Archive of SID

مجله علمی – پژوهشی
مهندسی عمران مدرس
دوره هجدهم، شماره ۳، سال ۱۳۹۷

بررسی آزمایشگاهی مولفه‌های موثر بر خواص مکانیکی و پایایی بتن فوق توانمند با رویکرد اقتصادی

سجاد براری[۱*]، شهاب عباسی[۲] ، مهدی مهدوی عادلی[۳] ، مهدی چینی[٤]

۱- کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه،گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه رازی
۲- کارشناسی ارشد عمران- مدیریت ساخت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شوشتر
۳- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شوشتر
٤- دکتری عمران- سازه، انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران

s.barari.razi.university@gmail.com

تاریخ دریافت: [۹۵/۳/۳] تاریخ پذیرش: [۹۵/۷/۱۹]

چکیده

افزایش مقاومت فشاری به بیش از ۵۰ مگاپاسکال، کیفیت و دوام بتن جزء اهداف مهم سند چشم انداز بتن ۱٤۰٤ است. همواره تولید بتن با مقاومت زیاد نیازمند توجه خاص در طرح اختلاط اجزاء، استفاده از مواد مناسب، لزوم بهینه سازی مصرف سیمان و ترکیب مصالح تشکیل دهنده‌ی آن بوده است. در این مقاله، نمونه‌های مکعبی بتنی طوری تهیه شده‌اند که ۵ متغیر موثر شامل سه نوع متفاوت منحنی‌های دانه بندی درشت دانه و ریزدانه، ۳ نوع ابر روان کننده، میکروسیلیس با نسبت های ۵، ۷ و ۱۲ درصد وزنی سیمان در دو رده‌ی مقاومتی مختلف با عیار سیمان متفاوت، تاثیر عیار سیمان بصورت ۳۷۵، ٤۰۰ و ٤۲۵ کیلو گرم بر متر مکعب با نسبت آب به سیمان ثابت و تاثیر افزودن فیلر بر مشخصات مکانیکی، دوام و اقتصاد طرح بطور کامل بررسی شده است. در این آزمایش‌ها نسبت آب به سیمان برای مقایسه نتایج، ثابت در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهند که متغیرهای درنظر گرفته شده بر مقاومت فشاری بتن‌های پرمقاومت بسیار تاثیر گذار بوده و استفاده از حالات بهینه‌ی طرح های فوق می‌تواند سبب بهبود مشخصات مکانیکی بتن شوند به گونه‌ای که با بهینه سازی اجزاء مورد استفاده می‌توان با عیار سیمانی ٤۰۰ کیلوگرم در متر مکعب، به ساخت بتن‌های بسیار توانمند با رویکردی اقتصادی دست یافت.

واژگان کلیدی: بتن پرمقاومت، دانه‌بندی مصالح سنگی، فوق روان‌کننده، میکروسیلیس، مقاومت فشاری.

۱- مقدمه

طبق سیاست‌های کلی برنامه پنج ساله پنج توسعه و سند چشم انداز بتن ۱٤۰٤، برای دستیابی به معیارهای توسعه‌ی پایدار، لازم است که شاخص‌های کیفیت، مقاوم سازی، کاهش مصرف انرژی و اقتصادی بودن بتن در دستور کار قرار گیرد. سیمان مهم‌ترین جزء بتن از نظر مصرف انرژی محسوب می‌شود. با توجه به آنکه تولید سالیانه سیمان در کشور به بیش از ۷۰ میلیون تن رسیده است، سرانه سالانه مصرف سیمان در

www.SID.ir

Archive of SID

کشور نیز به بیش از ۸۰۰ کیلوگرم در حال حاضر رسیده که بر این اساس سرانه تولید بتن در ایران حداقل ۲ برابر بیشتر از سرانه متوسط جهانی آن است [1]. با این حال هنوز مقاومت فشاری بتن در ایران بیشینه ٤٠ مگاپاسکال است. این درحالیست با مصرف سیمان کیفیت بتن تغییرات زیادی نکرده است.

نوع دانه بندی می‌تواند بطور غیرمستقیم بر مقاومت، آب انداختگی، جداشدگی دانه‌ها و پرداخت سطح بتن و جایدهی آن اثر گذارد [2]. تمام اجزای بتن شامل سنگدانه ریز و درشت، سیمان، آب، پوزولان‌ها و افزودنی‌ها باید دارای نسبت مشخص برای تولید بتن توانمند باشند. این موضوع در بتن‌های پر مقاومت هنوز دارای آیین‌نامه مبسوطی نیست و طرح های اختلاط در بتن‌های پر مقاومت به صورت آیین نامه‌ای گسترش نیافته است. خزائنی و همکارانش در سال ۱۳۹۰ به بررسی تاثیر دوده سیلیس با افزایش عیار سیمان پرداختند. آنها عیارهای ۳۵۰، ٤٠٠ و ٤٥٠ کیلوگرم سیمان در یک متر مکعب بتن مورد استفاده قرار دادند و نتیجه گرفتند که دوده سیلیس می‌تواند سبب بهبود رفتار بتن با افزایش عیارسیمان شود. این پژوهش تنها جنبه استفاده از دوده‌ی سیلیس را در بتن‌های با مقاومت متوسط بررسی کرده است [4]. مورین و همکاران[1] به بررسی تاثیر فوق روان کننده بر ساختار بتن با عملکرد بالا پرداختند. یکی از نتایج این پژوهش تاثیر فوق روان کننده بر فعالیت شیمیایی بتن بوده بطوریکه افزایش مقدار آن سبب تاخیر در فعالیت شیمیایی در بتن های پرمقاومت و پر دوام خواهد شد [5].

در این راستا ۳ نوع دانه‌بندی ماسه و شن برای مقایسه تاثیر دانه‌بندی، ۳ نوع افزودنی فوق روان کننده با پایه‌های شیمیایی پلی کربوکسیلات اتر نسل جدید طبق استاندارد ASTM-C494- Type F، پلی کربوکسیلات اصلاح شده نسل سوم طبق استاندارد ASTM- C494- Type G و نفتالن سولفونات اصلاح شده طبق استاندارد ASTM- C494- Type F، میکروسیلیس با درصدهای ۵، ۷ و ۱۲، سیمان تیپ ۱ با عیار ۳٦٠ و ٤١٠ کیلوگرم در متر مکعب استفاده شده است. نسبت آب به مواد سیمانی به صورت ۰/۲۵ در تمامی طرح‌های اختلاط ثابت فرض شده است. تمامی آزمونه‌ها تحت آزمایش های مربوط به بتن تازه (آزمایش اسلامپ) و آزمایش مربوط به بتن سخت شده (مقاومت فشاری) و جذب آب قرار گرفته اند و پارامتری به عنوان فاکتور هزینه عنوان شده تا تأثیر متغیرهای مورد بررسی را به شکل مناسبی در رفتار بتن تازه و سخت شده نشان دهد. در ادامه روند چگونگی ساخت بتن و جزئیات تحقیق و آزمایش‌ها بطور کامل بحث شده است.

۲- برنامه آزمایشگاهی

برنامه آزمایشگاهی به معرفی کامل مصالح و مواد استفاده شده در بتن، جزئیات و چگونگی انجام آزمایش‌ها می‌پردازد.

۲-۱- مشخصات مصالح

۲-۱-۱- درشت دانه

درشت دانه‌های استفاده شده از نوع بادامی و نخودی طبیعی محسوب شده با بیشینه اندازه ذرات ۲۵ میلی‌متر و چگالی میله خورده آن ۱۵٤۹ کیلوگرم بر متر مکعب، با جذب رطوبت برابر با ۱/٤۵ درصد و از معادن طبیعی استان کرمانشاه است. در شکل (۱)، منحنی‌های دانه‌بندی شن، مطابق با ASTM-C33 نشان داده شده است. شایان ذکر است که سنگدانه‌ها روی الک‌های استاندارد دانه‌بندی شده‌اند به طوریکه درصد استفاده شده از هر نمره الک در نمودارهای R.CA و R.5%-#8-CA تقریبا حد کمینه (زبرترین حالت)، منحنی Moderate-CA تقریبا میانگین حد بالا و پایین دانه-بندی استاندارد ASTM-C33 بوده است. تفاوت منحنی‌های دانه‌بندی شن خشن و شن خشن با ۵ درصد ریزدانه ۲/۳٦ میلی‌متر در این است که منحنی شن خشن با ۵٪ ریزدانه ۲/۳٦ میلی‌متر دارای ۵ درصد دانه‌های مانده روی الک نمره ۸ است.

درصد وزنی مصالح سنگی درشت دانه مانده روی الک های استاندارد برای اطلاع دقیق از نمودار دانه‌بندی شن، در جدول (۱) نشان داده شده است.

1 Morin V ET. Al.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل(۱) منحنی‌های دانه بندی مصالح درشت دانه

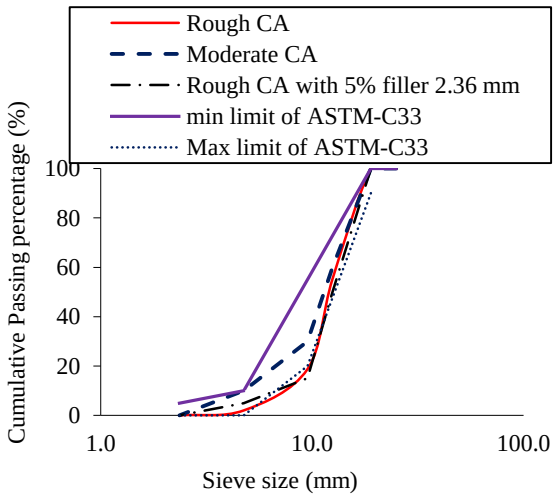

Fig. 1. Coarse aggregate grading curves

جدول ۱. درصد مانده وزنی روی الک ها برای انواع دانه‌بندی شن

Sieves type	Rough coarse Agg.	Moderate coarse Agg.	Coarse Aggregate with 5% Filler size of 2.36 mm
1/2"	44.66	40	50
3/8"	36.67	30	35
#4	16.67	20	10
#8	0.0	10	5

Table 1. Remain percentage weights on sieves for different types of grading coarse aggregate

۲-۱-۲- ریز دانه

ریزدانه مصرفی نیز به صورت ماسه شسته و از معادن طبیعی استان کرمانشاه است. بیشینه اندازه دانه ماسه برابر ٤/٧٥ میلی‌متر و بیشینه چگالی آن برابر ۲/٦ تن بر متر مکعب است. در شکل (۲)، منحنی اول از سمت راست، حد کمینه (ماسه خشن)، منحنی دوم به صورت میانگین حد کمینه و بیشینه (ماسه حد وسط) و منحنی سوم حد بیشینه (ماسه نرم) طبق حدود مجاز منحنی دانه بندی استاندارد ASTM-C33 است. همچنین درصد وزنی مصالح مانده روی الک‌های استاندارد در جدول (۲) نشان داده شده است. سه مدول نرمی به صورت ۳/٤٤ خشن‌ترین دانه‌بندی، ۲/۹ حالت حد وسط و ۲/۲۵ نرم ترین دانه‌بندی است.

۲-۲- فیلر

مصالح سنگی ریزدانه دارای ابعاد ۱/۱۸ میلی‌متر و ٦۰۰ میکرومتر در این پژوهش فیلر نامیده شده است.

شکل ۲. منحنی‌های دانه‌بندی مصالح ریزدانه

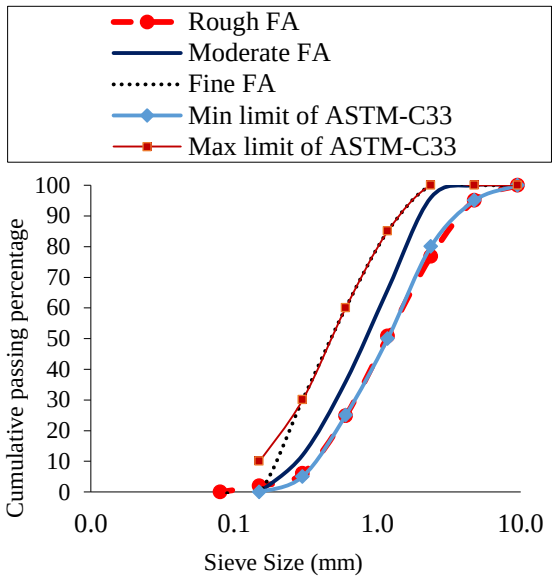

Fig. 2. Fine Aggregate grading curves

جدول ۲. درصد مانده وزنی روی الک‌ها برای انواع دانه‌بندی ماسه

Sieve size	Rough FA	Moderate FA	Fine FA
4	4.40	0.0	0.0
8	18.8	4	0.0
16	26	30	15
30	26	30	25
50	18.8	24	30
100	4	12	30
F.M	3.44	2.9	2.25

Table 2. Remain percentage weights on sieves for different Fine Aggregate

۲-۳- سیمان

نمونه‌های بتنی با استفاده از سیمان پرتلند معمولی تیپ ۱-٤۲۵ ساخته شده اند که آنالیز شیمیایی و فیزیکی آن در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳. آنالیز شیمیایی و فیزیکی سیمان پرتلند تیپ I صنایع سیمان سامان

Vicat(min)	Blaine (cm2/gr)	Free CaO	Insoluble Residue	SO3	L.O.I	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SiO2
135-255	3384	0.62	0.28	2 .01	0.57	4.98	4.02	64.18	2.74%	21.36

Table 3. Chemical and physical properties of portland cement type 1

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۴- فوق روان‌کننده

۳ نوع افزودنی کاهنده‌ی آب استفاده شده است. ویژگی-های فیزیکی و شیمیایی، مطابق با استاندارد در جدول (٤) نشان داده شده است.

جدول ٤. مشخصات فیزیکی، شیمیایی و رده‌ی استاندارد افزودنی‌های مورد استفاده در آزمایش

Standard level [24]	Chemical combination	Short sign
Type-F	Polycarboxilate ether reformed co-polymer	SP-T.F-Ether
Type-G	Polycarboxilate Acid reformed co-polymer	SP-T.G-Acid
Type-F	Reformed sodium naphthalene solfonate	SP-T.F-Solfonate

Table 4. Physical, chemical and standard level of Superplasticizer used in tests

۲-۵- میکروسیلیس

در طرح های اختلاط از میکروسیلیس ازنا استفاده شده و مشخصات در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول ۵. آنالیز شیمیایی و فیزیکی میکروسیلیس

Specific density	Blaine (m2/kg)	SO 3	Al2 O3	Fe2 O3	Ca O	Mg O	SiO 2
2.22	34000	1.3	0.9	0.1	1	0.5	96 %

Table 5. Chemical and physical analysis of micro silica

۲-۶- جزئیات و پارامترهای پروژه

تعداد بیست طرح اختلاط بتن که در ٦ بخش گروه‌بندی شده، مطابق با جدول (٦) تهیه شده است. در کلیه این طرح‌ها نسبت آب به مواد سیمانی برابر ۰/۲۵ فرض شده است. ۵ متغیر اصلی این مقاله شامل درصدهای مختلف میکروسیلیس در عیار مواد سیمانی متفاوت، افزایش عیار مواد سیمانی با نسبت آب به سیمان ثابت، تاثیر انواع دانه‌بندی‌ها، بررسی انواع فوق روان‌ساز با رده‌های مختلف و تاثیر ریزدانه‌های پرکننده است.

گروه اول در این آزمایش‌ها برای بررسی درصدهای مختلف جایگزینی میکروسیلیس دربتن با عیار سیمان برابر با ۳٦۰ کیلوگرم بر متر مکعب است. شایان ذکر است که گروه دوم نیز مانند گروه اول بوده با این تفاوت که میزان عیار سیمان ٤۱۰ کیلوگرم در متر مکعب افزایش یافته است.

گروه سوم شامل سه طرح برای بررسی مقدار عیار سیمان بر خواص مکانیکی و دوام بتن همراه با مقدار میکروسیلیس ثابت ۵٪ است. هدف از این گروه بررسی افزایش مقدار عیار سیمان با درنظر گرفتن نسبت آب به سیمان ثابت در بتن‌های پرمقاومت بوده به گونه‌ای که حد بهینه استفاده از مواد سیمانی مشخص شود. دلیل استفاده از ۵٪ میکروسیلیس این بوده است مقدار ۵٪ حالت بهینه است.

گروه چهارم شامل ٤ طرح برای بررسی تاثیر دانه‌بندی سنگدانه‌های درشت و ریزدانه بر خواص بتن بوده به طوریکه از سه نوع دانه بندی زبر، متوسط و نرم استفاده شده است. جزئیات طرح‌های اجزای گروه چهارم در جدول (۷) نشان داده شده است. گروه پنجم شامل سه طرح با اجزای یکسان بوده و تنها تفاوت آن‌ها در نوع افزودنی فوق یا ابر روان کننده استفاده شده است. در بتن‌های توانمند به دلیل آنکه نسبت آب به سیمان بسیار پایین بوده باید از افزودنی‌های نوع F و G برای دستیابی به کارایی متوسط استفاده نمود [7,8]. بر این اساس دو رده‌ی شدید (F) با پایه‌های پلی کربوکسیلات اتر و سدیم نفتالن سولفونات و بسیار شدید (G) تقلیل دهنده‌های آب نسل جدید بکار رفته است.

گروه ششم شامل دو طرح اختلاط برای بررسی تاثیر میزان فیلر بر مشخصات بتن پرمقاومت حاوی میکروسیلیس است. شایان ذکر است برای افزایش دقت در بررسی مواد پرکننده در بتن‌های توانمند از مصالح سنگی ریزدانه با ابعاد ۱/۱۸ میلی‌متر (الک نمره ١٦) و ٦۰۰ میکرومتر (الک نمره ۳۰) استفاده شده است.

۲-۷- تهیه نمونه‌ها

برای تهیه بتن از یک میکسر ٦۰ لیتری با سرعت ۲۵ دور در دقیقه مطابق شکل (۳) استفاده شده و آزمونه‌ها در قالب‌های نمونه‌های مکعبی در ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متر در سه لایه ریخته و طبق استاندارد ASTM-C31 متراکم شده و ساخته شده-اند و به منظور عمل آوری مرطوب در حوضچه با دمای ۲±۲۲ درجه سانتی گراد تا رسیدن به سن مورد نظر برای آزمایش قرار گرفته‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۳. تخلیه، تعیین اسلامپ و متراکم کردن بتن تازه

Fig. 3. Evacuation, Slump test and Molding of fresh concrete

۳- آزمایش‌ها

آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش شامل مقاومت فشاری به صورت میانگین سه آزمونه‌ی مکعبی با ابعاد ۱۵×۱۵×۱۵ سانتی‌متر در سنین ۳، ۷، ۱٤ و ۲۸ روزه به عنوان معیار اصلی خواص مکانیکی بتن و جذب آب ۲٤ ساعته روی نمونه‌ی مکعبی با ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متر به عنوان معیاری از دوام بتن در سن ۲۸ روزه صورت گرفته است.

٤- اقتصاد طرح

در این مطالعه با استفاده از رابطه‌ی ۱ فاکتور اقتصادی بودن یک طرح اختلاط بتن بدست آمده است [3].

$$p_c = \frac{1}{1\times 10^{5}} \times (\alpha_1 C + \alpha_2 SP + \alpha_3 A + \alpha_4 S + \alpha_5 PZ) \quad (۱)$$

در رابطه (۱) ضرایب α_i نشان دهنده‌ی مقدار هزینه‌ی یک کیلوگرم از نوع ماده به تومان و سایر پارامترها نوع اجزای بکار رفته در بتن بر حسب کیلوگرم در متر مکعب بوده که شرح آن در جدول (۸) نشان داده شده است.

جدول ٦. طرح‌های اختلاط و مشخصات بتن تازه بر اساس ACI

Groups	Mix names	CA (kg/m3)	FA (kg/m3)	Filler remains on sieve no. 16 (kg/m3)	Filler remains on sieve no. 30 (kg/m3)	Binder (C+MS) (kg/m3)	MS (% of Binder)	SP (% of Binder) (Type-used %)[1]	Water (kg/m3)	Slump (cm)
1st	C360-OPC	1100	852.6	-	50	360	-	P10-3R- 1%	90	19
	C360-5MS	1100	852.6	-	50	360	5%	P10-3R-1.15%	90	18
	C360-7MS	1100	852.6	-	50	360	7%	P10-3R-1.15%	90	15
	C360-12MS	1100	852.6	-	50	360	12%	P10-3R-1.15%	90	11
2nd	C410-OPC	1060	893	-	50	410	-	P10-3R-1.17%	103	16
	C410-5MS	1060	893	-	50	410	5%	P10-3R-1.17	103	15.5
	C410-7MS	1060	893	-	50	410	7%	P10-3R-1.17%	103	12
	C410-12MS	1060	893	-	50	410	12%	P10-3R-1.17%	103	8.5
3rd	C375	1060	893	50	50	375	5%	P10N-1.22%	93.75	9
	C400	1060	893	50	50	400	5%	P10N-1.24%	100	9.5
	C425	1060	893	50	50	425	5%	P10N-1.29%	106.25	9
4th	R.CA-F.FA	1025	928	-	50	410	5%	P10N-1.15%	103	18
	M.CA-R.FA	1025	928	-	50	410	5%	P10N-2.3%	103	10.5
	R.5%-#8-CA -R.FA	1025	928	-	50	410	5%	P10N-2.7%	103	22.5
	R.5%-#8-CA -M.FA	1025	928	-	50	410	5%	P10N-1.63%	103	17.5
5th	SP-T.G-Acid	1070	883	50	50	410	5%	P10-3R-1.15%	103	11
	SP-T.F-Ether	1070	883	50	50	410	5%	P10N-1.24%	103	16
	SP-T.F-Solphonate	1070	883	50	50	410	5%	M20-2.7%	103	22.5
6th	No-Filler	1026	810	-	-	410	5%	M20-1.09%	103	22
	Add-Filler	1026	810	100	100	410	5%	M20-1.1%	103	20.5

Table 6. Mix designs, materials content and fresh properties according to ACI

۱ درصد استفاده شده بر حسب سیمان در متر مکعب محاسبه شده است. به عنوان نمونه ۱/۳۵ ٪ روان کننده یعنی به میزان ۱/۳۵٪ از عیار مواد سیمانی در هر متر مکعب بتن باید روان کننده اضافه شود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷. جزئیات دانه‌بندی شن و ماسه استفاده شده در گروه چهارم برای بررسی تاثیر نوع دانه‌بندی در بتن

Mix design name	Coarse Aggregate groups	Type of grading	Fine Aggregate groups	Type of grading
R.CA-F.FA	R.CA	Rough	F-FA	Fine
M.CA-R.FA	M-CA	Moderate	R-FA	Rough
R.5%-#8-CA -R.FA	R.5%-#8-CA	Rough	R-FA	Rough
R.5%-#8-CA -M.FA	R.5%-#8-CA	Rough	M-FA	Moderate

Table 7. Aggregate content properties of CA and FA used in 4th group

جدول ۸. ضرایب و پارامترهای رابطه ۱ [3]

Content type (kg/m3)	Abbreviation sign in Eq. 1	Coeficients (Tomans per kg)
Cement amount	C	α_1 =125
Superplaticizer amount	SP	α_2 =7300 (P10N,P10-3R) α_2 =6500 (M20)
Coarse Agg. amount	A	α_3 =14
Fine Agg. amount	S	α_4 =18
Micro silica amount	PZ	α_5 =900

Table 8. Parameters and coefficient of equation 1 **[3]**

۵- بررسی نتایج و بحث‌های پیرامونی

نتایج بدست آمده در سه بخش به شرح ذیل بررسی و مقایسه شده اند.

۵-۱- بررسی نتایج فاکتور هزینه

فاکتور هزینه برای کلیه طرح‌ها محاسبه شده و نتایج آن در شکل (٤) نشان داده شده است. با توجه به نتایج این شکل می‌توان برداشت نمود که در گروه اول و دوم افزایش میکروسیلیس سبب افزایش فاکتور هزینه شده است. در شکل (۵) درصد افزایش میکروسیلیس در بتن‌های پر مقاومت با عیار ۳٦۰ و ٤۱۰ نشان داده شده است. می‌توان مشاهده نمود که سیر صعودی هزینه در گروه اول خطی بوده و نسبتا ملایم است اما در گروه دوم سیر صعودی افزایش هزینه با شیب تندی بوده که این مساله میزان اهمیت عیار مواد سیمانی را در بتن‌های پرمقاومت مشخص می‌سازد. در گروه سوم میزان تاثیر فوق روان کننده بسیار زیاد بوده در حالیکه دانه‌بندی هزینه اضافی ایجاد نکرده است. در گروه پنجم سه نوع افزودنی با قیمت متفاوت استفاده شده است به گونه‌ای که تاثیر چندانی بر فاکتور هزینه نداشته است.

۵-۲- مقاومت فشاری نمونه‌ها

نتایج آزمون مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی در سنین ۳، ۷، ١٤ و ۲۸ روزه در شکل‌های (٦ الی ۱۱) که مربوط به گروه‌های ۱ الی ٦ بوده، با یکدیگر مقایسه شده است.

شکل ٤. میزان فاکتور هزینه‌ی بدست آمده برای کلیه گروه‌های طرح اختلاط

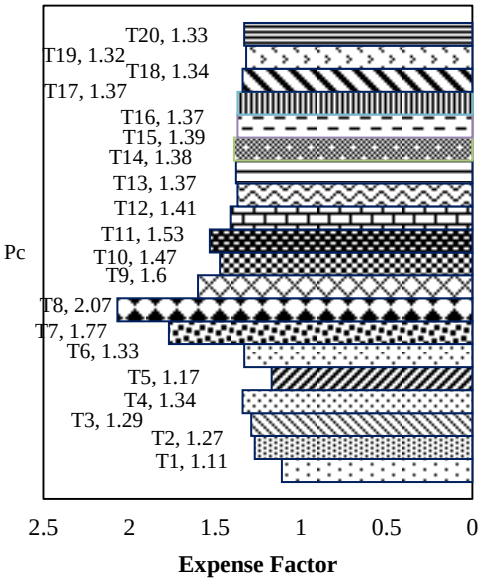

Fig. 4. Results of expense factor amount in all mixes

شکل ۵. نمودار تاثیر فاکتور هزینه بر حسب افزایش درصد میکروسیلیس در گروه‌های اول و دوم به ترتیب با عیارهای ۳٦۰ و ٤۱۰

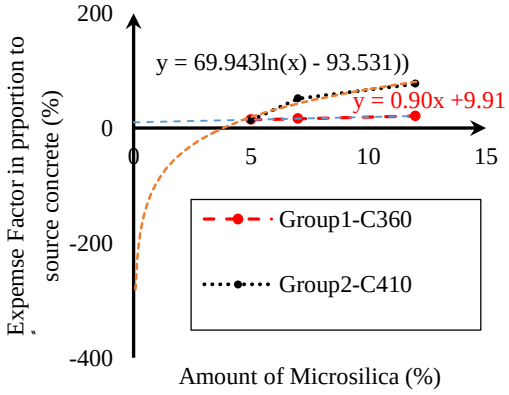

Fig. 5. Effect of expense factor versus enhancing MS percent in 1st and 2nd groups with 360 and 410 kg cement used

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ٦. مقاومت فشاری نمونه‌ها در گروه ۱ در روزهای مختلف

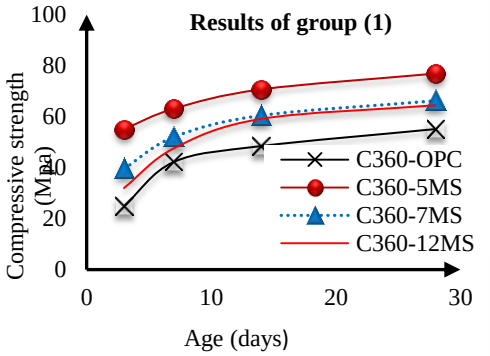

Fig. 6. Compressive strength of samples in group 1 at different ages

شکل ۷. مقاومت فشاری نمونه‌ها در گروه ۲ در روزهای مختلف

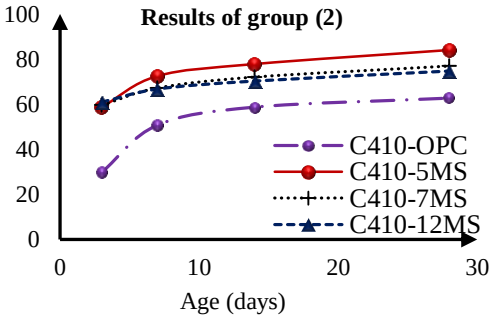

Fig. 7. Compressive strength of samples in group 2 at different ages

شکل ۸. مقاومت فشاری نمونه‌ها در گروه ۳ در روزهای مختلف

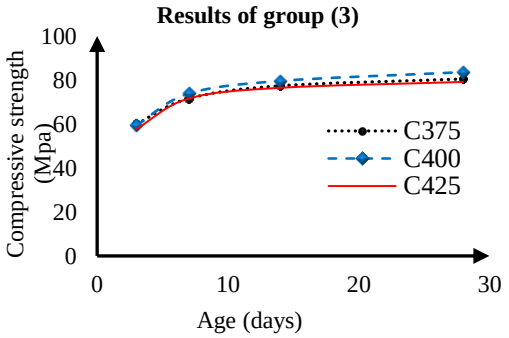

Fig. 8. Compressive strength of samples in group 3 at different ages

شکل ۹. مقاومت فشاری نمونه‌ها در گروه ٤ در روزهای مختلف

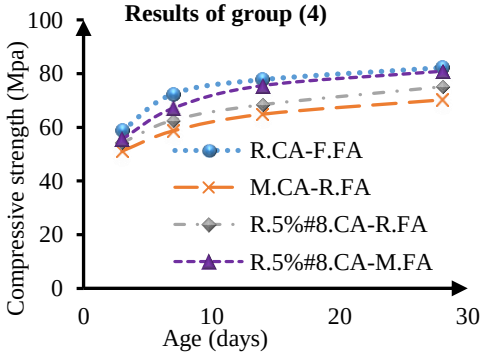

Fig. 9. Compressive strength of samples in group 4 at different ages

شکل ۱۰. مقاومت فشاری نمونه‌ها در گروه ۵ در روزهای مختلف

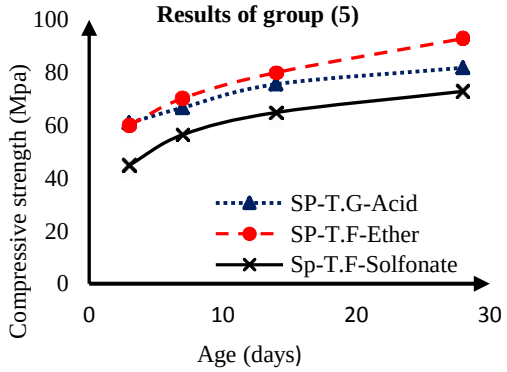

Fig. 10. Compressive strength of samples in group 5 at different ages

شکل ۱۱. مقاومت فشاری نمونه‌ها در گروه ٦ در روزهای مختلف

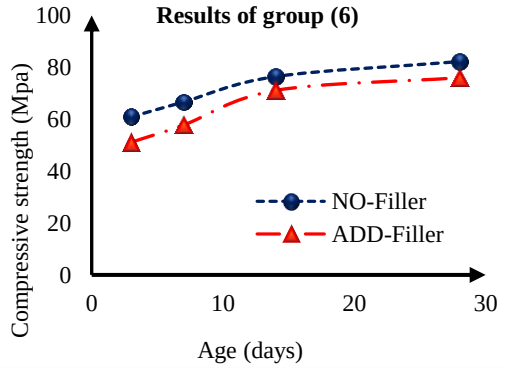

Fig. 11. Compressive strength of samples in group 6 at different ages

در گروه ۱ بهترین نتیجه مربوط به افزودن ۵٪ میکروسیلیس بوده و روند کسب مقاومت فشاری با شیب ملایم‌تری طی شده است. در گروه ۲ بهترین نتیجه همانند گروه ۱، مربوط به افزودن ۵٪ میکروسیلیس بوده اما روند کسب مقاومت فشاری با شیب تندتری نسبت به طرح های دیگر طی شده است.

گروه سوم از طرح‌های اختلاط برای مقایسه تاثیر عیارهای ۳۷۵، ٤۰۰ و ٤۲۵ بر مقدار مقاومت فشاری تهیه شد که با توجه به شکل (۸) نتایج گروه سوم نشان دهنده این است که حد بهینه بازه‌ی انتخاب شده، عیار ٤۰۰ بوده بطوریکه مقاومت فشاری بدست آمده در سن ۲۸ روزه برابر با ۸٤ مگاپاسکال بوده است.

خزائنی و همکاران [4] نیز نتیجه گرفتند که بتن‌های حاوی دوده سیلیس با عیار ٤۰۰ دارای بهترین عملکرد از نظر مقاومتی هستند. در شکل (۱۲) که شامل نتایج تحقیق حاضر و تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

خزائنی و همکارانش بوده، روند نتایج به یکدیگر نزدیک بوده است. با بررسی شکل (۱۲) می‌توان برداشت نمود که در بتن-های پرمقاومت افزایش عیار از ۳۷۵ به ٤۰۰ کیلوگرم در متر مکعب بتن می‌تواند سیری صعودی در مقاومت فشاری به همراه داشته باشد، اما استفاده از عیار بیشتر از ٤۰۰ کیلوگرم سبب نزول مقاوت فشاری شده است این نتیجه گیری شبیه به آنچه است که یایگیتر۱ در مطالعات سال ۲۰۰۷ نتیجه گرفته است [6].

مقایسه دانه‌بندی سنگدانه ها در گروه ٤ از طرح‌های اختلاط صورت پذیرفت و نتایج نشان دهنده آن است که به ترتیب R.CA-F.FA، R.5%#8.CA-M.FA، R.5%#8.CA-R.FA و M.CA-R.FA دارای بیشترین مقاومت فشاری بوده‌اند. در واقع دانه‌بندی شن نوع R.CA و دانه‌بندی ماسه نوع F.FA بهترین نتیجه از نظر مقاومتی داشته است. دلیل این امر این است که دانه بندی اولا پیوسته‌تر بوده و حفرهای خالی را پر می‌کند.

شکل ۱۲. مقاومت فشاری بتن مرجع و بتن حاوی میکروسیلیس با درصدهای ۵، ۷ و ۱۲ در سنین ۳ و ۲۸ روزه

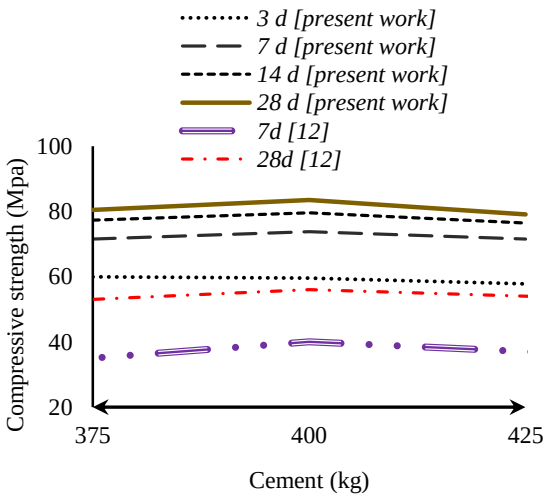

Fig. 12. Compressive strength of source concrete and concrete containing 5, 7 & 12 percent micro silica in 3 and 28 days

برای مقایسه ۳ نوع افزودنی ابر روان کننده گروه پنجم آزمایش شد. نتایج نشان دهنده‌ی آن است که به ترتیب فوق روان کننده‌های P10N، P10-3R و M20 مناسب‌ترین عملکرد را در افزایش مقاومت فشاری به همراه داشته است. طرح SP-T.F-ETHER در سن ۲۸ روزه با مقاومت ۹۳ مگاپاسکال نشان داد که در شرایط یکسان و تنها با متغیر قرار دادن نوع افزودنی، می‌توان نتیجه گرفت که افزودنی P10N از رده F با بهره‌گیری از کوپلیمرهای اصلاح شده با ساختاری پلی‌کربوکسیلاتی–اتر دارای واکنش مناسبی با میکروسیلیس بوده به نحوی که پلیمرهای موجود در آن دارای تناسب بوده است.

در گروه ششم از طرح‌های اختلاط به مقایسه و بررسی تاثیر افزودن فیلر بر بتن پرمقاومت پرداخته شده است. نتایج این گروه نشان می‌دهد که افزودن فیلر سبب کاهش مقاومت فشاری به میزان ۸/۲ درصد شده است.

۵-۳ جذب آب بتن

جذب آب گروه‌های طرح اختلاط در شکل (۱۳) نشان داده شده است. همان‌طور که از این نمودار مشخص است، کمترین جذب آب‌ها در گروه‌های ۱ تا ٦ به ترتیب برابر با ۰/۹۲ ٪، ۰/۸۱ ٪، ۰/۸۹ ٪، ۰/۸۲ ٪، ۰/٦ ٪ و ۰/۸٦ ٪ بوده است. در این میان طرح SP-T.F-Ether دارای کمترین جذب آب بوده، بنابراین می‌توان گفت که این طرح دارای بیشترین دوام بطور نسبی است. از طرف دیگر در گروه یک طرح C360-5MS با ۵ درصد میکروسیلیس دارای کمترین جذب آب است. پس میکروسیلیس ۵٪ می‌تواند به عنوان درصد بهینه برای افزایش دوام بتن‌های پرمقاومت در نظر گرفته شود. گروه دوم نیز مانند گروه اول بوده و افزودن ۵ درصد میکروسیلیس سبب پایین‌ترین جذب آب به میزان ۰/۸۱ درصد شده است.

در گروه سوم عیار ٤۰۰ به عنوان بهینه‌ترین سبب کمترین جذب آب شده است. در گروه چهارم دانه‌بندی شن نوع R.5%#8.CA و ماسه با دانه‌بندی نوع M.FA کمترین جذب آب را داشته است. بنابراین دانه‌بندی ماسه در حالت وسط نقش موثری در دوام جذب آب بتن داشته است. از نقطه نظر مقایسه میان افزودنی‌ها در گروه پنجم طرح SP-T.F-ETHER با بهره‌گیری از ابر روان کننده P10N پایین ترین درصد جذب آب بدست آمده است. این مورد بدلیل اصلاح

1 Yegiter

www.SID.ir

Archive of SID

پلیمرهای این افزودنی و واکنش مناسب آن با بتن‌های پرمقاومت این پژوهش بوده است. با افزودن فیلر به دانه‌بندی سنگدانه از میزان جذب آب کاسته می شود. این امر سبب افزایش دوام بتن شده است.

شکل (۱۳) جذب آب ۲٤ ساعته در سن ۲۸ روزه

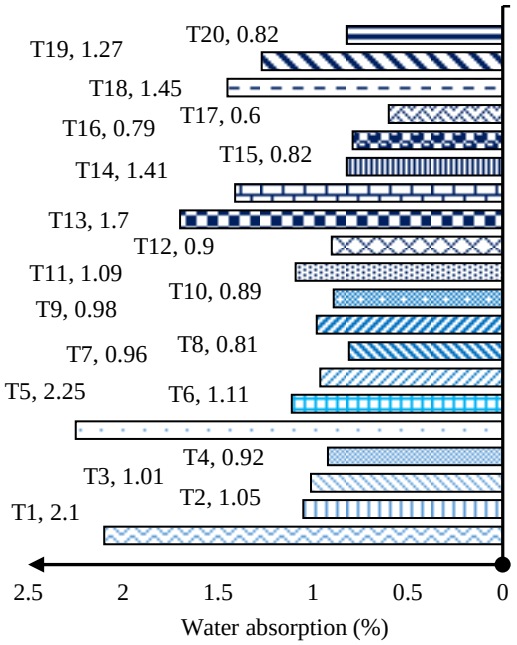

Fig. 13. Water absorption; 24 hours in age of 28 days

٦- نتیجه گیری

در این پژوهش آزمایشگاهی با بررسی وضعیت متغیرهای درصد میکروسیلیس، عیار سیمان، نوع فوق روان کننده، دانه-بندی طرح‌ها و فیلر و با توجه به نتایج منحنی‌های مقاومت فشاری، جذب آب و همچنین با بررسی وضعیت بتن تازه، سخت شده و کارایی بتن نتایج زیر حاصل شده است:

- دانه‌بندی‌های شن نوع R.CA و دانه بندی ماسه نوع F.FA بهترین نتیجه از نظر مقاومت فشاری را داشته‌اند.
- دانه‌بندی ماسه در حالت وسط نقش موثری در دوام بتن داشته است. بنابراین ریزدانه در مقدار دوام بتن می تواند تاثیر گذار باشد.
- عیارهای ۳٦۰ و ٤۱۰ دو عدد عیار متداول در ساخت بتن به شمار می رود. جایگزینی ۵٪ وزنی میکروسیلیس بهینه ترین حالت بوده و سبب بیشترین مقاومت فشاری، کمترین جذب آب شده است.
- نوع دانه‌بندی در میزان فاکتور هزینه چندان تاثیر گذار نیست.
- حد بهینه عیار سیمان، ٤۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب بوده که باعث بیشترین مقاومت فشاری، بالاترین دوام و کمترین فاکتور هزینه به ازای ثابت فرض شدن سایر اجزای بتن در طرح اختلاط شده است.
- در میان سه نوع افزودنی مورد استفاده، فوق روان کننده با پایه پلی کربوکسیلات اتر در طرح اختلاط‌های صورت گرفته بهترین عملکرد را دارا بوده است بطوریکه دارای بیشترین مقاومت فشاری و کمترین جذب آب بوده و از نظر فاکتور هزینه نیز مناسب بوده زیرا به میزان کمتری نسبت به فوق روان کننده ی سدیم نفتالن که دارای قیمت کمتری بوده، استفاده شده است.
- افزودن فیلر سبب کاهش جذب آب شده اما در مقاومت فشاری بتن تاثیر مثبتی نداشته بطوریکه سبب کاهش مقاومت فشاری نسبت به بتن مرجع به میزان ۸/۲ درصد شده است.

۷- مراجع

References

[1] Overview document of 1404 concrete, ministry of way and urbanism, central research of way, housing and urbanism. (In Persian)
[2] H. Beshr, A.A. Almusallam and M. Maslehuddin. (2003), Effect of coarse aggregate quality on the mechanical properties of high strength concrete. Cement and Concrete Research
[3] Fourth period of tournament code of high strength economical and executive concrete with cooperation of construction materials institude of Tehran University (In Persian).
[4] Khazaenei, G., Khanzadi, M., Tadayon, M., (1390). "Effect of nanosilica on mechanical properties improvement of concrete with enhancing cement quantity". Transportation journal, year 8, No. 1, pp 11-20. (In Persian)
[5] Morin V, Tenoudji FC, Feylessoufi A, Richard P. Superplasticizer effects on setting and structuration mechanisms of ultrahigh-performance concrete. Cem. Concr. Res 2001; Vol. 31, PP. 63–71. .
[6] Yegiter, H. and Yezici, H. (2007) "Effect of cement type, water/cement ratio and cement content on sea water resistance of concrete", Building and Environment, Vol. 42, pp.1770–1776.
[7] ASTM C494-82
[8] Li, H., Zhang, M. and Ou, J. (2004) "A Study on mechanical and pressure- sensitive properties of cement mortar with nano phase materials", Cement and

www.SID.ir

Archive of SID

Concrete Research, Vol. 34, pp. 435-438.
[9] Ji T. (2005). "Preliminary study on the water permeability and microstructure of concrete incorporating nanosilica", Cement and Concrete Research, No. 35, pp. 1943-1947.
[10] Barari, S., Abbasi, S. and AH. Akhaveissy, (1392) "Effect of graining of materials on compressive strength of concrete" national conference of civil engineering and new discovery, Karaj. (In Persian).
[11] Abbasi, Shahab. (1393) "Effect of natural zeolite of Semnan on compressive strength of high strength concrete". MSc thesis, management and construction engineering, Islamic Azad University of shooshtar branch. (In Persian)
[12] Holand, T. C., (1391). "Using micro silica in concrete guide, Fourth edition, Ramazanianpour A. A. and Erabi, N., translation, Negarandeh Danesh press, Tehran, Iran. (In Persian)
[13] BS: 1881: part 116, “Methods for determination of compressive strength of concrete cubes”, British Standard Institution, 1983.
[14] ASTM C 642-97, “Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete”, Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 1997.
[15] R. Yu, P. Spiesz, H.J.H. Brouwers (2014) "Effect of nano-silica on the hydration and microstructure development of Ultra-High Performance Concrete (UHPC) with a low binder amount". Construction and Building Materials; 65: PP 140-150.

www.SID.ir

Archive of SID

Laboratory Study of Factors Affecting the Mechanical Properties and Durability of High Performance Concrete with the Economic Approach

S. Barari[1*], S. Abbasi[2], M. M. Adeli[3], M. Chini[4]

1- M.Sc. of Civil Structure Eng. Dept. of civil Eng., Faculty of Technical and Eng., Razi University
2- M.Sc. of Civil Engineering and Construction Management, Islamic Azad university, shooshtar branch, shooshtar, Iran.
3- Associated professor of Islamic Azad Uni, shooshtar branch, shooshtar, Iran
4- P.H.D of civil engineering, Construction Material Institute of Tehran University, Tehran, Iran

***s.barari.razi.university@gmail.com**

Abstract:

The most important aims in Concrete-1404 are compressive strength more than 50 Mpa, quality and durability. These items seems to ignore before that in Iran. The high strength concrete production always needs to use suitable materials, attention to mix design, optimizing cement percentage and other component in concrete. For reaching to a trustable mix designs and aspects of high strength concrete, it needs to be evaluated by a complete investigation which can provide all three aspects of strength, workability and durability of a 1404-concrete. In this paper, cubic concrete samples are made in a way which is affected by 5 variables. These 5 Effective ranges are included: 1) Three different types of coarse and fine aggregate gradation curves which are made of finnest through roughest grading of aggregates according to ASTM C33. 2) Three types of high water reducers used in exact same mix design to compare the effects of these 3 different kind of superplasticizers on high strength concrete. These three type are grade F with polycarboxilate-ether based, grade F with sodium naphthalene solphonate based and grade G as a super high water reducer admixture. 3) Effects micro silica with 5, 7 and 12 percentage of total cement amount are added to compare the results on high strength concrete. 360 and 410 kg cement per m3 are used in source concrete mixtures as the regular using amount in practical projects in Iran. 4) The effect of cement content, with fixed w/c and 5% micro silica, which are between 375 through 425 kg/m3. And 5) the effects of adding filler which are thoroughly investigated on mechanical properties, durability and economy plan. There are 20 mix design in 6 groups are prepared with total cementitious materials from 360 to 425 kg/m3. To compare the results, in these experiments the water cement ratio has been fixed to 0.25. The tests used in experiments were compressive strength test by 3000 KN hydraulic compressor and 24 hours water absorption test. The mechanical and durability properties are recognized by these tests. For evaluating fresh concrete properties, slump test was done. Economical aspect is studied and compared by comparing price of materials and content that are used in each mixture. The results show that the variables were impressively affected the compressive strength in high strength concrete. Using optimum conditions of the studied mixture design can improve the mechanical properties of concrete. By optimizing components in mixture design, high strength concrete can be made even with cement content of 400 kg per cubic meter. The 360 and 410 kg cement with adding 5% micro silica showed the best improving in compressive strength. Enhancing cement more than 400 kg results to decrease compressive strength. High water reducers with polycarboxilate ether based show better results in mechanical and fresh concrete properties and also in economical aspect. Adding filler to mixture led to decrease compressive strength and increase durability, however it had no effects on economical properties of high strength concrete. It can be concluded that aggregate grading can still lead to changes in compressive strength, durability and workability of HSC.

Keywords: HSC, grading of aggregate, superplasticizer, Microsilica, compressive strength

www.SID.ir