تحقیقات بتن
سال هشتم، شمارهٔ دوّم
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 ترکیبیِ فولادی و پلی پرو پیلن

سروش سحرخیزان
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ملایر
سعید سعیدی‌جم *
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 وکششی 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 مقاومتیِ بتن می‌شود.

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

* نویسنده مسئول: Saeidijam@iust.ac.ir

۱- مقدمه

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

در این پژوهش سعی شده است تا ویژگی‌های مکانیکی بتن الیافی‌ترکیبی 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 شده‌است.

۱- ۱- تحقیقات صورت گرفته

در سال ۲۰۰۳ «یائو» و همکاران، بتن حاوی الیاف فولادی، کربنی و پروپیلن با درصدهای مختلف را مورد آزمایشِ مقاومت خمشی قرار دادند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که در هرصورت 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. درحالی‌که الیاف دیگر یک تغییر اساسی همانند الیاف فولادی در مشخصات بتن ایجاد نکرده‌اند. در ادامه ترکیب الیاف‌فولادی با الیاف‌کربنی منجر به بیشترین مقاومت شده است[۳]. فلدمن در مقاله‌ای نشان داد که استفاده از الیاف فولادی علاوه برافزایش 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 قرارگرفته تا ۴۰درصد نسبت به نمونه بتن معمولی بیشتر شده است[۴]. در سال ۲۰۰۶ یوتسون و همکاران 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 مقاومت‌کششی بیشتری در بتن‌الیافی ایجاد می‌شود. یک موضوع دیگر افزایش مقاومت‌خمشی 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 بررسی‌شده است. نتایج آزمایش‌های خمشی بر روی نمونه‌های بتن با چهار نقطه اتکا انجام‌شده است. این نتایج نشان‌دهنده آن است که مقاومت‌خمشی الیاف ماکرو و میکرو هر دو باعث افزایش مقاومت بتن می‌شوند. و از طرفی ترکیب الیاف میکرو و ماکرو مقاومت‌خمشی در قطعات کوچک و بزرگ را افزایش می‌دهند. این افزایش مقاومت در ابعاد بزرگ‌تر کمتر است و در تیرهای کوچک‌تر بیشتر قابل‌ملاحظه 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 مقاومت‌فشاری، کششی و خمشی بتن‌الیافی موردبررسی قرار گیرد. نتایج نشان می‌دهند ترکیب ۰/۲۵ درصد الیاف پلی‌پروپیلن و ۰/۷۵ درصد الیاف فولادی بهترین نتایج مقاومتی را حاصل می‌نماید. درواقع با این ترکیب بیشترین مقاومت فشاری، کششی و خمشی حاصل‌شده است. از طرفی استفاده از الیاف فولادیِ 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 بتنِ مسلح‌نشده و بتن‌های مسلح‌شده با درصدهای مختلف الیاف، سه آزمونه ساخته

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

۲-۱- مصالح مورد استفاده

۲- ۱-۱- ماسه

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

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

۲- آزمایش تعیین چگالی اشباع با سطح خشک[1] براساس 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 مورداستفاده از نوع نیمه شکسته و در دو اندازه اسمی تهیه شده و آزمایش‌های زیر بر روی آن انجام شده‌است [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 C127

۲- ۱-۳- سیمان

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

۲- ۱-٤- ماسه

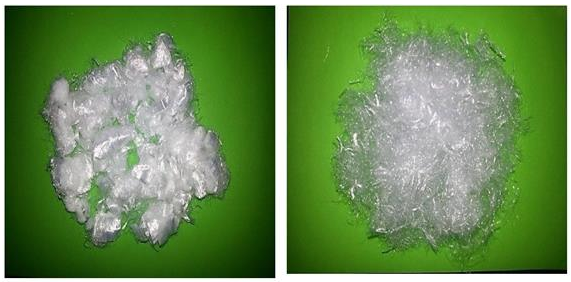
فوق روان کننده مصرفی بر پایه پلی کربوکسیلاتی بانام تجاری WBK50 محصول شرکت LG است. مقدار مصرف فوق‌روان‌کننده به‌صورت چشمی و با معیار رسیدن به اسلامپ حدود هشت سانتی‌متر تعیین گردیده‌است.

۲- ۱-۵- سیلیکافیوم

میکروسیلیس[2] یک‌پوزولان مصنوعی است که به‌طورمعمول محصول جانبی کارخانه‌های تولید آلیاژهای سیلیکون و فروسیلیکون است. اکثر ذرات میکروسیلیس غیر متبلور و در اندازه‌های بسیار کوچک (بین ۰/۱ تا ۰/۵ میکرومتر، در حدود یک‌صدم اندازه ذرات‌سیمان) می‌باشند. استاندارد استفاده از میکروسیلیس در مخلوط‌های‌سیمانی ASTM C1240 است[۱۲]. میکروسیلیس مورداستفاده در این پروژه از کارخانه فروسیلیس سمنان تأمین‌شده است.

۲- ۱-٦- الیاف پروپیلن

الیافی که در این پژوهش به‌کاررفته است، محصول شرکت فارس ایران تولیدشده تحت لیسانس شرکت فوسروک انگلستان است. این الیاف به‌هم پیوسته بوده و برای استفاده از آن باید به‌صورت دستی از هم جدا شوند تا به‌خوبی در مخلوط بتن پراکنده گردند. در شکل ۱ الیاف پلی‌پروپیلن قبل و بعد از جدا شدن نمایش داده شده است. همچنین در جدول ۱ مشخصات الیاف پلی‌پروپیلن مصرفی آمده است.



شکل۱- الیاف پلی‌پروپیلن

جدول ۱- مشخصات الیاف پلی‌پروپیلن

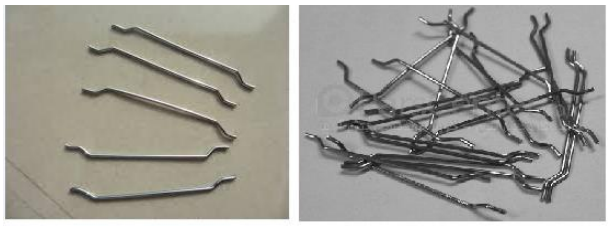
ردیف	ویژگی	نتیجه آزمایشگاهی
۱	وزن مخصوص(gr/cm^3)	۰/۹۱
۲	قطر الیاف(μm)	۲۲
۳	شکل مقطع عرضی	دایروی
۴	طول الیاف(mm)	۱۹
۵	مقاومت در برابر واکنش سیلیسی قلیایی	عالی
۶	دمای ذوب (درجه سانتی‌گراد)	۱۷۰-۱۶۰
۷	جذب آب	۰
۸	هدایت الکتریکی	بسیار پایین
۹	هدایت حرارتی	بسیار پایین
۱۰	مقاومت(MPa)	۴۰۰ -۳۵۰

[1] Surface Saturated Dry

[2] Silica Fume

۲- ۱-۷- الیاف فولادی

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 فولادیِ شکل‌یافته مورد استفاده در این پژوهش نشان داده شده‌است. هم‌چنین در جدول ۲ مشخصات این الیاف ارائه شده‌است.



شکل۲: الیاف فولادی

جدول۲- 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 درمجموع هفت نمونه‌ی 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 شده است:

N: نمونه بتن بدون الیاف

PP: الیاف پلی پروپیلن

St: الیاف فولادی

Sf: سیلیکافیوم

بدین طریق برای نام‌گذاری هر آزمونه از عبارات فوق به‌همراه یک عدد قبل از آن‌ها استفاده می‌شود. عدد یاد شده نشان‌دهنده‌ی مقدار الیاف مورد استفاده در آن آزمونه بر حسب درصد می‌باشد. نام-گذاری‌های مورد استفاده در این پژوهش بطور کامل در جدو ل 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+075St	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- آزمایش‌های انجام‌شده

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 ساخته‌شده 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 موردنظر (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 برزیلی

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

سطح قاعده‌ی نمونه توسط دو خط عمود بر هم علامت‌گذاری می‌شود و سپس نمونه در بین صفحات جک بتن شکن قرار می‌گیرد. برای تقسیم متوازن فشار از دوتیغه‌ی چوبی در بالا و پایین نمونه‌ها استفاده می‌شود. بار به‌تدریج افزایش‌یافته و در اثر فشار در جهت عمود بر امتداد فشار کشش ایجادشده و نمونه گسیخته می‌شود. افزایش بار یکنواخت بوده و با سرعتی معادل هفت تا ۱۴ کیلوگرم نیرو بر سانتی‌متر مربع در دقیقه تا زمان گسیختگی نمونه خواهد بود. در این زمان حداکثر بار وارده توسط دستگاه قرائت و ثبت شده و توسط روابطی به تنش گسیختگی تبدیل می‌شود.

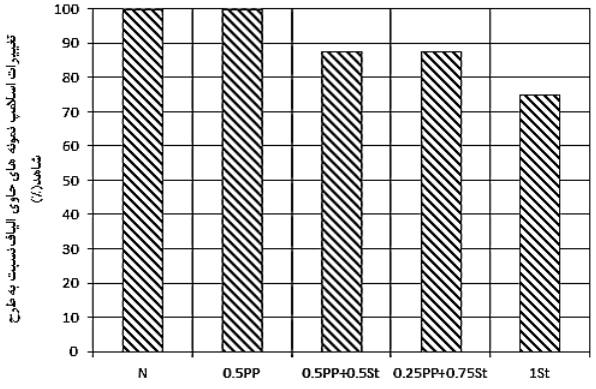
۲-۳-۳- آزمایش تنش-کرنش

برای هر نمونه یک آزمونه استوانه‌ای ۱۵×۳۰ سانتی‌متری جهت انجام آزمایش تنش- کرنش در نظر گرفته شده‌است. آزمونه‌ها پس از قالب‌گیری به مدت ۲۸ روز در اتاق مرطوب و حوضچه آب نگهداری شده و در سن ۲۸ روزه آزمایش تنش-کرنش بر روی آن‌ها انجام شده‌است. جهت ایجاد سطح صاف و اعمال بار یکنواخت به آزمونه، دو سر آزمونه با گوگرد کپینگ شده‌است. برای اندازه‌گیری تغییرشکل عرضی از یک حلقه فلزی که توسط سه پیچ به بدنه آزمونه متصل گردیده و یک‌گیج با دقت ۰/۰۰۲ میلی‌متر استفاده شده‌است. اندازه‌گیری تغیرات طول آزمونه به‌وسیله یک گیج با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر صورت گرفته‌است. روش انجام آزمایش بدین‌صورت بوده که پس از کپینگ، توزین و اندازه‌گیری طول و قطر، آزمونه درون جک بتن شکن قرارگرفته و با اعمال بار، میزان تغییر شکل طولی و عرضی آزمونه در مقادیر ثابت افزایش نیروی فشاری ثبت گردیده و با استفاده از داده‌های آزمایش، نمودار تنش- کرنش آزمونه رسم شده‌است. در این آزمایش از جک ADR 2000 با ظرفیت ۲۰۰۰ کیلونیوتن استفاده گردیده‌است.

۳- ارائه و تفسیر نتایج

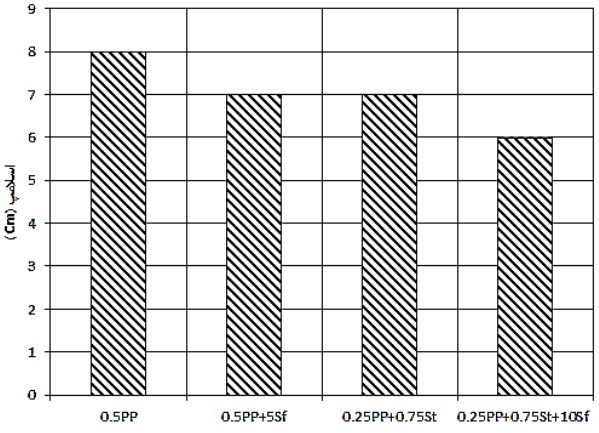
۳-۱- نتایج آزمایش اسلامپ

با توجه به شکل۳ حداکثر کاهش روانی در مقایسه با نمونه بتن شاهد مربوط به نمونه‌ی 1ST و به میزان ٪۷۵ اسلامپ نمونه شاهد می‌باشد و نمونه 0.5PP هیچ کاهش روانی نسبت به نمونه شاهد نداشته است. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت اضافه کردن الیاف باعث کاهش روانی بتن خواهد شد و اثر الیاف فولادی مورداستفاده در این پژوهش نسبت به الیاف پلی‌پروپیلن در یک مقدار ثابت در کاهش روانی بیشتر بوده است.



شکل۳- تغییرات اسلامپ نمونه‌های حاوی الیاف نسبت به طرح شاهد

در شکل۴ تغییرات اسلامپ نمونه‌های حاوی الیاف در اثر جایگزین کردن بخشی از سیمان با سیلیکافیوم در دو مورد از آزمونه‌ها ارائه شده‌است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود نمونه‌های حاوی سیلیکافیوم نسبت به نمونه‌های مشابه اسلامپ کمتری دارند.

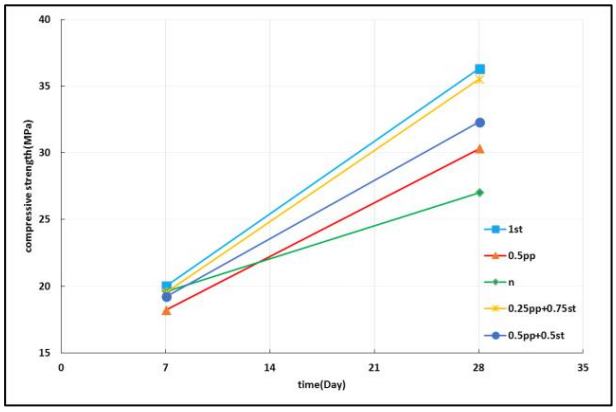


شکل۴- تغییرات اسلامپ نمونه‌های حاوی الیاف در اثر جایگزین کردن بخشی از سیمان با سیلیکافیوم

۳-۲- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

با توجه به این‌که در این پژوهش برای هر نوع بتن سه آزمونه ساخته شده‌است، در این بخش مقادیر میانگینِ مقاومت‌های فشاری ملاک عمل قرار می‌گیرد. باتوجه به شکل ۵ در سن هفت روزه، مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی الیاف نسبت به بتن شاهد تغییر خاصی نداشته و در برخی نمونه‌ها کاهشِ مقاومت نیز وجود داشته‌است. دلیل این امر را می‌توان این‌گونه توجیه نمود که با افزودن الیاف،

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 مقاومتِ تمامی نمونه‌های بتن الیافی نسبت به بتن معمولی می‌باشیم.



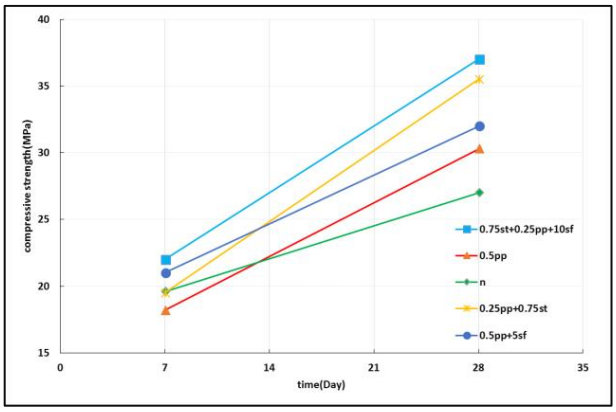
شکل۵- روند تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی الیاف با درصدهای مختلف

تغییرات مقادیر مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی الیاف با درصدهای مختلف در سن ۲۸ روز نسبت به طرح شاهد در جدول ۴ ارائه شده‌است. با توجه به نتایج ارائه‌شده در این جدول مشاهده می‌شود که الیاف فولادی عملکرد بهتری نسبت به الیاف پروپیلن داشته‌اند. الیاف به دو طریق در هنگام گسیختگی عمل می‌کنند که شامل بیرون کشیده شدن و یا گسیختگی الیاف می‌باشد. لذا عملکرد الیاف فولادیِ شکل‌یافته در این پژوهش نسبت به الیاف پروپیلن 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

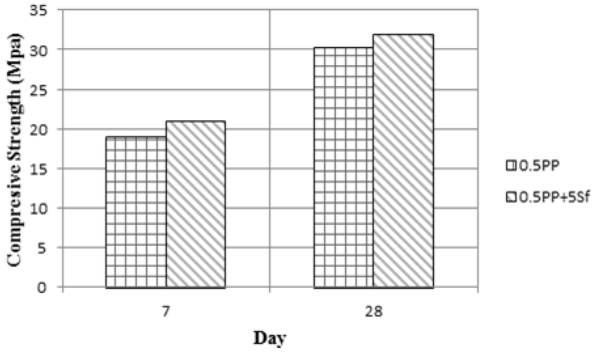
	نام طرح	درصد افزایش مقاومت فشاری۲۸ روزه نسبت به طرح شاهد
۱	0.5PP	۱۳
۲	0.5PP+0.5St	۲۰
۳	0.25PP+0.75St	۳۱
۴	1St	۳۵

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 سیلیکافوم حدود ۱۰٪ تا ۱۵٪ افزایش یافته است.

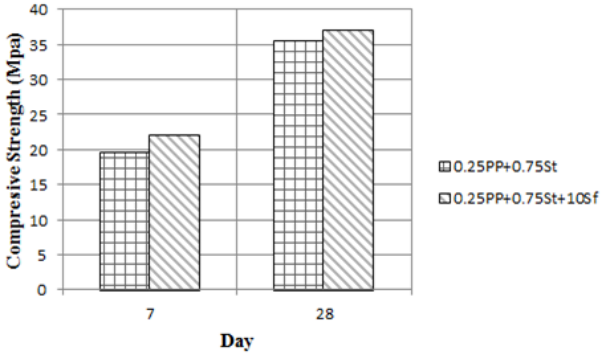


شکل ۶- روند تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی الیاف و سیلیکافیوم

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



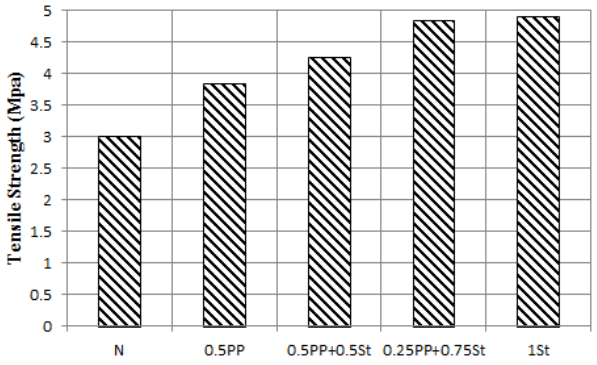
شکل ۷- تاثیر افزودن ۵ درصد سیلیکافیوم به نمونه حاوی ۰/۵ درصد الیاف پروپیلن



شکل۸- 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

همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود افزودن الیاف پروپیلن و فولادی به بتن معمولی در تمامی درصدها سبب افزایش مقاومت کششی میانگین شده و بیشترین افزایش مقاومت کششی مربوط به نمونه‌ی حاوی یک درصد الیاف فولادی بوده‌است.



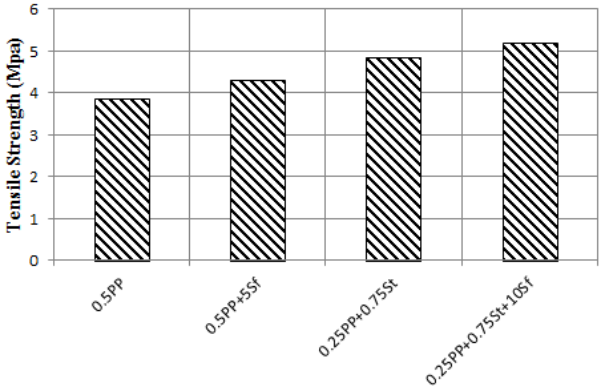
شکل ۹- مقایسه مقادیر مقاومت کششی نمونه‌های حاوی الیاف با درصدهای مختلف

درصد افزایش مقاومت‌کششی نسبت به طرح شاهد در نمونه‌های حاوی الیاف با درصدهای مختلف در جدول ۵ ارائه شده‌است. با توجه به نتایج ارائه‌شده در این جدول مشاهده می‌شود که تمامی نمونه‌های بتن الیافی نسبت به بتن معمولی مقاومت کششی بیشتری کسب کرده‌اند و علاوه بر این نمونه‌هایی که حاوی الیاف فولادی می‌باشند نسبت به نمونه‌های حاوی الیاف پروپلین افزایش مقاومت کششی بیشتری را تجربه کرده‌اند.

تأثیر افزودن سیلیکافیوم بر مقادیر مقاومت کششی دو نمونه 0.5PP و 0.25PP+0.75St در شکل ۱۰ نشان داده شده‌است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود افزودن سیلیکافیوم به بتن‌های حاوی الیافِ پروپیلن و فولادی علاوه بر افزایش مقاومت فشاری، سبب افزایش مقاومت کششی نیز می‌شود.

جدول۵- درصد افزایش مقاومت کششی نسبت به طرح شاهد در نمونه‌های 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

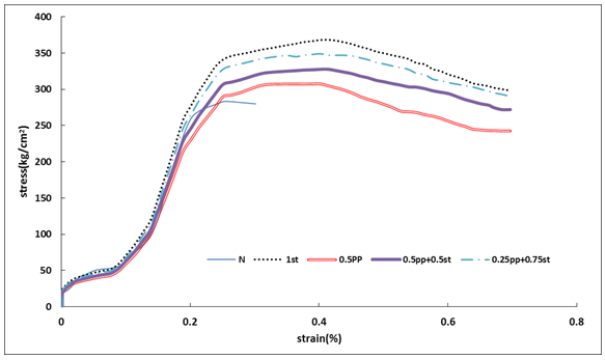


شکل ۱۰- تاثیر افزودن سیلیکافیوم به نمونه‌های حاوی الیاف

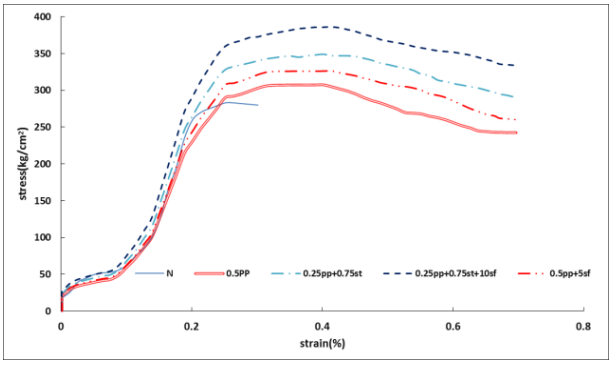
۳-٤- نتایج آزمایش تنش-کرنش

در این بخش نمودارهای تنش-کرنش نمونه‌های حاوی الیاف با درصدهای مختلف با نمودار تنش-کرنش بتن شاهد مقایسه می‌شود. بدین منظور این نمودارها بر روی یک شکل رسم شده‌است. همانطور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود تمامی نمونه‌های حاوی الیاف نسبت به نمونه بتن شاهد، شکل‌پذیری و مقاومت بیش‌تری دارند. با توجه به این‌که کرنش نظیر گسیختگی در تمامی نمونه‌های حاوی الیاف تقریباً یکسان می‌باشد، بیشتر بودن مقاومتِ حداکثر نمونه 1St نسبت به سایر نمونه‌ها منجر به افزایش سطح زیر منحنی و بعبارتی افزایش طاقت و ظرفیت جذب انرژی در این نمونه شده‌است.

در شکل ۱۲ نمودارهای تنش-کرنش دو نمونه 0.5PP و 025PP+0.75St با و بدون حضور سیلیکافیوم ارائه شده‌است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود افزودن سیلیکافیوم به این دو نمونه سبب افزایش مقاومت و جذب انرژی آن‌ها شده‌است.



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



شکل ۱۲- مقایسه نمودارهای تنش – کرنش نمونه‌های حاوی الیاف و سیلیکافوم

با توجه به نمودارهای ارائه‌شده 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.

٤- نتیجه‌گیری

آزمایش‌های مقاومت فشاری و کششی و تنش-کرنش بر روی نمونه‌های مورد بررسی در تحقیق حاضر نتایج زیر را در 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 بوده ایم.

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 طرح‌اختلاط 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 بیشینه 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.

٦- 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.

[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] ASTMD2419: 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 concret, 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*
Asisstant Prefessor, 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/m^3cement 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 thoughness 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