

مطالعه آزمایشگاهی اثر الیاف ماکروپلیمری بر خواص تازه و سخت شده بتن سبک خود تراکم

اویس افزالی نیزی^۱، رامبد صفاییان^۲، مهدی نصرت آبادی^۲

۱- دانشجوی دکتری مهندسی سازه-دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

۲- کارشناس فنی شرکت نانونخ و گرانول سیرجان

oveys.afzali@sru.ac.ir

چکیده

مطالعه حاضر به بررسی اثر الیاف ماکروپلیمری بر رفتار بتن سبک خود تراکم در حال تازه و سخت شده می‌پردازد. بدین منظور دو نوع از الیاف ماکروپلیمری (نوع S و نوع K) در دو مقدار جایگزینی ۱/۸ و ۳/۶ کیلوگرم در مترمکعب مورد استفاده قرار گرفت. الیاف نوع S دارای شکل ظاهری سینوسی و الیاف نوع K بصورت درهم تنیده بودند. این دو نوع الیاف از لحاظ خواص فیزیکی همچون مدول الاستیسیته و مقاومت کششی باهم تفاوت داشتند به گونه‌ای مدول الاستیسیته و مقاومت کششی الیاف نوع K بالاتر بود. در ابتدا خصوصیات روانی بتن سبک خود تراکم مورد بررسی قرار گرفت و پس از اطمینان از خودتراکم بودن بتن تازه، خصوصیات مکانیکی بتن سخت شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که اگرچه استفاده از الیاف ماکروپلیمری سبب کاهش خصوصیات روانی و توانایی عبور بتن تراکم سبک شده است اما تمام طرح مخلوط‌های حاوی الیاف الزامات آیین نامه EFNARC را ارضا نموده‌اند. استفاده از الیاف ماکروپلیمری تاثیر قابل ملاحظه افزایشی یا کاهشی بر مقاومت فشاری بتن سبک خودتراکم نداشته ولی سبب بهبود مقاومت کششی و خمشی شده است. با افزایش مقدار الیاف از ۱/۸ به ۳/۶ کیلوگرم در مترمکعب، مقاومت کششی و خمشی افزایش یافته است. همچنین بیشترین مقدار مقاومت کششی و خمشی در نمونه حاوی ۳/۶ کیلوگرم بر مترمکعب از الیاف ماکروپلیمری نوع K مشاهده شد.

کلمات کلیدی: بتن سبک خودتراکم، الیاف ماکروپلیمری، خصوصیات روانی، خصوصیات مکانیکی.

۱. مقدمه

توسعه روز افزون سازه‌های بتنی و تاکید بر مقاومت و دوام آن از یک سو و کمبود و یا نبود کارگران ماهر از سوی دیگر و گسترش صنایع پیش ساخته بتنی در دنیا موجب شد که بتنی طراحی شود که برای تراکم و تحکیم خود نیازی به عمل لرزاندن در جریان بتن ریزی نداشته باشد. ساخت این نوع بتن با استفاده از افزودنی‌های شیمیایی (فوق روان کننده‌های نسل جدید) و معدنی امکان پذیر شده است. طبق تعریف انجمن بتن ایالات متحده بتن خودتراکم «بتنی با کارایی زیاد و عدم جداسدگی است که می‌تواند در محل مورد نظر ریخته شده، فضای قالب را پر کند و اطراف آرماتورها را بدون نیاز به تراکم مکانیکی فرا بگیرد». بطور کلی بتن خودتراکم با مصالح بتن معمولی ساخته می‌شود و در برخی موارد برای ساخت آن علاوه بر

مقادیر نسبتاً زیاد فوق روان کننده، از افزودنی لزجت دهنده نیز استفاده می‌شود [۱]. بتن خودتراکم باید علاوه بر داشتن روانی و قابلیت پرمکنندگی و تراکم خوب از پایداری مناسبی نیز برخوردار باشد. به این ترتیب بتن هنگام بتن ریزی و جای دهی دچار جدا شدگی نمی‌شود و پس از سخت شدن به صورت همگن و یکنواخت باقی می‌ماند. همچنین در صورت نیاز این بتن باید قابلیت پمپ کردن قابل قبولی داشته باشد تا قفل شدگی و انسداد در لوله‌ها پدید نیاید.

بتن سبک یکی از ایده آل ترین انواع بتن برای استفاده در پروژه های مهندسی می‌باشد. ترکیب بتن خودتراکم و بتن سبک می‌تواند نقطه عطفی برای رفع بعضی از ضعف‌های بتن سبک از قبیل کارایی کم، مشکل پمپاژ کردن و متراکم سازی باشد. این نظریه توسط پروفیسور مولر و همکاران در دانشگاه صنعتی کالرو آلمان در سال ۲۰۰۳ با عنوان بتن سبک خودتراکم معرفی گردید [۲]. برخلاف آزمایش‌ها و تحقیقات بسیاری که روی بتن خودتراکم با سنگدانه‌های معمولی صورت گرفته است، آزمایش‌ها و تحقیقات کمتری روی بتن سبک خودتراکم انجام گرفته است. اولین تحقیقات در خصوص بتن سبک خودتراکم در کشورهای معدودی از جمله آلمان، چین و چک آغاز گردید و مقالاتی در این زمین به چاپ رسید [۳]. در سال‌های اخیر این نوع از بتن در داخل کشور ما مورد توجه بیشتری قرار گرفته و تحقیقات گسترده‌تری توسط محققین مختلفی بر روی این نوع از بتن انجام شده است [۴ و ۵].

خواص فیزیکی و مکانیکی بتن سبکدانه به شدت تحت تاثیر سبکدانه‌های مورد استفاده به خصوص چگالی آن‌هاست. عموماً چگالی بیشتر اگرچه موجب افزایش وزن آن‌ها می‌شود اما مقاومت سبکدانه‌ها را بهبود می‌بخشد. در هر صورت آشکارترین محدودیت در استفاده بتن سبک در اعضای سازه‌ای، شکنندگی آنها می‌باشد [۶]. بنابراین بهبود در شکنندگی نکته مهمی در گسترش کاربردهای بتن سبک است. استفاده از الیاف می‌تواند راه حل مناسب در جهت بهبود شکل پذیری باشد [۷ و ۸]. طیف گسترده‌ای از الیاف به همراه کامپوزیت های سیمانی با هدف مسلح سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این انواع الیاف به‌طور قابل توجهی در خصوصیات، تأثیر، هندسه و هزینه باهم تفاوت دارند. الیاف مصنوعی (پلیمری) یک نمونه از الیافی هستند که امروزه بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. در یک دسته بندی کلی الیاف پلیمری در دو گروه الیاف ماکروپلیمری و میکروپلیمری جای می‌گیرند. قطر میکرو الیاف از ۵ تا ۱۰۰ میکرومتر بوده و از طولی برابر ۵ تا نهایتاً ۳۰ میلیمتر برخوردار هستند. این در حالی است که ماکرو الیاف قطری بالای ۰/۳ میلیمتر دارند [۸]. به منظور افزایش مقاومت کامپوزیت‌ها، الیاف باید از مدول الاستیسیته مناسبی نسبت به ماتریس برخوردار باشند از این رو الیاف‌های با مقاومت بالا به‌منظور مسلح سازی بتن گسترش یافتند که عبارت "مقاومت بالا" به الیافی با مدول الاستیسیته و مقاومت بالا نسبت داده می‌شود.

تاکنون تحقیقات مختلفی در خصوص اثر الیاف پلیمری (میکرو و ماکرو) بر خواص بتن تازه، خواص مکانیکی و دوام بتن سخت شده انجام شده است اما با این وجود تعداد پژوهش‌هایی که به بررسی استفاده از الیاف پلیمری در بتن خودتراکم معمولی و بتن سبک خود تراکم پرداخته‌اند محدود می‌باشند. مظاهری پور و همکارانش [۹] در تحقیق خود به بررسی اثر الیاف پلی پروپیلن (میکروپلیمری) بر روی خواص بتن سبک خودتراکم تازه و سخت شده پرداختند و به این نتیجه رسیدند که الیاف پلی پروپیلن تاثیر بسزا و چشم گیری در افزایش مقاومت فشاری بتن سبک خودتراکم نداشته درحالی که باعث افزایش مقاومت کششی در نمونه ها شده است. در مطالعه دیگری آقای صفری و همکاران [۱۰] در مطالعات خود به بررسی اثر خاکستربادی و الیاف ماکروپلیمری بر رفتار بتن تازه و سخت شده خود تراکم معمولی پرداختند. درصدهای جایگزینی خاکستربادی در این تحقیق ۰، ۴ و ۸ درصد وزنی سیمان و درصد حجمی الیاف ۰، ۱/۵ و ۳ درصد بود. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از مقادیر زیاد الیاف ماکروپلیمری سبب آب انداختگی و جداشدگی بتن خود تراکم تازه می‌شود. آلبرتی و همکاران [۱۱] مطالعه‌ای در مورد بتن الیافی خودتراکم با ترکیب الیاف پلیمری و فلزی انجام داده و گزارش دادند که ترکیب الیاف پلیمری و فلزی عملکرد بهتری در زمینه خمش و چقرمگی شکست نسبت به استفاده از الیاف به صورت تکی دارد.

هدف این مقاله ارزیابی اثر استفاده از الیاف ماکروپلیمری بر خصوصیات بتن خود تراکم حاوی سبکدانه لیکا در حالت تازه و سخت شده می‌باشد.

۲. مصالح مصرفی

در فرآیند تولید بتن خودتراکم انتخاب مواد و مصالح مصرفی و تعیین نسبت‌های اختلاط اولین مواردی هستند که مورد توجه قرار می‌گیرند. علاوه بر نسبت‌های اختلاط، پارامترهای مختلف فیزیکی و شیمیایی مربوط به هر یک از اجزای بتن همانند سیمان، سنگدانه و افزودنی‌های معدنی و شیمیایی مجهولاتی هستند که تغییر و تنظیم آنها می‌تواند سبب بهبود و یا افت کیفیت نهایی محصول شود. مصالح مورد استفاده در این تحقیق، سیمان، سبک دانه لیکا، ماسه، پودر سنگ، آب، فوق روان کننده، الیاف ماکروپلیمری می‌باشند. در این تحقیق به منظور ساخت بتن سبک از سبکدانه سازه‌ای رس منبسط شده با حداکثر اندازه اسمی ۱۲ میلی‌متر، تولیدی شرکت لیکا استفاده شد. یکی از پارامترهای مؤثر سبک دانه میزان جذب آب سنگ دانه است. از این رو پیش از ساخت نمونه‌ها باید میزان جذب آب لیکا تعیین شود. آب مصرفی آب شرب شهر تهران می‌باشد. ماسه مصرفی از معادن اطراف تهران تهیه شد که داری مدول نرمی برابر ۳/۲ بود. همچنین سیمان پرتلند نوع ۴۲۵-۱ کارخانه سیمان تهران مورد استفاده قرار گرفت. ترکیب شیمیایی سیمان مصرفی در جدول ۱ آورده شده است. الیاف ماکروپلیمری مد نظر برای استفاده در این پژوهش از شرکت نانونخ و گرانول سیرجان تهیه شده است. شکل ۱ نمونه الیاف پلیمری مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد. همچنین مشخصات الیاف در جدول ۲ آورده شده است. همان طور که از شکل ۱ و جدول ۲ مشاهده می‌شود تفاوت دو نوع الیاف ماکروپلیمری مورد استفاده در شکل ظاهری، مقاومت کششی و مدول الاستیسیته این نوع الیاف است. الیاف نوع S دارای شکل ظاهری سینوسی بوده و از سطح مقطع ضخیمتری برخوردار بوده در حالی که الیاف نوع K بصورت درهم تنیده بودند و سطح مقطع نازکتری داشتند. همچنین مدول الاستیسیته و مقاومت کششی الیاف نوع K بیشتر از الیاف نوع S است.

جدول شماره ۱- ترکیب شیمیایی مواد سیمانی مورد استفاده.

SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	نوع ترکیب شیمیایی
۱۷/۷	۶۴/۲	۳/۵	۴/۱	۲/۷	۳/۷	۰/۹	۰/۲	درصد



شکل ۱- الیاف ماکروپلیمری مورد استفاده در این تحقیق (به ترتیب از راست به چپ: ماکرونوع S و ماکرونوع K).

جدول ۲- مشخصات الیاف ماکروپلیمری مورد استفاده.

نوع الیاف	طول mm	وزن مخصوص gr/cm ³	مدول الاستیسیته MPa	مقاومت کششی MPa	جذب آب
ماکرو نوع K	۵۴	۰/۹۱	۷۰۰۰	۶۰۰	ندارد
ماکرو نوع S	۵۴	۰/۹۱	۶۰۰۰	۵۳۰	ندارد

۳. طرح مخلوطها

در این پژوهش در ابتدا طرح مخلوطهای بتن شاهد و الیافی بر اساس آیین نامه بتن خودتراکم (EFNARC) و به روش سعی و خطا به گونه‌ای تعیین شد که خصوصیات بتن تازه در محدوده‌های تعیین شده توسط این آیین نامه قرار گیرد. مشخصات مخلوطهای استفاده شده در این تحقیق در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- مشخصات طرح مخلوطهای بتن سبک خودتراکم.

نام ترکیب	آب W/C	آب	سیمان	سنگدانه لیکا	ماسه	پودرسنگ	الیاف	روان کننده
		Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³
SCLC-0	۰/۴	۱۶۰	۴۰۰	۲۵۰	۸۲۰	۲۵۰	۰	۶/۵
SCLC-K1	۰/۴	۱۶۰	۴۰۰	۲۵۰	۸۲۰	۲۵۰	۱/۸	۶/۵
SCLC-K2	۰/۴	۱۶۰	۴۰۰	۲۵۰	۸۲۰	۲۵۰	۳/۶	۷/۲
SCLC-S1	۰/۴	۱۶۰	۴۰۰	۲۵۰	۸۲۰	۲۵۰	۱/۸	۶/۵
SCLC-S2	۰/۴	۱۶۰	۴۰۰	۲۵۰	۸۲۰	۲۵۰	۳/۶	۷/۲

۴. آزمایشها و بحث

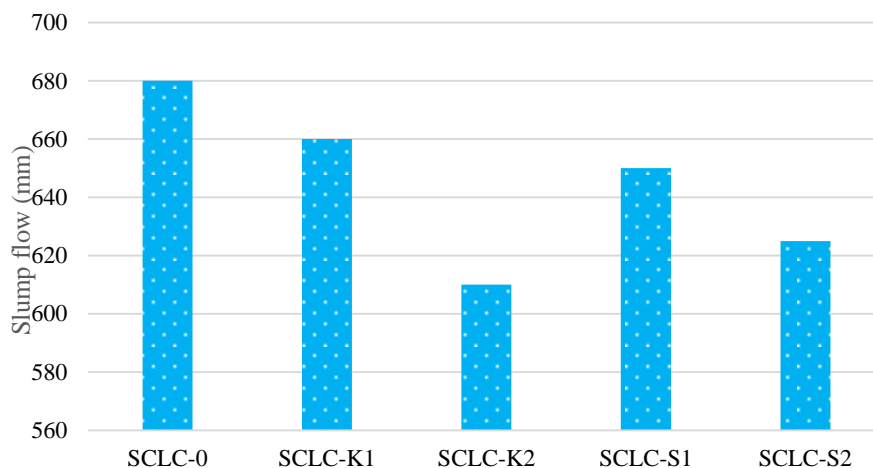
۴-۱- خواص بتن تازه

تاکنون استاندارد مدون و مشخصی برای ارزیابی خواص خودتراکمی بتن سبک خودتراکم ارائه نشده است. در این تحقیق همچون اکثر پژوهش‌های انجام شده پیشین توصیه نامه EFNARC در خصوص بتن خودتراکم معمولی را مبنای ارزیابی خواص حالت تازه بتن خودتراکم سبک قرار گرفته است. برای ارزیابی این خواص تست‌های جریان اسلامپ، جعبه ی U شکل و قیف V شکل انجام شد. خواص بتن تازه در جدول ۴ آورده شده است.

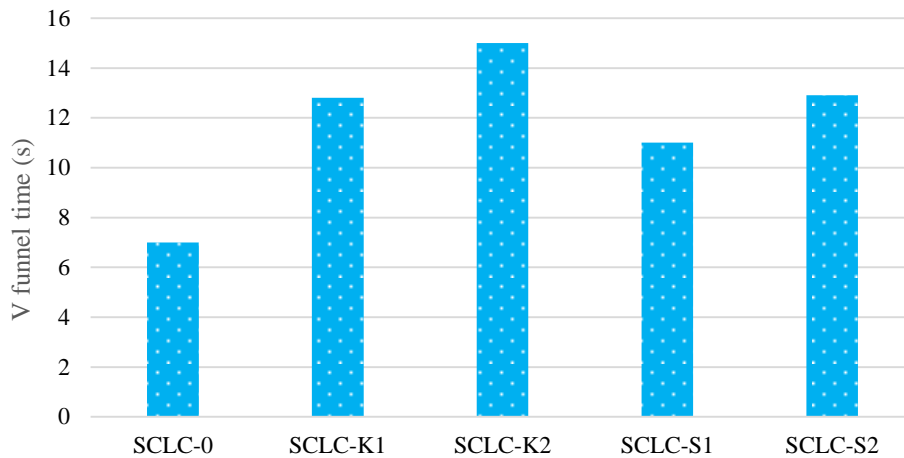
جدول ۴- خواص بتن تازه

Mix	Slump flow (mm)	V-funnel (s)	U-box (h_2-h_1) (mm)
SCLC-0	۶۸۰	۷	۵
SCLC-K1	۶۶۰	۱۲/۸	۱۸
SCLC-K2	۶۱۰	۱۵	۳۰
SCLC-S1	۶۵۰	۱۱	۲۲
SCLC-S2	۶۲۵	۱۲/۹	۳۴

شکل ۲ نتایج آزمایش جریان اسلامپ برای بتن های سبک خودتراکم شاهد و الیافی را بر حسب میلیمتر نشان می دهد. آزمایش جریان اسلامپ ملاک خوبی برای ارزیابی روانی و جریان یکنواختی بتن تولیدی می باشد. همچنین در زمان انجام این آزمایش با یک مشاهده دقیق می توان مقاومت در برابر جدا شدگی را برآورد نمود. نتایج آزمایش جریان اسلامپ در محدوده ۶۱۰-۶۸۰ میلیمتر قرار گرفتند که بر طبق آیین نامه EFNARC قابل قبول است. همان طور که در نمودار شکل ۲ مشاهده می شود استفاده از هر دو نوع الیاف ماکروپلیمری سبب کاهش روانی و جریان اسلامپ بتن سبک خود تراکم شده است و این میزان کاهش با افزایش وزن مصرفی الیاف بیشتر شده است. قطر جریان اسلامپ برای بتن شاهد ۶۸۰ میلیمتر بوده است اما افزودن ۱/۶ و ۳/۸ کیلوگرم الیاف نوع K به ترتیب سبب کاهش قطر جریان اسلامپ به ۶۶۰ و ۶۱۰ میلیمتر شده است. همچنین استفاده از ۱/۶ و ۳/۸ کیلوگرم الیاف نوع S به ترتیب سبب کاهش قطر جریان اسلامپ به ۶۵۰ و ۶۲۵ میلیمتر شده است. شکل ۳ نتایج آزمایش مدت زمان تخلیه قیف V شکل را نشان می دهد. مدت زمان خروج بتن از قیف V شکل معیاری برای تعیین قابلیت پرمکنندگی و لزجت خمیری بتن مورد استفاده است. همان طور که در جدول ۳ مشاهده می شود نتایج این آزمایش در محدوده ۷ تا ۱۵ ثانیه قرار گرفته است. نتایج آزمایش قیف V شکل نشان می دهد استفاده از الیاف سبب کاهش قابلیت پرمکنندگی بتن سبک خودتراکم شده است و این کاهش با افزایش میزان الیاف بیشتر بوده است. دلیل این موضوع این است که پخش شدن الیاف در درون مخلوط خمیر بتن سبب ایجاد یک شبکه از الیاف شده که در مقابل جریان حرکتی بتن مقاومت ایجاد می کند.

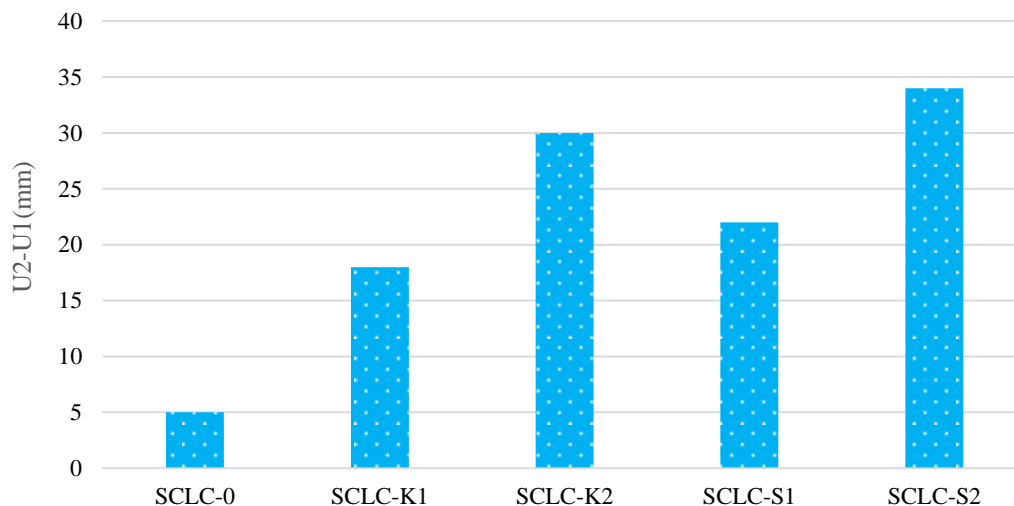


شکل ۲- نتایج آزمایش جریان اسلامپ.



شکل 3- نتایج آزمایش مدت زمان تخلیه قیف V شکل.

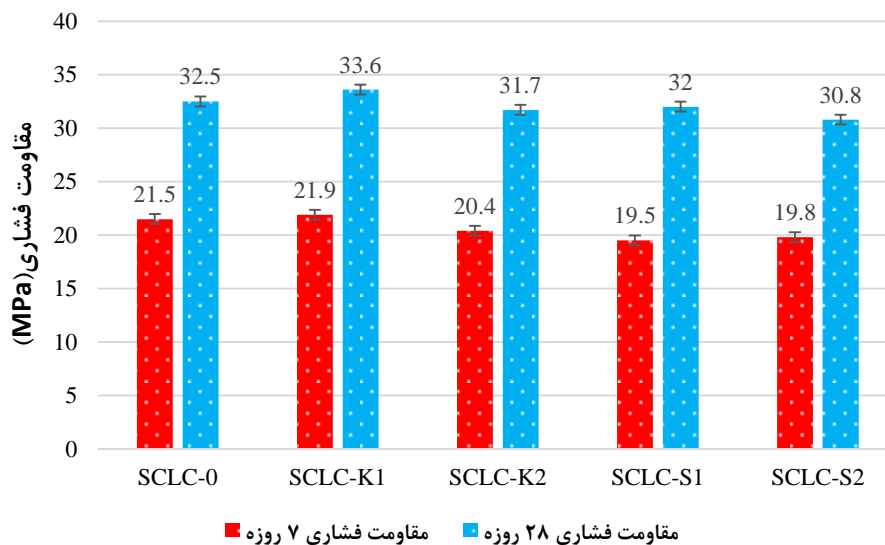
آزمایش جعبه U شکل نیز یکی از آزمایش های پیشنهادی EFNARC به منظور ارزیابی قابلیت پرکنندگی و توانایی عبور بتن تازه در شرایط آرماتورگذاری فشرده است. در این آزمایش اختلاف ارتفاع بین دو ستون جعبه U شکل باید کمتر از ۳۰ میلی متر باشد. شکل ۴ این آزمایش را برای بتن سبک خودتراکم شاهد و الیافی نشان می دهد. همان طور که در جدول ۲ و شکل ۴ مشاهده می شود افزودن الیاف به بتن سبک خودتراکم سبب افزایش اختلاف ارتفاع بین دو ستون جعبه U شکل شده است که نشان از کاهش قابلیت عبور و پرکنندگی بتن سبک خودتراکم بخصوص در مقادیر بالای الیاف دارد. مکانیزم این کاهش قابلیت عبور را می توان بدین صورت توضیح داد که ایجاد شبکه ای از الیاف در داخل بتن تازه به عنوان یک عامل بازدارنده حرکتی عمل کرده و قابلیت عبور بتن تازه را کاهش می دهد.



شکل 4- نتایج اختلاف ارتفاع در آزمایش جعبه U شکل.

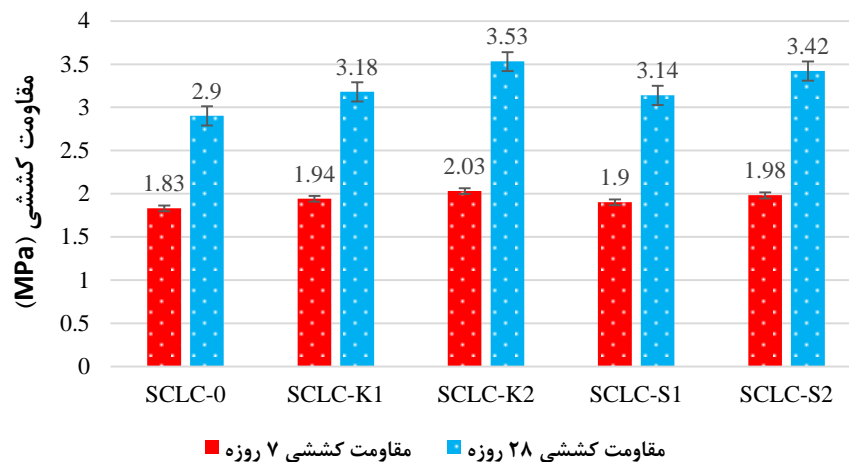
۲-۴- خواص بتن سخت شده

متداول ترین آزمایش از بین کلیه آزمایشات بتن سخت شده آزمایش مقاومت فشاری می باشد. در این تحقیق از نمونه های مکعبی با ابعاد $100 \times 100 \times 100$ میلیمتر برای انجام آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۷ و ۲۸ روز و بر مبنای استاندارد BS EN12390 استفاده شد. شکل ۵ نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه بر روی نمونه های بتن سبک خود تراکم شاهد و الیافی را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود با افزایش سن از ۷ به ۲۸ روز بدلیل تکمیل واکنش هیدراسیون و کاهش فضاهای خالی بتن مقدار مقاومت فشاری نمونه ها بهبود یافته است. از طرف دیگر نتایج نشان می دهد استفاده از الیاف ماکروپلیمری تاثیر قابل ملاحظه افزایشی و یا کاهشی بر مقاومت فشاری بتن سبک خودتراکم نداشته است. این یافته با نتایج پژوهش های پیشین در مورد بتن معمولی همخوانی دارد. به عنوان مثال سبحانی و همکاران [۱۲] نیز گزارش کرده اند که استفاده از الیاف تاثیر منفی بر مقاومت فشاری بتن نداشته است و مقاومت فشاری بتن الیافی در محدوده مقاومت فشاری بتن شاهد رفتار نموده است. عامل اصلی مقاومت فشاری در بتن، مقاومت سنگدانه ها، مقاومت خمیر سیمان و ناحیه انتقال بین این دو می باشد و افزودن الیاف بسته به تراکم انجام شده می تواند سبب افزایش یا کاهش جزئی مقاومت فشاری بتن سبک خودتراکم شود.



شکل ۵- نتایج آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۷ و ۲۸ روز.

از نمونه های استوانه ای با ابعاد 100×200 میلیمتر برای تعیین مقاومت کششی بر اساس استاندارد ASTM C496 استفاده شد. شکل 6 نتایج آزمایش مقاومت کششی ۷ و ۲۸ روزه را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود استفاده از الیاف سبب بهبود مقاومت کششی بتن سبک خود تراکم شده است و البته حداکثر میزان افزایش مقاومت کششی ۱۷/۹ درصد و در نمونه حاوی ۳/۶ کیلوگرم الیاف نوع K بوده است. همچنین همان طور که در شکل ۶ مشاهده می شود با افزایش مقدار استفاده از الیاف ماکروپلیمری، مقاومت کششی افزایش یافته است.

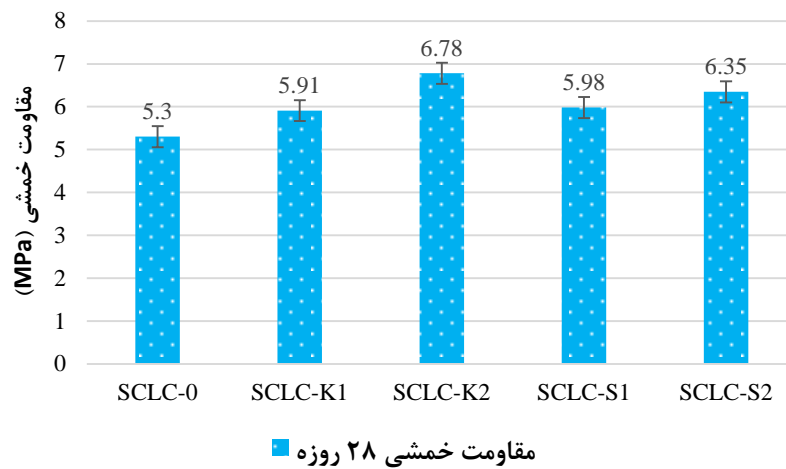


شکل ۱- نتایج آزمایش مقاومت کششی در سنین ۷ و ۲۸ روز

مقاومت خمشی یا مدول گسیختگی بتن، بر اساس گسیختگی تیرهای بتنی بدون آرماتور در اثر خمش، تعیین می‌شود. از نمونه های استوانه‌ای با ابعاد $100 \times 100 \times 400$ میلی‌متر برای تعیین مدول رابچر بر طبق استاندارد ASTM C293 استفاده می‌شود. نتایج آزمایش مقاومت خمشی در شکل ۷ آورده شده است. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود، مدول گسیختگی تمام طرح‌های حاوی هر دو نوع الیاف از مدول گسیختگی نمونه های شاهد بیشتر شده است. تاثیر الیاف بر مکانیزم رفتاری بتن که سبب بهبود مقاومت خمشی آن می‌شود تا حدود زیادی به برهم کنش‌های بین ملات سیمانی و الیاف بستگی دارد. در حالت کلی سه نوع از این اندرکنش‌ها از اهمیت خاصی برخوردار هستند:

- چسبندگی که به صورت پیوستگی برشی الاستیک در سطح مشترک الیاف و ماتریس ظاهر می‌شود.
- اصطحاک که به صورت پیوستگی برشی اصطحاک‌کامی عمل می‌کند.
- مهار مکانیکی ناشی از شکل و هندسه الیاف.

استفاده از $1/6$ و $3/8$ کیلوگرم الیاف نوع K سبب افزایش $10/3$ و $21/8$ درصدی مقاومت خمشی و استفاده از $1/6$ و $3/8$ کیلوگرم الیاف نوع S سبب افزایش $11/3$ و $16/5$ درصدی مقاومت خمشی شده است. مشاهده می‌شود استفاده از الیاف نوع K تاثیر بیشتری بر مقاومت خمشی نمونه‌های منشوری ساخته شده از بتن سبک خودتراکم داشته است. همان طور که پیش از این اشاره شد الیاف نوع K از سطح مقطع نازکتری برخوردار بودند و همین موضوع باعث می‌شود که چسبندگی بهتری با ملات داشته و درگیری بین ملات و الیاف را افزایش دهد. همچنین مدول الاستیسیته و مقاومت کششی بالاتر این نوع الیاف نیز خود می‌تواند دلیل بهبود مقاومت خمشی بتن حاوی این نمونه از الیاف باشد. شکل ۸ تصویری از یک نمونه تیر خمشی پس از شکست است که پل زدن الیاف در آن به خوبی قابل مشاهده است. همان طور که نتایج نشان می‌دهد استفاده از الیاف ماکروسینتتیک افزایش حداکثر ۲۰ درصدی در ماکزیمم بار خمشی قابل تحمل توسط تیرها ایجاد کرده است حال آنکه عملکرد اصلی الیاف بعد از ترک خوردگی می‌باشد که سبب افزایش مقاومت پس از ترک خوردگی و جذب انرژی نمونه‌های بتن می‌شود. تعیین مقدار مقاومت پس از ترک خوردگی که با عنوان طاقت خمشی نیز شناخته می‌شود می‌بایستی بر طبق استاندارد ASTM C1609 انجام شود. تعیین مقدار طاقت خمشی بر طبق این استاندارد نیازمند ثبت نمودار نیرو-تغییر-مکان در آزمایش خمش می‌باشد که در این تحقیق به دلیل محدودیت امکانات مورد بررسی قرار نگرفته است.



شکل ۷- نتایج آزمایش مقاومت خمشی ۲۸ روزه.



شکل ۸- تصویری از نمونه منشوری بتن سبک خودتراکم حاوی الیاف پس از شکست.

۵. نتیجه گیری

براساس نتایج بدست آمده مشاهده شد که استفاده از الیاف ماکروپلیمری سبب کاهش قطر جریان اسلامپ، افزایش زمان تخلیه قیف V شکل و افزایش اختلاف ارتفاع دو ستون آزمایش جعبه U شکل شده است. بنابر این استفاده از این نوع الیاف سبب کاهش روانی، قابلیت پرکنندگی و قابلیت عبور بتن سبک خودتراکم می‌شود و با افزایش میزان الیاف کاهش این خصوصیات بیشتر می‌شود. با این وجود بر طبق نتایج بدست آمده خصوصیات بتن سبک خودتراکم در محدوده قابل قبول توسط آیین نامه EFNARC قرار گرفته است. نتایج آزمایش های انجام شده بر روی بتن سخت شده نشان داد که استفاده از الیاف ماکروپلیمری تاثیر قابل ملاحظه افزایشی یا کاهشی بر مقاومت فشاری ندارد اما سبب بهبود مقاومت کششی و خمشی این نوع از بتن می‌شود. با افزایش میزان الیاف، مقاومت کششی و خمشی افزایش پیدا کرد و بیشترین مقاومت کششی و خمشی در طرح مخلوط های بتن سبک خودتراکم حاوی ۳/۶ کیلوگرم بر مترمکعب الیاف نوع K مشاهده شد.

۶. مراجع

- [1] ACI 237R-07, (2007), "Self-Consolidating Concrete". American Concrete Institute.
- [2] Muller, H.S., M. Haist, (2004) Erste Allgemeine Bavavfsichtliche Zulassung Selbstverdichtender Leichtbeton. (First General Technical Approval self consolidating light weight Concrete). Bundesverband Leichtzuschlag Industrie e.V. Gerhard Koch Stra Be2.73760 Ostfildern (Scharhauser Park), Vol. (70), pp 8-17.
- [3] Cajun, S. Yang. X, (2005), "Design and application of self-consolidating lightweight concrete". First international symposium on design, performance and use of self consolidating concrete, SCC-china, PP 26-28.
- [4] Afzalimaniz, o. Mazloom, M. (2018). "Effects of colloidal nano-silica on fresh and hardened properties of selfcompacting lightweight concrete". Journal of Building Engineering, Vol. (20), pp 400-410.
- [5] Karamloo, M., Mazloom, M. & Payganeh, G. (2016). "Effects of maximum aggregate size on fracture behaviors of self-compacting lightweight concrete," Construction and Building Materials, vol.123, pp. 505-515.
- [6] Compione, G., Mendola, L. (2004). "Behavior in compression of Lightweight fiber reinforce concrete confined with transverse steel reinforcement". Cement and concrete composites, Vol.26, pp 645-650.
- [7] Ahmadyar, M. (2011). "Ductility in lightweight concrete with fiber". Master Thesis. Sukontaukkul, p. (2004). "Toughness evaluation of steel and polypropylene fiber reinforced concrete." Thammasat Int. J.SC. Tech, Vol.9 (3).
- [8] Fallah, S. Nematzadeh, M (2017) "Mechanical properties and durability of high-strength concrete containing macro-polymeric and polypropylene fibers with nano-silica and silica fume". Construction and Building Materials. Vol. 132, pp 170-187.
- [9] Mazaheripour, H., S. Ghanbarpour, S.H. Mirmoradi, I. Hosseinpour. 2011. The effect of polypropylene fibers on the properties of fresh and hardened lightweight self-compacting concrete. Construction and Building Materials, Vol 25, pp 351-358.
- [10] Safari, J., Mirzaei, M., Rooholamini, H. and Hassani, A., (2018) "Effect of rice husk ash and macro-synthetic fibre on the properties of self-compacting concrete", Construction and Building Materials. Vol 175, pp371-380.
- [11] Alberti, M., Enfedaque, A. and Gálvez, J., (2017) "Fibre reinforced concrete with a combination of polyolefin and steel-hooked fibres". Composite Struct. Vol (171), pp 317-325.
- [۱۲] سبحانی، ج، احمدی، ب، افضلی نینیزا، چینی، م، (۱۳۹۷) " بررسی آزمایشگاهی و میدانی تاثیر چند نوع الیاف پلیمری ترکیبی بر رفتار مکانیکی و دوام رویه‌های بتنی "، اولین کنفرانس ملی دوام بتن. ۱۸ تا ۱۹ اردیبهشت.