

تحقیقات بتن

سال هشتم، شماره دوم

پائیز و زمستان ۹۴

ص ۱۳۸ - ۱۲۹

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۳۰

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۱۹

یادداشت پژوهشی

بررسی ویژگی مکانیکی بتن حاوی الیاف ترکیبی فولادی و پلی پروپیلن

سروش سحرخیزان

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ملایر

سعید سعیدی جم*

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان

چکیده

امروزه اصلاح و بهبود رفتار بتن با استفاده از الیاف یکی از روش‌های متداول در تکنولوژی بتن محسوب می‌شود. افزودن الیاف به بتن باعث رشد مقاومتی، بهبود رفتار تنش-کرنش و افزایش شکل‌پذیری خواهد شد. الیاف فولادی، پلی پروپیلن و شیشه‌ای از پرکاربردترین الیاف مورد استفاده می‌باشند. در این پژوهش بتن با نسبت آب به سیمان برابر ۰/۴۵ و عیار سیمان ۴۰۰ و درصد‌های مختلف الیاف فولادی و پلی پروپیلن هم بصورت مجزا و هم بصورت ترکیبی ساخته شده‌است. نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری و کششی و آزمایش تنش-کرنش، بیانگر آن بوده است که با افزودن درصد‌های مختلف الیاف در سن هفت روزه تغییر خاصی در مقاومت نمونه‌ها حاصل نشده ولی در سن ۲۸ روزه مقاومت فشاری و کششی افزایش یافته‌است. بیشترین رشد مقاومتی مربوط به نمونه‌های حاوی یک درصد الیاف فولادی بوده است. مقاومت طاقت طبق نمودارهای تنش-کرنش، بطور قابل ملاحظه‌ای بهبود یافته و رفتار نمونه‌ها شکل‌پذیرتر شده است. در ادامه برای مقایسه بهتر نتایج و بهبود مقاومت‌های کوتاه مدت، دو نمونه با افزودن سیلیکافیوم ساخته شده‌است. نتایج حاکی از آن است که افزودن سیلیکافیوم باعث بهبود پارامترهای مقاومتی بتن می‌شود.

واژه‌های کلیدی: الیاف پلی پروپیلن، الیاف فولادی، ترکیب الیاف، مقاومت فشاری، مقاومت کششی.

* نویسنده مسئول: Saeidijam@iust.ac.ir

۱- مقدمه

برای مشخص نمودن اثر الیاف فولادی آزمایش‌هایی را بر روی این نوع از بتن‌های الیافی انجام دادند. این آزمایش‌ها نشان داد که الیاف ریزتر مقاومت فشاری را بیشتر افزایش می‌دهند. همچنین نسبت سطح الیاف پارامتر با اهمیتی در بررسی اثر الیاف است بطوریکه با بیشتر شدن نسبت سطح الیاف مقاومت کششی بیشتری در بتن‌الیافی ایجاد می‌شود. یک موضوع دیگر افزایش مقاومت خمشی در الیاف با ابعاد بزرگ‌تر است [۵]. در سال ۲۰۰۶ سولاری و همکاران آزمایش‌هایی را برای بررسی دقیق‌تر اثر الیاف بر روی مقاومت خمشی بتن الیافی ترتیب دادند. در این آزمایش‌ها با استفاده از عکس‌های اشعه ایکس پراکندگی الیاف در بتن به‌طور همگن در نمونه‌های با ابعاد بزرگ‌تر بررسی شده است. نتایج آزمایش‌های خمشی بر روی نمونه‌های بتن با چهار نقطه اتکا انجام شده است. این نتایج نشان‌دهنده آن است که مقاومت خمشی الیاف ماکرو و میکرو هر دو باعث افزایش مقاومت بتن می‌شوند. و از طرفی ترکیب الیاف میکرو و ماکرو مقاومت خمشی در قطعات کوچک و بزرگ را افزایش می‌دهند. این افزایش مقاومت در ابعاد بزرگ‌تر کمتر است و در تیرهای کوچک‌تر بیشتر قابل ملاحظه است. همچنین پراکندگی نتایج که می‌تواند نمایانگر عدم توزیع همگن الیاف در بتن باشد در تیر با ابعاد بزرگ‌تر بیشتر از تیرهای کوچک است [۶]. در سال ۲۰۱۴ رابی و همکاران آزمایش‌هایی را بر روی بتن الیافی با ترکیب الیاف فولادی و پلی‌پروپیلن انجام دادند. در این آزمایش‌ها تلاش شد تا مقاومت فشاری، کششی و خمشی بتن الیافی مورد بررسی قرار گیرد. نتایج نشان می‌دهند ترکیب ۰/۲۵ درصد الیاف پلی‌پروپیلن و ۰/۷۵ درصد الیاف فولادی بهترین نتایج مقاومتی را حاصل می‌نماید. در واقع با این ترکیب بیشترین مقاومت فشاری، کششی و خمشی حاصل شده است. از طرفی استفاده از الیاف فولادی بیشتر بدون شک منجر به ایجاد رفتار مقاوم‌تر و تردتر در مصالح می‌شود که این موضوع قبلاً هم شناسایی شده بود. در حقیقت این تحقیق به‌طور ویژه به ترکیب این دو الیاف با یکدیگر پرداخته است و نشان می‌دهد که دقیقاً چه ترکیبی از این الیاف بیشترین مقاومت را حاصل می‌نماید [۷].

۲- روند آزمایش‌ها

در این تحقیق برای هر نمونه‌ی بتنی شامل بتن مسلح‌نشده و بتن‌های مسلح‌شده با درصد‌های مختلف الیاف، سه نمونه ساخته

ویژگی‌های مکانیکی بتن الیافی به شکل قابل ملاحظه‌ای نسبت به بتن معمولی تغییر می‌کند. از جمله تغییرات در پارامترهای مکانیکی بتن الیافی می‌توان به مقاومت در مقابل تورق، سایش و هوازدهی سطح، مقاومت زیاد در مقابل تنش‌های خستگی، مقاومت بسیار عالی در مقابل ضربه، قابلیت کششی خوب (ظرفیت زیاد کرنش)، قابلیت باربری زیاد بعد از ترک خوردگی، مقاومت کششی، خمشی و برشی زیاد و طاقت خیلی زیاد اشاره کرد. این مصالح برخلاف بتن معمولی قادر به تحمل تنش‌ها و کرنش‌های کششی قابل ملاحظه در بارهای کششی هستند و می‌توان از آن‌ها در طراحی سازه استفاده کرد [۱]. بعلاوه، این مواد پتانسیل زیادی جهت استفاده در المان‌های جاذب انرژی به‌عنوان کنترل غیرفعال در بهسازی لرزه‌ای ساختمان را دارند [۲].

در این پژوهش سعی شده است تا ویژگی‌های مکانیکی بتن الیافی ترکیبی که در حقیقت ترکیبی از درصد‌های مختلف الیاف پروپیلن و فولادی در بتن است مورد بررسی قرار گیرد. به‌منظور بررسی مشخصات دینامیکی نمونه‌های بتنی از آزمایش‌های مقاومت فشاری و کششی و تنش-کرنش بر طبق استانداردهای مربوطه استفاده شده است.

۱-۱- تحقیقات صورت گرفته

در سال ۲۰۰۳ «یائو» و همکاران، بتن حاوی الیاف فولادی، کربنی و پروپیلن با درصد‌های مختلف را مورد آزمایش مقاومت خمشی قرار دادند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که در هر صورت اضافه کردن الیاف، بتن را نسبت به بتن معمولی مقاوم‌تر و شکل‌پذیرتر می‌سازد. بیشترین مقاومت خمشی مربوط به الیاف فولادی است. که این مسئله نشان‌دهنده خواص مناسب این نوع الیاف است. در حالی که الیاف دیگر یک تغییر اساسی همانند الیاف فولادی در مشخصات بتن ایجاد نکرده‌اند. در ادامه ترکیب الیاف فولادی با الیاف کربنی منجر به بیشترین مقاومت شده است [۳]. فلدمن در مقاله‌ای نشان داد که استفاده از الیاف فولادی علاوه بر افزایش کرنش خرابی، جذب انرژی در بتن را نیز افزایش می‌دهد. در یکی از موارد استفاده از این الیاف و یک الیاف کمکی دیگر، جذب انرژی نمونه در معرض هوا قرار گرفته تا ۴۰ درصد نسبت به نمونه بتن معمولی بیشتر شده است [۴]. در سال ۲۰۰۶ یوتسون و همکاران

ذرات میکروسیلیس غیر متبلور و در اندازه‌های بسیار کوچک (بین ۰/۱ تا ۰/۵ میکرومتر، در حدود یک‌صدم اندازه ذرات سیمان) می‌باشند. استاندارد استفاده از میکروسیلیس در مخلوط‌های سیمانی ASTM C1240 است [۱۲]. میکروسیلیس مورد استفاده در این پروژه از کارخانه فروسیلیس سمنان تأمین شده است.

۲-۱-۶- الیاف پروپیلن

الیافی که در این پژوهش به کاررفته است، محصول شرکت فارس ایران تولید شده تحت لیسانس شرکت فوسروک انگلستان است. این الیاف به هم پیوسته بوده و برای استفاده از آن باید به صورت دستی از هم جدا شوند تا به خوبی در مخلوط بتن پراکنده گردند. در شکل ۱ الیاف پلی پروپیلن قبل و بعد از جدا شدن نمایش داده شده است. همچنین در جدول ۱ مشخصات الیاف پلی پروپیلن مصرفی آمده است.



شکل ۱- الیاف پلی پروپیلن

جدول ۱- مشخصات الیاف پلی پروپیلن

نتیجه آزمایشگاهی	ویژگی	ردیف
۰/۹۱	وزن مخصوص (gr/cm^3)	۱
۲۲	قطر الیاف (μm)	۲
دایروی	شکل مقطع عرضی	۳
۱۹	طول الیاف (mm)	۴
عالی	مقاومت در برابر واکنش سیلیسی قلیایی	۵
۱۷۰-۱۶۰	دمای ذوب (درجه سانتی گراد)	۶
۰	جذب آب	۷
بسیار پایین	هدایت الکتریکی	۸
بسیار پایین	هدایت حرارتی	۹
۴۰۰-۳۵۰	مقاومت (MPa)	۱۰

شده است. در نمونه‌های بتنی حاوی الیاف، از الیاف فولادی و پروپیلن به صورت مجزا و ترکیبی استفاده شده است. علاوه بر این، نمونه‌هایی با جای‌گزین کردن بخشی از سیمان با سیلیکافیوم نیز ساخته شده است تا تأثیر استفاده از این پوزولان در نمونه‌های بتن الیافی نیز مورد بررسی و آزمایش قرار گیرد.

۲-۱-۱- مصالح مورد استفاده

۲-۱-۱-۱- ماسه

ماسه مورد استفاده از نوع طبیعی بوده و آزمایش‌های زیر بر روی آن انجام شده است [۸-۱۰]:

۱- آزمایش دانه‌بندی بر اساس استاندارد ASTM C 136-96

۲- آزمایش تعیین چگالی اشباع با سطح خشک^۱ بر اساس استاندارد

ASTM C 128

۳- آزمایش تعیین ظرفیت جذب آب بر اساس ASTM C 128

۴- آزمایش تعیین ارزش ماسه (SE) بر اساس ASTM D2419

۲-۱-۲- شن

شن مورد استفاده از نوع نیمه شکسته و در دو اندازه اسمی تهیه شده و آزمایش‌های زیر بر روی آن انجام شده است [۸، ۱۱]:

۱- آزمایش دانه‌بندی بر اساس ASTM C 136

۲- آزمایش تعیین چگالی اشباع با سطح خشک بر اساس ASTM C 127

۳- آزمایش ظرفیت جذب آب بر اساس ASTM C 127

۲-۱-۳- سیمان

در همه طرح اختلاط‌ها، از سیمان نوع دو کارخانه سیمان همگمان استفاده شده است.

۲-۱-۴- ماسه

فوق روان کننده مصرفی بر پایه پلی کربوکسیلاتی بانام تجاری WBK50 محصول شرکت LG است. مقدار مصرف فوق‌روان کننده به صورت چشمی و با معیار رسیدن به اسلامپ حدود هشت سانتی متر تعیین گردیده است.

۲-۱-۵- سیلیکافیوم

میکروسیلیس^۲ یک پوزولان مصنوعی است که به طور معمول محصول جانبی کارخانه‌های تولید آلیاژهای سیلیکون و فروسیلیکون است. اکثر

² Silica Fume

¹ Surface Saturated Dry

۲-۱-۷- الیاف فولادی

بدین طریق برای نام گذاری هر آزمونه از عبارات فوق به همراه یک عدد قبل از آن‌ها استفاده می‌شود. عدد یاد شده نشان‌دهنده مقدار الیاف مورد استفاده در آن آزمونه بر حسب درصد می‌باشد. نام-گذاری‌های مورد استفاده در این پژوهش بطور کامل در جدول ۳ ارائه شده‌است.

جدول ۳- نامگذاری آزمونه‌ها

نام نمونه	نوع بتن	پروپیلن (%)	فولادی (%)	سیلیکافیوم (%)
N	معمولی	0	0	0
0.5PP	الیافی	0.5	0	0
0.5PP+0.5St	الیافی	0.5	0.5	0
0.25PP+0.75St	الیافی	0.25	0.75	0
1St	الیافی	0	1	0
0.5PP+5Sf	الیافی	0.5	0	5
0.25PP+0.75St+10Sf	الیافی	0.25	0.75	10

۲-۳-۳- آزمایش‌های انجام شده

۲-۳-۱- آزمایش تعیین مقاومت فشاری

این آزمایش متداول‌ترین آزمایشی است که در مورد کیفیت بتن سخت شده صورت می‌گیرد. آزمایش تعیین مقاومت فشاری مطابق استاندارد EN 12390-3 انجام شده‌است [۱۳]. برای تعیین مقاومت فشاری مخلوط‌های ساخته شده از آزمونه‌های مکعبی ۱۵۰ میلی‌متری استفاده شده‌است. این آزمونه‌ها پس از بیرون آورده شدن از قالب، جهت عمل‌آوری به درون حوضچه آب با دمای تقریبی ۲۰ درجه سانتی‌گراد انتقال یافتند و در سنین مورد نظر (هفت و ۲۸ روزه) از آب خارج و آزمایش تعیین مقاومت فشاری بر روی آن‌ها صورت گرفته‌است. جهت تعیین مقاومت فشاری از جک بتن شکن محصول شرکت تک آزما با ظرفیت ۲۰۰ تن و با سرعت بارگذاری سه کیلو نیوتن بر ثانیه مطابق استاندارد استفاده شده‌است.

۲-۳-۲- آزمایش تعیین مقاومت کششی به روش برزلی

این آزمایش بر اساس روش استاندارد ASTM C496 بر روی آزمونه‌های استوانه‌ای انجام می‌گیرد [۱۴]. شرایط تهیه و نگهداری این نمونه‌ها مانند نمونه‌های فشاری است. روش انجام آزمایش بدین صورت است که قطر و ارتفاع نمونه اندازه‌گیری شده و دو

الیاف مصرفی از جنس فولاد به شکل صاف با انتهای قلاب‌دار و محصول صنایع مفتولی زنجان است. استفاده از الیاف شکل یافته نسبت به الیاف صاف به دلیل کارکرد مناسب‌تر ارجحیت دارد. در شکل ۲ الیاف فولادی شکل یافته مورد استفاده در این پژوهش نشان داده شده‌است. هم‌چنین در جدول ۲ مشخصات این الیاف ارائه شده‌است.



شکل ۲: الیاف فولادی

جدول ۲- مشخصات الیاف فولادی

ردیف	ویژگی	نتیجه
۱	وزن مخصوص (gr/cm^3)	۷/۸۷
۲	طول (mm)	۱۲
۳	قطر (mm)	۰/۸
۴	نسبت طول به قطر	۱۵

۲-۲- نمونه‌های مورد بررسی

در این پژوهش در مجموع هفت نمونه بتنی شامل یک نمونه بتن بدون الیاف (شاهد) و چهار نمونه بتن الیافی حاوی درصد‌های مختلف الیاف فولادی و پروپیلن با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۵ و مقدار مواد سیمانی ۳۵۰ کیلوگرم در مترمکعب ساخته شد. هم‌چنین در دو مورد از نمونه‌های بتن الیافی از پنج و ۱۰ درصد میکروسیلیس جایگزین سیمان استفاده گردید. محاسبه نسبت‌های طرح‌های اختلاط بتن بر اساس روش طرح مخلوط ملی ایران انجام شد. به منظور سهولت ارائه نتایج در نام‌گذاری نمونه‌ها علائم زیر استفاده شده‌است:

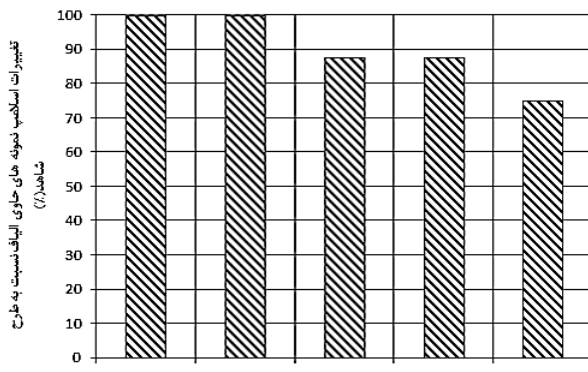
N: نمونه بتن بدون الیاف

PP: الیاف پلی پروپیلن

St: الیاف فولادی

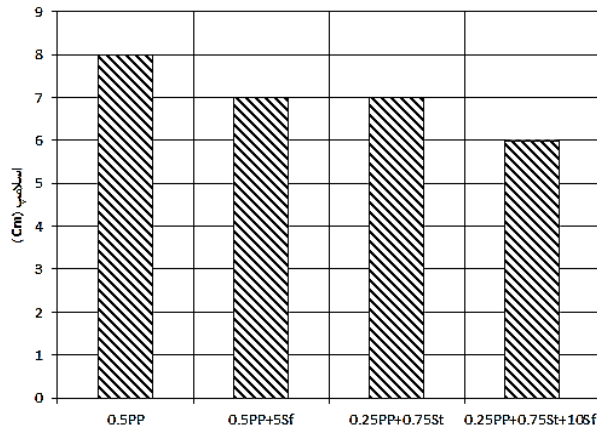
Sf: سیلیکافیوم

باعث کاهش روانی بتن خواهد شد و اثر الیاف فولادی مورد استفاده در این پژوهش نسبت به الیاف پلی پروپیلن در یک مقدار ثابت در کاهش روانی بیشتر بوده است.



شکل ۳- تغییرات اسلامپ نمونه های حاوی الیاف نسبت به طرح شاهد

در شکل ۴ تغییرات اسلامپ نمونه های حاوی الیاف در اثر جایگزین کردن بخشی از سیمان با سیلیکافیوم در دو مورد از آزمون ها ارائه شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود نمونه های حاوی سیلیکافیوم نسبت به نمونه های مشابه اسلامپ کمتری دارند.



شکل ۴- تغییرات اسلامپ نمونه های حاوی الیاف در اثر جایگزین کردن بخشی از سیمان با سیلیکافیوم

۲-۳- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

با توجه به این که در این پژوهش برای هر نوع بتن سه آزمون ساخته شده است، در این بخش مقادیر میانگین مقاومت های فشاری ملاک عمل قرار می گیرد. با توجه به شکل ۵ در سن هفت روزه، مقاومت فشاری نمونه های حاوی الیاف نسبت به بتن شاهد تغییر خاصی نداشته و در برخی نمونه ها کاهش مقاومت نیز وجود داشته است. دلیل این امر را می توان این گونه توجیه نمود که با افزودن الیاف،

سطح قاعده ی نمونه توسط دو خط عمود بر هم علامت گذاری می شود و سپس نمونه در بین صفحات جک بتن شکن قرار می گیرد. برای تقسیم متوازن فشار از دو تیغه ی چوبی در بالا و پایین نمونه ها استفاده می شود. بار به تدریج افزایش یافته و در اثر فشار در جهت عمود بر امتداد فشار کشش ایجاد شده و نمونه گسیخته می شود. افزایش بار یکنواخت بوده و با سرعتی معادل هفت تا ۱۴ کیلوگرم نیرو بر سانتی متر مربع در دقیقه تا زمان گسیختگی نمونه خواهد بود. در این زمان حداکثر بار وارده توسط دستگاه قرائت ثبت شده و توسط روابطی به تنش گسیختگی تبدیل می شود.

۲-۳-۳- آزمایش تنش- کرنش

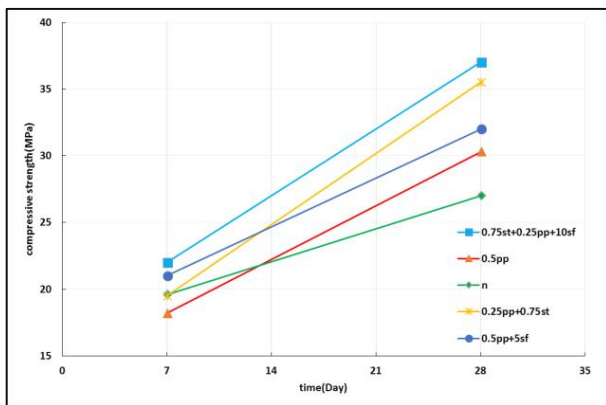
برای هر نمونه یک آزمون استوانه ای 15×30 سانتی متری جهت انجام آزمایش تنش- کرنش در نظر گرفته شده است. آزمون ها پس از قالب گیری به مدت ۲۸ روز در اتاق مرطوب و حوضچه آب نگهداری شده و در سن ۲۸ روزه آزمایش تنش- کرنش بر روی آن ها انجام شده است. جهت ایجاد سطح صاف و اعمال بار یکنواخت به آزمون، دو سر آزمون با گوگرد کپسنگ شده است. برای اندازه گیری تغییر شکل عرضی از یک حلقه فلزی که توسط سه پیچ به بدنه آزمون متصل گردیده و یک گیج با دقت 0.002 میلی متر استفاده شده است. اندازه گیری تغییرات طول آزمون به وسیله یک گیج با دقت 0.01 میلی متر صورت گرفته است. روش انجام آزمایش بدین صورت بوده که پس از کپسنگ، توزین و اندازه گیری طول و قطر، آزمون درون جک بتن شکن قرار گرفته و با اعمال بار، میزان تغییر شکل طولی و عرضی آزمون در مقادیر ثابت افزایش نیروی فشاری ثبت گردیده و با استفاده از داده های آزمایش، نمودار تنش- کرنش آزمون رسم شده است. در این آزمایش از جک ADR 2000 با ظرفیت ۲۰۰۰ کیلونیوتن استفاده گردیده است.

۳- ارائه و تفسیر نتایج

۳-۱- نتایج آزمایش اسلامپ

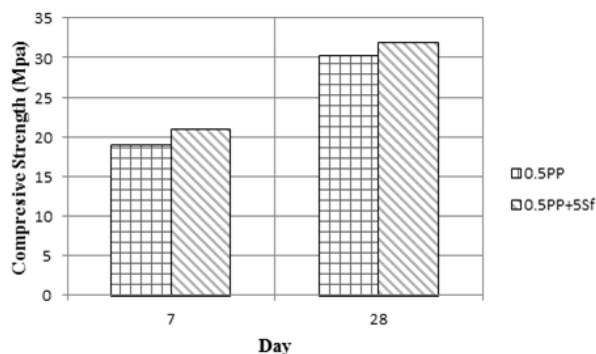
با توجه به شکل ۳ حداکثر کاهش روانی در مقایسه با نمونه بتن شاهد مربوط به نمونه ی 1St و به میزان ۷۵٪ اسلامپ نمونه شاهد می باشد و نمونه 0.5PP هیچ کاهش روانی نسبت به نمونه شاهد نداشته است. به طور کلی می توان نتیجه گرفت اضافه کردن الیاف

در ادامه به بررسی تاثیر افزودن سیلیکافیوم بر پارامترهای مقاومتی دو مورد از نمونه‌های حاوی الیاف که شامل نمونه‌های 0.5PP و 0.25PP+0.75St می‌باشد، پرداخته می‌شود. همانطور که در شکل ۶ ملاحظه می‌شود با افزودن سیلیکافیوم، مقاومت‌ها در سنین کم نیز افزایش می‌یابد. دلیل این موضوع بالا بردن سرعت هیدراسیون در اثر ریزی ذرات سیلیکافیوم است. در سن هفت روزه مقاومت‌ها با افزودن سیلیکافیوم حدود ۱۰٪ تا ۱۵٪ افزایش یافته است.



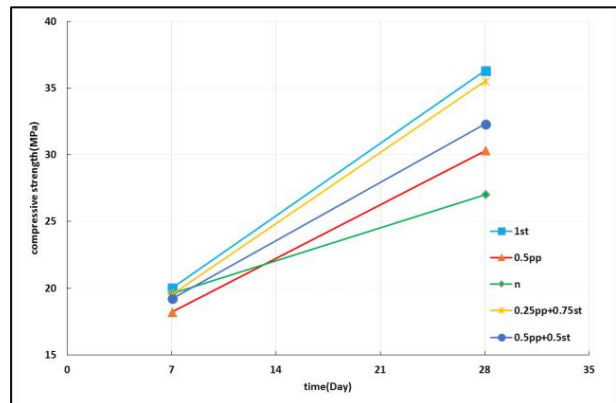
شکل ۶- روند تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی الیاف و سیلیکافیوم

علاوه بر این همانطور که در اشکال ۷ و ۸ مشاهده می‌شود، افزودن سیلیکافیوم به هر دو نمونه 0.5PP و 0.25PP+0.75St در هر دو سن ۷ و ۲۸ روز سبب افزایش مقاومت فشاری شده است. این مسئله تاثیر مطلوب استفاده از سیلیکافیوم را در بتن‌های الیافی نشان می‌دهد.



شکل ۷- تاثیر افزودن ۵ درصد سیلیکافیوم به نمونه حاوی ۰/۵ درصد الیاف پرویلن

آب انداختن بتن و خروج آب‌ها از بتن کم شده و باعث می‌شود بتن تا مدت بیشتری حالت خمیری داشته باشد و سخت شدن بتن به تاخیر بیفتد. این موضوع در سنین پایین باعث می‌شود که تاثیر الیاف در مقاومت دیده نشود. با افزایش سن بتن و پیشروی فرایند هیدراسیون تاثیر الیاف مشخص می‌شود و شاهد رشد مقاومت تمامی نمونه‌های بتن الیافی نسبت به بتن معمولی می‌باشیم.



شکل ۵- روند تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی الیاف با درصد‌های مختلف

تغییرات مقادیر مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی الیاف با درصد‌های مختلف در سن ۲۸ روز نسبت به طرح شاهد در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در این جدول مشاهده می‌شود که الیاف فولادی عملکرد بهتری نسبت به الیاف پرویلن داشته‌اند. الیاف به دو طریق در هنگام گسیختگی عمل می‌کنند که شامل بیرون کشیده شدن و یا گسیختگی الیاف می‌باشد. لذا عملکرد الیاف فولادی شکل یافته در این پژوهش نسبت به الیاف پرویلن از نظر رشد مقاومت بهتر بوده است.

جدول ۴- تغییرات مقادیر مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی الیاف با درصد‌های مختلف در سن ۲۸ روز نسبت به طرح شاهد

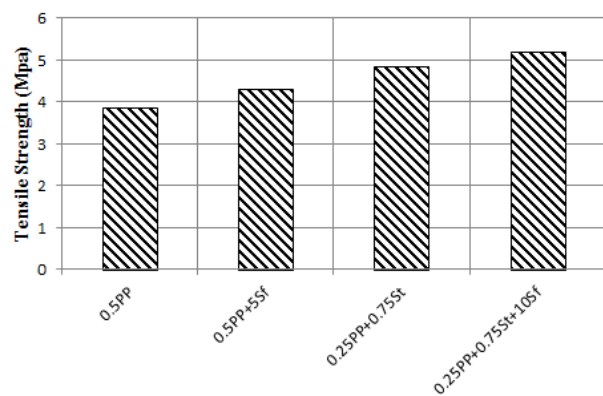
ردیف	نام طرح	درصد افزایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه نسبت به طرح شاهد	
		نام طرح	درصد
۱	0.5PP	۱۳	
۲	0.5PP+0.5St	۲۰	
۳	0.25PP+0.75St	۳۱	
۴	1St	۳۵	

بررسی ویژگی مکانیکی بتن حاوی الیاف ترکیبی فولادی و پلی پروپیلن

بتن های حاوی الیاف پروپیلن و فولادی علاوه بر افزایش مقاومت فشاری، سبب افزایش مقاومت کششی نیز می شود.

جدول ۵- درصد افزایش مقاومت کششی نسبت به طرح شاهد در نمونه های حاوی الیاف با درصدهای مختلف

ردیف	نام طرح	درصد افزایش مقاومت کششی نسبت به طرح شاهد
۱	0.5PP	۳۰
۲	0.5PP+0.5St	۴۵
۳	0.25PP+0.75St	۶۲
۴	1St	۶۳

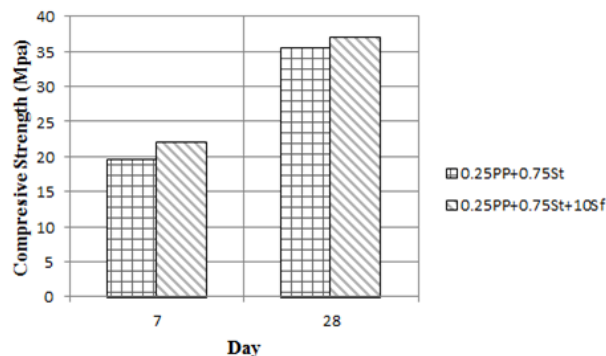


شکل ۱۰- تاثیر افزودن سیلیکافیوم به نمونه های حاوی الیاف

۳-۴- نتایج آزمایش تنش-کرنش

در این بخش نمودارهای تنش-کرنش نمونه های حاوی الیاف با درصدهای مختلف با نمودار تنش-کرنش بتن شاهد مقایسه می شود. بدین منظور این نمودارها بر روی یک شکل رسم شده است. همانطور که در شکل ۱۱ مشاهده می شود تمامی نمونه های حاوی الیاف نسبت به نمونه بتن شاهد، شکل پذیری و مقاومت بیش تری دارند. با توجه به این که کرنش نظیر گسیختگی در تمامی نمونه های حاوی الیاف تقریباً یکسان می باشد، بیشتر بودن مقاومت حداکثر نمونه 1St نسبت به سایر نمونه ها منجر به افزایش سطح زیر منحنی و بعبارتی افزایش طاقت و ظرفیت جذب انرژی در این نمونه شده است.

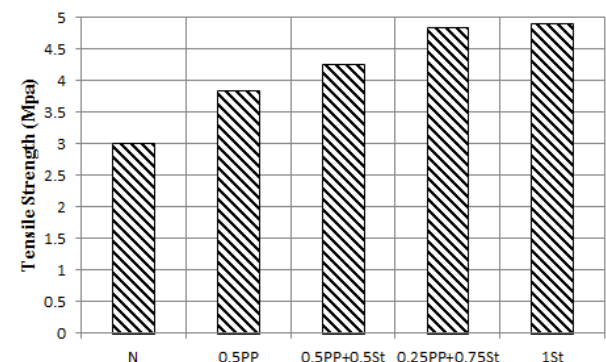
در شکل ۱۲ نمودارهای تنش-کرنش دو نمونه 0.5PP و 0.25PP+0.75St با و بدون حضور سیلیکافیوم ارائه شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود افزودن سیلیکافیوم به این دو نمونه سبب افزایش مقاومت و جذب انرژی آنها شده است.



شکل ۸- تاثیر افزودن ۱۰ درصد سیلیکافیوم به نمونه حاوی ۰/۲۵ درصد الیاف پروپیلن و ۰/۷۵ درصد الیاف فولادی

۳-۳- نتایج آزمایش مقاومت کششی

همان طور که در شکل ۹ مشاهده می شود افزودن الیاف پروپیلن و فولادی به بتن معمولی در تمامی درصدها سبب افزایش مقاومت کششی میانگین شده و بیشترین افزایش مقاومت کششی مربوط به نمونه ی حاوی یک درصد الیاف فولادی بوده است.



شکل ۹- مقایسه مقادیر مقاومت کششی نمونه های حاوی الیاف با درصدهای مختلف

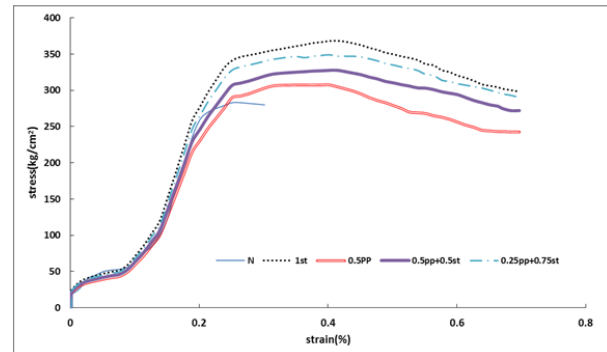
درصد افزایش مقاومت کششی نسبت به طرح شاهد در نمونه های حاوی الیاف با درصدهای مختلف در جدول ۵ ارائه شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در این جدول مشاهده می شود که تمامی نمونه های بتنی یافی نسبت به بتن معمولی مقاومت کششی بیشتری کسب کرده اند و علاوه بر این نمونه هایی که حاوی الیاف فولادی می باشند نسبت به نمونه های حاوی الیاف پروپیلن افزایش مقاومت کششی بیشتری را تجربه کرده اند.

تأثیر افزودن سیلیکافیوم بر مقادیر مقاومت کششی دو نمونه 0.5PP و 0.25PP+0.75St در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود افزودن سیلیکافیوم به

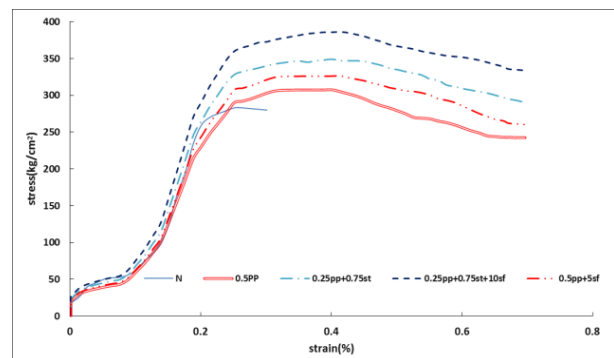
- ۳- بیشترین تأثیر مقاومتی در نمونه‌های حاوی یک درصد الیاف فولادی مشاهده شده و بعد از آن نمونه‌ی حاوی الیاف ترکیبی ۰/۷۵ درصد فولاد و ۰/۲۵ درصد پروپیلن قرار دارد.
- ۴- با افزودن سیلیکافیوم در طرح اختلاط به رفتار مقاومتی بتن کمک شده و نسبت به نمونه‌های مشابه بدون سیلیکافیوم شاهد مقاومت بیشتری بوده‌ایم.
- ۵- در رابطه با رفتار تنش- کرنش نمونه‌ها می‌توان گفت، الیاف به طور قابل ملاحظه‌ای باعث بهبود این رفتار شده‌است به نحوی که با حفظ تقریبی مدول الاستیسیته، مقاومت افزایش یافته‌است. همچنین افزودن الیاف کرنش معادل مقاومت پیشینه را نیز افزایش داده است.
- ۶- با افزودن الیاف به نمونه‌ها شاهد ایجاد ناحیه مقاومت پسماند در نمونه‌ها بوده‌ایم که این مقاومت از شکست ترد بتن بعد از ناحیه‌ی پیک جلوگیری نموده است.

۶- مراجع

- [۱] کیوانی، عبدالله، "بتن الیافی و کاربرد آن در سازه‌های بتنی"، کارگاه‌های تخصصی بتن: بتن‌های ویژه، ص. ۳۶-۲۳، مهرماه ۱۳۸۴.
- [۲] لطفی، امین، پورقلی، مهران، "بررسی خواص بتن الیافی"، اولین کنفرانس بین‌المللی بتن‌های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب، گیلان، ایران، ص. ۱۲-۱، ۱۳۸۹.
- [3] Wu Yao, Jie Li, Keru Wu, "Mechanical properties of hybrid fiber-reinforced concrete at low fiber volume fraction". J. Cement and Concrete Research 33. 27-30, 2003.
- [4] Feldman, D. and Zheng, Z. "Synthetic fibres for fibre concrete composites". in High performance polymers and polymer matrix composites: symposium held April 13-16, 1993, San Francisco, California, U.S.A. / editors, Ronald K. Eby *et al.* in Materials Research Society Symposia Proceedings v. 305. Materials Research Society, sburgh, pp: 123-128, 1993.
- [5] A. Bentur, S. Mindess, "Fibre Reinforced Cementitious Composites", Elsevier, London, pp: 12-19, 1990.
- [6] L. G. Sorelli, A. Meda, G. A. Plizzari "Bending and Uniaxial Tensile Tests on Concrete Reinforced with Hybrid Steel Fibers" Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 17, pp: 519-52, 2006.



شکل ۱۱- مقایسه نمودارهای تنش - کرنش نمونه‌های حاوی الیاف با درصد‌های مختلف



شکل ۱۲- مقایسه نمودارهای تنش - کرنش نمونه‌های حاوی الیاف و سیلیکافیوم

با توجه به نمودارهای ارائه شده در این بخش می‌توان گفت، افزایش الیاف به بتن معمولی باعث افزایش مقاومت و همچنین تحمل کرنش بیشتر تا رسیدن به نقطه ماکزیمم می‌شود. همچنین افزایش الیاف بعد از مرحله‌ی رسیدن به نقطه مقاومت ماکزیمم، مقاومت پسماند را برای نمونه‌ها فراهم می‌سازد که از شکست ترد بتن جلوگیری می‌نماید.

۴- نتیجه‌گیری

آزمایش‌های مقاومت فشاری و کششی و تنش-کرنش بر روی نمونه‌های مورد بررسی در تحقیق حاضر نتایج زیر را برداشته‌است:

- ۱- الیاف باعث کاهش روانی بتن خواهند شد و این کاهش در الیاف فولادی مشهودتر است.
- ۲- با افزودن الیاف از هر دو نوع و در تمامی حالت‌های ترکیبی، در سن ۲۸ روز شاهد افزایش مقاومت‌های فشاری و کششی بوده‌ایم.

- [7] S. Ruby, G. Geethanjali, C.J. Varghese, P.M. Priya, "Influence of Hybrid Fiber on Reinforced Concrete" International Journal of Advanced Structures and Geotechnical Engineering.vol 03, pp: 40-43, 2014.
- [8] ASTM C136 - 96 :Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
- [9] ASTM C128: Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate.
- [10] ASTM D2419: Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate.
- [11] ASTM C127: Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate.
- [12] ASTM C1240: Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures.
- [13] BS EN 12390-4: Testing hardened concrete, Compressive strength, Specification for testing machines, 2000.
- [14] ASTM C496: Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.

Evaluation of Mechanical Properties of Concrete Containing a Combination of Steel and Polypropylene Fibers

S. Saharkhizan

Graduate student, Structural Engineering, Islamic Azad University, Malayer Branch

S. Saeidijam*

Assistant Professor, Civil Engineering Department, Islamic Azad University, Hamedan Branch

Abstract

Today improvement the behavior of fiber-reinforced concrete in concrete technology is one of the most common methods. Adding fiber to concrete causes strength growth, improve the stress - strain and will increase ductility. Steel fibers, polypropylene and glass fibers used are most commonly. In this study, concrete water-cement ratio of 0.45 and 400kg/m³ cement content and percentages of steel fiber and polypropylene were built both separately and in combination as well. The results of compressive and tensile strength and stress-strain tests has showed that by adding different percentages of fiber at the age of seven days there has not been much change but the sample compressive and tensile strength of 28 days old has been increased. The greatest strength growth was related to the samples containing 1 percentage of steel fibers. According to stress-strain curves, the strength of toughness has been significantly improved and have gotten formed the behavior of samples. Then for better comparison of results and improve short-term strength by adding Silica fume two examples were built. The results have showed that adding Silica fume causes the strength parameters improved.

Keywords: Polypropylene fibers, steel fibers, fiber composition, compressive strength, tensile strength, stress-strain.

* Corresponding Author: Saeidijam@iust.ac.ir