

## مطالعه آزمایشگاهی تأثیر مقدار دوده سیلیسی روی عملکرد بتن پودری واکنشی (RPC)

علیرضا خالو\*

استاد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف

محمد مهدی خداوردی زنجانی

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شریف

خلیل عزیزی

کارشناس ارشد مهندسی سازه دانشکده تحصیلات تکمیلی واحد بوشهر

### چکیده:

بتن پودری واکنشی نوع جدیدی از بتن‌های توانمند است که بدلیل ریزی مواد پودری و پوزولانی مورد استفاده در آن و نیز مقدار زیاد موادی که به صورت هیدرولیکی فعال اند به آن بتن پودری واکنشی می‌گویند. هدف از این مقاله امکان‌سنجی ساخت و تولید بتن‌های پودری با مصالح بومی مورد استفاده در منطقه عسلویه است. در این مقاله طی یک برنامه آزمایشگاهی برخی از خواص بتن (RPC) مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا با محاسبه مقدار سیمان، نسبت آب به سیمان و درصد بهینه فوق روان‌کننده اقدام به ساخت شش طرح اختلاط با درصد‌های مختلف دوده سیلیسی (۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰ درصد) شده است. آزمایش‌ها مطالعات رئولوژی، مقاومت‌های فشاری و خمشی، نوع عمل‌آوری و بررسی ریزساختار را شامل می‌شود. نتایج آزمایش‌ها و تحلیل نشان می‌دهد که طرح اختلاط با ۱۵ درصد دوده سیلیسی بهینه بوده و بیشترین مقاومت‌های خمشی و فشاری در هر سه حالت مختلف رژیم عمل‌آوری فراهم می‌آورد.

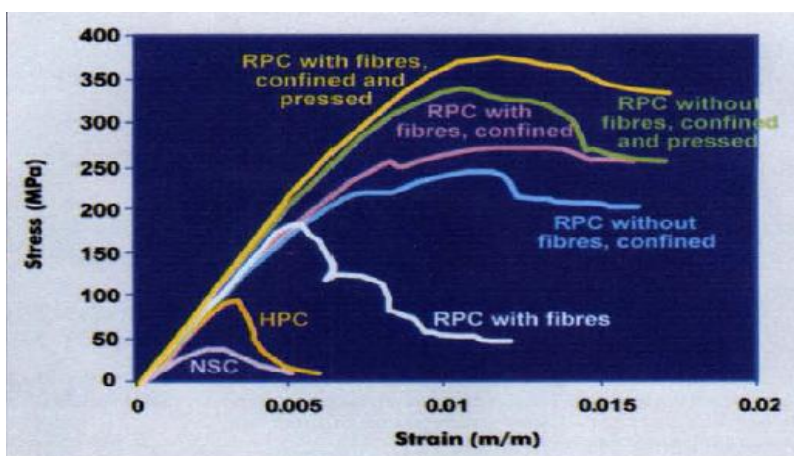
واژه‌های کلیدی: بتن پودری واکنشی، پوزولانی، فوق روان‌کننده، میکرو سیلیس، عمل‌آوری.

## ۱. مقدمه

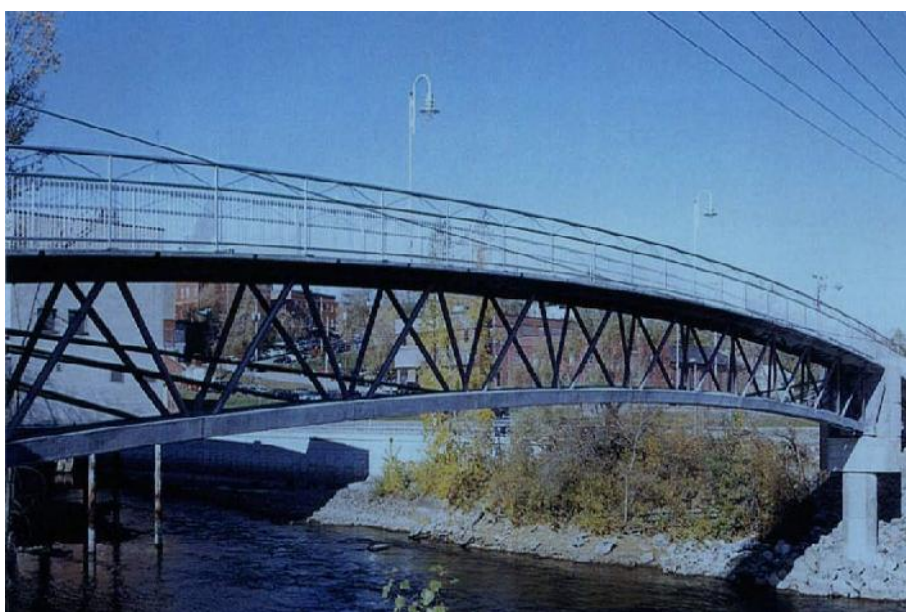
بتن پودری واکنشی از سال ۱۹۹۰ گسترش چشمگیری پیدا نمود. قبل از آن HPC مهم‌ترین و مناسب‌ترین گزینه برای بتن‌های با مقاومت مناسب و عملکرد بالا بود.

اولین سازه ساخته شده با RPC پلی است در شریروک کبک که در طراحی و ساخت آن از بتن RPC استفاده شده (شکل ۲)، و این امر باعث کاهش قابل توجه مقاطع بتنی از لحاظ ابعاد و وزن شده است [۲]. مصالح متداول مورد کاربرد در ساخت بتن RPC عبارت‌اند از سیمان پرتلند، پودر کوارتز، دوده سیلیسی، فوق روان کننده و الیاف فولادی [۳].

بتن معمولی یکی از مصالح معمول در ساخت و ساز است که با مشکلاتی نظیر مقاومت و دوام پایین در برابر خوردگی ناشی از نفوذ یون کلروسولفور در شرایط خاص مواجه است. به همین دلیل محققان اقدام به جایگزین کردن بتن مقاوم‌تر به نام بتن با عملکرد بالا (HPC) نمودند. سپس بتن‌های با عملکرد فوق‌العاده (UHPC) طراحی شد و در نهایت تلاش دست‌اندرکاران دانش بتن منجر به ساخت بتن‌های پودری واکنشی (RPC) گردید [۱]. شکل ۱ مقایسه‌ای از رفتار مکانیکی بتن پودری در مقایسه با سایر بتن‌های موجود را نشان می‌دهد.



شکل ۱- مقایسه عملکرد مکانیکی بتن پودری با سایر بتن‌های موجود [۱]



شکل ۲- اولین سازه ساخته شده با بتن پودری (sherbrooke, quebec) [۲]

نیز جهت دستیابی به مقاومت بالا در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن نسبت آب به سیمان (۰/۲) در راستای دستیابی به طرح مخلوط بتن پودری، مقدار افزودنی فوق روان کننده بهینه محاسبه گردید. برای به دست آوردن مقدار بهینه فوق روان کننده ۵ طرح اختلاط خمیر سیمان با درصدهای مختلف (۱/۵، ۱/۸، ۲/۰، ۲/۳، ۲/۵) فوق روان کننده ساخته شده و توسط مخروط مارش، زمان خروج نیم لیتر خمیر سیمان از قیف تعیین گردیده در نمودار لگاریتم زمان بر حسب درصد استفاده از فوق روان کننده، هر گاه زاویه داخلی شکست نمودار  $1 \pm 140$  درجه شد، آن درصد، نقطه بهینه فوق روان کننده خواهد بود که مطابق نمودار درصد بهینه ۲/۲ درصد است (شکل ۳). بر اساس مطالب فوق، طرح‌های اختلاط نهایی در جدول ۱ آورده شده است.

## ۲-۲. روش عمل آوری

با توجه به تحقیقات صورت پذیرفته در رابطه با طراحی و ساخت بتن‌های پودری، روش‌های مختلفی جهت عمل آوری این بتن‌ها به کار گرفته شده است (۱۱-۴). این روش‌ها شامل عمل آوری معمولی (آب ۲۰ درجه سانتی گراد)، عمل آوری حرارتی (آب ۹۰ درجه سانتی گراد) و عمل آوری اتوکلاو (بخار با دمای ۱۹۰-۱۶۳ و فشار ۱۱۹۰-۵۶۰ KPa) اند.

در این مطالعه در راستای این که بتن پودری می‌بایست با حداقل مصرف انرژی تحت عمل آوری قرار گیرد لذا از بین روش‌های بالا، روش عمل آوری در حمام آب ۹۰ درجه انتخاب گردید. روش عمل آوری زیر جهت کلیه طرح‌ها انجام شد:

- یک روز در قالب
- یک روز در آب ۲۰ درجه سانتی گراد
- سه روز در آب ۹۰ درجه سانتی گراد

## ۳-۲. انجام آزمایش‌ها

پس از ساخت بتن‌ها، با آزمایش رئولوژیکی از طریق جریان اسلامپ کوچک (Mini Flow slump)، جریان‌پذیری بتن ارزیابی گردید و سپس مازاد آن در قالب‌های مکعبی (۵X۵ X۵ cm) جهت انجام آزمایش مقاومت فشاری و قالب منشوری (۱۶X۴X۴cm) جهت انجام آزمایش مقاومت خمشی ریخته شد. پس از مشخص شدن طرح پیشینه مقاومتی، نمونه استوانه‌ای از این طرح ساخته و

جهت دستیابی به مقاومت و کیفیت بالاتر، در کنار سیمان پرتلند از خاکستر بادی و میکروسلیس استفاده می‌شود. با توجه به این که تهیه کوارتز نیز هزینه زیادی را می‌طلبد، جهت کاهش هزینه‌ها در ساخت بتن پودری استفاده از سنگ‌دانه‌های طبیعی با اندازه ۳ میلی‌متر و پایین پیشنهاد شده است [۳]. با توجه به ادبیات فنی موجود چارچوب طرح اختلاط مورد استفاده در بتن پودری به شرح ذیل است:

- نسبت آب به سیمان یا مواد سیمانی بین ۱۵٪ تا ۲۵٪
- مقدار کل مواد سیمانی بین ۷۵۰ تا ۱۴۰۰ کیلوگرم در مترمکعب (سیمان با جایگزینی درصدهای مختلف میکروسلیس در بازه ۱۰٪ تا ۵۰٪)
- ماسه کوارتز دارای اندازه ذرات بین ۱۵۰ تا ۶۰۰ میکرون
- ماسه طبیعی عبوری از الک ۸
- الیاف فولادی در بازه ۲/۵ تا ۱۰ درصد

گزارش‌های ارائه شده در خصوص مطالعات تحقیقاتی و آزمایشگاهی در زمینه ساخت بتن‌های پودری با توجه به نسبتاً جدید بودن نوع بتن در سطح جهانی محدود بوده و در داخل کشور نیز گزارش مطالعاتی ارائه نگردیده است. در همین راستا نیز ساخت و تولید بتن‌های ویژه با توجه به کاربردهای ویژه آن‌ها در سازه‌های خاص حائز اهمیت بوده و لزوم شناسایی و بررسی عملکرد آن‌ها ضروری است.

هدف از انجام این تحقیق، بررسی امکان ساخت و تولید بتن RPC با مصالح بومی و نیز مطالعه برخی از پارامترهای تأثیرگذار بر عملکرد آن است. از سیمان تیپ ۲ شرکت سیمان هرمزگان، ماسه معدن سیراف، دوده سیلیسی از کارخانجات فرو آلیاژ ازنا در استان سمنان و فوق روان کننده با پایه پلی کربوکسیلات اتر با نام تجاری Glenium 110P در این مطالعه استفاده شده است. بر اساس بررسی‌های آزمایشگاهی مختلف روی شش طرح اختلاط با درصدهای مختلف دوده سیلیسی (۰، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰ درصد)، طرح بهینه با جایگزینی ۱۵٪ میکروسلیس که دارای بیشترین مقاومت فشاری و خمشی است به عنوان بهترین طرح شناخته شد.

## ۲. برنامه آزمایشگاهی

### ۱- ۲. طرح اختلاط و مشخصات مصالح مصرفی

در این مطالعه مقدار کل مواد سیمانی ۱۱۰۰ کیلوگرم در یک متر مکعب و برابر میانگین مقدار مواد سیمانی معمول در بتن RPC و

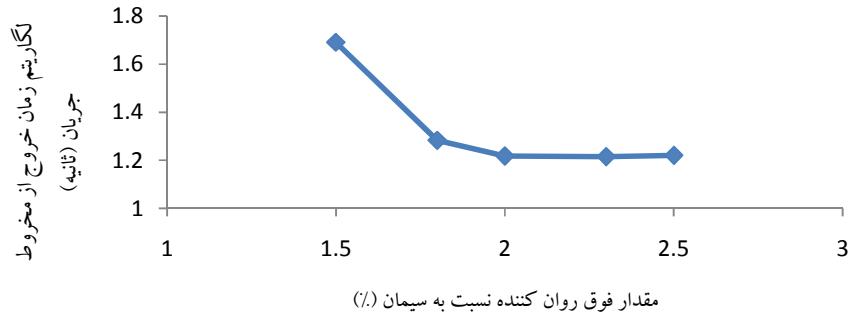
جهت بررسی رفتار مکانیکی تحت آزمون فشاری و بررسی تغییر شکل با دستگاه یونیورسال قرار گرفت و مدول الاستیسته بتن پودری بهینه تعیین گردید. در پایان طرح‌های ۱،۳ و ۵ به‌عنوان نماینده شش طرح با توجه به مقاومت و میزان دوده سیلیسی انتخاب گردیدند و مورد آزمون‌های ریز ساختمانی شامل آزمون الکترونی روبشی (SEM) و آنالیز تفکیک انرژی (EDS) قرار گرفتند.

با توجه به نتایج آزمون رئولوژی که در جدول ۲ نمایش داده شده است، افزایش دوده سیلیسی سبب افت جریان‌پذیری بتن پودری گردیده است. علت اصلی این موضوع احاطه مقاداری از مولکول‌های آب آزاد توسط ذرات دوده سیلیسی در ساختار خمیر سیمان است.

### ۳. نتایج آزمایش‌ها و تجزیه و تحلیل

#### ۳-۱. آزمایش رئولوژی

با توجه به خاصیت جریان‌پذیری بتن‌های پودری واکنشی، بررسی میزان این جریان‌پذیری از طریق تست اسلامپ کوچک که برای ملات‌های خودتراکم مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۲]، در این



شکل ۳- زمان مخروط جریان در طرح‌های خمیر سیمان

جدول ۱- طرح‌های مخلوط بتن پودری در این پژوهش (مقادیر بر حسب  $\text{kg/m}^3$ )

شماره طرح	آب به مواد سیمانی	آب به سیمان	سیمان	میکروسیلیس	آب	فوق روان کننده	ماسه
۱	۰/۲	۰/۲۰	۱۱۰۰	-	۲۲۰	۲۲	۱۰۱۳
۲	۰/۲	۰/۲۲	۹۹۰	۱۱۰	۲۲۰	۲۲	۹۷۷
۳	۰/۲	۰/۲۳	۹۳۵	۱۶۵	۲۲۰	۲۲	۹۵۸
۴	۰/۲	۰/۲۵	۸۸۰	۲۲۰	۲۲۰	۲۲	۹۴۰
۵	۰/۲	۰/۲۸	۷۷۰	۳۳۰	۲۲۰	۲۲	۹۰۴
۶	۰/۲	۰/۳۳	۶۶۰	۴۴۰	۲۲۰	۲۲	۸۶۸

جدول ۲- نتایج آزمون جریان اسلامپ کوچک

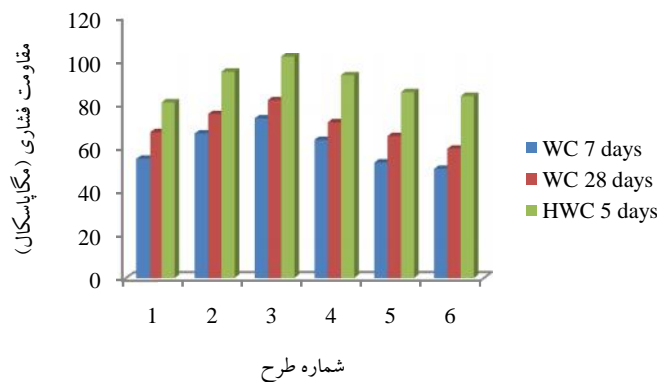
شماره طرح	میانگین قطر بازشدگی (سانتی متر)
۱	۳۲/۵
۲	۳۰/۰
۳	۲۹/۰
۴	۲۸/۵
۵	۲۵/۵
۶	۲۵/۰

### ۲-۳. آزمایش خواص مکانیکی

با توجه به اهداف این مطالعه، از طرح‌های اختلاط بتن پودری نمونه‌های مختلفی جهت بررسی رفتار مکانیکی این مصالح ساخته شد. آزمون‌های فشاری و خمشی به‌عنوان مهم‌ترین آزمون‌های مکانیکی مورد بررسی قرار گرفتند. پس از مشخص شدن طرح بیشینه مقاومتی، نمونه استوانه‌ای از این طرح ساخته شد و جهت بررسی رفتار مکانیکی تحت آزمون فشاری و بررسی تغییر شکل قرار گرفت و مدول الاستیسیته بتن پودری بهینه نیز محاسبه گردد. نتایج آزمون‌های مکانیکی در جدول ۳- نتایج آزمون‌های فشاری و خمشی (بر حسب مگاپاسکال)

جدول ۳- نتایج آزمون‌های فشاری و خمشی (بر حسب مگاپاسکال)

نوع عمل‌آوری						شماره طرح
در آب جوش (۹۰ درجه)		در آب معمولی (۲۰ درجه)				
مقاومت خمشی	مقاومت فشاری	مقاومت خمشی		مقاومت فشاری		
روزه ۵	روزه ۵	روزه ۲۸	روزه ۷	روزه ۲۸	روزه ۷	
۱۷/۸	۸۰/۸	۱۳/۶	۱۰/۱	۶۷/۱	۵۴/۹	۱
۲۲/۲	۹۴/۹	۱۵/۴	۱۳/۷	۷۵/۴	۶۶/۵	۲
۲۳/۴	۱۰۱/۹	۱۷/۵	۱۵/۰	۸۱/۸	۷۳/۴	۳
۲۲/۱	۹۳/۳	۱۴/۹	۱۲/۲	۷۱/۶	۶۳/۵	۴
۲۰/۵	۸۵/۵	۱۱/۸	۸/۹	۶۵/۳	۵۳/۱	۵
۱۹/۷	۸۳/۷	۱۰/۴	۷/۸	۵۹/۵	۵۰/۲	۶



شکل ۴- مقاومت فشاری نمونه‌های بتن پودری تحت عمل‌آوری‌های مختلف (WC=عمل‌آوری معمولی، HWC=عمل‌آوری در آب داغ ۹۰ درجه)

نمونه‌های به دست آمده از طرح‌های مختلف بتن پودری صورت گرفت.

این آزمون‌ها روی طرح‌های ۳، ۵ و ۱ انجام شد. علت اصلی بهبود ریز ساختار و مقاومت نمونه‌های بتنی تحت عمل‌آوری حرارتی، ایجاد محیط مناسب جهت برقراری واکنش پذیری پوزولانی عنوان نمود. با توجه به همین موضوع و با مقایسه اشکال ۷- الف و ب که به ترتیب ریز ساختار طرح مبنا (طرح ۳) تحت عمل‌آوری معمولی و حرارتی را نشان می‌دهد ملاحظه می‌گردد که عمل‌آوری حرارتی به تولید مقادیر بیشتری ژل C-S-H منجر گردیده که در نتیجه بهبود شرایط واکنش هیدراتاسیون حاصل گردیده است.

اشکال ۸- الف و ب که از نتایج آزمون آنالیز تفکیک انرژی حاصل گردیده‌اند مقایسه نسبت  $(SiO_2)Ca$  رادر ساختار ژل C-S-H موجود در ماتریس بتن‌های RPC نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص شده است نسبت C/S در نمونه طرح (۳) افزایش قابل توجهی نسبت به نمونه بدون میکروسیلیس (طرح ۱) دارد. زمانی که مقادیر بالای دوده سیلیسی در ماتریس به کار گرفته می‌شود بخش قابل توجهی از این ذرات تنها نقش پرکننده (فیلر) را ایفا نموده و نه تنها سبب تولید ژل پر مقاومت C-S-H نخواهد شد بلکه با کلوخه شدن به یکدیگر موجب به وجود آمدن نواحی ضعیف و کم مقاومت نیز در ماتریس می‌گردند. لذا مقاومت طرح‌های بتن پودری با افزایش مقدار دوده سیلیسی نسبت به طرح بهینه کاهش می‌یابد.

همچنین با توجه به افزایش حجم دوده سیلیسی در مقادیر متوسط و بالای جایگزینی سیمان (۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد) با بیشتر شدن مقدار سیلیس غیر فعال در ماتریس خمیر، مقاومت بتن پودری هم در عمل‌آوری معمولی و هم در عمل‌آوری حرارتی کاهش یافته است.

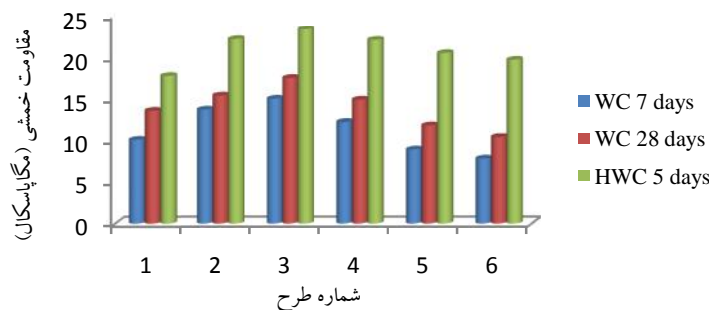
در شکل نحوه تغییرات مقاومت خمشی بتن‌های پودری با تغییر در مقدار دوده سیلیسی، سن نمونه و نوع عمل‌آوری نشان داده شده است.

در راستای دستیابی به مدول الاستیسیته (E) با طرح بهینه، نتایج آزمون تست فشاری با کرنش تحت کنترل در شکل ۶ آورده شده است.

با توجه به شکل ۶ ملاحظه می‌گردد که بتن پودری نسبت به بتن معمولی تردتر است. نتایج مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته به دست آمده از آزمون فشاری با کرنش تحت کنترل در جدول ۴ نشان می‌دهد که با افزایش حدود ۳/۵ برابر مقاومت فشاری در بتن پودری واکنشی، مدول الاستیسیته حدود ۶۰ درصد افزایش می‌یابد. همچنین مقایسه مدول الاستیسیته پیشنهادی کمیته ۳۶۳ ACI از همخوانی نزدیکی با مقدار حاصل از آزمایش برخوردار است.

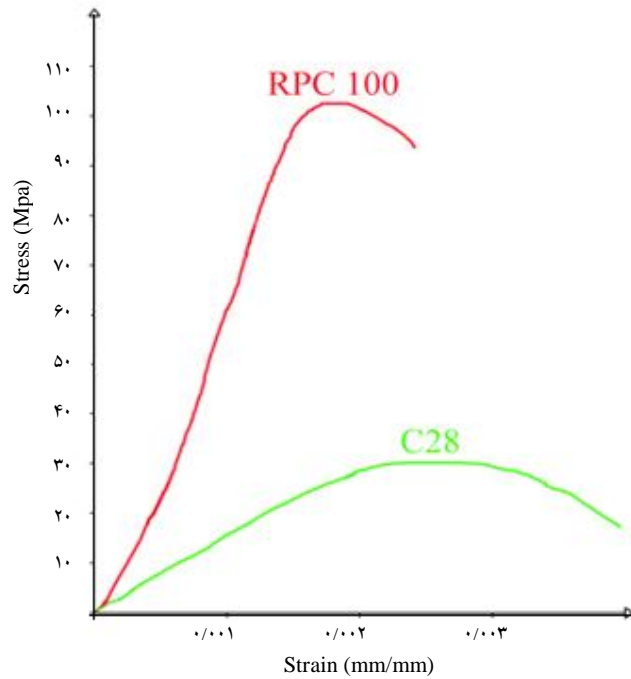
### ۳-۳. بررسی ریز ساختاری

دو آزمون میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و آنالیز تفکیک انرژی (EDS) به عنوان آزمون‌های ریز ساختاری بر روی



شکل ۵- مقاومت خمشی طرح‌های مختلف بتن پودری در سنین و عمل‌آوری‌های مختلف

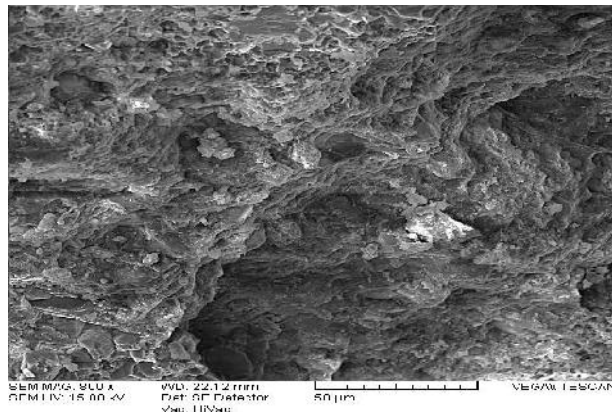
(WC=عمل‌آوری معمولی، HWC=عمل‌آوری در آب داغ ۹۰ درجه)



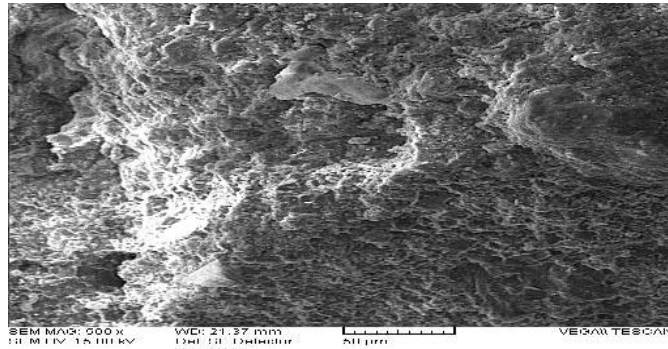
شکل ۶- نمودار رفتار فشاری نمونه بتن پودری طرح بهینه (طرح ۳) در مقایسه با نمونه بتن معمولی (۲۸ مگاپاسکال)

جدول ۴- مقاومت مشخصه و مدول الاستیسیته طرح بهینه (طرح ۳) و طرح بتن معمولی

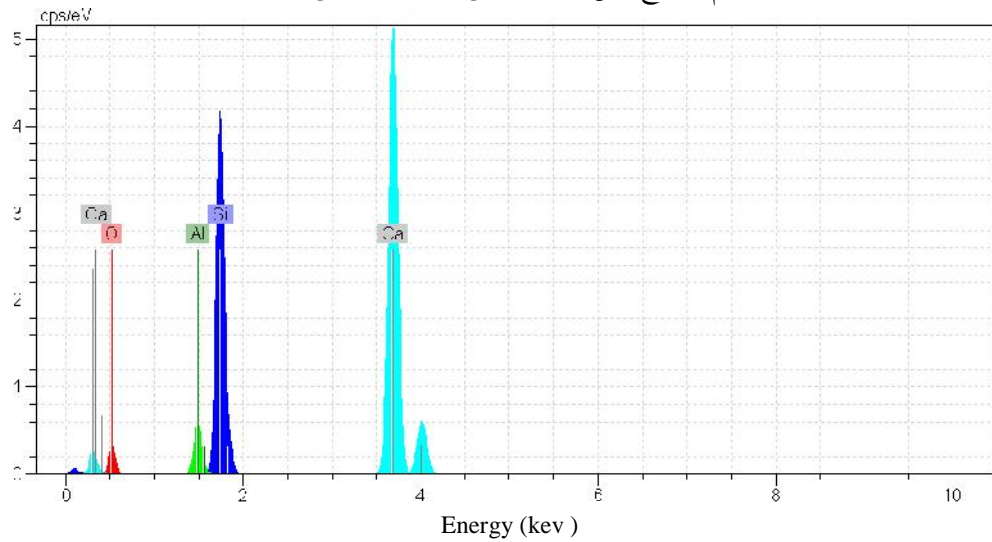
مدول الاستیسیته محاسبه شده با فرمول (GPa)		مدول الاستیسیته (GPa)	مقاومت مشخصه (MPa)	نام طرح
ACI- ۳۶۳	ACI- ۳۱۸			
۲۴/۵	۲۵/۰	۲۵/۲	۲۸	بتن معمولی (C28)
۴۰/۱۰۰	—	۴۰/۵	۱۰۰	بتن پودری (RPC100)



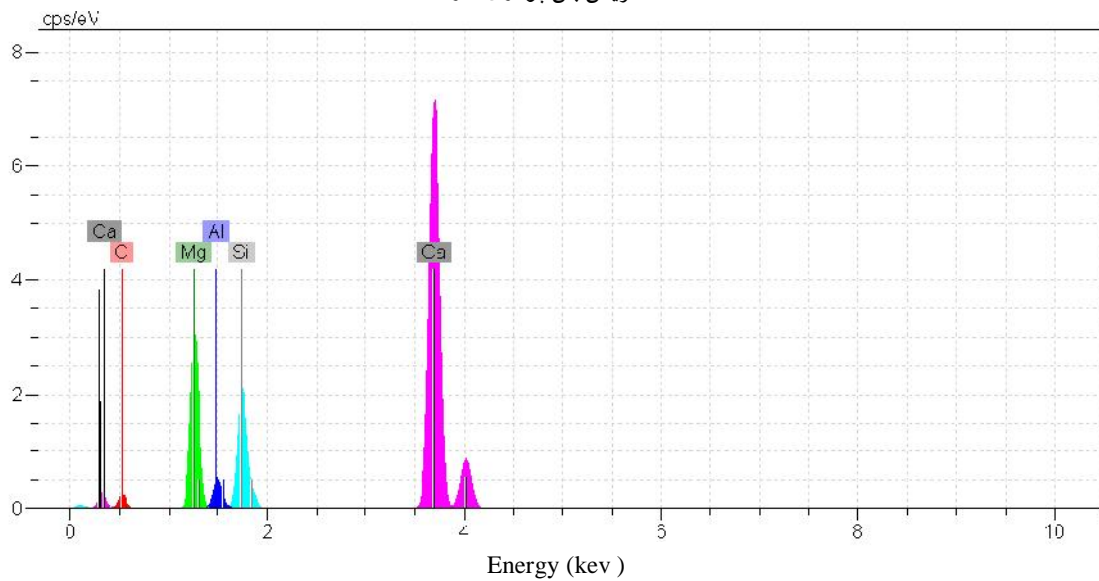
شکل ۷- الف- ریز ساختار طرح مینا در سن ۲۸ روز تحت عمل آوری معمولی (کریستال‌های پرتلندیت در گوشه‌ی سمت چپ تصویر به وضوح قابل مشاهده‌اند)



شکل ۷- ب- ریز ساختار طرح مینا تحت عمل آوری حرارتی (تولید مقادیر بیشتر ژل کلسیم- سیلیکات- هیدرات و ایجاد ساختاری متراکم از نتایج عمل آوری حرارتی‌اند) (بزرگ‌نمایی ۵۰۰ برابر)



شکل ۸- الف- نسبت C/S در خمیر موجود در طرح ۱ برابر ۱/۹ می‌باشد که نشان از حضور مقادیر بیشتر نوع III ژل C-S-H در ماتریس بتن پودری دارد



شکل ۸- ب- نسبت C/S در خمیر موجود در طرح ۳ برابر ۳/۵ است که نشان از حضور مقادیر بیشتر نوع I ژل C-S-H در ماتریس بتن پودری دارد



#### ۴. نتیجه گیری

براساس مطالعات این پژوهش که بررسی خواص رئولوژی، مکانیکی و نیز ریز ساختار بتن های پودری را دربرگرفت نتایج زیر حاصل گردید:

۱- با افزایش میزان جایگزینی دوده سیلیسی از قطر بازشدگی جریان در آزمون اسلامپ کوچک کاسته می گردد.

۲- بیشینه مقاومتی در بین طرح های مورد مطالعه در طرح دارای ۱۵ درصد میکروسیلیس (طرح ۳) به دست آمده که برابر  $10\frac{1}{8}$  MPa در ۲۸ روز با عمل آوری حرارتی است.

۳- طرح های دارای مقادیر ۱۰ و ۲۰ درصد دوده سیلیسی در حالت عمل آوری حرارتی دارای نتایج نزدیک به یکدیگر هستند.

۴- مقاومت بتن پودری با افزایش مقدار دوده سیلیسی، بیش از ۱۵ درصد مواد چسبنده، در عمل آوری معمولی و نیز حرارتی کاهش یافته است.

۵- مدول الاستیسیته بتن پودری نسبت به بتن معمولی بسیار بیشتر می شود. همچنین بتن های پودری خاصیت ترد شکنندگی بسیار بالایی دارد که در جهت رفع این مشکل ضروری است در ساخت این بتن ها از الیاف فولادی استفاده نمود.

۶- بررسی ریزساختاری انجام شده نشان می دهد که عمل آوری تحت حرارت سبب بهبود ساختار تخلخل و همچنین بهبود شرایط انجام واکنش پوزولانی از طریق فعال سازی ذرات سیلیس با پیوندهای سطحی اشباع می گردد.

#### ۵. مراجع

[1]. 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," 21, 182-189, 2007.

[2]. P.Y. Blais, M.Couture, Precast, "Prestressed Pedestrian Bridge-World's First Reactive Powder Concrete Structure," PCI Journal, 60-71, 1999.

[3]. Z. Yunsheng, S. Wei, L. Sifeng, J. Chujie, L. Jianzhong, "Preparation of C200 green reactive powder concrete and its static-dynamic behaviors," Cement & Concrete Composites, 30, 831-838, 2008.

[4]. M. G. Lay, Handbook of Road Technology, Sec. Ed., Vol. 1, Gordon and Breach Science Publishers, 1990.

[5]. J. Ma, M. Orgass, Comparative Investigations on Ultra-High Performance Concrete with and without coarse aggregates, LACER, No.9, 10 pages, 2004.

[6]. A. Sadrekarimi, "Development of a Light Weight Reactive Powder Concrete," Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.2, No.3, 409-417, 2004.

[7]. A. Cwirzen, V. Penttala, C. Vornanen, "Reactive powder based concretes: Mechanical properties, durability and hybrid use with OPC," Cement and Concrete Research, 38, 1217-1226, 2008.

[8]. D. P. Bentz, "Drying/hydration in cement pastes during curing," Materials and Structures, Vol.34, 557-565, 2001.

[9]. H. N. Atkins, "Highway Materials, Soils, and Concretes," 4<sup>th</sup> Edition, Prentice Hall, 277-330, 2003.

[10]. D. A. St John, Concrete Petrography, A handbook of investigative techniques, Wiley & Sons, New York, 1998.

[11]. S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, "Design and Control of Concrete Mixtures," 14<sup>th</sup> Edition, Portland Cement Association, 2002.

[12]. V. S. Ramachandran, "Concrete Admixtures Handbook," Properties, Science, and Technology, Noyes Publications, 1984.

## Experimental investigation of silica fume content influence on performance of reactive powder concrete

A. Khaloo\*

Professor, Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology

M.M. Kh. Zanjani

M.Sc. student in Structural Engineering (Kish branch), Sharif University of Technology

Kh. Azizi

M.Sc. in Structural Engineering, Graduate School of Bushehr

( Received: 2012/4/14, Accepted: 2012/7/5)

### Abstract

Reactive powder concrete is a new type of high-strength concrete, which due to extra fine materials and pozzolans in addition to high hydraulically active materials is referred to as Reactive Powder Concrete (RPC). The objective of this paper is to make feasibility study on construction and production of RPC using locally available materials in Assalooyeh region.

In this research study, some of the properties of RPC are investigated. Six mixes, using 0%, 10%, 15%, 20%, 30% and 40% silica fume, based on required cement content, water to cement ratio and optimized super-plasticizer are designed. Experimental program included rheology of fresh mixes, compressive and flexural strengths, three types of curing condition and micro-structure of the concretes. Test results and analysis indicate that mixes with 15% silica fume provide the highest compressive and flexural strengths for the three types of curing regimes.

**Keywords:** pozzolanic reactive powder concrete, super plasticizer, microsilico, curing.

---

\* Corresponding author: khaloo@sharif.ir