Archive of SID

مجله علمی – پژوهشی
مهندسی عمران مدرس
دوره هجدهم، شماره ۶، سال ۱۳۹۷

یادداشت تحقیقاتی:

استفاده از پودر سنگ آهک به عنوان جایگزین بخشی از ماسه سیلیسی در بتن پودری واکنش‌پذیر

جاوید چاخرلو[۱]، بهمن شروانی‌تبار[۲*]

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران-سازه، دانشگاه شهیدمدنی آذربایجان، تبریز، ایران

۲- استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

b.shervani@yahoo.com

تاریخ دریافت: [۱۳۹۶/۱۰/۱۷] تاریخ پذیرش: [۱۳۹۷/۳/۲۱]

چکیده

در تولید بتن پودری واکنش‌پذیر از مواد و مصالح پودری بسیار ریزدانه شامل ماسه کوارتزی، میکروسیلیس و پودر کوارتز به عنوان مصالح استفاده می‌شود. این بتن دارای مقاومت فشاری بالا نسبت به بتن معمولی است، که در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است. با استفاده از این نوع بتن می‌توان وزن سازه را به مقدار قابل توجهی کاهش داد و از ویژگی‌های مهم آن می‌توان به مقاومت فشاری زیاد، نفوذ پذیری کم، دوام و مقاومت سایشی بالا و شکل پذیری زیاد که می‌تواند جذب انرژی بیشتری در هنگام زلزله داشته باشد. در این پژوهش از پودر سنگ آهک به جای قسمتی از ماسه سیلیسی استفاده شد. برای این منظور پس از بدست آوردن نسبت‌های مخلوط بهینه بر اساس مقاومت فشاری، روانی و قطر پخش شدگی میز جریان، ابتدا پودر سنگ آهک را به صورت جایگزین ماسه سیلیسی با درصدهای ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ در نظر گرفته شده و سپس در ادامه از پودر سنگ آهک به عنوان جایگزینی- افزودنی با درصدها و نسبت-های مختلف استفاده شده است. آزمایش‌های انجام شده روی این نمونه‌ها شامل آزمایش میز جریان، جذب آب حین عمل‌آوری و مقاومت فشاری در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که با افزایش پودر سنگ آهک تا ۲۰ درصد جایگزینی به جای ماسه سیلیسی باعث افزایش قابل ملاحظه در مقاومت فشاری شده، و همچنین باعث کاهش جذب آب حین عمل‌آوری می‌شود. مقاومت فشاری مخلوط‌های حاوی ۲۰٪ پودر سنگ آهک نسبت به بتن مبنا برای نمونه‌های ۲۸ روزه ٤۳٪ افزایش را نشان می‌دهد. این افزایش مقاومت فشاری برای نمونه‌های ۷ روزه و ۹۰ روزه به ترتیب برابر ۳۹٪ و ٤۲٪ است. جذب آب حین عمل آوری نمونه‌های ۲۸ روزه، با جایگزینی ۲۰٪ به مقدار ۱۹,۷٪ کاهش داشته 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 بتن خودتراکم برخوردار باشد 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. عیار سیمان ۷۸۰ کیلوگرم انتخاب شده است. در مورد عیار سیمان، 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. همچنین از فشار و حرارت استفاده نشده است تا در همه جا بتوان به صورت بتن ریزی در جا 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 و حتی بیشتر است. مقاومت فشاری مخلوط‌های حاوی ۲۰٪ پودر سنگ آهک در سن ۲۸ روزه به ۵۸۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و در سن ۹۰ روزه به ٦٤۸ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع رسیده است.

کلمات کلیدی: بتن پودری واکنش‌پذیر، مقاومت فشاری، روانی، عمل آوری، پودر سنگ آهک

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

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 اند به آن بتن پودری واکنش‌پذیر یا واکنش‌زا می‌گویند [1]. مواد اصلی تشکیل دهنده بتن پودری واکنش‌پذیر سیمان پرتلند معمولی، آب، دوده‌سیلیسی، ماسه کوارتزی (سیلیسی)، پودر کوارتز، فوق‌روان‌کننده و در بعضی موارد الیاف است [2]. استفاده از الیاف فولادی به دلیل بهبود مقاومت خمشی برای استفاده در دهانه‌های طویل و عضوهای سازه‌ای باریک بدون آرماتوربندی سنتی مفید است [1].

RPC[1] یا همان بتن پودری واکنش‌پذیر، یکی از آخرین پیشرفت‌ها در زمینه بتن است که بسیاری از ایراداتی که بتن معمولی دارد را رفع می‌کند. RPC، مقاومت اساتیکی و دینامیکی بسیار بالا، ظرفیت شکست بالا، افت پایین و دوام فوق‌العاده، تحت شرایط شدید را دارد [3].

بسیاری از پژوهشگران اصول اساسی برای بتن واکنش‌پذیر را بیان کردند که به صورت زیر است [4].

۱- این بتن فاقد سنگدانه‌های درشت است و تنها از پودرهای بسیار ریز ماسه (حداکثر اندازه دانه درشت ۶۰۰ میکرومتر) و کوارتز آسیاب شده (متوسط اندازه دانه‌ها در حدود ۱۰ میکرومتر) و میکروسیلیس در حدود ۰/۲۵ وزن سیمان استفاده شده است.

۲- می‌توان به این نوع بتن، الیاف فولادی در حدود ۲٪ حجمی افزود. این الیاف سبب افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقاومت کششی و خمشی بتن می‌شوند. همچنین پژوهش‌ها نشان داده است که با به‌کار بردن الیاف فولادی، علاوه بر مقاومت خمشی و کششی، مقاومت فشاری نمونه‌ها نیز افزایش یافته است. این الیاف معمولا دارای طولی در حدود ۱۳ میلی‌متر و قطری در حدود ۰/۱۵ میلی‌متر و با مقاومت کششی بالا است.

۳- در این نوع بتن چون نسبت آب به سیمان کم است. بنابراین برای روانی خمیر از فوق روان‌کننده استفاده می‌شود. سیمان مورد استفاده، سیمان پرتلند معمولی است. مقدار سیمان مصرفی در بتن پودری واکنش‌پذیر معمولا بین ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم در متر مکعب است.

٤- دانه‌بندی به منظور دستیابی به یک مخلوط با تراکم بسیار بالا بهینه‌سازی می‌شود.

۵-نمونه‌های بتنی می‌توانند قبل و در طول هیدراسیون تحت فشار قرار گیرند.

٦- نمونه‌ها می‌توانند تحت درجه حرارت‌های مختلف قرار گیرند.

بتن پودری واکنش‌پذیر (RPC) از جمله مواد ساختمانی است که تا امروزه در صنعت ساخت و ساز بسیار کم مورد استفاده قرار گرفته است. این بتن به مراتب گرانتر از بتن‌های با مقاومت معمولی و بتن‌های با عملکرد بالا است. از کاربردهای بتن پودری واکنش‌پذیر می‌توان به استفاده در تیرهای پیش تنیده x شکل و حفاظت و نگهداری از زباله‌های هسته‌ای که برای ایزوله کردن و نگهداری ضایعات هسته‌ای در چندین پروژه در اروپا استفاده شده است. درواقع بتن پودری برای قالب و تحکیم مخازن ضایعات بکار می‌رود و استفاده از آن به عنوان مخزن نگهداری ضایعات رادیواکتیو سطح بالا ، توسط Torrenti مطالعه شد [5].

در این پژوهش با مطالعه تجربی روی نسبت‌های مخلوط با روش آزمون و خطا امکان ساخت بتن پودری واکنش‌پذیر با استفاده از مواد و مصالح تهیه شده از معادن یا تولیدات کارخانجات داخل کشور سنجیده و با انجام آزمایش‌هایی تأثیر پودر سنگ آهک کارخانه شرکت اسپندار واقع در نزدیکی آذر شهر روی مقاومت‌های فشاری، جذب آب حین عمل‌آوری و کارایی و روانی بر اساس میز جریان بتن پودری واکنش‌پذیر در دمای عمل آوری ۲۳ الی ۲۵ درجه سلسیوس (به صورت غرقاب) 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.

1 Reactive Powder Concrete

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ١. مشخصات سیمان

Amount	Physical Characteristics of Cement
3.12	specific gravity (gr/cm_3)
٢٩٧٤*	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 ٢. 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

٢-١- سیمان

سیمان مورد استفاده در تهیه‌ی RPC، سیمان پرتلند نوع دو است که حرارت‌زایی آن باید کم باشد زیرا مقدار سیمان مصرفی در بتن پودری واکنش‌پذیر حدودا ٧٠٠ تا ١٠٠٠ و در بعضی موارد تا ١٢٠٠ کیلوگرم در مترمکعب مورد استفاده قرار گرفته است. از لحاظ ترکیب شیمیایی، سیمان دارای C_3A کمتر، نتایج بهتری می‌دهد. سیمان به کار رفته در این پژوهش از سیمان پرتلند نوع دو، تهیه شده از کارخانه سیمان صوفیان تبریز است. که مشخصات آن در جدول های (١ و ٢) آورده شده است.

٢-٢- دوده‌سیلیسی

میکروسیلیس استفاده شده در این پژوهش از کلینیک بتن تهیه شده است و مشخصات آن طبق جدول (٢ و ٣) است.

جدول ٣. 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

٢-٣- ماسه سیلیسی

ماسه مصرفی در این پژوهش از معدن ماسه سیلیسی صنعتی قوم تپه در نزدیکی شهر تبریز با وزن مخصوص ٢/٦٣ و ٠/٢ درصد رطوبت و با هفت دهم الی یک درصد جذب آب و با بیشینه اندازه دانه ٠/٦ میلی‌متر و به رنگ طوسی است که در حالت SSD مورد استفاده قرار گرفته است. 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

٢× طبق آخرین آنالیزی که از طرف کارخانه برای سیمان نوع دو اعلام شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۴- پودر سنگ آهک

پودر سنگ آهک مورد استفاده در این پژوهش از کارخانه شرکت اسپندار واقع در نزدیکی آذرشهر تهیه شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی پودر سنگ آهک تهیه شده در جدول (۵) آورده شده است و هم‌چنین منحنی‌دانه‌بندی پودر سنگ آهک در شکل (۱) قابل مشاهده است.

شکل ۱. منحنی دانه‌بندی پودر سنگ آهک

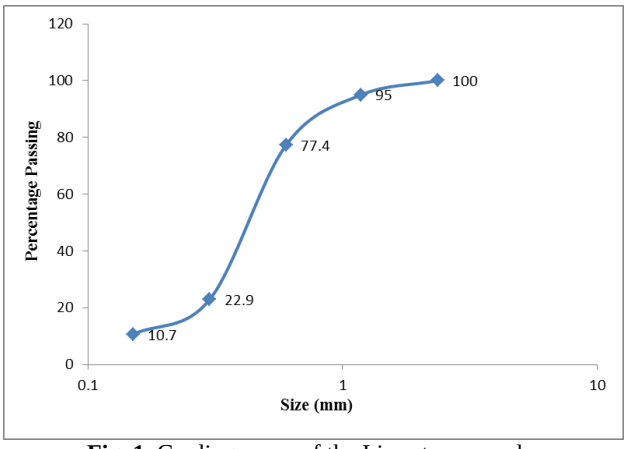

Fig. 1. Grading curve of the Limestone powder

جدول ۵. مشخصات فیزیکی و شیمیایی پودر سنگ آهک

Chemical Compounds	Chemical Compounds	Amount	Physical properties
97% < $CaCO_3$< 99%	P_2O_5 < 0.03%	Calcium Carbonate, Limestone	Name
54.5% < Cao <55.5%	Mno <0.02%	$CaCO_3$	Linear Formula
42.0 < L.O.I < 43.7	Na_2 o < 0.1%	100.09 gr/mol	Molecular weight
Mgo <0.5%	K_2o < 0.1%	Powder	Form
Sio_2 < 0.7%	Sio_2+insoluble matter <1.5%	(2.5 - 2.72)	Specific gravity (gr/cm_3)
Al_2o_3 < 0.5%	So_3= Trace	N.A (depend on size (Limestone	Density
Fe_2o_3 < 0.2%	P_2O_5 < 0.03%	0.13 gr/L (25 °C)	Solubility in Water

Table 5. Physical And Chemical composition of Limestone powder

۲-۵- پودر کوارتز و فوق‌روان‌کننده

پودر کوارتز مصرفی در این پژوهش از معدن اصفهان تهیه شده است و مشخصات فنی آن طبق جدول (٦) است. فوق روان‌کننده و کاهنده قوی آب (Power Plast-PM) به کار رفته در این مطالعه، تولید شرکت آبادگران که فوق‌روان‌کننده‌ای بر پایه پلی کربوکسیلاتی، 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 است [6]. 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	Polycarb oxylate	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

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۲. فوق‌روان‌کننده مصرفی در نمونه‌ها

Fig. 2. The superplasticizer used in samples

۳- آماده سازی و عمل آوری نست‌های مخلوط

بعد از تهیه مصالح و طبق نسبت‌های مخلوط مورد نظر مهم‌ترین عامل برای مطالعه بتن پودری واکنش‌پذیر مرحله مخلوط کردن مواد تشکیل دهنده است. در اختلاط بتن RPC، ابتدا پس از عبور دادن ماسه سیلیسی از الک ٦٠٠ میکرون، ماسه سیلیسی را در حالت SSD قرار داده و مقادیری از رطوبت آنها را که بصورت آب آزاد است، بدست می‌آوریم و در نسبت‌های مخلوط دخالت می‌دهیم. سپس مواد وزن شده در ترازوی دیجیتال را به مدت ۱۰ دقیقه در یک مخلوط‌کن تابه‌ای می‌ریزیم تا ابتدا مواد به صورت خشک (سیمان، میکروسیلیس، پودر کوارتز، ماسه سیلیسی و پودر سنگ آهک) مخلوط شوند. سپس نصف آب و نصف فوق روان کننده را اضافه کرده و به مدت چهار دقیقه دیگر مخلوط می‌کنیم. در آخر مابقی آب و فوق‌روان کننده افزوده و چهار دقیقه دیگر نیز مخلوط شده تا در نهایت مخلوط کاملا همگنی بدست آید. پس از اتمام زمان مخلوط کردن و قبل از قالب گیری، میزان قطر پخش شدگی بر حسب میلی متر برای آزمایش میز جریان بدست آمد. بعد از انجام آزمایش میز جریان، ریختن بتن در قالب در ۳ مرحله و در هر مرحله با کوبیده شدن صورت گرفته و نمونه‌های مکعبی ۵×۵×۵ سانتی‌متر برای آزمایش مقاومت فشاری ساخته شد. پس از ٢٤ ساعت قالب ها باز شد و نمونه‌ها با احتیاط در داخل آب با دمای ۲۳ الی ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. جذب آب حین عمل آوری و همچنین آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌ها در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه انجام شد.

شکل ۳. نمونه‌های ساخته شده بتن پودری واکنش‌پذیر

Fig. 3. Samples made of reactive powder concrete

۳-۱- نسبت‌های مخلوط

از نسبت‌های مخلوط جداول (۷ و ۸) برای ساخت نمونه‌های آزمایش برای بتن پودری واکنش‌پذیر استفاده شده است. در این نسبت‌ها پودر سنگ آهک با درصدهای ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد جایگزین ماسه سیلیسی شده است. نام‌گذاری آن‌ها به‌ترتیب، C0، C10، C20 و C30 است و در نسبت‌های دیگر به عنوان جایگزینی-افزودنی با درصدهای ۱۵، ۲۵، ۳۵ پودر سنگ آهک به جای ۵، ۱۵، ۲۵ درصد ماسه سیلیسی با نام‌گذاری آن‌ها به ترتیب، CS15، CS25 و CS35 در نظر گرفته شده است. مشخصات تمام نسبت‌های مخلوط بررسی شده در جداول زیر آورده شده است، در جدول (۱۰) مقداری از پودر سنگ آهک جایگزین ماسه سیلیسی شده و مقداری بصورت افزودنی در نظر گرفته شده است. در هر کدام از این سه نسبت مخلوط، مقدار پودر سنگ آهک به صورت افزودنی فقط ۱۰ درصد است و مابقی به صورت جایگزین ماسه سیلیسی در نظر گرفته شده است. به عنوان نمونه برای نسبت مخلوط ترکیب CS25 مقدار کل پودر سنگ آهک ۲۵۷/۵ کیلوگرم یعنی ۲۵٪ وزن اولیه ماسه

www.SID.ir

Archive of SID

سیلیسی برای C0 است. که از این مقدار ۱۵٤/۵ کیلوگرم (یعنی ۱۵ درصد) به جای ماسه سیلیسی جایگزین شده و ۱۰۳ کیلوگرم (یعنی ۱۰ درصد) به صورت افزودنی به ماسه سیلیسی افزوده شده است.

جدول ۷. مشخصات نسبت‌های مخلوط جایگزینی

C30	C20	C10	C0	Mix Name (Kg/m^3)
780	780	780	780	Cement
140	140	140	140	Microsilica
721	824	927	1030	Silica sand
309	206	103	0	Limestone powder
190	190	190	190	Quartz powder
30	30	30	30	Superplasticizer
195	195	195	195	Water
0.25	0.25	0.25	0.25	W/C_e
0.212	0.212	0.212	0.212	W/C_t

Table 7. Specifications of the mix design of the replacement

جدول ۸ مشخصات نسبت‌های مخلوط جایگزینی- افزودنی

CS35	CS25	CS15	C0	Mix Name (Kg/m^3)
780	780	780	780	Cement
140	140	140	140	Microsilica
772.5	875.5	978.5	1030	Silica sand
360.5	257.5	154.5	0	Limestone powder
190	190	190	190	Quartz powder
30	30	30	30	Superplasticizer
195	195	195	195	Water
0.25	0.25	0.25	0.25	W/C_e
0.212	0.212	0.212	0.212	W/C_t

Table 8. Specifications of the mix design of the replacement-additive

*در این آزمایش ها 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. پس 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. ماسه‌ای که در اینجا به کار رفته است دارای دانه‌های یکنواخت بوده که همگی از الک ٦۰۰ میکرون عبور کرده و ۹۸/۵ درصد آن روی الک ۳۰۰ میکرون می‌ماند پس بتن پودری بدست آمده کاملا ریزدانه و یکنواخت بوده و بسیار متفاوت از انواع ملات‌ها است. حالت اتوکلاو (عمل آوری همراه با اعمال فشار و حرارت) مقاومت فشاری را بالا می‌برد ولی تنها برای قطعات پیش تنیده قابل استفاده است، پس در این پژوهش با در نظر گرفتن کاربرد دوده‌سیلیسی، ماسه سیلیسی، پودر کوارتز، فوق روان 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

٤-۱- تعیین مقاومت فشاری نمونه‌ها

نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع، ابتدا برای نسبت‌های مخلوط جایگزینی و جایگزینی-افزودنی بصورت مجزا در شکل (٤ و ٥)، سپس تمامی ترکیبات در نمودار شکل (٦) نشان داده شده است.

شکل ٤. مقاومت فشاری نسبت‌های جایگزینی(کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع)

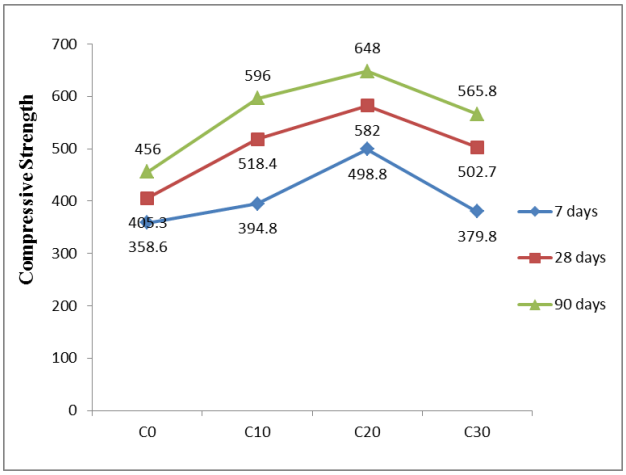

Fig. 4. Compressive strength of the replacement ratios (Kg/Cm^2)

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ٥. مقاومت فشاری نسبت‌های جایگزینی-افزودنی(کیلوگرم بر سانتیمترمربع)

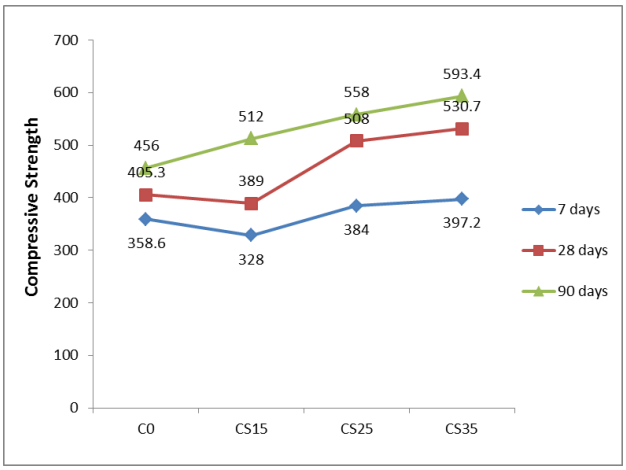

Fig. 5. Compressive strength of the replacement / additive ratios (Kg/Cm^2)

شکل ٦. تأثیر درصد پودر سنگ آهک در مقاومت فشاری(کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع)

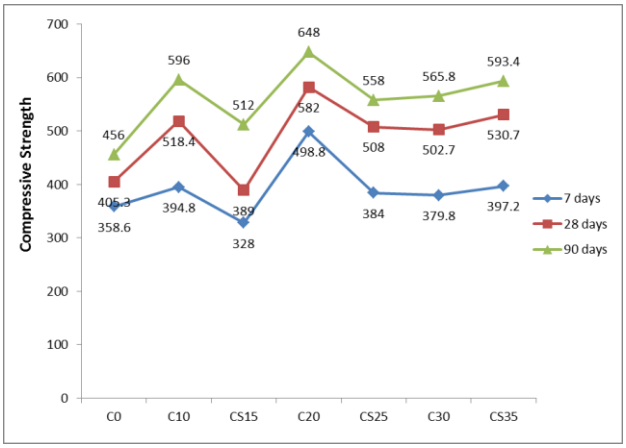

Fig. 6. Effect of the limestone powder in compressive strength (Kg/Cm^2)

تأثیر زمان عمل‌آوری و همچنین تأثیر درصد پودر سنگ آهک جایگزین شده بر مقاومت فشاری نسبت‌های مخلوط، در شکل (٤، ٥ و ٦) قابل مشاهده است و با توجه به نمودار می‌توان بیان کرد که با افزایش زمان عمل‌آوری و درصد جایگزینی پودر سنگ آهک با ماسه سیلیسی مقاومت فشاری نمونه‌ها افزایش یافته شکل (٤) و در نسبت‌های جایگزینی-افزودنی بخاطر اضافه‌تر شدن حجم مخلوط بتن(با ثابت ماندن مقدار مواد چسباننده) ابتدا دچار کاهش مقاومت و در درصدهای بالاتر باعث افزایش مقاومت شده است، هر چند که مقدار مواد سیمانی ثابت است (شکل ٥). همچنین در تمام زمان‌های عمل‌آوری، بیش‌ترین مقاومت فشاری نیز برای بتنی با ٢٠ درصد پودر سنگ آهک جایگزین بدست آمده است.

در این آزمایش‌ها سعی شده است که عمل‌آوری در شرایط محیطی عادی انجام شود (دمای ٢٣ الی ٢٥ درجه سانتی‌گراد و بدون اعمال فشار) و همچنین از روانی کافی در حد خودتراکم برخوردار باشد (حالت SCC[3])، 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 ٧٨٠ کیلوگرم، باید توجه نمود که عیار سیمان در بتن پودری واکنشی بطور متوسط ٧٠٠ الی ١٠٠٠ کیلوگرم می‌باشد و در مخلوط‌هایی تا ١٢٠٠ کیلوگرم هم مورد استفاده قرار گرفته است. بنابراین 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 (٦) ملاحظه می‌شود که در سن ٢٨ روزه مقاومت آن به ٥٨٢ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و در سن ٩٠ روزه به ٦٤٨ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع رسیده است.

٤-٢- 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 عمل آوری و طبق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود. نتایج حاصل از محاسبات در شکل‌های (٧، ٨ و ٩) آورده شده است.

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

3 Self Compacted Concrete

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۷. جذب آب نسبت‌های جایگزینی

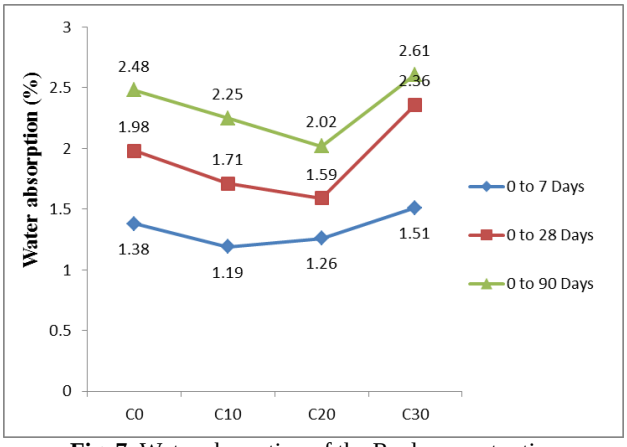

Fig. 7. Water absorption of the Replacement ratios

شکل ۸. جذب آب نسبت‌های جایگزینی-افزودنی

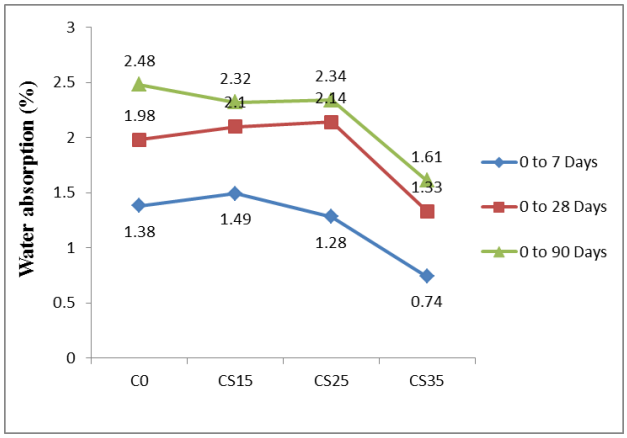

Fig. 8. Water absorption of the Replacement-additive ratios

شکل۹. جذب آب نمونه‌های حاوی درصدهای مختلف پودر سنگ آهک

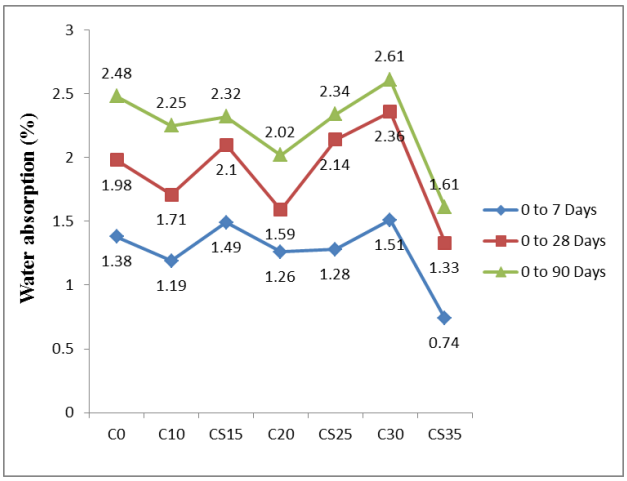

Fig. 9. Water absorption of samples containing various percentages of limestone powder

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 پودر سنگ آهک تا ۲۰ درصد جایگزینی کاهش یافته و در نسبت‌های مختلف نسبت به ترکیبات متفاوت بوده و روند نزولی و صعودی دارد. از نمودار (۲) مشاهده می‌شود که با افزایش زمان عمل‌آوری جذب آب در حین عمل‌آوری بیشتر شده به گونه‌ای که بیشترین مقدار جذب آب نسبت به سایر دوره‌ها مربوط به ترکیب C30 و کمترین آن مربوط به ترکیب CS35 است.

۴-۳- بررسی تاثیر استفاده از پودر سنگ آهک در کارایی بتن پودری واکنش‌پذیر

هدف از انجام آزمایش میز جریان تعیین کارایی یا روانی بتن تازه است. به‌خاطر نوع بتن پودری واکنش‌پذیر که ریزدانه، 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 (۱۰، ۱۱) آمده است.

شکل ۱۰. پخش شدگی میز جریان نسبت‌های جایگزینی

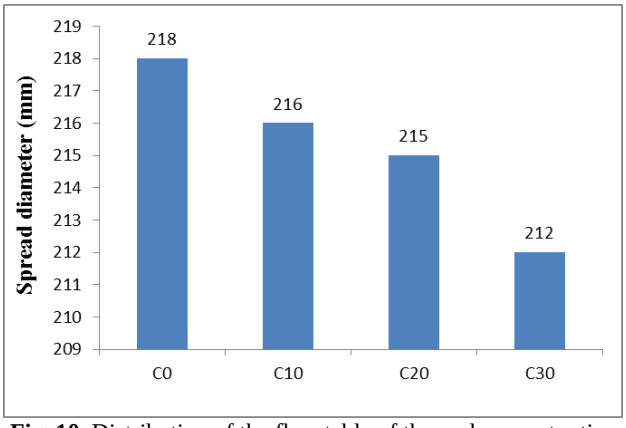

Fig. 10. Distribution of the flow table of the replacement ratios

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ١١. پخش شدگی میزجریان نسبت‌های جایگزینی-افزودنی

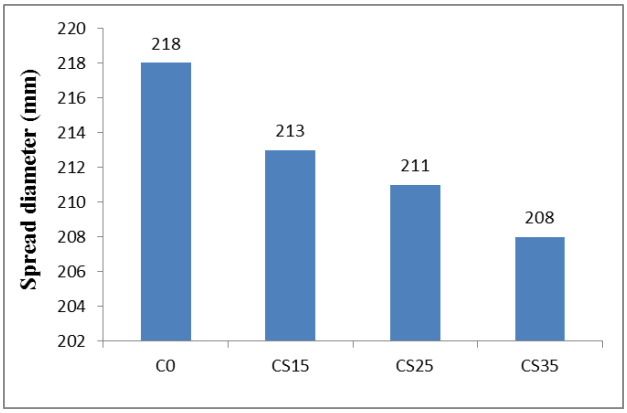

Fig. 11. Distribution of the flow table of the Replacement-additive ratios

نتایج آزمایش میز جریان نشان می‌دهد که با افزایش درصد پودر سنگ آهک در ترکیب بتن پودری واکنش‌پذیر میزان قطر پخش شدگی اندکی کاهش پیدا می‌کند و از ٢١/٨ سانتی‌متر به تدریج کاهش یافته و به ٢٠/٨ سانتی‌متر رسیده است و در همه حالت‌ها روانی بالایی داشته است. و همه نسبت‌های مخلوط دارای روانی بالایی است. با توجه به نمودار مشاهده می‌شود که با افزایش درصد جایگزینی پودر سنگ آهک به جای ماسه سیلیسی سبب کاهش جزئی روانی شده و از میزان قطر پخش‌شدگی اندکی کاسته می‌شود. در آزمایش میز جریان مقدار سیلان برابر افزایش قطر قاعده ملات است که به صورت درصدی از قطر اولیه (قطر اولیه ملات در داخل مخروط ناقص برنجی ١٠ سانتی‌متر است) بیان می‌شود. مقدار توصیه شده آیین‌نامه ASTM مابین ١٠٠ الی ١١٥ است یعنی این افزایش قطر باید ١٠ الی ١١/٥ سانتی‌متر باشد، بنابراین قطر پخش شدگی مابین ٢٠ الی ٢١/٥ سانتی‌متر مناسب است (یعنی روانی لازم و کافی را دارد).

٥- نتیجه‌گیری

١- نتایج آزمایش مقاومت فشاری نشان می‌دهد که در مدت زمان‌های عمل‌آوری، مقاومت فشاری ترکیب C20 از تمام ترکیبات حاوی مخلوط ماسه سیلیسی با پودر سنگ آهک بیشتر است. در این پژوهش افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقاومت فشاری مخلوط‌های حاوی ٢٠٪ پودر سنگ آهک نسبت به بتن مبنا مشاهده شد پس علاوه بر این که امکان استفاده از پودر سنگ آهک در RPC مشخص شد همچنین اگر درصد جایگزینی مناسبی در نظر گرفته شود می‌تواند مقاومت فشاری را افزایش دهد. با توجه به شکل (٤) ملاحظه می‌شود که مقاومت فشاری مخلوط‌های حاوی ٢٠٪ پودر سنگ آهک نسبت به بتن مبنا برای نمونه‌های ٢٨ روزه ٤٣٪ افزایش را نشان می‌دهد. این افزایش مقاومت فشاری برای نمونه‌های ٧ روزه و ٩٠ روزه به ترتیب برابر ٣٩٪ و ٤٢٪ است.

٢- جایگزینی پودر سنگ آهک به جای ماسه سیلیسی تا ٣٠٪ و همچنین افزودن به مقدار ١٠٪ همراه با جایگزینی تا ٢٥٪ که مورد بررسی قرار گرفت در همه موارد باعث کاهش بسیار جزئی در روانی می‌شود و می‌توان گفت که روانی تقریبا ثابت می‌ماند. احتمالا علت این امر مربوط به وجود آب مولکولی همراه با کربنات کلسیم در ترکیبات این سنگ آهک باشد.

٣- با افزایش درصد جایگزینی پودر سنگ آهک از میزان جذب آب حین عمل‌آوری نمونه‌های بتنی تا ٢٠ درصد جایگزینی با ماسه سیلیسی کاهش می‌یابد ولی با در نظر گرفتن تمامی نسبت‌های مخلوط مورد آزمایش، ترکیب CS35 دارای کم ترین میزان جذب آب و ترکیب C30 دارای بیش ترین درصد جذب آب است.

جذب آب حین عمل‌آوری نمونه‌های ٢٨ روزه، با جایگزینی‌های ٢٠٪ و ١٠٪ به ترتیب ١٩/٧٪ و ١٣/٦٪ کاهش داشته است ولی برای نمونه‌های با جایگزینی ٣٠٪ به مقدار ١٩/٢٪ افزایش داشته است.

٤- در این ترکیبات هم مانند سایر بتن‌ها، با افزایش زمان عمل آوری، مقاومت فشاری افزایش می‌یابد.

در نتایج گفته شده با توجه به اینکه تا به حال از پودر سنگ آهک به عنوان جایگزین بخشی از ماسه سیلیسی در بتن پودری استفاده نشده است بنابراین مقایسه‌ای انجام نشد. در آینده پژوهشگران دیگر که همین آزمایش‌ها را با مصالح ساختمانی مناطق دیگر انجام خواهند داد مقایساتی می‌تواند انجام شود.

٦- مراجع

References

[1]. Xiang Gao. B. 2007 Mix Design and Impact Response of Fibre Reinforced and Plain Reactive Powder

www.SID.ir

Archive of SID

Concrete. *School of Civil, Environmental and Chemical Engineering RMIT University.*

[2]. Richard P., Cheyrezy M. 1995 Composition of reactive powder concrete. *Cement and Concrete Research*, **25**(7), 1501-1511.

[3]. 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), 47-57.

[4]. Meraaji L., Afshin H. & Abedi K. 2011 Acquaintance with reactive powder concrete as a type of new concrete, *The first regional conference on building materials and modern technologies in civil engineering, Islamic Azad University of Marand*, Marand, Iran, (In Persian).

[5]. Masoumi H., Nezhati S. & Nejati, F. 2013 Investigating the Properties and Advantages of Reactive Powder Concrete", Sixth Trans-regional Conference on Novel Advances in Engineering Sciences, *Ayandegan Higher Education Institute, Tonekabon*, Iran, (In Persian).

[6]. Wille K., Naaman A. & ParraMontesions, G. 2011 Ultra High Performance Concrete With Compressive Strength exceeding 150 MPa, *ACI Materials Journal*, **108**(1), 34-46.

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

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

[9]. 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.

www.SID.ir

Archive of SID

The use of limestone powder instead of a part of silica sand in reactive powdered concrete

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

1- Master 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. In this research, limestone powder was used instead of a part of silica sand. For this purpose, after obtaining optimal mixture ratios based on the compressive strength, consistency and diffusion diameter of flow table test, first, the limestone powder is considered as partial substitute of silica sand with percentages of 0, 10, 20, 30, and then in continuation, limestone powder is used as a substitute-additive with percentages and mixing ratios. Experiments conducted on these samples include testing the flow table, water absorption during curing and compressive strength at the age of 7, 28 and 90 days. The results of the experiments show that by increasing the limestone powder up to 20% replacement with silica sand, the compressive strength significantly increases, and also reduces the water absorption during of curing. The compressive strength of mixtures containing 20% limestone powder is 43% higher than the base concrete for 28-day samples. This increase in compressive strength for 7-day and 90-day samples is 39% and 42%, respectively. Water absorption during of curing for 28-day samples decreased by 19.7%. In these experiments, it has been attempted to cure under normal environmental conditions (temperatures of 23 to 25 °C without pressure) and also to be sufficiently fluid in condition of loose concrete or self compacting concrete, so it can easily be used in practical applications. For example, in connections with the number of overlapping reinforcements, ordinary concrete does not have the capacity to fill the very small spaces. In such connections we can use these mixtures. The cement content is 780kg. In order of cement content, it should be noted that the cement content of reactive powder concrete is about 700 to 1000 kg, and is used in mixtures up to 1200 kg. So here the cement content is moderate and the lower part of moderate. There is also no pressure and heat to be used in curing of concrete, and the amount of water and superplasticizer is somewhat higher than similar mixtures, so obtained fresh concrete is SCC. These conditions resulted in less compressive strengths than similar mixtures, but they are sufficiently strong for use in building projects, and even more so. The compressive strength of mixtures containing 20% limestone powder at 28 days of age reached 582 kg/cm^2 and at 90 days of age, it reached648kg/cm^2.

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

www.SID.ir