



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



مشخصات مقاومتی بتن پودری سازگار با محیط زیست ساخته شده با ضایعات گرانیت و الیاف فولادی

محمود قربانی^۱، سید محمد متولی امامی^۲، محمد رئیسی^۳

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی زلزله، دانشکده مهندسی عمران، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران؛

mahmudghorbani@yahoo.com

^۲ استادیار مهندسی زلزله، دانشکده مهندسی عمران، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران؛ sm.emami@iau.ac.ir

^۳ استادیار مهندسی زلزله، مرکز تحقیقات توسعه پایدار در مهندسی عمران، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران؛

sm.emami@iau.ac.ir

^۳ دانشیار مهندسی سازه، دانشکده مکانیک و عمران، واحد خمینی‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، خمینی‌شهر، ایران؛ mreisi@iaukhsh.ac.ir

• نویسنده مسئول: سید محمد متولی امامی

چکیده

استفاده از ضایعات صنعتی در ساخت مصالح ساختمانی به حفظ محیط زیست کمک می‌کند و بستر مناسبی را برای توسعه‌ی پایدار ایجاد می‌کند. در همین راستا این مطالعه‌ی آزمایشگاهی با هدف استفاده از ضایعات سنگ گرانیت برای ساخت بتن پودری فعال مدنظر قرار گرفت. به همین منظور ۶ طرح مخلوط بتن پودری با نسبت‌های آب به مواد سیمانی ۰/۱۴ و ۰/۱۷ و الیاف فولادی با درصدهای ۰، ۱ و ۲ طراحی شد که در همه‌ی آن‌ها از ضایعات سنگ گرانیت به میزان ۳۰ درصد به جای ماسه‌ی سیلیسی استفاده شد. نمونه‌ها به مدت ۷ روز در دستگاه عمل‌آوری تحت دمای ۹۰ درجه‌ی سانتی‌گراد نگهداری شدند و سپس بر روی آن‌ها آزمایش مقاومت فشاری صورت گرفت. بیش‌ترین مقاومت فشاری بدست آمده مربوط به طرح با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۱۴ و الیاف فولادی ۲ درصد معادل با ۱۴۵/۳ مگاپاسکال بود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از الیاف فولادی به میزان ۱ و ۲ درصد موجب افزایش مقاومت فشاری به ترتیب تا ۱۴/۱ و ۲۲/۵ درصد می‌شود. همچنین کاهش نسبت آب به مواد سیمانی، مقاومت فشاری نمونه‌ها را تا ۸/۷ درصد افزایش می‌دهد. یافته‌ها نیز نشان می‌دهد که چون نمونه‌های ساخته شده با الیاف فولادی مقاومت فشاری بیش از ۱۲۰ MPa دارند، لذا این نمونه‌ها در رده‌ی بتن‌های با مقاومت فشاری فوق‌العاده زیاد قرار می‌گیرند.

کلمات کلیدی: بتن پودری فعال، توسعه‌ی پایدار، ضایعات گرانیت، الیاف فولادی و مقاومت فشاری.

Strength Characterization of Eco-friendly Reactive Powder Concrete Made with Granite Waste and Steel fibers

Mahmoud Ghorbani¹, Sayed Mohammad Motovali Emami², Mohammad Reisi³

¹Ph.D. student, Department of civil engineering, Na.C., Islamic Azad University, Najafabad, Iran;

mahmudghorbani@yahoo.com

²Assistant Professor, Department of civil engineering, Na.C., Islamic Azad University, Najafabad, Iran;

sm.emami@iau.ac.ir

²Assistant Professor, Sustainable Development in civil engineering, Na.C., Islamic Azad University, Najafabad,

Iran; sm.emami@iau.ac.ir

³Associate Professor, Department of civil engineering, Islamic Azad University, Khomeinishahr, Iran;

mreisi@iaukhsh.ac.ir

* Corresponding author: Sayed Mohammad Motovali Emami

ABSTRACT

The use of industrial waste in the production of construction materials contributes to environmental preservation and provides a suitable foundation for sustainable development. In this regard, the present experimental study was conducted with the aim of utilizing granite waste for the production of reactive powder concrete. Accordingly, six reactive powder concrete mix designs were prepared with water-to-binder ratios of 0.14 and 0.17, and steel fiber contents of 0%, 1%, and 2%. In all mixtures, granite waste was incorporated at a level of 30% as a replacement for silica sand. The specimens were cured for 7 days in a curing chamber at a temperature of 90 °C, after which compressive strength test were performed. The highest compressive strength obtained corresponded to the mix with a water-to-binder



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



ratio of 0.14 and 2% steel fibers, reaching 145.3 MPa. Results of this study indicate that inclusion of steel fibers at levels of 1% and 2% increased compressive strength by 14.1% and 22.5%, respectively. Furthermore, reducing the water-to-binder ratio enhanced the compressive strength of specimens by 8.7%. The findings demonstrate that since specimens containing steel fibers achieved compressive strength exceeding 120 MPa, they can be classified as ultra-high-strength concretes.

Keywords: Reactive Powder Concrete, Sustainable Development, Granite Waste, Steel Fibers and Compressive Strength.

۱- مقدمه

بتن پودری فعال در دهه‌ی ۱۹۹۰ میلادی تحت عنوان یک بتن با مقاومت بالا توسعه پیدا کرد [۱] و سپس در دسته‌ی بتن‌های با عملکرد فوق‌العاده زیاد قرار گرفت. عبارت پودری واکنشی بدین مفهوم است که تمامی اجزای این بتن که به شکل پودر هستند از نظر شیمیایی واکنش‌پذیر می‌باشند [۲]. این بتن دارای خواص مکانیکی بسیار عالی [۳، ۴] و دوام بالایی می‌باشد [۵] که به خاطر استفاده گسترده در ساخت و سازهای شهری [۶، ۷]، آزادراه‌ها [۷]، راه آهن و پل‌ها [۸] و پناه‌گاه‌های نظامی [۹] توجه مهندسين و متخصصين دانشگاهی را به خود جلب نموده است. بتن پودری فعال شامل سیمان، مواد پوزولانی، ماسه‌ی کوارتزی، پودر کوارتز، الیاف فولادی، آب و فوق روان کننده می‌باشد [۱۰]. جهت کسب مشخصات مورد نظر در بتن پودری فعال که از جمله‌ی آن مقاومت بسیار زیاد می‌باشد، نسبت آب به مواد سیمانی بین ۰/۱۸ تا ۰/۳ توصیه شده است [۱۱]. کاهش نسبت آب به سیمان موجب کاهش حفرات و فاصله‌ی بین ذرات می‌شود [۱۲]. استفاده از الیاف فولادی در بتن پودری فعال می‌تواند باعث افزایش مقاومت خمشی، سختی، شکل‌پذیری و مقاومت کششی گردد [۱۳]. الیاف از توسعه‌ی ترک‌خوردگی در بتن جلوگیری می‌کند و با استفاده‌ی ۲ درصد از الیاف در بتن می‌توان شکل‌پذیری آن را تا ۱۶۰ درصد افزایش داد [۱۵].

با توجه به این که یکی از مصالح مصرفی در ساخت بتن RPC، ماسه است؛ می‌توان از مصالح سازگارتر با محیط زیست به جای ماسه استفاده کرد. لذا استفاده از مصالح ضایعاتی در ساخت انواع بتن‌ها می‌تواند بستری مناسب را فراهم کند تا به حفظ محیط‌زیست کمک نموده و بتن سازگارتری با محیط زیست را تولید کرد. مطابق با آمار سازمان صنایع ایران، در حدود ۶۰۰۰ واحد فرآوری سنگ طبیعی در ایران وجود دارد که هر کدام از آن‌ها سالیانه ۱۵۰۰ تن ضایعات تولید می‌کنند و لذا ۹ میلیون تن ضایعات در مجموع تولید می‌شود و این در حالی است که یک سوم از کل کارخانه‌های فرآوری سنگ طبیعی در استان اصفهان بوده و ۳ میلیون تن از این ضایعات مربوط به این استان است. امروزه فعالیت‌های استخراجی سنگ‌های رسوبی تزئینی در کشورهایمانند ایران، مصر، ایتالیا، اسپانیا و هند نشان از رونق این صنعت دارد [۱۶]. ضایعات تولید شده در فرآیند تولید سنگ، بیش‌تر در طبیعت رها می‌شوند که از یک طرف باعث از بین رفتن محیط‌زیست شده و از طرف دیگر باعث اعمال هزینه‌ی اضافی به کارخانه‌های تولید سنگ برای انتقال این مواد ضایعاتی به مناطق رهاسازی می‌شود. در شکل ۱ مناطق رهاسازی ضایعات سنگ‌ها نشان داده شده است.



شکل ۱- مناطق رهاسازی ضایعات سنگ [۱۷]

در تحقیقات متعددی به استفاده از مصالح ضایعاتی در بتن پودری فعال و تأثیر آن بر مشخصات فیزیکی و مکانیکی آن پرداخته شده است.

Reisi & Savadkoobi بر روی مشخصات بتن RPC حاوی ضایعات گرانیت مطالعه نمودند [۱۷]. آن‌ها در این تحقیق ۱۸ طرح اختلاط با سه نسبت آب به چسب برابر با ۰/۱۴، ۰/۱۷ و ۰/۲، سه نسبت دوده سیلیس به چسب برابر با ۰/۱۵، ۰/۲ و ۰/۲۵ و دو مقدار مواد سیمانی برابر با ۱۲۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب ساختند و از ضایعات گرانیت به جای ماسه سیلیسی با درصدهای ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ استفاده نمودند. نتایج نشان داده که جایگزینی نسبت ضایعات گرانیت با سنگ‌دانه از ۰ تا ۳۰ درصد موجب افزایش مقاومت فشاری بین



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



۲۰ تا ۷۸ درصد و مقاومت خمشی بین ۱۵ تا ۶۰ درصد می‌شود همچنین جذب آب بین ۱۵ تا ۷۸ درصد کاهش یافته است. Xun et al. به مطالعه‌ی تأثیر استفاده از روش‌های مختلف عمل‌آوری بر روی مشخصات بتن RPC حاوی ضایعات الیاف فولادی پرداختند [۱۸]. آن‌ها یک طرح اختلاط بتن RPC حاوی مواد سیمانی شامل سیمان، دوده‌سیلیس، خاکستر بادی و پودر سنگ آهک مجموعاً برابر با ۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، نسبت ماسه‌ی سیلیسی به چسب برابر با ۱/۱ و با نسبت آب به مواد سیمانی برابر با ۰/۱۷ تنظیم نمودند و از ضایعات الیاف فولادی همراه با الیاف فولادی با روکش مسی به میزان ۶/۲ درصد استفاده کردند. روش‌های عمل‌آوری به ۵ صورت انجام گرفته است که شامل عمل‌آوری نمونه‌ها در دمای محیط، عمل‌آوری به صورت استاندارد با نگهداری نمونه‌ها درون تانک عمل‌آوری با دمای ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و رطوبت حداقل ۹۰ درصد، عمل‌آوری نمونه‌ها در آب معمولی، عمل‌آوری ۱، ۲ و ۳ روزه در تانک با دمای ۶۰، ۸۰ و ۹۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و سپس خارج کردن نمونه‌ها از درون تانک و نگهداری در دمای محیط و عمل‌آوری نمونه‌ها درون گرم‌خانه تحت دمای ۱۸۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۶ ساعت و سپس خارج کردن نمونه‌ها و نگهداری آن‌ها در دمای محیط بوده است. بیش‌ترین مقاومت فشاری کسب شده به روش عمل‌آوری به صورت قرار دادن نمونه‌ها در گرم‌خانه با دمای ۱۸۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۶ ساعت برابر با ۱۷۶/۲ MPa بوده است. Zaki El-Deen & Abd El Rahman بر روی مشخصات فیزیکی و مکانیکی بتن RPC با افزودنی‌های مختلف معدنی ساخته شده با سنگ‌دانه‌های مختلف مطالعه کردند [۱۹]. در این تحقیق ۳ طرح اختلاط شامل یک طرح کنترلی ساخته شده با ماسه، یک طرح ساخته شده با گرانیت خرد شده و یک طرح ساخته شده با دولومیت تهیه و در همه‌ی آن‌ها از نسبت دوده‌سیلیس به مواد سیمانی برابر با ۰/۱۵ و نسبت آب به چسب برابر با ۰/۲ استفاده شده است. نتایج نشان داده استفاده از ضایعات گرانیت در مقایسه با دو سنگ‌دانه‌ی دیگر مشخصات بهتری در بتن داشته و بیش‌ترین مقاومت فشاری، خمشی و کششی با استفاده از گرانیت خرد شده به ترتیب برابر با ۱۸۳/۳، ۲۱ و ۱۶ مگاپاسکال بوده است. Lemes et al. بر روی بتن RPC ساخته شده با ضایعات گرانیت مطالعه کردند [۲۰]. آن‌ها با ساخت ۵ طرح اختلاط از ۲۱ درصد ضایعات گرانیت به جای ماسه‌ی سیلیسی و از دوده‌سیلیس به عنوان مواد سیمانی معادل با ۲۴/۶ درصد استفاده نمودند. ۱ طرح اختلاط کنترلی با نسبت آب به سیمان ۰/۲۳ و بدون ضایعات گرانیت و سایر طرح‌های اختلاط حاوی ضایعات گرانیت با نسبت‌های آب به سیمان ۰/۲۵، ۰/۳، ۰/۳۵ و ۰/۴ بوده است. بیش‌ترین مقاومت فشاری ۲۸ روزه با طرح اختلاط حاوی ضایعات گرانیت با نسبت آب به سیمان ۰/۳۵ معادل با ۱۱۲ مگاپاسکال و کم‌ترین با طرح اختلاط کنترلی برابر با ۹۲ مگاپاسکال بدست آمده است. نتایج نشان داده است که با افزایش نسبت آب به سیمان تا ۰/۳۵ مقاومت فشاری افزایش می‌یابد ولی با نسبت آب به سیمان ۰/۴ مقاومت فشاری در حد مقاومت طرح کنترلی کاهش می‌یابد. Shwetha et al. بر روی مقاومت بتن‌های ساخته شده با ضایعات گرانیت مطالعه کردند [۲۱]. آن‌ها از این ضایعات به جای سیمان و درشت‌دانه به میزان ۴، ۱۰ و ۱۵ درصد استفاده نمودند تا بتوانند به مشخصات طرح مخلوط مناسب برای کسب بتن با رده‌ی مقاومتی ۳۰ و ۴۰ مگاپاسکال دست پیدا کنند. نتایج آن‌ها نشان داده که استفاده از ضایعات گرانیت موجب بهبود خواص مکانیکی بتن از جمله مقاومت فشاری، خمشی و کششی می‌گردد و نسبت آب به سیمان جهت رسیدن به بیش‌ترین مقاومت فشاری ۰/۴۵ می‌باشد. Dhanoliyaand Tiwari بر روی استفاده از ضایعات گرانیت و سرامیک در بتن تحقیق کردند [۲۲]. در این مطالعه از ضایعات گرانیت و سرامیک و همچنین ترکیب آن‌ها تا ۳۰ درصد به جای سنگ‌دانه استفاده شد. نتایج نشان داده که می‌توان از ترکیب این ضایعات و یا با استفاده از هر یک به تنهایی به جای درشت‌دانه می‌توان به بتن با مقاومت فشاری در رده‌ی ۴۰ مگاپاسکال رسید. Dvorkin et al. بر روی بهینه‌سازی بتن متخلخل با ضایعات گرانیت خرد شده مطالعه کردند [۲۳]. در این تحقیق از ضایعات گرانیت با دو دانه‌بندی مختلف از ۲/۵ تا ۵ و ۱۰ میلی‌متر استفاده شده است. نتایج نشان داده است که در نمونه‌های ساخته شده با ضایعات گرانیت با دانه‌بندی ریزتر بیش‌تر بوده است و علت آن مربوط به افزایش چگالی گزارش شده زیر خلل و فرج بتن متخلخل با دانه‌بندی ریزتر کاهش پیدا کرده است. همچنین نسبت بهینه‌ی نسبت آب به سیمان به منظور کسب بیش‌ترین مقاومت فشاری ۰/۴۵ بوده است.

۲- مصالح مصرفی

به منظور رسیدن به اهداف این تحقیق از مصالحی که در ادامه مشخصات آن‌ها معرفی می‌شود، استفاده شده است.

۲-۱- سیمان: در این مطالعه از سیمان پرتلند نوع V محصول شرکت سیمان اصفهان جهت ساخت نمونه‌ها استفاده شده و وزن مخصوص و سطح ویژه‌ی آن به ترتیب ۳/۱۷۸ و ۰/۴ m²/gr است. مشخصات شیمیایی این سیمان که مطابق با استاندارد ASTM C150 [۲۴] می‌باشد، در جدول ۱ ارائه شده است.

۲-۲- دوده‌سیلیس: در این تحقیق از دوده سیلیس محصول شرکت فروسیلیس ایران برای بهبود مشخصات مکانیکی مخلوط‌های بتنی استفاده شده و وزن مخصوص و سطح ویژه‌ی آن به ترتیب ۲/۲۱ و ۲۵-۲۰ m²/gr است. مشخصات شیمیایی دوده‌سیلیس مصرفی که مطابق با استاندارد ASTM C1240-15 [۲۵] می‌باشد، در جدول ۱ ارائه شده است.



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



جدول ۱- مشخصات شیمیایی سیمان و دوده سیلیس مصرفی

ترکیبات شیمیایی	سیمان		دوده سیلیس	
	مصرفی	حدود استاندارد [۲۴]	مصرفی	حدود استاندارد [۲۵]
SiO ₂	۲۰/۸۶	-	۹۰	۸۵
Al ₂ O ₃	۴/۳۱	max ۶	۰/۹	-
Fe ₂ O ₃	۵/۴۸	max ۶	۰/۸	-
CaO	۶۳/۴۲	-	۱	-
MgO	۱/۶	max ۶	۱/۲۵	-
SO ₃	۱/۸۸	-	-	-
افت ناشی از اشتعال	۰/۵۸	-	۳/۰۵	۶
باقی مانده‌ی نامحلول	۰/۴	max ۳	۳	-

۲-۳- ضایعات گرانیت: ضایعات گرانیت استفاده شده در این مطالعه از لجن کارخانه‌های فرآوری سنگ طبیعی گرانیت واقع در شهرک صنعتی محمودآباد اصفهان، ایران تهیه شده است که ابتدا در داخل آون تحت دمای ۱۱۰ درجه‌ی سانتی‌گراد خشک شده و سپس در دستگاه لس‌آنجلس ریخته شده تا ضایعات کاملاً به صورت پودر دربیایند. در شکل ۲ نمونه‌ای از پودر ضایعات گرانیت استفاده شده، نشان داده شده است. وزن مخصوص و رطوبت اشباع با سطح خشک این ضایعات به ترتیب ۲/۷ و ۱/۳٪ است. در جدول ۲ دانه‌بندی ضایعات گرانیت مصرفی ارائه و با حدود استاندارد ASTM C778 [۲۶] مقایسه شده است.



شکل ۲- نمونه‌ی ضایعات گرانیت استفاده شده در این تحقیق

جدول ۲- دانه‌بندی ضایعات گرانیت و ماسه‌ی سیلیسی مصرفی.

اندازه‌ی الک	درصد عبور تجمعی		
	ضایعات گرانیت	ماسه‌ی سیلیسی	محدوده استاندارد [۲۶]
۱۶	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۲۰	۱۰۰	۱۰۰	-
۳۰	۹۷/۷	۱۰۰	۹۶-۱۰۰
۴۰	۶۸/۱	۷۴	۶۵-۷۵
۵۰	۲۲/۸	۱۸/۵	۲۰-۳۰
۱۰۰	۲/۳	-	۰-۴

۲-۴- ماسه‌ی سیلیسی: در این مطالعه جهت مقایسه‌ی ساخت نمونه‌ها از سنگ‌دانه‌ی ماسه‌ی سیلیسی استفاده شده است. ماسه‌ی سیلیسی استفاده شده محصول شرکت چپروک بوده و در جدول ۲ دانه بندی آن ارائه شده است و با حدود استاندارد ASTM C778 [۲۶] مورد مقایسه قرار گرفته است. وزن مخصوص و رطوبت اشباع با سطح خشک ماسه‌ی سیلیسی مصرفی به ترتیب ۲/۷ و ۰/۳ درصد است.

۲-۵- فوق‌روان‌کننده: در این مطالعه جهت بهبود کارایی مخلوط‌های بتنی از فوق‌روان‌کننده‌ی Structro335 محصول شرکت FOSROC که مایعی با رنگ زرد روشن و بر پایه پلی‌کربکسیلات است و دارای وزن مخصوص ۱/۱ است، استفاده شده است.

۲-۶- الیاف فولادی: جهت بهبود مشخصات مکانیکی نمونه‌های بتن پودری از الیاف فولادی دو سر قلاب با طول ۵۰ و قطر ۰/۸ میلی‌متر با مقاومت کششی ۸۰۰ MPa استفاده شده است. وزن مخصوص این الیاف ۷/۸ بوده است.



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



۳- روش کار و طرح‌های مخلوط بتن

به منظور رسیدن به هدف این تحقیق، ۶ طرح مخلوط بتن پودری با دو نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۱۴ و ۰/۱۷ و سه درصد الیاف فولادی شامل ۱، ۰ و ۲ درصد ساخته شد. در کلیه این طرح‌ها میزان مواد سیمانی 1500 kg/m^3 ، نسبت دوده‌سیلیس به مواد سیمانی ۰/۲ و درصد جایگزینی ضایعات گرانیت با ماسه‌ی سیلیسی ۳۰ درصد بوده است. در نام‌گذاری طرح‌ها، حرف M مخفف Mix بوده و اعداد اول و دوم به ترتیب مربوط به نسبت آب به مواد سیمانی و درصد الیاف فولادی است. در جدول ۳ مشخصات طرح‌های مخلوط ارائه شده است.

جدول ۳- طرح‌های مخلوط بتن پودری ساخته شده در این تحقیق.

شماره‌ی طرح	نام طرح	CM		W	Agg		SP	F
		SF	C		S	GW		
۱	M-0.14-0	۱۲۰۰	۳۰۰	۲۱۰	۴۴۶/۱	۱۹۱/۲	۳۰	۰
۲	M-0.14-1	۱۲۰۰	۳۰۰	۲۱۰	۳۹۰/۱	۱۶۷/۲	۳۶	۷۸/۵
۳	M-0.14-2	۱۲۰۰	۳۰۰	۲۱۰	۳۳۴/۱	۱۴۳/۲	۴۰	۱۵۷
۴	M-0.17-0	۱۲۰۰	۳۰۰	۲۵۵	۳۶۱/۱	۱۵۴/۷	۲۸/۵	۰
۵	M-0.17-1	۱۲۰۰	۳۰۰	۲۵۵	۳۰۵/۱	۱۳۰/۷	۳۴/۲	۷۸/۵
۶	M-0.17-2	۱۲۰۰	۳۰۰	۲۵۵	۲۵۱/۲	۱۰۷/۶	۳۸	۱۵۷

فوق‌روان‌کننده = SP، ماسه‌ی سیلیسی = S، ضایعات گرانیت = GW، سنگ‌دانه = Agg، آب = W، دوده‌سیلیس = SF، سیمان = C، مواد سیمانی = CM

الیاف فولادی = F

۴- نحوه‌ی آماده‌سازی نمونه‌ها

در این تحقیق با توجه به اینکه اجزای تشکیل دهنده بتن به صورت پودر هستند برای ساخت بتن بنا به توصیه محققین از مخلوط‌کن با سرعت دورانی بالا استفاده شد. در این مطالعه جهت ساخت مخلوط‌های بتنی ابتدا تمامی مصالح خشک شامل سیمان، دوده‌سیلیس، ضایعات گرانیت و ماسه‌ی سیلیسی درون مخلوط‌کن ریخته و اختلاط به مدت ۱ دقیقه و با سرعت ۱۲۰ دور بر دقیقه انجام گرفت. سپس ۷۰ درصد آب در مخلوط‌کن ریخته شد و به مدت ۲ دقیقه و با سرعت ۱۲۰ دور بر دقیقه مخلوط‌کن هم زده شد. پس از آن ۳۰ درصد آب باقی مانده با فوق‌روان‌کننده ترکیب شد و به مخلوط اضافه گردید و اجازه داده شد تا به مدت ۳ دقیقه مخلوط با سرعت ۲۴۰ دور بر دقیقه هم زده شود. سپس چرخش مخلوط‌کن به مدت ۴ دقیقه و با سرعت ۳۶۰ دور بر دقیقه ادامه پیدا کرده تا به صورت کامل بتن به روانی مناسب برسد. در انتها هم‌زمان با چرخش مخلوط‌کن، الیاف فولادی به بتن به آرامی افزوده شدند و سپس قالب‌گیری نمونه‌ها صورت گرفت. برای قالب‌گیری ابتدا نیمی از قالب‌های مکعبی با ابعاد ۱۰۰ میلی‌متر پر شده و بر روی میز ویبره قرار گرفته تا تراکم بتن انجام شود. سپس قالب به صورت کامل پر شده و مجدداً عمل تراکم انجام شد. در نهایت قالب‌ها به مدت ۲۴ ساعت با یک پارچه‌ی نمناک پوشانده شدند. بعد از یک‌روز، نمونه‌ها از قالب خارج شدند و در دستگاه عمل‌آوری با آب ۹۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۷ روز قرار گرفتند. در شکل ۳ این دستگاه نمایش داده شده است.



شکل ۳- دستگاه عمل‌آوری استفاده شده در این مطالعه.

۵- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

این آزمایش بر اساس استاندارد EN 12390-4 [۲۷] انجام شده است. نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۷ روزه، حاصل میانگین مقاومت فشاری ۳ نمونه می‌باشد. در شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب دستگاه انجام آزمایش و نتایج مقاومت فشاری ارائه شده است.



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

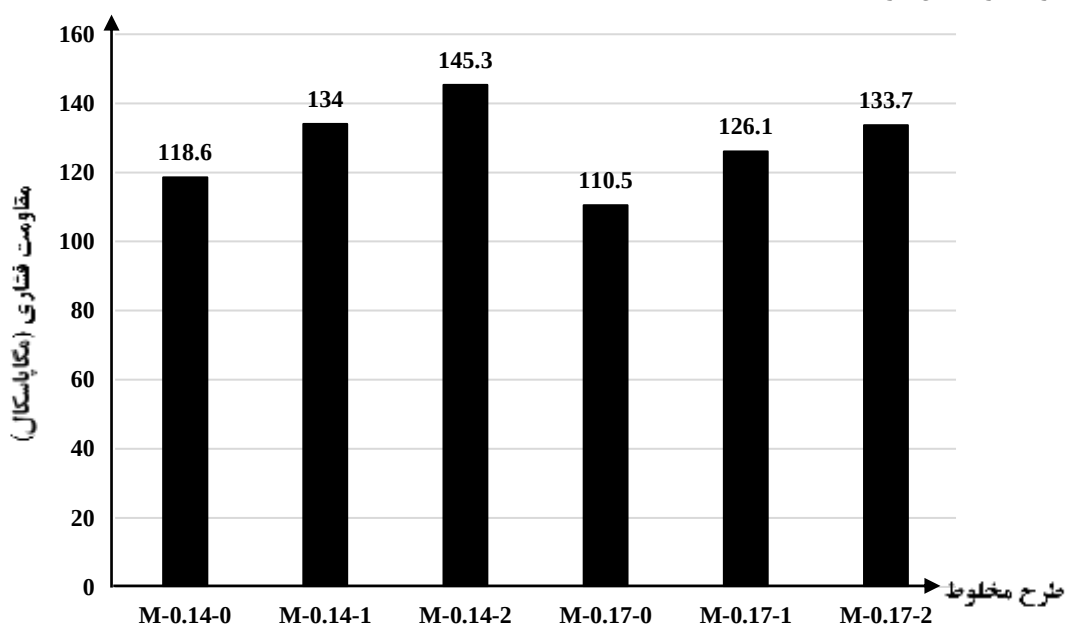
۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



شکل ۴- دستگاه جک آزمایش مقاومت فشاری استفاده شده.

با توجه به نتایج این آزمایش می‌توان گفت که:

- ۱- بیش‌ترین و کم‌ترین مقاومت فشاری به ترتیب مربوط به طرح با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۱۴ و الیاف فولادی ۲ درصد برابر با ۱۴۵/۳ مگاپاسکال و طرح با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۱۷ و بدون الیاف فولادی برابر با ۱۱۰/۵ مگاپاسکال است.
- ۲- کاهش نسبت آب به مواد سیمانی موجب افزایش مقاومت فشاری شده است به نحوی که با کاهش نسبت آب به مواد سیمانی از ۰/۱۷ به ۰/۱۴، در نمونه‌های با ۱ و ۲ درصد الیاف فولادی به ترتیب مقاومت فشاری ۷/۳، ۶/۳ و ۸/۷ درصد افزایش پیدا کرده است. وقتی در خمیر سیمان میزان آب بیش‌تر می‌گردد، میزان تخلخل در آن نیز بیش‌تر می‌شود و لذا موجب ضعیف‌تر شدن خمیر سیمان شده و در نهایت منجر به کاهش مقاومت فشاری می‌گردد. در تحقیقاتی که توسط سایر محققین در بتن پودری انجام گرفته نیز گزارش شده که کاهش نسبت آب به مواد سیمانی مقاومت فشاری را افزایش می‌دهد زیرا کاهش نسبت آب به سیمان موجب کاهش حفرات و فاصله‌ی بین ذرات می‌شود و چگالی بسته‌بندی را افزایش می‌دهد [۱۲]. همچنین گزارش شده که افزایش چگالی بسته‌بندی تأثیر مثبت بر کاهش تخلخل در خمیر سیمان دارد [۱۲، ۲۸].



شکل ۵- نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۷ روزه‌ی نمونه‌ها.

- ۳- افزایش استفاده از الیاف فولادی موجب شده که مقاومت فشاری نمونه‌ها نیز بیش‌تر شود. در نمونه‌های با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۱۴، استفاده از الیاف فولادی به میزان ۱ و ۲ درصد موجب شده تا مقاومت فشاری به ترتیب ۱۳ و ۲۲/۵ درصد و در نمونه‌های با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۱۷ مقاومت فشاری به ترتیب ۱۴/۱ و ۲۱ درصد افزایش یافته است. الیاف فولادی در بتن پودری فعال با ایجاد بهبود



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



پیوند میان خمیر سیمان و سنگ‌دانه‌ها، مانع از گسترش ترک‌های ریز می‌شود. این الیاف علاوه بر افزایش تراکم و همگنی، ظرفیت جذب انرژی و شکل‌پذیری بتن را بالا برده و رفتار ترد آن را کاهش می‌دهد، در نتیجه مقاومت فشاری بتن به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. تحقیقات Maroliya et al. نیز نشان داده که استفاده از الیاف فولادی موجب افزایش مقاومت فشاری بتن پودری فعال می‌شود [۱۴].

۴- با توجه به این که وقتی مقاومت فشاری بتن‌ها بین ۸۰ تا ۱۲۰ مگاپاسکال قرار می‌گیرند، آن‌ها را در رده‌ی بتن‌های با مقاومت بسیار زیاد (VHSC) و وقتی مقاومت فشاری نمونه‌ها از ۱۲۰ مگاپاسکال بیش‌تر باشد در رده‌ی بتن‌های با مقاومت فشاری فوق‌العاده زیاد (UHSC) قرار می‌دهند، لذا بر اساس نتایج این آزمایش می‌توان گفت نمونه‌های بدون الیاف در رده‌ی بتن‌های VHSC و نمونه‌های با الیاف فولادی در رده‌ی UHSC هستند.

۶- نتیجه و جمع‌بندی

در این مطالعه‌ی آزمایشگاهی مشخصات مقاومتی بتن پودری فعال سازگار با محیط زیست ساخته شده با ضایعات گرانیت و الیاف فولادی مورد بررسی قرار گرفت. برای رسیدن به این هدف، ابتدا ۶ طرح مخلوط با دو نسبت آب به مواد سیمانی شامل ۰/۱۴ و ۰/۱۷ و الیاف فولادی با درصدهای مختلف شامل ۰، ۱ و ۲ تنظیم شدند که در همه‌ی آن‌ها از ضایعات گرانیت به میزان ۳۰ درصد به جای ماسه‌ی سیلیسی استفاده شد و پس از عمل‌آوری در دستگاه تحت دمای ۹۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۷ روز، بر روی آن‌ها آزمایش مقاومت فشاری انجام گرفت. نتایج نشان داد که کاهش نسبت آب به مواد سیمانی موجب افزایش مقاومت فشاری تا ۸/۷ درصد می‌شود. همچنین یافته‌ها حاکی از آن بود که بیش‌ترین مقاومت فشاری مربوط به طرح‌های ساخته شده با ۲ درصد الیاف فولادی است به این صورت که در نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۱۴ و ۰/۱۷ مقاومت فشاری ۷ روزه به ترتیب ۲۲/۵ و ۲۱ درصد نسبت به نمونه‌های بدون الیاف افزایش یافته است. ضمناً چون مقاومت فشاری نمونه‌ها از ۱۲۰ مگاپاسکال بیش‌تر بود لذا کلیه‌ی نمونه‌های ساخته شده با الیاف فولادی در رده‌ی بتن‌های با مقاومت فشاری فوق‌العاده زیاد قرار گرفتند.

مراجع

- [1]. P. Richard, M. Cheyrezy, "Composition of reactive powder concretes", Cement and concrete research, Vol. 25(7), 1501-1511, 1995.
- [2]. A. Sadrekarimi, "Development of a light weight reactive powder concrete", Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 2(3), 409-417, 2004.
- [3]. K. Fujikake, T. Senga, N. Ueda, T. Ohno, M. Katagiri, "Study on impact response of reactive powder concrete beam and its analytical model", Journal of advanced concrete technology, Vol. 4(1), 99-108, 2006.
- [4]. Y. Tai, "Uniaxial compression tests at various loading rates for reactive powder concrete", Theoretical and Applied Fracture Mechanics, Vol. 52(1), 14-21, 2009.
- [5]. N. Roux, C. Andrade, M. Sanjuan, "Experimental study of durability of reactive powder concretes", Journal of materials in civil engineering, Vol. 8(1), 1-6, 1996.
- [6]. M.-G. Lee, Y.-C. Wang, C.-T. Chiu, "A preliminary study of reactive powder concrete as a new repair material", Construction and building materials, Vol. 21(1), 182-189, 2007.
- [7]. G. Yan, "Application of reactive powder concrete in highway barriers", International Conference on Transportation Engineering, 1232-1237, 2009.
- [8]. J. Wen-yu, A. Ming-zhe, Y. Gui-ping, W. Jun-min, "Study on reactive powder concrete used in the sidewalk system of the Qinghai-Tibet railway bridge", International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology, 333-338, 2004.
- [9]. Y.-S. Tai, H.-H. Pan, Y.-N. Kung, "Mechanical properties of steel fiber reinforced reactive powder concrete following exposure to high temperature reaching 800 C", Nuclear Engineering and Design, Vol. 241(7), 2416-2424, 2011.
- [10]. O.A. Mayhoub, E.-S.A. Nasr, Y.A. Ali, M. Kohail, "The influence of ingredients on the properties of reactive powder concrete: A review", Ain Shams Engineering Journal, Vol. 12(1), 145-158, 2021.
- [11]. S. Ahmad, A. Zubair, M. Maslehuddin, "Effect of the key mixture parameters on shrinkage of reactive powder concrete", The Scientific World, 2014.
- [12]. K. Rahmani, A. Shamsai, B. Saghafian, S. Peroti, "Effect of water and cement ratio on compressive strength and abrasion of microsilica concrete", Middle-East Journal of Scientific Research, Vol. 12(8), 1056-1061, 2012.
- [13]. M. El-Feky, A.M. El-Tair, M. Kohail, M. Serag, "Nano-fibrillated cellulose as a green alternative to carbon nanotubes in nano reinforced cement composites", International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, Vol. 8(12), 484-491, 2019.
- [14]. M.K. Maroliya, C.D. Modhera, "A comparative study of reactive powder concrete containing steel fibers



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



and recron 3s fibers", Journal of Engineering Research and Studies, Vol. 1(1), 83-89, 2010.

[15]. M.M. Ridha, K.F. Sarsam, I.A. Al-Shaarbaf, "Experimental study and shear strength prediction for reactive powder concrete beams", Case studies in construction materials, Vol. 8, 434-446, 2018.

[16]. A.A. Aliabdo, A.E.M.A. Elmoaty, E.M. Auda, "Re-use of waste marble dust in the production of cement and concrete", Construction and building materials, Vol. 50, 28-41, 2014.

[17]. M.S. Savadkoobi, M. Reisi, "Environmental protection based sustainable development by utilization of granite waste in Reactive Powder Concrete", Journal of Cleaner Production, Vol. 266, 121973, 2020.

[18]. X. Xun, Z. Ronghua, L. Yinghu, "Influence of curing regime on properties of reactive powder concrete containing waste steel fibers", Construction and Building Materials, Vol. 232, 117129, 2020.

[19]. B.A.M. Abd El Rahman, A.-S.I.Z. El-Deen, "Investigation on Using Mineral Admixtures and Different Kinds of Aggregates on Physical and Mechanical Properties on Reactive Powder Concrete (RPC)".

[20]. J. Lemes, G. Lima, F. Machado, L. Pedroti, L. Fioresi, W. Fernandes, R. Alvarenga, S. Monteiro, "Reactive Powder Concrete Production with the Addition of Granite Processing Waste", Characterization of Minerals, Metals, and Materials, 729-735, 2017.

[21]. K. Shwetha, C.M. Kumar, V.N. Dalawai, S. Anadinni, G. Sowjanya, "Comparative study on strengthening of concrete using granite waste", Materials Today: Proceedings, Vol. 62, 5317-5322, 2022.

[22]. S. Dhanoliya, S. Tiwari, "A Study on Use of Ceramic Waste & Granite Waste in Concrete", 2023.

[23]. L. Dvorkin, O. Bordiuzhenko, T. Tracz, K. Mróz, "Optimizing porous concrete using granite stone-crushing waste: composition, strength, and density analysis", Applied Sciences, Vol. 14(16), 6934, 2024.

[24]. ASTM C150, "Standard specification for Portland cement", 2002.

[25]. ASTM C1240, "Standard Specification for the Use of Silica Fume as a Mineral Admixture in Hydraulic Cement Concrete, Mortar and Grout", 2004.

[26]. ASTM C778, "Standard specification for standard sand", 2013.

[27]. BS EN 12390-4, "Testing hardened concrete-Part 4: Compressive strength-specification for testing machines," 2002.

[28]. G. Long, X. Wang, Y. Xie, "Very-high-performance concrete with ultrafine powders, Cement and concrete research", Vol. 32(4), 601-605, 2002.