

## بررسی استفاده از ماسه معمولی به جای ماسه سیلیسی با درصد های مختلف جایگزینی و تاثیر آن بر روی مقاومت فشاری بتن پودری واکنشی

بهمن شروانی تبار<sup>۱</sup>، جاوید چاخرو<sup>۲</sup>

۱- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

b.shervani@yahoo.com

### چکیده

بتن پودری واکنشی (Reactive Powder Concrete) یا RPC نوعی بتن فوق توانمند با ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی برتر است که در سال ۱۹۹۴ در فرانسه به ثبت رسید. کشور ایران دارای اراضی کویری و معادن بسیاری می‌باشد که به لحاظ ذخائر معدنی جزو ۱۰ کشور نخست جهان و اولین کشور خاورمیانه می‌باشد. 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 می‌باشد) در نزدیکی شهر تبریز می‌باشد. در این تحقیق بعد از بررسی مشخصات مکانیکی ماسه های مصرفی، پنج طرح اختلاط حاوی صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ماسه معمولی تهیه شد. قبل از بتن ریزی قالب ها آزمایش میز جریان برای کارایی و روانی بتن انجام گرفته است. نمونه‌های بتنی ساخته شده در آزمایشگاه بتن دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، پس از بیست و چهار ساعت از قالب ها باز گردید و در داخل آب با دمای ۲۳ الی ۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفت. مقاومت فشاری، جذب آب حین عمل آوری در عمر های ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج نشانگر این است که با افزایش درصد جایگزینی ماسه معمولی به جای ماسه سیلیسی مقاومت فشاری روند صعودی داشته و با افزایش آن مقاومت فشاری افزایش می‌یابد، به طوری که در نمونه های ۷ روزه بیشترین مقاومت فشاری برای بتنی با ۱۰۰ درصد ماسه معمولی جایگزین بدست آمده و در نمونه های ۲۸ روزه و ۹۰ روزه، درصد های جایگزینی ۷۵ درصد و ۵۰ درصد به ترتیب دارای بیشترین مقاومت فشاری می‌باشد. 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 منطقه ای با توجه به مصالح ساختمانی موجود، این آزمایش ها می‌بایست تکرار گردند. نتایج بدست آمده از این پژوهش مربوط به معادن ماسه سیلیسی و ماسه معمولی فوق الذکر می‌باشد.

کلمات کلیدی: بتن پودری واکنشی، عمل آوری، مقاومت فشاری، روانی، ماسه معمولی

## ۱. مقدمه

مصالح تشکیل دهنده بتن یکی از مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار بر خواص و رفتار آن در فاز خمیری و فاز سخت شده می‌باشد. تاثیر نوع، مقدار و نسبت‌های مواد تشکیل دهنده بتن که از پیچیدگی‌های رفتاری خاصی در فازهای خمیری و سخت شده برخوردار می‌باشد حائز اهمیت است. تحقیقات دانشمندان طی دو دهه اخیر منجر به پیدایش نوع جدیدی بتن با خواص فوق العاده گردیده که بسیاری از محدودیت‌های بتن معمولی را پشت سر گذاشته است. این بتن که ابتدا تحت عنوان بتن پودری (RPC) و سپس با نام " بتن فوق توانمند" (concrete performance-high-Ultra) یا همان UHPC معرفی شد که دارای مقاومت فشاری بالاتر از  $1500 \text{ kg/cm}^2$  می‌باشد. این بتن تقریباً غیرقابل نفوذ می‌باشد و همین مسئله باعث شده است خیلی از ضعف‌های بتن معمولی مثل ضعف در برابر سیکل‌های یخبندان، خوردگی آرماتور و حمله یونهای مضر را نداشته باشد. در بتن‌های پیش‌تنیده با استفاده از UHPC می‌توان نیروی کشش پیش‌تنیدگی را به میزان قابل توجهی افزایش داد. از این طریق اجرای دهانه‌های خیلی بزرگتر خصوصاً برای پلها امکان پذیر شده است افزایش دهانه به معنای کاهش تعداد پایه‌های مورد نیاز در پل هاست که این مسئله در مورد پلهایی که ترافیک از زیر آنها عبور می‌کند باعث افزایش ایمنی می‌گردد و در مورد پلهایی که بر روی رودخانه احداث می‌گردند کاهش تعداد پایه‌ها که در معرض جریان آب و خرابی‌های ناشی از آن قرار دارند به معنای افزایش طول عمر و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌باشد. البته مزیت اصلی UHPC بهبود دوام سازه‌های بتنی می‌باشد. گسترش استفاده از بتن در محیط‌های مختلف با شرایط متفاوت و وجود عوامل مهاجم محیطی نظیر سیکل‌های یخبندان، حمله سولفات‌ها، کلرایدها و ... باعث شده است که امروزه دوام نیز در کنار مقاومت فشاری بتن یکی از پارامترهای اصلی طراحی در نظر گرفته شود. امروزه در کشورهای صنعتی طراحی برای دوام در سازه‌های بتنی یک امر ضروری است و با توجه به لزوم حرکت در جهت توسعه پایدار این مسئله در کشور ما نیز باید مدنظر قرار گیرد. RPC 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 اند به آن بتن پودری واکنشی یا واکنش‌زا می‌گویند (شیانگ گائو<sup>۱</sup>، ۲۰۰۷).

در این تحقیق با مطالعه تجربی بر روی طرح‌های مختلف با روش آزمون و خطا امکان ساخت بتن پودری واکنشی با استفاده از مواد و مصالح تهیه شده از معادن یا تولیدات کارخانجات داخل کشور سنجیده و با انجام آزمایشاتی تاثیر ماسه معمولی معدن سرام تبریز بر روی مقاومت‌های فشاری جذب آب حین عمل‌آوری و کارایی و روانی بر اساس میز جریان بتن پودری واکنشی (RPC) در دمای عمل‌آوری ۲۳ الی ۲۵ درجه سلسیوس مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲. مواد و روش‌ها

برای تولید بتن پودری واکنشی ابتدا مصالح مورد نیاز تهیه و انتخاب می‌شود، در این قسمت به معرفی مصالح استفاده شده پرداخته می‌شود.

### ۲-۱- سیمان

سیمان مورد استفاده در تهیه‌ی RPC، سیمان پرتلند نوع دو می‌باشد که حرارت‌زایی آن باید کم باشد زیرا مقدار سیمان مصرفی در بتن RPC حدوداً ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم در مترمکعب می‌باشد. از لحاظ ترکیب شیمیایی، سیمان دارای C3A کمتر، نتایج بهتری می‌دهد. سیمان مصرفی در این پژوهش از سیمان پرتلند نوع دو، تهیه شده از کارخانه سیمان صوفیان تبریز می‌باشد.

<sup>1</sup> Xiang Gao

جدول ۱: مشخصات فیزیکی سیمان نوع دو صوفیان

مشخصات فیزیکی	وزن مخصوص (gr/cm <sup>3</sup> )	بلین (gr/cm <sup>2</sup> )	انبساط طولی Autoclave Expansion	زمان گیرش اولیه (minutes)	زمان گیرش ثانویه (minutes)	مقاومت فشاری ۳روزه (kgf/cm <sup>2</sup> )	مقاومت فشاری ۷روزه (kgf/cm <sup>2</sup> )	مقاومت فشاری ۲۸روزه (kgf/cm <sup>2</sup> )
میزان	3.12	2860	0.23	80	275	179	274	370

جدول ۲: مشخصات شیمیایی مواد تشکیل دهنده سیمان نوع دو صوفیان

ترکیبات شیمیایی	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
درصد	21.91	4.85	3.46	64.56	2.38	1.71	0.34	0.97
ترکیبات شیمیایی	CaO.f	Cl	LOI	I.R	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
درصد	1.08	-	0.75	0.58	49.5	25.47	7	10.53

## ۲-۲- دوده سیلیسی

لفظ میکروسیلیس و دوده سیلیسی برای توصیف دوده سیلیسی غلیظ که کیفیت بالا برای استفاده در صنعت سیمان و بتن دارد استفاده می‌شود (نیومن و چو<sup>۲</sup>، ۲۰۰۳). این ماده با داشتن بیش از ۹۰ درصد سیلیس با حالت غیر کریستالی و به شکل ذرات بی نهایت ریز با قطر متوسط یک دهم میکرون شدیداً پوزولانی است و برای استفاده به عنوان یک ماده سیمانی در بتن بسیار مناسب است و با استاندارد ASTM C1240 مطابقت دارد. میکروسیلیس استفاده شده در این پژوهش از کارخانه کلینیک بتن تهیه شده است و تمام الزامات آیین‌نامه را تأمین می‌کند و مشخصات آن طبق جدول ۳ و ۴ می‌باشد.

جدول ۳: مشخصات فیزیکی دوده سیلیسی مصرفی

مشخصات فیزیکی	شکل	شکل ذرات	وزن مخصوص انبوهی (gr/cm <sup>3</sup> )	وزن مخصوص مطلق (gr/cm <sup>3</sup> )	سطح مخصوص (m <sup>2</sup> /kg)	اندازه متوسط (میکرومتر)
	بی شکل (آمورف)	کروی و غیر کریستاله	0.367	2.0	20000	0.1

جدول ۴: مشخصات شیمیایی دوده سیلیسی مصرفی

ترکیبات شیمیایی	H <sub>2</sub> O	Sic	C	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
	0.08 %	0.5 %	0.3 %	96.4 %	0.87 %	1.32 %	0.49 %
ترکیبات شیمیایی	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	CL	-
	0.97 %	0.31 %	1.01 %	0.16 %	0.10 %	0.04 %	-

<sup>2</sup> Newman & Choo

### 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 می باشد که پس از اصلاح دانه بندی حداکثر اندازه سنگدانه آن ۶۰۰ میکرون و در حالت SSD مورد استفاده قرار گرفته است (البته دانه های این معدن کلا از الک ۶۰۰ میکرون عبور می کند و برای احتیاط یک بار از همین الک عبور داده می شود). ترکیبات شیمیایی و دانه بندی ماسه به کار رفته در این پژوهش در جدول ۵ و جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۵: ترکیب شیمیایی ماسه مصرفی

Constutes ترکیبات	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO(%)	K <sub>2</sub> O(%)	Other(%)
	61.84	15.2	3.51	3.53	15.92

جدول ۶: مشخصات دانه بندی ماسه سیلیسی مورد استفاده

دانه بندی	سری الک استاندارد	2.36 میلیمتر	1.2 میلیمتر	600 میکرون	300 میکرون	150 میکرون	75 میکرون
	درصد رد شده از الک	0	0	100	1.5	0.2	0

### ۲-۴- ماسه معمولی

ماسه مورد استفاده از معدن سرام تبریز تهیه شده با وزن مخصوص مطلق ۲/۶۵ گرم بر سانتی متر مکعب و چگالی انبوهی میله نخورده آن ۱۶۸۰ کیلوگرم بر متر مکعب تعیین شد، و درصد جذب آب ۱/۵۲ درصد که مطابق استاندارد ASTM C128 [L] تعیین گردیده است که پس از اصلاح دانه بندی ماسه عبوری از الک نمبر ۲/۳۶ مورد استفاده قرار گرفته شده است.

### ۲-۵- پودر کوارتز

کوارتز شکسته یک جزء اصلی در بتن پودری واکنشی می باشد. قطر ذرات آن بین ۵ تا ۲۵ میکرون است (ریچارد و چیریزی، ۱۹۹۵). پودر کوارتز استفاده شده در این تحقیق از معدن اصفهان تهیه شده است و مشخصات فنی آن طبق جدول ۷ می باشد.

جدول ۷: مشخصات فنی پودر کوارتز مصرفی

مشخصات فنی	اندازه (میلیمتر)	میزان رطوبت	SiO <sub>2</sub>
	<0.05	<1.0	96 %

### ۲-۶- فوق روان کننده

در این پژوهش تجربی از فوق روان کننده و کاهنده قوی آب (Power Plast-PM) تولید شرکت آبادگران که فوق روان کننده ای بر پایه پلی کربوکسیلاتی می باشد استفاده شده است. این فوق روان کننده بر اساس استاندارد ASTM C1017/C1017M و ASTM C494/C494M TYPEF تهیه شده است. مشخصات این فوق روان کننده در جدول ۵ آورده شده است. تحقیقات نشان داده است که موثرترین نوع فوق روان کننده ها بر خواص RPC، فوق روان کننده هایی با پایه

پلی کربکسیلات اتر می‌باشند (ویل<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). مقدار مصرف این فوق روان کننده از طریق آزمایشهای کارگاهی بر اساس روانی و میز جریان مشخص خواهد شد اما بر اساس طرح اختلاط بتن معمولی مقدار مصرف آن طبق جدول شماره ۸ می‌باشد، در شکل ۱ چند قطره از آن روی کاغذ سفید ریخته شده است که زرد رنگ دیده می‌شود ولی در داخل استوانه مدرج و ظرف استیل، قهوه‌ای دیده می‌شود.

جدول ۸: مشخصات فیزیکی و شیمیایی فوق روان کننده مصرفی

پلی کربو کسلیلات	بنیان شیمیایی
مایع	حالت فیزیکی
$1.11 \text{ (g/cm}^3\text{)}$	وزن مخصوص
قهوه‌ای	رنگ
ندارد	یون کلر
٪(۰.۳-۱)	میزان مصرف (بر حسب وزن مواد سیمانی)



شکل ۱: ابرروان کننده و کاهنده قوی آب، مورد استفاده در ساخت نمونه‌ها

## ۲-۷-آب

در این پژوهش، آب به کار رفته برای ساخت طرح های اختلاط آب شرب دانشگاه شهید مدنی آذربایجان می باشد.

<sup>3</sup>Wille

### ۳- آماده سازی و عمل آوری طرح های اختلاط

مهم ترین عامل برای مطالعه بتن پودری واکنشی مرحله مخلوط کردن مواد تشکیل دهنده است. این موضوع در بعضی از موارد نادیده گرفته می شود و ممکن است وقتی که نتایج آزمایشگاهی مورد تحلیل قرار می گیرند، عامل خطا باشد. در اختلاط بتن RPC، ابتدا پس از دانه بندی ماسه سیلیسی و معمولی با الک های متفاوت، ماسه سیلیسی را در حالت SSD قرار داده و مقادیری از رطوبت آنها را که بصورت آب آزاد می باشد، بدست می آوریم و در طرح اختلاط دخالت می دهیم. سپس مواد وزن شده در ترازوی دیجیتال را به مدت ۱۰ دقیقه در یک مخلوط کن تا به ای ۶۰ لیتری 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 فوق روان کننده افزوده و چهار دقیقه دیگر نیز مخلوط گردیدند تا در نهایت مخلوط کاملاً همگنی بدست آید. پس از اتمام زمان مخلوط کردن و قبل از قالب گیری میزان قطر پخش شدگی بر حسب میلی متر بر 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 کوبیده شدن صورت گرفته و در نهایت پس از ویبره برای کاهش هوای محبوس شده در بتن نمونه های مکعبی ۵\*۵\*۵ سانتی متر برای آزمایش مقاومت فشاری انجام شد و به مدت ۲۴ ساعت درون قالب قرار گرفته و بعد از باز کردن از قالب در استخر  $C^{\circ} 25$  الی ۲۳ و در حالت غوطه وری عمل آوری قرار دادیم. جذب آب حین عمل آوری و مقاومت فشاری نمونه های ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه را بدست آوردیم.

### ۳-۱ طرح اختلاط

از طرح اختلاط جدول ۹ برای ساخت نمونه های آزمایش برای بتن پودری واکنشی استفاده شده است. در این طرح ماسه معمولی با درصد های ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ درصد جایگزین ماسه سیلیسی در حالت SSD شده است. نام گذاری آنها به ترتیب، S0، S25، S50، S75، S100 می باشد. مشخصات تمام طرح اختلاط های بررسی شده در جدول ۹ آورده شده است.

جدول ۹: مشخصات طرح اختلاط ترکیبات

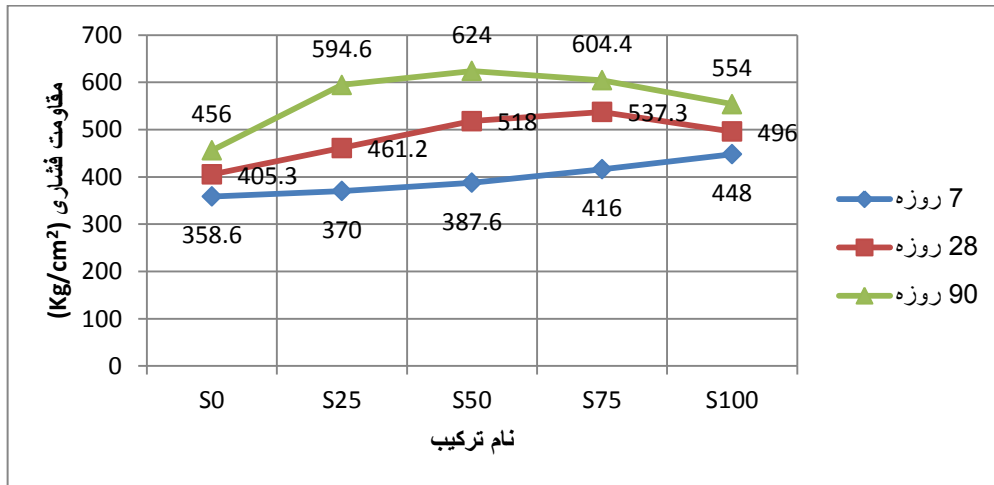
ردیف	نام ترکیب	اجزای تشکیل دهنده ( $kg/m^3$ )								
		سیمان	دوده سیلیسی	ماسه سیلیسی	ماسه معمولی	پودر کوارتز	فوق روان کننده	آب	آب به سیمان	آب به مواد سیمانی
۱	S0	۷۸۰	۱۴۰	۱۰۳۰	۰	۱۹۰	۳۰	۱۹۵	۰/۲۵	۰/۲۱۲
۲	S25	۷۸۰	۱۴۰	۷۷۲/۵	۲۵۷/۵	۱۹۰	۳۰	۱۹۵	۰/۲۵	۰/۲۱۲
۳	S50	۷۸۰	۱۴۰	۵۱۵	۵۱۵	۱۹۰	۳۰	۱۹۵	۰/۲۵	۰/۲۱۲
۴	S75	۷۸۰	۱۴۰	۲۵۷/۵	۷۷۲/۵	۱۹۰	۳۰	۱۹۵	۰/۲۵	۰/۲۱۲
۵	S100	۷۸۰	۱۴۰	۰	۱۰۳۰	۱۹۰	۳۰	۱۹۵	۰/۲۵	۰/۲۱۲

\* در این آزمایش ها چون هدف مقایسه ی این طرح ها می باشد لذا 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. لذا مقاومت ها در حالت کلی نسبت به بتن های RPC مشابه پایین تر است.

#### ۴- بررسی نتایج آزمایش

##### ۴-۱- 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 بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در نمودار ۱ نشان داده شده است.



نمودار ۱- تأثیر درصد ماسه معمولی در مقاومت فشاری

تأثیر زمان عمل‌آوری و همچنین تأثیر درصد ماسه معمولی جایگزین شده بر مقاومت فشاری طرح اختلاط‌ها، در نمودار ۱ قابل مشاهده است و با توجه به نمودار می‌توان بیان کرد که با افزایش زمان عمل‌آوری مقاومت فشاری نمونه‌ها افزایش یافته و همچنین در نمونه‌های ۷ روزه 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 می‌باشد.

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<sup>۴</sup>)، تا در کارهای عملی به راحتی قابل استفاده باشد، مثلاً 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 ۱۱۰۰ کیلوگرم هم مورد استفاده قرار گرفته است. لذا در اینجا عیار سیمان در حد متوسط و قسمت پایین این حد متوسط می‌باشد 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 کاملاً 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.

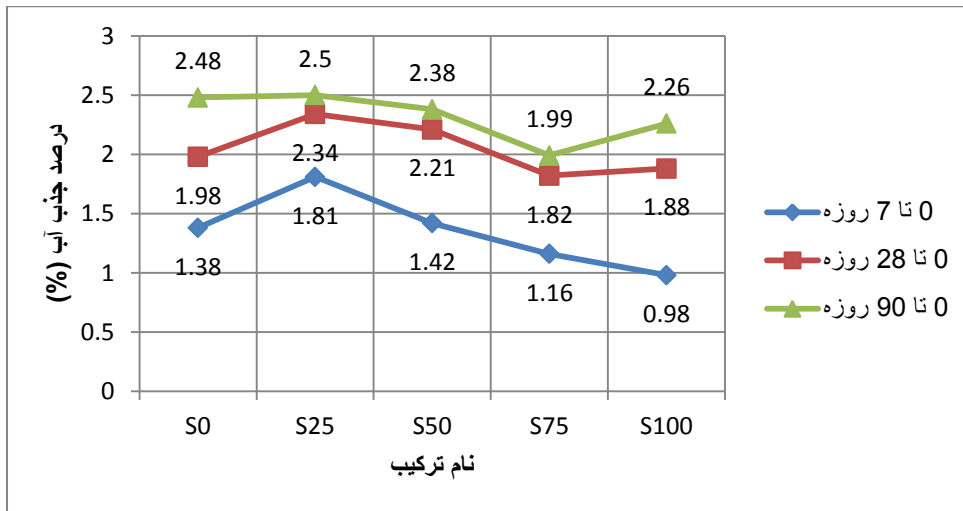
با توجه به نمودار ۱ ملاحظه می‌گردد که در سن ۲۸ روزه مقاومت آن به ۵۳۷/۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و در سن ۹۰ روزه به ۶۲۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع رسیده است.

<sup>4</sup> Self Compacted Concrete

#### ۴-۲- جذب آب در طول مدت زمان عمل آوری

جذب آب حین عمل آوری نمونه‌ها بعد از اختلاط طرح‌های مورد نظر و خارج شدن از قالب در سنین مورد نظر با اندازه‌گیری وزن نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتال قبل و بعد از عمل آوری و طبق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود. نتایج حاصل از محاسبات در نمودار ۲ آورده شده است.

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



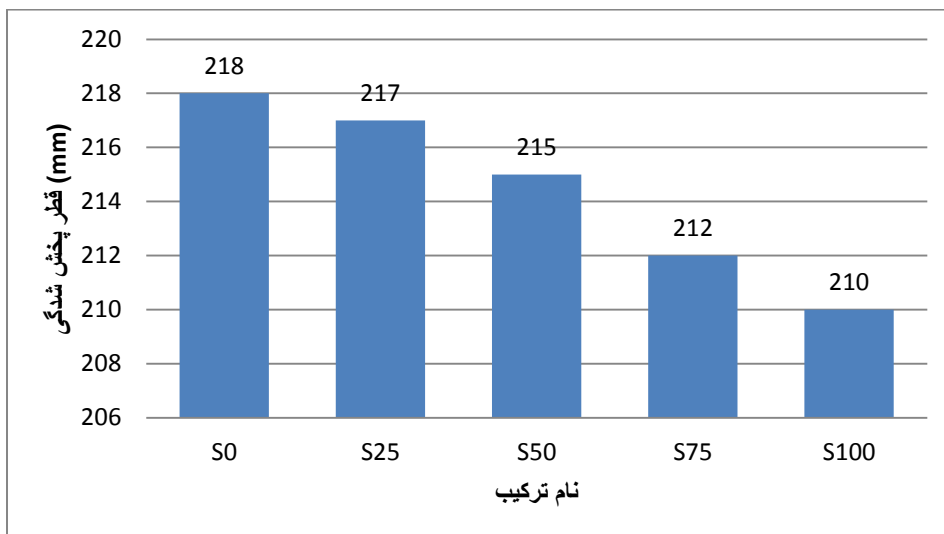
نمودار ۲- درصد جذب آب نمونه‌های حاوی درصد‌های مختلف ماسه معمولی

از نتایج حاصل از آزمایش تعیین درصد جذب آب در حین عمل آوری مشاهده می‌شود که میانگین جذب آب از زمان باز کردن قالب تا موقع انجام آزمایشات 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 عمل آوری روبرو بوده است. اما در طرح جایگزینی ۱۰۰ درصد دوباره مقدار جذب آب افزایش یافته است. از نمودار ۲ مشاهده می‌شود که با افزایش زمان عمل آوری جذب آب در حین عمل آوری بیشتر شده است و نشان می‌دهد 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 تقریباً به بلوغ کامل بتن نزدیک شده‌اند.

#### ۴-۳- بررسی تاثیر استفاده از ماسه معمولی در کارایی بتن پودری واکنشی

هدف از انجام آزمایش میز جریان تعیین کارایی یا روانی بتن تازه می‌باشد. به خاطر نوع بتن پودری واکنشی 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 واکنشی برای هر طرح اختلاط ابتدا آزمایش میز جریان انجام شده و قطر پخش شدگی اندازه‌گیری شده است که نتایج حاصل از آزمایش میز جریان در نمودار ۳ آمده است.





نمودار ۳- نمودار پخش شدگی میز جریان ترکیبات

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 ۲۱.۸ سانتیمتر به تدریج کاهش یافته و به بیست و یک سانتی‌متر رسیده است و در همه حالت‌ها روانی بالایی داشته است. و همه طرح اختلاط‌ها دارای روانی بالایی می‌باشند. 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 پخش شدگی اندکی کاسته می‌شود.

#### ۵- نتیجه گیری

- ۱- ماسه معمولی، باعث کاهش جزئی در روانی می‌شود.
- ۲- در نمونه‌های ۷ روزه 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 می‌باشد. البته این نتایج مربوط به ماسه‌های محلی مورد استفاده می‌باشد و در هر منطقه دیگری میبایست آزمایش‌های مشابه تکرار گردد.
- ۳- ماسه معمولی می‌تواند جایگزین ماسه سیلیسی در بتن پودری واکنشی باشد.
- ۴- همانند سایر بتن‌ها، با افزایش زمان عمل‌آوری نمونه‌های بتنی، مقاومت فشاری ترکیبات افزایش می‌یابد.
- ۵- با افزایش درصد جایگزینی ماسه معمولی (گذرنده از الک ۲.۳۶ 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 بصورت نزولی با کاهش جذب آب حین عمل‌آوری روبرو بوده است. اما در طرح جایگزینی ۱۰۰ درصد دوباره مقدار جذب آب افزایش یافته است. از نمودار ۲ 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 تقریباً به بلوغ کامل بتن نزدیک شده است.

## ۵-مراجع

معراجی، لیلا؛ حسن افشین و کریم عابدی، ۱۳۹۰، آشنایی با بتن پودری واکنش پذیر به عنوان نوعی بتن جدید، اولین همایش منطقه ای مصالح ساختمانی و تکنولوژی های نوین در مهندسی عمران، مرند، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرند.

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

Newman, J., Choo, B. S., Advanced concrete technology constituent materials ,2003

K. Wille, A. E. Naaman, G. J. Parra-Montesions, “*Ultra High Performance Concrete With Compressive Strength exceeding 150 MPa*”, ACI Materials Journal, 2011.

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.

ASTM C230/C230M – 03, Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement, ASTM International, West Conshohocken, p. 6, 2003.