

تحقیقات بتن

سال هشتم، شماره دوم

پائیز و زمستان ۹۴

ص ۴۶ - ۳۵

تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۸

تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۳۰

## تأثیر الیاف پلیمری و مقاومت بتن بر میزان ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی (آبرفتگی) پلاستیک در دال‌های بتنی

حسن ساقی \*

استادیار گروه عمران دانشکده فنی مهندسی دانشگاه حکیم سبزواری

حسن دلبری

دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت ساخت دانشگاه حکیم سبزواری

### چکیده

زمانی که بتن رطوبت خود را از دست می‌دهد، دچار جمع شدگی و کاهش حجم شده و در نهایت باعث ایجاد ترک و افزایش تغییر شکل در بتن می‌شود. در صورتی که عضو بتن مسلح مقید باشد، کرنش‌های ناشی از جمع شدگی بتن باعث ترک خوردگی عضو شده و باعث افزایش تغییر شکل‌های عضو با زمان می‌شود. این پدیده به دلیل تبخیر سریع آب در هنگام بتن ریزی، بر اثر وزش باد و افزایش دما اتفاق می‌افتد. ترک‌ها، یکی از دلایل اصلی در کاهش مقاومت و دوام بتن است. لذا در این تحقیق، با استفاده از یک نوع الیاف پلیمری، اثر استفاده از آنها با نسبت‌های حجمی مختلف بر کاهش ترک خوردگی ناشی از آبرفتگی پلاستیک در دال‌های بتنی مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایشات جمع شدگی پلاستیک در یک گرمخانه و با استفاده از قالب‌هایی که برای این منظور طراحی شده انجام شد. پارامترهای مورد مطالعه در این تحقیق، درصد حجم الیاف به حجم بتن و مقاومت بتن است. در نهایت، تأثیر مقدار الیاف پلیمری بر میزان ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی پلاستیک بتن مورد بررسی و بحث قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: الیاف پلیمری، بتن الیافی، آبرفتگی پلاستیک، ترک خوردگی، نسبت الیاف.

\* نویسنده مسئول: h.saghi@hsu.ac.ir

## ۱- مقدمه

افزایش داده و طاق فشاری را نیز بهبود می بخشد [۷]. تجربیات گذشته نشان داده است، الیاف پلی پروپیلن در بتن در نسبت‌های حجمی پایین (کمتر از ۳ درصد) می‌تواند با فولاد مسلح کننده‌ای که برای کنترل ترک‌های آبرفتگی و حرارت مورد استفاده قرار می‌گیرد، جایگزین شود. الیاف پلی پروپیلن خصوصیات منحصر به فردی دارد که آنها را برای مخلوط‌های بتنی مناسب می‌کند. این الیاف از لحاظ شیمیایی خنثی بوده و در محیط‌های قلیایی بتن بسیار پایدارند. الیاف پلی پروپیلن در بتن با نسبت‌های حجمی پایین، در روکش راه‌ها و پیاده‌روها، دال‌های روی زمین، سیستم‌های کف، دال‌ها و دیوار ساختمان و بتن شاتکریت، کانال‌ها و مخازن، برای بهبود خواص ترک-خوردگی، شکل‌پذیری و مقاومت در برابر ضربه مورد استفاده قرار می‌گیرند [۸]. نسبت حجمی الیاف پلی پروپیلن در بتن معمولاً در محدوده ۱-۳ درصد است. در این حجم نسبتاً پایین، معمولاً به هیچ محاسبه اضافی در برآورد نسبت‌های اختلاط بخاطر حجم الیاف نیاز نیست [۷].

در سالهای اخیر، با معرفی الیاف پلیمری برای استفاده در بتن، بتن پلیمری معرفی و تولید آن به طور مرتب در حال افزایش است [۸]. تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در زمینه تأثیر انواع مختلف الیاف شامل الیاف طبیعی و مصنوعی بر روی خصوصیات بتن انجام گرفته است [۹]. به عنوان نمونه، افشار [۱۰] تأثیر استفاده از الیاف فولادی را بر خواص مکانیکی بتن با مقاومت بالا مورد بررسی قرار داد. همچنین کامرانی و مقصودی [۱۱] روشهای مختلفی را برای تخمین عددی تنش‌های ناشی از جمع‌شدگی در بتن‌های حجیم استفاده نمودند. در ادامه، باقری و همکارانش [۱] استفاده از الیاف فولادی را جهت افزایش مقاومت ضربه ای بتن مورد استفاده قرار دادند. طی سالهای اخیر، الیاف پلیمری نسل جدید عمدتاً بر پایه پلی پروپیلن با عملکرد بهبود یافته، ارائه شد بطوریکه با افزایش قطر و طول این الیاف، امکان کاربرد آنها در حجم‌های به مراتب بالاتر فراهم شده است. لذا محققین زیادی در زمینه کاربرد این نوع الیاف و تأثیر آن بر روی عملکرد بتن تحقیقات خود را انجام دادند. به عنوان نمونه، مستوفی نژاد و حاتمی [۱۳] به بررسی تأثیرات استفاده از الیاف پلی پروپیلن بر ترک‌خوردگی ناشی

بتن، یکی از انواع مصالح ساختمانی است که دارای مقاومت فشاری زیادی بوده و به همین دلیل از آن در اجرای اعضاء تحت فشار مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱]. به دلیل پائین بودن مقاومت کششی، باید تمهیدات لازم در جهت رفع این محدودیت پیش بینی شود. در این راستا، عوامل محیطی نیز باعث افزایش تنش کششی در بتن می‌شوند که از آن جمله می‌توان به جمع‌شدگی بتن ناشی از تبخیر سریع آب از سطح بتن به دلیل وزش باد و افزایش دما اشاره نمود. استفاده از میلگرد باعث افزایش مقاومت کششی بتن می‌شود. استفاده از الیاف در ساخت بتن، یکی از روش‌های مؤثر برای کاهش ترک خوردگی، افزایش طاق شکل‌پذیری و جذب بهتر انرژی و نیز افزایش مقاومت کششی بتن است. استفاده از الیاف در مواد ماتریس شکننده دارای سابقه‌ای طولانی بوده و به ۳۵۰۰ سال قبل، هنگامی که آجرآفتاب پخته تقویت شده با نی، برای ساخت تپه مرتفع ۵۷ متری آکارکوف نزدیک بغداد استفاده شد، بر می‌گردد [۲]. همچنین از موی دم اسب نیز برای تقویت ملات بنایی و گچ استفاده شده است [۳]. در ادامه، الیاف آزیست برای محصولات سیمانی تقویت شده استفاده شد که به علت خطرات بهداشتی مرتبط با الیاف آزیست، الیاف دیگری طی سال‌های ۱۹۷۰-۱۹۶۰ میلادی به عنوان جای‌گزین معرفی شدند [۴]. امروزه، الیاف پلی پروپیلن در اشکال و ابعاد گوناگونی تولید شده و آن‌ها را می‌توان به صورت تک‌رشته‌ای، دسته‌ای و یا نوارهای به هم پیوسته تولید کرد. اگرچه الیاف پلی پروپیلن با بتن، پیوند شیمیایی محدودی ایجاد می‌کنند، اما در حقیقت، پیوند مکانیکی مناسب آن‌ها با بتن، باعث می‌شود الیاف با طول ۲۰ تا ۵۰ میلیمتر که بطور معمول در بتن مورد استفاده قرار می‌گیرند، امکان گسیختگی کششی را داشته باشند [۵]. یکی از خواص مهم بتن الیافی، طاق جذب انرژی آن است که می‌تواند ریسک خرابی سازه را به ویژه در مناطق زلزله خیز کاهش دهد. طاق جذب انرژی به وسیله سطح زیر نمودار بار-تغییر شکل بیان می‌شود [۶]. تحقیقات آزمایشگاهی، افزایش شکل‌پذیری در تنش‌های فشاری را توسط الیاف پلی پروپیلن نشان می‌دهد. الیاف پلی پروپیلن به میزان کمی مقاومت فشاری بتن را

تأثیر الیاف پلیمری و مقاومت بتن بر میزان ترک خوردگی ناشی از...

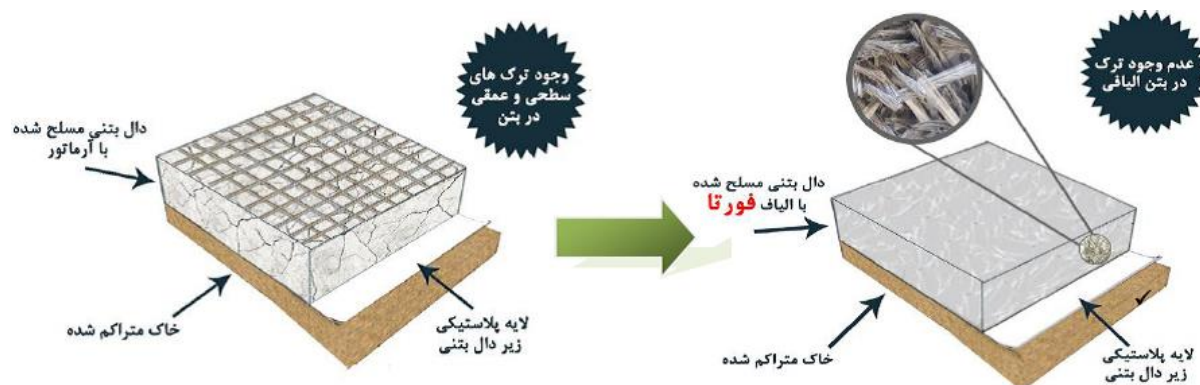
گرفته است. به عنوان نمونه، های و همکارانش [۲۰] استفاده از میلگرد الیاف بازالت را جهت تقویت خمشی اعضای بتنی و نیز استفاده از الیاف بازالت خرد شده را به عنوان یک افزودنی جهت بهبود خواص مکانیکی بتن مورد بررسی قرار دادند. استفاده از الیاف پلیمری علاوه بر بتنهای سازه‌ای، در روسازی راه نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. لذا تعدادی از محققین به بررسی تأثیر آن بر عملکرد بتن در روسازی راه‌ها پرداختند. به عنوان مثال، جانگ و همکارانش [۲۱] به بررسی تأثیر الیاف پلیمری در عملکرد بتن مورد استفاده در روسازی راه‌ها پرداختند. دال‌های بتنی، یکی از انواع سازه‌هایی است که کاربرد زیادی در صنعت ساختمان داشته و تحقیقات زیادی در زمینه استفاده از الیاف پلی پروپیلن در جهت کنترل ترک خوردگی در آنها صورت نگرفته است. لذا هدف از تحقیق حاضر، بررسی تأثیر این نوع الیاف بر مقاومت فشاری بتن و کنترل ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی (آبرفتگی) پلاستیک در دال‌های بتنی است.

## ۲- آبرفتگی پلاستیک در بتن و اثر الیاف پروپیلن

از مهم‌ترین موارد استفاده الیاف مصنوعی، کاهش ترک خوردگی در بتن تازه است. از آنجا که درصد حجمی الیاف مورد استفاده برای این منظور معمولاً کم است، خواص مکانیکی بتن به ندرت تحت تأثیر الیاف قرار می‌گیرد [۳]. آبرفتگی در بتن تازه یا آبرفتگی پلاستیک، در ساعات اولیه پس از ریختن بتن اتفاق می‌افتد. در آن زمان معمولاً بتن هنوز مقاومت محسوسی کسب نکرده است [۷]. آبرفتگی پلاستیک به تنش‌های مویین نسبت داده می‌شود. فضای بین اجزای بتن تازه، قبل از خشک شدن، از آب پر شده است. هنگامی که آب از خمیر سیمان به دلایلی همچون تبخیر سطحی خارج می‌شود، فشار مویین منفی ایجاد شده باعث کاهش حجم خمیر سیمان می‌شود. رشد فشار مویین منفی تا رسیدن به نقطه بحرانی ادامه یافته و پس از آن، دیگر آب نمی‌تواند به‌گونه یکنواخت درون خمیر سیمان پراکنده شود. بیشترین نرخ رشد آبرفتگی پلاستیک، درست قبل از این نقطه بحرانی رخ می‌دهد و پس از آن، آبرفتگی پلاستیک کمی اتفاق می‌افتد. چنانچه از اتلاف آب در بتن تازه جلوگیری نشود، ترک خوردگی به وقوع

از آبرفتگی پلاستیک و کارایی بتن پرداختند. در این راستا، متوسلیان [۱۴] به بررسی تأثیر استفاده از الیاف پلی پروپیلن بر میزان ترک‌های ناشی از جمع شدگی در بتن خودتراکم پرداخت. آنها در تحقیقات خود، تأثیر استفاده از درصد‌های مختلف الیاف پلیمری شامل الیاف پلیمری نسل جدید (ماکرو) و فولادی را بر روی خواص مقاومت ضربه ای بتن بررسی نمودند. در ادامه، حسینیان و همکارانش [۱۵] به بررسی اثر توام الیاف شیشه و الیاف پلی پروپیلن بر خصوصیات مکانیکی بتن های خودتراکم پرداختند. پادرون و زولو [۱۶]، اثر دو نوع الیاف پلی پروپیلن را در کاهش ترک‌های آبرفتگی پلاستیک در ملات سیمان و در بتن مورد بررسی قرار دادند. آنان برای ایجاد ترک، بتن تازه را به مدت 16 ساعت در معرض جریان هوا با سرعت 22.5 کیلومتر بر ساعت قرار دادند. نتایج این تحقیقات نشان داد، استفاده از ۰/۱ درصد حجمی الیاف با طول 19 میلیمتر در بتن، ترک‌ها را تا حدود ۲۰ درصد نمونه بدون الیاف کاهش می‌دهد. در تحقیق دیگری، برک و دالایر [۱۷]، با استفاده از قالب‌های پیشنهادی استاندارد ICBO، آزمایشاتی برای بررسی اثر الیاف پلی پروپیلن در کاهش ترک‌های آبرفتگی پلاستیک بتن انجام دادند. این آزمایشات نشان داد، الیاف با طول بیشتر، تأثیر بیشتری در کاهش ترک‌ها دارد. در ادامه، بالاگورا [۱۸] از قالب‌های مستطیلی با زائده‌هایی در کف، برای تسریع در ترک خوردگی بتن ساخته شده با الیاف استفاده کرد. یکی از انواع الیاف مورد استفاده در آزمایشات او، الیاف پلی پروپیلن با طول ۱۹ میلیمتر بود که در صورت استفاده از این الیاف در ملات‌های سیمانی، میزان ترک‌ها را به حدود ۶۰ درصد ترک‌های نمونه بدون الیاف می‌رساند. با توجه به اینکه مدول الاستیسیته و مقاومت کششی الیاف پلیمری و میلگردهای فولادی متفاوت است، فرمول‌های کلاسیک در زمینه مقاومت خمشی مقاطع مسلح شده با الیاف پلیمری FRP قابل استفاده نیست. بنابراین، تعدادی از محققین همچون صدرممتازی و حاتمی [۱۹] به بررسی ضوابط قابل استفاده در طرح مقاطع خمشی بتنی مسلح به الیاف پلیمری و نیز مقاطع تقویت شده با الیاف پلیمری FRP پرداختند. استفاده از الیاف به صورت خرد شده و میلگرد نیز توسط بعضی از محققین مورد بررسی قرار

می‌پیوندد که در این صورت محتمل‌ترین وضعیت، ایجاد ترک-های سطحی در ساعات اولیه پس از بتن ریزی است [۲۲]. کنترل ترک خوردگی ناشی از آبرفتگی پلاستیک (شکل ۱)، از اهداف اصلی در استفاده صنعتی از بتن الیافی با نسبت الیاف کم، به شمار می‌رود. تاکنون برای بررسی آبرفتگی پلاستیک بتن و تأثیر الیاف مختلف بر آن، آزمایشاتی با روش‌های مختلف توسط محققان انجام شده است. این آزمایشات، تأثیر مثبت استفاده از الیاف فولادی و الیاف مصنوعی در کاهش ترک خوردگی در سطح بتن را نشان می‌دهد.



شکل ۱- شکل شماتیک کنترل ترک خوردگی در بتن با استفاده از الیاف

جدول ۱- مشخصات فنی الیاف پلی پروپیلن مورد استفاده در این تحقیق

مشخصات	واحد	مقدار
نوع جنس	---	۱۰۰ درصد پلی پروپیلن
رنگ ظاهری		سفید و مشکی
وزن مخصوص	گرم بر سانتیمتر مکعب	۹۱
قطر	(میکرون)	۲۳-۳۵
مقاومت کششی	مگاپاسکال	۴۰۰
محدوده ذوب	درجه سانتیگراد	۱۶۵
مقاومت در برابر اسیدها و قلیاها	کیفی	بالا
مقاومت در برابر نمک	کیفی	بالا
مقدار روغن موجود در الیاف (فینیش)	درصد	۰/۶-۱/۰
نرمی الباف	دنیر	۳-۵-۹
طول برش	میلی متر	۶-۱۲-۱۸
استحکام	گرم بر دنیر	۲/۵-۳/۰
درصد ازدیاد طول	درصد	۸۰
غوطه وری در آب	ثانیه	۳-۵



شکل ۲- الیاف پلی پروپیلن مورد استفاده در این تحقیق

جدول ۲- گزارش نتایج آزمون سیمان پرتلند تیپ ۲ شرکت سیمان سبزوار

C3S	C2S	C3A	C4AF	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	SO <sub>3</sub>	درصد کسر وزن در اثر سرخ شدن
۵۶/۳	۱۵/۹	۷/۲	-	۲۰/۳۵	۵/۱۰	۳/۷۱	۲/۵	۶۳/۱۴	۲/۳	۱/۸

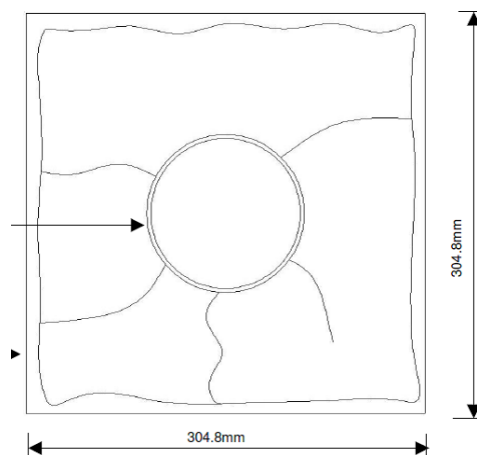
جدول ۳- گزارش الزامات فیزیکی و شیمیائی در نظر گرفته شده در این تحقیق

مقدار	واحد	نام پارامتر
۳۰۱۰	سانتیمترمربع بر گرم	سطح مخصوص (بلین)
۲۷۰	کیلوگرم بر سانتیمترمربع	۳ روزه
۳۸۰	کیلوگرم بر سانتیمترمربع	۷ روزه
۴۹۰	کیلوگرم بر سانتیمترمربع	۲۸ روزه
۱۲۰	دقیقه	حداقل گیرش اولیه
۲۵۰	دقیقه	حداکثر گیرش نهایی

الیاف مورد نظر، به مدت ۵ دقیقه و به ازاء هر ۱ درصد الیاف، صورت گرفت. در مخلوط بتن الیافی نیز نمونه‌های آبرفتگی بتن الیافی قالب‌گیری شد. مشخصات قالب مورد استفاده برای آزمایش آبرفتگی در شکل ۳ نشان داده شده است. این قالب با انجام اصلاحی بر مدل ارائه شده توسط پادرون و زولو [۱۶] ساخته شد. آنها برای آزمایش آبرفتگی بتن، از قالب‌های مربعی به اضلاع یک فوت و به ضخامت یک اینچ که در وسط آن استوانه ای به قطر ۵/۵ اینچ قرار داشت، استفاده کردند. هدف از قرار دادن استوانه فولادی در وسط قالب، ایجاد محصورشدگی برای بتن در هنگام آبرفتگی بود تا امکان ایجاد ترک با توجه به

آب مصرفی در ساخت نمونه‌ها، آب شرب سبزوار بوده و مصالح سنگی نیز ماسه رودخانه‌ای با مدول نرمی ۲/۸ و شن رودخانه‌ای با حداکثر بعد ۹/۵ میلیمتر استفاده شد. در این تحقیق، با استفاده از مصالح معرفی شده، مخلوط‌های مختلف بتنی تهیه شد. الیاف مورد استفاده در مخلوط بتن الیافی با درصدهای حجمی ۱، ۲ و ۳ مورد استفاده قرار گرفته و نتایج بدست آمده از بتن الیافی با نمونه‌های شاهد (مخلوط بتنی بدون الیاف) مقایسه شدند. اختلاط با استفاده از یک میکسر آزمایشگاهی انجام و در هر مرحله، پس از ساخت مخلوط بتن شاهد (بدون الیاف)، دو نمونه آبرفتگی از مخلوط جدا شده و اختلاط مجدد با اضافه کردن تدریجی درصد

کوچکی ابعاد قالب فراهم شود. در قالبی که در آزمایش حاضر مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۳)، استوانه متحرک است. بر اساس طرحهای اختلاط مختلف، مقاومت فشاری نمونه‌ها تعیین و نتایج به دست آمده در جدول شماره ۴ آورده شده است.



شکل ۳- قالب مورد استفاده در آزمایش

جدول ۴- طرح اختلاط بتن ساخته شده با مقاومت‌های مختلف

مقاومت بتن (مگا پاسکال)	مقدار سیمان (کیلوگرم)	مقدار شن (کیلوگرم)	مقدار ماسه (کیلوگرم)	مقدار آب (کیلوگرم)	نسبت آب به سیمان	نسبت مصالح به سیمان
۱۸	۳۲۵	۸۲۰	۹۱۵	۲۴۰	۰/۷۳	۵/۴
۲۵	۳۵۰	۷۸۰	۹۶۰	۲۱۰	۰/۶۰	۵/۰
۳۵	۴۲۵	۷۵۰	۹۲۵	۲۰۰	۰/۴۷	۴/۰

#### ۴- نتایج آزمایشات

نمونه‌های بدون الیاف و نمونه‌های با درصد حجمی الیاف ۱، ۲، ۳ (از هر کدام یک نمونه) بودند. در نهایت، از نمونه‌های مشابه (برای هر درصد ده نمونه) میانگین گرفته شد. پس از ۱۰ ساعت، نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفته و طول و عرض ترک‌های ایجاد شده بر روی سطح آن‌ها اندازه‌گیری شد. ترک‌های مختلف دارای عرض‌های متفاوت بوده و هر ترک نیز در طول خود، عرض متغیری داشت. عرض ترک‌ها با استفاده از یک ذره بین چشمی تقریبی اندازه‌گیری شد. عرض هر بخش از ترک‌ها به همراه طولی از ترک که به طور

در این آزمایش، پس از ریختن مخلوط بتنی در قالب‌های آبرفتی، این قالب‌ها به مدت ۱۰ ساعت در دمای محیط قرار گرفتند. ترک خوردگی از حدود دو تا سه ساعت پس از قرار دادن نمونه‌ها در دمای محیط شروع شده و تا حدود ۱۰ ساعت پس از آن ادامه یافت. بعد از این مدت، ترک‌ها دیگر رشد قابل ملاحظه‌ای نداشتند. دمای محیط در زمان آزمایش آبرفتی ۳۹-۴۳ درجه ی سانتیگراد بود. در هر مرحله، ۴ نمونه‌ی آبرفتی در دمای محیط قرار گرفتند که شامل

تأثیر الیاف پلیمری و مقاومت بتن بر میزان ترک خوردگی ناشی از...

متوسط دارای آن عرض بود، ثبت گردید. مساحت ترک‌ها با ضرب الیاف)، نسبت مساحت ترک در نمونه‌ی مورد نظر به نمونه‌ی شاهد عرض ترک در طول مربوطه و محاسبه‌ی مجموع مساحت ترک‌ها، به دست آمد. میزان ترک خوردگی بتن الیافی با الیاف فورتا با بدست آمد. با تقسیم متوسط مساحت ترک در نمونه‌های بتن الیافی محاسبه‌ی درصد ترک خوردگی نسبت به نمونه‌ی شاهد، برای مشابه بر متوسط مساحت ترک در نمونه‌های بتن شاهد (بدون درصدهای مختلف الیاف در جداول ۵ الی ۷ ارائه شده است.

جدول ۵- میزان ترک خوردگی برای بتن الیافی با مقاومت ۱۸ مگا پاسکال

درصد حجمی الیاف	متوسط مساحت ترک (میلیمتر مربع)	مساحت ترک نسبت به نمونه شاهد (درصد)
بدون الیاف (شاهد)	۹۰۰	۱۰۰
۱	۴۰۰	۴۴
۲	۱۰۰	۱۱
۳	۲۵	۲/۷

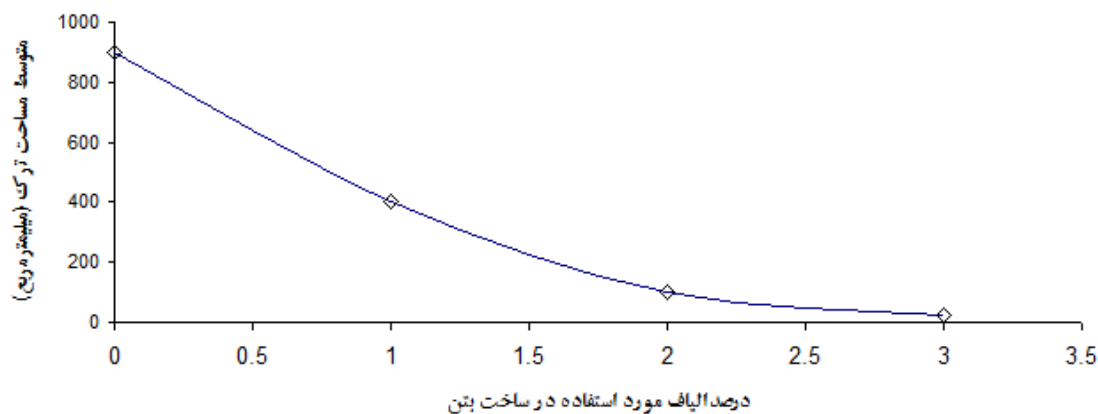
جدول ۶- میزان ترک خوردگی برای بتن الیافی با مقاومت ۲۵ مگا پاسکال

درصد حجمی الیاف	متوسط مساحت ترک (میلیمتر مربع)	مساحت ترک نسبت به نمونه شاهد (درصد)
بدون الیاف (شاهد)	۸۲۵	۱۰۰
۱	۳۲۸	۳۹
۲	۸۵	۱۰
۳	۱۵	۱/۸

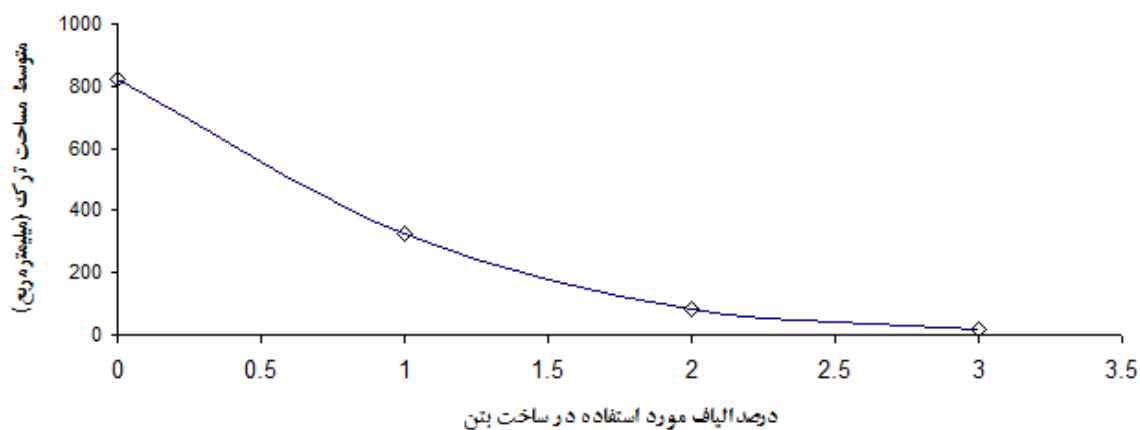
جدول ۷- میزان ترک خوردگی برای بتن الیافی با مقاومت ۳۵ مگا پاسکال

درصد حجمی الیاف	متوسط مساحت ترک (میلیمتر مربع)	مساحت ترک نسبت به نمونه شاهد (درصد)
بدون الیاف (شاهد)	۸۰۰	۱۰۰
۱	۳۰۰	۳۷
۲	۸۰	۱۰
۳	۱۵	۱/۸

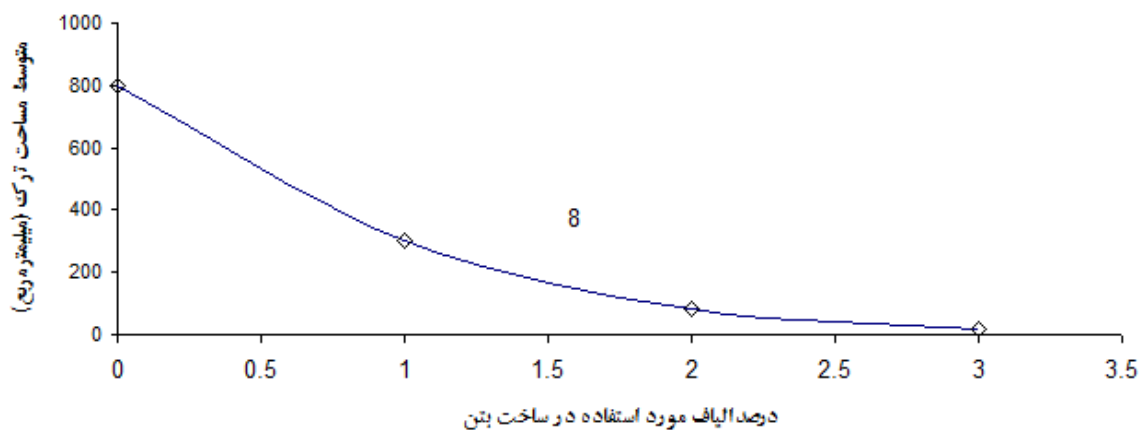
بر اساس نتایج به دست آمده در جداول فوق، متوسط مساحت مقادیر مختلف مقاومت فشاری بتن محاسبه و در شکل‌های ۴ الی ترک بر اساس درصد الیاف به کار رفته در ساخت بتن و به ازاء ۶ نشان داده شده است.



شکل ۴- تأثیر حجم الیاف مصرفی بر متوسط مساحت ترک برای بتن با مقاومت فشاری ۱۸ مگا پاسکال

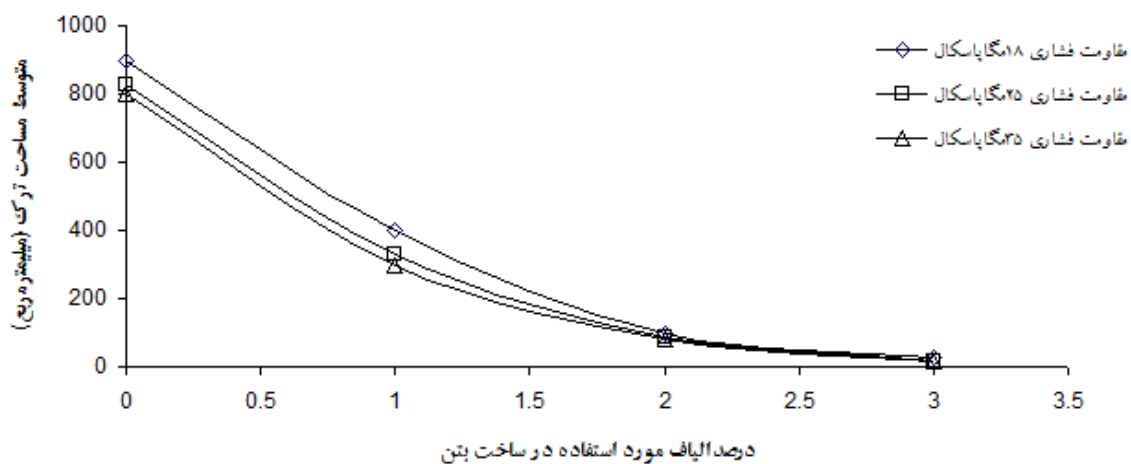


شکل ۵- تاثیر حجم الیاف مصرفی بر متوسط مساحت ترک برای بتن با مقاومت فشاری ۲۵ مگاپاسکال



شکل ۶- تاثیر حجم الیاف مصرفی بر متوسط مساحت ترک برای بتن با مقاومت فشاری ۳۵ مگاپاسکال

در ادامه، برای مقایسه بهتر تأثیر درصد الیاف مصرفی در ساخت شاهد، در بتن‌های با مقاومت‌های مختلف در شکل ۷ نشان بتن بر متوسط مساحت ترک خوردگی نسبت به نمونه داده شده است.



شکل ۷- تاثیر مقاومت بتن بر مساحت ترک خوردگی نسبت به نمونه شاهد (%).



تأثیر الیاف پلیمری و مقاومت بتن بر میزان ترک خوردگی ناشی از...

بر اساس نتایج به دست آمده، روابط پیشنهادی میان متوسط مساحت ترک و درصد الیاف مورد استفاده در بتن برای مقاومت های فشاری ۱۸، ۲۵ و ۳۵ مگاپاسکال به ترتیب هستند.

$$C = 106.25P^2 - 611.25P + 901.25 \quad \text{برای بتن با مقاومت فشاری ۱۸ مگاپاسکال} \quad (۱)$$

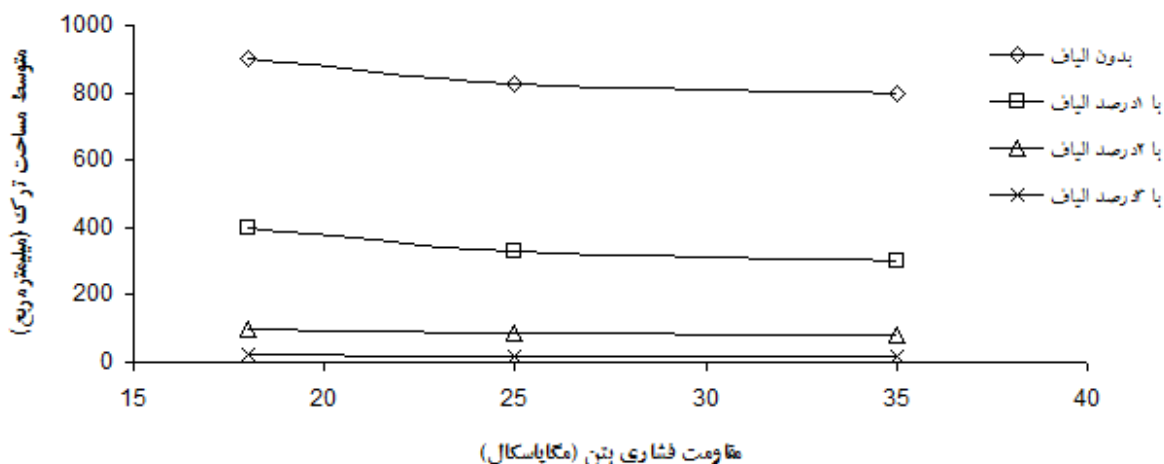
$$C = 106.75P^2 - 587.55P + 820.95 \quad \text{برای بتن با مقاومت فشاری ۲۵} \quad (۲)$$

مگاپاسکال

$$C = 108.75P^2 - 583.75P + 793.75 \quad \text{برای بتن با مقاومت فشاری ۳۵} \quad (۳)$$

مگاپاسکال

در ادامه، تغییرات مقاومت بتن بر اساس متوسط سطح ترک خوردگی و به ازای درصد الیاف مصرفی محاسبه و در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸- تغییرات مقاومت بتن بر اساس متوسط سطح ترک خوردگی و به ازای درصد الیاف مصرفی در ساخت بتن

بر اساس نتایج به دست آمده، روابط پیشنهادی میان متوسط مساحت ترک و مقاومت فشاری بتن برای درصدهای مختلف الیاف مورد استفاده در بتن به ترتیب مطابق روابط ۴ الی ۷ ارائه شده است. در روابط زیر  $C$  متوسط مساحت ترک و  $\sigma$  مقاومت فشاری بتن هستند.

$$C = 0.4832\sigma^2 - 31.492\sigma + 1310.3 \quad \text{برای حالت بدون الیاف} \quad (۴)$$

$$C = 0.4403\sigma^2 - 29.22\sigma + 783.29 \quad \text{برای ۱ درصد الیاف مصرفی} \quad (۵)$$

$$C = 0.0966\sigma^2 - 6.2983\sigma + 182.06 \quad \text{برای ۲ درصد الیاف مصرفی} \quad (۶)$$

$$C = 0.084\sigma^2 - 5.042\sigma + 88.529 \quad \text{برای ۳ درصد الیاف مصرفی} \quad (۷)$$

لازم به ذکر است، با افزایش درصد الیاف پلی پروپیلن از ۲ به ۳، کارایی بتن به شدت کاهش یافته، بطوریکه جاگذاری بتن در داخل قالب به سختی انجام می‌گرفت. در حالیکه به ازاء

[۵] خالوع. "خواص مکانیکی و کاربرد بتن مسلح به الیاف"، مجله عمران شریف، شماره ۷، ص ۲۸-۳۳، ۱۳۷۱.

[5] Ghosh. S. and Roy. A., "Polypropylene Fiber Concrete Beams in Flexure", Fiber Reinforced Cement and Concrete, RILEM, pp. 486-498, 1992.

[6] Wei-Ling, L. "Toughness Behavior of Fiber Reinforced Concrete", Fiber Reinforced Cement and Concrete, RILEM, pp. 299-315, 1992.

[7] Bayasi, Z. and Zeng, J. "Properties of polypropylene Fiber Reinforced Concrete", ACI Materials Journal, Vol 90, No 6, pp. 605-610, 1993.

[8] Soroushian, P., Khan, A. and Jer-win, H. "Mechanical Properties of Concrete Materials Reinforced with Polypropylene or Polyethylene Fibers ", ACI Materials Journal. Vol.89, No 6, pp. 535-540, 1992.

[9] Kharjuria, A. and Balaguru, P. "Plastic Shrinkage Characteristics of Fiber Reinforced Cement Composites." Fiber reinforced Cement and Concrete, RILEM, pp. 82-91, 1992.

[۱۰] افشار، ج. "ارائه روابط تجربی- تحلیلی برای خواص مکانیکی بتن با مقاومت بالای مسلح به الیاف فولادی"، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۶۲.

[۱۱] کامرانی ن. و مقصودی ع.ا. "روشهای تخمین تنش های انقباضی ناشی از خشک شدگی در بتن حجیم"، اولین کنفرانس ملی صنعت بتن، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، کرمان، ۱۳۹۱.

[۱۲] باقری ع.ر.، زنگانه ح. و شاهمرادی م. " اثر الیاف پلیمری نسل جدید بر مقاومت ضربه ای بتن مسلح به الیاف"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، ۱۳۹۰.

[۱۳] مستوفی نژاد، د. و حاتمی، ش. " اثر الیاف پلی پروپیلن بر ترک خوردگی ناشی از آبرفتگی پلاستیک و کارایی بتن"، نشریه دانشکده مهندسی، سال ۱۶، شماره ۱، ۱۳۸۳.

[۱۴] متوسلیان، م. "تأثیر اضافه کردن الیاف پلی پروپیلن بر ترکهای ناشی از جمع شدگی بتن خود تراکم (SCC)"، اولین همایش بین المللی بتن های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب، شرکت آب و فاضلاب شهری استان گیلان، ۱۳۹۰.

[۱۵] حسینیان س. ب.، رنجبر م.، محمدی ع. و مسلمی حسینی س. م. "اثر توام الیاف شیشه و الیاف پلی پروپیلن بر خصوصیات مکانیکی بتن

## ۶- نتیجه گیری

۱. در این تحقیق، تأثیر استفاده از الیاف پلی پروپیلن بر میزان کنترل ترک خوردگی ناشی از آبرفتگی پلاستیک در دالهای بتنی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد:

۲. الیاف پلی پروپیلن می‌تواند نقش به‌سزایی در کاهش ترک خوردگی ناشی از آبرفتگی پلاستیک بتن ایفا نموده بطوریکه درصد حجمی الیاف مورد استفاده در این مورد حائز اهمیت است.

۳. نرخ تغییرات درصد کاهش سطح ترک، با افزایش درصد الیاف کاهش می‌یابد.

۴. با افزایش الیاف مصرفی از ۲ درصد به ۳ درصد، سطح ترک های آبرفتی پلاستیک تا ۹۸ درصد کاهش می‌یابد.

۵. با افزایش درصد الیاف، عرض ترک نیز کاهش می‌یابد.

۶. با افزایش درصد الیاف، زمان لازم جهت ایجاد ترک در سطح بتن افزایش می‌یابد.

۷. با افزایش درصد الیاف از ۲ به ۳، جاگذاری بتن درون قالب (و یا به عبارت دیگر کارایی بتن) به شدت کاهش می‌یابد.

۸. با افزایش مقاومت و کاهش نسبت آب به سیمان، زمان بحرانی ترک کاهش می‌یابد. لازم به توضیح است، زمان بحرانی زمانی است که روند گسترش ترک در بتن به حداقل می‌رسد.

## ۸- مراجع

[۱] لژگی نظر گاه، م. و شادنیا، ر. "اصول و مبانی طراحی ساختمان های بتن مسلح"، انتشارات دانشگاه حکیم سبزواری، جلد اول، ۱۳۹۳.

[2] Naaman, A. E., Wongtanakitcharoen, T. and Hauser, G. "Influence of Different Fibers on Plastic Shrinkage Cracking of Concrete", ACI Materials Journal, V. 102, No. 1, Jan.-Feb., pp. 49-58, 2005.

[3] ACI Committee 544, "Measurements of Properties of Fiber Reinforced Concrete", ACI Materials Journal, 1996.

های خودتراکم"، ششمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، تهران، انجمن بتن ایران، ۱۳۹۳.

[16] Padron. I. and Zollo. R.F. "Effect if Synthetic Fibers on Volume Stability and Cracking of Portland Cement Concrete and Mortar", ACI Materials Journal, Vol. 87, No4, pp.327-332, 1990.

[17] Berke, N.S. and Dallaire, M.P. "The Effect of Low Addition Rates of Polypropylene Fibers on Plastic Shrinkage Cracking and Mechanical Properties of Concrete", SP- 142 American Concrete Institute Farmington Hills, pp. 19-42, 1991.

[18] balaguru, p. "contribution of fibers to crack reduction of cement composites during the Initial and final setting period", ACI materials journal, Vol.91, No. 3, pp.280-288, 1994.

[۱۹] صدرممتازی ع. و حاتمی ف. "خصوصیات و ضوابط طرح خمشی و تقویت سازه های بتنی با الیاف پلیمری FRP"، دومین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه، ۱۳۸۴.

[20] High, C., Seliem, H.M., El-Safty, A. and Rizkalla, S.M. "Use of basalt fibers for concrete structures", Construction and Building Materials, Volume 96, 15 October 2015, pp. 37–46, 2015.

[21] Kyung-Chae J., In-Taek R., and Seung-Hwan C. "Stress analysis of runway repaired using compliant polymer concretes with consideration of cure shrinkage", Composite Structures, Volume 119, pp. 13–23, 2015.

[22] Soroushian P. and Ravanbakhsh, S. "Control of Plastic Shrinkage Cracking with Specially Cellulose Fiber", ACI Materials Journal, Vol 95, No 4, pp. 429-435, 1998.

## The Effect of the Polymer Fibers and Concrete Strength on Plastic Shrinkage Cracking in Concrete Slabs

H. Saghi\*

Assistant Professor, Hakim Sabzevari University, Iran

H. Delbari

M.Sc. Student of Construction Management, Hakim Sabzevari University, Iran

### Abstract

When the concrete loses its moisture, shrinkage and volume reduction is happen and eventually cracks create and deformations in the concrete are increased. If the reinforcement concrete member be bounde, strain caused by condensation cause cracking member and increases the deformation member with time. This phenomenon is due to the rapid evaporation of water in the concrete, occurs because of the wind and temperature rise. One of the main reasons for the decrease in strength and durability of concrete are cracks. In this study evaluated the effect of fibers by different volumes on reduce cracking that created by, shrinkage plastic on concrete slabs. Plastic shrinkage experiments in a greenhouse by using mold that was designed for this purpose. The parameters in this study are, the percentage of fiber volume to volume of concrete and concrete strength. Finally, the effect of polymer fibers on plastic shrinkage cracking of concrete was investigated and discussed.

**Keywords:** Polymer fibers, Fiber-reinforced concrete, Plastic shrinkage, Cracking, Fiber ratio.

---

\* Corresponding Author: h.saghi@hsu.ac.ir