

بررسی آزمایشگاهی تأثیر الیاف پلی پروپیلن بر رفتار بتن تراورس

مرتضی اسماعیلی^{۱*}، سید علی قهاری^۲

۱- استادیار دانشکده مهندسی راه آهن دانشگاه علم و صنعت

۲- کارشناس خط و سازه‌های ریلی دانشگاه علم و صنعت

M_esmaeli@iust.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۹/۲۴

چکیده- از آن جایی که تراورس بتنی به‌عنوان یکی از اجزای روسازی خط راه‌آهن بالاستی در معرض شرایط آب و هوایی متنوعی قرار می‌گیرد، مسئله کنترل خوردگی و افزایش دوام آن از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. از این رو اگر بتوان با به‌کارگیری مواد افزودنی مناسب در قالب مسلح‌کننده‌ها، میزان ایجاد و گسترش ترک‌های سطحی را در این عضو محدود کرد، این موضوع تأثیر مستقیمی بر بهبود دوام و افزایش عمر آن خواهد داشت.

در این مقاله تلاش شده است تا میزان افزایش مقدار مقاومت‌های کششی و خمشی و هم‌چنین کاهش مقاومت فشاری بتن مسلح شده به الیاف پلی پروپیلن با نظر به کاربرد آن در تراورس بتنی بررسی شود. برای این منظور با اضافه کردن مقادیر مختلفی از الیاف پلی پروپیلن به بتن تراورس و بررسی تأثیر آن بر رفتار ۷۲ نمونه ساخته شده، در نهایت مقدار بهینه‌ای برابر 0.7 kg/m^3 شناسایی شد که این مقدار با مقادیر اعلام شده به‌وسیله سایر محققان همخوانی دارد.

بررسی و تحلیل نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌ها نظیر مقدار بهینه الیاف، نشان‌دهنده کاهش مقدار مقاومت فشاری، افزایش مقادیر مقاومت کششی، مقاومت خمشی و افزایش VB به‌ترتیب به میزان $8/7$ ، 33 ، 10 و 51 درصد می‌باشد.

واژگان کلیدی: تراورس بتنی، الیاف پلی پروپیلن، مقاومت کششی، مقاومت خمشی، دوام.

۱- مقدمه

ناشی از تغییرات درجه حرارت است، اگرچه خوردگی آرماتورها در محیط‌های خورنده و دارای یون‌های مضر نیز از دیگر مسائلی است که تراورس‌های بتنی را با مشکل جدی مواجه می‌کند.

در کشور، سالیانه حدود ۵۰۰ کیلومتر خط آهن جدید احداث شده است که برای این منظور ۸۳۳۰۰۰ عدد تراورس در این خطوط نصب می‌شود. با توجه به قیمت حدود ۳۰۰۰۰۰ ریالی هر تراورس، هزینه کل سالیانه مربوط

با توجه به اهمیت کلیدی تراورس به‌عنوان یک عنصر سازه‌ای بتنی در خطوط ریلی بالاستی از دیدگاه بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری، استفاده از مصالحی که بتواند ضمن حفظ شرایط بهره‌برداری، هزینه‌های مترتب به عملیات تعمیر و نگهداری را کاهش دهد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار خواهد بود. یکی از اشکال خرابی تراورس‌های بتنی، ترک‌های ناشی از بارگذاری تکراری چرخ و ترک‌های

(ریزش) شاتکریت حاوی الیاف، ناشی از پاشیدن آن روی مش به میزان حداقل ۳۰ درصد حجمی کاهش یافته و در ضمن مطالعه روی کنترل ترک‌های سطحی نیز نشان‌دهنده آن است که ترک‌ها به میزان ۲۰ درصد کاهش پیدا کرده‌اند. از دیگر کارهای انجام شده در این خصوص می‌توان به تحقیق انجام شده به وسیله هوا و ژئو^۳ [۴] در خصوص رفتار بتن حاوی الیاف به‌عنوان پوشش تونل‌ها اشاره کرد. نتایج تحقیق مذکور نشان‌دهنده آن است که مقاومت کششی این بتن در شرایط استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن ۲۳ درصد افزایش و هم‌چنین جذب آب آن به میزان ۱۰ درصد کاهش پیدا کرده است.

از دیگر تحقیقات صورت گرفته در خصوص بتن الیافی می‌توان به تحقیق صورت گرفته به وسیله کورتز و بالاگورو^۴ اشاره کرد [۵]. در تحقیق یاد شده به بررسی تأثیر استفاده از الیاف مختلف از جمله الیاف پلی‌پروپیلن در کنترل ترک بتن پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد که پس از به‌کارگیری این نوع الیاف، شکست و ترک‌خوردگی به ۰/۱ درصد کاهش پیدا کرده است.

یائو^۵ در تحقیق دیگری [۶] به این نکته پی برد که در نمونه مکعبی بتن دارای پلی‌پروپیلن تا سن ۲۸ روز مقاومت کششی کاهش پیدا می‌کند اما از آن به بعد مقاومت کششی روندی افزایشی از خود نشان می‌دهد. با توجه به تصویربرداری الکترونی صورت گرفته در تحقیق یاد شده مشخص شد که علت این موضوع به پر شدن ریز ترک‌ها به وسیله الیاف پلی‌پروپیلن مرتبط بوده و این عمل موجب افزایش پیوستگی ساختار بتن شده است. در ادامه وو و همکاران^۶ [۷] به بررسی تأثیر این الیاف بر رفتار ملات پرداخته‌اند. براساس این تحقیق، برای سبک‌سازی

به تراورس‌های استفاده شده در توسعه خطوط جدید معادل $10 \times 2/5$ ریال برآورد می‌شود. چنانچه به‌طور خوشبینانه ۱۰ درصد این تراورس‌ها سالیانه نیازمند تعویض و نگهداری باشد، ملاحظه می‌شود که هزینه‌های مرتبط با این بخش نیز مقدار قابل ملاحظه‌ای را به خود اختصاص خواهد داد. از این رو امروزه مدیران راه‌آهن ایران و اغلب کشورهای دنیا به علت هزینه‌های بالای تعویض تراورس‌های بتنی معیوب و شکسته درصدد افزایش مقاومت و دوام آن‌ها از راه به‌کارگیری روش‌های نوین و کم هزینه می‌باشند.

با نگاهی ویژه به مبحث افزایش مقاومت و دوام تراورس می‌توان روش‌های مختلفی را در ادبیات فنی جستجو کرد که از آن جمله می‌توان به استفاده از نوارهای کامپوزیتی الیافی^۱ که به‌صورت دورپیچ در نواحی با تنش بالا به کار می‌رود، اشاره کرد. اما این عمل به افزایش دوام کمک شایانی نخواهد کرد [۱]. استفاده از رزین‌های اپوکسی متشکل از نانو ساختارها که به‌صورت پاششی روی سطح بتن قرار داده می‌شوند، نیز نمونه‌ای از روش‌هایی است که در آن با کاهش نفوذپذیری بتن، مقاومت و دوام آن افزایش داده می‌شود. از این رو روش مذکور بسیار گران بوده و جز در موارد خاص مقرون به صرفه اقتصادی نیست [۲].

یکی از روش‌های مفید و اقتصادی برای افزایش مقاومت در برابر خوردگی و کنترل ترک‌های سطحی، استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن در بتن است. بررسی ادبیات فنی نشان‌دهنده فعالیت‌های تحقیقی متنوع در زمینه کاربرد الیاف پلی‌پروپیلن در بتن و شاتکریت می‌باشد. از جمله کارهای صورت گرفته در زمینه کاربرد الیاف مذکور در شاتکریت می‌توان به کار ژنگ و یائو^۲ [۳] اشاره کرد.

نتایج این تحقیق نشان‌دهنده آن است که میزان اتلاف

3- Zhou & Hua

4- S. Kurtz, P. Balaguru

5- Yao

6- Wu et al.

1- Fiber reinforced polymer

2- Zhong & Yao

دیوارهای پیش ساخته می‌توان از این الیاف به مقدار ۱ کیلوگرم بر مترمکعب استفاده کرد و چگالی ملات را به میزان ۲۰ درصد کاهش داد.

در پژوهش دیگری ریچاردسون^۱ [۸] بیان می‌کند که با استفاده از الیاف پلی پروپیلن در بتن، رشد ترک‌ها پس از شکست، کنترل شده و به ۰/۲ درصد رسیده و از سوی دیگر عرض ترک‌ها نیز به میزان ۱۵ درصد کاهش پیدا کرده است.

تمامی تحقیقات صورت گرفته روی شاتکریت و بتن الیافی به منظور بررسی کنترل ترک های سطحی، افزایش مقاومت در برابر آتش سوزی و افزایش مقاومت های کششی و خمشی صورت گرفته است، اما هیچ یک با دید بهبود مشخصات مقاومتی بتن تراورس درخط راه‌آهن بالاستی انجام نشده است.

در این تحقیق هدف آن است تا با استفاده از دانه‌بندی مصالح و طرح اختلاط پیشنهادی برای ساخت بتن تراورس، به بررسی رفتار این بتن در ترکیب با الیاف پلی پروپیلن پرداخته شود.

هدف اصلی از این تحقیق بررسی آثار الیاف بر مقاومت فشاری، کششی و خمشی و هم‌چنین کارایی بتن و به طور جنبی میزان کاهش رشد ترک‌های سطحی بوده است. در ادامه متدولوژی موردنظر برای نیل به اهداف تحقیق تشریح می‌شود.

۳- مشخصات الیاف پلیمری مورد استفاده

از نظر ترکیبی الیاف پلی الفین (Poly-Olefin)، شامل حداقل ۸۵ درصد وزنی اتیلن پروپیلن (Ethylene-Propylene) و یا انواع دیگر الفین (Olefin) می‌باشند. پلی پروپیلن و پلی اتیلن، مهم‌ترین الیاف الفینی را تشکیل می‌دهند که به گروه الیاف مصنوعی تعلق دارند. اولین الیاف الفینی از پلی اتیلن سبک در اواخر دهه ۱۹۳۰ در انگلستان تهیه شد که در آن سال‌ها به مصرف پوشش صندلی اتومبیل می‌رسید ولی به مرور زمان استفاده از این مواد پلیمری در صنایع دیگر نیز رواج پیدا کرد [۹].

در تحقیق حاضر، مشخصات الیاف پلی پروپیلن استفاده شده، در جدول ۱ ذکر شده است. شکل ظاهری این الیاف

دیوارهای پیش ساخته می‌توان از این الیاف به مقدار ۱ کیلوگرم بر مترمکعب استفاده کرد و چگالی ملات را به میزان ۲۰ درصد کاهش داد.

در پژوهش دیگری ریچاردسون^۱ [۸] بیان می‌کند که با استفاده از الیاف پلی پروپیلن در بتن، رشد ترک‌ها پس از شکست، کنترل شده و به ۰/۲ درصد رسیده و از سوی دیگر عرض ترک‌ها نیز به میزان ۱۵ درصد کاهش پیدا کرده است.

تمامی تحقیقات صورت گرفته روی شاتکریت و بتن الیافی به منظور بررسی کنترل ترک های سطحی، افزایش مقاومت در برابر آتش سوزی و افزایش مقاومت های کششی و خمشی صورت گرفته است، اما هیچ یک با دید بهبود مشخصات مقاومتی بتن تراورس درخط راه‌آهن بالاستی انجام نشده است.

در این تحقیق هدف آن است تا با استفاده از دانه‌بندی مصالح و طرح اختلاط پیشنهادی برای ساخت بتن تراورس، به بررسی رفتار این بتن در ترکیب با الیاف پلی پروپیلن پرداخته شود.

هدف اصلی از این تحقیق بررسی آثار الیاف بر مقاومت فشاری، کششی و خمشی و هم‌چنین کارایی بتن و به طور جنبی میزان کاهش رشد ترک‌های سطحی بوده است. در ادامه متدولوژی موردنظر برای نیل به اهداف تحقیق تشریح می‌شود.

۲- متدولوژی تحقیق حاضر

در تحقیق حاضر، با توجه به خواص منحصر به فرد الیاف پلی پروپیلن در کنترل ترک در بتن، تلاش شده است تا با انجام آزمایش‌هایی روی بتن تراورس، کارایی این الیاف در کنترل ترک تراورس و به موازات آن تأثیر آن بر مشخصه‌های مقاومتی، نشان داده شود. برای این منظور با توجه به بررسی‌های انجام شده مقدار الیاف بهینه پلی پروپیلن برابر

1- A.E. Richardson

نیز در شکل ۱ نشان داده شده است.

در ادامه هم به توضیح و بررسی تولید بتن الیافی در مقیاس آزمایشگاهی پرداخته می شود.

جدول (۱) مشخصات الیاف استفاده شده در تحقیق

۱۵	درصد افزایش طول	۳۹۰۰-۳۵۰۰	مدول الاستیسیته (N/mm ²)
۰	درصد جذب رطوبت	۰/۹۱	چگالی (kg/dm ³)
۳۰۰	مقاومت کششی (N/mm ²)	۱۲	طول (mm)
		۱۸	قطر اسمی (µm)
۱۶۰-۱۶۵	دمای ذوب (°C)	۳۶۰	دمای احتراق (°C)
بسیار پایین	هدایت الکتریکی	بالا	مقاومت در برابر حملات قلیایی



شکل (۱) الیاف پلی پروپیلن استفاده شده در تحقیق

طرح حاضر از دانه بندی با حداکثر اندازه سنگدانه ۱۶ میلی متر برای ساخت نمونه ها استفاده شده است. مقاومت سایشی سنگدانه های مصرفی باید براساس روش D طبق استاندارد (ASTM C131) [۱۲] کنترل و در نهایت به ۴۰ درصد محدود شود. از طرف دیگر ماسه استفاده شده باید در عدم واکنش با قلیایی ها (روش شیمیایی) براساس استاندارد (ASTM C289) [۱۳] کفایت لازم را داشته باشد. سیمان پرتلند استفاده شده در این تحقیق تیپ ۲ است که در ساخت تراورس در کارخانه مذکور نیز عیناً از همین سیمان استفاده می شود. در مجموع سیمان مصرفی باید ضوابط ASTM C150 [۱۳] را برآورده کند. آب مصرفی برای ساخت نمونه در این تحقیق آب شرب تهران بوده است. مشخصات الیاف پلیمری استفاده شده نیز باید با مشخصات استاندارد تراورس های کامپوزیت (AREMA Part4) [۱۵] مطابقت داشته باشد.

۴-۲- طرح اختلاط بتن های الیافی

در این بخش از تحقیق به تبیین طرح اختلاط بتن استفاده شده در کارخانه تراورس کرج پرداخته می شود. لازم به ذکر است که به طور دقیق همین طرح اختلاط مبنای کار آزمایشگاهی در پژوهش حاضر قرار داده شده و تأثیر اسفاده از الیاف پلی پروپیلن بر آن، مورد مطالعه قرار داده شده است [۱۶]. جزئیات طرح اختلاط استفاده شده در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول (۲) مقادیر وزنی و حجمی مصالح استفاده شده در طرح

اختلاط نمونه ها

پارامتر	$\frac{W}{C}$	سیمان (kg)	آب (kg)	شن بادی (kg)	شن نخودی (kg)	ماسه (kg)	درصد هوا
مقدار	۰/۳۲	۴۵۰	۱۷۲/۴۱	۳۵۵/۴۸	۶۲۲/۶۶	۷۹۰/۴۵	۲

۴- برنامه آزمایش ها و ساخت نمونه ها

۴-۱- مواد و مصالح مصرفی

در تحقیق حاضر از مصالح ساخت بتن در کارخانه تراورس سازی کرج استفاده شده است. برای این منظور مصالح مورد نیاز شامل مصالح درشت دانه (شن) از نوع شکسته در دو نوع نخودی و بادامی و هم چنین مصالح سنگی ریزدانه (ماسه) طبیعی است. دانه بندی و درصد اختلاط سنگدانه ها با توجه به مقادیر پیشنهادی در نشریه ۳۰۱ [۱۰] برای ساخت تراورس انتخاب شده است. در نشریه مذکور برای دانه بندی مصالح از ضوابط استاندارد DIN EN 13230-2 [۱۱] آلمان استفاده شده است. در

۴-۳- روند ساخت نمونه‌ها

برای بررسی تأثیر میزان الیاف، نمونه‌های متنوعی از بتن با افزودن مقادیر مختلف الیاف پلی پروپیلن تولید شد. در این خصوص ذکر این نکته ضروری است که برای اختلاط الیاف با بتن باید نخست این الیاف به وسیله اپراتور به طور مناسبی از هم جدا شده و سپس به مخلوط بتن اضافه شود [۱۷].

در روند ساخت نمونه‌های بتن الیافی براساس آیین‌نامه ACI اختلاط بتن همراه با الیاف، حدود یک دقیقه به طول کشیده است تا از مخلوط شدن الیاف با بتن اطمینان حاصل شود [۹]. پس از پایان عمل اختلاط، آزمایش‌های بتن تازه روی مخلوط صورت گرفته و پس از طی این مراحل، مخلوط به درون قالب‌های مکعبی ۱۵x۱۵x۱۵ سانتی متری برای آماده‌سازی نمونه جهت انجام آزمایش مقاومت فشاری و قالب‌های استوانه‌ای ۱۵x۳۰ سانتی متری برای انجام آزمایش کششی و قالب‌های منشوری ۱۵x۱۵x۶۰ سانتی متری برای انجام آزمایش مقاومت خمشی ریخته شده است. نمونه‌ها پس از اعمال لرزش اولیه، به مدت ۲۴ ساعت درون قالب در اتاق مرطوب قرار داده شده و در این مدت سطح نمونه‌ها به طور دائم مرطوب نگاه داشته شده است. پس از گذشت این مدت، قالب‌ها باز و نمونه‌ها بلافاصله در شرایط عمل‌آوری درون مخزن آب در دمای کنترل شده آزمایشگاه در محدوده ۲۲ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده‌اند.

۵- جزئیات آزمایش‌ها و نتایج به دست آمده

۵-۱- آزمایش‌های مربوط به بتن تازه

برای شناخت رفتار بتن الیافی، آزمایش اسلامپ به صورت آزمایش VB و اندازه‌گیری چگالی بتن تازه مورد نظر قرار

داده شد. نتایج آن‌ها نیز در جدول ۳ ارائه شده است. همان گونه که از اعداد این جدول بر می‌آید، نتایج نشان‌دهنده آن است که با افزایش مقدار درصد الیاف، مقدار چگالی در تمام نمونه‌ها کاهش و مقدار زمان VB افزایش یافته است. این موضوع از نظر فیزیکی نیز به راحتی قابل تفسیر است، زیرا الیاف استفاده شده - که وزن مخصوص پایینی دارند- از آن جا که جایگزین بخشی از مصالح بتن شده است، توانسته وزن مخصوص بتن را کاهش دهد. از سوی دیگر با توجه به ایجاد فضای خالی و افزایش تخلخل به وسیله الیاف در بتن، انتظار می‌رود که میزان روانی بتن کاهش پیدا کند که این موضوع در بخش تفسیر نتایج به دست آمده به تفصیل بررسی شده است.

۵-۲- آزمایش‌های انجام شده روی بتن سخت شده

۵-۲-۱- آزمایش مقاومت فشاری

نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه برای نمونه‌های مختلف با درصد الیاف متفاوت در جدول ۴ نشان داده شده است. با بررسی این نتایج ملاحظه می‌شود که در تمام موارد مقاومت فشاری بتن با افزایش درصد الیاف، کاهش پیدا کرده است. این کاهش می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر منفی فضای خالی ایجاد شده به وسیله الیاف در بتن باشد.

جدول (۳) نتایج آزمایش‌های بتن تازه

VB (ثانیه)	وزن مخصوص (ton/m ³)	مقدار الیاف (kg/m ³)
۳۰/۵	۲/۴۲	۰
۴۶/۲	۲/۴۰	۰/۷
۴۹	۲/۳۹	۰/۹
۴۸	۲/۳۸	۱/۵
۵۳	۲/۳۷	۲
۵۵	۲/۳۶	۴

۵-۲-۳- آزمایش مقاومت خمشی

خلاصه نتایج آزمایش مقاومت خمشی ۲۸ روزه در جدول (۶) ارائه شده است. نتایج آزمایش خمشی تک نقطه‌ای نشان‌دهنده آن است که مقاومت خمشی بتن با افزایش درصد الیاف، افزایش پیدا کرده است. البته همانند آنچه در بالا به آن اشاره شد، این افزایش برای درصد الیاف بالا روندی معکوس پیدا می‌کند.

جدول (۶) نتایج مقاومت خمشی نمونه‌ها (MPa)

مقاومت خمشی ۲۸ روزه ۳			متوسط	مقدار الیاف
نمونه ساخته شده			مقاومت خمشی	(kg/m ³)
۲/۷	۲/۶۱	۲/۷۰	۲/۶۷	۰
۲/۸۹	۳/۰۰	۲/۹۵	۲/۹۵	۰/۷
۲/۸۰	۲/۸۹	۲/۷۴	۲/۸۱	۰/۹
۲/۸۸	۲/۹۰	۲/۸۱	۲/۸۶	۱/۵

۶- تجزیه و تحلیل و تفسیر نتایج

مواردی که در این بخش ارائه می‌شود، به‌عنوان جمع‌بندی نتایج به‌دست آمده در بخش‌های قبل و برای شرایطی است که مقدار الیاف مصرفی بین ۰/۷ الی ۱/۵ کیلوگرم بر مترمکعب تغییر کرده است. به‌طور قطع برای درصد الیاف بالا (مقدار الیاف بیش از ۲ kg/m³) جمع‌بندی مشخصی قابل ارائه نخواهد بود. به‌طور کلی به‌نظر می‌رسد که می‌توان مقدار الیاف ۰/۷ kg/m³ را به‌عنوان مقدار بهینه الیاف قابل استفاده، مطلوب دانست.

۶-۱- تفسیر نتایج آزمایش‌های انجام شده بر بتن تازه

۶-۱-۱- تفسیر نتایج آزمایش اسلامپ VB

در آزمایش به‌دست آوردن روانی بتن، مشاهدات آزمایش نشان‌دهنده آن است که با افزایش مقدار الیاف پلی‌پروپیلن در نمونه‌ها، مقدار VB افزایش پیدا کرده است. این به آن معنا است که با افزایش الیاف پلی‌پروپیلن، کارایی بتن کاهش پیدا کرده و

جدول (۴) نتایج مقاومت فشاری نمونه‌ها (MPa)

مقاومت فشاری ۲۸ روزه ۴ نمونه ساخته شده				متوسط	مقدار الیاف
				مقاومت	(kg/m ³)
				فشاری	
۶۴/۴۴	۴۸/۸۸	۵۷/۱۱	۵۹/۵۵	۵۷/۵	۰
۴۸/۸۸	۵۴/۲۲	۵۱/۱۱	۵۵/۵۵	۵۲/۴۴	۰/۷
۴۶/۶۶	۵۰/۲۲	۴۸/۸۸	۵۱/۱۱	۴۹/۲۲	۰/۹
۴۶/۶۶	۴۴/۴۴	۴۵/۷۷	۴۸/۸۸	۴۶/۴۴	۱/۵
۴۵/۵۵	۴۶/۶۶	۴۱/۱۱	۴۴/۴۴	۴۴/۴۴	۲
۴۳/۳۳	۴۰	۴۴/۴۴	۴۱/۱۱	۴۲/۲۲	۴

۵-۲-۲- آزمایش مقاومت کششی

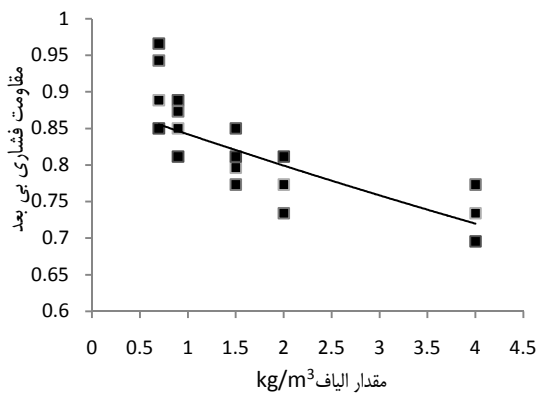
نتایج آزمایش مقاومت کششی ۲۸ روزه برای نمونه‌های با درصد الیاف متفاوت در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج به‌دست آمده از آزمایش کشش غیر مستقیم موسوم به آزمایش برزیلی نشان‌دهنده آن است که در تمام موارد مقاومت کششی بتن با افزایش وزن الیاف مصرفی، افزایش پیدا کرده است. لازم به ذکر است که این موضوع برای وزن الیاف بالا و غیرمتعارف (مقدار الیاف بالای ۲ kg/m³) صادق نبوده و روندی معکوس را طی می‌کند. در تفسیر این موضوع می‌توان گفت که تا حد مشخصی از الیاف، نقش مسلح‌کننده به‌خوبی مشخص است. اما در مقادیر بالا، کاهش مقدار چگالی و افزایش تخلخل، کاهش مقاومت کششی را به‌دنبال دارد.

جدول (۵) نتایج مقاومت کششی نمونه‌ها (MPa)

مقاومت کششی ۲۸ روزه ۶ نمونه ساخته شده				متوسط	مقدار الیاف
				مقاومت	(kg/m ³)
				کششی	
۴/۲۴	۴/۸۱	۳/۵۴	۳/۳۹	۳/۹۶	۰
۵/۸۰	۵/۰۹	۵/۶۶	۵/۳۸	۵/۵۲	۰/۷
۵/۳۰	۵/۰۹	۵/۰۲	۵/۵۲	۵/۶۶	۰/۹
۴/۹۵	۴/۶۷	۵/۹۴	۵/۹۴	۴/۸۱	۱/۵
۳/۶۸	۴/۲۴	۴/۳۸	۴/۵۳	۳/۸۲	۲
۴/۱۰	۳/۰۴	۴/۵۳	۲/۸۳	۳/۲۵	۴

در تمام نمونه‌ها با افزایش الیاف پلی‌پروپیلن، مقاومت فشاری کاهش پیدا کرده است، اما نمی‌توان رابطه‌ای خطی بین این دو عامل پیدا کرد. از مقدار الیاف 2 kg/m^3 و بیش‌تر از این مقدار، مقاومت فشاری به‌شدت کاهش پیدا کرده است.

عامل اصلی در کاهش مقاومت فشاری را می‌توان در افزایش تخلخل به تناسب افزایش مقدار الیاف پلی‌پروپیلن جستجو کرد. برای نمونه در مقدار الیاف 0.7 kg/m^3 ، مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد، کاهش برابر $8/7$ درصد را نشان داده است. در شکل ۳ مقاومت فشاری بی بعد شده نمونه‌ها نسبت به مقاومت میانگین نمونه‌های شاهد نشان داده شده است.



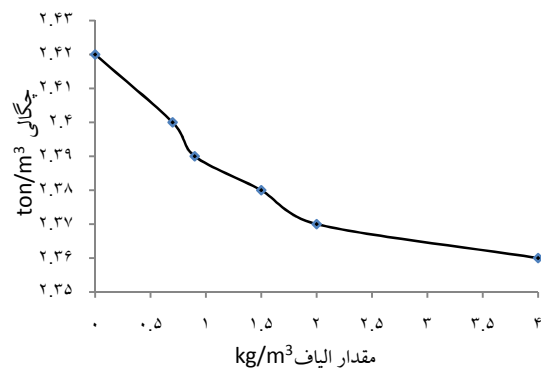
شکل (۳) تغییرات مقاومت فشاری بی بعد برحسب میزان الیاف

در مقدار الیاف 2 kg/m^3 ، زمان گسیختگی بتن هیچ صدای ترکشی به گوش نرسیده و بتن هم‌چنان قابلیت فشرده شدن را دارد. اگر این موضوع بیانگر افزایش شکل‌پذیری بتن باشد، از نتایج به‌دست آمده این نکته استنباط می‌شود که بتن الیافی را می‌توان در دیوارها و دال‌های ساختمانی برای افزایش شکل‌پذیری و ایمنی در برابر زلزله استفاده کرد. نکته دیگر کمک الیاف به جلوگیری از پرتاب اجزا پس از شکست بوده است. این موضوع به نوعی بیانگر افزایش مقاومت چسبندگی بتن الیافی می‌باشد.

به همین دلیل زمان ریختن بتن در قالب، تراکم به‌خوبی صورت نگرفته و در نتیجه این موضوع باعث افزایش تخلخل و کاهش مقاومت شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در بهترین حالت مقدار این پارامتر به $46/2$ ثانیه می‌رسد که نسبت به نمونه شاهد افزایشی ۵۱ درصد را نشان می‌دهد.

۶-۱-۲- تفسیر نتایج آزمایش اندازه‌گیری وزن مخصوص

بررسی نتایج نشان‌دهنده آن است که مقدار چگالی بتن با افزایش مقدار الیاف کاهش یافته است. این موضوع می‌تواند ناشی از کاهش وزن نمونه در این شرایط باشد که این امر نیز به‌طور مستقیم ناشی از افزایش تخلخل در نمونه می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، در بیش‌ترین حالت چگالی $2/5$ درصد کاهش داشته است. این نتایج با مقادیر اعلام شده به‌وسیله ریچاردسون [۱۸] همخوانی نشان می‌دهد. در تحقیق مذکور با افزایش الیاف، اسلامپ، کارایی و هم‌چنین چگالی کاهش داشته است. در عین حال هوا و ژئو [۴] نیز به نتایج مشابهی در مورد بتن الیافی رسیده‌اند.



شکل (۲) نتایج آزمایش تعیین میزان چگالی

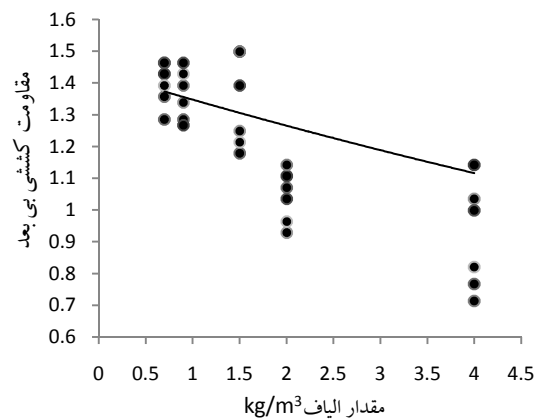
۶-۲- تفسیر نتایج آزمایش‌های بتن سخت شده

۶-۲-۱- تفسیر نتایج آزمایش مقاومت فشاری

بررسی نتایج به‌دست آمده از آزمایش مقاومت فشاری روی نمونه‌های مکعبی $15 \times 15 \times 15$ سانتی‌متر بیانگر آن است که

۶-۲-۲- تفسیر نتایج آزمایش مقاومت کششی

این آزمایش که موسوم به آزمایش مقاومت برزیلی است، بر نمونه‌های استوانه‌ای 15×30 سانتی متری انجام شد است. نتیجه این آزمایش در تمام نمونه‌های مورد نظر، بیانگر افزایش مقاومت کششی به موازات افزایش مقدار الیاف پلی پروپیلن بوده است. این موضوع بیانگر آن است که در حقیقت الیاف در سطح میکروسکوپی توانسته‌اند چسبندگی قابل قبولی را بین اجزا برقرار کرده و مقاومت کششی را افزایش دهند. این موضوع در تحقیقات صورت گرفته به وسیله شاه و باتسون [۱۹] نیز تأیید شده است.



شکل (۴) تغییرات مقاومت کششی بی بعد برحسب میزان الیاف

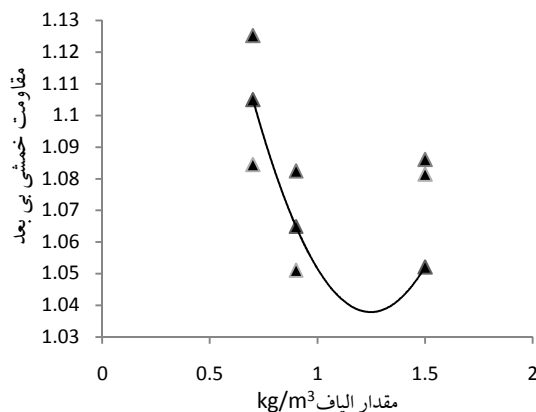
در مجموع افزودن مقدار مناسبی الیاف پلی پروپیلن به بتن تأثیر مطلوبی بر مقاومت کششی دارد. در بهترین حالت، مقدار افزایش مقاومت کششی نسبت به نمونه شاهد در مقدار الیاف 0.7 kg/m^3 برابر ۳۳ درصد بوده است. لازم به ذکر است که از مقدار الیاف 2 kg/m^3 و بیش تر از این مقدار، مقاومت کششی نیز همانند مقاومت فشاری، به شدت کاهش پیدا کرده است، به نحوی که حتی از مقدار مقاومت کششی نمونه شاهد نیز کمتر شده است. عامل اصلی در کاهش مقاومت کششی را نیز می‌توان در افزایش تخلخل به تناسب افزایش مقدار الیاف پلی پروپیلن و متعاقب آن، کاهش چسبندگی دانست. شکل ۴

که مقاومت کششی بدون بعد حاصل از تقسیم مقاومت تک تک نمونه‌های آزمایش شده بر مقاومت میانگین نمونه‌های شاهد را نشان می‌دهد، مبین این افزایش است.

۶-۲-۳- تفسیر نتایج آزمایش مقاومت خمشی

این آزمایش روی نمونه‌های منشوری $15 \times 15 \times 60$ سانتی متری انجام شده است. براساس آیین‌نامه (AREMA Part 4) [۱۵]، تکیه‌گاه‌ها در فاصله یک سوم دهانه قرار داده می‌شود و بار نقطه‌ای در وسط دهانه به نمونه اعمال و میزان نیروی شکست نمونه تعیین می‌گردد. به‌طور کلی افزایش مقاومت خمشی را می‌توان متناسب با افزایش مقاومت کششی دانست. چرا که در عمل کشش ناشی از خمش، کنترل‌کننده میزان بارگسیختگی نمونه می‌باشد. در آزمایش‌های انجام شده ملاحظه می‌شود که در بارگذاری تک نقطه‌ای، الیاف توانسته‌اند مقاومت خمشی را افزایش دهند. این نتیجه نشان می‌دهد که الیاف در مقیاس میکروسکوپی موجب بهبود ناحیه انتقال و کنترل ریز ترک‌ها شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که در بهترین حالت مقاومت خمشی بی بعد شده به میزان ۱۰ درصد افزایش پیدا کرده است.

شکل ۵ که حاصل تقسیم مقاومت تک تک نمونه‌های آزمایش شده بر مقاومت میانگین نمونه شاهد است، تغییرات مقاومت خمشی بی بعد را برحسب میزان الیاف نشان می‌دهد.



شکل (۵) تغییرات مقاومت خمشی بی بعد برحسب میزان الیاف

۷- نتیجه گیری

در این تحقیق هدف آن بود تا با انجام یک مطالعه آزمایشگاهی، تأثیر استفاده از الیاف پروپیلن بر رفتار بتن مورد استفاده در تراورس بتنی خطوط ریلی، بررسی شود. برای این منظور با تکیه بر ادبیات فنی موجود، میزان الیاف مصنوعی پلی پروپیلن در محدوده مشخصی تغییر داده شده و تأثیر آن بر عواملی هم چون روانی (کارایی)، مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مقاومت خمشی بررسی شده است. در این راستا عمده نتایج به دست آمده در این تحقیق به شرح زیر است:

با توجه به آزمایش‌های انجام شده روی بتن الیافی و مشاهده تأثیر الیاف پلی پروپیلن روی رفتار بتن تراورس، مشخص شد که استفاده از مقدار الیاف بیش از 2 kg/m^3 موجب کرم‌شدگی بتن و افت شدید مقاومت آن می‌شود. اما مقاومت کششی و مقاومت خمشی در این حالت به طور جزئی بهبود پیدا کرده است. با تمرکز بر افزایش مقاومت کششی، مقدار بهینه الیاف پلی پروپیلن 0.7 kg/m^3 انتخاب شده و متأثر از آن مقاومت‌های کششی و خمشی، به ترتیب ۳۳ و ۱۰ درصد افزایش پیدا کرده است.

استفاده از الیاف به میزان بالاتر از 2 kg/m^3 بر کاهش دوام بتن در برابر چرخه‌های یخ زدن و آب شدن تأثیر بسیار جدی خواهد داشت. بنابراین پیشنهاد می‌شود که در خطوط ریلی جنوب کشور که عمر مفید تراورس‌های بتنی بین ۲ الی ۵ سال است، به منظور افزایش عمر و دوام تراورس، از بتن الیافی استفاده شود.

بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد که الیاف پلی پروپیلن توانسته است در سطح میکروسکوپی به بهبود ناحیه انتقال و کنترل ریز ترک‌ها کمک شایانی کند. در ضمن افزایش توأم مقاومت کششی و خمشی نشان‌دهنده مقاومت چسبندگی بالایی است که با افزودن الیاف به دست

همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود، با افزایش میزان الیاف از 0.7 kg/m^3 تا 1.0 kg/m^3 ، مقاومت خمشی نخست کاهش و سپس افزایش پیدا کرده است. لیکن مقدار الیاف مطلوب برای ایجاد بیش‌ترین مقاومت خمشی برابر 0.7 kg/m^3 بوده است. علت به وجود آمدن چنین تغییراتی را می‌توان در افزایش تخلخل به موازات افزایش الیاف مصرفی از 0.7 kg/m^3 تا 1.25 kg/m^3 دانست. پس از این محدوده به نظر می‌رسد که الیاف، نقش عمده‌ای را در تأمین مقاومت کششی پیدا می‌کنند، از این رو تا میزان 1.0 kg/m^3 افزایش مقاومت کششی بر افزایش تخلخل غالب شده است. در مجموع افزایش توأم مقاومت کششی و مقاومت خمشی در درصد بهینه‌ای از الیاف، که موجب افزایش مقاومت چسبندگی می‌شود، می‌تواند عاملی برای کنترل ترک‌های سطحی بوده و از نفوذ مواد مضر به بتن تراورس جلوگیری به عمل آورد [۲۰].

شکل ۶ نمونه‌ای از بتن شدیداً متخلخل را در شرایط استفاده از 2 kg/m^3 نشان می‌دهد. از این رو توصیه می‌شود که با یک دید کاربردی، از مقدار الیاف بهینه‌ای که در آن، کاهش معقولی در مقاومت فشاری رخ داده و در این صورت افزایش مقاومت کششی، خمشی و الکتریکی مناسبی به وجود آمده، استفاده شود.



شکل (۶) نمونه استوانه‌ای آماده بارگذاری

Science., Vol. 94 , pp. 2251-2256, 2004.

[8] A.E. Richardson; "Bond characteristics of structural polypropylene fibers in concrete with regard to post-crack strength and durable design"; *Journal of Structural Survey*, Vol. 23, No.3 ,pp. 210-230, 2005.

[9] ACI 544.3R.; Guide for Specifying Mixing ,Placing and Finishing Fiber Reinforced Concrete, ACI Manual of Concrete Practice. Michigan: American Concrete Institute ;1998.

[۱۰] نشریه ۳۰۱ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور (مشخصات فنی و عمومی روسازی خطوط بالاستی راه آهن)، صص ۴۰-۴۶، ۱۳۸۴.

[11] DIN EN 13230-2. EN-Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers - Part 2: Prestressed monoblock sleepers. Deutsches Institut für Normung ; 2003

[12] ASTM C131. Standard test method for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles Machine, Barr Harbor: American Society for Testing and Materials; 2004 .

[13] ASTM C289. Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method), Barr Harbor: American Society for Testing and Materials; 2004 .

[14] ASTM C150-04 . Standard specification for portlan cement, Barr Harbor: American Society for Testing and Materials; 2004 .

[15] American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association, Concrete ties, AREMA manual for Railway Engineering Part4. Derekwood Lane, Suite 210: American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association; 2006.

[۱۶] رضایی؛ دستورالعمل تولید بتن ، بتن ریزی و عمل آوری در تولید تراورس بتنی ؛ دفتر مهندسی و نظارت تأسیسات زیر بنایی گروه مهندسی خط و ابنیه

می آید. تأیید این موارد در مطالعه حاضر مبین آن است که وجود الیاف می تواند ترک های سطحی را تا حد قابل قبولی کنترل کرده و از نفوذ مواد مضر به تراورس جلوگیری کند. از ایی رو می توان انتظار داشت که با به کارگیری این نوع بتن در تراورس، چرخه تعمیر و نگهداری و تعویض آن را به تعویق انداخت .

۸- مراجع

[۱] رهایی؛ زمردیان؛ ترمیم و تقویت سازه های بتن مسلح با الیاف پلیمری مرکب؛ دانشگاه تفرش، تهران: دانش نگار، ۱۳۸۴، ۱۳۴-۱۳۷

[۲] مهتا؛ ریزساختار، خواص و اجزای بتن (تکنولوژی بتن پیشرفته)؛ رمضانیان پور، قدوسی، گنجیان، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۵۵۱-۵۶۰.

[3] Zhong and Yao; "Effect of polypropylene fibers on the long-term tensile strength of concrete"; *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, Vol. 22 No.1, pp.62-73 , 2007.

[4] Hau and Zhou; "Application study of polypropylene fiber reinforced concrete railway tunnel lining structure within hard rock mass using wet-sprayed technique"; *Trans Tech Publications*, Vol. 22 No. 1, pp.76-80, 2009.

[5] S. Kurtz and P. Balaguru; "Postcrack creep of polymeric fiber-reinforced concrete in flexure"; *Journal of Cement and Concrete Research*, Elsevier Science, Vol. 22, No.1, pp. 183-190, 2000.

[6] Yao, "Flexural strength and behavior of polypropylene fiber reinforced concrete beams", *Journal of Wuhan University of Technology - Mater. Sci. Ed.* , Vol.17 No.2, pp.251-260 , 2000

[7] Wu et al. ; "Performance characteristics of subdenier monofilament polypropylene fiber reinforced mortars"; *Journal of Applied Polymer*

[19] Shah,S.P. and Batson,G.P, Fiber Reinforced Concrete Properties and Applications, Michigan : American Concrete Institute; 1987.

فنی؛ تهران، ۱۳۸۳، ۲۵-۲۸.

[20] ACI-44.1R . State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete, ACI Manual of Concrete Practice. Michigan: American Concrete Institute ;1988.

[۱۷] باقری؛ پرهیزکار؛ کاربرد الیاف در بتن و فرآورده‌های

سیمانی؛ نشریه شماره ۳۰۰، تهران: انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۷۵-۸۳، ۱۳۷۸.

[18] A.E. Richardson; "Compressive strength of concrete with polypropylene fibre additions"; *Journal of Structural Survey* ,Vol. 24, No. 2, pp. 138-153, 2006.