مجلهٔ تحقیقات بتن
زمستان۸۹، سال سوم، شمارهٔ۲
ص۶۹-۵۹
تاریخ دریافت: ۸۹/۹/۲ ۵
تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۱/۳۰

بررسی خواص رفتارشناسی، جمع‌شدگی و مکانیکی ملات خودتراکم مسلح به الیاف پلی پروپیلن

محمد شکرچی‌زاده
سرپرست انستیتو مصالح ساختمانی دانشکدهٔ فنی دانشگاه تهران
ایمان مهدی پور
عضو مرکز تحقیقات بتن و ساختمان دانشگاه آزاد قزوین وکارشناس انستیتو مصالح ساختمانی دانشکدهٔ فنی دانشگاه تهران
iman_civilengineer@yahoo.com
نیکلاس علی لیبر
مدیر پژوهشی انستیتو مصالح ساختمانی دانشکده فنی دانشگاه تهران و عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی قزوین

چکیده

با توسعه بتن خودتراکم به‌خاطر قابلیت روانی زیاد آن، امکانات جدیدی در صنعت ساختمان فراهم آمده است. بتن خودتراکم برای تأمین کارپذیری لازم دارای حجم خمیر بیشتر و حجم درشت‌دانهٔ کمتری نسبت به بتن سنتی می‌باشد. از این‌رو مقدار جمع‌شدگی و پتانسیل توسعهٔ ترک به دلیل افزایش تنش‌های کششی ناشی از جمع‌شدگی در بتن خودتراکم نسبت به بتن سنتی افزایش می‌یابد. یک روش بسیار مؤثر در کنترل ترک‌خوردگی ناشی از جمع‌شدگی، مسلح کردن بتن با الیاف، ازجمله الیاف پلی‌پروپیلن است. الیاف پلی‌پروپیلن با توزیع تصادفی خود، نیروهای اتصال دهنده‌ای در عرض ترک‌ها ایجاد می‌کنند و به این ترتیب از گسترش آنها جلوگیری می‌کنند. از طرفی استفاده بیش از مقدار بهینه از الیاف باعث کاهش کارپذیری و ایجاد ناهمگنی در بتن می‌شود و این امر استفاده از الیاف را در داخل بتن خودتراکم محدود می‌کند.

از این رو، هدف در این مقاله کنترل پارامتر جمع‌شدگی توسط الیاف پلی‌پروپیلن (با توجه به حفظ خواص رئولوژی و کارایی مناسب) در ملات خودتراکم است. می‌توان ملات فوق‌روان را به‌عنوان یک نوع ترکیب سیمانی خودتراکم دسته‌بندی کرد. در حقیقت ارزیابی ویژگی‌های ملات خودتراکم پایه‌ای برای ارزیابی آن ویژگی‌ها در بتن خودتراکم می‌باشد. . ۹ طرح اختلاط با مقادیر ۰، ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ درصد حجمی الیاف پلی‌پروپیلن با طول‌های ٦ و ۱۲ میلیمتر مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. به منظور مطالعهٔ جمع‌شدگی از نمودارهای کرنش - جمع‌شدگی ٦ ماهه استفاده گردیده است. به‌علاوه خواص رفتارشناسی نیز توسط آزمایش اسلامپ کوچک و مقاومت فشاری، کششی و خمشی ۲۸ روزه نیز اندازه‌گیری شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که مقدار بهینهٔ الیاف پلی‌پروپیلن در ملات فوق‌روان برای دست‌یابی به مشخصات رئولوژی و مکانیکی قابل قبول در کنار کنترل مناسب جمع‌شدگی ۰/۳ درصد حجمی ملات برای هر دو طول ٦ و ۱۲ میلی‌متر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بتن خودتراکم، ملات خودتراکم، رفتارشناسی، جمع‌شدگی، خصوصیات مکانیکی، الیاف پلی‌پروپیلن.

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر استفاده از بتن خودتراکم به دلیل ویژگی‌هایی نظیر روانی، کارایی زیاد، مقاومت در برابر جداشدگی، عدم نیاز به لرزاندن و سرعت در اجرا رشد روزافزونی داشته و تأثیر بسزایی در صنعت ساختمانی به وجود آورده است. بتن خودتراکم در مقایسه با بتن‌های معمولی که باید لرزانده شوند، دارای مزیت‌هایی از لحاظ تکنولوژی، اقتصاد و سلامت کارگران است[۱و۲]. اما از آنجا که نقطه قوت یک فناوری می‌تواند نقطهٔ ضعف آن نیز باشد در بتن خودتراکم نیز به واسطه تامین روانی، مقدار خمیر سیمان افزایش و مقدار درشت‌دانه نسبت به بتن معمولی کاهش پیدا می‌کند که این امر باعث بروز مشکلاتی در بتن خودتراکم می‌گردد. چراکه یکی از دلایل ضعف این بتن جمع‌شدگی بیش از حد و کاهش شکل‌پذیری آن می‌باشد به نحوی که پس از عبور از بار حداکثر دچار شکست ترد و ناگهانی می‌شود. این امر کاربرد بتن خودتراکم در سازه‌ها به خصوص در مناطق زلزله خیز را دچار مشکل می‌کند [۳].

پس از اینکه بتن عمل‌آوری و خشک شد، به دلیل هیدراتاسیون و کاهش رطوبت تنش‌های کششی به‌وجود می‌آیند که باعث ایجاد ترک‌های سطحی در بتن می‌شود. اگر به این ترک‌ها که به‌واسطهٔ جمع‌شدگی گسترش می‌یابند، توجه نشود تبدیل به کانال‌هایی برای عبور عوامل مخرب خارجی می‌شوند و دوام بتن را در بلندمدت کاهش می‌دهند[۴و۵]. این پدیده، به ویژه، در اعضایی که دارای سطوح زیاد و در معرض عوامل جوی می‌باشند؛ از قبیل دالهای کف یا پانلهای پیش ساخته بروز می‌کند[۵].

یک روش بسیار مؤثر در کنترل ترک‌خوردگی ناشی از جمع‌شدگی مسلح کردن بتن با الیاف است. خواصی از الیاف که معمولاً در این مواد مورد توجه واقع می‌شوند عبارت‌اند از تمرکز الیاف، هندسهٔ الیاف، جهت الیاف و توزیع الیاف [۶و۷]. افزایش آشکار در مقاومت کششی و شکل‌پذیری و کاهش جمع‌شدگی شناخته شده‌ترین آثار قابل استحصال در ترکیبات مسلح به الیافمی‌باشد[۸]. همچنین می‌تواند به افزایش مقاومت برشی [۹] و افزایش مقاومت در برابر بارهای دینامیکی [۱۰] نیزکمک کند. الیافی که به طرز تصادفی درون مخلوط بتن توزیع می‌شوند با پل زدن در عرض ترک‌ها، می‌توانند نیروهای کششی عرض ترک را مهار کرده در نتیجه، از رشد ترک‌ها جلوگیری نمایند. در میان همهٔ الیافی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند الیاف پلی‌پروپیلن یکی از مؤثرترین آنها به حساب می‌آید. زیرا پلی‌پروپیلن نسبتاً ارزان بوده؛ در محیط سیمانی، با PH زیاد، وارد واکنش شیمیایی نمی‌شود؛ و به سادگی در مخلوط بتن پخش می‌گردد.

با افزایش بیش از حد حجم الیاف، با وجود این‌که مشخصات ترک‌ها به طور قابل‌ملاحظه‌ای بهبود می‌یابند، مخلوط بتن کارپذیری زیاد خود را از دست می‌دهد[۱۱] و مشکلات بتن‌ریزی افزایش می‌یابد. این مسأله معمولاً حجم هوای محبوس در بتن را افزایش می‌دهد که کاهش مقاومت و عمر بهره‌برداری مصالح را در پی دارد. با افزایش مقدار فوق‌روان‌کننده ممکن است کارپذیری ملات‌های خودتراکم تا حدی بهبود یابد. خاصیت خودتراکمی ملات‌های فوق‌روان مسلح به الیاف، قابلیت پرکنندگی زیادی ایجاد می‌کند و مقدار هوای وارد شده به ترکیب سیمانی را به حداقل می‌رساند که افزایش مقاومت و پایداری را به دنبال خواهد داشت. علاوه بر آن کاربرد الیاف در بتن خودتراکم باعث کاهش جدایی دانه‌ها می‌شود زیرا الیاف با تشکیل شبکه‌های توری مانند مانع جداشدن سنگدانه‌ها ازیکدیگر می‌شوند[۱۲].

از این رو هدف در این مقاله کنترل پارامتر جمع‌شدگی توسط الیاف پلی‌پروپیلن در ملات خودتراکم و درنهایت دستیابی به مقدار بهینهٔ الیاف مصرفی در بتن خودتراکم با جمع‌شدگی و شکل‌پذیری مناسب در عین خواص رئولوژی قابل قبول می‌باشد. می‌توان ملات خودتراکم را به عنوان یک نوع ترکیب سیمانی خودتراکم دسته‌بندی کرد. ازاین‌رو می‌توان خواص رئولوژی (رفتارشناسی) بتن خودتراکم را با تعمیم نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی طرح‌های ملات خودتراکم و با توجه به شباهت‌های بین طرح اختلاط آنها به ویژه از نظر مقدار ریزدانه‌ها، مورد بررسی قرار داد. از طرفی انجام آزمایش بر روی فاز میکرو (ملات) ارزان‌تر و سریع‌تر از فاز ماکرو(بتن) است. در حقیقت ارزیابی ویژگی‌های ملات خودتراکم پایه‌ای برای ارزیابی آن ویژگی‌ها در بتن خودتراکم می‌باشد. به همین منظور ۹ طرح اختلاط ملات با مقادیر ۰، ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ درصد حجمی الیاف پلی‌پروپیلن با طول‌های ۶ و ۱۲ میلیمتر ساخته شد.

اندازه‌گیری قطر اسلامپ کوچک در مخلوط تازه و منحنی‌های جمع‌شدگی ۱۸۰ روزه و مقاومت فشاری و خمشی ۲۸ روزه نمونه‌های سخت شده در این مقاله به‌کار رفته است.

۲- برنامهٔ آزمایشگاهی

۲-۱- مشخصات مصالح

در تمامی طرح‌ها از سیمان پرتلند معمولی تیپ ۲ آبیک و ماسهٔ خوب دانه‌بندی شده طبق استاندارد ASTM C33، با ضریب نرمی ۲/۷۶، وزن مخصوص ۲/۷، درصد جذب آب ۲/۸درصد و حداکثر اندازه سنگدانه ۱/۱۸ میلی‌متر استفاده شده است. منحنی دانه‌بندی سنگدانه‌ها در شکل(۱) نشان داده شده است. برای یکسان‌سازی طرح‌ها یک نوع فوق‌روان‌کننده بر پایه اسید پلی‌کربکسیلیک به‌کار رفته است. همچنین الیاف پلی‌پروپیلن آبگریز با دو طول متفاوت ۶ و ۱۲ میلی‌متر و وزن مخصوص ۹۱۰Kg/m3 استفاده شده است.

۲-۲- مشخصات طرح اختلاط و روند انجام آزمایش

در این تحقیق ۹ طرح اختلاط بتن ریزدانه با درصدهای حجمی ۰، ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ از الیاف پلی‌پروپیلن با دو طول متفاوت ۶ و ۱۲ میلی‌متر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به دلیل بررسی تأثیر الیاف برروی خواص رئولوژیکی، جمع‌شدگی و مکانیکی سایر پارامترها ثابت نگه داشته شده است. به این ترتیب که در همهٔ طرح‌ها نسبت آب به سیمان ۰/۴ و مقدار سنگدانه ثابت و برابر ۱۱۷۰ Kg/m3 و عیار سیمان۷۰۰ Kg/m3 و مقدار فوق‌روان‌کنندهٔ ۱درصد وزن سیمان است. نسبت‌های طرح اختلاط به‌طور خلاصه در جدول ۱ آمده است. نمونه‌ها طبق استاندارد ASTM C192/C 192M-02، ساخت و عمل‌آوری نمونه‌های آزمایشی بتن در آزمایشگاه، ساخته شدند. سپس نمونه‌ها به‌وسیله یک پارچه خیس پوشانده شده و پس از ۲۴ ساعت عمل‌آوری در شرایط مرطوب، نمونه‌ها از قالب‌های فولادی خارج شدند. در این آزمایش اندازه‌گیری تغییرات طول نمونه‌های ۲۸۵mm×۷۵mm×۷۵mm، طبق استاندارد ASTM C490-00a (استاندارد استفاده از وسیلهٔ اندازه‌گیری تغییرات طول خمیر سیمان، ملات و بتن سفت شده) انجام شد. درنهایت برای بررسی خواص مکانیکی نمونه‌های فشاری و خمشی گرفته شد.

۲-۳- معرفی دستگاه‌های آزمایش

الف- آزمایش اسلامپ کوچک:

این آزمایش در سال ۱۹۸۸ توسط kantro ابداع گردید و بعدها توسط zhor و bremner در سال ۱۹۹۸ اصلاح گردید [۱۳]. روش کار به این گونه است که یک مخروط (به قطر ۱۰۰ و ۷۰ میلی‌متر و ارتفاع ۶۰ میلی‌متر) در مرکز یک سینی تراز قرار می‌گیرد و بعد از پر کردن به طور کاملاً قائم بلند می‌شود و مطابق شکل ۲ میانگین گسترش ملات با اندازه‌گیری دو قطر عمود بر هم به دست می‌آید[۱۳]. تحقیقات صورت گرفته از طرف Yangو همکارانش نشان می‌دهد که رابطهٔ خوبی بین تنش تسلیم و اسلامپ کوچک وجود دارد بنابراین به دلیل صرفه‌جویی در هزینه و زمان می‌توان به جای اندازه‌گیری تنش تسلیم توسط رئومتر از دستگاه اسلامپ کوچک در مقیاس ملات استفاده نمود به این ترتیب که با افزایش تنش تسلیم از میزان قطر گسترش ملات کاسته می‌شود[۱۴و۱۵و۱۶].

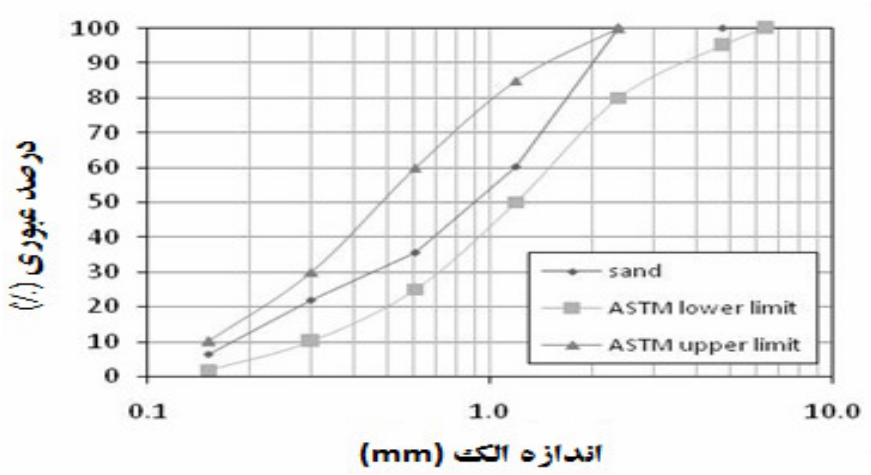
ب - اندازه‌گیری جمع‌شدگی:

اندازه‌گیری اولیه توسط یک دستگاه مقایسه‌کنندهٔ طول (شکل۳) برای هر نمونه طبق استاندارد ASTM C490-00 صورت گرفت. پس از این‌که قرائت‌های اولیه انجام شدند، نمونه‌ها روی یک میز قرار داده شدند، به طوری‌که در مقابل تغییر طول مقید نبودند و برای اینکه دما و رطوبت نمونه‌ها ثابت بماند با یک ورق پلاستیکی پوشانده شدند. اندازه‌گیری تغییر طول در روزهای اول، دوم، سوم، پنجم و هفتم هفته اول صورت گرفت. پس از هفته اول، تغییر طول نمونه‌ها تا ۲۸ روز، هر هفته و پس از آن تا ۱۸۰ روز هر ماه اندازه‌گیری شد.

۳- بررسی نتایج آزمایش‌ها

۳-۱- خواص رئولوژی ملات تازه

استفاده از الیاف در ترکیبات سیمانی مانند ملات‌ها می‌تواند باعث تغییر خواص رئولوژیکی و کارپذیری آنها شود. از طرفی افزایش کارپذیری ترکیبات سیمانی، تأثیر به سزایی در افزایش



شکل ۱ – نمودار دانه‌بندی ماسه

جدول ۱ – مشخصات طرح اختلاط

نام طرح	اندازهٔ الیاف پلی‌پروپیلن	درصد حجمی الیاف (٪)	مقدار الیاف (kg/m^3)
CM	طرح شاهد فاقد الیاف	0	0
S1	6 (mm)	0/1	0/9
S2	6 (mm)	0/3	2/7
S3	6 (mm)	0/5	4/5
S4	6 (mm)	0/7	6/3
L1	12 (mm)	0/1	0/9
L2	12 (mm)	0/3	2/7
L3	12 (mm)	0/5	4/5
L4	12 (mm)	0/7	6/3

شکل ۳- اندازه‌گیری کرنش جمع‌شدگی نمونه‌ها

شکل ۲- ابعاد مخروط اسلامپ کوچک

امکان استفاده از الیاف در بتن دارد. بنابراین، استفاده از مقدار بهینهٔ الیاف در ساخت ملات‌های فوق روان مسلح به الیاف،می‌تواند باعث به دست آمدن ترکیبی با کارپذیری و روانی مناسب گردد. برای بررسی تغییرات این پارامتر و تأثیر مقدار الیاف بر آن از آزمایش اسلامپ کوچک جهت تعیین تنش تسلیم استفاده شد.

نتایج آزمایش نشان می‌دهدکه در یک نسبت آب به سیمان ثابت، استفاده از الیاف در بتن ریزدانهٔ خودتراکم باعث کاهش قطر اسلامپ کوچک یا به عبارتی افزایش تنش تسلیم آن می‌گردد. اما دو برابر طول الیاف در یک درصد ثابت تأثیری چندانی بر تنش تسلیم ندارد. شدن این مسأله در شکل ۵ قابل ملاحظه است.

نتایج آزمایش مینی اسلامپ برای طرح‌های حاوی ۰/۵ و ۰/۷ درصد نشان می‌دهدکه با افزایش بیش از حد مقدار الیاف، ملات کارپذیری مناسب خود را از دست داده و همان طور که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد به صورت مخلوطی کاملاً ناپایدار درآمده و پدیده گلوله‌ای شدن الیاف اتفاق می‌افتد درحالی‌که با اضافه کردن مقدار کم الیاف ، مثلاً ۰/۱ درصد، تفاوت قابل ملاحظه‌ای با طرح شاهد ایجاد نمی‌کند. شکل ۵ نشان می‌دهد که در این تحقیق، مقدار بهینهٔ الیاف برای حفظ کارایی بتن (تامین روانی و تنش تسلیم مناسب) درحدود ۰/۳ درصد برای هر دو طول۶ و۱۲ میلی‌متر می‌باشد.

۳-۲- جمع‌شدگی غیر مقید ملات سخت شده

شکل ۶ کرنش جمع‌شدگی نمونه‌های ساخته شده با درصد و طول‌های مختلف الیاف پلی‌پروپیلن را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، افزودن الیاف پلی‌پروپیلن در هر دو اندازه ۶ و ۱۲ میلیمتری و با مقادیر کم‌تر از ۰/۳ درصد باعث کاهش میزان جمع‌شدگی ملات خودتراکم می‌گردد. این جمع‌شدگی شامل دو جمع‌شدگی خودبخودی (جمع‌شدگی خود بخودی هنگامی به‌وجود می‌آید که بتن در هنگام هیدراتاسیون به دلیل واکنش‌های شیمیایی آب از دست برود. این نوع جمع‌شدگی با افزایش مقاومت بتن اهمیت بیشتری پیدا می‌کند) و جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن می باشد[۱۷و۱۸و۱۹]. اما افزایش بیشتر مقدار الیاف (بیشتر از مقدار بهینه) الزاماً موجب کاهش بیشتر کرنش‌های ناشی از جمع‌شدگی ملات نخواهد شد. البته با وجود این، همچنان افزودن الیاف در کنترل جمع‌شدگی ملات‌هایی که در خواص رئولوژی نتایج ضعیفی دارند و اصطلاحاً ناپایدار هستند، مؤثر است. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که رابطه‌ای مستقیم میان پایداری ملات و کنترل جمع‌شدگی آن به وسیلهٔ الیاف بر قرار است. با در نظر گرفتن مطلب فوق و بررسی نتایج ارئه شده در جدول ۲، به منظور یافتن طرحی با پایداری و روانی مناسب و نیز کنترل جمع‌شدگی، مجدداً مقدار ۰/۳ درصد مقدار بهینهٔ الیاف در ملات فوق‌روان تعیین می‌گردد.

در شکل ۷-الف اطلاعات مربوط به کرنش جمع‌شدگی نمونه‌های ملات مسلح به الیاف پلی‌پروپیلن ۶ و ۱۲ میلی متری در ۱۸۰ روزگی به صورت مقایسه‌ای ارائه شده است. با توجه به این شکل الیاف ۶ میلیمتری توانایی بیشتری در کنترل جمع‌شدگی دارند. زیرا با نسبت ثابت حجمی الیاف، میزان توزیع و پراکندگی الیاف ۶ میلی‌متری نسبت به الیاف ۱۲ میلی‌متری بیشتر بوده و در نتیجه الیاف ۶ میلی متری در ایجاد پدیدهٔ پل زدن، انتقال و توزیع تنش‌های کششی موفق‌تر عمل کرده که این مطلب باعث ایجاد توانایی بیشتر در کنترل جمع‌شدگی می گردد.

این موضوع به بیان دیگردر شکل۷-ب نیز قابل مشاهدهمی‌باشدبه طوری‌که الیاف ۶ میلی‌متری به میزان ۴۰ درصد جمع‌شدگی را نسبت به نمونه شاهد کاهش داده است به عبارت دیگر افت جمع‌شدگی ناشی از حضور الیاف در نمونه‌های مسلح شده به الیاف ۶ میلی‌متری تقریباً دو برابر نمونه‌ای مسلح شده با الیاف ۱۲ میلی متری می‌باشد.

۳-۳- خواص مکانیکی

الف – مقاومت فشاری

تحلیل نتایج آزمایش‌های مکانیکی نشان می‌دهد که افزودن الیاف، نه تنها تأثیر چندانی بر مقاومت فشاری ملات خودتراکم نمی‌گذارد، بلکه افزایش بیش از حد الیاف، مقاومت فشاری نمونه‌ها را کاهش خواهد داد. البته این امر با توجه به عملکرد ضعیف الیاف در برابر فشار قابل پیش‌بینی است. در این تحقیق، مقاومت فشاری ۲۸ روزهٔ نمونه‌ها با ۰/۱و ۰/۳درصد الیاف در هر دو اندازه، تغییرات ناچیزی را نسبت به نمونهٔ شاهد (شکل۸) نشان می‌دهد. با افزایش طول و مقدار درصد الیاف باعث می‌شود که مقاومت فشاری افت چشمگیری پیدا می‌کند. این مسأله، چنان‌که

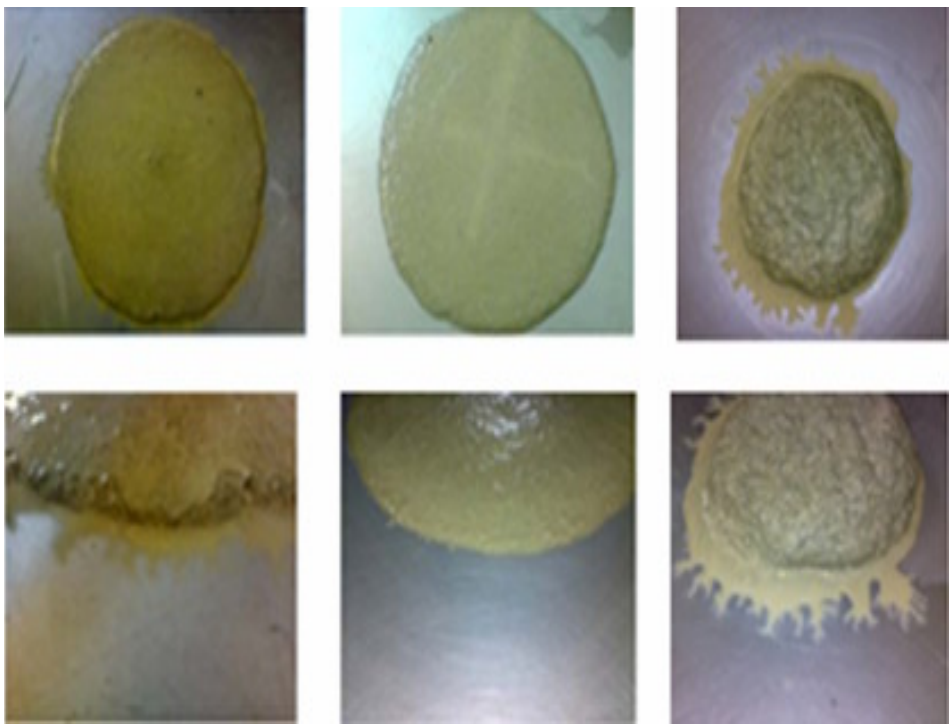
قبلاً گفته شد، به علت گلوله شدن الیاف رخ می‌دهد. در این حالت نه تنها حضور الیاف کمکی به شرایط مخلوط بتن نمی‌کند بلکه حضور گلوله‌های الیاف فضاهای خالی بین مخلوط بتنی را افزایش داده و با محبوس نمودن هوا، پیوستگی لازم مخلوط را برای بسیج مقاومت فشاری در برابر بارگذاری مختل می‌سازد. بنابراین در انتخاب طول و مقدار مناسب الیاف باید شرایطی را ایجاد کرد تا با حفظ پایداری، مقاومت فشاری کاهش چشمگیری نداشته باشد و از متمرکز شدن الیاف در یک نقطه و درنتیجه تمرکز تنش جلوگیری کرد. زیرا این مسأله باعث شکست ترد در نمونه بتنی می‌گردد.

ب – مقاومت کششی و خمشی

آن چه استفاده از الیاف در بتن را بیش از پیش مورد توجه قرار می‌دهد، در واقع امکان بهبود مقاومت کششی و خمشی است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهدکه افزایش مقدار الیاف تا میزان معینی موجب افزایش مقاومت کششی و خمشی بتن می‌گردد، امّا با افزایش بیش از حد مقدار الیاف و بروز ناپایداری، مقاومت کششی و مقاومت خمشی کاهش پیدا می‌کند. همچنین مشاهده می‌شود که مقاومت‌های کششی و خمشی نمونه‌های بتنی تابع اندازه الیاف می‌باشند، هرچه طول الیاف بلندتر باشد مقاومت کششی و خمشی آنها بیشتر خواهد بود (شکل۹).

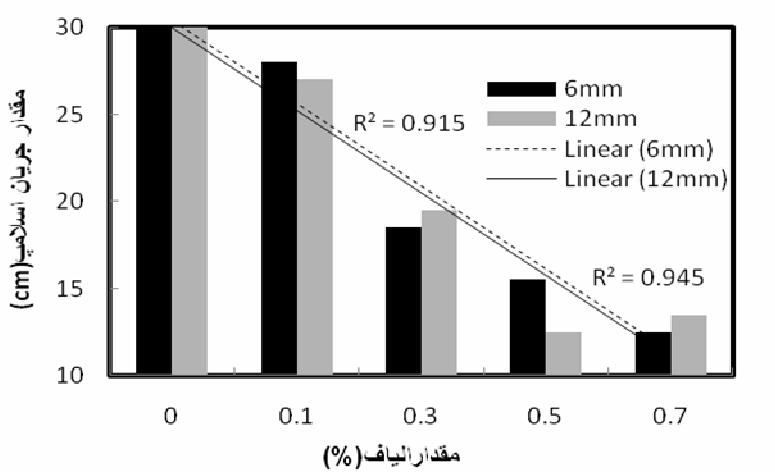
می‌توان گفت حضور الیاف در مخلوط بتن ریزدانه، به منزله ایجاد پل‌هایی بین سنگدانه‌ها خواهد بود که ظرفیت باربری را افزایش می دهند، هرچه طول این پل‌ها بیشتر باشد ظرفیت باربری بیشتری در مقایسه با پل‌های کوتاه‌تر ایجاد خواهد شد. ولی با افزایش مقدار الیاف به تدریج شاهد جداشدگی و ناپایداری مخلوط خواهیم بود. که موجب کاهش درگیری بین الیاف و سنگدانه‌ها و در نتیجه کاهش باربری تحت کشش و خمش خواهیم بود.

.

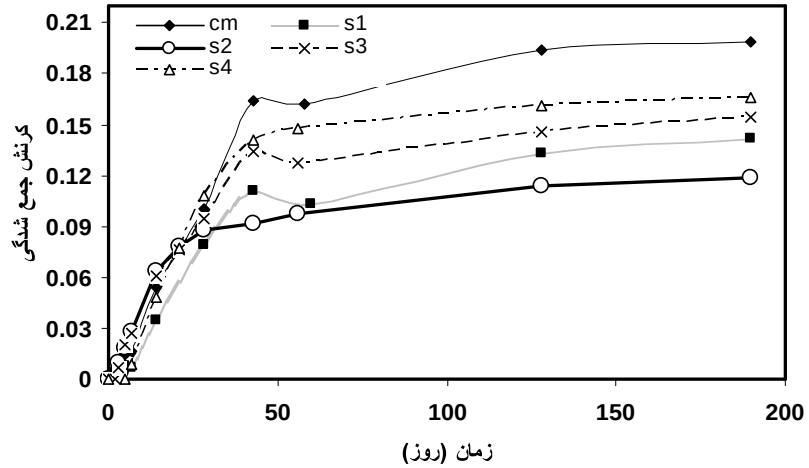


(ج) ۰/۷ درصد الیاف (ب) ۰/۱ درصد الیاف (الف) بدون الیاف

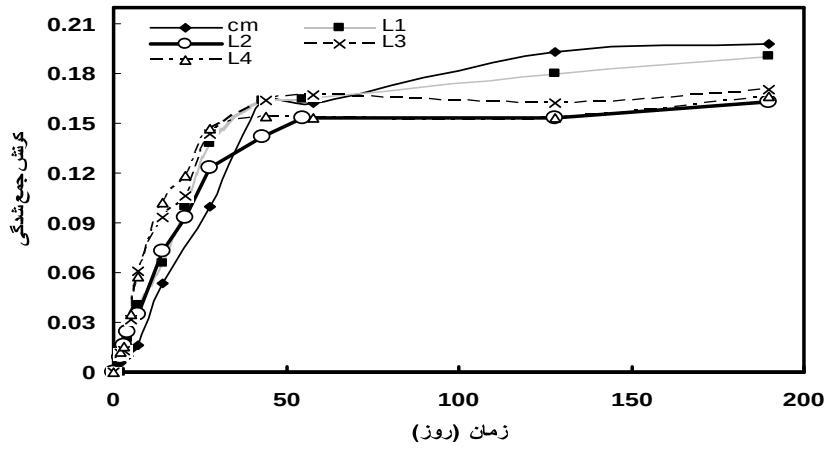
شکل ۴ – پایداری و مقدار الیاف



شکل ۵ - نتایج آزمایش اسلامپ کوچک

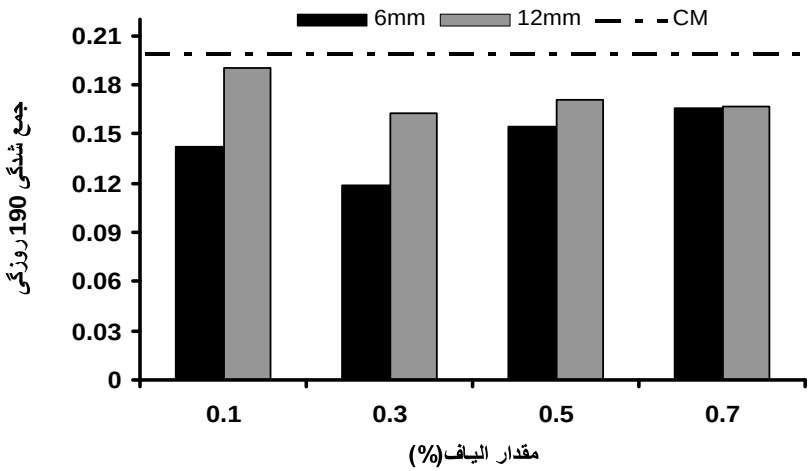


الف)نمونه‌های با الیاف ۶mm

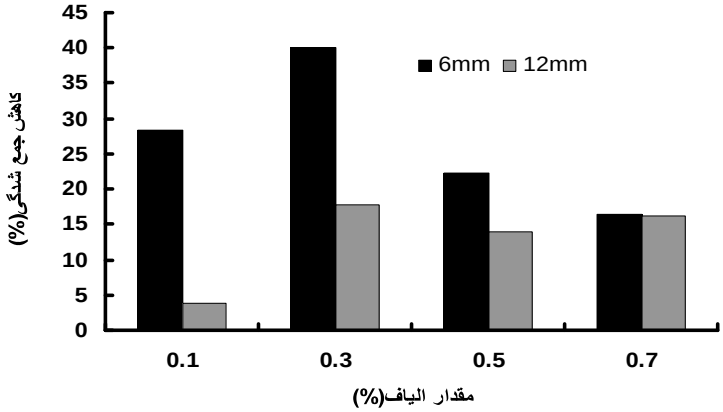


ب)نمونه‌های با الیاف ۱۲mm

شکل ۶- کرنش جمع‌شدگی در نمونه‌ها

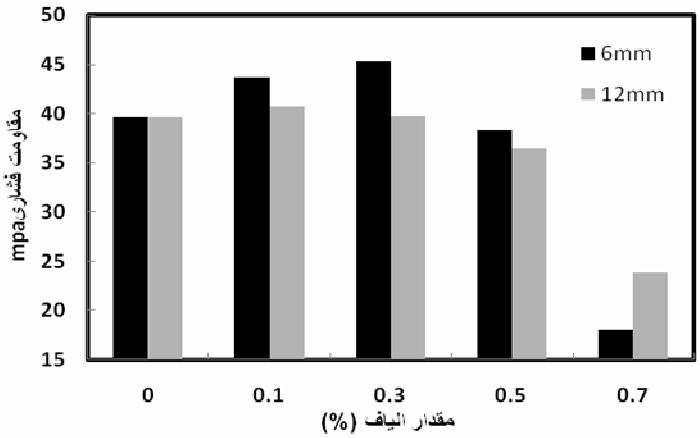


الف)

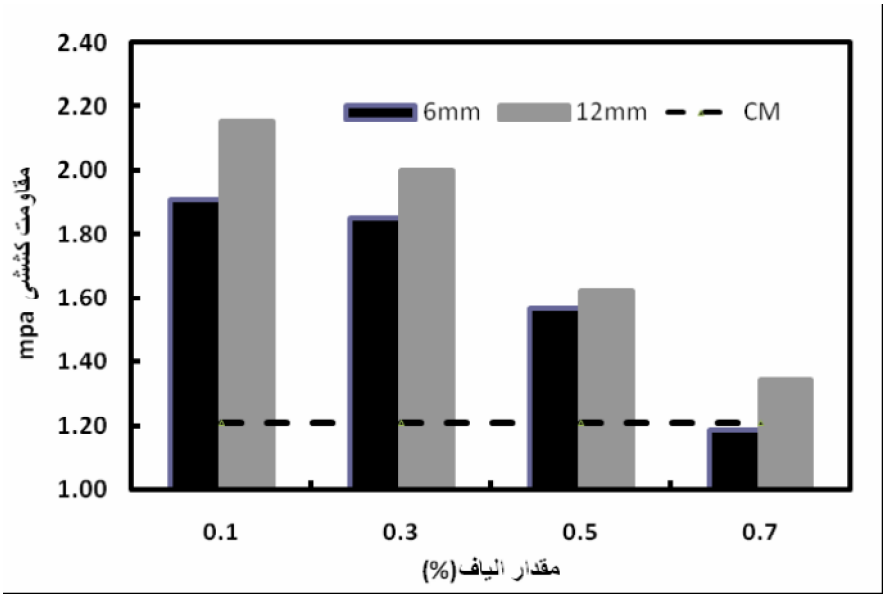


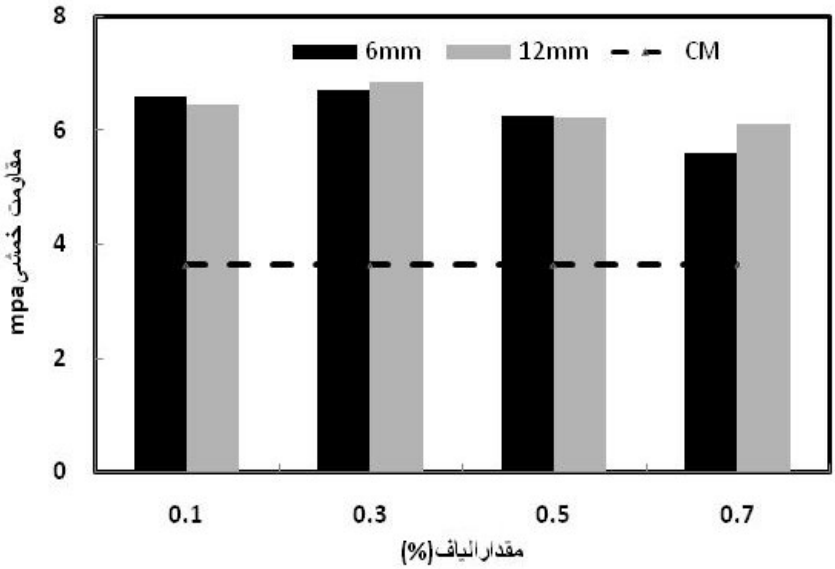
ب)

شکل ۷- مقایسه کرنش جمع‌شدگی نمونه‌ها در ۱۸۰ روزگی



شکل ۸- تأثیر مقدار و طول الیاف بر مقاومت فشاری ملات سخت‌شده





شکل ۹- تأثیر مقدار و طول الیاف بر مقاومت کششی و خمشی ملات سخت‌شده

٤- نتیجه‌گیری

نتایج این طرح تحقیقاتی نشان می‌دهد که با ترکیب و استفاده هم‌زمان از الیاف و روان کننده‌ها در قالب ملات خودتراکم مسلح به الیاف پلی‌پروپیلن، رسیدن به شاخص‌های مکانیکی مناسب و کارپذیری قابل قبول، درعین کنترل ترک‌های ناشی از جمع‌شدگی امکان پذیر می‌باشد. در این چهارچوب کلی و براساس آزمایش‌های صورت گرفته نتایج ذیل قابل استحصال می‌باشد:

۱- هر دو اندازهٔ الیاف در درصدهای یکسان در افزایش تنش تسلیم رفتار مشابهی داشته‌اند این بدان معناست که پارامتر تنش تسلیم مستقل از طول الیاف، با درصد الیاف یک رابطهٔ مستقیم دارد.

۲- تعداد، توزیع و پراکندگی الیاف پلی‌پروپیلن ۶ میلیمتری به شکل قابل‌توجهی بیشتر از الیاف ۱۲ میلی‌متری است. در نتیجه این الیاف در ایجاد پدیدهٔ پل زدن، انتقال و توزیع تنش‌های

کششی موفق‌تر است و این مطلب باعث ایجاد توانایی بیشتر در کنترل جمع‌شدگی می‌شود به طوری‌که مقدار کاهش جمع‌شدگی در نمونه‌های مسلح شده با الیاف پلی‌پروپیلن ۶ میلی‌متری تقریباً دو برابر نمونه‌های مسلح شده با الیاف ۱۲ میلی‌متری می‌باشد.

۳- در این مطالعه مشاهده شد ناپایداری ملات خودتراکم که به علت مقدار زیاد الیاف به وجود می‌آید و قبلاً در بررسی خواص ملات تازه به آن اشاره شد، می‌تواند باعث کاهش خواص مکانیکی بتن شود. از طرفی پس از عبور مقدار الیاف از درصد بهینه کنترل جمع‌شدگی با نرخ کمتری اتفاق می‌افتد.

۴- از آن جا که شاخص‌های مقاومتی (مقاومت فشاری، کششی و خمشی) مهم‌ترین عامل در ایجاد امکان استفاده از این بتن در المان‌های حساس می‌باشد، بررسی تأثیرگذاری الیاف بر این شاخص‌ها اهمیت ویژه‌ای می‌یابد:

- با توجه به افت مقاومت فشاری نمونه‌ها در حضور الیاف، این شاخص باید به عنوان عامل منفی در انتخاب مقدار الیاف به نحوی تنظیم شود که رسیدن به کارپذیری و حفظ پایداری، موجب افت چشمگیری در مقامت فشاری نگردد.

- با در نظر گرفتن این حقیقت که الیاف به طور ذاتی تحت کشش و یا کشش ناشی از خمش، عملکرد قابل قبولی از خود نشان می دهند، نتایج آزمایش نیز مشخص می‌کند که با افزایش مقدار الیاف، مقاومت‌های کششی و خمشی افزایش می‌یابند. البته افزایش بیش از حد مقدار الیاف با جزییاتی که ذکر گردید مقاومت‌های نهایی (فشاری، کششی و خمشی) را کاهش خواهد داد.

۵- نگاه جامع به مجموعه آزمایش‌ها بیانگر این مطلب خواهد بود که بین نتایج به‌دست آمده از سنجش کارپذیری در حالت تازه و آزمایش‌های مکانیکی در حالت سخت شده ارتباط مستقیمی وجود دارد. به عبارت دیگر هر چه مخلوطی از پایداری بیشتری برخوردار باشد به تبع از خواص مکانیکی مناسب‌تری برخوردار خواهد بود.

۶- بر اساس آزمایش‌های صورت گرفته در تحقیق حاضر مقدار بهینهٔ الیاف پلی‌پروپیلن در ملات خودتراکم برای دست‌یابی به مشخصات رئولوژی و مکانیکی قابل قبول در کنار کنترل مناسب جمع‌شدگی، ۰/۳ درصد حجمی ملات برای هر دو طول ۶ و ۱۲ میلی‌متر می‌باشد.

۵- مراجع

[۱]. محمد شکرچی‌زاده، نیکلاس علی لیبر، ایمان مهدی‌پور «بتن خودتراکم و کاربردهای آن در سازه‌های بتنی» مجله نظام مهندسی شمارهٔ ۵ ، صفحه۵۸-۶۲، اسفند۸۶.

[۲].علی فروغی اصل، هرمز فامیلی «بررسی ویژگی‌های عمومی بتن خودتراکم و دلایل گسترش آن در دنیا» مجموعه مقالات اولین کارگاه تخصصی بتن خودتراکم، دانشگاه تهران، صفحهٔ ۱-۱۳، اسفند ۸۵.

[3].Hammer, T.A., "Cracking susceptibility due to volume changes of selfcompacting concrete," Wallevik O, Nielsson I, editors, Proceedings of third RILEM international symposium on self-compacting concrete, Reykjavik, Iceland: RILEM Publications. 2003.

[4].Bissonnette, B., Pierre, P., and Pigeon, M., (), "Influence of key parameters on drying shrinkage of cementitious materials," Cem Concr Res, Vol.25(5), pp 1075–85, 1999.

Johansen, R., and Dahl, PA), Control of plastic shrinkage in concrete at early ages, 1993.

[5].Proceedings of the eighteenth conference on our world in concrete and structures, Singapore, pp 149–54.

[6]. Sahmaran Mustafa, Yurtseven Alperen Ozgur Yaman, I., "Workability of hybrid fiber reinforced self-compacting concrete",page 2.

[7].Hannant DJ. "Fiber cements and fiber concrete. Chichester," UK:Wiley; 1987.

[8].Shah SP., "Do fibers increase the tensile strength of cement-based matrixes?" ACI Mater J;88(6):595–602, 1991, Balaguru PN, Shah SP. Fiber-reinforced cement composites. New York: McGraw-Hill; 1992.

[9].Nawy EG. "Fundamentals of high-performance concrete." New York: John Wiley & Sons; 2001.

[10].Banthia N, Yan C, Sakai K."Impact resistance of fiber reinforced concrete at subnormal temperatures." Cem Concr Compos; 20:393–404, 1998.

[11]. Shekarchi M., Libre N. A., Mehdipour I., Dibaee M., Moghaddam S. "Rheological properties of polypropylene fiber reinforced highly flowable mortar" the 8th HSC-HPC Symposium in Tokyo 2008.

[12].N. A. Libre, I. Mehdipour, A. Alinejad, N. Nouri "Rheological properties of glass fiber reinforced highly flowable cement paste" ,The 3rd

ACF INTERNATIONAL CONFERENCE ACF/ VCA – 2008 11-13 November, Rex hotel, HoChi Minh city, Vietnam, 2008

[13].koehler P., E. and Fowler W., D., "Summary of Concrete workability Test methods," ICAR report, pp 39-40, 2003.

[۱۴]. لیبر نیکلاس علی، امدادی آرزو، مهدی پور ایمان، وحدانی محمد «تأثیر مواد افزودنی شیمیایی بر روی خصوصیات رفتاری بتن خودتراکم – بخش اول خمیر سیمان» اولین کارگاه تخصصی بتن خودتراکم دانشگاه تهران ، صفحه ۱۷۷-۱۹۶، اسفند ۸۵

[15].Yang, E. H.; Yang, Y.; and Li, V. C., "Use of High Volumes of Fly Ash to Improve ECC Mechanical Properties and Material Greenness," ACI Materials Journal, V. 104, No. 6, Nov.-Dec., pp. 620-628. 2007.

[16]. Yang En-Hua, Sahmaran Mustafa, Yang Yingzi, and Li Victor C., "Rheological Control in Production of Engineered Cementitious Composites" ACI Materials Journal, V. 106, No. 4, pp. 357-366, July-August 2009.

[17].Carlton, D., and Mistry, P.J.M., "Thermo-elastic-creep analysis of maturing concrete," Comput. Struct., Vol.40 (2), pp 293– 302, 1991.

[18].D'Ambrosia M, Lange D, Brinks A (2005) "Restrained shrinkage and creep of self-consolidating concrete." In: Shah S (ed) SCC 2005: 4th international RILEM symposium on self-compacting concrete, Chicago, November 2005. Khayat KH, Roussel Y. Testing and performance of fiber reinforced, self-consolidating concrete. In: Skarendahl A, Petersson O, editors. Proceedings of the first international RILEM symposium on self-compacting concrete. Stockholm, Sweden: September 13–14,. p. 509–21,1999.