

بررسی خواص رئولوژیکی بتن خودتراکم تازه با استفاده از میکروسیلیس، متاکائولن و پودر سنگ آهک کد مقاله : 200c

دانیال بینش برهمند^۱، رحمت مدن دوست^۲

۱- کارشناسی ارشد عمران - سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر ۲- دانشیار دانشکده

فنی دانشگاه گیلان، رشت، ایران

Danial.Binesh@gmail.com

شماره تماس : 09113351239

شماره عضویت: ۳۷۹۳-۹۳-۱

چکیده

در این مطالعه تاثیر میکروسیلیس، متاکائولن و پودر سنگ آهک بر روی خواص بتن تازه خودتراکم با هدف بررسی امکان تامین استاندارد های رئولوژیکی بتن خودتراکم مورد بررسی قرار گرفته است. مواد پودری فوق با در صد های ۱۰ تا ۱۵ جایگزین سیمان در بتن خودتراکم استفاده شدند. نسبت آب به سیمان در همه طرحها ثابت و برابر ۰.۳۸ بود. از فوق روان کننده برای تامین شرایط رئولوژیکی در محدوده مجاز استفاده شد. برای کنترل کیفی بتن از آزمایشهای رایج بتن تازه شامل قیف وی، جریان اسلامپ و جعبه ال شکل بهره گرفته شد. خواص بتن خودتراکم تازه حاوی مواد پودری مزبور با بتن خودتراکم معمولی مقایسه گردید. نتایج نشان میدهد که با جایگزینی ۱۰ درصد پودر سنگ آهک به جریان اسلامپ بالاتر و کارایی بالاتر در بین طرحهای موجود میرسیم. طرح حاوی ۱۵ درصد متاکائولن بالاترین عدد قیف وی را دارا میباشد که نشان از لزجت خمیری بالای آن میباشد. بتن کنترل با عدد ال باکس ۰.۹۳ بالاترین قابلیت گذر دهی را دارا میباشد. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که بتن خودتراکم حاوی مواد پودری فوق می تواند در بسیاری از موارد کاربردی علی الخصوص ستونها و دیوارها استفاده شود.

واژه های کلیدی: بتن خودتراکم، میکروسیلیس، متاکائولن، پودر سنگ آهک

Abstract

The effect of fillers such as Silica fume(SF), Metakaolin(MK) and Lime stone powder(LP) on the properties of fresh concrete was examined in this study to satisfy the rheological standards of the self compacting concrete (SCC). SCC mixtures were prepared by inclusion various amounts of SF, MK and LP (10 to 15 by weight of cement). The water to binder ratio is maintained at 0.38 for all mixtures. HRWR was used to enhance the flowability of the mixtures. The fresh properties were investigated by slump flow, T50, V-funnel and L-box. The properties of SCCs containing fillers were compared to control concrete. The fresh concrete test results revealed that by substituting 10 percent of LP in SCC, satisfactory workability and rheological properties can be achieved. The mix design containing 15 percent of MK has the highest V-funnel on test results that shows its highest viscosity. The control mix has the highest blocking ratio. Results of this study also show that SCC with this fillers can practically be used in many normal applications such as walls and columns.

Keywords: self compacting concrete, Silica fume, Metakaolin, Limestone powder

1. مقدمه:

بتن خودتراکم، یک نوع بتن جدید با کارایی بالا با مقاومت در برابر جدایش و تغییر شکل پذیری بالا است. بتن خود تراکم برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ بمنظور دستیابی به سازه‌های بتنی بادوام مورد استفاده قرار گرفت. از این بتن می‌توان در محلهای با تراکم زیاد آرماتور که ویرنه کردن بتنهای سنتی در این ناحیه مشکل است، استفاده کرد که در نتیجه آن شاهد کیفیت بالای محصول نهایی خواهیم بود. و از طرفی کاربرد بتن با مقاومت بالا در سازه‌ها موجب کاهش سطح مقطع اعضا و افزایش فضای مفید بیشتر در طرحهای معماری می‌شود، اما همانگونه که می‌دانیم با افزایش مقاومت بتن، سازه دارای شکست تردتری می‌شود. در این حالت کاربرد بتن خود تراکم که مقاومت قابل قبولی دارد پیشنهاد می‌شود که در این حالت مقادیر خیز و عرض ترک خوردگی بتن تا مرحله سرویس پایین تر از مقادیر مجاز و کمتر از بتن معمولی می‌باشد. بتن خود تراکم برای کاربردهای بتن ریزی در محل و کارهای پیش ساخته می‌تواند استفاده شود [1].

رفتار رئولوژیکی بتن تازه خودتراکم و مکانیزم آن در مقایسه با بتن تازه معمولی بیانگر ویژگی‌های این بتن می‌باشد. بتن خودتراکم طوری طراحی می‌شود تا بتواند تحت وزن خود، بدون ویرنه داخلی یا خارجی با سرعت کافی جریان یابد و از توانایی بالایی برای پر کردن و همچنین عدم جدا شدن دانه‌ها در حین بتن ریزی و بعد از آن کارایی زیاد در صورت وجود آرماتورهای متراکم و موانع دیگر از قبیل قطعات مدفون در بتن برخوردار باشد [2].

یک ارتباط کلی بین رفتار رئولوژیکی خمیر سیمان و تغییرات سازه‌ای بر رفتار تیکسوتروپی^۱ بتن حاکم است. تیکسوتروپی بیان کننده‌ی وضعیت انتقال بین مواد جامد و ژل سیمان در نتیجه‌ی تغییرات مکانیکی است. مطابق با تعریف، تیکسوتروپی یک کاهش تدریجی در ویسکوزیته تحت تنش‌های برشی که در نتیجه‌ی یک استراحت تدریجی در سازه وقتی تنش‌ها از سازه حذف می‌شوند، ایجاد می‌شود.

برای طراحی بتن خودتراکم با شرایط یاد شده، بتن خودتراکم تازه سه ویژگی مشخص شده زیر را باید دارا باشد:

- قابلیت عبور کنندگی (Passing Ability) : توانایی جاری شدن بتن خودتراکم و عبور از تراکم آرماتورها تحت وزن خود.
 - قابلیت پرکنندگی (Filling Ability) : توانایی پر کردن یعنی سیالیت بالا یا تغییر شکل پذیری بتن که سیال بودن یا جریان داشتن مناسبی را تحت وزن خود به وجود می‌آورد. بتن خودتراکم باید قابلیت تغییر شکل خوبی تحت وزن خود داشته باشد.
 - مقاومت در برابر جدایش (Segregation Resistance) : مقاومت بتن خودتراکم در برابر انواع جدایش و بروز پدیده انسداد و قفل شدگی و حفظ همگنی خود در تمام مراحل ساخت و اجرا و بتن ریزی [3].
- در سالهای اخیر مطالعات و پژوهش های فراوانی در این ارتباط صورت گرفته است. دکتر مدندوست و همکاران با جایگزین کردن متاکائولن به جای سیمان با درصدهای آب به سیمان مختلف، همچنین دکتر رنجبر و همکاران با اضافه کردن پلی وینیل کلراید (wpvc) به خواص رئولوژیکی مطلوبی دست یافتند [4,5].

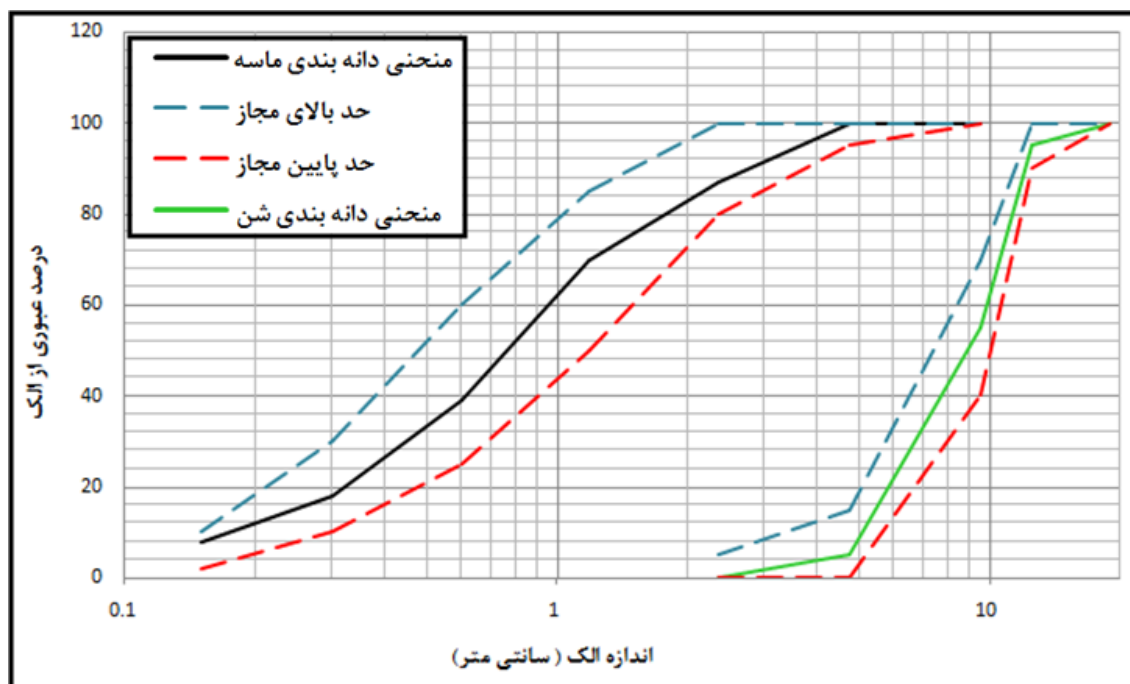
2. برنامه آزمایشگاهی

1.2. مصالح مصرفی :

سیمان مورد استفاده در این مطالعه، سیمان پرتلند تیپ دو بود که از کارخانه آبیگ قزوین تامین شد. خصوصیات شیمیایی سیمان در جدول (۱) آمده است.

با توجه به اینکه درصد بالایی از حجم بتن را سنگدانه‌ها تشکیل می‌دهند، انتخاب نوع سنگدانه و حداکثر اندازه سنگدانه‌ها از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. نمودار دانه بندی شن و ماسه مصرفی با توجه به استاندارد ASTM C 33 در شکل (۱) نشان داده شده است.

¹-Tixotropy



شکل ۱- منحنی دانه بندی مصالح سنگی مورد استفاده مطابق با استاندارد ASTM C 33

در این مطالعه از میکروسیلیس به عنوان یک پوزولان در تولید بتن استفاده شد. از پودر خشک فشرده نشده میکروسیلیس به عنوان ترکیب معدنی و جایگزین بخشی از سیمان مصرفی در طرح اختلاط استفاده شده است. میکروسیلیس مورد استفاده در این مطالعه تولید کارخانه میکروسیلیس سمنان است که ترکیبات شیمیایی آن در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱) ترکیبات شیمیایی سیمان و میکروسیلیس

	سیمان پرتلند II	میکروسیلیس
SiO ₂	22	7.91
Fe ₂ O ₂	2.3	1.9
Al ₂ O ₂	44.4	1
CaO	9.64	1.68
MgO	1.42	1.8
Na ₂ O	0.27	0.1
K ₂ O	0.58	-
P ₂ O	-	-
SO ₂	1.667	0.87
LiO	1.3	2

کربنات کلسیم یا همان پودر سنگ آهک که با پایه پرکننده معدنی است به طور گسترده در بتن خودتراکم استفاده می‌شود که برای بهبود خواص رئولوژیکی بتن خودتراکم مناسب هستند. پودر سنگ آهک سبب افزایش سرعت هیدراتاسیون، افزایش شکل‌پذیری و پایداری بتن تازه‌ی خود تراکم می‌گردد. ترکیبات شیمیایی پودر سنگ آهک در جدول (۲) ارائه شده است.

متاکائولن یک سیلیکات آلومینیم آمورف سفید رنگ می باشد که دارای خواص پوزولانی می باشد. کائولن یک ماده معدنی بسیار ریز سفید و رسی است که به طور سنتی در تولید چینی استفاده می شده است. مشخصات متاکائولن در جدول (۲) ارایه شده است.

جدول (۲) ترکیبات شیمیایی پودر سنگ آهک و متاکائولن

ترکیب شیمیایی	پودر سنگ آهک	متاکائولن
Sio2	0.76	52.8
Al2o3	0.63	36.3
Fe2o3	0.7	4.21
Mgo	12	0.81
Cao	42	0.1
So3	2.27	-

آب مصرفی در این پروژه آب شرب شهرستان رشت می باشد. به دلیل اینکه این آب طعم و مزه خاصی ندارد و بطور کلی از لحاظ آشامیدنی مشکل خاصی ندارد لذا از آن می توان در ساخت بتن استفاده کرد.

از مهمترین مواد افزودنی، فوق روان کننده ها و یا کاهنده های میزان آب در بتن خودتراکم هستند. فوق روان کننده ها و یا کاهنده های آب با کاهش میزان آب مصرفی، با حفظ جریان پذیری، جداشدگی را کاهش می دهند. مواد افزودنی اصلاح کننده ویسکوزیته نیز در کاهش جداشدگی و حساسیت مخلوط به علت تغییرات سایر مولفه ها به ویژه میزان رطوبت نیز استفاده می شوند. انتخاب ماده افزودنی برای کارایی بهینه تحت تاثیر خواص فیزیکی و شیمیایی خمیر نسبت به ماده افزودنی است.

در این تحقیق از فوق روان کننده vand superplast (pce) استفاده شده است که این محصول از نسل جدید فوق روان کننده ها ویژه ساخت بتن خودتراکم بدون نیاز به ویبره و یا انرژی اضافی جهت تراکم و فاقد هرگونه جداشدگی می باشد. به توصیه کارخانه سازنده این محصول مقدار مناسب قابل استفاده در مخلوط های بتنی، به میزان ۰/۲ تا ۲ درصد وزن مواد سیمانی میباشد. ویژگی های فوق روان کننده در جدول (۳) آمده است.

جدول (۳) ترکیبات شیمیایی فوق روان کننده

مابع	نوع
۱/۲ + ۰/۰۱	دانسیته
قهوه ای	رنگ
۷/۵ + ۱/۵	درجه قلیایی
در حدود ۳- درجه سانتیگراد	نقطه انجماد

2.2 طرح اختلاط و آماده سازی نمونه ها

طرح اختلاط بتن خودتراکم طبق آیین نامه افنارک با در نظر گرفتن حداکثر اندازه اسمی سنگدانه ۲۰ میلی متر برای نسبت آب به سیمان ۰/۳۸ انجام گرفت. در جدول (۴) مقادیر مصالح مصرفی در یک متر مکعب بتن به ازای طرح های مختلف اختلاط ارایه شده است.

طرح شماره ۱ بتن بدون مواد پرکننده و بعنوان بتن ناظر نامگذاری شده است. در طرح شماره ۲ و ۳ متاکائولن با درصد های ۱۰ و ۱۵ جایگزین سیمان شده است. در طرح های شماره ۴ و ۵ میکروسیلیس و پودر سنگ آهک با درصد ۱۰ جایگزین سیمان شده اند.

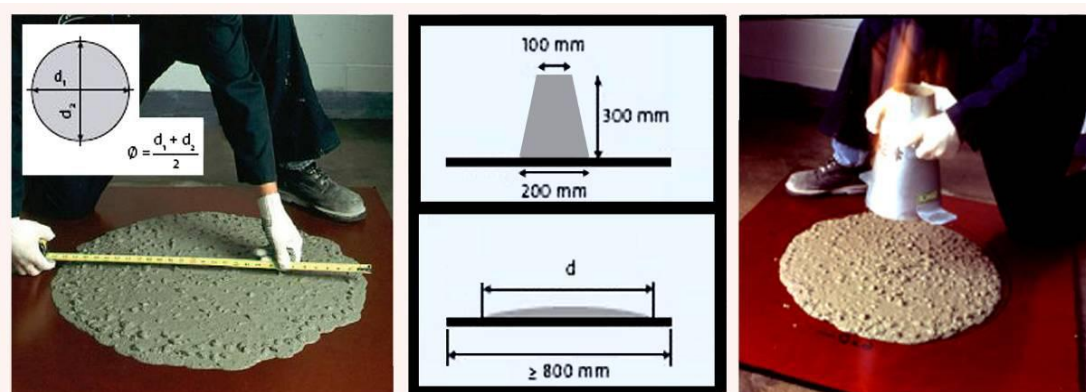
جدول (۴) مقادیر مصالح مصرفی در یک متر مکعب بتن به ازای طرح های مختلف اختلاط

	Cement	MK	SF	LP	WATER	W/B	SAND	GRAVEL
SCC	460	-	-	-	175	0.38	942	820
SCC M10	414	46	-	-	175	0.38	962	806
SCC M15	391	69	-	-	175	0.38	967	800
SCC SF10	415	-	45	-	175	0.38	948	809
SCC LP10	418	-	-	43	175	0.38	939	818

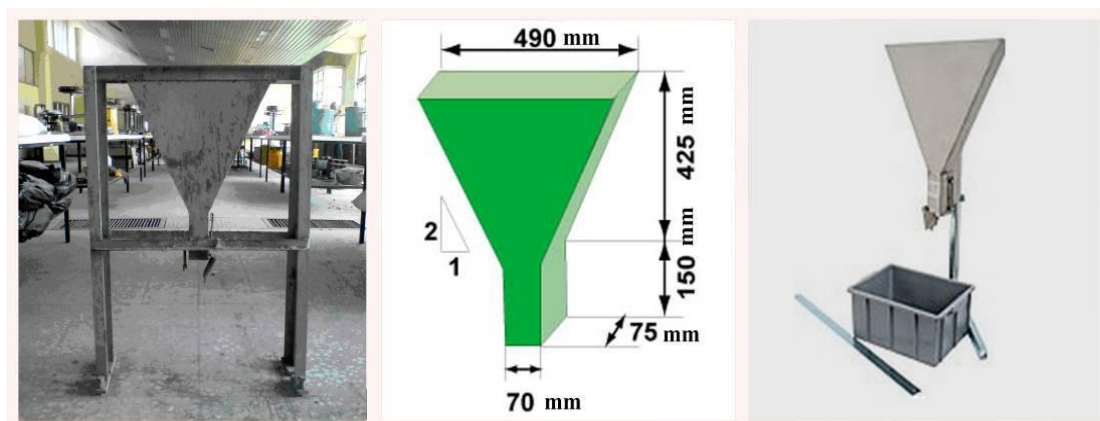
فوق روان کننده مورد استفاده نیز تا ۲ درصد سیمان بعلاوه پرکننده برای حصول روانی مورد نظر مورد استفاده قرار گرفت. برای ساخت نمونه ها رویه خیاط مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا شن و ماسه به مدت ۳۰ ثانیه تحت سرعت معمولی میکسر مخلوط شدند. بعد نصف حجم آب مورد استفاده اضافه شد و مخلوط برای مدت ۱ دقیقه ادامه پیدا کرد. یک دقیقه به مخلوط استراحت داده شد تا به سنگدانه ها اجازه جذب آب داده شود. سپس سیمان و مواد پرکننده اضافه شدند و برای ۱ دقیقه مخلوط ادامه پیدا کرد. سپس آب باقیمانده و فوق روان کننده به مخلوط اضافه شده و ۳ دقیقه مخلوط ادامه پیدا میکند. در انتها بعد از ۲ دقیقه توقف کار دوباره ۲ دقیقه میکس ادامه پیدا میکند. این ۲ دقیقه انتهایی برای رسیدن به ویسکوزیته مورد نظر بسیار ضروریست [6].

3.2. آزمایش های بتن تازه

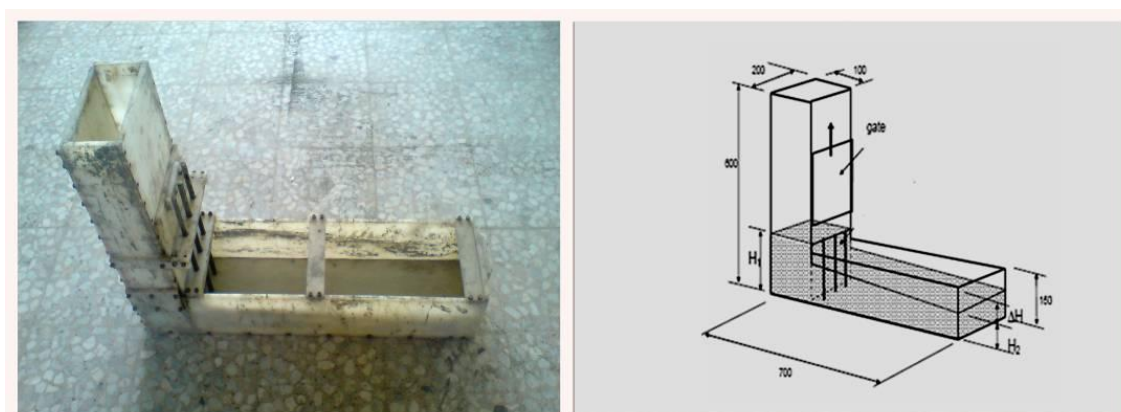
جهت ارزیابی خواص بتن خودتراکم آزمایش های متفاوتی بر روی هر کدام از طرح اختلاط ها انجام شد. آزمایش جریان اسلامپ جهت سنجش جریان پذیری (workability)، قابلیت پرکنندگی (filling ability) و یکنواختی (consistency) در وضعیتی که هیچگونه محدودیتی در قبال جریان پیدا نمودن بتن وجود ندارد انجام گرفت (شکل ۳). کیف وی شکل که برای ارزیابی چسبندگی، ویسکوزیته و قابلیت پرکنندگی بتن خودتراکم می باشد (شکل ۴). در آزمایش جعبه L شکل توسط آرماتور مواعی در مسیر جریان ایجاد میشود و بدین ترتیب سازگاری بین درشت دانه ها و فاصله بین آرماتورها که نشان دهنده قابلیت عبور (passing ability) و پرکنندگی (filling ability) بتن می باشد. جعبه L شکل در شکل (۵) نشان داده شده است [7].



شکل (۲) آزمایش جریان اسلامپ



شکل (۳) آزمایش قیف وی شکل



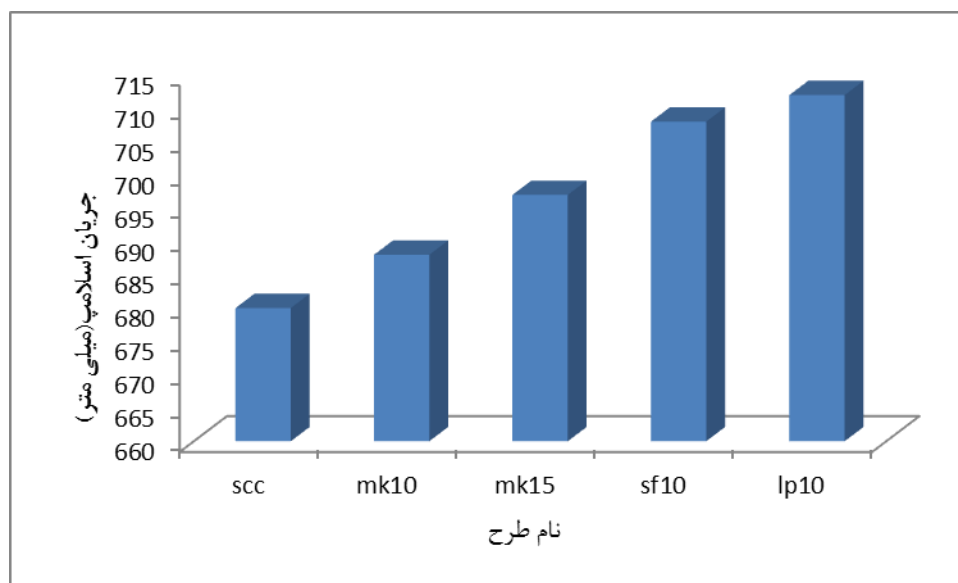
شکل (۴) آزمایش جعبه ال

3. ارائه نتایج و بررسی آن

آزمایش جریان اسلامپ

مقادیر جریان اسلامپ برای طرحهای مختلف اختلاط در جدول (۵) نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده میشود مقادیر جریان اسلامپ در محدوده ۶۸۰-۷۱۲ میلی متر اندازه گیری شد. بنا به آیین نامه تمامی طرحهای مورد آزمایش را میتوان در کلاس ۲ جریان اسلامپ قرارداد [8]. بتن های حاضر در این رده برای بسیاری از موارد معمولی مانند ستونها و دیوارها مناسب میباشد. برای طرحهای حاوی متاکائولن نشان داده شده که با افزایش مقدار فوق روان کننده به جریان اسلامپ بالاتر کارایی بالاتری دست پیدا کرده ایم. همچنین طرح حاوی پودر سنگ آهک بیشترین جریان اسلامپ را دارا میباشد که از دلایل آن

میتوان به اندازه ذرات و خصوصیات فیزیکی آن اشاره کرد. در شکل (۶) نیز مقایسه مقادیر جریان اسلامپ برای طرحهای مختلف اختلاط مشاهده میشود.



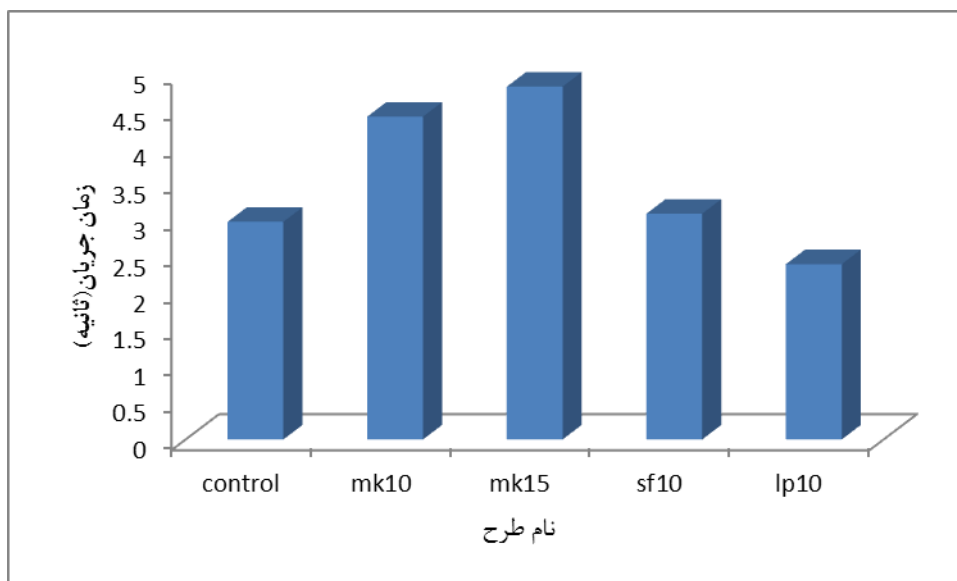
شکل (۵) مقادیر جریان اسلامپ

جدول (۵) مقادیر جریان اسلامپ برای کلیه مخلوط ها

نام طرح	control	Mk10	Mk15	Sf10	Lp10
جریان اسلامپ (میلی متر)	۶۸۰	۶۸۸	۶۹۷	۷۰۸	۷۱۲

زمان جریان (T50)

همانگونه که در جدول (۶) نشان داده شده زمان جریان بین ۲/۴ تا ۴/۸۳ ثانیه اندازه گیری شده است. بدلیل نبود چسبندگی بتن ناظر عدد ۲/۹۸ را بخود اختصاص داده است که همین عدد با جایگزینی ۱۵٪ متاکائولن به ۴/۸۳ افزایش یافته است. این بوضوح نشان میدهد که جایگزینی متاکائولن زمان جریان بتن خودتراکم را افزایش میدهد. جونیسی نشان داد که برای درصد بالاتر متاکائولن زمان جریان بالاتری گزارش داده شده [9]. همچنین از مقادیر میتوان مشاهده نمود که بتن حاوی میکروسیلیس هم ویسکوزیته بالاتری نسبت به بتن کنترل دارا میباشد. شکل (۷) هم مقایسه بین زمان جریان طرحهای مختلف را نشان می دهد.



شکل (۶) مقادیر زمان جریان T50

جدول (۶) زمان جریان مخلوط‌های مختلف

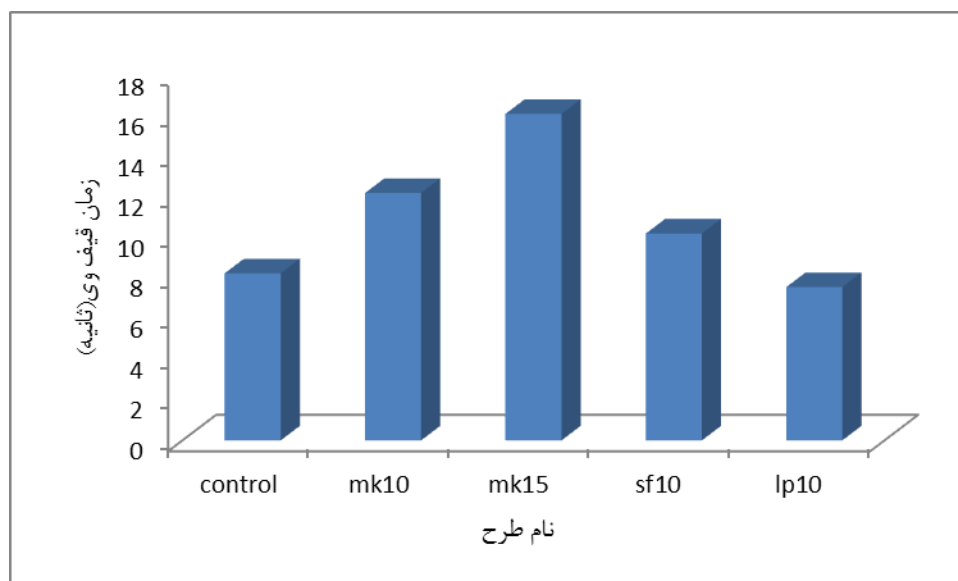
نام طرح	control	Mk10	Mk15	Sf10	Lp10
زمان جریان (ثانیه)	۲/۹۸	۴/۴۲	۴/۸۳	۳/۰۹	۲/۴

آزمایش قیف وی

نتایج آزمایش قیف وی بتن‌های مخلوط‌های مختلف در جدول (۷) نمایش داده شده است. مقادیر از ۸/۲۴ تا ۱۶/۱ ثانیه تغییر کرده‌اند. بنا به آیین نامه جریان قیف بالای ۲۵ ثانیه قابل قبول نمی باشد. زمان قیف وی برای کلیه نمونه‌ها شرایط مورد نظر را ارضا می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش درصد متاکائولن زمان افزایش یافته است. این نتیجه‌گیری توسط دانشمندان دیگر هم گزارش شده است [10]. ما به این نتیجه میرسیم که در بتن‌های حاوی متاکائولن هیچ تنظیم کننده ویسکوزیته نیاز نمی باشد. تغییرات زمان قیف وی برای طرح‌های مختلف در جدول (۷) و شکل (۸) نشان داده شده است. بیشترین ویسکوزیته مربوط به بتن حاوی ۱۵ درصد جایگزین متاکائولن میباشد.

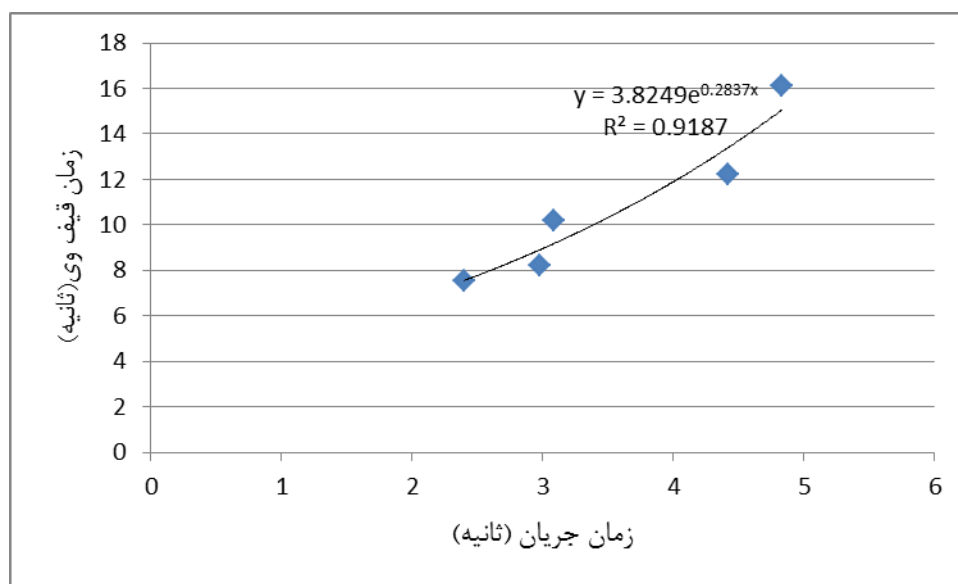
جدول (۷) مقادیر قیف وی (ثانیه)

نام طرح	control	Mk10	Mk15	Sf10	Lp10
زمان قیف وی (ثانیه)	۸/۲۴	۱۲/۲	۱۶/۱	۱۰/۲	۷/۵۶



شکل (۷) مقادیر قیف وی

عدد قیف وی برای طرح حاوی ۱۵ درصد متاکائولن ۷/۸۶ تا از بتن کنترل بالاتر میباشد. این نتیجه مبین این واقعیت است که عدد جریان اسلامپ به تنهایی برای مشخص نمودن رفتار بتن تازه کافی نیست. همچنین تغییرات مقدار قیف وی با زمان جریان ۵۰ نشان میدهد که یک رابطه خوب بین این ۲ عدد میتوانیم برسیم. همچنین پیشتر محققان به یک رابطه قابل قبول برای بتن های حاوی پودر سنگ آهک رسیده بودند [11].

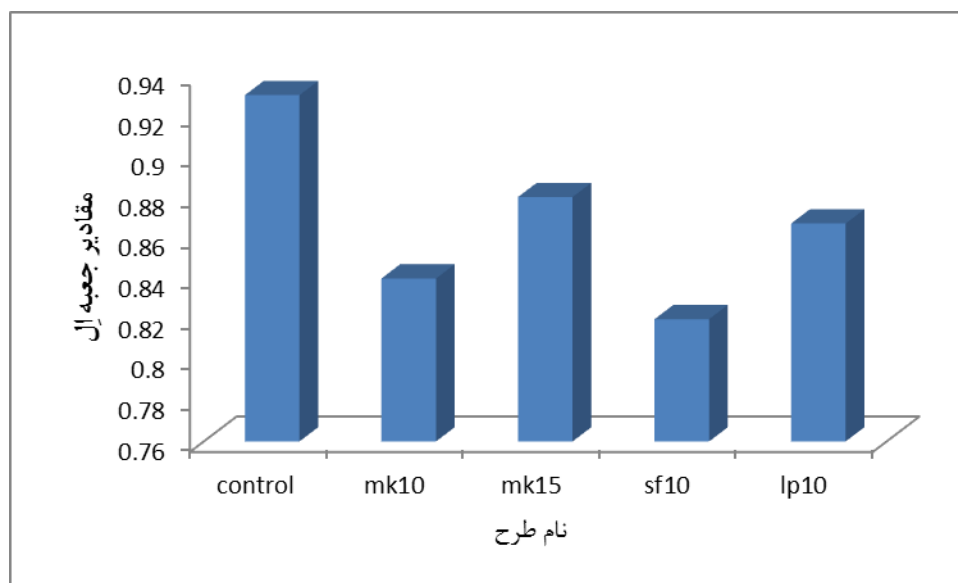


شکل (۸) رابطه بین آزمایش تی ۵۰ و قیف وی

آزمایش جعبه ال

نتایج بدست آمده از آزمایش فوق در جدول (۸) نشان داده شده است. نتایج مربوط به آزمایش جعبه ال شکل بتن های مختلف مورد آزمایش بین ۰/۸۲ تا ۰/۹۳ میباشد. این مقادیر از نظر آیین نامه افنارک مورد تایید میباشد. در درصد یکسان جایگزینی

بتن حاوی پودر سنگ آهک قابلیت گذر دهی بالاتری نسبت به سایر موارد دارا میباشد و بتن کنترل هم بالاترین عدد را به خود اختصاص داده. در شکل (۱۰) هم کلیه نتایج مربوطه نشان داده شده است.



شکل (۹) مقادیر آزمایش جعبه ال

جدول (۸) مقادیر آزمایش جعبه ال

نام طرح	control	Mk10	Mk15	Sf10	lp10
H ₂ /H ₁	۰/۹۳	۰/۸۴	۰/۸۸	۰/۸۲	۰/۸۶۷

۴. نتیجه گیری:

۱. بتن خودتراکم حاوی مواد پودری مورد بحث با جریان اسلامپ بین ۶۶۰ تا ۷۵۰ میلی متر را میتوان با تنظیم کردن درصد فوق روان کننده موجود تولید نمود.
۲. تمامی مخلوطها حاوی مواد پودری عدد جریان اسلامپ بالاتری را نسبت به بتن کنترل به خود اختصاص داده اند. درمورد طرح حاوی پودر سنگ آهک این افزایش ۵ درصد میباشد.
۳. این مطالعه نشان میدهد که عدد قیف وی میتواند بخوبی با اعداد بدست آمده از آزمایش تی ۵۰ با یک ضریب همبستگی بالا ارتباط داده شود.
۴. با توجه به مطالب فوق الذکر، با اضافه کردن LP و SF, MK میتوان به بتن خودتراکم با خواص رئولوژیکی مطلوب دست یافت.
۵. نتایج آزمایشهای کارآیی نیز نشان داده که مخلوطهای حاوی پودر سنگ آهک کارآیی بهتری نسبت به سایر مخلوطها داشته اند. این مطلب همانطور که بیان شده احتمالاً بدلیل نرمی و شکل متفاوت دانه های این پرکننده می باشد.

5. مراجع:

1. Okamura, M. Ouchi, (2006) Self-compacting concrete, *Journal of Advanced Concrete Technology*, 28, 197-208
2. Ouchi, S. Nakamura, T. Osterson, S. Hallberg, M. Lwin, (2003) Applications of Self-Compacting Concrete in Japan, Europe and the United States, *ISHPC*, 2-5.
3. EFNARC, (2005), *The European Guideline for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use* EFNARC, UK, May.
4. Madandoust rahmat, Fresh and hardened properties of self-compacting concrete containing metakaolin, *construction and building materials*, 35 (2012) 752-760
5. رنجبر، ملک محمد و مدندوست، رحمت، "استفاده از مواد بازیافتی پلی وینیل کلراید در بتن خودتراکم و تاثیر آن بر روی خواص تازه بتن" هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۳۹۳
6. Khayat KH, Bickley J, Lessard M. (2000) Performance of self-consolidating concrete for casting basement and foundation walls. *ACI Mater J*;97:374-80.
7. Feys, R. Werhoeven, G. De Schutter, (2006), *Fundamental study of rheology of self-compacting concrete, Composed with Belgian Materials*, The 7th national congress on theoretical and applied Mechanics, NCTAM.
8. Dehn Frank, (2000) "Behavior of Self-Compacting Concrete", *Time Development of the Material Properties and Bond*, Leipzig University.
9. Guneyisi E, Gesoglu M. (2008) Properties of self-compacting mortars with binary and ternary cementitious blends of fly ash and metakaolin. *Mater Struct*;41:1519-31.
10. Guneyisi E, Gesoglu M, (2009) Ozbay E. Evaluating and forecasting the initial and final setting times of self-compacting concretes containing mineral admixtures by neural network. *Mater Struct*;42:469-84.
11. Ulucan ZC, Turk K, Karatas M. (2008) Effect of mineral admixtures on the correlation between ultrasonic velocity and compressive strength for self compacting concrete. *Russ J Nondestruct Test*;44:367-74.