

تحقیقات بتن

سال هشتم، شماره اول

بهار و تابستان ۹۴

ص ۴۱ - ۵۴

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/ ۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۶

بررسی تأثیر الیاف فولادی بر خواص تازه و سخت شده ی بتن خودتراکم حاوی اسکوریا

ملک محمد رنجبر

استاد یار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی دانشگاه گیلان

سید حسین قاسم زاده موسوی نژاد

استاد یار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی دانشگاه گیلان

شاهین چرختاب

مریی گروه مهندسی عمران، مؤسسه آموزش عالی دیلمان

محمد ابراهیم ذاکری

کارشناس ارشد مهندسی عمران سازه، مؤسسه آموزش عالی دیلمان

محمد آرایشگر *

کارشناس ارشد مهندسی عمران سازه، دانشکده فنی دانشگاه گیلان

سروش عیسی پور

کارشناسی مهندسی عمران، دانشکده فنی دانشگاه گیلان

چکیده

در این مطالعه به بررسی آثار ناشی از افزودن الیاف فولادی با دو درصد وزنی بر پارامترهای جریان پذیری و خواص سخت شده ی بتن خودتراکم سبک حاوی سبکدانه های اسکوریا پرداخته شده است. بدین منظور الیاف فولادی با طول ۵۰ میلی متر به میزان ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم در مترمکعب به طرح اختلاط شاهد اضافه شده و سپس آزمایش های بتن تازه شامل جریان اسلامپ، قیف V شکل و جعبه L شکل و آزمایش های بتن سخت شده شامل اندازه گیری چگالی، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، اندازه گیری سرعت عبور امواج اولتراسونیک، مقاومت خمشی، طاقت خمشی و جذب آب انجام گرفت. نمونه ها در شرایط مرطوب عمل آوری شده و نتایج آزمایش های بتن سخت شده در سنین ۷، ۱۴، ۲۸، ۴۲ و ۹۰ روزه ارائه شده اند. نتایج نشان می دهند که نسبت به طرح شاهد، با افزایش حجم الیاف، جریان اسلامپ و درصد H_2/H_1 کاهش یافته و مقادیر T50، زمان خروج کامل بتن از قیف V شکل، افزایش می یابد. همچنین با افزودن مقادیر الیاف، افزایش در مقاومت کششی و خمشی را شاهد بوده ایم اما افزایش محسوسی در مقاومت فشاری نمونه های الیافی مشاهده نشد.

واژه های کلیدی: بتن خودتراکم سبک، خواص بتن سخت شده، خواص بتن تازه، الیاف فولادی، اسکوریا.

* نویسنده مسؤول: mohammad_ar2011@yahoo.com

۱- مقدمه

ضعف و شکنندگی سنگدانه‌های سبک نقایصی را در خواص مکانیکی بتن سبکدانه سخت شده همچون کاهش در مقاومت خمشی و کششی به وجود می‌آورد [6]. بنابراین بهبود در شکنندگی نکته‌ای کلیدی در گسترش کاربردهای بتن سبک است [1]. استفاده از الیاف در بتن می‌تواند راه حل مناسبی جهت بهبود شکل پذیری آن باشد [7].

استفاده از الیاف فولادی

در بتن‌های الیافی، هزاران الیاف کوتاه به‌طور تصادفی در بتن در حین اختلاط پراکنده و توزیع می‌شوند و خواص بتن در همه راستاها را بهبود می‌بخشند [8]. افزایش استفاده از بتن الیافی در سازه‌های ساختمانی به این دلیل است که تقویت بتن با الیاف، چقرمگی، مقاومت خمشی، مقاومت کششی، مقاومت ضربه‌ای، مود شکست بتن و عمر مفید ساختمان را بهبود می‌بخشد [9,10]. ACI 544.4R-88 خواص مکانیکی بتن‌های حاوی الیاف فولادی را متأثر از نوع الیاف، نسبت طول به قطر الیاف، مقدار الیاف، مقاومت ماتریس، اندازه، شکل و روش آماده‌سازی نمونه‌ها و اندازه‌ی سنگدانه‌ها می‌داند [11].

مطالعات پیرامون استفاده از الیاف پلی پروپیلن در بتن سبکدانه‌ی خودتراکم نشان داده است که این الیاف تأثیر قابل توجهی بر مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته بتن سبک نداشته اما مقاومت کششی و مدول گسیختگی بتن را بهبود می‌بخشد [9]. همچنین کاهش شدید در کارایی بتن تازه‌ی خودتراکم در اثر افزودن این الیاف در بتن ساخته شده با سنگدانه‌های طبیعی و سبک گزارش شده است [12,9].

El-Dieb و همکارانش جهت بررسی اثر الیاف فولادی بر خواص بتن تازه خودتراکم نسبت‌های طول به قطر متفاوت از الیاف را با سه درصد حجمی مختلف به طرح شاهد اضافه کردند. افزایش در ضریب الیاف، که از حاصل ضرب درصد حجمی در نسبت طول به قطر الیاف به دست می‌آید، افزایش در زمان تخلیه قیف V و کاهش در جریان اسلامپ و درصد پرکنندگی جعبه را موجب شد [12]. این محقق در مطالعه دیگری افزایش مقاومت فشاری و کششی بتن‌های پر مقاومت حاوی الیاف فولادی را گزارش کرد. در این پژوهش به بررسی اثر مقادیر متفاوت الیاف

در سال‌های اخیر با افزایش سرعت احداث ساختمان‌های بلند مرتبه و با دهانه‌های بزرگ در کلان شهرها نیاز به تولید بتن‌های با عملکرد و مقاومت بالا که از وزن کم و شکل پذیری قابل قبولی برخوردار باشند، بیش از پیش ضرورت یافته است. استفاده از سبک‌دانه‌های طبیعی و مصنوعی در ساخت بتن علاوه بر کاهش وزن بتن و به تبع آن صرفه جویی در میزان میلگرد مورد نیاز، کاهش ابعاد پی ساختمان، کاهش هزینه حمل و نقل، کاهش هزینه در قالب بندی و مهاربندی در حین اجرای مقاطع، ایزولاسیون حرارتی و جذب بیشتر صوت، مقاومت بیشتر در برابر آتش و عملکرد بهتر در چرخه‌های ذوب و انجماد را در مقایسه با بتن معمولی به همراه دارند [1,2].

بتن خودتراکم، نوع جدیدی از بتن‌های با عملکرد بالا است که می‌تواند بدون جداشدگی و انسداد، تحت وزن خود و بدون نیاز به لرزاندن خارجی به محل مورد نظر جریان یابد و قالب را پر کند. پایداری بتن تازه به وسیله مقاومت در برابر آب انداختگی، ته نشینی و جداشدگی توصیف می‌شود و به چسبندگی و گرانروی مخلوط وابسته است [3,4].

ساخت بتن خودتراکم سبک امکان استفاده هم‌زمان از مزایای بتن‌های سبک‌دانه و ویژگی‌های خمیری بتن خودتراکم را امکان پذیر می‌کند. یکی از نگرانی‌های عمده در اجرای بتن‌های سبک‌دانه خطر روزدگی و شناوری سبکدانه‌ها در فرایند حمل، جای‌دهی و تراکم این بتن‌هاست که همواره به کارگیری تیم اجرایی با تجربه را ضروری می‌کند. با ارائه‌ی طرح اختلاط مناسب بتن خودتراکم و حذف مرحله تراکم و آسانی انتقال، نیاز به نیروی کار ماهر متراکم‌کننده بتن از بین رفته و گامی در سهولت اجرای بتن‌های سبک در پروژه‌ها برداشته خواهد شد.

شکنندگی بتن‌های سبک‌دانه

خواص فیزیکی و مکانیکی بتن سبک‌دانه به شدت به سنگدانه‌های مورد استفاده به ویژه به چگالی آن‌ها وابسته است. عموماً چگالی بیشتر سنگدانه‌ها مقاومت مواد را بهبود می‌بخشد اگر چه موجب افزایش وزن آن‌ها می‌شود. به هر صورت آشکارترین محدودیت در استفاده سازه‌ای این مواد شکنندگی آن‌هاست که عاملی تأثیر گذار است [5]. مقاومت فشاری بالاتر، شکنندگی بیشتری را به همراه دارد [1].

آمده است. آب مصرفی جهت ساخت بتن و همچنین عمل آوری نمونه‌ها، آب آشامیدنی بوده که ضوابط 1129 ASTM D را برآورده می‌نماید. همچنین ماسه ی مصرفی با قطر ذرات بین ۰ تا ۴/۷۵ و از نوع رودخانه ای بوده که وزن مخصوص ظاهری در حالت SSD و جذب آب آن به ترتیب ۲/۶۵ و ۱/۶ درصد می باشد.

به منظور کسب روانی مطلوب جهت ساخت بتن خودتراکم از فوق روان کننده GLENIUM 51P استفاده شده است که مشخصات آن در جدول ۲ آمده است. الیاف فولادی مورد استفاده در این تحقیق محصول شرکت مفتول فولادی زنجان می باشد. مشخصات الیاف فولادی در جدول ۳ آمده است. در این مطالعه به منظور ساخت بتن سبک از سبکدانه اسکوریا، تهیه شده از منابع غرب کشور استفاده شده که مشخصات آن در جدول ۴ و ۵ آمده است. اسکوریای مصرفی در این تحقیق با دو دانه بندی ریزدانه و درشت دانه در طرح اختلاط بتن سبک به کار گرفته شدند که دانه بندی دانه های ریز و درشت به ترتیب در محدوده ۹/۵-۲/۳۶ میلی متر و ۱۹-۹/۵ میلی متر قرار می گیرند. نتایج دانه بندی هر کدام از محدوده ها نشان داد که هیچ کدام در محدوده تعیین شده ASTM قرار نمی گیرند ولی ترکیب وزنی مناسب از این دو در محدوده ASTM قرار گرفت.

فولادی بر خواص تازه و سخت شده بتن خودتراکم سبک حاوی سبکدانه‌های رس منبسط شده پرداخته شده است [13].

برنامه آزمایشگاهی:

در بخش آزمایشگاهی این پژوهش ابتدا به ساخت بتن خودتراکمی که محدوده های تعیین شده EFNARC [14] برای پارامترهای بتن تازه را تأمین کند پرداخته شد و سپس با آزمون های مکرر طرح اختلاط با وزن مورد قبول در آیین نامه ACI 213R-87 برای بتن سبک انتخاب گردید. وزن مخصوص اندازه گیری شده برای نمونه های ساخته شده از طرح اختلاط شاهد پس از باز کردن قالب کمتر از 2000 Kg/m^3 اندازه گیری شده است [15].

مصالح مورد استفاده:

سیمان مورد استفاده در این تحقیق از نوع پرتلند نوع ۲ تولید شده در کارخانه سیمان هگمتان بوده که دارای توده‌ی ویژه Kg/m^3 و 3150 و سطح مخصوص $2900 \text{ cm}^2/\text{gr}$ می باشد. همچنین از دوده ی سیلیس تولید شده در کاخانه ی صنایع فرو آلیاژ ایران (ازنا) به عنوان مواد پوزولانی در همه طرح ها استفاده شده است. توده ی ویژه ی دوده ی سیلیس استفاده شده 2120 Kg/m^3 می باشد که مشخصات شیمیایی سیمان و دوده سیلیس در جدول ۱

جدول (۱): آنالیز شیمیایی سیمان و دوده سیلیس

	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃
سیمان	۲۱/۵۴	۶۳/۲۴	۴/۹۵	۳/۸۲	۱/۵۵	۲/۴۳
دوده ی سیلیس	۹۵/۱	۰/۴۹	۱/۳۲	۰/۸۷	۰/۹۷	۰/۱

جدول (۳): مشخصات الیاف

الیاف	فولادی
طول (mm)	50
قطر (μm)	1000
وزن مخصوص (g/cm ³)	7.85
مقاومت کششی (Mpa)	1000
مشخصات ظاهری	قلاب دار

جدول (۲): مشخصات فوق روان کننده

فوق روان کننده	Glenium 51p
نوع	پلی کربوکسیلیک اتر اصلاح شده
مشخصات ظاهری	مایع غلیظ قهوه ای رنگ
وزن مخصوص (g/cm ³)	1.06-1.08 (20°C)
PH	6.6
یون کلر	وجود ندارد

جدول (۴): چگالی اسکوریا (کیلو گرم بر متر مکعب)

اندازه دانه	SSD		Oven	
	وزن مخصوص فضایی	وزن مخصوص فضایی غیر متراکم	وزن مخصوص فضایی	وزن مخصوص فضایی غیر متراکم
۲/۳۶-۹/۵	۱۷۲۲	۸۱۹/۳	۱۶۵۳	۶۵۸/۲
۹/۵-۱۹	۱۵۴۲	۷۶۵/۵	۱۴۶۰	۶۱۵

جدول (۵): جذب آب سبکدانه اسکوریا (درصد)

اندازه دانه	۳۰ دقیقه	۱ ساعت	۲۴ ساعت	۷۲ ساعت
۲/۳۶-۹/۵	۱۲/۵	۱۴/۹	۱۹/۸۳	۲۲/۰۵
۹/۵-۱۹	۱۰/۸۴	۱۲/۷۳	۱۷/۴۲	۱۹/۷۶



شکل (۱): اسکوریا و الیاف مصرفی

طرح‌های اختلاط و آماده سازی نمونه ها:

دیگری از آب به همراه فوق روان کننده به مخلوط اضافه گردید. در نهایت ماسه و پودر سنگ به داخل مخلوط کن ریخته شده و باقیمانده آب در حین اختلاط مصالح اضافه شد. در طرح‌های حاوی الیاف فولادی، این الیاف به آرامی به مخلوط در حال چرخش پاشیده شد تا پراکندگی و یکنواختی مطلوب الیاف در کل بتن به دست آید. عملیات اختلاط به گونه ای انجام گرفت که در پایان حدود ۳۰ دقیقه از مرطوب شدن سبکدانه ها گذشته و آب معادل جذب آب نیم ساعته ی مصالح که قبلا اندازه گیری شده است، جذب مصالح گردد.

آزمون‌های بتن تازه خودتراکم بلافاصله پس از این مرحله برای هر یک از طرح‌های اختلاط انجام گرفت. پس از ساخت بتن مطابق الگوی فوق، عملیات نمونه گیری جهت بررسی خواص مکانیکی انجام شد و پس از پر کردن قالب‌ها، نمونه‌ها در دمای $20 \pm 2^\circ \text{C}$ در محیط آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شده و بعد از گذشت این زمان و باز کردن قالب‌ها نمونه‌ها تا زمان آزمایش تحت عمل آوری مرطوب در دمای آزمایشگاه قرار گرفتند.

در این پروژه نسبت آب به مواد سیمانی در همه‌ی طرح‌ها ثابت و برابر ۰.۳۳ در نظر گرفته شده و به میزان ۱۰ درصد از مواد سیمانی با دوده سیلیس جای‌گزین شده است. پس از دستیابی به بتن خودتراکم شاهد با استفاده از سبکدانه‌های اسکوریا، الیاف فولادی با طول ۵۰ میلی‌متر یکبار به میزان ۲۰ و یک بار به میزان ۴۰ کیلوگرم در متر مکعب بتن به طرح اختلاط شاهد اضافه شد. اختلاط بتن خودتراکم الیافی معمولا به دو گونه متفاوت توسط محققین انجام می‌گیرد. بعضی ابتدا به اختلاط خشک الیاف با مصالح سنگی و سپس افزودن مواد سیمانی و آب پرداخته اند [16,17]، اما بعضی دیگر ابتدا به ساخت بتن خودتراکم بدون الیاف پرداخته و در پایان، الیاف را به مخلوط اضافه می‌کنند [18,19].

در این پژوهش، ترتیب اختلاط مصالح برای ساخت بتن‌ها این گونه بود که ابتدا سبکدانه‌های خشک با قسمتی از آب اختلاط مخلوط شده که جهت پیش‌مرطوبی سبک‌دانه‌ها این مرحله تا ۱۵ دقیقه به طول انجامید. سپس مواد سیمانی که شامل سیمان و دوده سیلیس می‌باشد به مخلوط اضافه شده و بعد از آن مقدار

جدول (۶): اجزای طرح‌های اختلاط (کیلوگرم بر متر مکعب)

کد طرح	سیمان	دوده سیلیس	پودر سنگ	اسکوریا درشت دانه	اسکوریا ریزدانه	ماسه	آب	روان کننده	الیاف
SC0	۴۵۰	۵۰	۲۵۰	۲۹۰	۱۹۰	۶۲۰	۱۶۵	۸/۶۷	۰
SC20	۴۵۰	۵۰	۲۵۰	۲۹۰	۱۹۰	۶۲۰	۱۶۵	۱۰	۲۰
SC40	۴۵۰	۵۰	۲۵۰	۲۹۰	۱۹۰	۶۲۰	۱۶۵	۱۱/۴	۴۰

به روش دو نیم شدن، سرعت امواج اولتراسونیک، طاقت خمشی و جذب آب بر روی نمونه های عمل آوری شده در شرایط مرطوب انجام گرفت.

نمونه های منشوری جهت بررسی مقاومت خمشی بر روی دستگاه سنجش خیز با سرعت 0.05 mm/min و به صورت دو سر ساده و با طول دهانه 30 سانتیمتر بارگذاری شده اند. خلاصه ای از نوع، ابعاد نمونه ها و روش های آزمایش در جدول ۷ آمده است.

جزئیات نمونه ها و آزمایش های انجام شده

خواص بتن تازه

آزمایش های بتن تازه خودتراکم شامل جریان اسلامپ، قیف V، جعبه ی L (H_2/H_1) بر روی طرح های اختلاط بلافاصله پس از پایان مراحل اختلاط انجام گرفت.

خواص بتن سخت شده

جهت بررسی خواص مکانیکی طرح های اختلاط ارائه شده آزمایش های مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، مقاومت کششی

جدول (۷): خلاصه ی آزمایش های بتن سخت شده

نوع آزمون	ابعاد آزمون (cm)	تعداد آزمون	عنوان طرح	سن آزمایش
مقاومت فشاری	$10 \times 10 \times 10$	۳	SC0, SC20, SC40	۷، ۱۴، ۲۸، ۴۲ و ۹۰ روزه
مقاومت خمشی	$10 \times 10 \times 50$	۳	SC0, SC20, SC40	۷، ۱۴، ۲۸، ۴۲ و ۹۰ روزه
مقاومت کششی (برزیلی)	$30 \times \Phi 15$	۲	SC0, SC20, SC40	۷، ۱۴، ۲۸، ۴۲ و ۹۰ روزه
طاقت خمشی	$10 \times 10 \times 50$	۱	SC0, SC20, SC40	۲۸ روزه
UPV(m/s)	$10 \times 10 \times 10$	۳	SC0, SC20, SC40	۷، ۱۴، ۲۸، ۴۲ و ۹۰ روزه
جذب آب	$10 \times 10 \times 10$	۳	SC0, SC20, SC40	۲۸ روزه

طرح ها، ابتدا با ثابت نگه داشتن میزان روان کننده، الیاف به مخلوط اضافه شد و میزان جریان اسلامپ اندازه گیری شد که نتایج حاکی از عدم رعایت محدوده مورد نظر بود. در مرحله بعد با افزایش میزان روان کننده، میزان جریان اسلامپ طرح های الیافی به محدوده مورد نظر رسانده شدند شکل ۲ نحوه تأثیر الیاف را بر روی میزان جریان اسلامپ را نشان می دهد. حالت B نتایج میزان جریان اسلامپ با حفظ محدوده مورد نظر و حالت A میزان جریان اسلامپ با ثابت نگه داشتن فوق روان کننده را نشان می دهد.

شکل ۲ نشان می دهد که حضور الیاف باعث کاهش مقادیر جریان اسلامپ در حالت A گردیده است به طوری که با افزایش الیاف از ۰ به ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم، کاهش اسلامپی در حدود $11/2\%$ و $22/3\%$ اندازه گیری شده است.

در شکل ۲ همچنین روند افزایش میزان فوق روان کننده را جهت ثابت نگه داشتن میزان اسلامپ، در طرح های مختلف نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود با افزایش الیاف از ۰ به ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم، به میزان فوق روان کننده مصرفی در حدود $15/5\%$ و 32% افزوده شد.

نتایج آزمایش ها:

نتایج آزمایش های بتن تازه:

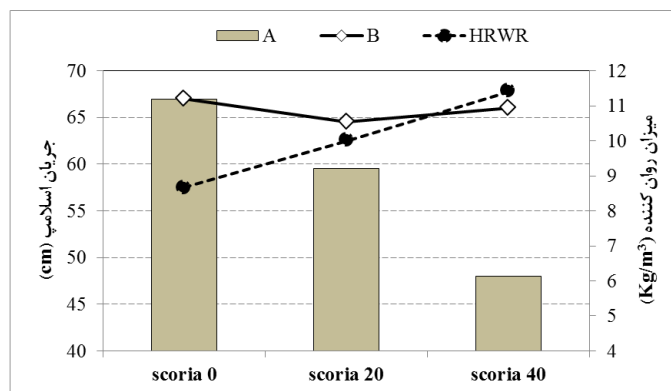
در این قسمت نتایج بدست آمده در آزمایش های بتن تازه ی خودتراکم ارائه شده است.

جدول (۸): نتایج آزمایش های بتن تازه ی خودتراکم

کد طرح	جریان اسلامپ	L-box	V funnel
SC0	۶۷	۰/۹۴	۸/۶
SC20	۵۹/۵	۰/۸۱	۱۴/۳
SC40	۴۸	۰/۷۲	۱۸/۹

آزمایش جریان اسلامپ

آیین نامه EFNARC میزان قابل قبول برای آزمایش جریان اسلامپ را بین ۵۵۰ تا ۸۵۰ میلی متر بیان می کند. در این تحقیق سعی شد میزان جریان اسلامپ بین ۶۵۰ تا ۷۰۰ میلی متر حفظ گردد. همچنین علاوه بر اندازه گیری قطر اسلامپ، مخلوط از نظر آب انداختگی و جداسدگی سبکدانه ها، به صورت چشمی کنترل شد. طرح های مناسب به صورت منظم و بدون هیچ گونه جداسدگی بر روی تخته اسلامپ پخش شدند. برای هر یک از

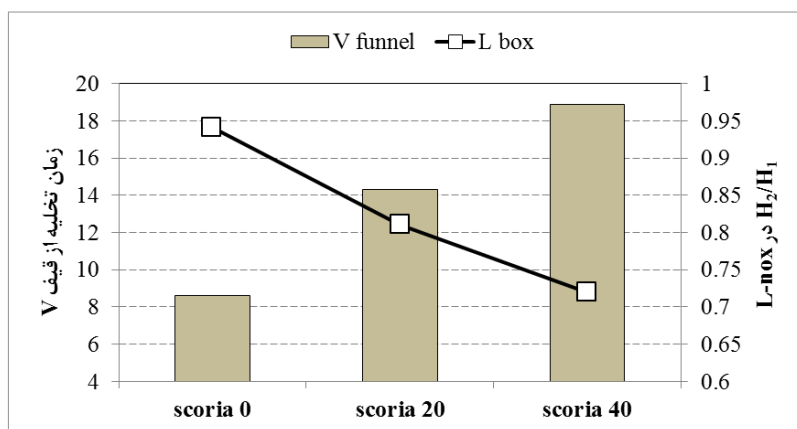


شکل (۲): تغییرات جریان اسلامپ میزان فوق روان کننده

که تمامی طرح ها در کلاس VF2 طبقه بندی می شوند. طرح SC40 با وجود قرار گیری در محدوده قابل قبول EFNARC، در هنگام خروج از دهانه قیف کمی دچار انسداد گردید. همانطور که از نمودار مشاهده می شود حضور الیاف باعث افزایش زمان خروج بتن از قیف گردید به طوری که با افزایش الیاف از ۰ به ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم، افزایش زمان خروج بتن در حدود ۴۰٪ و ۱۲۰٪ بدست آمد.

آزمایش قیف V شکل

این آزمایش به عنوان معیاری جهت تعیین قابلیت پرکنندگی و لزجت خمیری بتن مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین هرگونه انسداد و گرفتگی بتن در زمان خروج از دهانه قیف باید مورد توجه قرار گیرد. طبق EFNARC میزان زمان قابل قبول برای خروج بتن زیر ۸ ثانیه برای کلاس VF1 و بین ۹ تا ۲۵ ثانیه برای کلاس VF2 در نظر گرفته شده است. نتایج بدست آمده نشان می دهند



شکل (۳): نمودار تغییرات زمان خروج بتن و میزان h_2/h_1

شکل ۳ تغییرات میزان h_2/h_1 در حضور دو میلگرد را نشان می دهد. مطابق نتایج، تمامی طرح ها به جز SC40 در کلاس PA1 قرار می گیرند که با توجه به سطح خشن دانه ها و حضور حجم بالای الیاف، قابل انتظار بود. همانطور که از نمودار مشاهده می شود حضور الیاف باعث کاهش میزان h_2/h_1 گردید به طوری که با افزایش الیاف از ۰ به ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم، کاهش میزان h_2/h_1 در حدود ۱۴٪ و ۲۳٪ بدست آمد.

آزمایش جعبه L شکل

این آزمایش به منظور بررسی قابلیت جریان بتن تازه و پدیده انسداد ناشی از حضور میلگردها طراحی شده است. EFNARC دو کلاس را برای طبقه بندی نتایج آزمایش جعبه L ارائه می کند. کلاس PA1 که میزان h_2/h_1 را در هنگام استفاده از دو میلگرد حداقل ۰/۸ بیان می کند و کلاس PA2 که میزان حداقل ۰/۸ را در هنگام استفاده از سه میلگرد قابل قبول می داند.

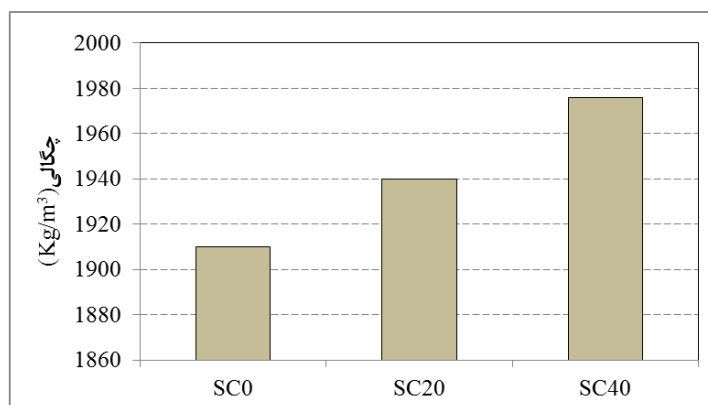
نتیجه می‌دهد که امکان ساخت بتن سبک سازه‌ای با ۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب الیاف امکان‌پذیر است.

مقاومت فشاری

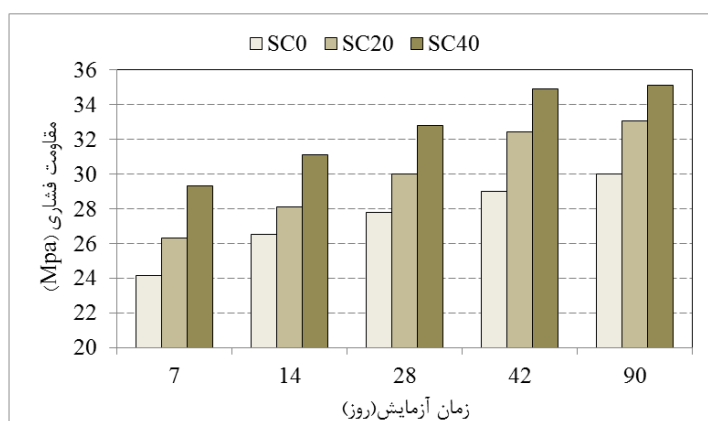
نتایج نشان می‌دهند که در هر سه طرح می‌توان به مقاومت سازه ای حداقل دست یافت.

نتایج آزمایش های بتن سخت شده تا سن ۹۰ روز چگالی

نمودار نشان می‌دهد که حضور الیاف باعث افزایش وزن مخصوص بتن می‌گردد که این به دلیل چگالی ویژه بسیار زیاد الیاف فولادی می‌باشد [19]. ولی تمامی طرح ها در محدوده مجاز وزنی (زیر ۲۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب) قرار دارند. بنابراین



شکل (۴): تغییرات چگالی



شکل (۵): تغییرات مقاومت فشاری تا سن ۹۰ روز

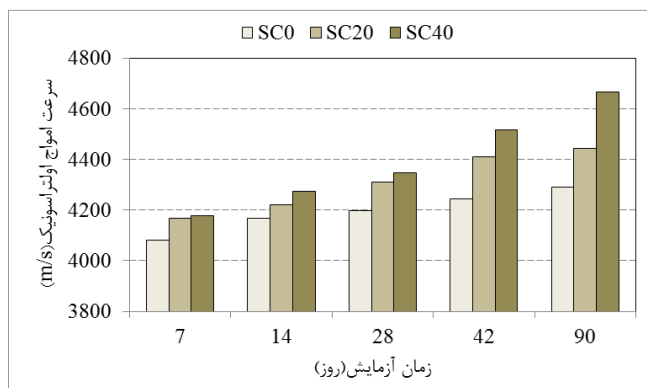
افزایش مقاومت و کرنش تحت بار حداکثر خواهد شد [19]. با توجه به بعد سنگدانه‌ها و طول ۵ سانتیمتری الیاف، امکان این بود که نمونه های ۱۰×۱۰×۱۰ معرف خوبی برای سنجش مقاومت فشاری نباشند به همین جهت نمونه های ۱۵×۱۵×۱۵ نیز ساخته شد. نمونه های ۱۵×۱۵×۱۵ در سنین ۱۴، ۲۸ و ۴۲ روز مورد آزمایش قرار گرفتند که نتایج آن‌ها در شکل ۶ نشان داده شده اند. مقادیر بدست آمده نشان می‌دهند که نتایج نمونه های ۱۵×۱۵×۱۵ مقادیر حاصل از آزمایش نمونه های ۱۰×۱۰×۱۰ را تأیید می‌کند و تأثیر افزایش الیاف مشابه می‌باشد.

با توجه به نمودارها مشاهده می‌شود که الیاف فولادی باعث افزایش مقاومت فشاری نمونه‌ها می‌شود. البته افزایش الیاف تأثیر کمی بر افزایش مقاومت فشاری داشت به طوری که با افزایش الیاف از ۰ به ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم در متر مکعب، افزایشی حدود ۷/۹۱٪ و ۱۸٪ بدست آمد. تأثیر ناچیز افزایش الیاف بر روی مقاومت فشاری در کارهای مطالعاتی دیگران نیز گزارش شده است [2, 19, 20]. افزایش مقاومت فشاری تحت تأثیر الیاف را می‌توان بدین صورت توجیه نمود که وجود الیاف باعث به تأخیر افتادن رشد ریز ترک‌ها در بتن می‌گردد که در نتیجه باعث

سرعت امواج اولتراسونیک

به ۵ دسته عالی، خوب، مشکوک، ضعیف و خیلی ضعیف تقسیم شده است. میزان سرعت امواج اولتراسونیک به ترتیب ۴۵۰۰ متر بر ثانیه و بالاتر، ۳۵۰۰-۴۵۰۰ متر بر ثانیه، ۳۰۰۰-۳۵۰۰ متر بر ثانیه، ۲۰۰۰-۳۰۰۰ متر بر ثانیه و پایین تر برای دسته بندی ذکر شده ارائه شده است. با توجه به این طبقه بندی تمامی طرح ها در محدوده خوب و دو طرح نیز در محدوده عالی قرار می گیرند.

در این تحقیق همانند بررسی روند تغییرات مقاومت فشاری روند تغییرات سرعت امواج اولتراسونیک نیز در طرح های مختلف در سنین ۷، ۱۴، ۲۸، ۴۲ و ۹۰ روز برای نمونه های ۱۰×۱۰×۱۰ مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج سرعت امواج اولتراسونیک در سنین مختلف در شکل ۷ آورده شده است. Whitehurst پیشنهادی را جهت طبقه بندی بتن از نظر کیفیت ارائه داده است [21].



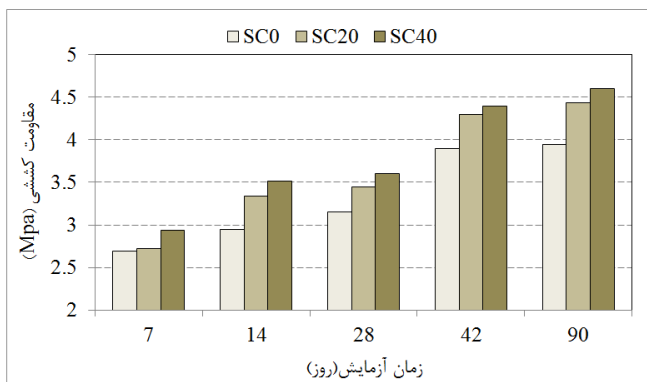
شکل (۷): تغییرات سرعت عبور امواج اولتراسونیک

مقایسه با طرح شاهد در تأیید نتایج حاصل از رشد مقاومت فشاری بتن الیافی نسبت به بتن سبک خودتراکم بدون الیاف است. از آنجایی که الیاف فولادی در واکنش های شیمیایی مصالح سیمانی شرکت نمی کنند [۲۲]، لذا تأثیر گذر زمان بر عملکرد الیاف فولادی صرفاً با افزایش مقاومت ماتریس، که منجر به بهبود پیوستگی با الیاف می گردد، در ارتباط است.

نتایج آزمایش مقاومت کششی به روش دو نیم شدن

آزمایش مقاومت کششی برای تعیین مقاومت کششی بتن به روش دو نیم شدن نمونه های استوانه ای انجام شد. نمونه ها در سنین ۷، ۱۴، ۲۸، ۴۲ و ۹۰ روز مورد آزمایش قرار گرفتند.

نمودار نشان می دهد که سرعت امواج اولتراسونیک با گذشت زمان افزایش پیدا کرده است. این امر را می توان به روند رو به رشد هیدراتاسیون خمیر سیمان و پر شدن حفرات و منافذ مویینه از محصولات واکنش های سیمانی و در نتیجه متراکم شدن بتن در گذر زمان نسبت داد. البته نرخ افزایش سرعت امواج نسبت به مقاومت فشاری نرخ کندتر مشاهده شد. حضور الیاف نیز باعث افزایش ناچیز مقدار سرعت امواج گردید به طوری که با افزایش الیاف از ۰ به ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب افزایشی در حدود ۲/۷۲٪ و ۳/۶۲٪ بدست آمد. تأثیر کم الیاف روی سرعت امواج اولتراسونیک در مطالعه Sahmaran و همکاران نیز گزارش شد [16]. رشد سرعت امواج عبوری برای بتن حاوی الیاف در



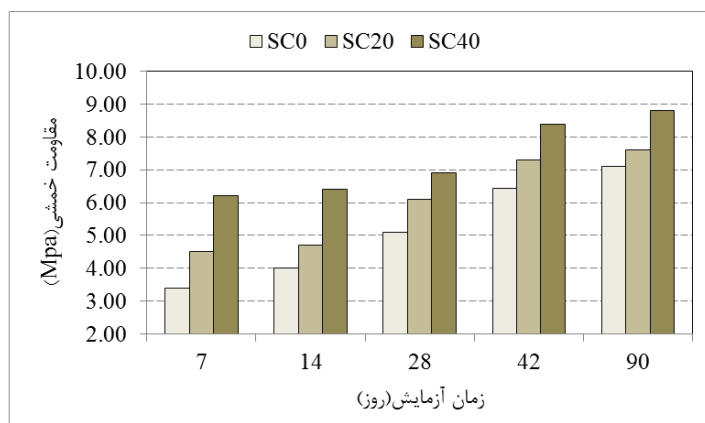
شکل (۸): تغییرات مقاومت کششی

مقاومت کششی در حدود ۲۱٪ برای بتن سبک حاصل شد [23]. آنچه که به هنگام افزایش مقاومت کششی در نتیجه استفاده از الیاف فولادی اتفاق می افتد را می توان بدین صورت تشریح کرد که الیاف به هنگام شکافته شدن در بین بخش های شکافته شده از ماتریس، از طریق انتقال تنش ها از ماتریس به الیاف، کرنش کششی بزرگتری را تحمل می کنند. در نتیجه افزایش در مقاومت کششی مشاهده می شود.

مقاومت خمشی

آزمایش مقاومت خمشی برای تعیین مدول گسیختگی بتن به روش سه نقطه ای روی نمونه های مشوری انجام شد.

نمودار شکل ۸ نشان می دهد که حضور الیاف باعث افزایش مقاومت کششی بتن می گردد به طوری که با افزایش الیاف از ۰ به ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم در متر مکعب افزایشی در حدود ۱۲/۴٪ و ۱۶/۴۶٪ بدست آمد. با افزایش سن به علت افزایش مقاومت ماتریس، پیوستگی بین الیاف و ماتریس بیشتر شده و عملکرد الیاف در بهبود مقاومت کششی افزایش می یابد، اما به علت کاهش روند افزایش مقاومت، این افزایش کندتر می گردد. افزایش مقاومت کششی تحت تأثیر حضور الیاف در کار محققین دیگر نیز دیده شده است. Liu و Chen افزایش ۲۵٪ مقاومت کششی بتن سبک حاوی EPS تحت تأثیر حضور الیاف را گزارش نموده اند [1]. در تحقیق Kayali و همکاران نیز افزایش



شکل (۹): تغییرات مقاومت خمشی

میکروسکوپی که به ماکروسکوپیک جلوگیری کنند. همچنین به هنگام کشش در نمونه با افزایش بار، برخورد الیاف با ترک های به وجود آمده بیشتر می گردد و الیاف با مقاومت کششی خود، گسترش ترک و انفصال بتن را تا رسیدن به حد مقاومت کششی اصلاح می کنند. بدین طریق یک مکانیزم جذب انرژی اضافی ایجاد می کنند و منجر به کاهش تنش ها در ناحیه ریز ترک های نزدیک رأس ترک ها می شوند و با کاهش عمق ترک ها مدول گسیختگی نیز افزایش می یابد.

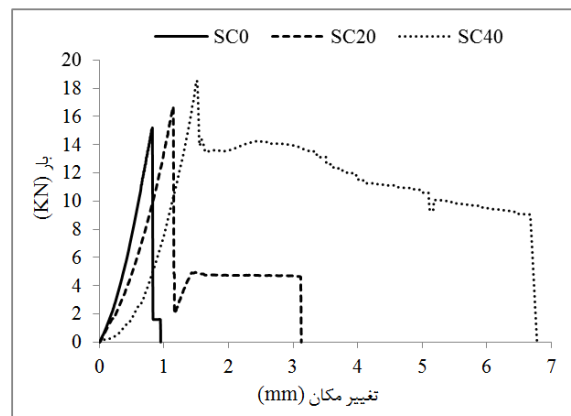
Jianming و همکاران [24]، با افزایش الیاف فولادی تا ۲٪ حجم بتن، میزان افزایش مدول گسیختگی بتن سبک با مقاومت بالا را تا ۹۰٪ بیان می کند که این میزان به درصد استفاده از الیاف و نسبت طول به قطر الیاف بستگی داشته است. البته Duzgun و Gul [19]، افزایش ۱۲۰/۲٪ مقاومت خمشی را برای نمونه های

همانطور که انتظار می رفت حضور الیاف باعث افزایش مقاومت خمشی گردید. البته این تأثیر با گذشت زمان کمتر شد به طوری که در سن ۷ روز با افزایش الیاف از ۰ به ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم در متر مکعب افزایش مقاومتی در حدود ۳۲/۴٪ و ۸۲/۳٪ و در سن ۹۰ روز افزایش مقاومتی در حدود ۷٪ و ۲۳/۹٪ بدست آمد. مکانیزم افزایش مدول گسیختگی در اثر استفاده از الیاف فولادی را می توان بدین صورت تشریح کرد: استفاده از الیاف به معنی اتصال بسیار وسیع و فاصله کم الیاف می باشد، لذا پس از اعمال بار و بروز ترک های بسیار ریز در بافت بتن (ترک های میکروسکوپی)، الیاف قادر خواهند بود از گسترش ترک ها به ترک های ماکروسکوپیک جلوگیری کرده و با انتقال تنش بین لبه های ترک از میزان تنش موجود در نوک ترک ها کاسته و از این طریق، از افزایش عرض ترک ها و تبدیل شدن ترک های

بتن سبک حاوی ۱/۵٪ الیاف فولادی با نسبت طول به قطر ۵۰ را گزارش می‌کند. Semsı و همکاران نیز [25]، با اضافه کردن ۱/۵٪ الیاف فولادی با نسبت طول به قطر ۴۵، افزایش ۸۰ درصدی را ثبت نموده است. همچنین Shafigh و همکاران افزایش ۳۱٪ مقاومت خمشی در سن ۲۸ روز را به ازای اضافه کردن ۱٪ الیاف فولادی به طرح شاهد، گزارش نمودند [2]. Libre و همکاران نیز اثر الیاف فولادی و پلی پروپیلن را بر روی بتن سبک بررسی کردند که افزایش ۱۹۸٪ مقاومت خمشی را در حضور ۱٪ الیاف فولادی و ۵۷٪ را در حضور ۰/۴٪ الیاف پلی پروپیلن گزارش کردند [20].

جدول (۹): نتایج آزمایش طاق خمشی

طاق خمشی (KN mm)	تغییر مکان در بار حداکثر (mm)	بار شکست (KN)	بار حداکثر (KN)	کد طرح
۵/۵۲	۰/۸	۱/۵۹	۱۳/۶	SC0
۱۶/۸	۱/۱۴	۴/۶۱	۱۵/۵	SC20
۷۰/۳	۱/۵۱	۱۹/۰۲	۱۶/۹	SC40



شکل (۱۰): نمودار نیرو-تغییر مکان

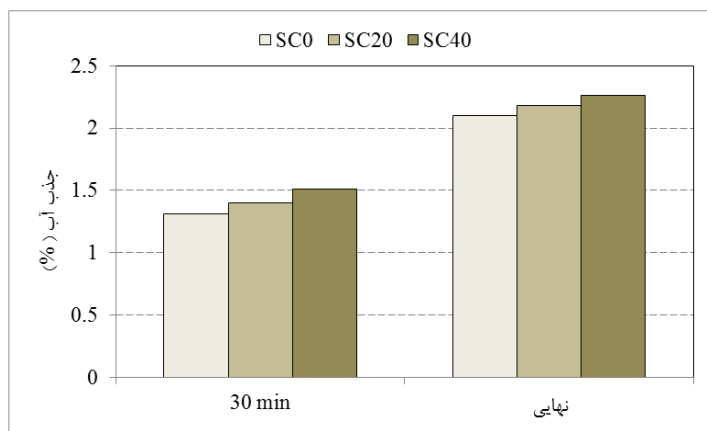
همانطور که نمودار نشان می‌دهند، حضور الیاف باعث افزایش چشم گیر سطح زیر نمودار می‌گردد. به طوری که با افزایش الیاف از ۰ به ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم در متر مکعب، میزان طاق خمشی از ۵/۵۲ به ۱۶/۸ و ۷۰/۳ کیلونیوتن-میلیمتر می‌رسد. وقتی در بتن الیاف وجود داشته باشد، ترک بدون افزایش طول و یا رها شدن الیاف نمی‌تواند گسترش یابد، در نتیجه قبل از اینکه در بتن گسیختگی کامل پیش بیاید، انرژی قابل ملاحظه‌ای برای گسیختگی و یا رها شدن الیاف لازم است. Libre و همکاران گزارش می‌کنند که اضافه کردن ۰/۵٪ و ۱٪ الیاف فولادی به طرح شاهد، میزان انرژی جذب

شده را از ۶۵۹ نیوتن میلیمتر به ۲۸۸۵۱ و ۵۲۲۲۵ نیوتن بر میلیمتر افزایش می‌دهد. همچنین تأثیر الیاف پلی پروپیلن بر روی طاق خمشی کمتر گزارش شده است به طوری که حضور ۰/۲٪ و ۰/۴٪ الیاف پلی پروپیلن باعث افزایش انرژی از ۶۵۹ نیوتن میلیمتر به ۱۴۷۹ و ۴۶۹۲ نیوتن میلیمتر گردید [20].

جذب آب

جذب آب به عنوان حرکت مایعات در منافذ موجود در جرم های جامد به علت کشش سطحی در منافذ موینه تعریف می‌شود. به

طور کلی در بتن با سنگدانه های سبک میزان جذب آب بالا می باشد که در اکثر موارد توسط محققین بالای ۱۰٪ گزارش شده است [26]، ولی با استفاده از دوده سیلیس می توان این مقدار را



شکل (۱۱): تغییرات میزان جذب آب

افزودن الیاف به میزان ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم، کاهش در میزان h_2/h_1 در حدود ۱۴٪ و ۲۳٪ نسبت به طرح شاهد سبب شد.

۳- حضور الیاف باعث افزایش چگالی بتن می گردد. با این وجود تمامی طرح های بتن سبک، دارای وزن مخصوص پایین تر از ۲۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می باشند که این نشان دهنده این است که اضافه کردن ۴۰ کیلوگرم در متر مکعب الیاف فولادی به طرح بتن سبک با رعایت محدوده وزنی مجاز (زیر ۲۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب)، امکان پذیر می باشد.

۴- تمامی طرح ها مقاومت فشاری حداقل (۱۷ مگاپاسکال) را کسب نموده اند. حضور الیاف باعث افزایش ناچیز مقاومت فشاری گردید، به طوری که با افزایش الیاف از ۰ به ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم در متر مکعب، افزایش مقاومت فشاری حدود ۷/۹۱٪ و ۱۸٪ اندازه گیری شد.

۵- سرعت عبوری امواج اولتراسونیک نمونه های ۹۰ روزه برای هر سه طرح در محدوده خوب قرار گرفت. حضور الیاف باعث افزایش ناچیز سرعت عبوری امواج اولتراسونیک می گردد به طوری که با افزایش الیاف از ۰ به ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب افزایشی در حدود ۲/۷۲٪ و ۳/۶۲٪ حاصل شد.

۶- حضور الیاف باعث افزایش مقاومت کششی می گردد به طوری که با افزایش الیاف از ۰ به ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم در متر مکعب افزایشی در حدود ۱۲/۴٪ و ۱۶/۴۶٪ بدست آمد.

حضور الیاف نیز باعث افزایش مقدار جذب آب گردید زیرا حضور الیاف تا حدودی بر خودتراکی بتن تأثیر گذاشته و باعث افزایش تخلخل می گردد با وجود این، بر اساس رده بندی تعیین شده توسط CEB تمامی نمونه ها در محدوده خوب طبقه بندی می شوند.

مقادیر مناسب جذب آب طرح های اختلاط را می توان به استفاده از دوده سیلیس نسبت داد. دوده سیلیس با محصولات هیدراتاسیون سیمان واکنش داده و منافذ ساختار بتن را پر نموده و بتنی با تراکم بیشتر تشکیل می دهد [۲۸].

نتیجه گیری

۱- با ثابت نگه داشتن میزان فوق روان کننده، افزایش الیاف باعث کاهش شدید میزان جریان اسلامپ گردید به طوری که این عدد در طرح های حاوی ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم الیاف در حدود ۱۱/۲٪ و ۲۸/۴٪ کاهش یافته و از محدوده ۶۵ تا ۷۰ سانتی متر خارج شدند که به منظور حفظ جریان اسلامپ در محدوده مورد نظر میزان فوق روان کننده در طرح های حاوی ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم الیاف ۱۵/۵٪ و ۳۲٪ نسبت به طرح شاهد افزایش یافت.

۲- حضور الیاف باعث افزایش زمان خروج بتن از قیف گردید به طوری که با افزایش الیاف از ۰ به ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم، افزایش زمان خروج بتن در حدود ۴۰٪ و ۱۲۰٪ افزایش یافت. به صورت مشابه

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

10. ACI 544.1R-96," State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete",2002.

11. ACI 544.4R-88,"Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete",1999.

12. El-Dieb A.S., Reda Taha M.M.,"Flow characteristics and acceptance criteria of fiber-reinforced self-compacted concrete (FR-SCC)", Construction and Building Materials 27 (2012) 585–596.

13. El-Dieb A.S.," Mechanical, durability and microstructural characteristics of ultra-high-strength self-compacting concrete incorporating Steel fiber",Materials and Design 30 (2009) PP 4286–4292.

14. The European guidelines for self-compacting concrete; specification production and use. EFNARC, May 2005.

15. ACI 213R-87," Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete",1999.

16. Sahmaran Mustafa, Yurtseven Alperen, Yaman Ozgur," Workability of hybrid fiber reinforced self-compacting concrete ", Building and Environment 40 (2005) PP 1672–1677 .

17. Cu`neyt Aydin Abdulkadir,"Self compactability of high volume hybrid fiber reinforced concrete", Construction and Building Materials 21 (2007) PP 1149–1154.

18. Gru`newald Steffen, C. Walraven Joost, "Parameter-study on the influence of Steel fibers and coarse aggregate content on the fresh properties of self-compacting concrete" Cement and Concrete Research 31 (2001) PP 1793–1798.

19. AkNn Duzgun Oguz, Gul Rustem, Cuneyt Aydin Abdulkadir, "Effect of steel fibers on the mechanical properties of natural lightweight aggregate concrete ", Materials Letters 59, pp. 3357 – 3363, 2005.

20. Ali Libre Nicolas, Shekarchi Mohammad, Mahoutian Mehrdad, Soroushian Parviz," Mechanical properties of hybrid fiber reinforced lightweight aggregate concrete made with natural pumice ", Construction and Building Materials 25, pp. 2458–2464, 2011.

21. Whitehurst EA., " Soniscope tests concrete structures ", J Am Concr Inst;47:443–4, 1951.

۲۲. جهانی لطف آبادی فاطمه، بررسی رفتار مهندسی بتن های خودتراکم تقویت شده با الیاف نایلون، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان، دانشکده فنی، شهریور ۱۳۸۹.

23. Kayali O., Haque M.N., Zhu B., " Drying shrinkage of fibre-reinforced lightweight aggregate

۷- نمونه های حاوی الیاف، نتایج بسیار بهتری را برای مقاومت

خمش نشان می دهند، به طوری که با افزایش الیاف از ۰ به ۲۰ و

۴۰ کیلوگرم در متر مکعب افزایش مقاومتی در حدود ۳۲/۴٪ و

۸۲/۳٪ اندازه گیری شد. همچنین حضور الیاف باعث افزایش قابل

ملاحظه سطح زیر نمودار بار- تغییر شکل (طاق خمشی) گردید.

۸- جذب آب تمامی نمونه ها با توجه به رده بندی CEB، در

محدوده خوب طبقه بندی می شوند.

۴- مراجع

1. Chena B., Liu J., "Contribution of hybrid fibers on the properties of the high-strength lightweight concrete having good workability", Cement and Concrete Research 35, (2005) 913–917.

2. Shafigh P., Mahmud Hilmi, Mohd Zamin Jumaat, " Effect of steel fiber on the mechanical properties of oil palm shell lightweight concrete ", Materials and Design 32, (2011) 3926–3932.

3. Khayat K.H., Hu c. and Monty H.,"Stability of self-consolidating concrete, advantages, and potential applications' '1st International RILEM Symposium on self-Compacting concrete, 13-14 september, stockholm,Sweden.

4. Khayat K.H., Ghezal A. and Hadriche M.S.,"Utility of statistical models in proportioning self-consolidating concrete''1st International RILEM Symposium on self-Compacting concrete, 13-14 september, stockholm,Sweden.

5. Campione G., La Mendola L., "Behavior in compression of lightweight fiber reinforce concrete confined with transverse steel reinforcement" Cement & Concrete Composites 26, (2004) 645–656.

6. Sukontasukkul Piti," Toughness Evaluation of Steel and Polypropylene Fibre Reinforced Concrete Beams under Bending", Thammasat Int. J. Sc. Tech.,V ol. 9, No. 3, July-September 2004.

7. Ahmadyar M., "Ductility in Lightweight Concrete with Fiber", Master Thesis Spring 2011,Universitetet I Stavanger.

8.G.L.vondran, M.nagabhusanam, V.Ramakrishnan," Fatigue Strength of Polypropylene Fiber Reinforced Concretes," pp 533-543 in Fiber Reinforced Cements and Concretes, Recent Developments., Edited by Swamy, R.N., Barr, B., September1989.

9. Mazaheripour H., Ghanbarpour S., Mirmoradi S.H., Hosseinpour I.," The effect of polypropylene fibers on the properties of fresh and hardened lightweight self-compacting concrete",

concrete containing fly ash ", Cement and Concrete Research 29, pp. 1835–1840, 1999.

24. Jianming. G., Wei. S., and Keiji. M., " Mechanical properties of fiber reinforced, high strength lightweight concrete ", Elsevier Journal Cement & Concrete Composites, Japan, pp. 307-313, 1997.

25. Semi, Y., Gozde, I., and volkan, T., " Effect of aspect ratio and volum fraction of steel fiber on the mechanical properties of SFRC ", Elsevier Journal for materials and design, pp. 3357-3363, 2005.

26. Joao. A. Rossignolo, Marcos. V. Agnesini, "Durabiliti of Polymer-modified lightweight aggregate concrete", Cement & Concrete Composites 26, pp. 375-380, 2004.

27. CEB-FIP, " Diagnosis and assessment of concrete structures – state of the art report ", CEB Bull 192; 1989: 83–5.

۲۸. موسوی، سید یاسین ، " بررسی دوام و پتانسیل خوردگی بتن سبک "، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان، دانشکده فنی،

شهریور ۱۳۸۸.

Investigation of effect of steel fibers on fresh and hardened properties of self-compacting lightweight concrete with Scoria

Malek Muhammad Ranjbar

Assistant professor, department of civil engineering, university of guilan
S.Hosein Ghasemzadeh Mosavinejad

Assistant professor, department of civil engineering, university of guilan
Shahin Chatkhtab

Instructor, department of civil engineering, Deylaman Institute of Higher Education
M.Ebrahim Zakeri

Msc, civil engineering, Deylaman Institute of Higher Education

Mohammad Arayeshgar*

Msc, civil engineering, university of guilan

Soroush Easapour

Bs, civil engineering, university of guilan

Abstract

This paper evaluates the impacts of the addition of steel fibers with two different percentage by weight, on flow ability parameters and hardened properties of self-compacted lightweight concrete containing lightweight aggregate of Scoria. For this purpose, was used from the steel fibers with a length of 50mm the amount 20&40 kg/m³. With a good mix design, fresh and hardened properties of each plans was evaluated. Fresh properties such as slump flow, V-funnel, and L-box and physical properties such as, density measurements, compressive strength, splitting tensile strength, flexural strength, ultrasonic pulse velocity (UPV), flexural toughness, and dry unit weight were determined in hardened conditions. The samples were stored in water until the age 7, 14, 28, 42 and 90 days.

From the result, it is clear that fibers decrease flow ability of fresh concrete, however mixes were in the acceptable range of EFNARC. The results of hardened concrete indicate, all mixes are in the range of structural lightweight concrete too. Moreover, the addition of fibers significantly increases tensile strength, flexural strength and flexural toughness.

Keywords: self-compacting concrete, hardened properties, fresh properties, steel Fiber, Scoria.

* Corresponding Author: mohammad_ar2011@yahoo.com