مجله علمی – پژوهشی
مهندسی عمران مدرس
دوره بیستم، شماره ۱، سال ۱۳۹۹

بررسی تاثیر جایگزینی ماسه سیلیسی با ماسه و پودر کوارتز بر مقاومت فشاری بتن پودری واکنشی

جاوید چاخرلو[۱]، بهمن شروانی‌تبار[۲*]

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران-سازه، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان
۲- استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

b.shervani@yahoo.com

تاریخ ارسال: ۹۷/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش:۹۸/۶/۲۵

چکیده

در چند دهه اخیر پژوهش‌های گسترده‌ای برای به‌دست آوردن بتن‌هایی با مقاومت‌های بالا انجام شده است. بتن پودری واکنشی نوعی بتن فوق توانمند با ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی برتر است. کشور ایران دارای اراضی کویری و معادن بسیاری است که به لحاظ ذخائر معدنی جزو ۱۰ کشور نخست جهان و اولین کشور خاورمیانه است. قسمت اعظم ترکیب بتن پودری واکنشی از ماسه تشکیل شده است. در این پژوهش هدف تولید بتن پودری واکنشی با مشخصات مکانیکی مطلوب از ماسه معمولی معدن سرام تبریز گذرنده از الک نمره ۲/۳۶ میلی‌متر به عنوان جایگزین ماسه سیلیسی تهیه شده از معدن ماسه سیلیسی صنعتی قوم تپه (که به طور طبیعی دانه هایش کوچکتر از ۶۰۰ میکرو متر است) در نزدیکی شهر تبریز می‌باشد. در این پژوهش بعد از بررسی مشخصات مکانیکی ماسه های مصرفی، شش طرح مخلوط حاوی صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ماسه معمولی تهیه شد که در طرح مخلوط ششم، هم به جای ماسه سیلیسی و هم به جای پودر کوارتز از ماسه معمولی فوق الذکر استفاده شد و با توجه به آزمایش میزجریان با روش خطا و آزمون مقدار کل ماسه تعیین شد. طرح آخر در واقع یک نوع ملات ماسه سیمان خاصی می‌باشد که دارای میکروسیلیس و فوق‌روان‌کننده بوده و موجب کاهش هزینه تولید و در عین حال دارای مقاومت کافی برای استفاده در کارهای عملی است. قبل از بتن ریزی قالب‌ها آزمایش میز جریان برای هر طرح مخلوط انجام گرفت وهمچنین آزمایش جذب آب حین عمل‌آوری و اندازه گیری مقاومت فشاری در عمرهای ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه انجام گرفته است. نتایج نشانگر این است که با افزایش درصد جایگزنی ماسه معمولی به جای ماسه سیلیسی مقاومت فشاری روند صعودی داشته و با افزایش آن مقاومت فشاری افزایش می‌یابد، به گونه‌ای که در نمونه های ۷روزه بیش‌ترین مقاومت فشاری برای بتنی با ۱۰۰ درصد ماسه معمولی جایگزین بدست آمده و در نمونه‌های ۲۸ روزه و ۹۰ روزه، درصد های جایگزینی ۷۵ درصد و ۵۰ درصد به ترتیب دارای بیشترین مقاومت فشاری است، همچنین حذف پودر کوارتز مصرفی از طرح مخلوط با کاهش مقاومت فشاری همراه بوده است، که می‌توان از این کاهش مقاومت به جهت اقتصادی نمودن طرح و روانی مطلوب‌تر صرف نظر کرد چون مقاومت کافی برای بسیاری از کارهای اجرایی را دارد. نتایج حاصل از آزمایش تجربی انجام شده بیانگر این است که ماسه معمولی می‌تواند به عنوان جایگزین ماسه سیلیسی در ساخت بتن پودری واکنشی مورد استفاده قرار گیرد. لازم به ذکر است که در هر منطقه‌ای با توجه به مصالح ساختمانی موجود، این آزمایش‌ها باید تکرار شود. نتایج بدست آمده از این پژوهش مربوط به معادن ماسه سیلیسی و ماسه معمولی فوق الذکر است.

واژگان کلیدی: بتن پودری واکنش‌پذیر، مقاومت فشاری، روانی، عمل آوری، ماسه

۱- مقدمه

به طور کل بتن با عملکرد بالا که به آن اصطلاحا بتن HPC[1] نیز اطلاق می‌گردد، مخلوطی از سیلیکا ، خاکستر بادی، پوزولان، سیمان پرتلند و آب است که بیشتر برای افزایش مقاومت و پایایی در شرایطی که بتن در مجاورت خوردگی یا شرایط محیطی سخت قرار دارد استفاده می‌شود. در سال ۱۹۷۰ در ساختمان‌های بلند از بتن معمولی استفاده شد که بی‌شک نیاز به نوعی بتن با مقاومت بالا بود بنابراین در ساخت بتن‌های مقاومت بالا همان فناوری که در ساخت بتن‌های معمولی است را مورد استفاده قرار دادند، با این تفاوت که مواد و مصالح بتن با مقاومت بالا با دقت انتخاب می‌شود. زمانی که از فوق روان کننده استفاده می‌شود نسبت آب به سیمان کاهش پیدا کرده و باعث افزایش مقاومت بتن می‌شود [1]. امروزه در کشورهای صنعتی طراحی برای دوام در سازه‌های بتنی یک امر ضروری است و با توجه به لزوم حرکت برای توسعه پایدار این مسئله در کشور ما نیز باید مدنظر قرار گیرد. RPC[2] یا همان بتن پودری واکنش‌پذیر نوع جدیدی از بتن‌های توانمند است که به دلیل ریزی مواد پودری و پوزولانی مورد استفاده در آن و نیز مقدار زیاد موادی که به صورت هیدرولیکی فعال هستند به آن بتن پودری واکنشی یا واکنش‌زا می‌گویند [2]. بتن پودری نوعی جددی از مصالح کامپوزیت بتنی با مشخصات مکانیکی و دوام بسیار عالی است [3]. همچنین بتن پودری یکی از آخرین پیشرفت‌ها در زمینه بتن است که بسیاری از ایراداتی که بتن امروزی دارد را رفع می‌کند. RPC، مقاومت اساتیکی و دینامیکی بسیار بالا، ظرفیت شکست بالا، افت پایین و دوام فوق‌العاده، تحت شرایط شدید را دارا است [4]. ویژگی‌های جذب انرژی بالای بتن پودری سبب عملکرد پلاستیک بسیار مطلوب ستون‌ها، تیرستون‌ها و اتصالات ودیوارهای برشی می‌شود [5]. دوام بالا منجر به طول عمر زیاد سازه با نگهداری کم از آن می‌شود. RPC تقریباً نفوذناپذیر است و تقریباً هیچ اجازه‌ای به کربناته شدن یا نفوذ یون‌های کلراید و سولفات را نمی‌دهد و به دلیل مقاومت سایشی که دارد سبب افزایش طول عمر آنها روی عرشه پل‌ها و مکان‌های صنعتی می‌شود و مقدار بسیار زیاد سیمان هیدراته نشده در سطح تسطیح شده سبب خودترمیمی در شرایط ترک خوردگی می‌شود [6]. مقاومت فشاری بالا نسبت به بتن‌های معمولی که منجر به کاهش قابل توجه در بار مرده ساختمان می‌شود. سازه‌های ساخته‌شده با RPC ممکن است یک‌سوم یا یک‌دوم نسبت به سازه‌های ساخته‌شده با بتن معمولی وزن داشته باشند. کاهش وزن برای تولید سازه‌های انتقال باریک‌تر، کاهش هزینه‌های کلی ساخت و افزایش استفاده از فضای کف در ساختمان‌های بلند خوب است [7]. از دیگر فواید استفاده از بتن‌فوق‌توانمند این است که به ازای رسیدن به هر یک مگاپاسکال ظرفیت عضو سازه، به مقدار کمتری مصالح نیاز است، به عبارتی، نیاز به نگهداری کمتر منجر به صرفه اقتصادی قابل توجهی می‌شود. به هرحال، در ترکیب RPC، جایگزینی بخشی از سیمان با دوده‌سیلیسی منجر به استفاده کمتر از سیمان می‌شود و گاز گلخانه‌ای کمتری تولید می‌شود [8]. بر اساس میزان بتن تولید شده در سال ۲۰۰۷، می‌توان تخمین زد که سالانه برای تولید بتن ۲۰۵ میلیارد تن سیمان، یک میلیارد تن آب و ۱۰ میلیارد تن سنگدانه مصرف می‌شود. به عبارت دیگر هر تن از سیمان پرتلند که تولید می‌شود می‌تواند یک تن دی‌اکسیدکربن را وارد اتمسفر کند [9]. مصرف زیاد مواد پوزولانی در بتن میزان تقاضای سیمان برای استفاده در صنعت ساخت و ساز را کاهش داده و بنابراین علاوه بر کاهش هزینه تولید بتن میزان آلودگی محیط زیست در اثر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن ناشی از کارخانه‌های سیمان به اتمسفر کاهش قابل ملاحظه ای می‌یابد [10].

علاوه ویژگی‌های برجسته بتن پودری این ماده دارای ضعف‌هایی نیز هست. از جمله: میزان مصرف زیاد سیمان در بتن پودری واکنشی (بین ۷۰۰ الی ۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب) نه تنها روی هزینه‌ها تاثیر منفی می‌گذارد بلکه سبب افزایش نامطلوب گرمای هیدراتاسیون که باعث مشکلاتی از قبیل جمع شدگی و انقباض در بتن می‌شود. بتن پودری عموما بتن پرهزینه‌ای است که نمی‌توان آنرا به راحتی جایگزین بتن‌های معمولی کرد [6].

1. High performance concrete
2. Reactive Powder Concrete

مخلوط‌های بتن پودری با مقدار بالای دوده‌سیلیسی و نسبت آب به سیمان پایین مشخص می‌شوند. درشت‌دانه حذف شده است تا از ضعف ریزساختار سازه‌ای جلوگیری شود. افزودن فوق‌روان‌کننده برای دست یافتن به نسبت آب به مواد سیمانی پایین استفاده می‌شود و از عمل‌آوری با دمای بالا یا عمل‌آوری با بخار برای رسیدن به مقاومت بالا استفاده می‌شود [12].

مواد اصلی تشکیل دهنده بتن پودری واکنشی سیمان پرتلند معمولی، آب، دوده‌سیلیسی، ماسه کوارتزی (سیلیسی)، پودر کوارتز ، فوق‌روان‌کننده و در بعضی موارد الیاف است [13]. دوده‌سیلیسی یکی از اجزای اصلی تشکیل دهنده RPC است. ماده‌ای که شامل ذرات بسیار ریزی می‌باشد و فقط فضای بین ذرات سیمان را پر نمی‌کند بلکه با سیمان نیز واکنش می‌دهد.از نظر فیزیکی ذرات دوده‌سیلیسی به صورت کروی هست و قطر آن در محدوده ۰/۱ تا ۲ میکرون است. در نتیجه اندازه ذرات دوده‌سیلیسی به طور میانگین ۱۰۰ مرتبه کوچکتر از ذرات سیمان می‌باشد [14]. اولین استفاده از دوده‌سیلیسی در سال ۱۹۵۲ میلادی در ساخت یک تونل بوده است که جایگزین ۱۵ درصد سیمان شده بود [15]. استفاده از دوده‌سیلیسی از سال ۱۹۷۰ میلادی به عنوان مواد سیمانی جایگزین در اروپا و از سال ۱۹۸۰ در آمریکای شمالی مرسوم شده است [16]. استفاده از فوق‌روان‌کننده‌ها در بتن از سال ۱۹۶۰ میلادی مرسوم شده است [17]. برای تولید بتن‌های با مقاومت بالا، قابلیت جذب انرژی بالا و کارایی بالا با حفظ نسبت آب به سیمان پایین، استفاده از فوق‌روان‌کننده‌ها را اجتناب ناپذیر شده است [18].

در این پژوهش با مطالعه آزمایشگاهی روی انواع نسبت‌های مخلوط با روش آزمون و خطا امکان تولید بتن پودری واکنشی با استفاده از مواد و مصالح تهیه شده از معادن و یا تولیدات کارخانه‌های داخل کشور سنجیده و با انجام آزمایش‌هایی تاثیر استفاده از ماسه معمولی معدن سرام تبریز به جای ماسه سیلیسی روی مقاومت فشاری، جذب آب حین عمل آوری، کارایی و روانی، بررسی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- سیمان

سیمان به کار رفته در این پژوهش از سیمان پرتلند نوع دو، تهیه شده از کارخانه سیمان صوفیان تبریز است.

جدول ۱. مشخصات سیمان

Amount	Physical Characteristics of Cement
3.12	specific gravity (gr/cm^3)
2974	Blaine fineness (cm^2/gr)
0.23	dilatation Longitudinal
80	Initial Setting Time (min)
275	Final Setting Time (min)
179	3 Days Compressive Strength (kgf/cm^2)
274	7 Days Compressive Strength (kgf/cm^2)
370	28 Days Compressive Strength (kgf/cm^2)

Table 1. Characteristics of Cement

جدول ۲. مواد تشکیل دهنده سیمان و دوده‌سیلیسی

Persentage	Chemical Compounds In Microsilica	Persentage	Chemical Compounds In Cement
96.4	SiO_2	20.05	SiO_2
0.08	H_2O	5.04	Al_2O_3
0.5	SiC	3.47	Fe_2O_3
0.3	C	64.56	CaO
0.87	Fe_2O_3	2.38	MgO
1.32	Al_2O_3	1.08	CaO.f
0.49	CaO	10.53	C_4AF
0.97	MgO	0.75	LOI
0.31	Na_2O	0.58	I.R
1.01	K_2O	49.5	C_3S
0.16	P_2O_5	7	C_3A
0.1	SO_3	25.47	C_2S
0.04	CL	0.97	K_2O
		0.34	Na_2O
		1.73	SO_3

Table 2. Ingredients of cement and microsilica

۲-۲- دوده‌سیلیسی

لفظ میکروسیلیس و دوده‌سیلیسی برای توصیف دوده‌سیلیسی غلیظ که کیفیت بالا برای استفاده در صنعت سیمان و بتن دارد استفاده می‌شود. از لفظ دوده‌سیلیسی در استاندارد اروپا استفاده شده است [19]. میکروسیلیس استفاده شده در این پژوهش از کلینیک بتن تهیه شده است و مشخصات آن طبق جدول (۲ و ۳) است.

جدول ۳. مشخصات فیزیکی دوده‌سیلیسی مصرفی

Amount	Properties
0.1	average size (μm)
20000	surface area (m^2/kg)
2.0	absolute specific gravity (gr/cm^3)
0.367	denisty specific gravity (gr/cm^3)
Spherical and non-crystalline	Particle shape
amorphous	shape

Table 3. Physical properties of microsilica

۲-۳- ماسه سیلیسی

قسمت اعظم ترکیب بتن پودری واکنشی از ماسه تشکیل شده است. ماسه استفاده شده در این پژوهش از معدن ماسه سیلیسی صنعتی قوم تپه در نزدیکی شهر تبریز با وزن مخصوص ۲/۶۳ و ۰/۲ درصد رطوبت و با هفت دهم الی یک درصد جذب آب و به رنگ طوسی است که پس از اصلاح دانه‌بندی بیشینه اندازه سنگدانه آن ۶۰۰ میکرون و در حالت SSD استفاده شده است (البته دانه‌های این معدن کلا از الک ۶۰۰ میکرون عبور می‌کند و برای احتیاط یک بار از همین الک عبور داده می‌شود). ترکیبات شیمیایی ماسه به کار رفته در این پژوهش در جدول (٤) آورده شده است.

جدول ٤. ترکیب شیمیایی ماسه سیلیسی مصرفی

Persentage	Chemical Compounds	Persentage	Chemical Compounds
4.83	Na_2O	61.84	SiO_2
3.53	K_2O	0.42	FeO
1.32	MgO	3.92	Fe_2O_3
3.73	Fei	1.37	Fe_3O_4
<0.05	SO_3	15.2	Al_2O_3
3.36	L.O.I	0.11	BaO
0.19	P_2O_5	3.51	CaO
0.69	TiO_2	0.08	MnO

Table 4. Chemical composition of silica sand

٤-۲- ماسه معمولی

ماسه معمولی استفاده شده از معدن سرام تبریز تهیه شده با وزن مخصوص مطلق۲/٦٥ گرم بر سانتی‌متر مکعب وچگالی انبوهی میله نخورده آن ۱٦۸۰ کیلوگرم بر متر مکعب تعیین شد، و درصد جذب آب ۱/۵۲ درصد که مطابق استاندارد ASTM C128 (ASTM C128-01) تعیین شد. که در این پژوهش پس از اصلاح دانه‌بندی ماسه عبوری از الک نمره ۲/۳٦ استفاده شده است.

مدول نرمی بیانگر ریزی و درشتی دانه‌هاست هر چقدر دانه‌های ماسه درشت‌تر باشد مدول نرمی بیش‌تر است و هر چه دانه‌های ماسه ریزتر باشد مدول نرمی کمتر خواهد بود. بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۳۰۰ محدوده مدول نرمی مصالح ریزدانه استفاده شده در بتن و بتن مسلح ۲/۳ الی ۳/۱ است، مدول نرمی ماسه استفاده شده در این پژوهش با استفاده از استاندارد ASTM C 136 (ASTM C 136-84a) ۲/۹۸ تعیین شد. شکل (۱) مربوط به منحنی دانه‌بندی ماسه مصرفی است.

شکل ۱. منحنی دانه‌بندی ماسه معمولی

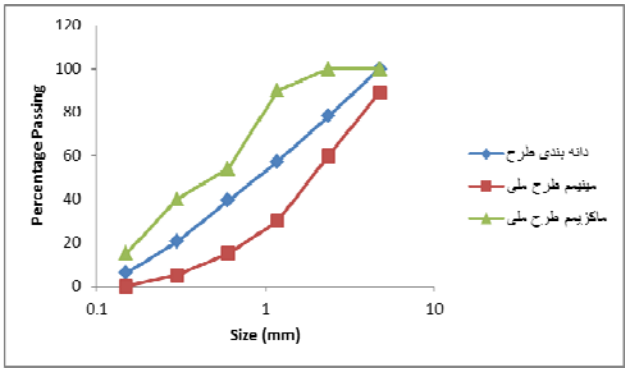

Fig. 1. Grain size distribution of the Ordinary Sand

جدول ۵. مشخصات فیزیکی سنگدانه طبیعی

Amount	Sand
1.52	Water absorption percentage
2.65	Density
2.98	Softness modulus
20	Maximum diameter of aggregate (mm)

Table 5. Physical composition of natural aggregates

۵-۲- پودر کوارتز و فوق‌روان‌کننده

کوارتز شکسته یک جزء اصلی در بتن پودری واکنشی هست. قطر ذرات آن بین ۵ تا ۲۵ میکرون است [13]. پودر کوارتز مصرفی در این پژوهش از معدن اصفهان تهیه شده است و مشخصات فنی آن طبق جدول (٦) می‌باشد. فوق‌روان‌کننده و کاهنده قوی آب (Power Plast-PM) به کار رفته در این مطالعه، تولید شرکت آبادگران که فوق‌روان‌کننده‌ای بر پایه پلی کربوکسیلاتی می‌باشد استفاده شده است. این فوق‌روان‌کننده بر اساس استاندارد ASTM C1017/C1017M و ASTM C494/C494M TYPEF تهیه شده است. پژوهش‌ها نشان داده است که موثرترین نوع فوق‌روان‌کننده‌ها بر خواص RPC، فوق‌روان‌کننده‌هایی با پایه پلی‌کربکسیلات اتر هستند [20]. مقدار مصرف این فوق روان کننده از طریق آزمایش‌های کارگاهی بر اساس روانی و میز جریان مشخص خواهد شد اما بر اساس نسبت‌های مخلوط بتن معمولی مقدار مصرف آن طبق جدول (٦) است. مشخصات فیزیکی و شیمیایی این فوق روان‌کننده در جدول (٦) آورده شده است.

جدول ٦. مشخصات فنی فوق‌روان‌کننده و پودر کوارتز

Amount	Quartz powder properties	Amount	Superplasticizer properties
>0.05	average size (mm)	Liquid	physical state
<1.0	Moisture content	Polycarboxylate	Chemical base
96	SiO_2(%)	Brown	Color
		1.11	Specific gravity (gr/cm_3)
		(3-0.1)%	Consumption (by weight of cement materials)
		-	Cl

Table 6. Technical specification of superplasticizer and quartz powder

شکل ۲. فوق‌روان‌کننده مصرفی در نمونه‌ها

Fig. 2. the superplasticizer used in samples

۳- آماده سازی و عمل آوری نست‌های مخلوط

مهم‌ترین عامل برای مطالعه بتن پودری واکنشی مرحله مخلوط کردن مواد تشکیل دهنده است. این موضوع در بعضی از موارد نادیده گرفته می‌شود و ممکن است وقتی که نتایج آزمایشگاهی مورد تحلیل قرار می‌گیرند، عامل خطا باشد. در اختلاط بتن RPC، ابتدا پس از دانه‌بندی ماسه سیلیسی و معمولی با الک‌های متفاوت، ماسه سیلیسی را در حالت SSD[3] (حالتی که در آن تمامی خلل و فرج مصالح اشباع از آب بوده ولی سطح خارجی آن خشک است) قرار داده و مقادیری از رطوبت آنها را که بصورت آب آزاد است، بدست آورده و در تعیین مقدار آب نسبت‌های مخلوط در نظر گرفته می شود. سپس مواد وزن شده در ترازوی دیجیتال را به مدت ۱۰ دقیقه در یک مخلوط کن ریخته تا ابتدا مواد به صورت خشک(سیمان، میکروسیلیس، پودر کوارتز و ماسه سیلیسی) مخلوط شوند. سپس نصف آب و نصف فوق روان کننده اضافه کرده و به مدت چهار دقیقه دیگر مخلوط کردیم و در آخر مابقی آب و فوق‌روان کننده افزوده و چهار دقیقه دیگر نیز مخلوط شدند تا در نهایت مخلوط کاملا همگنی بدست آید. پس از اتمام زمان مخلوط کردن و قبل از قالب‌گیری میزان قطر پخش شدگی برحسب میلی‌متر روی میز جریان برای کارایی و روانی بتن تازه انجام شد و بعد از انجام آزمایش میز جریان، ریختن بتن در قالب در ۳ مرحله و در هر مرحله با

3 Saturated Surface Dry

کوبیده شدن صورت گرفته و در نهایت پس از ویبره برای کاهش هوای محبوس شده در بتن نمونه‌های مکعبی ۵×۵×۵ سانتی‌متر برای آزمایش مقاومت فشاری انجام شد و به مدت ٢٤ ساعت درون قالب قرار گرفته و بعد از باز کردن از قالب در استخر ۲۳ الی ۲۵ درجه سانتی‌گراد و در حالت غوطه‌وری عمل‌آوری قرار دادیم. جذب آب حین عمل آوری و مقاومت فشاری نمونه‌های ۷ ، ۲۸ و۹۰ روزه را بدست آوردیم.

شکل ۳. نمونه‌های ساخته شده بتن پودری واکنش‌پذیر

Fig. 3. Samples made of reactive powder concrete

۱-۳- نسبت‌های مخلوط

از نسبت‌های مخلوط جداول (۷ و ۸) برای ساخت نمونه‌های آزمایش برای بتن پودری بتن پودری واکنشی استفاده شده است. در این طرح ماسه معمولی با درصدهای ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۰۰ درصد جایگزین ماسه سیلیسی بدون پودر کوارتز و در حالت SSD شده است. نام‌گذاری آن‌ها به‌ترتیب، S0، S25، S50، S75، S100 و CS100 است. مشخصات تمام طرح اختلاط‌های بررسی شده در جداول (۷ و ۸) آورده شده است. علامت W/C نشان دهنده نسبت آب به سیمان بوده و علامت W/CM به معنی نسبت آب به مواد سیمانی است.

جدول ۷. مشخصات نسبت‌های مخلوط

S50	S25	S0	Mix Name (Kg/m^3)
780	780	780	Cement
140	140	140	Microsilica
515	772.5	1030	Silica sand
515	257.5	0	Ordinary Sand
190	190	190	Quartz powder
30	30	30	Superplasticizer
195	195	195	Water
0.25	0.25	0.25	W/C
0.212	0.212	0.212	W/CM

Table 7. Specifications of the mix design

جدول ۸. مشخصات نسبت‌های مخلوط

CS100	S100	S75	Mix Name (Kg/m^3)
780	780	780	Cement
140	140	140	Microsilica
0	0	257.5	Silica sand
1200	1030	772.5	Ordinary Sand
0	195	195	Quartz powder
30	30	30	Superplasticizer
195	195	195	Water
0.25	0.25	0.25	W/C
0.212	0.212	0.212	W/CM

Table 8. Specifications of the mix design

*در این آزمایش‌ها چون هدف مقایسه‌ی این نسبت‌ها است پس نسبت آب به سیمان و مقدار فوق روان کننده بیشتر در نظر گرفته شده است تا روانی بتن بیشتر بوده و حالت SCC هم داشته باشد. بنابراین مقاومت‌ها در حالت کلی نسبت به بتن‌های پودری مشابه پایین‌تر است ولی مقاومت بیشتر از مقاومت لازم برای کاربردهای عملی را دارد و چون در دمای ۲۳ الی ۲۵ درجه سانتی‌گراد بصورت عادی عمل‌آوری شده است (از اتوکلاو استفاده نشده است) پس در عمل قابل اجرا بوده و به صورت بتن ریزی درجا می‌تواند در هر کارگاه ساختمانی انجام شود. حالت اتوکلاو (عمل‌آوری همراه با اعمال فشار و حرارت) مقاومت فشاری را بالا می‌برد ولی تنها برای قطعات پیش تنیده قابل استفاده است، در این پژوهش با در نظر گرفتن کاربرد دوده‌سیلیسی، ماسه سیلیسی، پودر کوارتز، فوق‌روان کننده و چگونگی اختلاط خاص بتن پودری تنها از اتوکلاو صرف‌نظر کرده‌ایم تا امکان به کارگیری در کارگاه‌های ساختمانی وجود داشته باشد.

٤- بررسی نتایج

در این قسمت به بررسی نتایج مربوط به آزمایش‌های مقاومت فشاری و جذب آب در طول مدت زمان عمل‌آوری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه و همچنین کارایی و روانی بتن پودری واکنشی حاصل می‌پردازیم.

١-٤- تعیین مقاومت فشاری نمونه‌ها

در آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی ۵×۵×۵ میلی‌متری مطابق با استاندارد ASTM C109/C109-08 که در سنین ۷، ۲۸

و ۹۰ روزه (عمل آوری شده در دمای ۲۳ الی ۲۵ درجه سلسیوس به صورت غرقاب) انجام شد. نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری برحسب کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع در نمودار شکل (٤) نشان داده شده است.

شکل ٤. مقاومت فشاری ترکیبات (کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع)

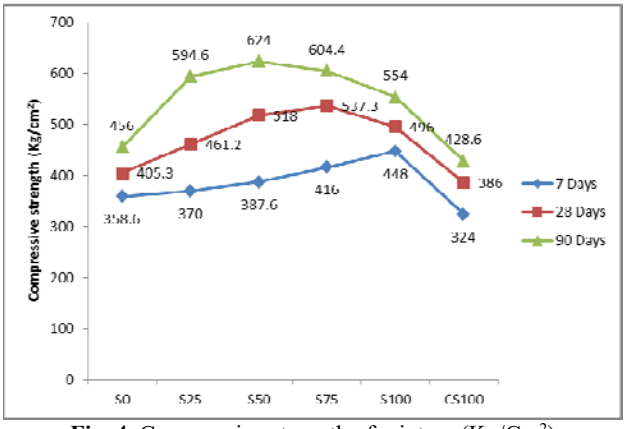

Fig. 4. Compressive strength of mixture (Kg/Cm^2)

تأثیر زمان عمل‌آوری و همچنین تاثیر درصد ماسه معمولی جایگزین شده بر مقاومت فشاری نسبت‌های مخلوط، در نمودار شکل (٤) قابل مشاهده است و با توجه به نمودار می‌توان بیان کرد که با افزایش زمان عمل‌آوری مقاومت فشاری نمونه‌ها افزایش یافته و همچنین در نمونه های ۷روزه بیش‌ترین مقاومت فشاری برای بتنی با ۱۰۰ درصد ماسه معمولی جایگزین بدست آمده است. در ترکیب CS100 با حذف پودر کوارتز از طرح مخلوط نمودار به صورت نزولی با کاهش مقاومت همراه بوده است. در نمونه‌های ۲۸ روزه و ۹۰ روزه، درصد های جایگزینی ۷۵ درصد و ۵۰ درصد به ترتیب دارای بیشترین مقاومت فشاری است.

در این آزمایش‌ها سعی شده است که عمل‌آوری در شرایط محیطی عادی انجام شود (دمای ۲۳ الی ۲۵ درجه سانتی‌گراد و بدون اعمال فشار) و همچنین از روانی کافی در حد خودتراکم برخوردار باشد (حالت SCC[4])، تا در کارهای عملی به راحتی قابل استفاده باشد، مثلا در اتصالاتی که تعداد آرماتورهای به هم رسیده خیلی زیاد باشد بتن معمولی کارایی لازم برای پر کردن فضاهای بسیار کوچک را نخواهد داشت در چنین اتصالاتی می‌توانیم از این مخلوط‌ها استفاده نماییم.

در مورد عیار سیمان ۷۸۰ کیلوگرم، باید توجه نمود که عیار سیمان در بتن پودری واکنشی بطور متوسط ۷۰۰ الی ۱۰۰۰ کیلوگرم می‌باشد و در مخلوط‌هایی تا ۱۲۰۰ کیلوگرم هم مورد استفاده قرار گرفته است. پس در اینجا عیار سیمان در حد متوسط و قسمت پایین این حد متوسط است از طرفی از فشار و حرارت استفاده نشده است تا در همه جا بتوان مورد استفاده قرار داد، همچنین مقدار آب و فوق‌روان‌کننده تا حدودی زیادتر از مخلوط‌های مشابه در نظر گرفته شده است تا کاملا حالت SCC برقرار باشد. این موارد موجب شده است که مقاومت فشاری کمتر از مخلوط‌های مشابه باشد اما برای استفاده در پروژه‌های ساختمانی مقاومت لازم و کافی را دارد.

با توجه به نمودار شکل (٤) ملاحظه می‌شود که در سن ۲۸ روزه مقاومت آن به ۵۳۷/۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و در سن ۹۰ روزه به ٦٢٤ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع رسیده است.

۲-٤- جذب آب در طول مدت زمان عمل‌آوری

جذب آب حین عمل‌آوری نمونه‌ها بعد از اختلاط نسبت‌های مخلوط مورد نظر و خارج شدن از قالب در سنین مورد نظر با اندازه‌گیری وزن نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتال قبل و بعد از عمل‌آوری و طبق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود. نتایج حاصل از محاسبات در شکل (۵) آورده شده است.

$$\text{جذب آب} = \frac{(\text{جرم قبل از عمل‌آوری} - \text{جرم بعد از عمل‌آوری})}{\text{جرم قبل از عمل‌آوری}} \times 100$$

شکل ۵. جذب آب ترکیبات

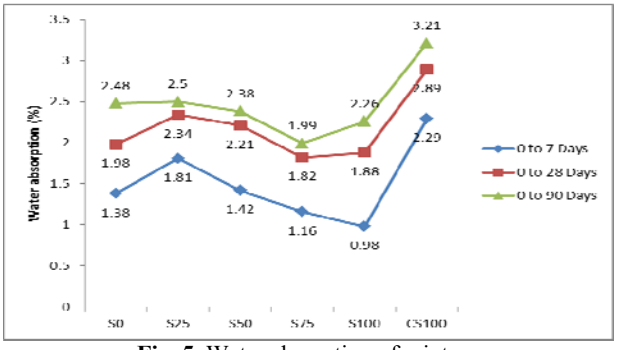

Fig. 5. Water absorption of mixture

4 Self Compacted Concrete

از نتایج حاصل از آزمایش تعیین درصد جذب آب در حین عمل‌آوری مشاهده می‌شود که میانگین جذب آب از زمان باز کردن قالب تا موقع انجام آزمایش‌های تستی و فشاری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه با افزایش میزان ماسه معمولی تا ۲۵ درصد جایگزینی افزایش یافته و تا طرح جایگزینی ۷۵ درصد ماسه معمولی بصورت نزولی با کاهش جذب آب حین عمل‌آوری روبرو بوده است. اما در طرح جایگزینی ۱۰۰ درصد دوباره مقدار جذب آب افزایش یافته است. در ترکیب CS100 با حذف پودر کوارتز از طرح مخلوط در سنین مختلف با افزایش جذب آب حین عمل آوری روبرو بوده است. از نمودار ۵ مشاهده می‌شود که با افزایش زمان عمل‌آوری جذب آب در حین عمل‌آوری بیشتر شده است و می‌بینیم که واکنش‌های هیدراسیون ادامه داشته است اما با توجه به افزایش جذب آب در سنین مختلف ملاحظه میشود که به تدریج واکنش‌های هیدراسیون کاهش یافته است. و می‌توان گفت که نمونه‌های ۹۰ روزه تقریبا به بلوغ کامل بتن نزدیک شده‌اند.

۳-٤- تاثیر استفاده از ماسه و پودر کوارتز در کارایی بتن پودری واکنش‌پذیر

هدف از انجام آزمایش میز جریان تعیین کارایی یا روانی بتن تازه است. به خاطر نوع بتن پودری واکنش‌پذیر که ریزدانه می‌باشد و در واقع نوعی ملات است، براساس استاندارد ASTM C230/C230 M از آزمون میز جریان برای اندازه‌گیری ویژگی‌های روانی این نوع بتن استفاده می‌شود. در زمان ساخت بتن پودری واکنش‌پذیر برای هر نسبت مخلوط ابتدا آزمایش میز جریان انجام شده و قطر پخش شدگی اندازه‌گیری شده است که نتایج حاصل از آزمایش میز جریان بر حسب میلی‌متر در شکل (٦) آمده است.

شکل ٦. پخش شدگی میز جریان نسبت‌های جایگزینی

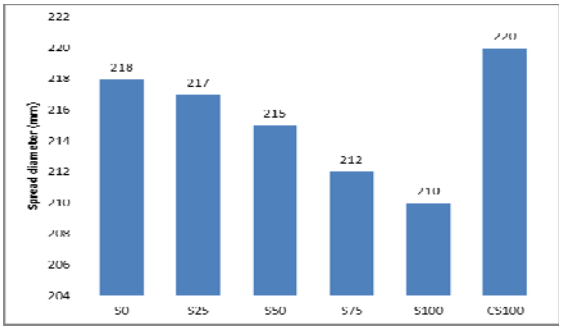

Fig. 6. Distribution of the flow table of the replacement ratios

نتایج آزمایش میز جریان نشان می‌دهد که با افزایش درصد ماسه در ترکیب بتن پودری واکنشی میزان قطر پخش شدگی اندکی کاهش پیدا می‌کند و از ۲۱۸ میلی‌متر به تدریج کاهش یافته و به ۲۱۰ میلی‌متر رسیده است و در همه حالت‌ها روانی بالایی داشته است. و همه نسبت‌های مخلوط دارای روانی بالایی هستند. با توجه به نمودار مشاهده می‌شود که با افزایش درصد جایگزینی ماسه معمولی با ماسه سیلیسی سبب کاهش جزئی روانی شده و از میزان قطر پخش‌شدگی اندکی کاسته می‌شود. علت اصلی این موضوع احاطه مقداری از مولکول‌های آب آزاد توسط ماسه در ساختار خمیر و حجم بتن است، به شکلی که با افزایش ماسه میزان قطر پخش شدگی کاهش پیدا کرده ولی در ترکیب CS100 با حذف پودر کوارتز از نسبت مخلوط همان‌گونه که از نمودار ٦ قابل مشاهده هست میزان روانی افزایش یافته و به ۲۲۰ میلی‌متر رسیده است.

۵- نتیجه‌گیری

بخش مهم و قابل استفاده هر پژوهشی، بخش نتایج به دست آمده است که اگر تمام موارد به‌طور دقیق بیان شده باشد، مسلماً نتایج مفید و قابل استناد خواهند بود. نتایج حاصل از آزمایش‌ها با استفاده از مصالح بومی است که ممکن است از لحاظ کمی با نتایج آزمایش‌های سایر پژوهشگران متفاوت باشد، ولی در زمان انجام آزمایش‌ها تمامی معیارها برای رسیدن به نتایجی با کمترین خطا براساس آیین‌نامه‌های موجود، است، که در محدوده آزمایش‌های انجام یافته در این پژوهش، نتایج زیر به دست آمد:

۱- ماسه معمولی، سبب افت جزیی روانی بتن پودری واکنشی می‌شود که با حذف پودر کوارتز از طرح مخلوط این افت روانی برطرف شده است.

۲- در نمونه‌های ۷روزه بیش‌ترین مقاومت فشاری برای بتنی با ۱۰۰ درصد ماسه معمولی جایگزین بدست آمده است. اما در نمونه‌های ۲۸ روزه و ۹۰ روزه، درصدهای جایگزینی ۷۵ درصد و ۵۰ درصد به ترتیب دارای بیشترین مقاومت فشاری است. البته این نتایج مربوط به ماسه‌های محلی استفاده شده و درهر منطقه دیگری باید آزمایش‌های مشابه تکرار شود.

۳- ماسه معمولی می‌تواند جایگزین ماسه سیلیسی در بتن پودری

واکنشی باشد و با توجه به اینکه حذف پودر کوارتز از طرح مخلوط با کاهش مقاومت روبرو بوده است می‌توان از این کاهش به جهت صرفه اقتصادی و کارایی و یا روانی مطلوب‌تر صرف‌نظر کرد.

٤-مانند سایر بتن‌ها، با افزایش زمان عمل آوری نمونه‌های بتنی، مقاومت فشاری ترکیبات افزایش می‌یابد.

٥- با افزایش درصد جایگزینی ماسه معمولی(گذرنده از الک ۲/۳٦ میلی‌متر) از میزان جذب آب حین عمل‌آوری نمونه‌های بتنی تا ۲۵ درصد جایگزینی با ماسه سیلیسی افزایش می‌یابد. این میزان افزایش جذب آب تا نمونه S25 بوده اما با افزایش درصد ماسه از ۲۵٪ به بعد درصد جذب آب کاهش می‌یابد. و سپس تا طرح جایگزینی ۷۵ درصد ماسه معمولی به صورت نزولی با کاهش جذب آب حین عمل آوری روبرو بوده است. اما در طرح جایگزینی ۱۰۰ درصد دوباره مقدار جذب آب افزایش یافته است. همچنین با حذف پودر کوارتز در ترکیب CS100 با افزایش جذب آب حین عمل آوری روبرو بوده است. از نمودار ۵ مشاهده می‌شود که با افزایش زمان عمل‌آوری جذب آب در حین عمل‌آوری بیشتر شده است و نشان میدهد که واکنش‌های هیدراسیون ادامه داشته است اما با توجه به مقدار افزایش جذب آب در سنین مختلف ملاحظه می‌شود که به تدریج واکنش‌های هیدراسیون کاهش یافته است. و می‌توان گفت که نمونه‌های ۹۰ روزه تقریبا به بلوغ کامل بتن نزدیک شده است.

٦- منابع

[1]. Aïtcin, P. C. 2011. High performance concrete. CRC press.

[2]. Xiang Gao. B. 2007 Mix Design and Impact Response of Fibre Reinforced and Plain Reactive Powder Concrete. School of Civil, Environmental and Chemical Engineering RMIT University.

[3]. Wang Y, An MZ, Yu ZR et al (2013) Research on the mechanical properties of reactive powder concrete: a review. Concrete 12:21–26

[4]. Al-Hassani, H. M., Khalil, W. I., & Danha, L. S. (2014). Mechanical properties of reactive powder concrete with various steel fiber and silica fume contents. Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering, 7(1), 47.

[5]. Lee, N. P., Chisholm, D. H., (2005), "Study report reactive powder concrete SR 146, BRANZ Ltd", Building on Knowledge Judgeford, New Zealand.

[6]. Dauriac, C., 1997. "Special Concrete May Give Steel Stiff competition", Building with concrete, the. Seattle Daily Journal of Commerce, pp1-5.

[7]. Rebentrost, M., Cavill, B., 2006. "Reactive powder concrete", Austroads 6th bridge conference, Perth, Western Australia, Australia, pp. 1-11.

[8]. Barpi, F. "Impact behavior of concrete, Engineering fracture mechanics", Vol. 71, No. 15, pp. 2197-2213, 2004.

[9]. Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M. "Concrete: Microstructure, Properties, and Materials", McGraw-Hill fourth edition, University College, Rumford, India, 2013.

[10]. Safiuddin, M., West, J. S., Soudki, K. A. "Hardened properties of self-consolidating high performance concrete including rice husk ash", Cement and Concrete Composites, Vol. 32, No. 9, pp. 708–17, 2010.

[11]. C.M. Tam, Vivian W.Y. Tam, K.M. Ng, 2012. "Assessing drying shrinkage and water permeability of reactive powder concrete produced in Hong Kong". Construction and Building Materials, 26(2012), pp. 79–89.

[12]. Maalej, M., Quek, S., Zhang, J., Behavior of hybrid fiber engineered cementitious composition subjected to dynamic loading and projectile impact, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 17, No. 2, pp. 143-152, 2005.

[13]. Richard, P., Cheyrezy, M., 1995. "Composition of reactive powder concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 25, No. 7, pp. 1501-1511.

[14]. Ngo, T., Mendis, P., Hongwei, M., Mak, s., High strain rate behavior of concrete cylinders subjected to uniaxial compressive impact loading deeks, Developments in Mechanics of Structures and Materials, 2004.

[15]. Rahman, S., Molyneaux, T., Patnaikuni, I., 2005. "Ultra high performance concrete", Institution Engineers, Australia, Vol. 2, No. 1, pp. 13-20.

[16].. Bindiganavile, V., Banthia, N., 2001. "Polymer and steel fiber reiforced cementitious composites under impact loading", ACI Materials Journal, Vol. 98, No. 1, part. 2.

[17]. Ross, C., Tedesco, J., Kuennen, S., Effects of strain rate on concrete strength, ACI Materials Journal, Vol. 92, No. 1, pp. 37-47, 1995.

[18]. Schmidt, M., Cazacu, O., Green, M., Cristescu, N., A high pressure high strain rate elastic-viscoplastic model for cementitous materials, XXI ICTAM, Warsaw, Poland, 2004.

[19]. Newman, J., Choo, B. S., 2003. "Advanced concrete technology constituent materials", Department of Civil Engineering, Imperial College, London, UK.

[20]. Wille, K., Naaman, A., ParraMontesions, G., 2011. "Ultra High Performance Concrete With Compressive Strength exceeding 150 MPa", ACI Materials Journal, Vol. 108, No. 1, pp. 34-46.

[11]. ASTM C230/C230M–03, 2003. "Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement", ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.

[12]. ASTM C642-06, 2006. "Standard Test Method for Density, Absorption,and Voids in Hardened Concrete", ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.

[13]. ASTM Standard C 109/C 109M-08, Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in. or [50-mm] cube specimens), American society of testing and materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.

Investigation of the effect of silica sand replacement with sand and quartz powder on compressive strength of reactive powder concrete

Javid Chakherlou[1]*, Bahman Shervanitabar[2]

1- Masters of Civil-Structural Engineering, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran
2- Assistant Professor, Faculty of Engineering, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran,

b.shervani@yahoo.com

Abstract:
Reactive Powder Concrete (RPC) is a ultra-powerful concrete with superior physical and mechanical properties, which was registered in France in 1994. This concrete uses high cement factor, fine powdered materials, low water to cement ratio, and the use of superplasticizer with high compressive strength and very low permeability, high durability and abrasion resistance. the high amount of cement and microsilica used in this concrete not only increases the cost of production, but also increases the heat of hydration. On the other hand, cement production can have harmful effects on the environment. In the production of reactive powder concrete, fine-grained powder materials such as silica sand, microsilica, and quartz powder are used as materials. This concrete has a high compressive strength compared to conventional concrete, which has attracted much attention in recent years. With this type of concrete, the weight of the structure can be significantly reduced, and its important features include high compressive strength, low permeability, durability and abrasion resistance and high ductility that can absorb more energy during an earthquake. Iran has a lot of desert lands and mines, which is one of the first 10 countries in the world and the first in the Middle East in terms of mineral deposits. The bulk of Reactive Powder Concete is formed from the sand. In this research, the purpose of producing reactive powder concrete with the desired mechanical properties of ordinary sand of the Ceram mine of Tabriz, passing through a sieve of 2.36 mm, was used as a substitute for silica sand from the Ghum Tapa mine (which naturally has a grain of less than 600 Micro-meter) is near the city of Tabriz. In this research, after examining the mechanical properties of the used sand, five mixing plans containing 0, 25, 50, 75 and 100% ordinary sand were prepared and Then, by replacing the ordinary sand of the Ceram mine of Tabriz instead of silica sand, The quartz powder used in this design was discarded and the amount of ordinary sand in this mixture was tested using the test method. This design is in fact a special cement sand mortar that has a microsilica and Superplasticizer that lowers production costs, while at the same time has enough resistance to use in practical applications. Prior to molding the molds, a flow table test was conducted to evaluate the concrete's workability and consistency. Concrete samples made at the Concrete Laboratory of the Azarbaijan Shahid Madani University and opened the molds after twenty-four hours and placed the samples in the water at a temperature of 23 to 25 degrees Celsius. Compressive strength, water absorption during curing in 7, 28 and 90 days life has been tested. The results indicate that by increasing the replacement percentage of ordinary sand, instead of silica sand, compressive strength is increasing. In 7-day samples, the highest compressive strength for concrete with 100% ordinary sand is obtained and in 28-day and 90-day samples with 75% and 50% replacement rates have the highest compressive strength, respectively. the compressive strength has increased and also the removal of quartz powder from the mixing design has been accompanied by a decrease in compressive strength, it can be to dismiss this reduction of resistance in order to economize the plan and make it more desirable and The experimental results also show that ordinary sand can be used as a substitute for silica sand and quartz powder In the mixing design of the reactive powder concrete, that make a kind of self-compacting mortar it can be to used The results of the experimental study indicate that ordinary sand can be used as a substitute for silica sand in the production of reactive powder concrete. It should be noted that in each area, with local building materials, these tests should be repeated. The results of this study are related to the silica sand and the above-mentioned ordinary sand.

Keywords: Reactive Powder Concrete, Compressive Strength, Consistency, Curing, Sand