مطالعه آزمایشگاهی اثرات الیاف شیشه و متاکائولن بر روی خواص رئولوژیکی، مکانیکی و دوام بتن خود متراکم

میرپویا ناصری علوی
دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران
پیام شفیعی
دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران
حسن جوانشیر*
استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران
H_javanshir@azad.ac.ir*
تاریخ دریافت: ۹۷/۰۱/۲۵ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۷/۰۳/۲۵

چکیده:

تحقیقات گذشته نشان داده است که بتن خود متراکم تقویت شده با الیاف برای کارایی و عملکرد سازه‌ها در مقابل بارهای وارده مناسبتر است. هدف از این مطالعه ارزیابی اثرات متاکائولن و الیاف شیشه مقاوم قلیایی بر عملکرد بتن خود متراکم است. در این مطالعه خواص رئولوژیکی(جعبه L، جریان اسلامپ، زمان جریان اسلامپ T_{50}) و خواص مکانیکی (مقاومت فشاری، کششی و خمشی) و دوام (نفوذ یون کلر و جذب آب) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آزمایشات نشان داد که با افزایش مقدار الیاف، کارایی بتن کاهش می‌یابد. همچنین مشخص شد که الیاف شیشه تاثیر مثبتی بر روی مقاومت فشاری بتن ندارد. مقاومت کششی و خمشی بتن خودمتراکم تقویت شده با افزایش مقدار الیاف، زیاد می‌شود. مطالعات دوام نشان داده که حضور الیاف شیشه ابتدا باعث افزایش مقاومت در برابر نفوذ یون کلر و سپس کاهش آن می‌شود، همچنین باعث افزایش تدریجی جذب آب بتن شده است. نتایج آزمایشات نشان داد که حضور همزمان متاکائولن و الیاف شیشه با درصدهای بهینه، می‌تواند خواص مکانیکی و دوام بتن خود متراکم را به طرز قابل توجهی بهبود بخشد.

کلید واژگان: بتن خود متراکم، الیاف شیشه، متاکائولن، خواص رئولوژیکی، خواص مکانیکی، دوام.

۱- مقدمه

بتن سیمانی پرکاربردترین ماده ساختمانی در صنعت ساخت و ساز است. بتن معمولی در هنگام قالب گیری به تراکم نیاز دارند تا مقاومت و دوام آنها تامین شود. طراحی و تراکم نامناسب بتن به شکل‌گیری حفره‌هایی منتهی می‌شود که حاصل آن بتنی با کیفیت ضعیف است. توسعه بتن خود متراکم به طرز قابل توجهی روش بتن‌ریزی (بدون متراکم‌سازی) تغییر داده است[۱]. توسعه بتن خود متراکم منجر به کیفیت بهتر بتن و راحتی فرآیند ساخت و ساز حتی در بخش‌هایی که تراکم میلگرد وجود دارد شده است. روانی و انجام مخلوط بتن خود متراکم از طریق استفاده از فوق روان‌کننده و مقدار زیادی موادی پودری نرم ریز به دست می آید[۲]. پوزولان‌ها و مواد پودری ایده‌آل برای جایگزینی سیمان هستند. زیرا استفاده از آنها مقاومت مناسب، دوام بالا، کاهش هزینه و مصرف انرژی و انتشار کمتر گازهای گلخانه‌ای را به دنبال دارد[۳]. کانن و گانسان مقاومت شیمیایی و نفوذ یون کلر در بتن خود متراکم حاوی متاکائولن و پوسته برنج را مورد بررسی قرار دادند. آنها دریافتند که مقدار سیلیکات بالا در متاکائولن باعث بهبود واکنش پوزولانی بتن شده که این امر منجر به افزایش مقاومت و دوام بتن می‌شود[۴]. ال‌اکراس بیان کرد که وارد کردن متاکائولن در بتن باعث بهبود مقاومت در برابر حمله سولفاتی می‌گردد[۵]. کاویتا و همکارانش ریز ساختار بتن خود متراکم حاوی متاکائولن را مورد بررسی قرار دادند و متوجه شدند که وجود متاکائولن باعث کاهش نفوذپذیری و نفوذ یون‌های کلر به درون بتن می شود که ناشی از اصلاح ساختار منفذی بتن است[۶].

کاویتا و همکاران تاثیر متاکائولن بر خواص مکانیکی و دوام مخلوط بتن خود متراکم تازه، حاوی ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ ٪ متاکائولن را مورد بررسی قرار دادند. آنها پی بردند که مخلوط بتن خود متراکم حاوی ۱۰ ٪ متاکائولن در حالت تازه و سخت شده خصوصیات خوبی از خود نشان می‌دهد. آنها همچنین گزارش دادند که استفاده از متاکائولن در بتن موجب کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار گاز دی‌اکسید کربن می‌شود[۷] .

بتن خود متراکم یک بتن مبتنی بر سیمان است و تحت تنش کششی و با بارگذاری ضربه‌ای ممکن است در معرض شکستگی ترد قرار گیرد. ولی اضافه کردن الیاف به بتن خود متراکم باعث کاهش تردی و افزایش مشخصات کششی بتن خود متراکم می‌شود. ساختارهای بتن مسلح معمولی به طرز قابل توجهی با گذشت زمان تخریب می‌شود و به نگهداری پر هزینه و مستمر نیاز دارد. افزودن الیاف مجزا شده و توزیع یکپارچه آنها در بتن به صورت قابل توجهی خواص دینامیکی و استاتیکی بتن را بهبود می‌بخشد. بعلاوه به منظور توسعه حوزه‌های کاربرد بتن خود متراکم به آن الیاف اضافه می‌شود. اضافه کردن الیاف به بتن ضعف‌های آن را کمتر می‌کند[۸]. بارلونگا و هرناندز بتن خود متراکم را با اضافه کردن الیاف شیشه مقاوم قلیایی تولید کردند. آنها آزمایشات مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، تست‌های جمع شدگی آزاد را با یا بدون جریان هوا بروی نمونه و تست‌های ترک خوردگی محدود را برای ارزیابی توانایی کنترل ترک‌خوردگی الیاف شیشه مقاوم قلیایی انجام دادند. آنها بیان کردند که اضافه کردن مقادیر کم الیاف باعث تغییر روانی و خواص مکانیکی بتن نمی‌شود. همچنین به این نتیجه رسیدند که مقدار کم الیاف شیشه با حداکثر توانایی کنترل ترک‌خوردگی همراه است ولی مقادیر استفاده از مقادیر بالاتر بازده الیاف را افزایش نداد[۸]. آیدین تاثیر اضافه کردن الیاف به بتن خود متراکم را در ارتباط با خواص مکانیکی (مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مقاومت خمشی) مورد بررسی قرار داد[۹].

رائو و همکاران تاثیر تقویت با الیاف شیشه مقاوم قلیایی (۰٪، ۰/۰۳٪ ، ۰/۰۶٪، ۰/۱ ٪) را بروی دوام بتن مورد بررسی قرار دادند. آنها بیان کردند که حداکثر بهبود در دوام بتن با درصدهای مختلف الیاف شیشه، در میزان ۰/۱ درصد برای تمامی سطوح بتن به دست آمد[۱۰]. میرزا و سروشیان تاثیر الیاف شیشه مقاوم قلیایی را بروی ترک‌خوردگی و مقاومت حرارتی بتن سبک بررسی کردند. آنها پی بردند که الیاف شیشه باعث کاهش عرض ترک و کاهش تاثیر منفی ناشی از افزایش دما می‌شود. آنها اظهار داشتند که الیاف شیشه موجب بهبود مشخصات خدمات دهی و دوام بتن می‌شود[۱۱].

۲- اهمیت تحقیق

در حال حاضر اطلاعات محدودی در مورد بتن خود متراکم حاوی پوزولان‌ها و الیاف وجود دارد، بررسی این نوع بتن خود متراکم مخلوط شده با پوزولان‌ها و الیاف مفید خواهد بود زیرا انتظار می‌رود تا خواص مکانیکی و دوام خوبی از خود نشان بدهند. بنابراین بررسی دقیق برروی تاثیر پوزولان‌ها و الیاف بر بتن خود متراکم صورت گرفت. در این تحقیق متاکائولن به عنوان پوزولان مورد استفاده قرار گرفت. این مقاله به بررسی تجربی خواص رئولوژیکی، مکانیکی و دوام بتن خود متراکم تازه و سخت، تقویت شده با الیاف شیشه پرداخته است.

۳- بررسی آزمایشگاهی

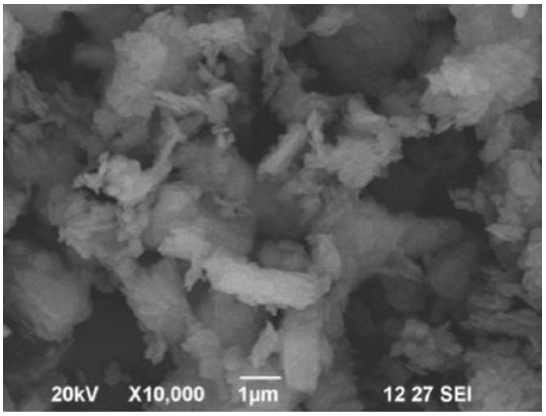
۳-۱- مواد و مصالح

سیمان پرتلند تیپ ۲ و متاکائولن (جایگزین شده با ۱۰ ٪ وزن سیمان) به عنوان ماده پودری استفاده شدند. متاکائولن به عنوان یک ماده افزودنی معدنی در این تحقیق استفاده شد. رنگ آن سفید بوده و اندازه متوسط ذرات آن ۱/۵ تا ۲/۵ میکرون است. متاکائولن یک ماده پوزولانی دوستدار طبیعت و محیط زیست است. مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۱ ارائه شده است و تصویر SEM متاکائولن در شکل ۱ ارائه شده است. تراکم بالای سیلیس و آلومین در متاکائولن باعث افزایش شکل‌گیری ژل کلسیم–سیلیکات–هیدرات (CSH) شده و دوام بتن افزایش می‌یابد[۱۲]. وزن مخصوص سیمان پرتلند معمولی ۳/۱۶ و متاکائولن ۲/۵۴ است. سنگدانه استفاده شده در این تحقیق عبارتند از سنگدانه درشت با وزن

مخصوص ۲/۶۸ و شن طبیعی رودخانه‌ای به عنوان سنگدانه ریز با وزن مخصوص ۲/۶۸ است. برای دستیابی به سطحی مطلوب از کارآیی بتن، فوق روان‌کننده مبتنی بر پلی کربوکسیلیک اتر در مقادیر مختلف استفاده شده است. الیاف شیشه مقاوم قلیایی با مدول الاستیسیته ۷۲ Gpa، قطر الیاف ۱۴ میکرون، طول ۱۲ میلیمتر، نسبت ابعادی ۸۷۵/۱ و وزن مخصوص ۲/۶۸ در این تحقیق استفاده شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی متاکائولن

مشخصات فیزیکی	
وزن مخصوص	۲/۵۴
شکل ظاهری	پودر
رنگ	رنگ کرم نزدیک به سفید
سطح مخصوص	۱/۲۷
چگالی انبوهی	۰/۳ تا ۰/۴
مشخصات شیمیایی	
SiO2	۵۲/۲۴
Al2O3	۴۳/۱۸
Fe2O3	۰/۶
CaO	۱/۰۳
MgO	۰/۰۸



شکل ۱- تصویر میکروسکوپ الکترونیکی از متاکائولن

الیاف مصرفی در این تحقیق از الیاف شیشه می باشد که ویژگی‌های آن در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی الیاف

الیاف	شکل	چگالی g/Cm^3	قطر (mm)	طول (mm)	مقاومت کششی GPa	ضریب ارتجاعی GPa
شیشه	صاف	۲/۶۸	۰/۱۴	۱۲	۲/۸	۷۲

۳-۲- طرح‌های اختلاط بتن خود متراکم حاوی الیاف شیشه

ابتدا بتن خود متراکم با متاکائولن مخلوط می‌گردد تا بتن خود متراکم شاهد تهیه شود. بتن خود متراکم تقویت شده با الیاف با اضافه کردن الیاف شیشه ۰/۱ تا ۰/۸ درصد حجمی به بتن خود متراکم شاهد تهیه می‌شود. طرح‌های اختلاط برای آزمایشات مختلف مطابق دستورالعمل EFNARC به دست آمده در جدول ۳ ارائه شده است[۱۳].

۳-۳ ارزیابی خواص رئولوژیکی بتن خود متراکم

برای اطمینان از خواص رئولوژیکی بتن خود متراکم مانند توانایی جریان پذیری، توانایی عبور و مقاومت در برابر جداشدگی برروی مخلوط‌های بتن خود متراکم و خود متراکم تقویت شده با الیاف شیشه آزمایش‌های مطابق دستور العمل EFNARC انجام گرفته است[۱۳].

آزمایشات جریان اسلامپ و زمان جریان اسلامپ(T_{500}) برای ارزیابی توانایی پر کردن بتن خود متراکم در سطح صاف افقی بدون وجود موانع انجام شد. برای ارزیابی توانایی عبور بتن خود متراکم از مقطع مسلح و با تراکم میلگرد از تست حلقه J استفاده شد. تست قیف V و قیف V در ۵ دقیقه برای ارزیابی ویسکوزیته و مقاومت در برابر جداشدگی مخلوط بتن خود متراکم به کار رفت تست جعبه L برای ارزیابی جریان‌پذیری بتن و توانایی عبور به وسیله تعیین نسبت انسداد انجام شده است.

۳-۴ آزمایشات بتن سخت شده

۳-۴-۱- خواص مکانیکی

پس از آماده شدن مخلوط‌های بتن که تامین‌کننده ملزوماتی مانند توانایی عبور، توانایی پرکنندگی و مقاومت در برابر جداشدگی بوده این مخلوط‌ها درون قالب‌های مناسب بدون هیچ گونه ویبره یا تراکم خارجی ریخته شد. نمونه‌های بتن پس از ۲۴ ساعت از قالب‌ها بیرون آورده شد و تا روز آزمایش در آب قرار گرفت. برای تعیین مقاومت فشاری، کششی و خمشی به ترتیب از نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلیمتر، استوانه ای با ابعاد ۳۰۰×۱۵۰ میلیمتر و منشوری با ابعاد ۵۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلیمتر استفاده و از سه نمونه برای هر اختلاط در هر آزمایش استفاده شد. خواص مکانیکی مقاومت فشاری براساس استاندارد IS: ۵۱۶,۱۹۵۹، خمشی ASTM C۱۰۱۸ مقاومت کششی براساس استاندارد IS:۵۸۱۶,۱۹۹۹ انجام شد[۱۴و۱۵]. در آزمایش مقاومت خمشی بار به صورت ۴ نقطه‌ای به تیر منشوری اعمال گردید، بارگذاری به صورت یکنواخت و بین ۰/۸۵ الی ۱/۲ مگاپاسکال بر دقیقه بوده است، در شکل ۲ دستگاه خمش نشان داده شده است.

شکل۲- دستگاه آزمایش خمش

۳-۴-۲- آزمایشات دوام

تست نفوذپذیری کلر، برای ارزیابی کیفیت بتن انجام شد. این تست بروی نمونه‌های استوانه‌ای با ارتفاع ۵۰ میلیمتر و قطر ۱۰۰ میلیمتر بر اساس استاندارد ASTM C۱۲۰۲ انجام شد. برای اجرای این تست یک انتهای نمونه استوانه‌ای در تماس با محلول کلرید سدیم و انتهای دیگر در محلول هیدروکسید سدیم قرار گرفته است. پس از تثبیت نمونه‌ها اختلاف پتانسیل ۶۰V از نمونه به مدت ۶ ساعت عبور داده شد. کل جریان عبوری از نمونه‌های بتن اندازه‌گیری شد که این جریان عبوری بیانگر میزان مقاومت نمونه به نفوذ یون کلر است.

آزمایش جذب آب برروی نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۱۰۰ میلیمتری پس از ۲۸ روز عمل‌آوری در آب انجام گرفت. نمونه‌های بتن خود متراکم در اجاق هوای داغ در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد به مدت ۷۲ ساعت نگهداری شدند. پس از آن نمونه های خشک شده در کوره به مدت ۲۴ ساعت در هوای خنک و خشک نگهداری شد. و وزن کشی شدند (W_d). نمونه‌های خنک شده بلافاصله به طور کامل در یک مخزن حاوی آب قابل شرب به مدت ۳۰ دقیقه غوطه ور شدند. سپس نمونه‌ها از مخزن آب خارج شده و به خوبی تکان داده شد و با پارچه‌ای خشک شدند تا آب آزاد آنها از بین برود و مجدداً وزن کشی شدند(W_S).

جدول ۳- طرح‌های اختلاط بتن خود متراکم

طرح های اختلاط	آب / پودر	متاکائولن	سیمان	ریزدانه	درشت دانه	آب	فوق روان کننده	الیاف شیشه	الیاف شیشه
		Kg/m^3	Kg/m^3	Kg/m^3	Kg/m^3	Kg/m^3	Kg/m^3	%	Kg/m^3
Control SCC	۰/۳۸	۵۰	۴۵۰	۹۰۰	۶۵۰	۱۹۰	۵	–	–
GFSCC1	۰/۳۸	۵۰	۴۵۰	۹۰۰	۶۵۰	۱۹۰	۵/۱۲	۰/۱	۲/۳۸
GFSCC2	۰/۳۸	۵۰	۴۵۰	۹۰۰	۶۵۰	۱۹۰	۵/۱۵	۰/۲	۴/۷۶
GFSCC3	۰/۳۸	۵۰	۴۵۰	۹۰۰	۶۵۰	۱۹۰	۵/۴	۰/۳	۷/۱۴
GFSCC4	۰/۳۸	۵۰	۴۵۰	۹۰۰	۶۵۰	۱۹۰	۵/۶۵	۰/۴	۹/۵۲
GFSCC5	۰/۳۸	۵۰	۴۵۰	۹۰۰	۶۵۰	۱۹۰	۵/۸۵	۰/۵	۱۱/۹
GFSCC6	۰/۳۸	۵۰	۴۵۰	۹۰۰	۶۵۰	۱۹۰	۶	۰/۶	۱۴/۲۸
GFSCC7	۰/۳۸	۵۰	۴۵۰	۹۰۰	۶۵۰	۱۹۰	۶/۱۵	۰/۷	۱۶/۶۶
GFSCC8	۰/۳۸	۵۰	۴۵۰	۹۰۰	۶۵۰	۱۹۰	۶/۲۵	۰/۸	۱۹/۰۴

رابطه ۱ جذب آب بصورت زیر تعیین شده است:

$$\%W=(\frac{W_S-W_d}{w_d})\times 100 \qquad (۱)$$

که در آن

W_d: وزن نمونه خشک شده در اجاق بر حسب کیلوگرم،

W_S: وزن نمونه پس از غوطه ور شدن در آب به مدت ۳۰ دقیقه بر حسب کیلوگرم.

۴- نتایج آزمایشگاهی و تحلیل‌ها

۴-۱- خواص رئولوژیکی بتن خود متراکم

نتایج آزمایشات بتن تازه بیانگر اثرات معکوس الیاف بروی خواص رئولوژیک است. زیرا الیاف شیشه دارای سطح مخصوص بالا و اصطکاک ذره‌ای قابل توجهی با سنگدانه ها است. مقدار جریان اسلامپ برای مخلوط بتن خود متراکم تقویت شده، با الیاف شیشه در محدوده ۶۷۵ ~۵۵۲ میلیمتر قرار دارد که در جدول ۴ ارائه شده است. جریان اسلامپ در دستور العمل EFNARC برای بتن خود متراکم در محدوده ۸۵۰~۵۵۰ ارائه شده است. زمان‌های جریان اسلامپ (T_{500})، و قیف V با وارد شدن الیاف شیشه، افزایش یافته است نسبت انسداد قابل قبولی در تمامی مخلوط‌های بتن خود متراکم مشاهده شد، اگر چه مقدار فوق روان‌کننده مورد نیاز از ۵ به ۶/۲۵ کیلوگرم در مترمکعب افزایش یافت که این افزایش هنگامی است که الیاف شیشه از ۰/۱ به ۰/۸ درصد افزایش یافته است. همچنین برای رسیدن به کارایی مورد نیاز بتن خود متراکم تقویت شده با الیاف شیشه مقدار روان‌کننده افزایش می‌یابد، زیرا اصطکاک بین الیاف و سنگدانه افزایش یافته است.

۴-۲- آزمایشات بتن سخت شده

۴-۲-۱- مقاومت فشاری

همانطور که در شکل ۳ ارائه شده با افزایش مقدار الیاف شیشه از ۰/۱ به ۰/۸، مقاومت فشاری از ۷۰/۴۱ به ۴۷/۵۲ Mpa کاهش یافته است. بنابراین مشخص می‌شود که افزودن الیاف شیشه تاثیر مثبتی بر مقاومت فشاری بتن نداشته است. نتایج مشابه توسط سایر محققین نیز بیانگر این امر است که نمونه‌های بتن با الیاف غیر فلزی مانند (الیاف شیشه، پلی پروپیلن پلی استر) هیچ افزایشی در مقاومت فشاری در مقایسه با بتن تقویت نشده، نداشته‌اند. افزودن الیاف شیشه در بتن به علت وجود منافذ ریز در سطح شکستگی نمونه‌های مکعبی موجب کاهش مقاومت فشاری بتن می‌شود، که این منافذ را می‌توان مناطق ضعیف درون بتن دانست.

جدول ۴- خواص رئولوژیکی مخلوط های بتن خود متراکم

طرح های اختلاط	جریان اسلامپ	زمان جریان اسلامپ T_{50}	قیف V	قیف V T_5 min	حلقه J	جعبه L $\frac{H_2}{H_1}$
	میلیمتر	ثانیه	ثانیه	ثانیه	میلیمتر	–
Control SCC	۶۸۰	۲/۹	۵/۴	۸/۳	۸	۰/۸۰
GFSCC1	۶۷۵	۲/۵	۹/۱	۱۲/۵	۵/۷	۰/۸۳
GFSCC2	۶۶۳	۲/۶	۹/۴	۱۲/۷	۶/۳	۰/۸۲
GFSCC3	۶۵۷	۲/۸	۱۰	۱۳/۳	۶/۵	۰/۸۲
GFSCC4	۶۴۸	۳	۱۰/۴	۱۳/۴	۶/۸	۰/۸۱
GFSCC5	۶۴۰	۳/۲	۱۰/۷	۱۳/۹	۷/۳	۰/۸۰
GFSCC6	۶۲۰	۳/۷	۱۱/۲	۱۴/۲	۷/۷	۰/۸۰
GFSCC7	۶۰۰	۴/۲	۱۱/۸	۱۴/۹	۸/۱	۰/۷۹
GFSCC8	۵۵۲	۵/۱	۱۲/۸	۱۵/۲	۸/۴	۰/۷۲

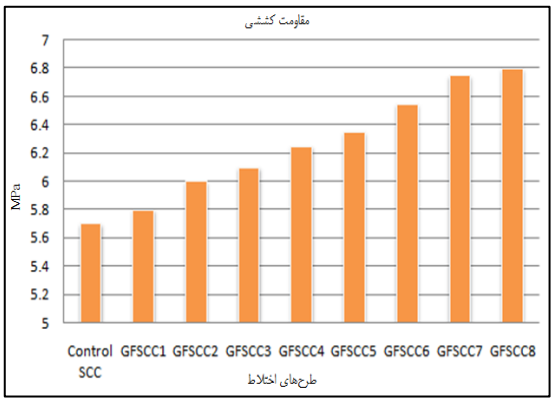
۴-۲-۲- مقاومت خمشی و کششی

مقاومت کششی ۲۸ روزه نمونه های بتن خود متراکم مخلوط شده با متاکائولن و تقویت شده با الیاف شیشه در شکل ۴ نشان داده شده است. حداکثر مقاومت کششی Mpa ۶/۶۹ است که توسط مخلوط بتن خود متراکم تقویت شده با ۰/۸٪ الیاف شیشه به دست آمد که در مقایسه با مخلوط بتن خود متراکم شاهد، ۱۶/۶٪ بیشتر بود. نتایج نشان می‌دهد که افزودن الیاف شیشه باعث افزایش مقاومت کششی مخلوط‌های بتن خود متراکم می‌گردد. افزایش مقاومت کششی ناشی از اتصال شکاف ترک قطری است. همچنین افزودن الیاف باعث کاهش توزیع ترک‌ها به علت ایجاد اتصال و در نتیجه بهبود مقاومت کششی بتن می‌شود.

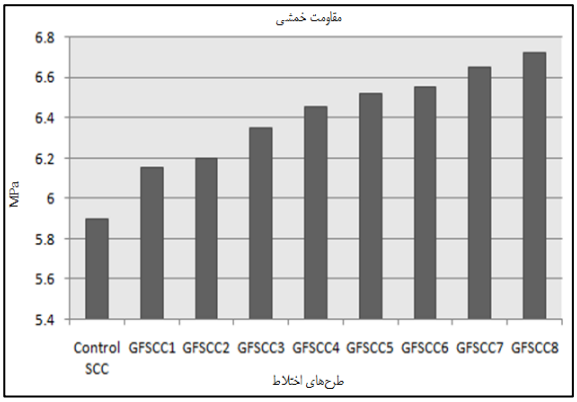
شکل ۵ نشان می‌دهد که افزایش الیاف شیشه از ۰/۱ به ۰/۸ باعث افزایش مقاومت خمشی از ۶/۱۲ به ۶/۷۵ Mpa می‌گردد. مشخص شد که مخلوط بتن خود متراکم تقویت شده با ۰/۸٪ الیاف شیشه، مقاومت خمشی بالاتری در مقایسه با دیگر مخلوط‌های بتن خود متراکم حاوی متاکائولن و الیاف شیشه دارد. مخلوط‌های بتن خود متراکم حاوی متاکائولن و تقویت شده با الیاف شیشه دارای مقاومت خمشی بالاتری نسبت به نمونه‌های بتن خود متراکم شاهد هستند.

میرزا و سروشیان نیز تاثیرات مشابه الیاف شیشه بر مقاومت خمشی بتن را در تحقیقات خود بیان کردند، که بیانگر این موضوع بود که مقاومت کششی و خمشی با افزایش مقدار الیاف شیشه افزایش می‌یابد ولی افزایش مقدار الیاف شیشه بیش از ۰/۸٪ باعث کاهش کارایی بتن می شود که ناشی از اصطکاک درونی بین الیاف و سنگدانه‌ها است[۱۱].

شکل ۳- مقاومت فشاری بتن خود متراکم تقویت شده با الیاف شیشه



شکل۴- مقاومت کششی بتن خود متراکم تقویت شده با الیاف شیشه

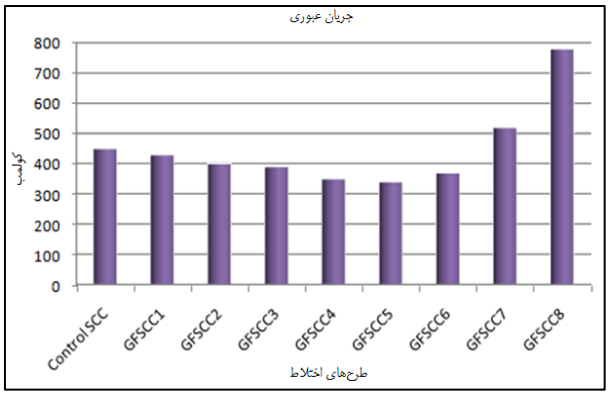


شکل۵- مقاومت خمشی بتن خود متراکم تقویت شده با الیاف شیشه

۴-۲-۳- آزمایش تست نفوذ یون کلر

نتایج نشان می‌دهد که افزودن متاکائولن در بتن باعث کاهش نفوذ یون کلر می‌شود که ناشی از اصلاح ساختار منفذی بتن است[۷]. بتن خود متراکم تقویت شده به دلیل افزودن الیاف شیشه تا حد ۰/۶٪ کاهش نفوذپذیری یون کلر را در شکل ۶ نشان می‌دهد.

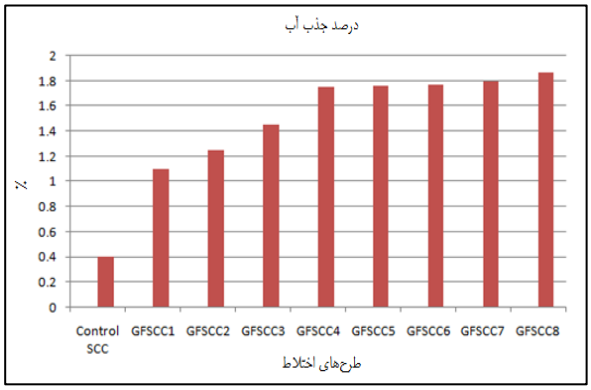
براساس ASTM C 1202، بتنی با جریان عبوری بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ کولمب دارای مقاومت خوبی نسبت به نفوذ یون‌های کلر است. بنابراین تمامی مخلوط‌های بتن خود متراکم تقویت شده با الیاف شیشه در دسته نفوذپذیری بسیار کم یون کلر قرار می‌گیرند. اتصال بین الیاف شیشه و خمیر سیمان باعث بهبود خصوصیات ساختار منافذ و ساختار داخلی بتن متراکم بیشتر می‌شود. این ساختار متراکم تر بتن باعث کاهش نفوذ آب و کلر درون بتن می‌شود. نمونه‌های بتن خود متراکم تقویت شده با الیاف شیشه در مقایسه با نمونه‌های بتن خود متراکم شاهد اندکی کمتر نفوذپذیری در مقابل یون کلر از خود نشان می‌دهند، زیرا الیاف شیشه در عرض ترک‌ها اتصال برقرار می‌سازد[۱۶].



شکل ۶- مشخصات نفوذپذیری بتن خود متراکم تقویت شده با الیاف شیشه

۴-۲-۴- آزمون جذب آب

افزودن متاکائولن باعث کاهش جذب آب بتن به دلیل مقدار بالای سیلیس در متاکائولن می‌شود[۱۷]. شکل ۷ جذب آب مخلوط‌های بتن خود متراکم تقویت شده را نشان می‌دهد. نتایج نشان‌دهنده این است که با افزایش مقدار الیاف شیشه باعث افزایش جذب آب در مقایسه با بتن خود متراکم مشاهده شده است. و مقادیر جذب آب برای تمامی مخلوط های بتن خود متراکم تقویت شده با الیاف شیشه در حد ۲ درصد قرار دارد. الیاف شیشه اتصال خوبی با ذرات سیمان برقرار می‌کند که باعث می‌شود نفوذ آب درون بتن به دلیل ساختار منافذ متراکم تر کاهش یابد. بنابراین افزودن الیاف شیشه باعث بهبود دوام بتن می‌شود.



شکل ۷- مشخصات جذب آب بتن خود متراکم تقویت شده با الیاف شیشه

۵- نتیجه‌گیری

۱- اضافه کردن متاکائولن باعث بهبود مقاومت و دوام بتن می‌شود.

۲- اضافه کردن حجم بیشتری از الیاف شیشه در بتن باعث کاهش کارایی بتن خود متراکم می‌شود.

۳- نتایج نشان می‌دهد که افزودن الیاف شیشه تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر مقاومت فشاری ندارد ولی مقاومت خمشی و کششی با افزایش مقدار الیاف شیشه در بتن خود متراکم تقویت شده با الیاف شیشه به ترتیب ۱۳/۵٪ و ۲۰/۳٪ افزایش یافته که ناشی از اثر اتصال در درون بتن است.

۴- بتن خود متراکم تقویت شده با الیاف شیشه تا حد ۰/۶٪ قابلیت نفوذپذیری یون کلر را حد به دلیل اتصال خوب الیاف شیشه با ملات چسباننده کاهش می‌دهد. افزودن الیاف شیشه در بتن خود متراکم، افزایش تدریجی را در جذب آب در مقایسه با بتن خود متراکم شاهد نشان می‌دهد.

۵- با افزایش الیاف شیشه بیش از ۰/۸٪ کارایی بتن خود متراکم تحت تاثیر قرار می‌گیرد. بنابراین میزان ۰/۸٪ الیاف شیشه به عنوان مقدار بهینه الیاف شیشه در بتن خود متراکم تقویت شده در نظر گرفته می‌شود.

۶- منابع

1- Beigi, M.H., Berenjian, J., Omran, O.L., Nik, A.S., Nikbin, I.M., 2013. An experimental survey on combined effects of fibers and nanosilica on the mechanical, rheological, and durability properties of self-compacting concrete. Mater. Des. 50, 1019–1029.
2- Madandoust, R., Mousavi, S.Y., 2012. Fresh and hardened properties of self-compacting concrete containing metakaolin. Constr. Build. Mater. 35, 752–760.
3- Franck, C., Michel, M., Gilles, E., Philippe, B., Alexandre, B., 2010. Metakaolin, a solution for the precast industry to limit the clinker content in concrete: mechanical aspects. Constr. Build. Mater. 24, 1109–1118.
4- Kannan, V., Ganesan, K., 2014. Chloride and chemical resistance of self-compacting concrete containing rice husk ash and metakaolin. Constr. Build. Mater. 51, 225–234.
5- Al-Akhras, N.M., 2006. Durability of metakaolin to sulfate attack. Cem. Concr. Res. 36, 1727–1734.
6- Kavitha, O.R., Shanthi, V.M., Prince Arulraj, G., Sivakumar, P., 2015. Fresh micro-and macrolevel studies of metakaolin blended self-compacting concrete. Appl. Clay Sci.114, 370–374.
7- Kavitha, O.R., Shanthi, V.M., Prince Arulraj, G., Sivakumar, V.R., 2016. Microstructural studies on eco-friendly and durable self-compacting concrete blended with Metakaolin. Appl. Clay Sci. 124, 143–149.
8- Barluenga, G., Hernandez-Olivares, F., 2007. Cracking control of concretes modified with short AR-glass fibers at early age. Experimental results on standard concrete and SCC. Cem. Concr. Res. 37, 1624–1638.
9- Aydin, A.C., 2007. Self compactability of high volume hybrid fiber reinforced concrete. Constr. Build. Mater. 21, 1149–1154.
10- Rao, P.S., Mouli, K.C., Sekhar, T.S., 2012. Durability studies on glass fibre reinforced concrete. J. Civ. Eng. Sci. 1, 37–42.
11- Mirza, F.A., Soroushian, P., 2002. Effects of alkali-resistant glass fiber reinforcement on crack and temperature resistance of lightweight concrete. Cem. Concr. Compos. 24, 223–227.
12- Zibara, H., Hooton, R., Thomas, M., Stanish, K., 2008. Influence of the C/S and C/A ratios of hydration products on the chloride ion binding capacity of lime-SF and lime-MK mixtures. Cem. Concr. Res. 38, 422–426.
13- EFNARC, 2005. The European Guidelines for self compacting concrete Specification, Production and Use. EFNARC (May 2005).
14- IS: 516, 1959. Methods for Test for Strength of Concrete. Amendment No. 2, Reprint 1993. Bureau of Indian Standards, New Delhi, India.
15- IS: 5816, 1999. Splitting tensile strength of concrete Method of test, First revision. Bureau of Indian Standards, New Delhi, India.
16- ASTM C 1202, 2009. Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration.
17- Papadakis, V.G., Tsimas, S., 2002. Supplementary cementing materials in concrete part I: efficiency and design. Cem. Concr. Res. 32, 1525–1532.

An experimental study on effects of glass fiber and Metakaolin on the rheological, mechanical, and durability properties of self compacting concrete

Mir Pouya Naseri Alavi
PHD student of construction engineering and management Department of Civil Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.
Payam shafiei
PHD student of construction engineering and management Department of Civil Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.
Hassan javanshir
Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Abstract:

Previous studies has shown that reinforced self-compacting concrete with fiber is more suitable for structural performance. The purpose of this study was to evaluate the effects of Metkaolin and alkali resistant glass fibers on the performance of self-compacting concrete. In this study, the rheological properties (L-Box, Slump flow, T50) and mechanical properties (compressive strength, tensile and flexural strength), and durability (chloride ion penetration and water absorption) have been investigated. The results of the experiments showed that by increasing the amount of fiber, the concrete performance decreases. It was also found that the glass fiber had no positive effect on the compressive strength of the concrete. The tensile and flexural strength of self-compacting reinforced concrete increases with increasing fiber content. Durability studies have shown that the presence of glass fiber initially increases the resistance to chloride ion penetration and then reduces it, and also increases the gradual absorption of concrete water. The results of the experiments showed that the simultaneous presence of Metkaolin and glass fibers with optimal percentages can significantly improve the mechanical properties and durability of self-compacting concrete

Keywords: Self-compacting concrete, Glass fiber, Metakaolin, Rheological properties, Mechanical properties, Durability