

بررسی ویژگی‌های مکانیکی بتن‌های حاوی الیاف سلولزی و پلی‌پروپیلن

دکتر محمد شکرچی‌زاده^۱، بهنام کیانی^۱، فرزانه سامی^۱، تارا رحمانی^۱، جواد اولی‌پور^۲

۱- انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران، ۲- شرکت ژیان

Email: shekarch@ut.ac.ir, behnam_kiani@ut.ac.ir, fsami@ut.ac.ir, tara_rahmani@ut.ac.ir,
jyane_const@yahoo.com

چکیده

امروزه استفاده از الیاف به دلیل تاثیر مثبت آن‌ها بر خواص بتن مورد توجه قرار گرفته است. طیف وسیع الیاف و دسته‌بندی‌های متفاوتی که از نظر جنس، هندسه و نحوه تولید می‌توان برای آن‌ها قائل شد، باعث شده بتن‌های الیافی هم خواص گسترده و متنوعی به خود بگیرند. با توجه به ورود الیاف سلولزی به صنعت بتن جهان در دو دهه اخیر، تلاش‌هایی به منظور گسترش استفاده از آن در پروژه‌های داخل کشور صورت گرفته اما به دلیل عدم شناخت کافی، نیاز به تحقیقات بیشتر در این زمینه احساس می‌شود. با توجه به اهمیت پارامترهای مقاومتی در سازه‌های بتنی، در این تحقیق مهم‌ترین ویژگی‌های مکانیکی شامل مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مدول الاستیسیته و مقاومت بیرون کشیدن میلگرد^۱ آزمایش شده و نتایج آن ارائه گردیده است. الیاف سلولزی مورد استفاده در درصدهای حجمی ۰/۰۷۵، ۰/۱۲۵ و ۰/۱۷۵ و الیاف پلی‌پروپیلن، به میزان ۰/۱۲۵ بکار گرفته شده‌است. بر اساس آنچه در طی این تحقیقات بدست آمده، در مجموع حضور الیاف بر مقاومت‌های مکانیکی بتن تاثیر منفی نمی‌گذارد.

واژه‌های کلیدی: بتن الیافی، خصوصیات مکانیکی، الیاف سلولزی، الیاف پلی‌پروپیلن.

Abstract

In recent years, considerable amount of work has been conducted on the use of different types of fibers in concrete, because of the beneficial effect of fiber on the properties of concrete. There are different types of fibers commercially available, which are generally classified with respect to the geometry and also the production process of fibers; therefore, fiber reinforced concrete can have inconsistent properties. During the past two decades, cellulose fibers have been widely used in concrete industry and some effort has been devoted to extend fiber applications in Iran. However, further studies need to be undertaken on this issue. Due to the importance of strength parameters in concrete structures, this study investigates the mechanical properties of cellulose and polypropylene fiber reinforced concrete. Cellulose fibers were used in three volume fractions (e.g., 0.075, 0.125, and 0.175%) whereas polypropylene fiber volume fraction was only 0.125%.

¹ Pull-out



مقدمه

با توجه به رشد روز افزون استفاده از سایر مواد در بتن برای افزایش کیفیت بتن، در سال‌های اخیر مطالعات در خصوص بررسی خواص الیاف گسترده‌تر شده است. انواع مختلف الیاف که در بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد عبارتست از الیاف فولادی، الیاف شیشه‌ای، الیاف پلیمری و الیاف طبیعی. در حقیقت هیچ نوع الیافی تمام ویژگی‌های بتن را بهبود نمی‌دهد و هرکدام از انواع الیاف بدلیل ماهیت خود ویژگی‌های خاصی از بتن را بهبود می‌بخشد در این میان، الیاف پلی‌پروپیلن بدلیل خواصی همچون افزایش شکل‌پذیری و ظرفیت محبوسیت و کاربرد گسترده‌ای در صنعت بتن پیدا کرده‌اند [۱]. با این وجود از این نوع الیاف انتظار افزایش مقاومت بتن نمی‌رود [۲] اما استفاده از این الیاف در بتن باعث بهبود خواص مربوط به طاق [۳-۲] و بطور موثر باعث کاهش ترک‌خوردگی ناشی از جمع‌شدگی در بتن و در نتیجه افزایش دوام بتن می‌شوند [۷-۴]. در عین حال کاربرد این الیاف در مواردی که مشکلاتی در رابطه با کارایی بتن ایجاد می‌کنند، حذف می‌شوند. علاوه بر آن در مواردی که سطح نهایی بتن و کارپذیری بتن در انتها مورد توجه باشد، کاربرد آن‌ها محدودتر شده‌است. با توجه به مطالب عنوان شده، الیاف طبیعی می‌تواند جانشین مناسبی برای الیاف پلی‌پروپیلن باشد. در سال‌های اخیر استفاده از الیاف طبیعی بدلیل قیمت کمتر به شکل گسترده در بتن مورد استفاده قرار گرفته است [۸]. اما استفاده گستره از آن‌ها نیازمند تولید انبوه و در نتیجه کاهش قیمت آن می‌باشد. یکی از انواع الیاف طبیعی که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته، الیاف سلولزی می‌باشد که تاکنون در موارد معدودی استفاده شده اما کاربرد این الیاف روندی روبه رشد دارد [۹]. این الیاف اگرچه مانند الیاف پلی‌پروپیلن تأثیری بر ویژگی‌های مقاومتی بتن ندارند، اما نکته مثبت آن‌ها این است که کارپذیری بتن را تحت تأثیر قرار نمی‌دهند [۱۰]. مهم‌ترین ویژگی این الیاف جلوگیری از ترک خوردگی بتن ناشی از انواع جمع‌شدگی‌هاست. در این تحقیق سعی شده تا خواص مکانیکی بتن‌های حاوی این دو نوع الیاف با یکدیگر مقایسه شود. بدین منظور آزمایش‌ها با محوریت الیاف سلولزی در سه درصد حجمی ۰/۰۷۵، ۰/۱۲۵ و ۰/۱۷۵ و یک درصد حجمی ۰/۱۲۵ الیاف پلی‌پروپیلن و یک نمونه شاهد، در نسبت آب به سیمان ۰/۴۷ انجام شده‌است.

مصالح مصرفی:

- مصالح سنگی از شرکت متوساک تهیه شده، ماسه مورد استفاده با بزرگترین اندازه ۹ میلی‌متر و مصالح درشت‌دانه با بزرگترین اندازه ۱۹ میلی‌متر می‌باشد.
- از سیمان تپ ۲ تهران استفاده شده است.
- دو نوع الیاف پلی‌پروپیلن و سلولزی (Matrix Fiber UF-500) بکار برده شده که مشخصات آن‌ها در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های الیاف سلولزی و پلی‌پروپیلن

خصوصیت	واحد	سلولزی	پلی‌پروپیلن
طول	mm	۲/۱-۲/۵	۴
قطر	μm	۱۸	۲۲
نسبت طول به قطر (نسبت ظاهری)	mm/mm	۱۳۰	۱۸۰
چگالی	g/cm ³	۱/۱	۰/۹۱
مقاومت کششی	kg/cm ²	۶۳۰۰-۹۲۰۰	۳۵۰۰-۴۰۰۰

طرح اختلاط:



جزئیات طرح اختلاط براساس روش ملی در جدول ۲ ارائه شده است. طراحی برای مقاومت ۳۵ مگاپاسگال و با نسبت آب به سیمان ۰/۴۷ انجام شده است. الیاف سلولزی در سه درصد حجمی ۰/۰۷۵، ۰/۱۲۵ و ۰/۱۷۵ و الیاف پلی‌پروپیلن به میزان ۰/۱۲۵ درصد مورد استفاده قرار گرفته‌اند. میزان مصرف الیاف در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۲- جزئیات طرح اختلاط

مصالح	شن بادامی	شن نخودی	ماسه	سیمان (تیپ ۲)	آب
وزن مصالح (kg)	۴۳۵	۲۶۱	۱۰۴۴	۴۰۰	۱۸۸
درصد جذب آب	٪۱/۸۹	٪۲/۱	٪۲/۶۸	-	-

جدول ۲- میزان مصرف الیاف

نوع الیاف	درصد حجمی (٪)	وزن الیاف بر حسب کیلوگرم در یک متر مکعب بتن
سلولزی	۰/۰۷۵	۰/۸۳
سلولزی	۰/۱۲۵	۱/۳۷
سلولزی	۰/۱۷۵	۱/۹
پلی‌پروپیلن	۰/۱۲۵	۱/۱۳

به منظور پخش یکنواخت الیاف سلولزی در بتن، از روش پیش اختلاط^۲ استفاده گردید. روش کار به این صورت است که الیاف به همراه مقداری آب در داخل میکسری که در شکل ۱-۵ نشان داده شده ریخته می‌شوند. پس از مخلوط کردن به مدت ۱۰ دقیقه، الیاف به صورت ورقه‌ورقه از هم باز شده و با مصالح مخلوط می‌شوند.



(ب)



(الف)

شکل ۱- الف) نمونه الیاف سلولزی پخش نشده در بتن (ب) مخلوط کردن الیاف قبل از مصرف



خواص بتن تازه:

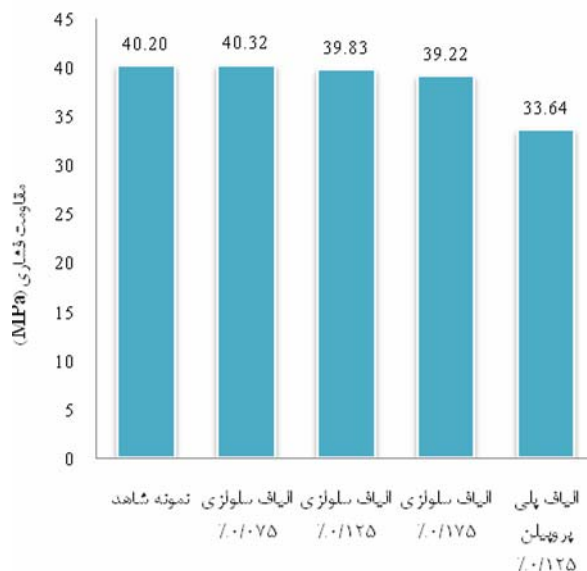
مقادیر بدست آمده برای اسلامپ بتن‌های حاوی الیاف سلولزی و پلی‌پروپیلن در جدول ۴ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود افزایش درصد الیاف سلولزی تا حدودی کارپذیری بتن را کاهش داده است، اما میزان تأثیر آن در مقایسه با الیاف پلی‌پروپیلن چندان قابل‌ملاحظه نیست. به عنوان مثال، استفاده از ۰/۱۲۵ درصد الیاف سلولزی، تنها ۲ cm اسلامپ مخلوط بتن کنترل را کاهش داده در حالی که استفاده از همین مقدار الیاف پلی‌پروپیلن اسلامپ بتن را ۶ cm کاهش داده است. در نتیجه می‌توان گفت اسلامپ بتن‌های حاوی ۰/۱۲۵ درصد الیاف پلی‌پروپیلن حدود نصف بتن فاقد الیاف می‌باشد.

جدول ۴- اسلامپ نمونه‌های حاوی الیاف سلولزی و پلی‌پروپیلن

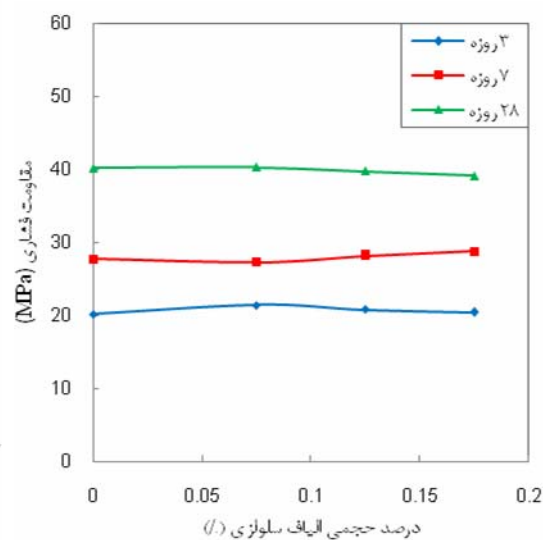
اسلامپ (cm)	نمونه
۱۱-۱۳	کنترل
۱۰-۱۲	الیاف سلولزی ۰/۰۷۵ درصد
۹-۱۱	الیاف سلولزی ۰/۱۲۵ درصد
۸-۱۰	الیاف سلولزی ۰/۱۷۵ درصد
۵-۷	الیاف پلی‌پروپیلن ۰/۱۲۵ درصد

آزمایش تعیین مقاومت فشاری:

مهمترین و متداول‌ترین ویژگی که به عنوان مشخصه بتن بیان می‌شود مقاومت فشاری می‌باشد. بسیاری از مشخصه‌های بتن با مقاومت فشاری رابطه دارند. آزمایش‌های مقاومت فشاری بتن مطابق استاندارد BS-1881 بر روی نمونه‌های مکعبی به ابعاد ۱۵۰ میلی‌متر و در سنین ۳، ۷ و ۲۸ روزه انجام گرفته که نتایج آن در شکل ۲ ارائه شده است.



(ب)



(الف)

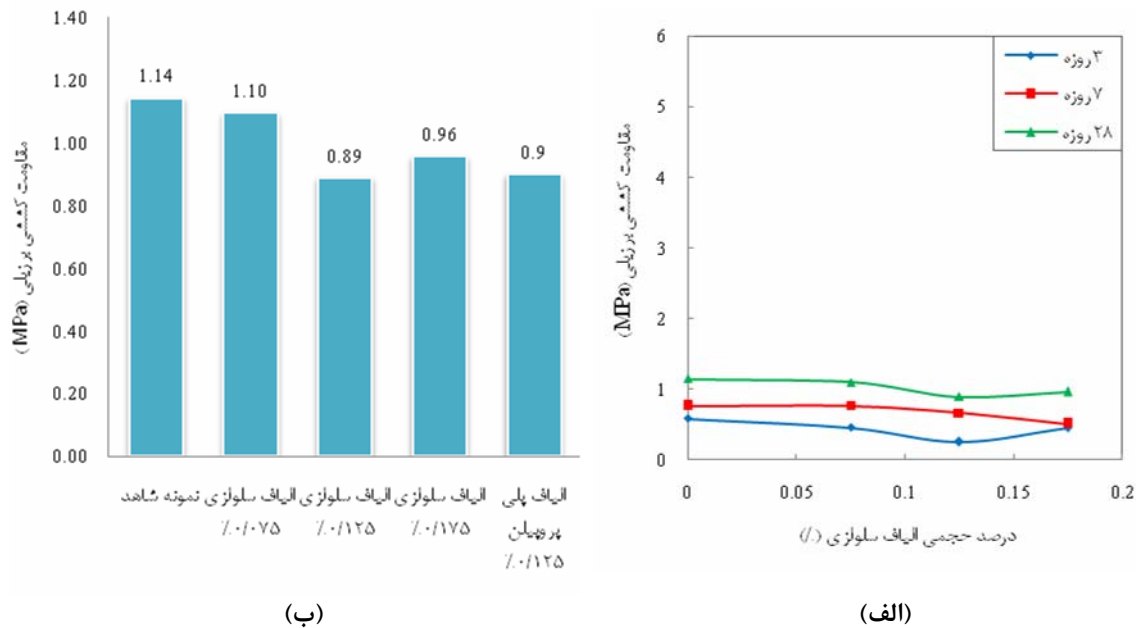
شکل ۲- نتایج آزمایش مقاومت فشاری (الف) نمونه‌های حاوی الیاف سلولزی و نمونه شاهد (ب) مقایسه مقاومت فشاری ۲۸ روزه در نمونه‌های حاوی الیاف سلولزی و پلی‌پروپیلن



همان‌طور که مشاهده می‌شود استفاده از الیاف سلولزی در درصد‌های مختلف، تاثیر محسوسی بر مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی نداشته است در حالی که مصرف الیاف پلی‌پروپیلن مقاومت فشاری را تا حدودی کاهش داده است.

آزمایش تعیین مقاومت کشش برزیلی:

آزمایش تعیین مقاومت کشش برزیلی بتن مطابق استاندارد ASTM C496 بر روی نمونه‌های استوانه‌ای استاندارد به قطر ۱۵۰ و ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر در سنین ۳، ۷ و ۲۸ روز انجام گرفته است. نتایج آزمایش در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- نتایج آزمایش مقاومت کششی برزیلی (الف) نمونه‌های حاوی الیاف سلولزی و نمونه شاهد (ب) مقایسه مقاومت کششی برزیلی ۲۸ روزه در نمونه‌های حاوی الیاف سلولزی و پلی‌پروپیلن

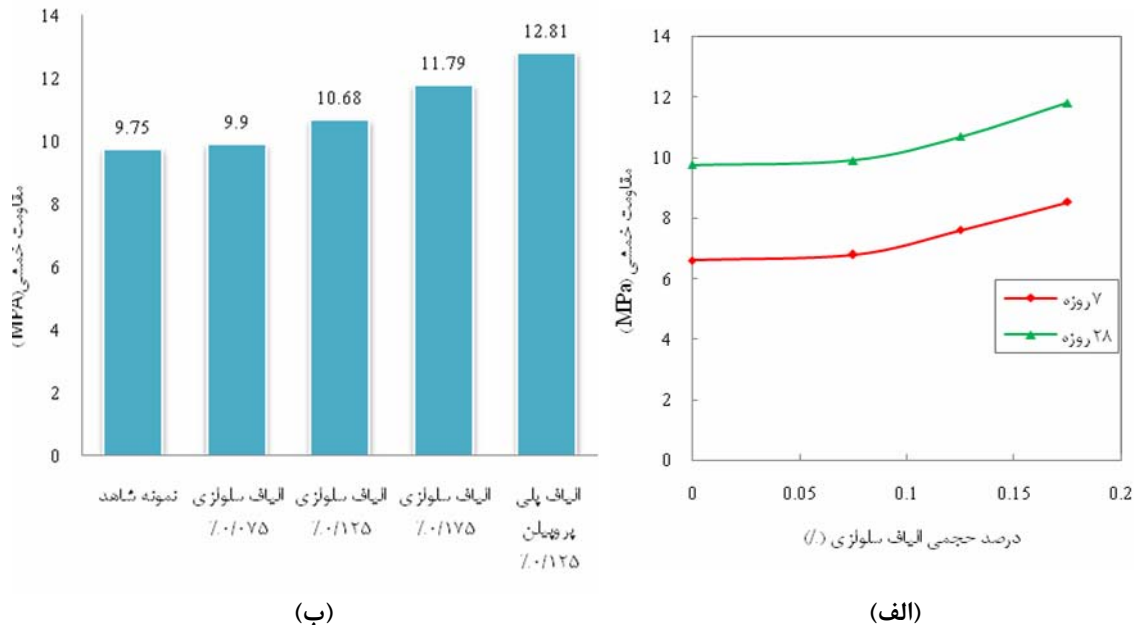
بر اساس نتایج بدست آمده، استفاده از الیاف سلولزی و پلی‌پروپیلن مقاومت کششی برزیلی ۲۸ روزه بتن را تا حدودی کاهش داده است. ولی این مقدار اندک و قابل صرف نظر کردن می‌باشد.

آزمایش تعیین مقاومت خمشی:

آزمایش تعیین مقاومت خمشی بتن مطابق استاندارد ASTM C293 بر روی نمونه‌های منشوری به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰×۵۰۰ میلی‌متر در سنین ۷ و ۲۸ روز انجام گرفته است. مقاومت خمشی بتن در تخمین باری که تحت آن ترک خوردگی توسعه می‌یابد ارزش دارد. عدم وجود ترک در حفظ پیوستگی سازه بتنی و در بسیاری موارد برای حفاظت آرماتورها در برابر خوردگی، به مقدار قابل ملاحظه‌ای حائز اهمیت می‌باشد.

در شکل ۴ نتایج مربوط به آزمایش مقاومت خمشی مشاهده می‌شود. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد استفاده از الیاف سلولزی مقاومت خمشی بتن را بهبود می‌بخشد و با افزایش درصد الیاف از ۰/۰۷۵ درصد به ۰/۱۷۵ درصد مقاومت خمشی ۲۸ روزه حدود ۲۰ درصد افزایش یافته است. استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن هم در بهبود مقاومت خمشی بتن موثر بوده است و مقاومت خمشی

۲۸ روزه بتن‌های حاوی ۰/۱۲۵ درصد الیاف پلی‌پروپیلن و سلولزی به ترتیب ۱۲/۸ و ۱۰/۷ مگاپاسگال می‌باشد. به نظر می‌رسد عملکرد مناسب الیاف پلی‌پروپیلن در خمش به دلیل بیشتر بودن نسبت ظاهری آنها در مقایسه با الیاف سلولزی می‌باشد.



شکل ۴- نتایج آزمایش مقاومت خمشی (الف) نمونه‌های حاوی الیاف سلولزی و نمونه شاهد (ب) مقایسه مقاومت خمشی ۲۸ روزه در نمونه‌های حاوی الیاف سلولزی و پلی‌پروپیلن

آزمایش تعیین مدول الاستیسیته:

این آزمایش مطابق ASTM C469 بر روی نمونه‌های استوانه‌ای استاندارد به قطر ۱۵۰ و ارتفاع ۳۰۰ میلیمتر در سن ۲۸ روز انجام گرفته است. برای آزمایش مدول الاستیسیته، نمونه‌های بتنی با استفاده از گوگرد مذاب کلاهیگ گذاری شدند. ابتدا یک برآورد اولیه از مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی (f'_c) صورت گرفت. سپس در گام‌های متوالی تا مقدار $0.35 f'_c$ بر روی نمونه بارگذاری شده و در گام‌های تنش مختلف میزان کرنش متناظر قرائت شد تا به کمک آن مدول الاستیسیته نمونه‌های بتنی تعیین شود. باید توجه داشت که در مبانی تئوریک تا حدود $0.40 f'_c$ برای بتن رفتار الاستیک در نظر گرفته می‌شود. همچنین در حین بارگذاری و تعیین مدول الاستیسیته، میزان مقاومت فشاری برآورد شده نیز اصلاح می‌شود. برای تعیین مدول الاستیسیته، بارگذاری تا چند نوبت تکرار شده تا در مراحل مختلف میزان مدول الاستیسیته بدست آمده یکسان بوده و تکرار شود.

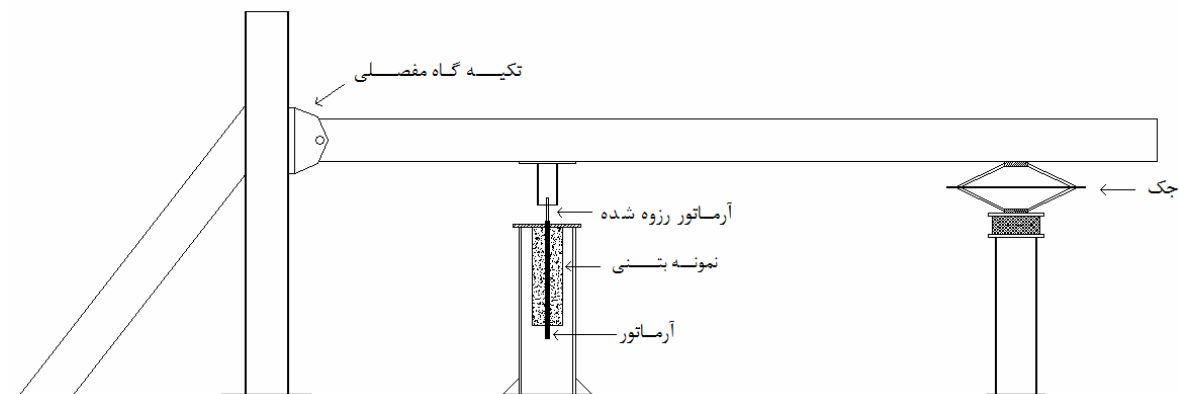
در شکل ۵ نتایج بدست آمده مربوط به مدول الاستیسیته نمونه‌ها ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش درصد الیاف از ۰/۰۷۵ درصد به ۰/۱۷۵ درصد تغییر چندانی در مدول الاستیسیته ایجاد نشده و استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن هم چندان موثر نبوده است. می‌توان چنین اظهار نظر نمود که چون عملکرد اصلی الیاف در بتن پس از اولین ترک‌خوردگی می‌باشد بنابراین تاثیر قابل ملاحظه‌ای روی نتایج آزمایش مدول الاستیسیته ندارند.



شکل ۵- مقایسه مدول الاستیسیته نمونه‌های حاوی الیاف سلولزی و پلی‌پروپیلن

آزمایش بیرون کشیدن میلگرد^۳:

در این آزمایش همان‌طور که در شکل ۶ دیده می‌شود، پس از قرار دادن میلگرد در یک استوانه بتنی، با ایجاد تکیه گاه فولادی بر سطح بتن، میلگرد توسط یک جک به طرف بیرون کشیده می‌شود. این آزمایش می‌تواند مقایسه خوبی از پیوستگی فولاد و بتن در حالتی که از محصورشدگی‌های مختلف و فولادهای با طول‌گیری متفاوت استفاده شده و یا انواع الیاف در بتن مورد استفاده قرار گرفته است، فراهم کند.



ساخت و عمل‌آوری نمونه‌ها:

بنابراین بهترین قالب برای ساخت نمونه‌های استوانه‌ای بتنی، استفاده از لوله پلیکا می‌باشد. دلیل این موضوع اینست که شکافت بتن تنها در قسمت میانی نمونه اتفاق بیفتد و قسمت‌های بالایی و پایینی نمونه در مود شکافت بتن مشارکت نداشته باشند، بتن

³ Pull-out

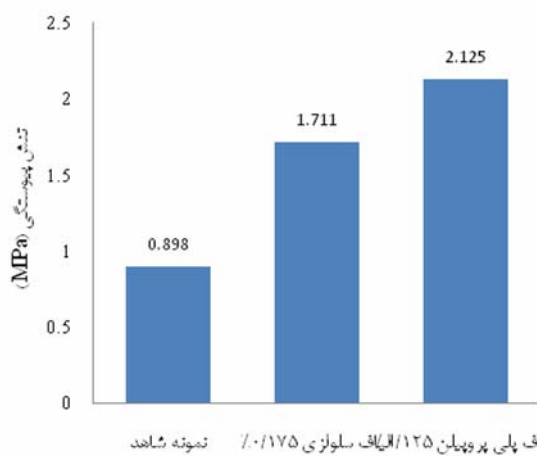


در این دو قسمت را با استفاده از ورقه‌های پلاستیکی، شکاف می‌دهیم. بتن‌ریزی داخل نمونه‌ها را مرحله به مرحله و به صورت لایه‌ای انجام می‌دهیم و هر لایه را با استفاده از میله مخصوص و بیره می‌کنیم تا خلل و فرج داخل بتن از بین برود.

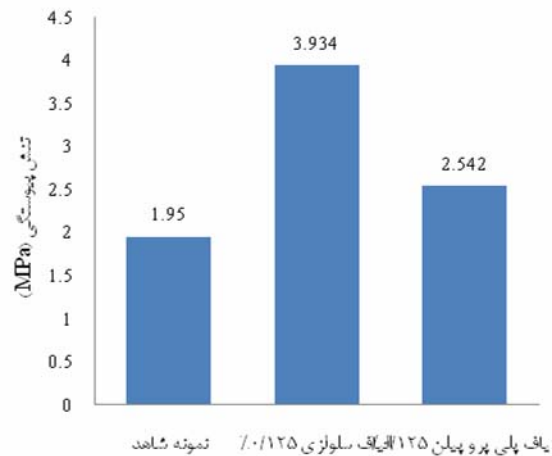
برای عمل‌آوری مناسب بتن و انجام کامل واکنش‌های هیدراتاسیون، با استفاده از چند گونی مرطوب سطح نمونه‌ها را به طور کامل می‌پوشانیم و به مدت ۷ روز و در هر روز ۲ بار به آنها آب می‌دهیم، تا محیطی کاملا مرطوب را برای آنها آماده کرده باشیم.

نتایج آزمایش:

در شکل‌های ۷ نتایج آزمایش بیرون کشیدن میلگرد نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود استفاده از الیاف باعث افزایش مقاومت پیوستگی شده است.



(ب)



(الف)

شکل ۷- نتایج آزمایش بیرون کشیدگی آرماتور در نمونه‌های استوانه‌ای حاوی الیاف سلولزی و پلی‌پروپیلن (الف) آرماتور ۱۶ در نمونه‌های به قطر ۹۰ میلیمتر و طول گیرداری ۸ سانتیمتر (ب) آرماتور ۲۵ در نمونه‌های به قطر ۹۰ میلیمتر و طول گیرداری ۱۲/۵ سانتیمتر

نتیجه‌گیری:

نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری و مقاومت کشش برزیلی نشان می‌دهد که استفاده از الیاف سلولزی تأثیر چندانی بر مقاومت فشاری و کشش برزیلی ندارد. در نمونه‌های حاوی الیاف پلی‌پروپیلن نیز مقاومت فشاری اندکی کاهش یافته اما در مقاومت کشش برزیلی بتن تغییری مشاهده نشده است.

نتایج بدست آمده از آزمایش مقاومت خمشی نشان می‌دهد که بتن‌های حاوی الیاف سلولزی نسبت به نمونه‌های شاهد مقاومت خمشی بیشتری دارند و با افزایش درصد الیاف، مقاومت خمشی نیز بیشتر شده است. در درصد الیاف ۰/۱۲۵ مقاومت خمشی ۱۵ درصد برای بتن‌های حاوی الیاف سلولزی افزایش یافته در حالی که در بتن‌های حاوی الیاف پلی‌پروپیلن این افزایش به میزان ۳۰ درصد مشاهده شده است.



در تمام آزمایش‌های فوق یکی از نکات مثبت مربوط به الیاف سلولزی عدم تاثیر منفی آن‌ها بر کارپذیری بتن می‌باشد که در مقایسه با تاثیر منفی الیاف پلی‌پروپیلن نکته‌ای مثبت تلقی می‌شود.

کاربرد مهم الیاف سلولزی در کنترل ترک‌های پلاستیک در بتن تازه می‌باشد که نتایج آن بطور جداگانه منتشر خواهد شد.

مراجع

- 1- Hsie, Machine., Tu, Chijen., Song, P.S., "Mechanical properties of polypropylene hybrid fiber-reinforced concrete", Materials Science and Engineering, A 494, 153-157, 2008.
- 2- Alhozaimy, A. M., Soroushian P., Mirza, F., "Mechanical Properties of Reinforced Concrete and Materials Polypropylene Fiber and the Effects of Pozzolanic Materials", Cement & Concrete Composites, 18, 85-92, 1996.
- 3- BARR, B., NEWMAN, P.D., "Toughness of polypropylene fiber reinforced concrete", Composites, Volume 16. No.1, 1985.
- 4- Qian, C.X., Stroeven, P., "Development of hybrid polypropylene-steel fibre-reinforced concrete", Cement and Concrete Research, 30, 63-69, 2000.
- 5- Banthia, N., Gupta, R., "Influence of polypropylene fiber geometry on plastic shrinkage cracking in concrete", Cement and Concrete Research, 36, 1263-1267, 2006.
- 6- Yadegaran I., Mahoutian M., Shekarchi M., Libre N. A., "Effect of polypropylene fibers on shrinkage of self compacting concrete", proceeding of 5th International RILEM Symposium on Self-compacted Concrete, Ghent, Belgium, 707-713, 2007.
- 7- Sun, Z., Xub, Q., "Microscopic, physical and mechanical analysis of polypropylene fiber reinforced concrete", Materials Science and Engineering, A 527, 198-204, 2009.
- 8- Fisher, A.K., Bullen, F., Beal, D., "The durability of cellulose fibre reinforced concrete pipes in sewage applications", Cement and Concrete Research, 31, 543-553, 2001.
- 9- Graupner, N., Herrmann, A.S., Müssig, J., "Natural and man-made cellulose fibre-reinforced poly(lactic acid) (PLA) composites: An overview about mechanical characteristics and application areas", Composites, Part A, 40, 810-821, 2009.
- 10- Aziz, M. A., Paramasivam, P., Lee, S.L., "Prospects for natural fibre reinforced concretes in construction", The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Volume 3, Number 2, 1981.