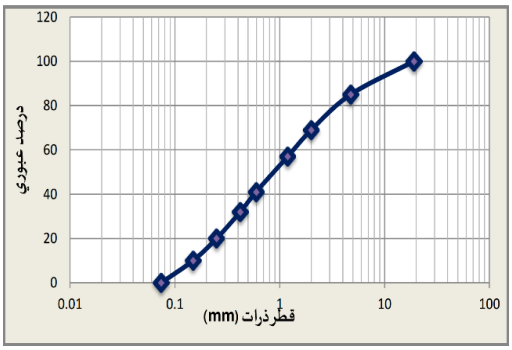
ترکیب شوند. در مرحله بعد هاردنر اضافه گردد، سپس این مخلوط در ۳ مرحله در قالب ریخته شود و در انتهای هر مرحله به وسیله میله به تعداد ۲۵ بار، ویبره به صورت دستی انجام شود تا حفره‌های بوجود آمده پر شوند و حباب‌ها تخلیه گردند. این نمونه‌ها پس از پخت در دمای اتاق، در خشک‌کن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده می‌شود تا پخت کامل صورت گیرد و به جرم ثابتی برسند. پس از خشک شدن نمونه‌ها و پیش از انجام آزمون، آزمونه‌ها باید در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شوند تا تعادل گرمایی حاصل شود. تعداد نمونه‌های ساخته شده برای این آزمون ۳۵ عدد بوده است که تعداد ۵ عدد نمونه‌ی شاهد، ۵ عدد نمونه‌ی سیلیکون رابر ۷/۵ درصد وزنی، ۵ عدد نمونه‌ی سیلیکون‌رابر ۱۵درصد وزنی، ۵ عدد نمونه‌ی پلی اتر اترکتون ۷/۵ درصد وزنی، ۵ عدد نمونه‌ی پلی اتر اتر-کتون ۱۵درصد وزنی، ۵ عدد نمونه‌ی نانوکلی ۷/۵ درصد وزنی و ۵ عدد نمونه‌ی نانوکلی ۱۵ درصد وزنی می‌باشد. سپس هردسته به صورت اختصاصی نام‌گذاری شده است و این نام‌گذاری در جدول ۱ آمده است. به‌عنوان مثال CPS1 شاخصه دسته سیلیکون رابر ۷/۵ درصد است و CP مشخصه نمونه‌ی شاهد بوده است. سپس نمونه‌های ساخته شده تحت آزمون قرار داده می‌شوند، بارگذاری باید به طور پیوسته با نرخ فشار ثابت ۱ مگاپاسکال بر ثانیه انجام شود. سپس میانگین هر دسته به عنوان شاخص مقاومت برای هر دسته معرفی شده است.

جدول ۱: نمونه‌های تست مقاومت فشاری

رزین	اپوکسی					
نمونه	شاهد	اصلاح شده با سیلیکون رابر		اصلاح شده با پلی اتر اتر کتون		اصلاح شده با نانوکلی	
میزان افزودنی	_	٪۷/۵	٪۱۵	٪۷/۵	٪۱۵	٪۷/۵	٪۱۵
کد نمونه	CP	CPS1	CPS2	CPE1	CPE2	CPN1	CPN2

شکل ۳: نمونه تحت آزمایش فشاری

شکل۲: نمونه‌های تست تعیین مقاومت فشاری



شکل۱: منحنی دانه‌بندی استفاده شده

برای تست، آزمونه‌ها باید در مرکز صفحه ماشین آزمون قرار داده شوند. اعمال بار با توزیع یکنواخت انجام شده و به طور پیوسته افزایش می‌یابد تا شکست اتفاق افتد. نرخ اعمال بار ۱ مگاپاسکال بر ثانیه بوده است.در شکل ۲ نمونه تست تعیین مقاومت فشاری ساخته شده و در شکل ۳ نمونه‌ای تحت بارگذاری نشان داده شده است. با توجه به تعداد بالای آزمایش‌ها و نمونه‌هایی که قرار است ساخته شوند، بر اساس نتایج تست که نمونه‌های ۷/۵درصد از مقاومت فشاری بالاتری برخوردار بودند تصمیم گرفته شده است تا نمونه‌ها در ادامه پژوهش فقط با ۷/۵ درصد ماده افزودنی ساخته شوند.

۲-۲-۲- ساخت نمونه‌های آزمون تعیین مقاومت خمشی

مراحل ساخت و تست نمونه‌های مقاومت خمشی براساس آئین‌نامه سازمان ملی استاندارد ایران شماره ISNO 16618-2 [۸] با عنوان " سنگ مصنوعی-قسمت ۲-تعیین مقاوم خمشی -روش آزمون " بوده است. قالب‌های مورد استفاده در این پژوهش بر اساس

www.SID.ir

Archive of SID

آئین‌نامه با شکل مکعب مستطیل با ابعاد (۲۰ × ۵ × ۳) سانتی‌متر می‌باشد. سنگ مصنوعی طبق روشی که در بخش ۲-۲-۱ اشاره شده است ساخته شده‌اند. این نمونه‌ها پس از پخت در دمای اتاق، در خشک کن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده می‌شود تا پخت کامل صورت گیرد و به جرم ثابتی برسند. بعد از خشک‌شدن نمونه‌ها و پیش از انجام آزمون، آزمونه‌ها باید در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شوند تا تعادل گرمایی حاصل شود. تعداد نمونه‌های ساخته شده برای این آزمون ۲۴عدد بوده است که تعداد ۶ عدد نمونه‌ی شاهد، ۶ عدد نمونه‌ی سیلیکون‌رابر، ۶ عدد نمونه‌ی پلی‌اتر اترکتون و ۶ عدد نمونه‌ی نانوکلی می‌باشد.سپس هردسته به صورت اختصاصی نام‌گذاری شده است و این نام‌گذاری در جدول ۲ آمده است. به‌عنوان مثال FPN شاخصه‌ی دسته نانوکلی و FP مشخصه‌ی نمونه‌ی شاهد بوده است. سپس نمونه‌های ساخته شده تحت آزمون قرار داده می‌شوند، بارگذاری باید به طور پیوسته با نرخ فشار ثابت ۰/۲۵ مگاپاسکال بر ثانیه انجام شود. سپس میانگین هر دسته با عنوان شاخص مقاومت برای هر دسته معرفی می شود.بارگذاری به طور یکنواخت به نمونه‌ها تا لحظه شکست وارد می‌شود. بار اعمالی در لحظه شکست را باید با تقریب ۱۰ نیوتن یادداشت نمود. در شکل ۴ نمونه‌های ساخته شده برای تست تعیین مقاومت خمشی نمایش داده شده است.

شکل ۴: نمونه‌های تست تعیین مقاومت خمشی

جدول ۲: نمونه‌های آزمون تعیین مقاومت خمشی

نوع رزین		اپوکسی		
نمونه	شاهد	اصلاح شده با سیلیکون رابر	اصلاح شده با پلی اتر اترکتون	اصلاح شده با نانوکلی
درصد	-	٪ ۷/۵	٪ ۷/۵	٪ ۷/۵
کد نمونه	**FP**	**FPS**	**FPE**	**FPN**

۲-۲-۳- ساخت نمونه‌های آزمون تعیین مقاومت کششی

برای تعیین مقاومت کششی سنگ مصنوعی، انجام آزمایش به دو روش مستقیم و غیرمستقیم پیشنهاد شده است. بر اساس پیشنهاد ASTM و انجمن بین المللی مکانیک سنگ، تعیین مقاومت کششی به روش غیرمستقیم نسبت به روش مستقیم ترجیح داده می شود. مراحل ساخت و آزمایش نمونه‌های مقاومت خمشی بر اساس آئین نامه ASTM C293-79 [۹] بوده است. این آزمایش به نام آزمایش برزیلین نیز معروف است. ساخت قالب‌ها طبق آئین نامه انجام شده و به شکل مدوّر قائم به قطر ۵۴ و ارتفاع ۲۷ میلیمتر بوده است. سنگ مصنوعی بعد از اختلاط سنگ‌دانه، رزین و ماده افزودنی در ۳ مرحله در قالب ریخته شده است و در هر مرحله به تعداد ۱۵ بار با میله ویبره به صورت دستی انجام شده است. این نمونه‌ها پس از پخت در دمای اتاق، در خشک‌کن به مدت ۲۴ ساعت در دمای۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده اند تا پخت کامل صورت گیرد و به جرم ثابتی برسند. پس از خشک شدن و پیش از انجام آزمون، آزمونه‌ها در دمای ۲۵درجه سانتی‌گراد قرار داده شده‌اند تا تعادل گرمایی حاصل شود. تعداد نمونه‌های ساخته‌شده برای این آزمون ۴۰ عدد بوده است که تعداد ۱۰عدد نمونه‌ی شاهد،۱۰عدد نمونه‌ی سیلیکون‌رابر ،۱۰عدد نمونه‌ی پلی‌اتر اترکتون، ۱۰عدد نمونه‌ی نانوکلی بوده است. سپس هردسته به صورت

www.SID.ir

Archive of SID

اختصاصی نام‌گذاری شده است و این نام‌گذاری در جدول ۳ آمده است. به عنوان مثال TPN شاخصه دسته نانوکلی و TPS مشخصه دسته سیلیکون رابر بوده است. سپس نمونه‌های ساخته شده تحت آزمون قرار داده می‌شوند، بارگذاری باید به طور پیوسته با نرخ فشار ثابت ۰/۲ کیلونیوتن بر ثانیه انجام شود. سپس میانگین هر دسته با عنوان شاخص مقاومت برای هر دسته معرفی می شود. در شکل ۵ نمونه‌های ساخته شده برای این آزمون نشان داده شده است.

شکل ۵: نمونه‌های تست تعیین مقاومت کششی

جدول۴: میانگین حداکثر مقاومت فشاری نمونه‌های شاهد

نام دسته	میانگین حداکثر مقاومت فشاری	واحد
CP	۲٤/۳	MPa

۳- بررسی نتایج آزمایشها

۳-۱- نتایج تست مقاومت فشاری

بیشینه مقدار مقاومت فشاری که در لحظه شکست اتفاق می‌افتد به عنوان حداکثر مقاومت فشاری، انتخاب و معرّفی شده است. در ادامه، نتایج تست در هر زیربخش ارائه می‌گردد.

۳-۱-۱- نتایج نمونه‌های شاهد

نتایج حداکثر برای نمونه‌های شاهد میانگین گرفته شده و در جدول ۴ آمده است. بر اساس جدول ۴، میانگین حداکثر مقاومت فشاری نمونه‌های شاهد عدد MPa ۲۴/۳ را نشان می‌دهد. بر اساس بررسیهای انجام شده مقاومت تعیین شده در محدوده قابل قبول سنگهای مصنوعی گرانیتی مورد اشاره توسط امیری و همکاران [۱] قرار می گیرد.

۳-۱-۲- نتایج نمونه‌های اصلاح شده با پلی اتر اتر کتون

در این بخش، نتایج میانگین حداکثر مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده با رزین اپوکسی که با پلی اتر اتر کتون اصلاح‌شده، در جدول ۵ آورده شده است. دسته CPE1، معرّف نمونه‌های اصلاح شده با ۷/۵ درصد پلی اتر اتر کتون و دسته CPE2، معرّف نمونه‌های ساخته شده با ۱۵ درصد وزنی از این ماده می‌باشد.

جدول ۵: میانگین حداکثر مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده با رزین اپوکسی و اصلاح شده با پلی اتر اترکتون

ردیف	نام دسته	میانگین مقاومت فشاری	واحد
۱	CPE1	۳٦	MPa
۲	CPE2	۳۲/۳۳	MPa

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۵، مشخص شده است که افزودن پلی اتر اتر کتون به رزین اپوکسی سبب افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده با آن شده است، میانگین حداکثر مقاومت فشاری نمونه مشابه بدون پلی اتر اتر کتون حدود ۲۴ مگاپاسکال

www.SID.ir

Archive of SID

می‌باشد، که با توجه به نتایج این جدول، افزودن پلی اتر اتر کتون باعث افزایش میانگین حداکثر مقاومت فشاری به میزان حدودا MPa ۱۲ شده است. با مقایسه میانگین حداکثر مقاومت فشاری بدست آمده از آزمایش تعیین مقاومت فشاری، مشخص می‌شود که میانگین حداکثر مقاومت فشاری نمونه‌های اصلاح شده در دسته CPE1 نسبت به نمونه‌های اصلاح شده در دسته CPE2 بیشتر بوده است. همچنین نتایج این جدول نشان می‌دهد که افزودن ۷/۵ درصد پلی اتر اتر کتون، بهتر از ۱۵ درصد وزنی این ماده برای رزین اپوکسی عمل خواهد کرد و مقاومت فشاری بالاتری را سبب می‌شود.

۳-۱-۳- نمونه‌های اصلاح شده با نانوکلی

در این بخش، نتایج میانگین حداکثر مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده با رزین اپوکسی که با نانوکلی اصلاح‌شده، در جدول ۶ آورده شده است. دسته CPN1، معرّف نمونه‌های اصلاح شده با ۷/۵ درصد نانوکلی و دسته CPN2، معرّف نمونه‌های ساخته شده با ۱۵درصد وزنی از این ماده می‌باشد. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۶، مشخص شده است که افزودن ۷/۵ درصد وزنی نانوکلی به رزین اپوکسی که با نام دسته CPN1 نام‌گذاری شده است، باعث افزایش مقاومت فشاری به مقدار MPa ۱/۵ نسبت به نمونه‌های شاهد شده است، با توجه به نتایج این جدول، افزودن ۱۵درصد نانوکلی باعث کاهش میانگین حداکثر مقاومت فشاری به مقدار MPa ۵/۵ نسبت به نمونه-های شاهد شده است.

جدول ۶: میانگین حداکثر مقاومت فشاری نمونه‌های رزین اپوکسی اصلاح‌شده با نانوکلی

ردیف	نام دسته	میانگین حداکثر مقاومت فشاری	واحد
۱	CPN1	۲۵/۸۶	MPa
۲	CPN2	۱۸/۵۷	MPa

۴-۱-۳- نمونه‌های اصلاح شده با سیلیکون رابر

در این قسمت، نتایج میانگین حداکثر مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده با رزین اپوکسی که با سیلیکون رابر اصلاح شده، در جدول ۷ آمده است. دسته CPS1، معرّف نمونه‌های اصلاح شده با ۷/۵ درصد سیلیکون رابر و دسته CPS2، معرّف نمونه‌های ساخته شده با ۱۵ درصد وزنی سیلیکون رابر می‌باشد. نتایج ارائه شده در جدول ۷ نشان می‌دهد که افزودن ۷/۵ درصد وزنی سیلیکون رابر به رزین اپوکسی که با نام دسته CPS1 نام‌گذاری شده است، باعث کاهش چشمگیر مقاومت فشاری به مقدار MPa ۲۰ نسبت به نمونه‌های شاهد شده است. با توجه به نتایج این جدول، افزودن ۱۵درصد نانوکلی نیز باعث کاهش قابل توجه میانگین حداکثر مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد، به مقدار MPa ۲۳ شده است، این دسته در جدول ۷ با نام CPS2 نامگذاری شده است. با مقایسه میانگین حداکثر مقاومت فشاری بدست آمده از آزمایش تعیین مقاومت فشاری مشخص می‌شود که میانگین حداکثر مقاومت فشاری نمونه‌های اصلاح شده در دسته CPS2 نسبت به نمونه‌های اصلاح شده در دسته CPS1 کمتر بوده است، این بدین معنی است که هرچه مقدار سیلیکون رابر افزایش می‌یابد مقدار مقاومت فشاری نیز بیشتر افت پیدا می‌کند. طبق نتایج این جدول مشخص می‌شود که افزودن ۷/۵ و ۱۵ درصد وزنی سیلیکون رابر برای اصلاح مشخصات فشاری رزین اپوکسی مناسب نبوده است.

جدول۷: میانگین حداکثر مقاومت فشاری نمونه‌های با سیلیکون

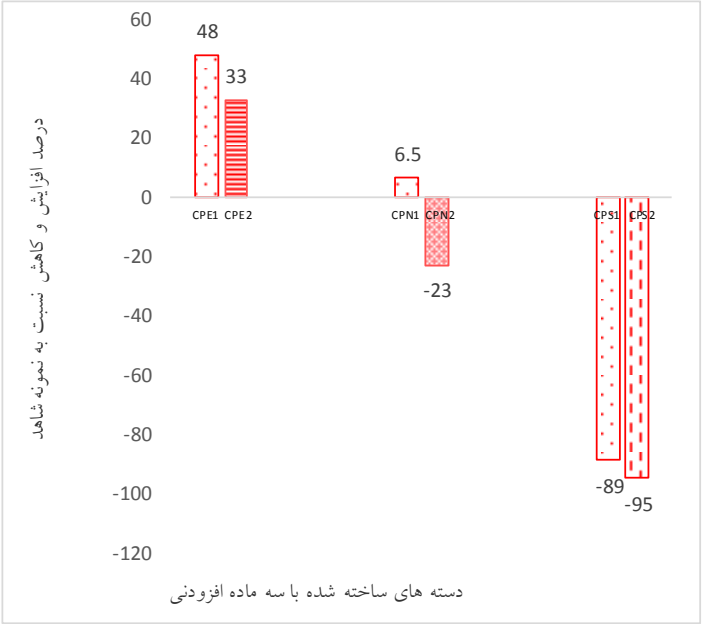
ردیف	نام دسته	میانگین مقاومت فشاری	واحد
۱	CPS1	۲/۶۷	MPa
۲	CPS2	۱/۲	MPa

www.SID.ir

Archive of SID

۵-۱-۳- مقایسه نتایج

همانطور که در نمودار شکل ۶ مشخص شده است نمونه‌های ساخته شده با پلی اتر اترکتون افزایش مقاومت را نشان می‌دهند، این بدین معنی است که هر درصدی از پلی اتر اتر کتون باعث افزایش مقاومت فشاری نمونه‌ها می‌شود. در نمونه‌های اصلاح شده با نانوکلی افزایش قابل توجهی را مشاهده نمی‌شود و دسته CPN2، حتّی کاهش ۲۰ درصدی میانگین مقاومت فشاری را نشان می‌دهد. در نمونه‌های ساخته شده با سیلیکون رابر، با کاهش مقاومت مواجه شده‌ایم. پس این ماده برای افزایش مقاومت فشاری نمونه‌ها مناسب نمی باشد. بر اساس نمودار می‌توان نتیجه گرفت که بهترین ماده برای افزایش مقاومت فشاری نمونه‌ها پلی اتر اتر کتون می‌باشد. در مقایسه دسته‌های مختلف ساخته شده با پلی اتر اتر کتون نیز این نتیجه بدست می‌آید که ۷/۵ درصد وزنی این ماده افزودنی، نتایج بهتری از خود نشان می‌دهد. پس ماده و درصد بهینه برای افزایش مقاومت فشاری، پلی اتر اتر کتون با درصد وزنی ۷/۵ درصد می‌باشد.



شکل۶: درصد افزایش و کاهش مقدار مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده با سه ماده افزودنی

۲-۳- نتایج تست مقاومت خمشی

برای تعیین مقاومت خمشی از آزمایشی با نام تعیین مقاومت خمشی سه نقطه ای، استفاده شده است. بیشینه مقدار مقاومت خمشی که در لحظه شکست اتفاق می‌افتد به عنوان حداکثر مقاومت خمشی، انتخاب و معرّفی می‌گردد. از حداکثر مقاومت‌های هر دسته میانگین‌گیری شده و در جدول‌های هر بخش ارائه شده است در ادامه نتایج تست در هر زیربخش ارائه می‌گردد.

۱-۲-۳- نتایج نمونه‌های شاهد

نتایج حداکثر مقاومت خمشی برای نمونه‌های شاهد ساخته شده با رزین‌های اپوکسی میانگین گرفته شده و در جدول ۸ آمده است.

جدول۸: میانگین حداکثر مقاومت خمشی نمونه‌های شاهد

نام دسته	میانگین حداکثر مقاومت خمشی	واحد
FP	۲/۳۶	MPa

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۲-۳- نمونه‌های اصلاح شده با سیلیکون رابر

در این قسمت، نتایج میانگین حداکثر مقاومت خمشی نمونه‌های ساخته شده با رزین اپوکسی که با سیلیکون رابر اصلاح شده، در جدول ۹ آمده است. دسته FPS، معرّف نمونه‌های ساخته شده با رزین اپوکسی و اصلاح شده با ۷/۵ درصد سیلیکون رابر می‌باشد. نتایج ارائه شده در جدول ۹ نشان می‌دهد که افزودن ۷/۵ درصد وزنی سیلیکون رابر، به رزین اپوکسی باعث افزایش مقاومت خمشی به مقدار ۱ MPa نسبت به نمونه‌های شاهد می‌شود.

جدول ۹: میانگین حداکثر مقاومت خمشی نمونه‌های اصلاح شده با سیلیکون رابر

نام دسته	میانگین مقاومت فشاری	واحد
FPS	۲/۵۳	MPa

۳-۲-۳- نمونه‌های اصلاح شده با پلی اتر اتر کتون

در این بخش، نتایج میانگین حداکثر مقاومت خمشی نمونه‌های ساخته شده با رزین اپوکسی که با پلی اتر اتر کتون اصلاح‌شده، در جدول ۱۰ آورده شده است. دسته FPE، نشانه نمونه‌های اصلاح شده با ۷/۵ درصد پلی اتر اتر کتون می‌باشد.

جدول ۱۰: میانگین حداکثر مقاومت خمشی نمونه‌های اصلاح شده با پلی اتر اترکتون

نام دسته	میانگین حداکثر مقاومت خمشی	واحد
FPE	۱/۹۹	MPa

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول مشخص شده است که افزودن پلی اتر اتر کتون به رزین اپوکسی سبب کاهش مقاومت خمشی نمونه‌های ساخته شده با آن شده است، میانگین حداکثر مقاومت خمشی نمونه مشابه بدون پلی اتر اتر کتون ۲/۳ MPa می‌باشد، که با توجه به نتایج این جدول، افزودن پلی اتر اتر کتون باعث کاهش میانگین حداکثر مقاومت خمشی به مقدار ۱۳ درصد شده است.

۴-۲-۳- نمونه‌های اصلاح شده با نانوکلی

در این بخش، نتایج میانگین حداکثر مقاومت خمشی نمونه‌های ساخته شده با رزین اپوکسی و که با نانوکلی اصلاح‌شده، در جدول ۱۱ آورده شده است. دسته FPN، معرّف نمونه‌های اصلاح شده با ۷/۵ درصد نانوکلی می‌باشد. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۱۱، مشخص شده است که افزودن ۷/۵ درصد وزنی نانوکلی به رزین اپوکسی باعث کاهش مقاومت خمشی به مقدار ۱ MPa نسبت به نمونه‌های شاهد شده است.

جدول ۱۱: میانگین حداکثر مقاومت خمشی نمونه‌های اصلاح‌شده با نانوکلی

نام دسته	میانگین حداکثر مقاومت خمشی	واحد
FPN	۱/۲۷	MPa

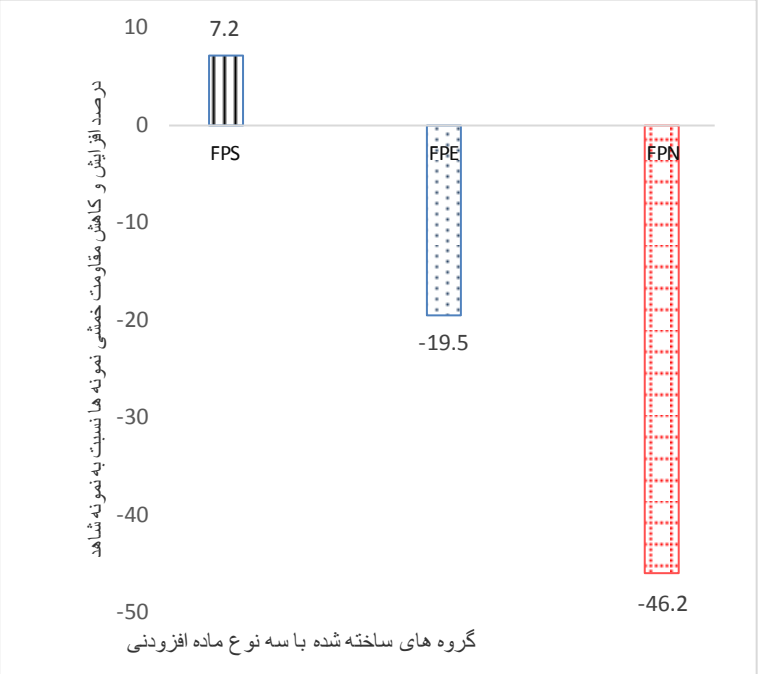
۵-۲-۳- مقایسه نتایج آزمون مقاومت خمشی

در این بخش، به مقایسه نتایج مقدار میانگین مقاومت خمشی بدست آمده در بخش‌های مختلف بالا پرداخته می‌شود تا درصد بهینه و نوع ماده افزودنی مشخص و معرفی گردد. همانطور که در شکل ۷ مشخص شده است نمونه‌های ساخته شده با سیلیکون رابر افزایش مقاومت خمشی را نشان می‌دهند. نمونه‌های ساخته شده با پلی اتر اتر کتون کاهش مقاومت خمشی را نشان می‌دهند، بدین گونه که نمونه های ساخته شده با رزین اپوکسی کاهش حدود ۲۰ درصدی میانگین مقاومت خمشی را نشان می‌دهد. در نمونه‌های ساخته شده با نانوکلی، با کاهش قابل توجه مقاومت خمشی مواجه شده‌ایم. پس این ماده برای افزایش مقاومت خمشی نمونه‌ها مناسب نمی باشد. بر

www.SID.ir

Archive of SID

اساس نتایج آزمایش‌ها و نمودار شکل ۷ می‌توان نتیجه گرفت که تنها ماده برای افزایش مقاومت خمشی نمونه‌ها سیلیکون رابر می‌باشد. درصد بهینه این ماده افزودنی نیز ۷/۵ درصد نسبت به مجموعه رزین می‌باشد.



شکل۷ :درصد افزایش و کاهش مقاومت خمشی نمونه‌های با رزین اپوکسی و سه ماده افزودنی

۳-۳- آزمایش تعیین مقاومت کششی

برای تعیین مقاومت کششی از آزمایشی با نام تعیین مقاومت کششی غیرمستقیم معروف به برزیلین استفاده شده است. بیشینه مقدار مقاومت کششی که در لحظه شکست اتفاق می‌افتد به عنوان حداکثر مقاومت کششی، انتخاب و معرّفی شده است. از حداکثرها، میانگین گرفته شده و مقدار آن در جدول‌های هر بخش ارائه است. بدلیل حجم بالای نمونه‌های ساخته شده و گستردگی این پژوهش، بر اساس نتایج استخراج شده از آزمایش تعیین مقاومت فشاری و عملکرد بهتر ۷/۵ درصد از هر سه نوع ماده افزودنی، تصمیم گرفته شد تا آزمایش تعیین مقاومت کششی نیز مانند تعیین مقاومت خمشی فقط با ۷/۵ درصد از ماده افزودنی انجام شود، بر این اساس تعداد نمونه-های ساخته شده برای این آزمون۴۰ عدد بوده که ۱۰عدد آن نمونه شاهد می‌باشد. ۱۰ عدد نمونه با ماده افزودنی سیلیکون‌رابر، ۱۰ عدد نمونه ساخته شده با پلی‌اتر اتر کتون و ۱۰ عدد نمونه ساخته شده با نانوکلی می‌باشد. در ادامه نتایج تست، در هر زیربخش ارائه می‌گردد.

۱-۳-۳- نتایج نمونه‌های شاهد

نتایج حداکثر مقاومت کششی برای نمونه‌های شاهد ساخته شده با رزین‌های اپوکسی گرفته شده و در جدول ۱۲ آمده است، نمونه‌های بدون ماده افزودنی ساخته شده با رزین اپوکسی با نام دسته TP نام‌گذاری شده است.

جدول ۱۲: میانگین حداکثر مقاومت کششی نمونه‌های شاهد ساخته شده با رزین اپوکسی

نام دسته	میانگین حداکثر مقاومت کششی	واحد
TP	٦/٦٤	MPa

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۳-۳- نمونه‌های اصلاح شده با سیلیکون رابر

در این قسمت، نتایج میانگین حداکثر مقاومت کششی نمونه‌های ساخته شده با رزین اپوکسی که با سیلیکون رابر اصلاح شده، در جدول ۱۳ آمده است. دسته TPS، معرّف نمونه‌های ساخته شده با رزین اپوکسی و اصلاح شده با ۷/۵ درصد سیلیکون رابر می‌باشد. نتایج ارائه شده در جدول ۱۳ نشان می‌دهد که افزودن ۷/۵ درصد وزنی سیلیکون رابر، به رزین اپوکسی باعث افزایش مقاومت کششی به مقدار MPa ۴ نسبت به نمونه‌های شاهد شده است، میانگین حداکثر مقاومت کششی نمونه شاهد که بدون نانوکلی ساخته شده، حدود MPa ۶/۵ بوده است.

جدول ۱۳: میانگین حداکثر مقاومت کششی نمونه‌های اصلاح شده با سیلیکون‌رابر

واحد	میانگین مقاومت کششی	نام دسته
MPa	۱۰/۵٤	TPS

۳-۳-۳- نمونه‌های اصلاح شده با نانوکلی

در این بخش، نتایج میانگین حداکثر مقاومت کششی نمونه‌های ساخته شده با رزین اپوکسی که با نانوکلی اصلاح‌شده، در جدول ۱۴ آورده شده است. دسته TPN، معرّف نمونه‌های اصلاح شده با ۷/۵ درصد نانوکلی می‌باشد. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۱۴، مشخص شده است که افزودن ۷/۵ درصد وزنی نانوکلی به رزین اپوکسی که با نام دسته TPN نام‌گذاری شده است، باعث افزایش مقاومت کششی به مقدار MPa ۰/۵ نسبت به نمونه‌های شاهد شده است.

جدول ۱۴: میانگین حداکثر مقاومت کششی نمونه‌های رزین اپوکسی اصلاح‌شده با نانوکلی

واحد	میانگین حداکثر مقاومت کششی	نام دسته
MPa	۷/۲۱	TPN

۴-۳-۳- نمونه‌های اصلاح شده با پلی اتر اتر کتون

در این بخش، نتایج میانگین حداکثر مقاومت کششی نمونه‌های ساخته شده با رزین اپوکسی که با پلی اتر اتر کتون اصلاح‌شده، در جدول ۱۵ آورده شده است. دسته TPE، نشانه نمونه‌های اصلاح شده با ۷/۵ درصد پلی اتر اتر کتون می‌باشد. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۱۵، مشخص شده است که افزودن پلی اتر اتر کتون به رزین اپوکسی سبب کاهش قابل توجه مقاومت کششی نمونه‌های ساخته شده شده است، میانگین حداکثر مقاومت کششی نمونه مشابه بدون پلی اتر اتر کتون MPa ۶/۶۴ بوده است، که با توجه به نتایج این جدول، افزودن پلی اتر اتر کتون باعث کاهش میانگین حداکثر مقاومت کششی به مقدار ۵۵ درصد شده است.

جدول ۱۵: میانگین حداکثر مقاومت کششی نمونه‌های ساخته شده با رزین اپوکسی و اصلاح شده با پلی اتر اترکتون

واحد	میانگین حداکثر مقاومت کششی	نام دسته
MPa	۲/۹۷	TPE

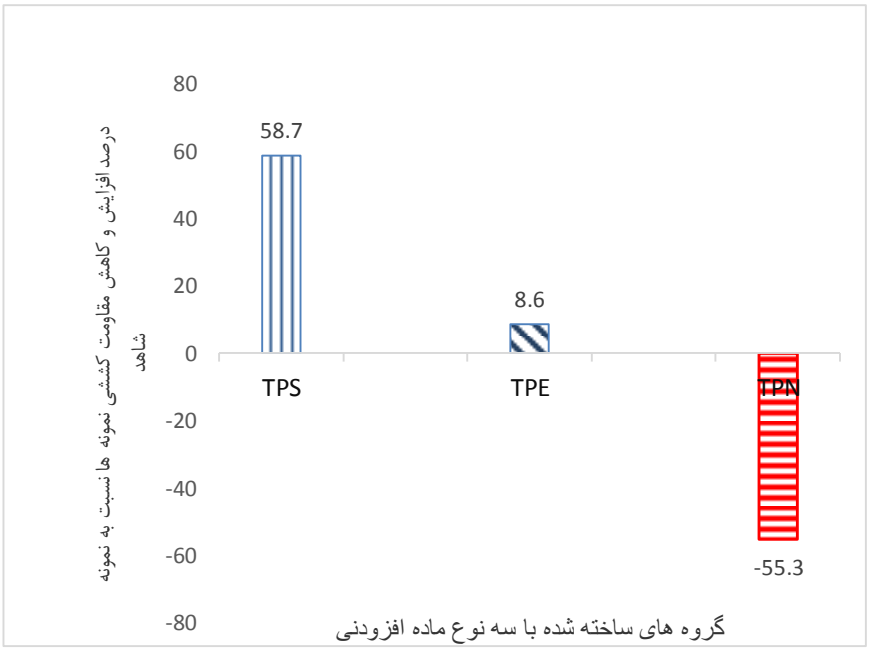
۵-۳-۳- مقایسه نتایج آزمون مقاومت کششی

در این بخش، به مقایسه نتایج مقدار میانگین مقاومت کششی بدست آمده در بخش‌های مختلف بالا پرداخته می‌شود تا درصد بهینه و نوع ماده افزودنی مشخص و معرفی گردد. در بخش‌های بالا مقدار میانگین حداکثر مقاومت کششی نمونه‌های اصلاح شده با سیلیکون رابر، پلی اتر اتر کتون و نانوکلی ارائه شده است. نمودار شکل۸ برای درک و نتیجه‌گیری بهتر ارائه می‌گردد. همانطور که در نمودار مشخص شده است ستون مربوط به نمونه‌های ساخته شده با سیلیکون رابر بالای صفر می‌باشند، این بدین معنی است که سیلیکون رابر باعث افزایش میانگین حداکثر مقاومت کششی نمونه‌ها می‌شود. نمونه‌های ساخته شده با پلی اتر اتر کتون، افزایش مقاومت کششی جزئی را نشان می‌دهد. نمونه‌های ساخته شده با نانوکلی کاهش میانگین مقاومت کششی حدود ۵۵ درصدی مقاومت کششی را نشان می-

www.SID.ir

Archive of SID

دهد. پس این ماده برای افزایش مقاومت کششی نمونه‌ها مناسب نمی‌باشد. بر اساس نتایج آزمایش‌ها و نمودار شکل۸ می‌توان نتیجه گرفت که ماده بهینه برای افزایش مقاومت کششی نمونه‌ها، سیلیکون رابر می‌باشد. درصد بهینه این ماده افزودنی نیز ۷/۵ درصد نسبت به مجموعه رزین می‌باشد.



شکل۸: مقایسه نتایج تست تعیین مقاومت کششی

۴- نتیجه‌گیری

بر اساس یافته های این تحقیق در بررسی مقاومت نمونه‌های ساخته شده با رزین اپوکسی، همراه با مواد افزودنی همچون"نانوکلی"، "سیلیکون‌رابر" و"پلی‌اتر اترکتون" نتایج زیر بدست آمد:

- بهترین گزینه برای کسب بیشترین مقاومت فشاری نمونه‌ها، افزودن ۷/۵درصد وزنی پلی اتر اترکتون بوده است. بر اساس نتایج بدست آمده، نانوکلی گزینه مناسبی برای افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده با رزین اپوکسی نبوده است. همچنین افزودن سیلیکون‌رابر به رزین اپوکسی باعث کاهش قابل‌توجه مقاومت می‌گردد، از این رو برای افزایش مقاومت فشاری پیشنهاد نمی‌گردد.
- از نتایج تست تعیین مقاومت خمشی اینگونه نتیجه می‌شود که افزودن سیلیکون‌رابر بهترین گزینه برای کسب بیشترین مقاومت نمونه‌ها می‌باشد. افزودن پلی‌اتر اترکتون به نمونه‌های ساخته شده با رزین اپوکسی، کاهش مقاومت خمشی ۲۰درصدی نسبت به نمونه‌های شاهد را نشان می‌دهد. همچنین افزودن نانوکلی به رزین اپوکسی، مقاومت خمشی نمونه‌ها به مقدار قابل توجهی افت کرده که این مقدار حدوداً ۵۰ درصد بوده است.
- از نتایج تست تعیین مقاومت کششی اینگونه نتیجه می‌توان گرفت که افزودن سیلیکون‌رابر به نمونه‌های ساخته شده با رزین اپوکسی بهترین گزینه برای کسب بیشترین مقاومت کششی نمونه‌ها می‌باشد. این افزایش مقاومت نسبت به نمونه‌ی شاهد، حدود ۵۹درصد مشاهده شده است. افزودن نانوکلی به نمونه‌های ساخته شده با رزین اپوکسی، مقاومت نمونه‌ها را به مقدار ۸ درصد افزایش داده است. همچنین افزودن پلی‌اتراترکتون به نمونه‌های ساخته شده با رزین اپوکسی، کاهش مقاومت کششی قابل توجه‌ای نسبت به نمونه‌های شاهد مشاهده شده که مقدار آن ۵۵ درصد بوده است. ماده افزودنی پلی اتر اترکتون نه تنها باعث افزایش مقاومت کششی نشده، بلکه باعث کاهش آن نسبت به نمونه شاهد شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

- درصد بهینه ماده افزودنی، برای افزایش خواص مکانیکی سنگ مصنوعی، ۷/۵درصد می‌باشد. بر اساس یافته های این تحقیق افزودن ۷/۵درصد وزنی پلی‌اتر اترکتون برای افزایش مقاومت فشاری و افزودن ۷/۵ درصد سیلیکون رابر برای افزایش مقاومت خمشی و کششی مناسب است و باعث بهبود خواص می‌گردند.

۵- پیشنهادات

برای ادامه تحقیقات موارد زیر پیشنهاد می گردند:

- بررسی تأثیر دیگرمواد افزودنی بر مشخصات مکانیکی سنگ مصنوعی
- بررسی اقتصادی استفاده از مواد افزودنی بر قیمت نهایی سنگ و بهینه بودن استفاده از آنها با توجه به موارد مصرف.
- مقایسه تأثیر رزین‌های مختلف بر مشخصات مکانیکی و ظاهری سنگ مصنوعی گرانیتی پلیمری
- بررسی تأثیرخصوصیات سنگ‌های مختلف گرانیتی بر روی خصوصیات مکانیکی سنگ مصنوعی گرانیتی پلیمری
- انجام آزمون‌هایی از قبیل مقاومت سایشی، مقاومت ضربه، مقاومت در برابر گرما، مقاومت در برابر قارچ و باکتری و مقاومت در برابر اشعه ماوراء بنفش برای این نوع سنگ مصنوعی

مراجع

[۱] امیری، ع. افشارزاده، ا. نیکان سرشت، ر. (۱۳۸۶) سنگ مصنوعی و تکنولوژی ساخت آن، اولین همایش سراسری سنگ‌های ساختمانی و صنایع وابسته

[2] K. Krushnamurty, I. Srikanth, B. Rangababu, S. K. Majee, R. Bauri, Ch. Subrahmanyam. (2015). Effect of nanoclay on the toughness of epoxy and mechanical, impact properties of E-glass-epoxy composite. Advanced materials letter, VBRI press, [online] Volume.5, pp 51-85. Available at: www.vbripress.com/aml

[3] J. Aidah, S. Costas, M. Jamaloddin, A. Nurulnanatisya, 2012. Study on the thermal and mechanical proprties of Epoxy-Nanoclay composite, Procediz engineering, Vol.41, pp.1607-1613

[4] A. Bozorgian, M. Navid, M. Abdolreza, 2011. Engineering and Technology word academy of science, Vol. 49, pp. 273-277

[5] J. N. Sultan, F. Mc Garry, (1973). Polymer Engineering, sci, Vol. 13, page. 29

[6] L. You, M. Zhang, G. Dang, Y. Li, X. An, C. Chen, X. Yi, (2011). Toughening of epoxy resin by PEEK with pendant fluorocarbon groups. (Wileyonlinelibrary.com), DOI 10.1002/ app.34292

[7] INSO 16618-15 (2015): Determination of Compressive Strength Method-Test Method.

[8] INSO 16618-2 (2013): Determination of Flexural Strength Method- Test Method.

[9] American Society of Testing and Materials “Standard Test Methods of Flexural Strength of Concrete.” ASTM., Philadelphia, 1979, ASTM C293 - 79

www.SID.ir