

ارزیابی مقاومت فشاری بتن RPC به روش مغزه‌گیری

علی عادل‌ی اوچه^۱، احد عادل‌ی اوچه^۲، نیما نیازمند^۱، میثم شیرزاده گرمی^۳

۱- کارشناس ارشد سازه، گروه مهندسی عمران، دانشگاه گیلان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش سازه، دانشگاه آزاد فومن

۳- دانشجوی دکترا مهندسی عمران، گرایش سازه، دانشگاه محقق اردبیل

E-mail: adeliali724@yahoo.com

چکیده:

بتن RPC با بهره‌گیری از سیمان و مصالح پودری بسیار ریز دانه شامل ماسه کوارتزی (با حداکثر ابعاد ۰/۶ میلیمتر)، میکروسیلیس، مقادیر کم نسبت آب به سیمان (کمتر از ۰/۲) و استفاده از فوق روان‌کننده از جمله بتن‌های فوق توانمند می‌باشد. مقاومت بالای این بتن ضرورت ارزیابی مقاومت آن را افزایش می‌دهد. با توجه به ضرورت آزمایش درجا، در تحقیق حاضر بعد از به دست آوردن طرح اختلاط بهینه و ساخت بتن، از آزمون نیمه مخرب مغزه‌گیری با قطر ۴۴ میلیمتر به منظور بررسی مقاومت بتن پودری واکنش‌زا بر روی نمونه‌های بتنی و با نسبت طول به قطر (L/D) ۲، در سنین ۷ تا ۴۲ روز انجام پذیرفت و با نتایج حاصل از مقاومت فشاری مکعبی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. نتایج بعمل آمده نشان می‌دهند که: از عمل آوری در حوضچه آبی با دمای ۹۰°C، مقاومت فشاری مکعبی بیشتری به اندازه ۶/۹٪، نسبت به عمل آوری در دمای ۷۰°C حاصل شد. نتایج نشان می‌دهند، مقاومت نسبی مغزه‌ها به نمونه‌های مکعبی با افزایش سن کاهش می‌یابد و از حدود ۸۵٪ به ۷۷٪ می‌رسد. مغزه‌های بدست آمده از نمونه‌های ساخته شده با ماسه سیلیس‌های متفاوت تقریباً دارای شرایط مشابهی هستند و تفاوتی کمتر از ۲٪ دارند اما دمای عمل آوری ۹۰°C به مانند مقاومت فشاری مکعبی مقاومتی در حدود ۴/۵٪ بیشتر از ۷۰°C را ارائه می‌دهد. همچنین با افزایش مقاومت، کاهش ضریب تغییرات بدست آمده از مقاومت مغزه‌ها مشاهده می‌شود.

کلید واژه‌ها: بتن پودری واکنش‌زا، مقاومت فشاری، مغزه‌های بتنی

۱- مقدمه:

سالهای زیادی است که از بتن به عنوان یکی از مصالح ساختمانی مهم استفاده می شود. تحقیقات دانشمندان طی چند دهه اخیر منجر به پیدایش نوع جدیدی از بتن با خواص فوق العاده گردید که بسیاری از محدودیت های بتن معمولی را پشت سر گذاشته است. این بتن تحت عنوان بتن پودری واکنشی (RPC) معرفی شد که دارای مقاومت فشاری بالایی می باشد .

در اوایل دهه ی ۸۰ میلادی ایده استفاده از یک دانه بندی بسیار ریز به همراه یک ماتریس همگن و توپر از مواد سیمانی ظهور پیدا کرد، این ایده از آنجا پیدا شد که تحقیقات نشان دادند ضعیف ترین ناحیه بتن محل اتصال خمیر سیمان و سنگدانه یا همان ناحیه انتقال می باشد که عمدتاً ریز ترک هایی که در این ناحیه ایجاد و پس از گسترش به نواحی دیگر باعث گسیختگی بتن می شود، حال با حذف درشت دانه در واقع این ضعف حذف گردیده و ریز ترک های ناحیه انتقال که باعث گسیختگی نهایی بتن می شوند نیز محدود خواهد شد.

با توجه به خواص ویژه و همچنین به علت استفاده از مواد بسیار ریز (با حداکثر اندازه ۰٫۶ میلیمتر) این بتن ، بتن پودری نامیده شد [1]. این بتن تقریباً غیر قابل نفوذ می باشد و همین مسئله باعث شد که خیلی از ضعف های بتن معمولی مثل ضعف در برابر سیکل های یخبندان، خوردگی آرماتور و حمله یون های مضر را نداشته باشد و همچنین ضعف عمده بتن یعنی مقاومت کششی پایین را تا حدی مرتفع نمود. البته مزیت اصلی این نوع بتن بهبود دوام سازه های بتنی می باشد [1]. گسترش استفاده از بتن در محیط های مختلف با شرایط مختلف باعث شده که دوام نیز در کنار مقاومت فشاری بتن یکی از پارامتر های اصلی طراحی در نظر گرفته شود. امروزه در کشورهای صنعتی طراحی برای دوام در سازه های بتنی یک امر لازم و ضروری است و با توجه به لزوم حرکت در جهت توسعه پایدار این مسئله در کشور ما نیز باید مد نظر قرار گیرد. دوام فوق العاده بتن پودری واکنش پذیر در برابر عوامل مختلف، آن را به ماده ای ایده آل برای اجرای سازه های با طول عمر بالا تبدیل نموده است .

بتن پودری واکنش زا که نوعی بتن با مقاومت بالا (UHPC) می باشد، یک نوع کامپوزیت سیمانی می باشد. بتن پودری واکنشی در دهه ۱۹۹۰ در آزمایشگاه Bouygues در فرانسه متولد شد. اولین مطالعات انجام گرفته بر این مصالح به وسیله ریچارد و شیرزی در سال های ۱۹۹۴ و ۱۹۹۵ انجام شد. [2] این بتن، یک نوع مخصوصی از بتن است که دانه های ریز آن و فاز ملاتی به طور مناسبی بررسی شده است. [3] بتن پودری واکنشی می تواند به مقاومت فشاری ۱۵۰ تا ۸۰۰ مگاپاسگال دست یابد در حالی که بتن معمولی که در حال حاضر در سازه های کنونی استفاده می شود دارای مقاومت فشاری ۲۰ تا ۵۰ مگاپاسگال می باشد . کاربرد آن یک طیف گوناگونی از کارها را که مانند : مهندسی پل ، المان های سازه ای ، پوشش های منهول ، آجر های کف ، پنل های دکوراتیو برای طراحی داخلی یا خارجی و ... را شامل می شود که در حال توسعه و گسترش می باشد.

مواد اصلی تشکیل دهنده این بتن شامل سیمان پرتلند، آب، دوده سیلیسی، ماسه سیلیسی، فوق روان کننده و در بعضی موارد الیاف می باشد. ترکیب این مواد یک ماتریس توپر و فشرده ایجاد می کند که خواص مکانیکی بتن را بهبود می بخشد و نفوذ پذیری را به حداقل ممکن می رساند.

۲- برنامه آزمایشگاهی:

با توجه به خواص بتن پودری واکنشی و از طرفی گسترش کاربرد آن در دنیا و لزوم حرکت به سوی ساخت سازه های با دوام تر و مقاوم تر و از طرف دیگر یک کار پژوهشی با هدف تولید بتن پودری واکنشی در داخل کشور و با استفاده از مصالح موجود، سعی به ساخت این نوع بتن تحت نسبت های مختلف آب به مواد سیمانی در آزمایشگاه بتن دانشگاه گیلان شد. در این مقاله سعی شده موارد زیر مورد توجه قرار گیرد:

__ حذف درشت دانه و در نتیجه حذف (کاهش ضعف) ناحیه انتقال (محل اتصال درشت دانه و خمیر سیمان)

__ بهینه سازی بافت ریز دانه مخلوط و رسیدن به متراکم ترین حالت

__ بهبود ساختار میکروسکوپی سیمان با عملیات حرارتی در زمان عمل آوری

۲-۱- مصالح مصرفی

۲-۱-۱- ماسه سیلیسی: یکی از مصالح تشکیل دهنده ی بتن پودری واکنشی، ماسه سیلیسی می باشد. ماسه سیلیسی مقاومت بیش تری نسبت به ماسه های دیگر دارد؛ بنابراین در افزایش مقاومت بتن پودری واکنشی، نقش به سزایی ایفا می کند. پس از بررسی های اولیه ماسه سیلیسی از معادن سیلیس همدان تهیه گردید که حداکثر اندازه سنگدانه آن ۶۰۰ میکرون می باشد. دانه بندی ماسه استفاده شده در این پژوهش در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات دانه بندی ماسه سیلیسی مورد استفاده

دانه بندی	
درصد مانده روی الک	سری الک استاندارد
۰	۲/۳۶ میلیمتر
۰	۱/۲ میلیمتر
۶۰	۶۰۰ میکرون
۴۰	۳۰۰ میکرون
۰	۱۵۰ میکرون
۰	۷۵ میکرون

۲-۱-۲- فوق روان کننده: خواص بتن تماما به نسبت آب به سیمان بستگی دارد. هر چه نسبت آب به سیمان کم باشد، کیفیت بتن بهتر است اما برای رسیدن به مقاومت بالا از طریق کاهش نسبت آب به سیمان با حفظ کارپذیری، تراکم بدون افزودنی های بتن امکان پذیر نیست. فوق روان کننده استفاده شده در این آزمایش با نام علمی پلی کربوکسیلات اصلاح شده (دیگر گیر) که بر پایه کربوکسیلات اتر می باشد و مشخصات آن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- مشخصات فوق روان کننده

مشخصات فنی پلی کربوکسیلات اصلاح شده (دیگر گیر)	
حالت فیزیکی	مایع
نوع	دیگر گیر
درصد مواد جامد	بر اساس استاندارد ASTM C 494 (TYPE G)
درصد توصیه شده	۱ تا ۱,۶ درصد وزن سیمان
رنگ	سبز تیره
پایه شیمیایی	پلی کربوکسیلات اتر
وزن مخصوص	۱/۱ گرم در سانتیمتر مکعب در ۲۰ درجه سانتیگراد
اسیدیته (PH)	۱±۷
میزان کلراید	حداکثر ۵۰۰ppm
مقدار نیترات	فاقد نیترات

۲-۱-۳- سیمان:

سیمان مناسب برای استفاده در این نوع بتن باید دارای C3A کمتری باشد زیرا C3A موجود در سیمان، در مجاورت آب با سولفات ها ترکیب شده ، مادهای به نام اترینگایت را به وجود می آورد که در اثر جذب آب متورم می شود و ایجاد ترک می کند. از این رو سیمان هگمتان انتخاب شده است که درصد C3A در آن به حداکثر ۸٪ محدود شده است.[4]

خواص فیزیکی و مکانیکی و شیمیایی سیمان پرتلند بوسیله شرکت سیمان هگمتان ارزیابی شده است (Type II) که در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمان مصرفی

مشخصات شیمیایی سیمان پرتلند نوع ۲										
مقایسه با استاندارد	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	SO ₃ %	K ₂ O %	Na ₂ O %	LOI %	C ₃ A %
ISIRI-389	min20	Max6	6max	***	Max5	max3	***	***	max3	max8
EN-197-1 (32.5R)	***	***	***	***	***	Max3.5	***	***	Max5	***
Hegmatan Cement	21.37	5.03	3.88	63.15	1.55	2.17	0.65	0.44	1.95	6.76

مشخصات فیزیکی سیمان پرتلند نوع ۲								
مقایسه با استاندارد	Blaine gr/Cm ²	Setting Time minute		مقاومت فشاری Kg/cm ²				Expansion
		Initial	Final	2Days	3Days	7Days	28Days	
ISIRI-389	Min2800	Min45	Max360	***	Min100	Min175	Min315	Max(%0.8)
EN-197-1 (32.5R)	***	Min75	***	Min100	***	***	Min325 Max525	Max(10mm)
Hegmatan Cement	2870	175	225	150	190	280	365	0.05%-2mm

۲-۱-۴- دوده سیلیسی:

دوده سیلیسی مورد نیاز از شرکت فروسیلیس سمنان تهیه شده است که اضافه کردن آن چندین نقش را در بتن پودری واکنشی دارد که شامل موارد زیر می شود :

بسته بندی و فشرده سازی ذرات، افزایش روانی (به علت شکل کروی دانه هایش) و فعالیت پوزولانی (تشکیل بلور های مقاوم تر سیلیکات های کلسیم)؛ در نتیجه هیدراته شدن سیمان علاوه بر بلورهای مقاوم مختلف ،

بلورهای ضعیف هیدروکسید کلسیم نیز تشکیل می گردد. دوده سیلیسی با هیدروکسید کلسیم واکنش داده و محصول این واکنش بلور های مقاوم سیلیکات کلسیم می باشد. مشخصات شیمیایی و فیزیکی دوده سیلیسی در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴- مشخصات دوده سیلیس مصرفی

مشخصات فیزیکی		ترکیبات شیمیایی		
بی شکل (آمورف)	شکل	۸۵	%Min	SiO ₂
کروی	شکل ذرات	۱	%Max	Al ₂ O ₃
۰,۲-۰,۳	اندازه ذرات (میکرون)	۲		Fe ₂ O ₃
۲۰۰-۳۰۰	دانسیتة فله ای (kg/m ³)	۱,۵		CaO
۲۰-۱۴	سطح ویژه (m ² /gr)	۲		MgO
۱,۹-۲,۳	وزن مخصوص (g/cm ³)	۳		C
		۳,۵		Loss On Igition
		۱		رطوبت

۳- آماده سازی و عمل آوری طرح های اختلاط:

ابتدا مصالح خشک را با هم به مدت ۵ دقیقه مخلوط کرده تا اطمینان حاصل شود که بطور کامل سنگدانه و دوده سیلیسی با اجزای سیمان با یکدیگر مخلوط شده اند و سپس نصف آب اختلاط با نصف فوق روان کننده به تدریج به مخلوط خشک اضافه می کنیم و پس از مخلوط کردن اولیه، مابقی فوق روان کننده و آب اختلاط را نیز به مخلوط اضافه می کنیم. برای مخلوط نهایی باید با سرعت بالا به مدت تقریباً ۱۰ دقیقه مخلوط کرده تا خمیر مورد نظر بدست آید. مخلوط در قالب های مکعبی ۷۰×۷۰×۷۰ میلی متری برای مقاومت فشاری، و در قالب های ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلیمتری برای آزمایش مغزه گیری ریخته شده است. ریختن بتن در قالب در ۳ مرحله و در هر مرحله با کوبیده شدن صورت میگیرد، همچنین قالب ها برای مدت ۲۰ ثانیه برای کاهش هوای محبوس شده در بتن ، ویبره می شوند . بعد از آن برای جلوگیری از تبخیر آب سطح نمونه ها ، با پوشش های پلاستیکی روی قالب ها پوشانده می شود.

قالب ها را بعد از ۲۴ ساعت باز کرده و نمونه ها را به مدت ۳ روز در آب آهک با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد که دارای نرخ افزایش دمای ۰,۳۳ درجه سانتی گراد بر دقیقه می باشد، قرار می دهیم و بعد از سه روز نمونه را با کم کردن تدریجی دما که برای جلوگیری از اثرات نامطلوب و وارد شدن شوک حرارتی می باشد، در آب آهک با دمای معمولی تا رسیدن به سن ۲۸ روز قرار می دهیم.

۴- تفسیر نتایج:

جهت بررسی مقاومت بتن RPC، ابتدا پس از رسیدن به طرح اختلاط مناسب (جدول ۵)، نمونه‌های مکعبی برای انجام آزمایش مغزه‌گیری و مقاومت فشاری ساخته شدند. سپس آزمایشات بیان شده در سنین مختلف بر روی نمونه‌های ساخته شده انجام شد. لازم به ذکر است که هر دو آزمایش بیان شده برای دو حالت عمل آوری (در دمای 70°C و 90 برای ۳ روز اول) و دو نوع ماسه سیلیس (معدن بره‌سر رودبار و معدن همدان) بر روی نمونه‌ها انجام شد.

در تحقیق حاضر نتایج بدست آمده از آزمایش مغزه‌گیری با نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفت، که در ادامه بیان خواهد شد.

جدول ۵- طرح اختلاط مورد استفاده

عیار سیمان	نسبت ها			
	آب به سیمان	میکروسیلیس به سیمان	فوق روان کننده به سیمان	سیمان به سنگدانه
۱۰۴۵/۱	۰/۲	۰/۲۵	۰/۰۱	۰/۶

۴-۱- مقاومت فشاری:

در جدول ۶ نتایج مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی با ابعاد $70 \times 70 \times 70$ mm در سنین ۳، ۷، ۱۴، ۲۸ و ۴۲ روزه ارائه شده است.

جدول ۶- نتایج مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی در سنین مختلف بر حسب MPa

سن بتن (روز)	۳	۷	۱۴	۲۸	۴۲
مقاومت فشاری نمونه‌های *H90	۱۱۰/۲	۱۱۷	۱۳۰/۵	۱۴۵	۱۴۹
مقاومت فشاری نمونه‌های *B90	۱۰۸	۱۱۸	۱۳۲/۵	۱۴۸/۳	۱۵۴
مقاومت فشاری نمونه‌های *H70	۱۰۳/۶	۱۱۱/۷	۱۲۴/۵	۱۳۶/۷	۱۴۳
مقاومت فشاری نمونه‌های *B70	۱۰۵/۵	۱۱۳/۵	۱۲۶/۵	۱۴۱	۱۴۵

* H70: نمونه ساخته شده با ماسه سیلیس همدان و عمل آوری شده در دمای 70°C

H90: نمونه ساخته شده با ماسه سیلیس همدان و عمل آوری شده در دمای 90°C

B70: نمونه ساخته شده با ماسه سیلیس بره سر رودبار و عمل آوری شده در دمای 70°C

B90: نمونه ساخته شده با ماسه سیلیس بره سر رودبار و عمل آوری شده در دمای 90°C

طبق نتایج بدست آمده نمونه‌هایی که در محیط آبی 90°C عمل آوری شده‌اند از نمونه‌های عمل آوری شده در محیط آبی 70°C مقاومت بهتری از خود نشان می‌دهند.

همچنین با بررسی مقاومت حاصل از نمونه‌های ساخته شده با ماسه سیلیس رودبار و همدان به نتیجه می‌رسیم نمونه ساخته شده با ماسه سیلیس رودبار مقاومت بهتری از خود نشان می‌دهند. این اختلاف مقاومت ناشی از شکل هندسی ماسه‌ها می‌باشد.

۴-۲- آزمایش مغزه گیری:

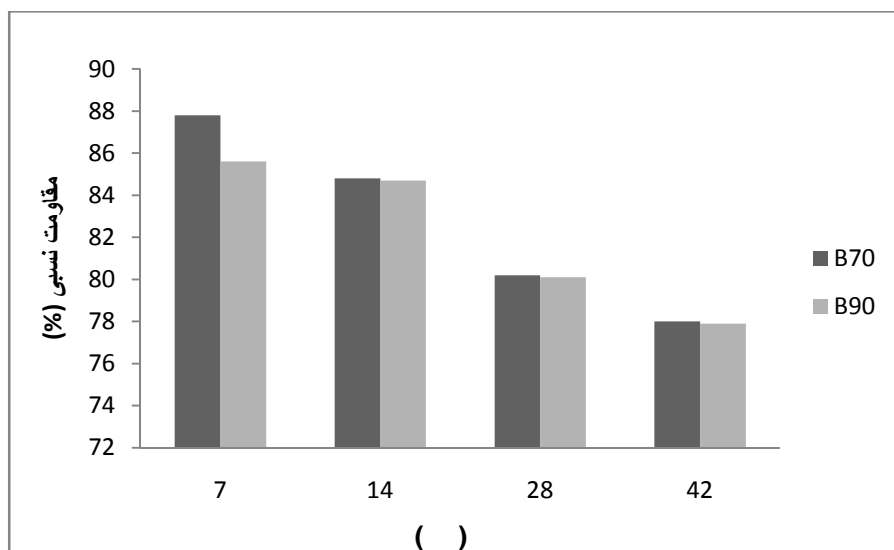
در این مطالعه مغزه‌ها با قطر ۴۴ میلیمتر و نسبت طول به قطر (L/D)، ۲ مورد آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفتند. در جدول ۷ میانگین مقاومت فشاری مغزه‌ها برای بتن RPC ساخته شده به چهار طریق، ارائه شده است.

جدول ۷- میانگین مقاومت فشاری مغزه‌ها بر حسب MPa

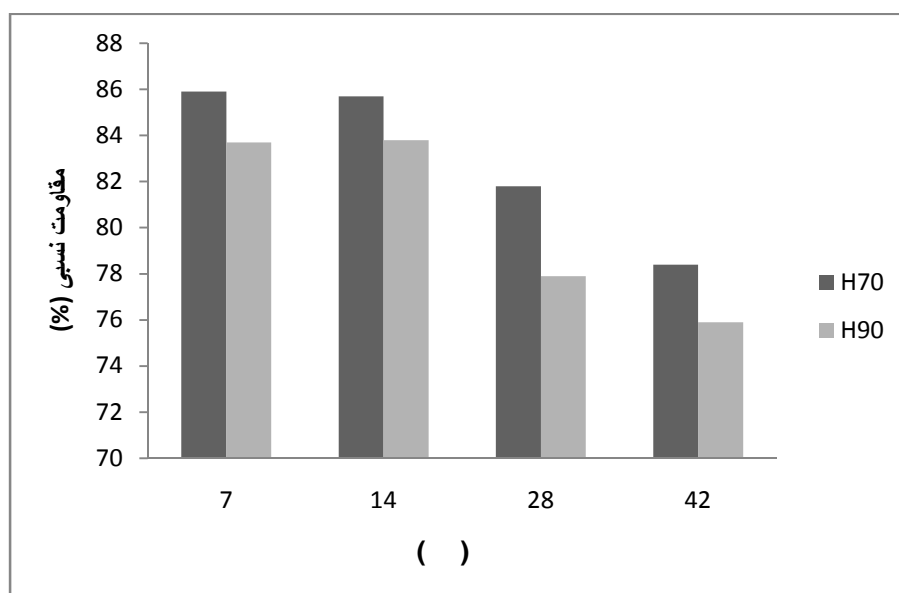
سن بتن (روز)	۷	۱۴	۲۸	۴۲
مقاومت فشاری نمونه‌های H90	۹۸	۱۰۹/۴	۱۱۵/۹	۱۱۸/۱
مقاومت فشاری نمونه‌های B90	۱۰۱	۱۱۲/۲	۱۱۸/۹	۱۲۰
مقاومت فشاری نمونه‌های H70	۹۶	۱۰۶/۷	۱۱۱/۸	۱۱۲/۱
مقاومت فشاری نمونه‌های B70	۹۹/۶	۱۰۷/۳	۱۱۲/۹	۱۱۳/۱

۴-۳- بررسی ارتباط مقاومت فشاری مغزه با مقاومت فشاری مکعبی:

در اشکال ۱ و ۲ به مقایسه مقاومت فشاری مکعبی و مقاومت مغزه می‌پردازیم.



شکل ۱- مقایسه مقاومت نسبی مغزه به مکعب برای نمونه‌های (B90 , B70)



شکل ۲- مقایسه مقاومت نسبی مغزه به مکعب برای نمونه‌های (H90 , H70)

همانطور که مشاهده می‌شود مقاومت نسبی (مغزه‌ها به نمونه مکعبی) در تمام موارد کمتر از یک است. همچنین شاید بتوان گفت که مقاومت نسبی مغزه‌ها تا حدودی تحت تاثیر سن بتن قرار می‌گیرد. به طور کلی با افزایش مقاومت فشاری مکعبی بتن مقاومت نسبی مغزه‌ها تا حدودی نسبت به سنین پایین‌تر کمتر می‌شود. این نتیجه توسط Somsak [5] نیز گزارش شده است. کاهش مقاومت مغزه‌ها نسبت به نمونه‌های مکعبی

می‌تواند به این دلیل باشد که در طول فرایند مغزه‌گیری، به دلیل نیاز به نیروی بیشتر برای برش، پیوستگی میان سنگدانه‌ها و چسب سیمان تضعیف می‌شود و از این رو مقاومت مغزه کاهش می‌یابد.

۵- نتیجه گیری:

۱- با توجه به طرح اختلاط یکسان و تفاوت اندک درصد سیلیس دو ماسه، اختلاف مقاومت بدست آمده در مقاومت فشاری احتمالاً ناشی از شکل سنگدانه‌هاست.

۲- مقاومت بالای بتن در سنین اولیه نشانگر تاثیر دمای بالا در عمل آوری می‌باشد. که به دلیل انجام عمل هیدراتاسیون سریع مقاومت اولیه بالایی را شاهد هستیم.

۳- با افزایش مقاومت فشاری بتن، نسبت مقاومت فشاری مغزه به مکعب کاهش می‌یابد که احتمالاً به دلیل نیاز به نیروی بیشتر برای عمل حفاری و در نتیجه، آسیب بیشتر به مغزه‌ها می‌باشد.

منابع:

- [1].Roux N, Andrade C, Sanjuan M.A. "Experimental study of durability of reactive powder concretes", Journal of Materials in Civil Engineering, 8, 1-6, 1996.
- [2].Cheyrezy, R., Maret, V., Frouin, L., 1995, 'Macrostructural Analysis of RPC (Reactive Powder Concrete)', Cement and Concrete Research, Vol 25, no. 7, pp. 1491-1550.
- [3].Coppola, L., Cerulli, T., Troli, R. and Collepardi, M. "The Influence of Raw Materials on Performance of Reactive Powder Concrete", International Conference on High-Performance Concrete, and Performance and Quality of Concrete Structures, Florianopolis, 1996, pp.502-513.
- [4].ASTM C 150-02a; 2002 "Standard Specification for Portland Cement", Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04. 02.
- [5]. A. Prof. Swaddiwudhipong Somsak. (1990), "Study on estimated in-situ cube strength from cores and cube strength" , UROP Report, Faculty of Engineering Department of Civil Engineering. 1990.