

بررسی خصوصیات مقاومتی و انتقالی بتن سبک خودتراکم حاوی الیاف پلی پروپیلن

جمشید اسماعیلی *

دانشیار، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز

جمیل کسائی

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز

علیرضا رستمی مهر

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

بابک آتش فراز

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز

چکیده

گسترش انواع مختلف بتن های با عملکرد بالا از قبیل بتن خودتراکم و بتن سبک، در حال حاضر پاسخگوی بخشی از نیازهای اساسی صنعت ساختمان می باشد. به کار بستن سنگدانه های سبک در ساخت بتن خودتراکم، موجب ایجاد خصوصیات بتن سبک و بتن خودتراکم در یک ماده ساختمانی به نام بتن سبک خودتراکم می گردد. دو نوع الیاف پلی پروپیلن به طول های ۶ میلی متر و ۱۲ میلی متر در مقادیر مختلف ۰٪، ۰/۲۵٪، ۰/۵٪ و ۱٪ (بصورت حجمی از کل بتن) در ساخت بتن سبک خودتراکم مورد استفاده قرار گرفته است. ویژگی های مربوط به بتن خودتراکم تازه با انجام آزمایش های زمان و قطر جریان اسلامپ، زمان قیف ۷ و حلقه J مورد بررسی قرار گرفته است. وزن مخصوص، مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، سرعت پالسی، درصد جذب آب و نرخ جذب آب تمامی مخلوط های بتن سبک خودتراکم بدست آورده شده و اثر الیاف پلی پروپیلن مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت مشاهده گردید که بکارگیری الیاف پلی پروپیلن در بتن سبک خودتراکم علی رغم کاهش روانی می تواند منجر به بهبود هر دو خصوصیات مقاومتی و انتقالی گردد.

واژه های کلیدی: الیاف پلی پروپیلن، بتن سبک خودتراکم، خصوصیات مقاومتی، خصوصیات انتقالی.

* نویسنده مسئول: J-Esmaeili@tabrizu.ac.ir

۱- مقدمه

بتن) در ساخت نمونه‌های بتن سبک خودتراکم مورد استفاده قرار گرفته‌است. ویژگی‌های مربوط به بتن سبک خودتراکم تازه با انجام آزمایش‌های زمان و قطر جریان اسلامپ، زمان قیف V و حلقه J مورد بررسی قرار گرفته‌است. وزن مخصوص، مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، سرعت پالسی، درصد جذب آب و نرخ جذب آب در تمامی مخلوط‌های بتنی بدست آورده شده و اثر الیاف پلی پروپیلن مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲- روند آزمایشگاهی

۲-۱- مواد و مصالح

۲-۱-۱- سیمان و میکروسیلیس

در این تحقیق سیمان پرتلند تیپ دو کارخانه سیمان صوفیان با وزن مخصوص ۳/۱۵ گرم بر سانتیمتر مکعب و نرمی بلین ۲۸۶۰ سانتیمتر مربع بر گرم مورد استفاده قرار گرفته است. میکروسیلیس با بیش از ۹۵٪ سیلیس و وزن مخصوص ۲/۲ در تمامی مخلوط‌های بتنی به کار گرفته شده است. آنالیز شیمیایی و ویژگی‌های فیزیکی سیمان، مطابق با نتایج ارائه شده توسط شرکت تولید کننده در جدول ۱ ارائه شده است.

۲-۱-۲- سنگ دانه‌ها

در طرح اختلاط بتن سبک خودتراکم از سنگ دانه‌های سبک اسکوریا به‌عنوان درشت دانه و از ترکیب ماسه سبک اسکوریا و ماسه رودخانه‌ای طبیعی به عنوان ریز دانه استفاده شده است. شن اسکوریا با چگالی نسبی ۱/۸۶، درصد جذب آب ۱۱/۴٪ و بیشینه بعد دانه‌ی ۱۲/۵ میلی‌متر مورد استفاده قرار گرفته‌است. ماسه اسکوریا دارای چگالی نسبی ۲/۲۲، درصد جذب آب ۱۲/۱٪ می‌باشد. چگالی نسبی و درصد جذب آب ماسه رودخانه‌ای طبیعی به ترتیب ۲/۶۶ و ۱/۸٪ می‌باشد. منحنی دانه‌بندی مصالح سنگی درشت‌دانه (۱۰٪ اسکوریا) و مصالح ریزدانه (۵۰٪ ماسه اسکوریا بعلاوه ۵۰٪ ماسه رودخانه‌ای طبیعی) با مدول نرمی ۲/۸۴ در شکل ۱ نشان داده شده است.

۲-۱-۳- روان کننده

ابر روان کننده با پایه پلی کربوکسیلات، وزن مخصوص حدوداً ۱/۱۵ گرم بر سانتیمتر مکعب و مقدار مواد جامد حدوداً ۴۰-۳۰ درصد در مخلوط‌های SCLC بکار گرفته شده است.

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 (SCLC) می‌گردد. بتن سبک خودتراکم بتنی بسیار روان می‌باشد که تنها با وزن خود در قالب‌های با آرماتورگذاری بسیار زیاد و پیچیده قرار گرفته و متراکم می‌گردد، بدون اینکه هیچگونه جدا افتادگی و یا آب زدگی سطحی ایجاد شود [۱]. مشکلات متعددی ناشی از لرزه و تراکم نامناسب بتن سبک گزارش گردیده که منجر به پخش نامناسب سنگ‌دانه‌های سبک شده که می‌توان این مشکل را با بکارگیری بتن سبک خودتراکم از بین برد [۲]. از مزایای بکارگیری بتن سبک خودتراکم در سازه‌ها می‌توان به کاهش قابل ملاحظه بارهای مرده اشاره نمود. این درحالی است که خصوصیات مقاومتی و دوام این نوع بتن (SCLC) قابل مقایسه با خصوصیات بتن خودتراکم ساخته‌شده با سنگ‌دانه‌های معمولی می‌باشد [۳]. این کاهش بار مرده در سازه‌ها می‌تواند منجر به کاهش سطح مقطع اعضای سازه‌ای شده و بنابراین باعث کاهش هزینه‌های ساخت می‌گردد [۴].

استفاده از بتن الیافی در سازه‌های ساختمانی رو به افزایش می‌باشد. این امر به خاطر بهبود چقرمگی، مقاومت خمشی، مقاومت کششی، مقاومت در برابر ضربه و مود شکست بتن بواسطه استفاده از الیاف تسلیح کننده می‌باشد [۵]. الیاف مختلفی توسط محققین در بتن خودتراکم بکار گرفته شده و مورد بررسی قرار گرفته است [۶-۸]. نتایج تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که بکارگیری میکرو الیاف فولادی در بتن سبک خودتراکم می‌تواند منجر به افزایش مقاومت کششی و ایجاد رفتار سخت‌شوندگی کرنشی گردد [۹]. کاربرد الیاف پلی پروپیلن در بتن سبک خودتراکم می‌تواند باعث کاهش قابل ملاحظه کارائی و روانی بتن گردیده و از طرفی با افزایش میزان الیاف، خصوصیات مقاومتی بتن از قبیل مقاومت کششی و مقاومت خمشی بهبود می‌یابد [۱۰]. در هر حال، تحقیقات جامعی که به بررسی کاربرد الیاف پلی پروپیلن در بتن سبک خودتراکم با هدف ارزیابی خصوصیات انتقالی و دوام آن بپردازد کمتر مورد توجه قرار گرفته است. لذا در این تحقیق، اثر الیاف پلی پروپیلن بر خصوصیات مقاومتی و انتقالی بتن سبک خودتراکم مورد بررسی قرار گرفته است. دو نوع الیاف پلی پروپیلن با طول‌های ۶ میلی‌متر و ۱۲ میلی‌متر در مقادیر مختلف ۰٪، ۰/۰۲۵٪، ۰/۰۵٪ و ۰/۱٪ (بصورت حجمی از کل

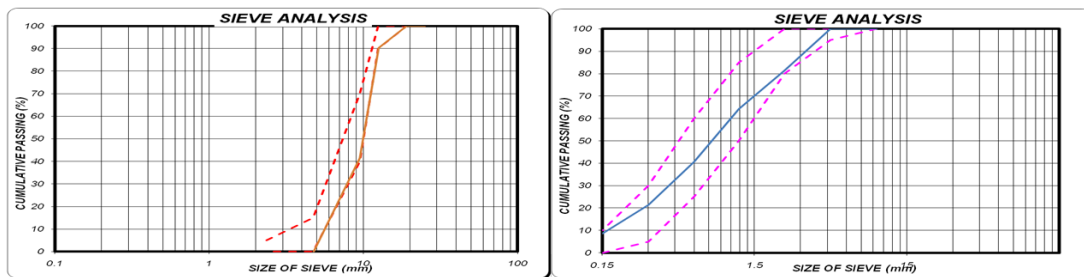
۲-۱-۴- الیاف پلی پروپیلن

با ACI 237R, 2007 انتخاب گردیده است [۱۱]. مقدار ثابتی از ابر روان کننده در مخلوط‌های بتنی مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به درصد جذب آب بالای مصالح سنگی سبک‌دانه، ابتدا میزان آب مربوط به جذب آب سنگ‌دانه‌ها به آن اضافه شده و تا مدتی معین مخلوط گردید. سپس الیاف پلی پروپیلن به تدریج و در مدت ۳ دقیقه به مصالح سنگی افزوده شده و مخلوط گردید. پس از آن سیمان به اختلاط اضافه شده و به مدت ۱ دقیقه میکس شد. در نهایت، ابر روان کننده با باقیمانده آب طرح اختلاط ترکیب شده و به اختلاط افزوده شد و بتن تا رسیدن به کارائی و خصوصیات خودتراکمی به مدت ۳ دقیقه دیگر مخلوط گردید. تمامی نمونه‌های بتنی در مخزن آب تا زمان مورد نظر عمل آوری شده‌اند. نسبت‌های اختلاط بتن سبک خودتراکم حاوی مقادیر مختلفی از الیاف پلی پروپیلن ۶ و ۱۲ میلی متری در جدول ۲ ارائه گردیده است.

دو نوع الیاف پلی پروپیلن با طول‌های ۶ و ۱۲ میلی‌متر، وزن مخصوص ۰/۹۱ گرم بر سانتیمتر مکعب و مقاومت کششی ۴۰۰-۳۰۰ مگاپاسکال در مخلوط‌های بتنی مورد استفاده قرار گرفته است.

۲-۲- نسبت‌های اختلاط

الیاف پلی پروپیلن ۶ و ۱۲ میلی متری، در مقادیر مختلف ۰/۱٪، ۰/۰۵٪، ۰/۰۲۵٪، بصورت حجمی از کل بتن در مخلوط-های بتن سبک خودتراکم مورد استفاده قرار گرفت. نسبت آبه سیمان ۰/۴۵ در تمامی مخلوط‌های بتنی ثابت نگه داشته شد. به منظور دستیابی به رئولوژی و خصوصیات مربوط به بتن خودتراکم، ۱۰ درصد وزنی از سیمان در تمامی اختلاط‌ها با میکروسلیس جایگزین گردید. طرح اختلاط بتن سبک خودتراکم مطابق



شکل ۱- منحنی دانه بندی شن (چپ) و ماسه (راست). (محدوده‌های استاندارد برگرفته از ASTM C33 می‌باشد)

جدول ۱- آنالیز شیمیایی و خصوصیات فیزیکی سیمان

نوع سیمان	Lo.I%	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO%	MgO%	SO ₃ %	K ₂ O%	Na ₂ O%	بلین (cm ² /g)	مقاومت فشاری (kg/cm ²)		
											۳	۷	۲۸
پرتلند تیپ دو	۰/۷۵	۲۱/۹۱	۴/۸۵	۳/۴۶	۶۴/۵۶	۲/۳۸	۱/۷۱	۰/۹۷	۰/۳۴	۲۶۸۰	۱۷۹	۲۷۴	۳۷۰

جدول ۲- نسبت‌های اختلاط بتن سبک خودتراکم حاوی مقادیر مختلف الیاف پلی پروپیلن

شماره طرح	نسبت آب بر مواد سیمانی	سیمان (kg/m ³)	میکرو سلیس (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

۲-۳- نسبت‌های اختلاط

گرفته است. مقدار ثابتی از ابر روان کننده در مخلوط‌های بتنی مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج مربوط به مخلوط‌های بتنی تازه (SCLC) که حاوی مقادیر مختلفی از الیاف پلی پروپیلن می‌باشند در جدول ۳ ارائه گردیده است. مخلوط‌های بتنی مورد مطالعه در این تحقیق دارای میزان جریان اسلامپ ۴۶۰ تا ۷۴۰ میلی متر می‌باشند. همانطور که مشاهده می‌گردد، میزان جریان اسلامپ با افزایش مقدار الیاف پلی پروپیلن در مخلوط‌های بتنی، کاهش می‌یابد. افزایش مقدار ابر روان کننده نه تنها منجر به جبران افت جریان اسلامپ نشده بلکه باعث ایجاد جدا افتادگی سنگ‌دانه‌ها در مخلوط‌های SCLC گردید. بنابراین مقدار ابر روان کننده در تمامی مخلوط‌های SCLC ثابت نگه داشته شد. همانطور که مشاهده می‌گردد، مقادیر مربوط به آزمایش زمان V-funnel در محدوده‌ی ۳ تا ۴/۹ ثانیه می‌باشد. قابلیت عبوری بتن سبک خودتراکم، بیشتر تحت تأثیر میزان الیاف پلی پروپیلن می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده، قابلیت عبوری مخلوط‌های SCLC با افزایش میزان الیاف پلی پروپیلن کاهش می‌یابد. در کل مشاهده می‌گردد که رئولوژی مورد نیاز و خصوصیات بتن سبک خود تراکم تازه، با افزایش میزان الیاف پلی پروپیلن در مخلوط‌ها کاهش می‌یابد. بسیار مشهود است که الزامات مربوط به روانی و قابلیت عبوری، مطابق با مشخصات فنی تعیین شده برای بتن خودتراکم در نمونه‌های S6-0.1 و S12-0.1 تأمین نمی‌گردد.

در این تحقیق آزمایش‌های جریان اسلامپ، T50 و قیف V، مطابق با روند توصیه شده در EFNARC, 2005 انجام یافته است [۱۲]. آزمایش حلقه J طبق ASTM C1621, 2009 به منظور ارزیابی قابلیت عبوری بتن سبک خودتراکم انجام گرفت [۱۳]. نمونه‌های ۱۰*۱۰*۱۰ سانتی‌متری به منظور انجام آزمایش‌های مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه و درصد جذب آب به ترتیب مطابق با BS: part 116, 1881 و ASTM C 642, 1997 مورد استفاده قرار گرفت [۱۴ و ۱۵]. آزمایش تعیین مقاومت خمشی ۷ و ۲۸ روزه بر روی نمونه‌های منشوری ۱۰*۱۰*۵۰ سانتی‌متری (روند اعمال بار تحت کنترل بار می‌باشد) مطابق با ASTM C 293, 2002 انجام یافت [۱۶]. آزمایش نرخ جذب آب بر روی رینگ‌های بتنی استوانه‌ای ۱۰*۵ سانتی‌متری ۲۸ روزه مطابق با ASTM C1585, 2004 انجام یافت [۱۷].

۳- نتایج

۳-۱- ویژگی‌های بتن تازه

قابلیت روانی بتن سبک خودتراکم با بدست آوردن میزان جریان اسلامپ (میلی متر)، زمان مربوط به جریان اسلامپ ۵۰۰ میلی‌متری (ثانیه)، زمان مربوط به آزمایش V-funnel (ثانیه) و قابلیت عبوری بتن در آزمایش J-ring (میلی متر) مورد ارزیابی قرار

جدول ۳- خصوصیات مخلوط‌های بتنی تازه (SCLC) حاوی مقادیر مختلفی از الیاف پلی پروپیلن

شماره طرح	جریان اسلامپ		حلقه J		قابلیت عبوری (mm)	قیف V (s)
	Spread (mm)	T50 (s)	Spread (mm)	T50 (s)		
C	۷۴۰	۱/۹	۷۲۰	۲/۳	۲۰	۴/۳
S6-0.025	۶۹۵	۲/۵	۶۷۰	۳/۲	۲۵	۴/۱
S6-0.05	۷۱۵	۲/۲	۶۸۵	۳/۲	۳۰	۳/۵
S6-0.1	۵۹۰	۴/۳	۵۵۰	۵/۱	۴۰	۴/۹
S12-0.025	۷۰۰	۱/۶	۶۸۰	۲/۲	۲۰	۳
S12-0.05	۶۱۵	۳	۵۸۵	۵/۲	۳۰	۳/۵
S12-0.1	۴۶۰	---	۴۲۰	---	۴۰	۳/۵

در شکل ۲ مشاهده می‌گردد، مقاومت فشاری با افزایش مقدار الیاف پلی پروپیلن در مخلوط‌های بتنی، در تمامی سنین و در مقادیر مختلف الیاف افزایش می‌یابد. در نمونه‌های حاوی الیاف پلی پروپیلن ۶ میلی‌متری، مقاومت فشاری بتن با هر چه افزون شدن الیاف در مخلوط افزایش می‌یابد.

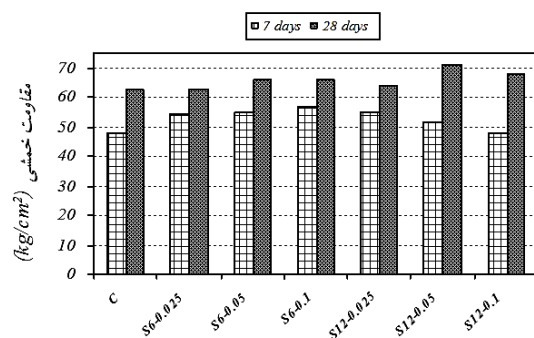
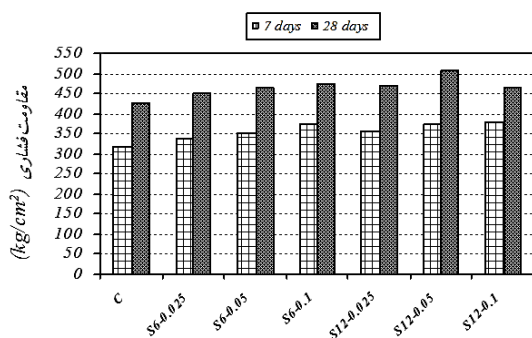
۳-۲- ویژگی‌های بتن سخت شده

۳-۲-۱- مقاومت فشاری

مقاومت فشاری نمونه‌های SCLC در سنین ۷ و ۲۸ روزه در جدول ۴ و شکل ۲ ارائه گردیده است. مقادیر مقاومت فشاری، میانگین مقاومت سه نمونه‌ی آزمایشگاهی می‌باشد. همانطور که

جدول ۴- خصوصیات مخلوط‌های بتنی سخت شده (SCLC) حاوی مقادیر مختلفی از الیاف پلی پروپیلن

شماره طرح	مقاومت فشاری		مقاومت خمشی		درصد جذب آب (%)	نرخ جذب آب (mm/s ^{0.5})	سرعت پالسی (m/s)	وزن مخصوص خشک (kg/m ³)
	(kg/cm ²)		(kg/cm ²)					
	۷روزه	۲۸روزه	۷روزه	۲۸روزه				
C	۳۱۹	۴۲۹	۴۸	۶۳	۶/۵۵	۰/۰۰۶۷	۳۶۷۹	۱۸۶۳
S6-0.025	۳۳۹	۴۵۰	۵۴	۶۳	۶/۵۶	۰/۰۰۵۱	۳۶۵۲	۱۸۵۸
S6-0.05	۳۵۱	۴۶۶	۵۵	۶۶	۴/۹۳	۰/۰۰۵۵	۳۶۳۹	۱۸۶۶
S6-0.1	۳۷۵	۴۷۶	۵۷	۶۶	۴/۸۳	۰/۰۰۵۴	۳۶۵۹	۱۸۵۸
S12-0.025	۳۵۴	۴۶۸	۵۵	۶۴	۶/۶۳	۰/۰۰۵۴	۳۶۷۰	۱۸۶۶
S12-0.05	۳۷۳	۵۰۷	۵۲	۷۱	۵/۶۸	۰/۰۰۵۴	۳۷۰۰	۱۸۵۰
S12-0.1	۳۸۱	۴۶۷	۴۸	۶۸	۵/۶۱	۰/۰۰۵۲	۳۶۳۶	۱۸۳۳



شکل ۲- خصوصیات مقاومتی نمونه های بتنی SCLC حاوی مقادیر مختلفی از الیاف پلی پروپیلن

در شکل ۲ مشاهده می‌گردد، با افزایش مقدار الیاف پلی پروپیلن در مخلوط‌های بتنی، مقاومت خمشی نمونه‌ها در تمامی سنین و در مقادیر مختلف الیاف افزایش می‌یابد. در نمونه‌های حاوی الیاف پلی پروپیلن ۶ میلی متری، مقاومت خمشی بتن با هر چه افزون شدن الیاف در مخلوط افزایش می‌یابد. این درحالیست که در نمونه‌های بتنی حاوی الیاف ۱۲ میلی متری ۷روزه، مقاومت خمشی بتن با افزایش مقدار الیاف کاهش می‌یابد. این کاهش مقاومت خمشی بتن همانطور که در بخش مربوط به مقاومت فشاری مطرح گردید، می‌تواند به خاطر کاهش قابلیت خودتراکمی مخلوط‌ها در اثر افزایش بکارگیری الیاف پلی پروپیلن ۱۲ میلی متری باشد. با توجه به نتایج بدست آمده، با مقایسه مقاومت خمشی نمونه‌های بتنی متناظر، با مقدار ثابتی از الیاف می‌توان دریافت که به طور نسبی الیاف ۱۲ میلی متری بیشتر از الیاف ۶ میلی متری می‌تواند منجر به بهبود مقاومت خمشی بتن سبک خودتراکم در سن ۲۸ روزه گردد. بیشترین افزایش مقاومت خمشی حدوداً ۱۳٪ در نمونه‌ی S12-0.05 که حاوی ۰,۰۵٪ حجمی از الیاف پلی پروپیلن به طول ۱۲ میلی متر می‌باشد، مشاهده گردید.

در نمونه‌های حاوی الیاف پلی پروپیلن ۱۲ میلی متری، بهبود مقاومت فشاری در تمامی نمونه‌ها به جز S12-0.1 قابل مشاهده می‌باشد. کاهش قابلیت خودتراکمی نمونه S12-0.1 به خاطر به-کارگیری میزان بیشتری از الیاف ۱۲ میلی متری در آن می‌توان به عنوان دلیل اصلی این کاهش مقاومت فشاری مطرح نمود. با مقایسه نتایج مقاومت فشاری مربوط به نمونه‌های متناظر، با مقدار ثابتی از الیاف پلی پروپیلن می‌توان دریافت که به‌طور نسبی الیاف ۱۲ میلی متری بیشتر از الیاف ۶ میلی متری می‌تواند منجر به بهبود مقاومت فشاری بتن سبک خودتراکم گردد. بیشترین افزایش مقاومت فشاری حدوداً ۱۸٪ در نمونه S12-0.05 که حاوی ۰,۰۵٪ حجمی از الیاف پلی پروپیلن به طول ۱۲ میلی متر می‌باشد، مشاهده گردید.

۳-۲-۲- مقاومت خمشی

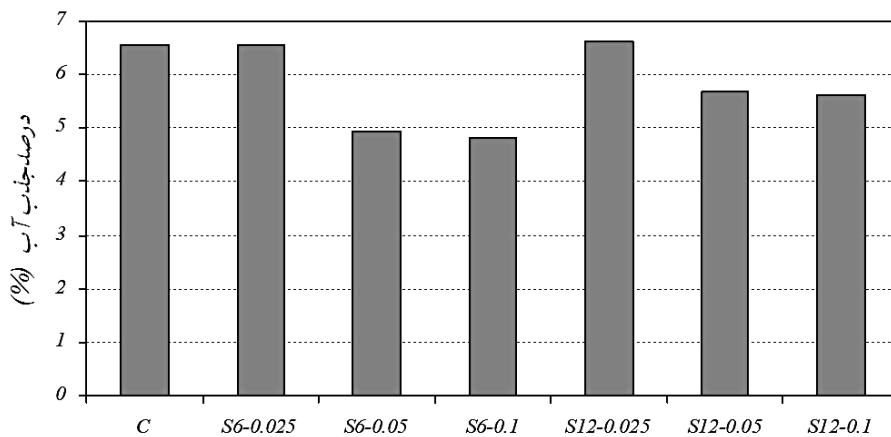
مقاومت خمشی نمونه‌های SCLC در سنین ۷ و ۲۸ روزه در جدول ۴ و شکل ۲ نشان داده شده است. مقادیر مقاومت خمشی، میانگین مقاومت سه نمونه‌ی آزمایشگاهی می‌باشند. همانطور که

۳-۲-۳- درصد جذب آب

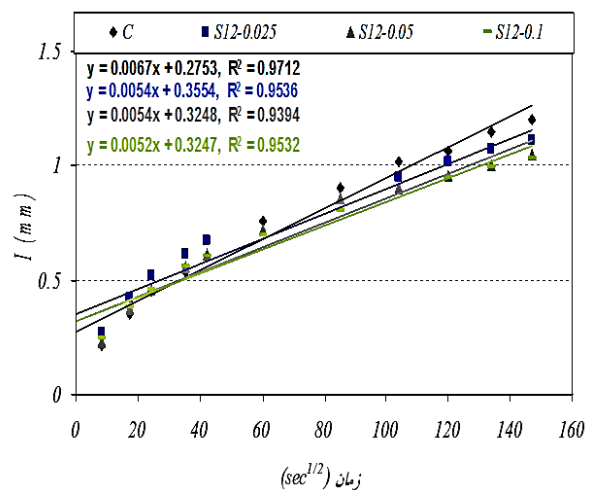
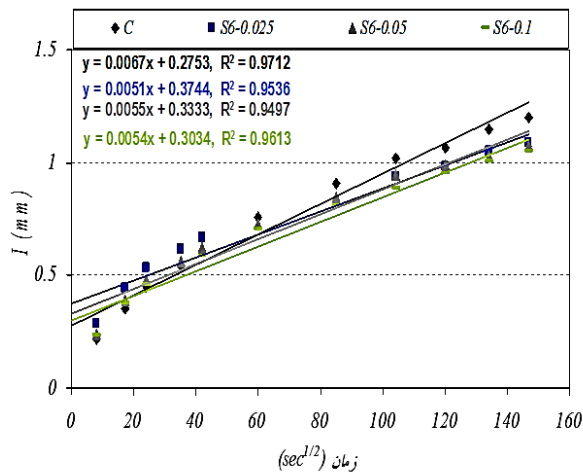
درصد جذب آب نمونه‌های SCLC که حاوی انواع و مقادیر مختلفی از الیاف پلی پروپیلن می‌باشند در سن ۲۸ روزه در جدول ۴ و شکل ۳ ارائه گردیده است. مشاهده می‌گردد که به کارگیری بیش از ۰,۲۵٪ از الیاف پلی پروپیلن در طرح اختلاط می‌تواند منجر به کاهش درصد جذب آب نمونه‌های SCLC گردد. نتایج نشان می‌دهد که الیاف پلی پروپیلن به طول ۶ میلی متر در مقایسه با الیاف ۱۲ میلی متری تأثیر بیشتری بر بهبود درصد جذب آب SCLC دارد. آهنگ کاهش درصد جذب آب در نمونه‌های S6-0.1 و S12-0.1 افزایش قابل توجهی ندارد که می‌توان آن را به روانی و قابلیت عبوری کم و غیر قابل قبول این مخلوط‌ها نسبت داد. حداکثر کاهش درصد جذب آب ۳۶ درصدی نمونه‌های SCLC در نمونه‌ی S6-0.1 که حاوی ۰,۱٪ از الیاف پلی پروپیلن به طول ۶ میلی متری می‌باشد، مشاهده گردید.

۴-۲-۳- نرخ جذب آب

نتایج مربوط به نرخ جذب آب اولیه نمونه‌های SCLC در سن ۲۸ روزه در شکل ۴ نشان داده شده است. نرخ جذب آب معیاری برای ارزیابی و اندازه گیری نیروهای کاپیلاره‌ی ایجاد شده توسط ساختار حفره‌ای می‌باشد که منجر به کشش مایعات به داخل ماده می‌گردد [۱۸]. نرخ جذب آب بتن در این تحقیق با رگرسیون خطی شیب گراف جذب آب کاپیلاره نسبت به ریشه دوم زمان بدست آمده که در جدول ۴ ارائه گردیده است. مشاهده می‌گردد که بکارگیری الیاف پلی پروپیلن در مخلوط‌های بتن سبک خود تراکم می‌تواند منجر به کاهش نرخ جذب آب بتن گردد. نمونه‌های SCLC حاوی الیاف پلی پروپیلن به طول ۶ یا ۱۲ میلی متر دارای نرخ جذب آب کمتری در مقایسه با نمونه شاهد می‌باشند. حداکثر کاهش نرخ جذب آب ۳۱ درصدی بتن در نمونه‌های S6-0.025 و S12-0.1 مشاهده گردید.



شکل ۳- درصد جذب آب نمونه‌های بتنی SCLC حاوی مقادیر مختلفی از الیاف پلی پروپیلن



شکل ۴. نرخ جذب آب نمونه‌های بتنی SCLC حاوی مقادیر مختلفی از الیاف پلی پروپیلن

ندارد که خود نشان دهنده توزیع و پخش مناسب الیاف در بتن می باشد.

- با وجود کاهش روانی و قابلیت عبوری SCLC با افزایش مقدار الیاف پلی پروپیلن، بکارگیری میزان بهینه ای از این الیاف می تواند منجر به تولید بتن سبک خودتراکم با مقاومت و دوام بیشتر گردد.

۵- مراجع

- [1] Wu, Z. Zhang, Y. Zheng, J. and Ding, Y (2009). An experimental study on the workability of self-compacting lightweight concrete. *Constr Build Mater*; 23:2087-92.
- [2] Madandoust, R. (1990). Strength assessment of lightweight concrete. PhD thesis, Liverpool University.
- [3] Lachemi, M. Bae, S. Hossain, K.M.A. and Sahmaran, M. (2009). Steel-concrete bond strength of lightweight self-consolidating concrete. *Mater Struct*; 42:1015-23.
- [4] Madandoust, R. Ranjbar, M.M. and Mousavi, S.Y. (2011). An investigation on the fresh properties of self-compacted lightweight concrete containing expanded polystyrene. *Constr Build Mater*; 25: 3721-3731.
- [5] ACI Committee 544 (1988). Measurements of properties of fiber reinforced concrete. *ACI Mater J*; 85(6): 583-93.
- [6] Khayat, K.H. Roussel, Y. (1999). Testing and performance of fiber reinforced, selfconsolidating concrete. In: Skarendahl A, Petersson O, editors. *Proceedings of the first international RILEM symposium on self-compacting concrete*. Sweden: Stockholm, September 13-14. p. 509-21.
- [7] Groth, P. Nemegeer, D. (1999). The use of steel fibres in self-compacting concrete. In: Skarendahl A, Petersson O, editors. *Proceedings of the first international RILEM symposium on self-compacting concrete*. Sweden: Stockholm, September 13-14. p. 497-507.
- [8] Sahmaran, M. Yurtseven, A. and Ozgur, Y.I. (2005). Workability of hybrid fiber reinforced self-compacting concrete. *Build Environ*;40:1672-7.
- [9] Iqbal, S. Ali, A. Holschemacher, K. and Bier, TA. (2015). Effect of change in micro steel fiber content on properties of High strength Steel fiber reinforced Lightweight Self-Compacting Concrete (HSLSCC). *Procedia Engineering* 122 (2015) 88 - 94.
- [10] Mazaheripour, H. Ghanbarpour, S. Mirmoradi S.H. and Hosseinpour, I. (2011). The effect of polypropylene fibers on the properties of fresh and hardened lightweight self-compacting concrete.

۳-۲-۵- سرعت پالسی

آزمایش سرعت پالسی آلتراسونیک (UPV) با استفاده از دستگاه غیر مخرب آلتراسونیک (PUNDIT) بر روی نمونه های بتنی انجام گرفته است. این آزمایش بر اساس تئوری انتقال فراصوت در داخل ماده پیشنهاد شده که از آن عموماً برای دست یافتن به اطلاعاتی درباره تخریب بتن استفاده می گردد [۱۹].

آزمایش آلتراسونیک روشی معمول می باشد که برای تحلیل ساختار حفره ای بتن و به منظور آشکار نمودن ضعف های داخلی آن (از قبیل حفره، ترک، ورقه شدن و ...) مورد استفاده قرار می گیرد [۲۰]. تمامی نمونه های بتنی ۲۸ روزه، مورد آزمایش آلتراسونیک قرار گرفتند که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج ارائه شده نشان می دهد که تفاوت قابل توجهی در مقادیر سرعت پالسی نمونه های SCLC حاوی مقادیر مختلف الیاف وجود ندارد که خود نشان دهنده توزیع و پخش مناسب الیاف در بتن می باشد.

۴- نتیجه گیری

- بررسی آزمایش های مربوط به نمونه های بتن سبک خودتراکم حاوی مقادیر مختلفی از الیاف پلی پروپیلن منجر به نتایج ذیل گردید:
- پرواضح است که رئولوژی و ویژگی های بتن تازه در مخلوط های SCLC با افزایش مقدار الیاف پلی پروپیلن کاهش می یابد.
 - ویژگی های مقاومتی (مقاومت فشاری و مقاومت خمشی) SCLC با افزایش میزان الیاف بهبود می یابد. مقایسه نمونه های متناظر، با میزان الیاف یکسان نشان می دهد که به طور نسبی الیاف پلی پروپیلن به طول ۱۲ میلی متر بیشتر از الیاف به طول ۶ میلی متر منجر به بهبود خصوصیات مقاومتی SCLC می گردد.
 - با به کارگیری الیاف پلی پروپیلن در اختلاط بتنی، هردو خصوصیت انتقالی (اعم از درصد جذب آب و نرخ جذب آب) در نمونه های SCLC بهبود می یابد. نتایج نشان می دهد که الیاف ۶ میلی متری دارای عملکرد بهتری در کاهش درصد جذب آب نمونه ها در مقایسه با الیاف ۱۲ میلی متری می باشند.
 - نتایج نشان می دهد که تفاوت قابل توجهی در مقادیر سرعت پالسی نمونه های SCLC حاوی مقادیر مختلف الیاف وجود

Construction and Building Materials 25 (2011) 351–358.

[11] ACI Committee 237 (2007). Self-Consolidating Concrete. Detroit: American Concrete Institute.

[12] EFNARC, "The European guidelines for self-compacting concrete, The European federation of specialist construction chemicals and concrete systems", 2002, <www.efnarc.org>.

[13] ASTM C 1621/C1621M - 09b (2009). Standard Test Method for Passing Ability of Self-Consolidating Concrete by J-Ring.

[14] BS 1881-116 (1983) Testing concrete. Method for determination of compressive strength of concrete cubes.

[15] ASTM C 642 – 97 (1997). Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete.

[16] ASTM C 293 – 02 (2002). Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading).

[17] ASTM C 1585 – 04 (2004). Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic- Cement Concretes.

[18] Hall, C. (1989). Water sorptivity of mortars and concretes: a review. Magazine of Concrete Res; 41(14):51–61.

[19] Vasconcelos, G. Lourenco, PB. Alves, C.A.S. and Pamplona, J. (2008). Ultrasonic evaluation of the physical and mechanical properties of granites. Ultrasonics; 48:453–66.

[20] Lafhaj, Z. Goueygou, M. Djerbi, A. and Kaczmarek, M. (2006). Correlation between porosity, permeability and ultrasonic parameters of mortar with variable water/cement ratio and water content. Cem Concr Res; 36:625–33.

An Investigation on Strength and Transport Properties of Self-Consolidating Lightweight Concrete Containing Polypropylene Fibers

J. Esmaeili *

Associate Professor, Department of Civil Engineering, University of Tabriz

J. Kasaei

MSc Student, Department of Civil Engineering, University of Tabriz

A. Rostamimehr

MSc Student, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology

B. Atashfaraz

MSc Student, Department of Civil Engineering, University of Tabriz

Abstract

The development of new types of high performance concrete such as self-consolidating concrete (SCC) and lightweight concrete (LWC) responds to some of the urgent needs of the construction sector. The use of lightweight aggregates in the production of SCC combines the favorable properties of LWC and SCC in self-consolidating lightweight concrete (SCLC). However, there are few studies on properties of SCLC up to now. In this study, the effects of polypropylene fibers on strength and transport properties of SCLC were investigated. Two types of polypropylene fibers, 6mm and 12mm long, were used in SCLC mixtures at different contents of 0%, 0.025%, 0.05% and 0.1% by total volume of concrete. The fresh properties of SCLCs were observed through slump flow time and diameter, V-funnel flow time and J-ring tests. Unit weight, compressive strength, flexural strength, pulse velocity, water absorption, and sorptivity were measured in all SCLC mixes and compared with that of the control mixture. It has been found that using polypropylene fibers in SCLC can lead to improvement in both strength and transport properties of concrete.

Keywords: Polypropylene fibers, Self-consolidating lightweight concrete, Strength properties, Transport properties.

* Corresponding Author: J-Esmaeili@tabrizu.ac.ir