

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/342698356>

مروری بر خواص مکانیکی بتن خود تراکم سخت شده

Conference Paper · May 2018

CITATIONS

0

READS

254

3 authors, including:



S. Reza Salimbahrami

Semnan University

29 PUBLICATIONS 33 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Ductile Element in Braced Frame [View project](#)



Concrete with recycled aggregates [View project](#)

مروری بر خواص مکانیکی بتن خود تراکم سخت شده

سید رضا سلیم بهرامی^۱، جلال سعیدی^{۲*}، ابوالفضل غفاریان^۳

۱- مدرس دانشگاه فنی و حرفه ای، دانشکده امام محمد باقر(ع) ساری، salimbahrami@semnan.ac.ir

۲- دانشجوی رشته عمران، دانشگاه فنی و حرفه ای، دانشکده امام محمد باقر(ع) ساری، jalalsaedi77@gmail.com

۳- دانشجوی رشته عمران، دانشگاه فنی و حرفه ای، دانشکده امام محمد باقر(ع) ساری، ghaffariansaber@yahoo.com

چکیده

امروزه با توجه به گسترش صنعت ساخت و ساز در جهان و به خصوص روی آوردن مهندسان به ساخت سازه های بلند مرتبه، موجب شد تا بتن ریزی های عظیم همراه با تراکم بالای میلگردها جز چالش های اجرایی مهندسی سازه و به عنوان یکی از موضوعات پژوهشی روز دنیا قرار گیرد. بتن خودتراکم که برای اولین بار توسط محققین ژاپنی پیشنهاد گردید، بتنی بسیار سیال، روان و همگن است که بدون نیاز به هیچ لرزاننده داخلی و خارجی در داخل قالب جاری شده و تحت اثر وزن خود متراکم می شود. این بتن در طرح اختلاط و ساختارش تفاوت چندانی با بتن معمولی نداشته و البته موادی برای بهبود خواص آن جهت نیل به خودتراکم شوندگی به آن نیز افزوده می شود. از جمله موارد کاربردی مناسب این بتن در اجرای پروژه های پیچیده در مناطق زلزله خیز بوده و طبق آیین نامه های بتن در جاهایی که قالب از تراکم بالای آرماتور برخوردار می باشد می توان از این نوع بتن استفاده نمود. در این مقاله به مرور خواص مکانیکی بتن سخت شده خودتراکم پرداخته شده است و آن را از زوایای مختلف مورد بررسی قرار می دهد. نتایج این پژوهش نشان می دهد که برای افزایش مقاومت فشاری و کششی بتن خودتراکم می بایست بر روی مواد افزودنی و پوزولان ها تمرکز پیدا نمود.

واژه های کلیدی: بتن خودتراکم، خواص مکانیکی، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، دوام، سازه های بلند مرتبه

۱- مقدمه

در سالهای اخیر با افزایش سرعت احداث ساختمان های بلند مرتبه در کلان شهرها نیاز به تولید بتن های با عملکرد و مقاومت بالا که از وزن کم و شکل پذیری قابل قبولی برخوردار باشند، بیش از پیش مورد توجه محققین و متخصصین قرار گرفته است. یکی از راهکارهای مهم برای دستیابی به بتن با خصوصیات مکانیکی مناسب، متراکم نمودن بتن می باشد. برای رسیدن به این منظور لازم است از عملیات ویبره استفاده شود، تا تخلخل و هوای درون بتن کاهش یابد که این موضوع به ارتقای مقاومت مکانیکی و دوام بتن کمک می نماید. البته باید گفت که عملیات لرزاندن از مشکلات اساسی شامل کمبود نسبی کارگران ماهر، مزاحمت های جسمی و روحی ناشی از لرزاندن و یا دشواری دسترسی مناسب به فضاهای داخلی قالب ها و محل هایی که دارای تراکم زیادی از میلگردها برخوردار می باشد که این امر باعث می شود تا لرزاندن به طور کامل انجام نگیرد و در نهایت مشخصات مکانیکی مطلوبی از بتن حاصل نشود. بنابراین یکی از اهداف متخصصین بتن، ساخت بتنی بدون نیاز به لرزاندن بوده است که با آن بتوان نقص ها و مشکلات عملیات اجرایی تراکم را برطرف نمود. نتیجه تلاش محققین منجر به ابداع بتن خودتراکم^۱ شده که نه تنها به حل مشکلات عدم کارایی و یا ضعف اجرایی کارگران کمک می نماید، بلکه می تواند باعث صرفه جویی های قابل توجهی از نظر مدت زمان اجرا و به تبع آن در هزینه ها گردد [۱ و ۲].

^۱ Self-Compacting or Self-Consolidating Concrete (SCC)

بارتوس [۳] در تعریف خود عنوان می‌کند که بتن خودتراکم بتنی است که تحت اثر وزن خود جاری شده و بدون نیاز به هر نوع لرزاندن، به طور کامل (حتی با وجود میلگردهای متراکم)، قالب‌ها را پر کرده و همگنی خود را حفظ نماید. این نوع از بتن شامل بازه گسترده‌ای از طرح‌های اختلاط می‌باشد که خواص بتن تازه و سخت شده لازم برای کاربری‌های خاص را دارا می‌باشد. اگرچه مقاومت هم‌چنان معیار اصلی موفقیت این بتن است لکن ویژگی‌های بتن تازه‌ی آن، بسیار گسترده‌تر از بتن معمولی و متراکم شده توسط لرزاندن‌ها می‌باشد. این خواص مطلوب باید در زمان، محل و بتن ریزی حفظ شوند. بتن خود تراکم در مواردی که شبکه بندی آرماتورها فشرده است، گزینه‌ای مطلوب می‌باشد.

در کل می‌توان گفت که تفاوت ساختار میکروسکوپی بتن خود تراکم با بتن‌هایی که بطور سنتی متراکم می‌شوند و حجم بالای مواد ریز در آن، موجب شده تا محققین تفاوت‌هایی را بین خصوصیات مکانیکی بتن‌های خود تراکم و بتن‌های معمولی احساس نمایند. از آنجاییکه امروزه از بتن‌های خود تراکم در کاربرد‌ها و اهداف فراوانی چه در حجم بالا در پل‌های معلق و چه در حجم‌های کوچک برای تعمیرات استفاده می‌شود، بنابراین دانستن خصوصیات بتن سخت شده خود تراکم معمولی و سبک برای طراحان بسیار مفید است. زیرا آنها را قادر می‌سازد تا از این طریق آیین‌نامه‌هایی را که بر اساس مقاومت می‌باشند، به طور مناسبی تصحیح نمایند [۴]. معیار اصلی بررسی کنترل کیفی بتن، بررسی خواص مکانیکی بتن است؛ در این مقاله به مرور خواص مکانیکی بتن سخت شده خودتراکم پرداخته شده است و آن را از زوایای مختلف مورد بررسی قرار می‌دهد.

۲- هدف پژوهش

بررسی و دسته بندی اطلاعات موجود در زمینه بتن خودتراکم و فراهم آوردن انگیزه‌ای برای مصرف این نوع از بتن و همچنین شناخت هر چه بیشتر خصوصیات مختلف و پایه‌های آن، جز اهداف اصلی این مقاله به شمار می‌رود. در این مقاله سعی شده با استفاده از دیدگاه‌ها و نتایج پژوهش‌های مختلف در زمینه بتن خودتراکم، دید مناسبی را نسبت به کلیت موضوع ایجاد نمود. لذا در ادامه خصوصیات و ویژگی‌های بتن خودتراکم که حاصل پژوهش‌های صورت گرفته توسط محققان می‌باشد، به صورت مبسوط مورد اشاره قرار خواهد گرفت.

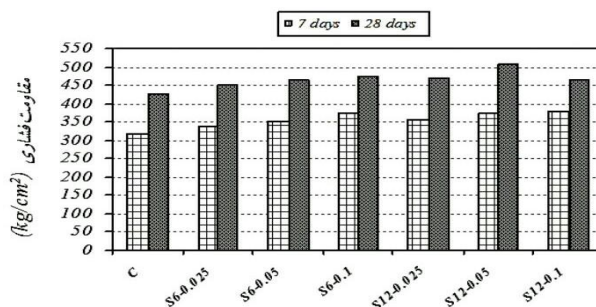
۳- مقاومت فشاری

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های بتن سخت شده برای طبقه بندی در آیین‌نامه‌های بین‌المللی، مقاومت فشاری می‌باشد. لذا بررسی پارامترهای تاثیرگذار در روند کسب مقاومت فشاری حائز اهمیت می‌باشد. به همین جهت رضانیانپور و همکاران [۵] بر روی اثر افزایش پودر سنگ آهک در بتن خودتراکم با عیار سیمان ۴۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب و نسبت ثابت آب به سیمان ۰/۴ تحقیقاتی را به عمل آوردند. نتایج تحقیقات نشان داد که با افزودن پرکننده‌ی خنثی بر مقدار مقاومت فشاری نمونه تاثیر اندکی بجا گذاشته و در سنین ۳، ۷ و ۲۸ روزه به طور متوسط با افزایش ۶۶ درصد وزنی پرکننده، کمتر از ۵ درصد بر مقاومت فشاری آن افزوده می‌شود. همچنین پژوهش‌های افشین نیا [۶] نشان داده است که استفاده از خاکستر پسته برنج باعث افزایش چشمگیری در مقاومت فشاری بتن خودتراکم می‌گردد. طبق نتایج بدست آمده از پژوهش‌های مقصودی و همکاران [۷] استفاده از مواد نانوسیلیکا نیز افزایش مقاومت فشاری بتن‌های خودتراکم را در بر خواهد داشت.

در مدلی دیگر، به کار گرفتن سنگدانه‌های سبک در ساخت بتن خودتراکم منجر به ایجاد ویژگی‌های بتن سبک و بتن خودتراکم در یک ماده ساختمانی بنام بتن سبک خودتراکم^۲ SCLC می‌گردد. طبق نتایج به دست آمده مطابق شکل ۱ از پژوهش‌های اسماعیلی و همکاران [۸] ملاحظه می‌گردد، با افزایش مقدار الیاف پلی پروپیلن بتن سبک خودتراکم، مقاومت فشاری آن نیز افزایش می‌یابد.

مقاومت فشاری نمونه‌های بتن سبک خودتراکم در سنین ۷ و ۲۸ روزه در شکل ۱ ارائه گردیده است. جدول ۱ نسبت‌های اختلاط بتن سبک خودتراکم حاوی مقادیر مختلف الیاف پلی پروپیلن را نشان می‌دهد.

² Self-compacting lightweight concrete (SCLC)



شکل ۱- مقاومت فشاری نمونه های بتن سبک خودتراکم در سنین ۷ و ۲۸ روزه [۴]

جدول ۱- نسبت های اختلاط بتن خودتراکم حاوی مقادیر مختلف الیاف پلی پروپیلن [۴]

شماره طرح	نسبت آب بر مواد سیمانی	سیمان (kg/m ³)	میکرو سیلیس (kg/m ³)	آب (kg/m ³)	شن سبک (kg/m ³)	ماسه سبک (kg/m ³)	ماسه طبیعی (kg/m ³)	روان کننده (kg/m ³)	روان کننده (درصدی از وزن مواد سیمانی)	الیاف پلی پروپیلن (kg/m ³)
C	۰/۴۵	۴۵۰	۵۰	۲۲۵	۴۵۳	۴۰۶	۴۸۶	۳/۴۵	۰/۶۹	۰
S6-0.025	۰/۴۵	۴۵۰	۵۰	۲۲۵	۴۵۳	۴۰۶	۴۸۶	۳/۴۵	۰/۶۹	۰/۲۲۷
S6-0.05	۰/۴۵	۴۵۰	۵۰	۲۲۵	۴۵۳	۴۰۶	۴۸۶	۳/۴۵	۰/۶۹	۰/۴۵۵
S6-0.1	۰/۴۵	۴۵۰	۵۰	۲۲۵	۴۵۳	۴۰۶	۴۸۶	۳/۴۵	۰/۶۹	۰/۹۱۰
S12-0.025	۰/۴۵	۴۵۰	۵۰	۲۲۵	۴۵۳	۴۰۶	۴۸۶	۳/۴۵	۰/۶۹	۰/۲۲۷
S12-0.05	۰/۴۵	۴۵۰	۵۰	۲۲۵	۴۵۳	۴۰۶	۴۸۶	۳/۴۵	۰/۶۹	۰/۴۵۵
S12-0.1	۰/۴۵	۴۵۰	۵۰	۲۲۵	۴۵۳	۴۰۶	۴۸۶	۳/۴۵	۰/۶۹	۰/۹۱۰

همچنین عباسی و همکاران [۹] بر روی اثر استفاده از پودر شیشه و متاکائولین، به عنوان جایگزین بخشی از سیمان برای ساخت بتن خودتراکم، تحقیقاتی را به عمل آوردند. در این تحقیق از آزمایش فشاری بر اساس استاندارد ASTM-C39-86 با استفاده از نمونه های مکعبی با ابعاد ۱۰۰ میلی متر و در سنین ۷، ۱۴، ۲۸ و ۵۶ روزه استفاده شده و سرعت بارگذاری برای آزمایش فشاری ۰،۲۵ مگاپاسکال بر ثانیه در نظر گرفته شده است. طرح اختلاط در ۴ گروه شامل گروه اول (G1) پودر شیشه درشت تر، گروه دوم (G2) پودر شیشه ریزتر، گروه سوم (G3) MK (متاکائولن) و پودر شیشه درشت تر و گروه چهارم (G4) MK و پودر شیشه ریزتر می باشند. درصد جایگزینی متاکائولن یا پودر شیشه با سیمان در هر ۴ گروه فوق عبارت است از ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ بوده و نسبت آب به مواد چسباننده در همه طرح اختلاطها ثابت و برابر ۰/۳۲ در نظر گرفته شده است. جدول ۲ مقادیر اجزای تشکیل دهنده بتن خودتراکم در پژوهش عباسی و همکاران را نشان می دهد. مقاومت فشاری نمونه ها در سنین ۷، ۱۴، ۲۸ و ۵۶ روزه در جدول ۳ آمده است.

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می نماید، به طور کلی مقاومت فشاری بتن خودتراکم با افزایش سن بتن بیشتر شده و استفاده هم زمان از پودر شیشه و متاکائولن، باعث افزایش مقاومت فشاری می گردد. در واقع متاکائولن به دلیل سطح مخصوص بیشتر نسبت به پودر شیشه و سیمان، باعث افزایش چسبندگی خمیر سیمان شده و تا حد زیادی تأثیر پودر شیشه در کاهش مقاومت فشاری را از بین می برد.

جدول ۲- مقادیر اجزای تشکیل دهنده بتن خودتراکم [۵]

نام گروه	نام اختلاط	سیمان Kg/m ³	مناکولن		پودر شیشه		آب Kg/m ³	ماسه Kg/m ³	شن Kg/m ³	کاهنده شدید آب* Kg/m ³	اصلاح کننده لزوجت ** Kg/m ³
			%	Kg/ m ³	%	Kg/ m ³					
control	Ctrl	۴۸۰	۰	۰	۰	۰	۱۵۴	۹۶۷	۸۱۷	۳/۵	۱
G1	G11	۴۵۶	۰	۰	۵	۲۴	۱۵۴	۹۸۰	۸۲۰	۳/۴	۰/۶
	G12	۴۳۲	۰	۰	۱۰	۴۸	۱۵۴	۹۸۵	۸۱۵	۳/۲۲	۰/۷
	G13	۴۰۸	۰	۰	۱۵	۷۲	۱۵۴	۹۸۵	۸۱۵	۳/۰۴	۰/۷۶
	G14	۳۸۴	۰	۰	۲۰	۹۶	۱۵۴	۹۸۸	۸۰۵	۲/۸	۰/۸
G2	G21	۴۵۶	۰	۰	۵	۲۴	۱۵۴	۹۸۰	۸۲۰	۳/۴	۰/۶
	G22	۴۳۲	۰	۰	۱۰	۴۸	۱۵۴	۹۸۰	۸۱۵	۳/۲۲	۰/۷
	G23	۴۰۸	۰	۰	۱۵	۷۲	۱۵۴	۹۸۵	۸۱۵	۳/۰۴	۰/۷۶
	G24	۳۸۴	۰	۰	۲۰	۹۶	۱۵۴	۹۸۸	۸۰۵	۲/۸	۰/۸
G3	G1MK1	۴۵۶	۲/۵	۱۲	۲/۵	۱۲	۱۵۴	۹۸۰	۸۲۰	۲/۴۹	۰
	G1MK2	۴۳۲	۵	۲۴	۵	۲۴	۱۵۴	۹۸۰	۸۱۵	۲/۶۳	۰
	G1MK3	۴۰۸	۷/۵	۳۶	۷/۵	۳۶	۱۵۴	۹۸۵	۸۱۵	۲/۹۲	۰
	G1MK4	۳۸۴	۱۰	۴۸	۱۰	۴۸	۱۵۴	۹۸۸	۸۰۵	۳/۲۱	۰
G4	G2MK1	۴۵۶	۲/۵	۱۲	۲/۵	۱۲	۱۵۴	۹۸۰	۸۲۰	۲/۴۹	۰
	G2MK2	۴۳۲	۵	۲۴	۵	۲۴	۱۵۴	۹۸۰	۸۱۵	۲/۶۳	۰
	G2MK3	۴۰۸	۷/۵	۳۶	۷/۵	۳۶	۱۵۴	۹۸۵	۸۱۵	۲/۹۲	۰
	G2MK4	۳۸۴	۱۰	۴۸	۱۰	۴۸	۱۵۴	۹۸۸	۸۰۵	۳/۲۱	۰

* High range water reducer (HRWR)
** Viscosity-Modifying Admixture (VMA)

جدول ۳- نتایج آزمایش مقاومت فشاری بتن خودتراکم [۵]

طرح اختلاط	روزه ۳	روزه ۷	روزه ۱۴	روزه ۲۸	روزه ۵۶	مقایسه ۲۸ روزه به نمونه مرجع
Ctrl	۲۰	۳۳	۳۵	۴۵	۵۳	۱
G11	۱۵/۳	۲۴/۱	۲۵	۳۶/۱	۳۹	۰/۸۰۲
G12	۱۴/۱	۲۲/۷	۲۳/۲	۳۵/۸	۳۷/۵	۰/۹۵۵
G13	۱۲/۵	۲۱/۳	۲۲/۷	۳۵/۷	۳۶	۰/۹۳۳
G14	۱۲/۴	۲۰	۲۱	۳۰	۳۴/۱	۰/۶۷
G21	۱۵/۸	۲۶	۲۷	۳۸/۲	۴۰	۰/۸۴۸
G22	۱۴/۷	۲۴/۷	۲۵/۴	۳۷	۳۸/۷	۰/۸۲۲
G23	۱۳/۲	۲۳/۱	۲۴/۱	۳۵/۶	۳۶	۰/۹۵۵
G24	۱۱/۸	۲۰/۸	۲۲	۳۱	۳۴/۸	۰/۶۹
G1MK1	۱۸/۲	۲۹	۳۴	۳۹	۴۶	۰/۸۶۷
G1MK2	۱۹	۳۰/۴	۳۵	۳۵/۹	۴۷/۵	۰/۹۹۸
G1MK3	۲۰/۶	۳۳	۳۸/۵	۴۲/۷	۵۱	۰/۹۴۸
G1MK4	۱۹	۳۱/۳	۳۵/۵	۴۰/۸	۴۶	۰/۹۰۱
G2MK1	۱۹/۱	۳۰/۳	۳۶	۴۰	۵۰/۵	۰/۸۸۹
G2MK2	۲۰	۳۱/۶	۳۶/۶	۴۰/۵	۵۰	۰/۹
G2MK3	۲۱/۱	۳۴/۴	۴۰	۴۲	۵۴	۰/۹۳۳
G2MK4	۲۰/۲	۳۲/۱	۳۹	۴۰	۴۹	۰/۸۸۹

۴- مقاومت کششی

مقاومت کششی برای پیش بینی آغاز ترک خوردگی اعضای بتنی دارای اهمیت است. از جمله عواملی که بر مقاومت کششی بتن مؤثر است، مقاومت خمیر سیمان و چسبندگی بین خمیر و سنگدانه است. تحقیقاتی که در زمینه مقاومت کششی بتن خودتراکم توسط سونبی و همکاران [۱۰] انجام شده است، حاکی از افزایش مقاومت کششی بتن های خودتراکم در مقابل بتن معمولی دارد که آن ها نیز دلیل این امر را همگنی بتن خودتراکم دانسته اند. مظاهری پور [۱۱] در زمینه استفاده از الیاف در بتن های سبک خودتراکم اظهار نموده است که چنانچه از ۱ درصد الیاف در این بتن ها استفاده شود میزان مقاومت کششی غیر مستقیم در حدود ۱۴ درصد افزایش می یابد.

همچنین طبق پژوهش های عباسی و همکاران [۹] که در جدول ۴ نتایج به دست آمده از آزمایش مقاومت کششی آنها ارائه شده است، حاکی از آن است که در نمونه هایی که از پودر شیشه به تنهایی (بدون الیاف) استفاده شده، مقاومت ۲۸ روزه کششی با افزایش درصد پودر شیشه کمتر می گردد. علاوه بر این همانند مقاومت فشاری، نمونه های حاوی پودر شیشه G1

مقادیر مقاومت کششی کمتری را نشان می‌دهند، که این مسأله به دلیل کمتر بودن مقاومت خمیر سیمان و چسبندگی بین خمیر و سنگدانه‌های بتن در حالت استفاده از پودر شیشه درشت‌تر است. با حضور همزمان متاکائولن و پودر شیشه مقاومت کششی بهبود می‌یابد، که این به دلیل چسبندگی بهتر متاکائولن در خمیر سیمان است.

از سوی دیگر نتایج پژوهش‌های توکلی و فلاح تبار [۱۲] حاکی از آن است که با افزایش درصد الیاف فلزی از ۰ تا ۰/۴ درصد با روند صعودی مقاومت کششی مواجه می‌شویم به طوری که در ۰/۴ درصد الیاف فلزی مقاومت کششی حدود ۲۲ درصد افزایش می‌یابد. این افزایش برای الیاف پلاستیکی برابر ۱۹ درصد می‌باشد.

جدول ۴- مقاومت کششی بتن ۲۸ روزه [۵]

نام اختلاط	مقاومت کششی (مگا پاسکال)	نام اختلاط	مقاومت کششی (مگا پاسکال)
Ctrl	۳/۴	G1MK1	۳/۴۵
G11	۳/۲	G1MK2	۳/۴
G12	۲/۸	G1MK3	۳/۵
G13	۲/۶	G1MK4	۳
G14	۲/۳	G2MK1	۳/۳
G21	۳/۱	G2MK2	۳/۳۵
G22	۳	G2MK3	۳/۶۵
G23	۲/۷۵	G2MK4	۳/۱
G24	۲/۵		

۵- دوام

دوام قطعات بتنی وابسته به نفوذپذیری لایه سطح بتن می‌باشد. به همین جهت برای افزایش دوام بتن باید ورود مواد مهاجم از جمله کلرید، سولفات، آب، دی اکسید کربن، اکسیژن، قلیایی‌ها و اسیدها را از طریق لایه سطحی محدود نمود. در عمل دوام بستگی به انتخاب مصالح، ترکیب بتن، تراکم، پرداخت نهایی و عمل آوری دارد. عدم تراکم مناسب لایه سطحی، به علت مشکلات لرزاندن در فضاهای تنگ بین قالب و میلگردها و نظایر آن، عامل اصلی دوام ضعیف بتن‌های تقویت شده در برابر عوامل محیطی مهاجم است [۱۳].

پرشون [۱۴] نمونه‌های مختلف بتن خود تراکم و بتن معمولی لرزانده شده را برای ۹۰۰ روز در معرض محلول سولفات سدیم ۱۸ گرم در آب مقطر، قرار داد و دوام آنها را از طریق اندازه گیری وزن مدول کشسانی ارزیابی کرد. آزمایش‌ها نشان دادند که به علت حساسیت بیشتر پودر سنگ آهک به تهاجم سولفات (در مقایسه با سیمان)، در صورت استفاده از بتن خودتراکم با مقدار زیاد پودر سنگ آهک در مناطق دارای سولفات‌ها ظرفیت بتن خودتراکم در برابر تهاجم سولفات‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین بهتر است در مناطقی که مقدار سولفات در آب‌های زیرزمینی نامعلوم است، از بتن‌های خود تراکم با مقدار زیاد پودر سنگ آهک استفاده نشود.

فریبت واشتارک [۱۵] نیز در مورد دوام نمونه‌های خودتراکم دارای ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب پودر سنگ آهک مطالعه کردند. نمونه‌ها برای ۴ ماه در معرض محلول سولفات ۳۳/۸ گرم بر لیتر قرار داده شد و نتایج مقاومت کششی و شاهد، مشابه با هم و معادل تقریباً ۰/۷ به دست آمده که به نفوذ نا پذیری خوب نمونه نسبت داده شده است. رمضانپور و همکاران [۵] آزمون نفوذ پذیری یون کلرید را بر روی چند نمونه بتن خودتراکم انجام داد، نتایج حاکی از تاثیر مثبت افزایش پرکننده مصرفی در کاهش نفوذ پذیری یون کلرید بود. به طور متوسط با ۶۶ درصد افزایش پرکننده مصرفی، ۳۶ درصد نفوذپذیری یون کلرید در نمونه‌ها کاهش یافت. تغییرات نفوذ یون کلرید نسبت به پرکننده مصرفی تقریباً خطی می‌باشد.

۶- مقاومت در برابر آتش سوزی

یکی از مشخصات مهم ساختمان‌ها مقاومت آن در برابر آتش است. در مورد مقاومت بتن‌های معمولی در برابر آتش پژوهش‌ها و آزمایش‌های بیشماری انجام شده است. با توجه به نتایج پژوهش‌های هرمتی [۱۸-۱۷] تفاوت‌های قابل توجهی در بین رفتار بتن خودتراکم با سایر بتن‌ها از لحاظ مقاومت در برابر آتش وجود دارد. او علت این تفاوت را مقادیر مختلف پودر، مقدار تراکم و وجود مواد افزودنی عنوان می‌کند.

یکی از مهم‌ترین دلایل شکست اجزای بتنی در برابر آتش، پدیده ترکیدن یا پوسته شدن است. پوسته شدن بتن در شرایط آتش سوزی، به معنای جدا شدن تکه‌های کوچک و بزرگ بتن از سطح آن در دمای بالا است که در این صورت پوشش بتنی روی میلگردهای فولادی از بین می‌رود. زمینه پوسته شدن در بتن‌های خودتراکم با بتن‌های معمولی بسیار متفاوت است. تفاوت بین بتن خودتراکم و بتن معمولی از نظر رفتار در برابر آتش بیشتر به خواص ریزساختار آن‌ها وابسته خواهد بود. به این دلیل بی [۱۸-۱۹] تغییرات ریز ساختار چند نوع خمیر سیمان با الیاف پلی پروپیلن و بدون آن را بر اثر افزایش دما بررسی نمود. نتایج این پژوهش حاکی از مفید بودن الیاف پلی پروپیلن برای بهبود رفتار بتن خودتراکم در برابر آتش بود. در گذشته نیز تحقیقات زیادی در زمینه استفاده از الیاف پلی پروپیلن انجام شد که حاکی از موفقیت آن در آزمایشات بوده است [۲۰-۲۱].

علاوه بر آن بوستروم [۲۲] خواص برخی بتن‌های خودتراکم در برابر آتش را بررسی نمود. شانزده نمونه بتنی شامل ۴ نمونه معمولی و ۱۲ نمونه خودتراکم به شکل مکعب مستطیلی با ابعاد $0.2 \times 0.2 \times 2$ متر، تحت آزمون مقیاس بزرگ مطالعه شد. نمونه‌ها از ۴ طرف جانبی در معرض دمای بالای کوره قرار گرفتند. نمونه‌ها پیش تنیده شدند، اما بار مکانیکی دیگری در حین آزمون روی آن‌ها وارد نشد. نسبت‌های آب به سیمان معادل 0.4 ، 0.55 و 0.7 در نظر گرفته شد. تعدادی از نمونه‌ها در زیر آب و تعدادی دیگر در هوا به مدت ۶ ماه عمل‌آوری شدند. در این آزمایش از دو نوع پرکننده شامل پودر سنگ آهک و پودر شیشه برای نمونه‌های خودتراکم استفاده شده است. البته در برخی نمونه‌ها از الیاف پلی پروپیلن با مقادیر ۲ و ۴ کیلوگرم بر متر مکعب استفاده گردید. ستون‌ها در معرض دو رژیم آتش هیدروکربنی و استاندارد قرار داده شدند. ترکیدن یا پوسته شدن برای تمام نمونه‌ها در همان دقایق ابتدایی (از ۲ تا ۷ دقیقه) رخ داد و بین ۳ تا ۳۴ درصد کاهش وزن در نمونه‌ها مشاهده شد و مقدار ترکیدگی نمونه‌های خودتراکم بسیار بیشتر از نمونه‌های معمولی بود. با افزایش نسبت آب به سیمان و همینطور افزایش الیاف، مقدار ترکیدگی در نمونه‌ها نیز کاهش یافت و رفتار نمونه‌های حاوی پودر شیشه بهتر از نمونه‌های حاوی پودر سنگ آهک بود. البته بدترین رفتار از نظر ترکیدگی مربوط به نمونه‌های حاوی پودر سنگ آهک با نسبت آب به سیمان 0.4 مشاهده گردید. در مجموع به علت نوین بودن موضوع بتن خودتراکم، هنوز تعداد اندکی کارهای پژوهشی در مورد خواص این نوع بتن در برابر آتش صورت گرفته است که این امر نشان‌دهنده نیاز به تحقیقات بیشتر بر روی رفتار و مقاومت این بتن در برابر آتش خواهد بود.

۷- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی خواص و ویژگی‌های بتن خودتراکم سخت شده در مقایسه با بتن با سنگدانه‌های طبیعی، با توجه به پژوهش‌های صورت گرفته، پرداخته شده است. خصوصیات از جمله مقاومت فشاری، کششی و دوام بتن خودتراکم مورد بررسی واقع شده است. نتایج این بررسی را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود:

- ۱- استفاده از پودر سنگ آهک به عنوان جایگزین بخشی از سیمان در ساخت بتن خودتراکم افزایش مقاومت فشاری کمی را در پی خواهد داشت.
- ۲- استفاده از خاکستر پوسته برنج و مواد نانو سیلیکا در بتن خودتراکم و همینطور استفاده از الیاف پلی پروپیلن در بتن سبک خودتراکم موجب افزایش مقاومت فشاری خواهد شد.

- ۳- در صورت استفاده از متاکائولین، مقاومت فشاری بتن خودتراکم افزایش می یابد و در صورت استفاده از پودر شیشه، مقاومت فشاری بتن خودتراکم کاهش می یابد.
- ۴- بتن خودتراکم ذاتا در مقایسه با بتن معمولی مقاومت کششی بیشتری دارد که آن هم به دلیل همگنی آن می باشد.
- ۵- استفاده از الیاف در بتن خودتراکم افزایش چشمگیر مقاومت کششی را به دنبال خواهد داشت.
- ۶- در صورت استفاده از پودر شیشه، مقاومت کششی ۲۸ روزه بتن خودتراکم کاهش می یابد و با حضور همزمان متاکائولین و پودر شیشه مقاومت کششی بتن خودتراکم بهبود پیدا می کند، که این به دلیل چسبندگی بهتر متاکائولین در خمیر سیمان است.
- ۷- حجم زیاد پودرهای معدنی که از آن ها در بتن خودتراکم استفاده می شود، اثرات متعددی روی خواص آن دارد، پودر سنگ آهک می تواند باعث کاهش قابل ملاحظه دوام بتن خودتراکم در برابر سولفات شود که به علت تشکیل ترکیباتی نظیر گچ، اترینگایت و تاماسیت است.
- ۸- ویژگی های مقاومتی (مقاومت فشاری) بتن خودتراکم با افزایش میزان الیاف بهبود می یابد.
- ۹- در صورت افزایش پر کننده مصرفی، دوام بتن خود تراکم در مقابل نفوذ پذیری یون کلرید بیشتر شده و نفوذ پذیری یون کلرید کاهش پیدا می کند.
- ۱۰- حساسیت بیشتر بتن های خودتراکم نسبت به بتن معمولی باعث می شود تا مقاومت این نوع بتن در برابر آتش سریعتر کاهش یابد.
- ۱۱- با افزایش نسبت آب به سیمان و همینطور افزایش الیاف پلی پروپیلن، مقدار ترکیدگی در نمونه ها نیز کاهش یافته و رفتار نمونه های حاوی پودر شیشه بهتر از نمونه های حاوی پودر سنگ آهک می باشد. البته بدترین رفتار از نظر ترکیدگی مربوط به نمونه های حاوی پودر سنگ آهک با نسبت آب به سیمان ۰/۴ مشاهده شده است.

مراجع

- [۱] فروغی اصل، ع.، فامیلی، ه. "بررسی ویژگی های عمومی بتن خودتراکم و دلایل گسترش آن در دنیا"، مجموعه مقالات اولین کارگاه تخصصی بتن خودتراکم، اسفند، ص ۱-۱۲، (۱۳۸۵)
- [2] Horta, A., "Evaluation of Self-Consolidating Concrete for Bridge Structure Applications", Georgia Institute of Technology, School of Civil & Environmental Engineering, URI:<http://hdl.handle.net/1853/7159>, (2005)
- [3] Bartos, P.J.M., Gibbs, J.C. and Zhu, W. "Uniformity of in situ properties of Self-Compacting Concrete in full scale structural elements". Cement and Concrete Composites, (2001).
- [۴] محمد پور نیک بین، ای اسلامی، م "مروری بر خصوصیات مکانیکی بتن های خودتراکم معمولی و سبک" چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت ۱۳۸۷.
- [۵] رضانیانپور، علی اکبر، بختیاری، یاسر "بررسی تاثیر افزودن مواد ریزدانه خنثی بر خواص مکانیکی و دوام بتن های خودتراز" مجموعه مقالات اولین کارگاه تخصصی بتن خودتراکم، اسفند، ص ۱۳۷-۱۲۴، (۱۳۸۵)
- [۶] افشین نیا، کاوه "اختلاط بتن خودتراکم با استفاده از خاکستر پوسته شلتوک برنج، بررسی مقاومت فشاری، کششی، انقباض و آن ها و مقایسه با بتن معمولی" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان، ۱۳۸۵
- [7] Maghsoudi, A.A, Arabpour Dahooei, F (2006) "Effect of nanosilica material in engineering properties of performance self compacting concrete" 7 ICCE, Tarbiat modares, iran
- [۸] اسماعیلی، جمشید، کسائی، جمیل، رستمی، مهر، علیرضا، آتش فراز، بابک "بررسی خصوصیات مقاومتی و انتقالی بتن سبک خودتراکم حاوی الیاف پلی پروپیلن" مجله علمی پژوهشی تحقیقات بتن، سال نهم، شماره اول، تابستان، ص ۵۵-۳۹ (۱۳۹۵)

- [۹] عباسی رشت آبادی، محمد، رنجبر، ملک محمد، مدندوست، رحمت "بررسی تاثیر استفاده از پودر شیشه و متاکائولن بر خواص بتن خودتراکم" مجله علمی پژوهشی تحقیقات بتن، سال دهم، شماره اول، بهار، ص ۹۰-۷۵ (۱۳۹۶)
- [10] Sonebi, M., Bartos, P., (1999) "Hardened Scc and bond with reinforcement" first Int RILEM Sym on SCC, 275
- [۱۱] مظاهریور، هادی "تأثیر الیاف پروپیلن بر روی خواص مهندسی بتن سبک سازه ای از نوع خود متراکم" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه مازندران، ۱۳۸۶
- [۱۲] توکلی، حمیدرضا، مسعود، فلاح تبار شیاده "بررسی تأثیر الیاف بر مقاومت فشاری و کششی بتن های خودتراکم الیافی" پنجمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، سال ۱۳۹۲
- [13] The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems (EFNARC). "The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification, Production and Use", (2005).
- [14] Persson, B. Sulphate resistance of self-compacting concrete". Cement and Concrete Research, Vol. 33, 1933-1938, (2003).
- [15] Friebert, M., Stark, J. "Investing ations to the durability of self compacting concrete". Beton, Vol. 54, 184-186, (2004)
- [16] Harmathy, T. Z. "Properties of building materials". In: SFPE handbook of Fire protection engineering, Society of Fire Protection Engineers, Boston, USA, (1995).
- [17] Harmathy, T. Z. "Fire safety design and concrete". Longman Scientific and Technical, Harlow, U.K., (1993).
- [18] Ye, G., Liu, X., De Schutter, G., Taerwe, L., Vandeveldel, P. "Phase distribution and microstructural changes of self-compacting cement paste at elevated temperature". Cement and Concrete Research, Vol. 37, 978-987, (2007).
- [19] Ye, G., Liu, X., De Schutter, G., Poppe, A. M., Taerwe, L. "Influence of limestone powder used as filler in SCC on hydration and microstructure of cement pastes". Cem. Concr. Res., Vol. 29, 94-102, (2007).
- [20] Sarvaranta, L., Jarvela, E., Mikkola, E. "Fibre mortar composites under thermal exposure". in: Pluralis (Ed.), Proceedings of 2nd International Symposium on Textile Composites in Building Construction, Lyon, France, 23- 25 June, 47-56, (1992).
- [21] Lennon, T., Clayton, N. "Fire tests on high grade concrete with polypropylene fibres". BRE Report 395, (1999).
- [22] Boström, L. "The performance of some self compacting concretes when exposed to fire". SP report 2002:23, SP Swedish National Testing and Research Institute, (2002).