تاثیر الیاف فولادی با هندسه‌ی متفاوت بر خواص مکانیکی بتن سبک سازه‌ای حاوی سبک‌دانه‌ی اسکوریا

هوشنگ دباغ[1*]، هومن محمددوست[2]

۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
۲- دانشجوی دکتری مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

چکیده

بتن سخت شده به دلیل ترد بودن، دارای مقاومت کششی کم و قابلیت تحمل کرنش نهایی پایینی می‌باشد. مقاومت کم سبکدانه‌ها و شکنندگی این مصالح باعث می‌شود، بتن سبک حاوی این مصالح تردتر و شکننده‌تر باشند و تحت اثر بارگذاری شکست ناگهانی در آنها رخ دهد. به منظور افزایش شکل‌پذیری و جلوگیری از گسترش ریز ترک‌ها و همچنین ایجاد پیوستگی مناسب در بتن و افزایش ظرفیت جذب انرژی، همچنین بالا نبردن چندان وزن سازه در برابر بارهای ضربه‌ای، می‌توان از الیاف فولادی استفاده کرد. دراین تحقیق به بررسی خصوصیات مکانیکی بتن سبک‌سازه‌ای و تاثیر الیاف فولادی بر این خصوصیات در سنین ۷ و ۲۸ روزه پرداخته شده است. الیاف فولادی استفاده شده در شکل‌های موجدار با نسبت طول به قطر ۵/ ۳۷و صاف با انتهای قلابدار به نسبت طول به قطر۵۰ و درصد حجم ثابت ۱٪ در ترکیب‌های مختلف می‌باشد. برای بدست آوردن خصوصیات مکانیکی از آزمایش‌های مقاومت فشاری و مقاومت کششی (برزیلی و مستقیم) مدول الاستیسیته و ضریب پواسون استفاده شده است. نتایج حاصل از آزمایش‌ها، بیانگر افزایش مقاومت خمشی و به خصوص مقاومت کششی بتن می‌باشند و تأثیر چندانی بر مقاومت فشاری نشان نمی‌دهد.

کلمات کلیدی: الیاف فولادی، بتن سبک، خصوصیات مکانیکی، سنگدانه‌ی اسکوریا، هندسه‌ی الیاف.

[*]نویسنده مسئول: هوشنگ دباغ
پست الکترونیکی: h.dabbagh@uok.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۱۹، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۲۴

DOI: 10.22065/jsce.2017.86897.1205

شناسه دیجیتال
http://dx.doi.org/10.22065/jsce.2017.86897.1205

۱- مقدمه

سبک‌سازی در سازه‌ها با دلایلی همچون کاهش اتلاف انرژی در ساختمان‌ها، بهبود عملکرد لرزه‌ای و نظایر آن بسیار مورد توجه بوده است. از جمله راهکارهای مناسب جهت داشتن عملکردی مناسب و اقتصادی، استفاده از بتن سبک می‌باشد؛ لذا برای داشتن بتن سبک سازه‌ای مناسب، تأمین سنگ‌دانه‌های مرغوب و با کیفیت الزامی است. پوکه‌ی معدنی اسکوریای قروه در کردستان با داشتن چندین معدن مختلف اسکوریا از جمله منابع مناسب برای تهیه‌ی این نوع بتن به شمار می‌رود؛ و با توجه به منابع طبیعی عظیمی که دارا می‌باشد، می‌تواند نیازبه سنگدانه‌های سبک را تا چندین دهه‌ی آینده تأمین کند. اسکوریا از جمله قدیمی‌ترین سبک‌دانه‌هایی می‌باشد که مورد استفاده قرار گرفته است [۱]. این سبکدانه در اثر ورود مواد مذاب آتش‌فشانی به محیط‌های آبی مانند دریاها و دریاچه‌ها و سرد شدن مواد مذاب، حباب‌های نسبتاً درشتی در آن ایجاد می‌شود که گاهی اوقات به هم پیوسته‌اند و تا سطح سنگدانه امتداد یافته‌اند. سنگدانه‌ها نقش مؤثری را در ساختار بتن و خصوصیات مکانیکی آن ایفا می‌کنند. بتن حاوی سنگدانه‌های سبک به دلیل ترد و شکننده‌تر بودن و همچنین مقاومت کمتر سنگدانه-های آن نسبت به بتن معمولی ناگهان شکسته می‌شوند و ضعف این نوع بتن‌ها زمانی بیشتر آشکار می‌شود که تحت اثر بارگذاری‌های لرزه‌ای و دوره‌ای قرار گیرند؛ چرا که در این نوع بارگذاری‌ها مقاطع دچار خستگی شده و مقاومت آنها رفته رفته کم می‌شود [۲]. ایده‌ی اضافه کردن الیاف به مخلوط‌های ترد و شکننده که در مقابل کشش توان ناچیز دارند، از زمان‌های قدیم وجود داشته است. علی‌رغم اینکه تکنولوژی بتن الیافی در ایران کمتر شناخته شده‌است، امروزه در دنیا انواع بسیار متنوعی از الیاف برای کاربردهای گوناگون در بتن وجود دارد که یکی از پرکاربردترین آنها، الیاف فولادی می‌باشد [۳].

اولین تلاش اصلی برای مسلح کردن بتن به وسیله‌ی جاگذاری الیاف‌های فولادی در اوایل دهه‌ی ۱۹۶۰ در کشور آمریکا صورت گرفت. بعد از آن تحقیقات و کاربردهای صنعتی بسیار زیادی درباره‌ی بتن مسلح با الیاف فولادی انجام گرفته است [۳ و ۴].

الیاف فولادی دارای مدول الاستیسیته و کرنش شکست بالایی بوده، که با توجه به قابلیت شکل‌پذیری مناسب و مقاومت کششی بالا از مناسب‌ترین و اقتصادی‌ترین نوع الیاف به حساب می‌آید [۳]. الیاف فولادی دارای اشکال متفاوتی است از جمله (مستقیم، صاف با انتهای قلابدار- موجدار و ...) که جهت بهبود رفتار بتن قابل ساخت هستند. مزیت‌های بیان شده سبب کاربرد بیشتر این نوع الیاف نسبت به سایر الیاف در بتن می‌باشد.

در این تحقیق به بررسی اثر الیاف فولادی با تفاوت در شکل، نسبت طول به قطر و زمان (۷ روزه، ۲۸ روزه) در خصوصیات مکانیکی بتن سبک ساخته شده با سنگ‌دانه‌ی سبک اسکوریای قروه پرداخته شده است تا بتوان زمینه‌ی استفاده از این منابع طبیعی در ساخت و توسعه‌ی بتن سبک سازه‌ای و استفاده از آن در اجزاء سازه را بهبود بخشید.

۲- تاریخچه‌ای از کارهای انجام شده

با بررسی کارهای گذشتگان این نتیجه حاصل شده‌است که ایده‌ی استفاده از الیاف از روزگاران باستان وجود داشته‌است. مصریان قدیم از کاه برای مسطح کردن آجرهای گلی استفاده نموده‌اند [۵]. در سال ۱۹۱۰ یک سری آزمایشات برای مقاومت بتن به وسیله‌ی الیاف‌های کوتاه توسط پورتر انجام گرفت. او با اضافه کردن گل میخ به بتن افزایش مقاومت کششی و خردشدگی بتن را به دست آورد [۶]. در سال ۱۹۳۹ زیتکویچ یک روش برای بهبود رفتار بتن مسلح بافت او از الیاف‌های سیم آهنی تقریباً به طول ۱۰۰میلیمترو قطر۱مترکه به الیاف فولادی مورد استفاده در بتن امروزی بسیار شبیه بود استفاده کرد و نتیجه گرفت که مقاومت‌های فشاری کششی و برشی افزایش یافتند [۶]. از اوایل دهه ۱۹۶۰ تحقیقات متعددی در زمینه‌ی بتن مسلح به الیاف فولادی صورت گرفته است. نتایج حاکی از این بوده است که هر چه الیاف فولادی بکار رفته در بتن افزایش یابد، مقاومت کششی در ۷ روز اول بسیار سریع افزایش می‌یابد [۷]. در تحقیقی نمونه‌های بتنی سبک دارای درصد حجمی مختلف الیاف فولادی ۰٪، ۰/۵٪، ۱٪ ، ۱/۵٪و۲٪ برای بررسی اثر الیاف بر خواص مکانیکی بتن سبک مورد آزمایش قرار گرفتند. آزمایشات نشان دادند که تا حد زیادی افزودن الیاف فولادی به بتن می‌تواند خواص مکانیکی بتن شامل مقاومت خمشی- مقاومت کششی و مقاومت در برابر ضربه را بهبود بخشد. اما اثر کمی روی مقاومت فشاری ایجاد می‌کند. همچنین نسبت حجمی (۱/۵ ٪- ۱٪) پیشنهاد شده‌است [۸]. هادی آزمایشی را جهت مقایسه‌ی رفتار دال بتن مسلح با استفاده از الیاف فولادی و پروپیلن انجام داد نتایج آزمایش نشان داد

که افزایش ۱٪حجمی الیاف فولادی بهترین اثر را در شکل‌پذیری دال‌ها دارد [۹]. در سال ۱۳۹۵ دباغ و اکبرپور به بررسی خصوصیات هندسی الیاف فولادی بر خواص مکانیکی بتن سبک سازه‌ای با نسبت ۱٪ حجمی برای ۲ شکل الیاف فولادی صاف با انتهای قلابدار با نسبت طول به قطر ($\frac{L}{d}=50$) و موجدار با انتهای ساده ($\frac{L}{d}=30$) با عمل‌آوری ۲۸ روزه پرداختند. نتایج آنها حاکی از این بود که ترکیب الیاف فولادی مورد استفاده بر مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته چندان تأثیر نداشته است و دیگر خواص بتن را بهبود بخشیده است [۱۰].

در این تحقیق به بررسی اثر الیاف فولادی بکاررفته با طول‌های متفاوت در بتن سبک‌سازه‌ای پرداخته شده‌است و خصوصیات مکانیکی از جمله مقاومت فشاری، مقاومت کششی برزیلی، مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، مقاومت کششی مستقیم و ضریب پواسون تعیین شده و آزمایش‌ها بر روی نمونه‌های ۷ روزه و ۲۸ روزه انجام گرفته‌است.

۳- برنامه‌ی آزمایشگاهی

در تحقیق پیش‌رو برنامه‌ی آزمایش‌ها شامل تعیین مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، مقاومت کششی برزیلی، مقاومت کششی مستقیم، ضریب پواسون و مدول الاستیسته بر روی نمونه‌های عمل‌آوری شده‌ی ۷ روزه و ۲۸ روزه بر روی بتن سبک‌سازه‌ای و بررسی اثر الیاف‌ها بر آن می‌باشد.

۳-۱- پارامترهای آزمایش

عبارتند از ۱٪ حجم ثابت و تفاوت در نوع و طول الیاف مورد استفاده

۳-۲- مشخصات مصالح مورد مصرفی

دراین تحقیق برای ساخت بتن سبک سازه‌ای مورد نظر از سبک‌دانه اسکریا استفاده شده است (شکل۱). حدود دانه‌بندی را بر اساس استاندارد (ASTM C330) [۱۱] بدست آورده و مشخصات آن تعیین شده است (جدول ۱)؛ همچنین برای تعیین وزن مخصوص و جذب آب سنگدانه‌ها از استاندارد (ASTM C127) [۱۲] استفاده شده است (جدول ۲).

در تحقیق انجام گرفته از سیمان پرتلند تیپ یک سامان کرمانشاه استفاده شده است. برای رسیدن به کارایی مورد نظر در بتن مورد آزمایش و همچنین کاهش نسبت آب به سیمان و استفاده از الیاف فولادی، از فوق روان‌کننده‌ی مصرفی از نوع کاهنده‌ی قوی آب فاقد یون کلر با نام تجاری Power Plast- Es استفاده شده‌است. الیاف فولادی مورد استفاده در تحقیق در دو شکل صاف با انتهای قلابدار با نسبت طول به قطر ۵۰ و موجدار با نسبت طول به قطر ۳۷/۵ می‌باشند (جدول ۳). مشخصات آنها را نشان می‌دهد و فرم هندسی الیاف مورد استفاده را در (شکل۲) مشاهده می‌کنید.

شکل۱ : پوکه‌ی معدنی اسکریا.

شکل۲ : الیاف فولادی مصرفی.

جدول۱ : مقایسه‌ی دانه‌بندی استاندارد (ASTM C330) با دانه‌بندی مصالح مصرفی

اندازه‌ی سنگدانه‌ها (mm)	۱۲,۵	۹,۵	۴,۷۵	۲,۳۶	۱,۱۸	۰,۳	۰,۱۵
درصد عبوری سبک‌دانه درشت (ASTM C330)	۹۰-۱۰۰	۴۰-۸۰	۰-۲۰	۰-۱۰	-	-	-
درصد عبوری درشت‌دانه مصرفی	۹۵	۶۰	۱۰	۵	-	-	-
درصد عبوری سبک‌دانه ریز (ASTM C330)	-	-	-	۹۵-۱۰۰	۴۰-۸۰	۱۰ -۳۵	۵ -۲۵
درصد عبوری ریزدانه مصرفی	-	-	-	۹۵	۶۰	۲۵	۱۵

جدول۲ : مشخصات سبکدانه اسکریا قروه بر طبق ASTM C127

مصالح	متراکم	غیرمتراکم	درصد جذب آب ۲۴ ساعت
سبکدانه درشت	۶۸۰	۶۳۴	٪ ۱۲
سبکدانه ریز	۷۷۲	۷۴۷	٪ ۱۶

جدول۳ : مشخصات الیاف فولادی مصرفی

الیاف	نام الیاف	شکل الیاف	سطح مقطع	طول (mm)	قطر (mm)	نسبت طول به قطر	مقاومت کششی الیاف (Mpa)	کارخانه سازنده
فولادی	SF_1	صاف با انتهای قلابدار	دایره	۴۰	۰/۸	۵۰	۱۲۰۰	BASF Iran
	SF_2	موجدار با انتهای مستقیم	دایره	۳۰	۰/۸	۳۷/۵	۱۱۸۰	Ganzhon Daye

۳-۳- طراح اختلاط

با بررسی تحقیقات و پیشینه‌ی آنها و همچنین مطالعه و بررسی آیین‌نامه‌های مختلف مشخص شده است بتن سبک‌سازه‌ای باید دارای وزن مخصوص و مقاومت مناسب باشد، تا بتوان آن را مورد استفاده در سازه‌ها و اعضای سازه‌ای مورد استفاده قرارداد. برای بتن سبک‌سازه‌ای در مقرّرات ملّی مبحث نهم، وزن مخصوصی بین (۱۹۰۰- ۱۴۰۰) کیلوگرم برمترمکعب در نظر گرفته‌شده و حداقل مقاومت فشاری را ۱۷ مگاپاسکال در نظر گرفته‌است [۱۳].

برای ساخت طرح اختلاط مورد نظر در این تحقیق (جدول ۴)، براساس دستورالعمل (ACI 211.2-98, 1998) [۱۴] عمل شده است. در این تحقیق، ۳ حالت مختلف شامل (نمونه بدون الیاف فولادی- نمونه با یک نوع الیاف فولادی- نمونه با ترکیبی از دو نوع الیاف فولادی) در ۶ طرح مورد بررسی قرارگرفت. همچنین میزان الیاف مصرفی در طرح‌ها میزان ثابت ۱٪ حجمی در نظر گرفته شده است. طرح بدون الیاف را به عنوان طرح مرجع در نظر می‌گیریم و آن را با R و نمونه‌های حاوی الیاف صاف با انتهای قلابدار را با SF_1 و نمونه‌های حاوی الیاف موجدار با SF_2نشان می‌دهیم (جدول ۵).

جدول۴ : طرح اختلاط بتن مورد آزمایش بر حسب ($\frac{kg}{m^3}$)

نام طرح	سیمان	درشت‌دانه	ریزدانه	نسبت آب به سیمان	فوق روان‌کننده	درصد حجمی الیاف فولادی	وزن مخصوص
R	۴۶۰	۵۵۲	۵۸۸	۰/۳۷	۲/۱	-	۱۷۱۰
SF	۴۶۰	۵۵۲	۵۸۸	۰/۳۷	۲/۶۵	٪ ۱	۱۷۸۵

جدول۵ : نامگذاری و ترکیب الیاف مورد استفاده

شماره طرح	نام طرح		سری طرح	درصد سهم الیاف صاف با انتهای قلابدار (SF_1)	درصد سهم الیاف موجدار (SF_2)
۱	R		A	–	–
۲	$100\%SF_1 + 0\%SF_2$		B_1	۱۰۰	–
۳	$0\%SF_1 + 100\%SF_2$		B_2	–	۱۰۰
۴	$50\%SF_1 + 50\%SF_2$	SF	C_1	۵۰	۵۰
۵	$70\%SF_1 + 30\%SF_2$		C_2	۷۰	۳۰
۶	$30\%SF_1 + 70\%SF_2$		C_3	۳۰	۷۰

در این طرح اختلاط سنگدانه‌های مصرفی کاملاً خشک شده‌اند به این صورت که درشت‌دانه‌ها به مدت ۱۶ ساعت و ریزدانه‌ها به مدّت ۲۴ ساعت در اُون قرار گرفته‌اند چرا که پوکه‌ی معدنی خاصیت جذب آب بالایی دارد و ممکن است سطح آن خشک به نظر برسد ولی درون منافذ آن آب وجود داشته‌باشد که طرح اختلاط و نسبت آب به سیمان را دستخوش تغییرات چشمگیری نماید. همچنین می‌توان برای انجام طرح اختلاط از روش SSD نیز استفاده کرد، که در این روش سنگدانه‌های مصرفی به صورت اشباع با سطح خشک به کار می‌روند. در این روش نسبت آب سیمان باید کمتر در نظر گرفته شود. اسلامپ اندازه‌گیری شده در کلیه‌ی طرح‌ها بین۶ الی ۹ سانتی‌متر بوده‌است.

تعداد نمونه‌های ساخته شده به شرح جدول شماره‌ی ۶ می‌باشد. نحوه‌ی ساخت نمونه‌ها به این صورت بوده است که هنگام درست کردن ملات بتن در میکسر (برای نمونه‌های دارای الیاف) باید الیاف فولادی را به صورت پخش و در چند مرحله و با مقدارهای کم به بتن اضافه کرد تا با چرخش میکسر الیاف فولادی در نواحی مختلف ملات بتن پخش شده و جا بگیرند، چرا که اگر به صورت یکباره الیاف فولادی را بتن اضافه کنیم امکان گلوله شدن الیاف و تجمع آنها در بخشی از بتن ایجاد می‌گردد که این یک ضعف در بتن ایجاد می‌کند. حال پس از درست‌کردن و آماده شدن ملات بتن قالب‌های مربوط به هر آزمایش را آورده و ملات را در آنها ریخته و با میز لرزان آنها را متراکم کرده تا هوای داخل نمونه‌ها خارج شود، سپس سطح نمونه‌ها را صاف کرده و یک پارچه‌ی کنفی خیس، به مدّت ۲۴ ساعت بر روی سطح آنها قرار خواهد گرفت. پس از ۲۴ ساعت نمونه‌ها را از قالب‌ها خارج کرده و در حوضچه‌های عمل‌آوری با آب، به دمای تقریبی ۲۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به سنین ۷ و ۲۸ روزه نگهداری می‌کنند. آزمایش بر روی نمونه‌های عمل‌آوری شده طبق استانداردهای (ASTM) مربوطه انجام گرفته است. برای تعیین مقاومت‌های فشاری (f_c) و مدول الاستیسیته (E_c) طبق استانداردهای (ASTM C239, 2003) [۱۵] و (ASTM C469, 2002) [۱۶] طبق شکل (۴- الف) بر روی نمونه‌های استوانه‌ای (۳۰۰mm ×۱۵۰mm) و با استفاده از دستگاه بارگذاری به فرم نیرو- کنترل و با سرعت بارگذاری ثابت ۴/۴ کیلونیوتن برثانیه انجام گرفته است. برای آزمایش کشش برزیلی (f_{ct}) طبق استاندارد (ASTM C496, 2004) [۱۷] از نمونه‌های (۳۰۰mm ×۱۵۰mm) و با سرعت بارگذاری ۷۰ کیلونیوتن بردقیقه استفاده شده‌است (شکل ۴- ب).

برای تعیین مقاومت خمشی (f_r) طبق استاندارد (ASTM C293,2002) [۱۸] بر روی نمونه‌های (۱۰۰mm ×۱۰۰mm ×۴۰۰mm) آزمایش صورت گرفته است (شکل ۴- پ)؛ برای آزمایش کشش مستقیم از نمونه‌های (۱۰۰mm×۱۰۰mm×۳۶۰mm) استفاده شده و سرعت بارگذاری ۴/۲ کیلونیوتن برثانیه در نظر گرفته شده است (شکل ۴- ج)؛ همچنین (شکل ۴- د) نیز دستگاه تعیین ضریب پواسون و مدول الاستیسیته را نشان می‌دهد.

ب : مقاومت کششی برزیلی

الف : مقاومت فشاری

د : ضریب پواسون و مدول الاستیسیته

ج : کشش مستقیم

پ : مقاومت خمشی

شکل۴ : آزمایش‌های مورد استفاده در تعیین خصوصیات مکانیکی.

برای هر آزمایش از هر طرحی ۳ نمونه ساخته شده‌است و سپس میانگین داده‌های حاصل از هر آزمایش برای سه نمونه در اینجا ارائه شده‌است.

۴- نتایج آزمایش و تحلیل آنها

خلاصه‌ی نتایج آزمایش‌ها برای نمونه‌های ساخته شده در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول۶ : نتایج آزمایشات خصوصیات مکانیکی

شماره طرح	سری	مقاومت فشاری f_c (Mpa)		مقاومت کششی برزیلی f_{ct} (Mpa)		مقاومت کششی مستقیم f_t (Mpa)		مقاومت خمشی f_r (Mpa)		مدول الاستیسیته (Gpa)		ضریب پواسون	
		۷ روزه	۲۸ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه
۱	A	۲۲/۷۸	۲۹/۲	۲/۲۹	۲/۷۳	۲/۲۱	۲/۵۷	۲/۱۹	۳/۲۳	۱۱/۹۸	۱۲/۰۸	۰/۱۵	۰/۱۶
۲	B_1	۲۶/۸	۳۱/۳۳	۳/۴۲	۳/۸۸	۳/۳۱	۳/۶۷	۳/۳۴	۴/۲۸	۱۲/۲۹	۱۲/۴۳	۰/۱۷	۰/۱۹
۳	B_2	۲۴/۸۸	۳۰/۵۱	۲/۷۸	۳/۳۹	۲/۶۶	۳/۰۶	۲/۷۳	۳/۶۷	۱۲/۱۶	۱۲/۲۴	۰/۱۶	۰/۱۷
۴	C_1	۲۵/۶۵	۳۰/۷۲	۳/۲۲	۳/۶۷	۳/۰۲	۳/۴۱	۳/۲۹	۴/۱۳	۱۲/۳۴	۱۲/۴۷	۰/۱۷	۰/۱۸
۵	C_2	۲۶/۹۴	۳۱/۵۸	۳/۴۹	۳/۹۴	۳/۳۵	۳/۷۴	۳/۶۱	۴/۴۳	۱۲/۳۸	۱۲/۵۱	۰/۱۹	۰/۲
۶	C_3	۲۵/۸۹	۳۰/۶۳	۳/۲۸	۳/۷۴	۲/۹۷	۳/۳۶	۳/۱۱	۴/۰۷	۱۲/۲۱	۱۲/۳۲	۰/۱۶	۰/۱۸

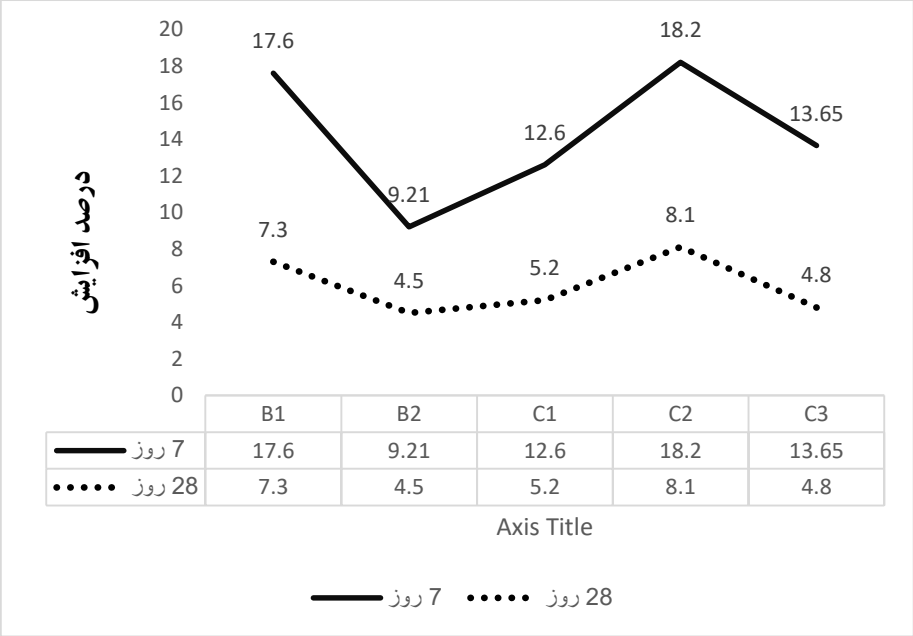
با بررسی نتایج حاصل از آزمایشات طبق (جدول ۶) در می‌یابیم که اثر الیاف فولادی بر مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته بتن سبک نیز همانند بتن معمولی بسیار ناچیز است و بیشترین اثر را بر ترکیب C_2 با ۸/۲ درصد افزایش مقاومت فشاری نسبت به حالت بدون

الیاف داشته‌است. ولی همانطور که مشاهده می‌شود میزان نرخ افزایش مقاومت فشاری در ۷ روز بسیار بیشتر از ۲۸ روز بوده است و می‌توان گفت الیاف فولادی می‌تواند اثر بیشتری بر افزایش مقاومت فشاری در روزهای اوّلیه (۷ روزه) داشته‌باشد و رِنج این افزایش مقاومت فشاری در سن ۷ روزه بین ۹/۲٪ الی ۱۸/۲۶٪ است که به ترتیب مربوط به طرح‌های B_2 و C_2 می‌باشند. که نرخ این افزایش مقاومت در سن ۲۸ روزه بین ۴/۵٪ الی ۸/۲ ٪ می‌باشد که نشان می‌دهد در سنین اوّلیه شکل و نوع الیاف تأثیر نسبتاً زیادی بر روی مقاومت اوّلیه بتن خواهد داشت و این تأثیر رفته رفته در سن ۲۸ روزه کم می‌شود بنابراین می‌توان از بررسی مقاومت فشاری برای تعیین بهترین ترکیب از طرح‌های ارائه شده صرف نظر کنیم. همچنین با دقت در داده‌های به دست آمده مشاهده می‌شود که الیاف فولادی چه در سن ۷ روزه و چه ۲۸ روزه بر روی مدول الاستیسیته‌ی بتن تأثیر چندانی ندارد و از این آیتم نیز جهت تعیین ترکیب بهینه می‌توان صرف نظر کرد. با بررسی مقاومت کششی برزیلی مشاهده می‌شود الیاف چه در سن ۷ روزه و چه در سن ۲۸ روزه تأثیر چشمگیری بر روی این خصوصیت بتن داشته‌اند به طوری که در سن ۷ روزه‌ی بتن مقاومت کششی برزیلی ۲۱/۴٪ الی ۵۲/۴٪ و در سن ۲۸ روزه ۱۹/۴٪ الی ۴۴/۳٪ افزایش داشته که کمترین درصد افزایش برای بتن حاوی الیاف موجدار (طرح B_2) می‌باشد و بیشترین مقدار برای بتن طرح C_2 (٪۷۰ SF_1+٪۳۰SF_2) است.

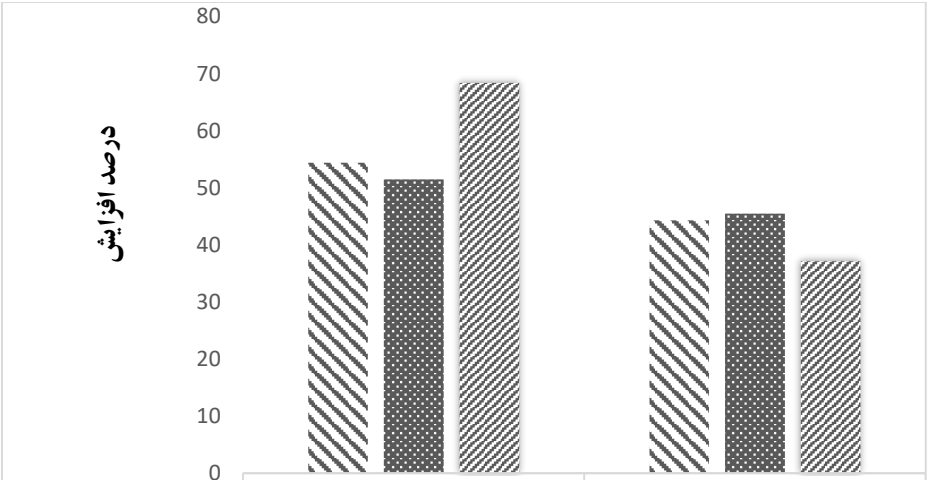
نتایج مربوط به آزمایش کشش مستقیم نشان‌می‌دهد که در سن ۷ روزه بیشترین نرخ افزایش مقاومت مربوط به طرح C_2 (٪۷۰ SF_1+٪۳۰SF_2) با ۵۱/۵ درصد افزایش مقاومت و کمترین مقدار مربوط به طرح B_2 (٪۰ SF_1+٪۱۰۰SF_2) می‌باشد با ۲۰٪ افزایش اما این روند هم برای ۲۸ روزه نیز برقرار است، با این تفاوت که نرخ افزایش برای طرح C_2 به مقدار ۴۵/۵٪ و برای طرح B_2 به میزان۱۹٪ رسیده‌است. با بررسی مقاومت خمشی در سن ۷ روزه و ۲۸ روزه مشاهده می‌شود که بیشترین مقادیر و همچنین درصد افزایش را طرح C_2 (٪۷۰ SF_1+٪۳۰SF_2) با نرخ افزایش ۷ روزه و ۲۸ روزه به ترتیب ۶۴/۸٪ و ۳۷/۱۵٪ و کمترین مقادیر افزایش نیز مربوط به طرح B_2 برای افزایش مقاومت ۷ روزه و ۲۸ روزه به ترتیب به مقدار ۲۴/۶٪ و ۱۳/۶٪ می‌باشد.

بتن سبک سازه‌ای ارائه شده دارای ضریب پواسون ۰/۱۶ در سن ۲۸ روزه می‌باشد و بیشترین مقدار ضریب پواسون مربوط به طرح C_2 (٪۷۰ SF_1+٪۳۰SF_2) می‌باشد که با توجه به مقادیر حاصل از آزمایش مقدار افزایش محسوسی را نسبت به سن ۷ روزه از آن شاهد هستیم و همانطور که پیداست بر روی ضریب پواسون نیز الیاف تأثیر مثبت می‌گذارند.

نمودارهای ارائه شده‌ی زیر می‌توانند رینج حداقل و حداکثر درصد افزایش مقادیر حاصل از آزمایشات خصوصیات مکانیکی را برای بهترین طرح از میان طرح های بررسی شده نشان‌دهند.



شکل۵ : نمودارنرخ درصد افزایش مقاومت فشاری در ۲۸ و ۷ روز نسبت به نمونه مرجع.



	روز 7	روز 28
مقاومت کششی برزیلی	54.4	44.3
مقاومت کششی مستقیم	51.5	45.5
مقاومت خمشی	68.4	37.15

شکل۶ : مقایسه درصد افزایش مقاومت های کششی برزیلی- کششی مستقیم – خمشی برای طرح بهینه(C2) نسبت به نمونه‌ی مرجع.

۵- نتیجه گیری

به دلیل ضعف‌های بتن سبک در خصوصیات مکانیکی از جمله در کشش نسبت به بتن معمولی، لزوم بررسی خواص مکانیکی و شناخت بیشتر آن، همچنین تعیین راهکارهایی برای تقویت این نوع بتن مشهودتر می‌باشد.

در تحقیق انجام شده با بررسی آزمایشگاهی خصوصیات مکانیکی بتن سبک سازه‌ای ساخته شده با پوکه‌ی معدنی اسکوریای قروه و اثر شکل و طول الیاف و ترکیب‌هایی از این ۲ نوع الیاف بر بتن مورد نظر نتایج حاصل به شرح زیر می باشد:

۱- الیاف فولادی در سنین پایین (۷ روزه) دراین نوع بتن سبک در جهت بهبود خواص مکانیکی، روند رو به رشد سریع‌تری را از خود نشان می‌دهند تا در سنین بالاتر (۲۸ روزه).

۲- استفاده از الیاف فولادی تأثیر زیادی بر روی افزایش مقاومت کششی (برزیلی و مستقیم) و همچنین مدول کسیختگی در این نوع بتن سبک از خود نشان می‌دهد.

۳- اثر الیاف در سن ۷ روزه بر روی مقاومت خمشی بسیار چشمگیر بوده و در سن ۲۸ روزه تأثیر الیاف بر مقاومت کششی مستقیم بیشتر از خصوصیات دیگر است.

۴- طول الیاف می‌تواند بر خصوصیات مکانیکی تأثیر بگذارد و با توجه به اینکه طول الیاف صاف ۲ سر قلاب بیشتر از الیاف موجدار با انتهای ساده بوده است ممکن است علّت بیشتر بودن تأثیر بر خواص مکانیکی در طرح B_1 نسبت به B_2 این موضوع باشد.

۵- با افزایش مقاومت فشاری بر اثر الیاف به کار برده شده، میزان ضریب پواسون و همچنین مدول الاستیسیته تا حدی افزایش می یابد؛ ولی تاثیر چندان زیادی بر روی این خواص مشاهده نشد.

۶-بتن سبک حاوی اسکوریا ترد و شکننده بوده و با افزودن الیاف فولادی به بتن مرجع، رفتار شکننده‌ی بتن را به علت ممانعت از انتشاروتکثیر ترک‌ها به طور چشمگیری کاهش می دهد.

۷- اثر الیاف فولادی بر روی خواص بتن سبک مورد آزمایش در ۷روز اول بیشتر نمایان شد و روند رو به رشد سریعتری را از خود نشان داد.

۸- بیشترین اثر الیاف فولادی روی مقاومت کششی در طرح ($٪۷۰ SF_1$+$٪۳۰ SF_2$) ایجاد شد و نرخ رشد افزایش در سن ۲۸ روزه ۴۵/۵٪ درصد بوده است.

سپاسگزاری

آزمایش‌های این تحقیق در آزمایشگاه پژوهشی بتن گروه مهندسی عمران دانشگاه کردستان انجام شده است که نویسندگان بدین وسیله از همکاری صمیمانه‌ی آقای رفیعی کارشناس این آزمایشگاه تشکر می‌نمایند.

مراجع

[1] Shekarchi Zade, M. Farzanneh Poure, M. Naserii, A. (2008). "Check scoria natural lightweight aggregates in structural concrete." Concrete Association's interal Magazine. The 7th year. No. 31. Page: (5-19).
[2] KhoshRaftar, A. and Abbasnia, Reza. (2007). The study of the effect of reducing the vulnerability of seismic resistance for reinforced concrete structures. Journal of civil Engineering, Retrcfit and rehabilitatan, Number 4.
[3] Vazifeh Khah, N. and Manaf pour, A. (2010). In vitro evaluation of the tensile strength of concrete with steel fibers. Fifth National cingress of civil Engineering Mashhad ferdowsi university. Iran.
[4] Antoine, E.N. (1985). Fiber reinforced for concrete ,Concrete international,March 1985,PP 21-25.
[5] Mehta, P.k. (1986). Concrete:structure,properties, and materials, prentice-hall inc., Englewood cliffs,New Jersey.
[6] Beddar, M. (2008). Development of steel fiber reinforced concrete from antiquity until the present day, Proceedings. Int Conference Concrete: Constructions sustainable option,Dundee, UK, PP 35-44.
[7] Quresh L. A et al. (2008). Effect of mixing steel fibers and silica fume on properties of high strength concrete, Proceedings. Int Conference Concrete: Constructions sustainable option, Dundee. UK, PP 173-185.
[8] Wang, H.T. and wang, L.C. (2013). Experimental studyon static and Dynomic Mechanical properties of steel fiber Reinforced lightweight Aggregate concrete, Construction and Building Materials, Vol. 38, pp. 1146- 1151.
[9] Hadi, M. et.al. (2008). An investigation of steel and polypropylene fiber reinforced concrete slabs, Proceedings. Int Conference Concrete Constructions sustainable option,Dundee. UK, PP 233-244.
[10] Dabbagh, H. Akbarpour, S. AmmooRezaii, K. (2016). Geometric properties of steel- fiber influence on the mechanical properties of structural concrete. The Ninth National congress of civil Engineering. Mashhad ferdowsi university.
[11] ASTM C330. (2004). standard specification for light weight Aggregates for structural Concrete, American society for Testing and Materials.
[12] ASTM C127. (2001). Den sity, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, American society for Testing and Materials.
[13] The ninth issue of Iran's national building regulations. Design and performance of rein forced concrete baildings. Fourth Edition, (2013).
[14] ACI 211.2-98, "Standard Practice for Selecting Proportion for Structural Lightweight Concrete," American Concrete Institute.
[15] ASTM C239. (2003). Compressive Strength of Cylindrical Concrete Speciments, American Society for Testing and Materials, vol 04.02,USA.
[16] ASTM C469. (2002). Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete inCompression, American Society for Testing and Materials, Vol 04.02, USA.
[17] ASTM C496. (2004). Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, American Society for Testingand Materials, Vol 04.02,USA.
[18] ASTM C293. (2002). Flexural Strength of Concrete(Using SimpleBeam With Center-Point Loading), American Society forTesting and Materials, Vol 04.02, USA.