

تاثیر الیاف ضایعاتی فرش ماشینی فرسوده بر خصوصیات مکانیکی و جذب انرژی بتن خود تراکم

مقاله علمی - پژوهشی

نوید قاسمی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد واحد خمین، خمین، ایران
آرش بیات، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد واحد خمین، خمین، ایران
حامد روح‌الامینی*، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه هرمزگان، ایران
پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Rooholamini@Hormozgan.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۵ - پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۵

صفحه ۲۸۲-۲۶۹

چکیده

این تحقیق تاثیر الیاف ضایعاتی فرش ماشینی فرسوده بر خصوصیات بتن تازه و سخت شده بتن خود تراکم می‌پردازد. الیاف فرش ضایعاتی در درصدهای ۰، ۰/۵، ۱/۰ و ۱/۵ حجم بتن برای بررسی به بتن خود تراکم اضافه شدند. آزمایش‌های بتن خود تراکم تازه شامل آزمایش‌های جریان اسلامپ، حلقه جی، قیف وی، جعبه ال-شکل بودند. برای نمونه‌های سخت شده الیاف در دو حالت عمل آوری نرمال و رطوبت نسبی ۳۰٪ بررسی شدند و آزمایش‌های مقاومت فشاری و مقاومت خمشی در سن ۲۸ روزه روی آن‌ها انجام شد. از نمودار بار-جابجایی بر اساس داده‌های آزمایش خمشی برای محاسبه اندیکس چقرمگی خمشی استفاده شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که با افزودن الیاف ضایعاتی صنعت فرش به بتن شاهد کاهش خصوصیات کارایی بتن تازه هستیم هرچند این کاهش کارایی برای الیاف تا ۱٪ هنوز در محدوده آیین‌نامه‌ای قرار دارد. مقاومت فشاری از ۰ تا ۱/۵ کاهش قابل ملاحظه‌ای (از ۳۶ به ۱۹ مگاپاسکال) می‌یابد. پس از ترک خوردگی اولیه در جابجایی‌ای بزرگی نظیر ۲ میلی‌متر می‌توان انتظار داشت که میزان بار برای همه نمونه‌های حاوی الیاف از ۵/۵ کیلونیوتن بالاتر باشد. تاثیر عمده الیاف در اندیکس چقرمگی خمشی خود را نشان می‌دهد. به طوری که از ۰ تا ۰/۵ الیاف اندیکس بیش از ۹۰٪ افزایش می‌یابد، اما بعد از این درصد تغییر عمده‌ای نمی‌یابد.

واژه‌های کلیدی: الیاف ضایعاتی فرش، بتن خود تراکم، بتن الیافی، چقرمگی خمشی

۱-مقدمه

از یک میلیون تن باشد و انتظار می‌رود طی ۱۰ سال آینده این میزان حدود ۱۶٪ درصد افزایش یابد (فرجی، ۲۰۲۱) صنعت فرش ایران با قدمتی هزاران ساله به عنوان میراثی ماندگار و هنری با سرپنجه قالی بافان ایرانی در دنیا هنرنمایی می‌کند. فرش و موکت ایرانی به‌عنوان تزئین داخلی، زیرانداز،

فرش‌ها گزینه بسیار محبوب پارچه‌های کف پوش در خانه‌ها و مراکز تجاری در سراسر جهان هستند. در این نوع محصولات بیش از ۷۲٪ الیاف بکر در مقابل الیاف بازیافتی یا بازیافت شده استفاده می‌شود. تخمین زده می‌شود که استفاده از الیاف جدید در صنعت فرش در سطح جهانی بیش

فرش و موکت باشد. هدف از قرارگیری الیاف در بتن افزایش چقرمگی، بهبود مقاومت کششی و کنترل انقباض بتن می‌باشد. پاتریک و همکاران (Cunningham, 2021) با بررسی اثر استفاده از ضایعات فرش پس از مصرف کلسیم کرنات به عنوان جایگزین بخشی از سیمان و ریزدانه مصرفی (در درصدهای جایگزینی ۵-۱۵٪) در مشخصات مکانیکی بتن بیان نموده‌اند که مصرف ضایعات فرش می‌تواند میزان هوای موجود در بتن را به میزان ۱۰-۳/۵ درصد افزایش دهد و وزن واحد را تا ۱۱٪ در بتن تازه کاهش دهد. همچنین این نوع کاربرد ضایعات فرش منجر به از کاهش مقاومت فشاری تا میزان ۶۰٪ می‌گردد که نشان از عدم مناسب بودن استفاده از ضایعات فرش به‌عنوان جایگزین سیمان و یا سنگدانه مصرفی است. محمد حسینی و عبدالعال در سال ۲۰۱۴، تاثیر الیاف ضایعاتی پس از مصرف موکت را بر کارایی بتن تازه و مقاومت فشاری و خمشی بتن سخت شده مورد بررسی قرار دادند. الیاف ضایعاتی از جنس پلی پروپیلن بوده و در درصدهای ۰، ۰/۵، ۱/۰، ۱/۵ و ۲/۵٪ به کار برده شدند. بر اساس نتایج این محققین از ۰ تا ۲٪ الیاف اسلامپ بتن تازه از ۵۵ به ۱۰ میلی‌متر و وزن حجمی از ۲۴۰۰ به ۲۱۵۰ تقلیل یافته است. مقاومت فشاری از ۰/۵٪ الیاف به بعد کاهش شدید از خود نشان داده و مقاومت خمشی تنها در ۰/۵ و ۱/۰٪ بالاتر از نمونه شاهد می‌باشد. بر این اساس آنها نتیجه گرفتند که الیاف ضایعاتی فرش می‌تواند به عنوان گزینه مناسبی برای جایگزینی در بتن الیافی باشد. جانعلیزاده و همکاران در سال ۲۰۱۹ تاثیر الیاف ضایعاتی پشم فرش و نانو کرنات کلسیم را بر مقاومت فشاری تک محوری خاک بررسی کردند. الیاف بکاربرده شده از نوع پشم فرش ایرانی بوده و در ۰، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶٪ وزن خاک خشک اضافه شدند. افزایش الیاف منجر به افزایش سفتی خاک و میزان انرژی جذب شده در نمودار-تنش کرنش می‌شود. الیاف بیش از ۰/۲٪ منجر به کاهش حداکثر بار گسیختگی می‌شود.

عبدالعال و محمد حسینی در سال ۲۰۱۶ به بررسی تاثیر الیاف ضایعاتی قبل از تولید فرش و خاکستر روغن پالم بر کارایی بتن تازه و خصوصیات مقاومتی بتن پرداختند. الیاف ضایعاتی از جنس پلی پروپیلن با طول ۲۰ میلی متر بودند و در درصدهای ۰ تا ۱/۲۵٪ در بازه ۰/۲۵٪ به کار رفتند. نتایج

عایق حرارت و صدا یکی از ارکان اصلی خانه‌های ایران زمین به شمار می‌رود. تولید سالیانه فرش ماشینی و موکت سالیانه در ایران ۱۳۹۶ به ترتیب برابر با ۹۵ و ۷۰ میلیون متر مربع بوده که علاوه بر تامین مصرف داخلی، صادراتی با ارزش بیش از ۴۰۰ میلیون دلاری به همراه دارد. تولید انبوه فرش و موکت ضایعات پس از مصرف آن‌ها را به دنبال دارد. هرچند که اطلاعات و آمار دقیقی از حجم ضایعات پس از مصرف این محصولات در دسترس نیست، اما منسوجات بین ۴ تا ۶٪ زباله‌های شهری را تشکیل می‌دهند که تنها بخش کمی از آن (۲۰٪) بازیافت می‌شود. از منظر زیست محیطی، دفع مواد زائد فرش به دلیل خصوصیات غیر قابل تجزیه این نوع مواد در محل‌های دفن زباله برای مدت زمان بسیار طولانی، مشکل اساسی برای محیط زیست است. این معضل نه تنها دلیلی برای نگرانی زیست محیطی است، بلکه عامل هدر دادن منابع سودآور است. از این منظر سالانه میلیون‌ها دلار در نتیجه دفن مواد زائد فرش از دست می‌رود. علاوه بر این، سوزاندن ضایعات فرش، گازهای بسیار سمی را در هوای اطراف آزاد می‌کند که سلامت انسان را به خطر می‌اندازد از سوی دیگر، ضایعات فرش و موکت در صورت دفع نامناسب به خاطر ماهیت متخلخل و جاذب رطوبت بودن منبعی برای رشد باکتری و قارچ و آلودگی زیست محیطی به شمار می‌رود. (فرجی و همکاران ۲۰۲۱ و محمدحسینی ۲۰۲۰)، علاوه بر این، دانسته کم این ضایعات نیازمند مکان وسیعی برای دفع آنها می‌باشد که تجمع این مواد در کنار هم خطراتی مثل آتش سوزی را در پی دارد. نخ خاب، نخ پود و نخ تار مهم‌ترین اجزاء فرش ماشینی را تشکیل می‌دهند. نخ خاب حدود ۸۰٪ وزن فرش را تشکیل می‌دهد که عمدتاً از الیاف اکریلیک، پلی استر و پلی پروپیلن تشکیل شده است. بعد از ناخ خاب، نخ پود و تار به ترتیب ۱۲ و ۸٪ وزن فرش را تشکیل می‌دهند که از الیاف جوت، پلی استر و پنبه ساخته می‌شوند. اگرچه الیاف فوق از استحکام بالایی برخوردار هستند. اما پس از تولید نیز بارها مورد پاختردگی، شستشو تابش نور خورشید قرار گرفته‌اند و در نتیجه دچار پوسیدگی و زبری سطح بیش از حالت اولیه خود گشته‌اند. بتن الیافی از انواع بتن‌های خاص است که الیاف را در خود جای داده است و می‌تواند یکی از گزینه‌های مصرف الیاف رشته شده ضایعاتی

چسب وجود دارد بهتر است به جای الیاف به عنوان سنگدانه استفاده شوند. تکه های بریده شده موکت در درصدهای ۱، ۲ و ۳٪ وزنی جایگزین موکت شده است. دانسیته، مقاومت فشاری و خصوصیات انرژی جذب شده در آزمایش مقاومت خمشی بررسی شدند. نتایج نشان می‌دادند که با افزایش درصد الیاف از ۰ تا ۳٪ مقاومت فشاری و دانسیته به طور همسو از ۰ تا ۱۴٪ کاهش می‌یابد. افزایش ۳٪ الیاف باعث کاهش ۸٪ مقاومت خمشی می‌شود اما چقرمگی ناشی از خمش در ۱۵ و ۱۱۰ به ترتیب ۳/۵ و ۴/۵ برابر می‌شود. نکته منفی دیگر استفاده از این الیاف جذب آب بالای نمونه‌های حاوی الیاف می‌باشد بطوریکه در بتن با ۳٪ الیاف جذب آب ۴۰٪ بالاتر از نمونه شاهد می‌باشد.

در این تحقیق تلاش می‌شود تا تاثیر استفاده از الیاف ضایعاتی فرش ماشینی پس از مصرف را بر خصوصیات بتن خودتراکم تازه و سخت شده بررسی شود. الیاف در دو حالت خشک و اشباع به بتن اضافه می‌شوند. نمونه‌ها با الیاف خشک عمل آوری مرطوب داشته و نمونه‌ها با الیاف اشباع در محیط با رطوبت نسبی ۳۰٪ عمل آوری می‌شوند. از خصوصیات بتن تازه آزمایش جریان اسلامپ، حلقه جی، جعبه ال-شکل و قیف وی بررسی می‌شود و خصوصیات بتن سخت شده از طریق آزمایش‌های مقاومت فشاری و خمشی اندازه‌گیری می‌شود.

حاکی از کاهش مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته برای الیاف و خاکستر می‌باشد. اما مقاومت خمشی، کششی و انرژی جذب شده با الیاف افزایش می‌یابد. میزان بهینه افزایش الیاف در این تحقیق ۰/۲۵٪ است. وانگ (۱۹۹۹)، تاثیر الیاف ضایعاتی پس از مصرف فرش را بر خصوصیات بتن الیافی و خاک به خاطر بهبود خواص این بتن بررسی کرد. الیاف از جنس جنس پلی پروپیلن، نایلون و استایرن-بوتادین-لاستیک با طول متغییر بین ۱۲ تا ۲۵ میلی‌متر بودند. نتایج نشان می‌دادند که با افزایش درصد الیاف مقاومت فشاری کاهش، مقاومت خمشی اندکی افزایش می‌یابد ولی میزان انرژی جذب شده افزایش می‌یابد.

اشمیت و سیزلاک (۲۰۰۸)، با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی انرژی سطحی الیاف ضایعاتی پس از مصرف الیاف فرش از جنس الیاف پلی‌آمید و پلی پروپیلن پرداختند که توسط دستگاه آسیاب ریس شده بودند. آنها نتیجه گرفتند که چسبندگی مناسبی بین این الیاف و بتن چه در حالت خشک و مرطوب وجود دارد. در عین حال این الیاف قابلیت جذب رطوبت بالایی دارند. اما، نرخ جذب رطوبت در این الیاف از سایر اجزا بتن نظیر سنگدانه، خمیر سیمانی و خود بتن کمتر است. فرشیدی و همکارانش در سال ۲۰۱۹ به جایگزینی الیاف موکت دولایه به جای سنگدانه برای بهبود خواص بتن سبک پرداختند. بر اساس پیشنهاد این محققین بهتر است موکت‌هایی که در انتها یا در دو وجه آن‌ها

۲- مواد و روش‌ها

۲-۲- مصالح مصرفی

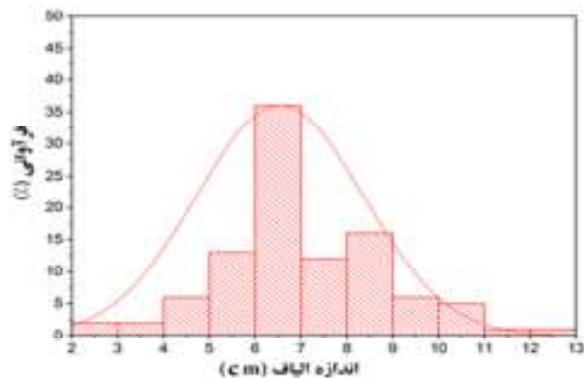
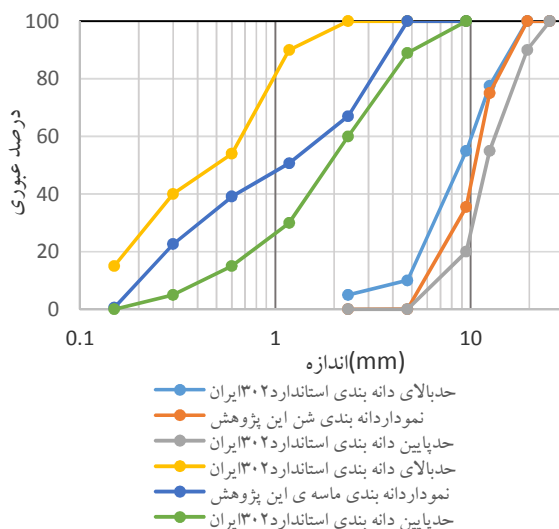
الک نمرة ۱۰۰) که مشخصات شیمیایی آن در جدول ۱ آمده است. دوده سیلیسی نیز افزودنی معدنی دیگری است که از کارخانه فروآلیاز اژنا تهیه شده که مشخصات آن در ارایه شده است. برای تهیه الیاف فرش، فرش ماشینی فرسوده به کارگاه رشته زنی منتقل شده و در آنجا با استفاده از آسیاب با سرعت بالا بصورت الیاف در هم تنیده شبیه به کرک در می‌آیند. این الیاف جهت استفاده برای فرش بافی مراحل ریسندگی، رنگرزی و بافندگی را پشت سر گذاشته‌اند. پس از تولید نیز بارها مورد استفاده و شستشو قرار گرفته‌اند، تحت تابش نور و پاخوردگی بوده و ضمن از دست دادن مواد تکمیلی سطح خود دچار زبری سطح بیش از حالت اولیه خود گشته‌اند. هرچند جنس این الیاف می‌تواند با توجه

در این پژوهش بتن خود تراکم از نوع پودری ساخته شد. سیمان مورد استفاده در این پژوهش از نوع سیمان تیپ ۲ بوده که مشخصات سیمان و پودر سنگ آهک (رد شده از جدول ۱ جدول ۱ ارایه شده است. فوق روان کننده برای ساخت بتن خود تراکم از نوع پلی کربکسیلات اتر بوده که در فرم مایع سبز رنگ می‌باشد و حاوی ۴۰٪ ذرات جامد می‌باشد. شن و ماسه مصرفی در این پژوهش، از نوع مصالح سنگی رودخانه‌ای گردگوشه بوده که از دریاچه اطراف رودخانه شهرستان شازند تهیه شده است. جذب آب شن و ماسه به ترتیب ۱/۲ و ۲/۴ می‌باشد. حداکثر اندازه اسمی و وزن مخصوص مصالح سنگی به ترتیب ۱۲/۵ و ۲/۶۷ میلی‌متر می‌باشد. منحنی دانه‌بندی شن و ماسه مصرفی در

به اجزاء فرش ماشینی فرسوده متفاوت باشد ولی بخش عمده آنها از الیاف پلی اکریلیک تشکیل شده است که مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۲ لیست شده است. همچنین وضعیت ظاهری و توزیع اندازه این الیاف در جدول ۱ ارایه شده است.

جدول ۱. خصوصیات شیمیایی سیمان و پودر سنگ آهک و دوده سیلیس

ترکیب شیمیایی	پودر سنگ	سیمان پرتلند	دوده سیلیسی
SiO ₂	۱/۳۵	۲۱/۸۶	۸۵
Al ₂ O ₃	۰/۷۵	۵/۱۰	۱
Fe ₂ O ₃	۰/۴	۴/۲۲	۲
CaO	۵۰/۱۷	۶۲/۸۳	۱/۵
MgO	۴/۳۷	۱/۹۰	۲
SO ₃	-	۲/۴۰	-
K ₂ O	-	۰/۶۵	-
Na ₂ O	-	۰/۲۸	-
C	-	-	۳
افت وزنی در اثر سرخ شدن	۴۲/۸۴	۱/۲۰	۳/۵



شکل ۲. توزیع اندازه و وضعیت ظاهری الیاف ضایعاتی فرش

شکل ۱. منحنی دانه بندی شن و ماسه شکل

۳- طرح اختلاط

در نهایت، فوق روان‌کننده به همراه یک چهارم باقیمانده آب اضافه شده و اختلاط برای مدت ۲ دقیقه انجام می‌شود. زمانی که الیاف به صورت اشباع به بتن افزوده می‌شوند وزن آب جذب شده آن‌ها از آب اختلاط کم شده و بر این اساس آب اختلاط اصلاح می‌شود. بعد از اختلاط بتن خودتراکم ایجاد شده در داخل قالب ریخته می‌شود و بدون اعمال وایبره متراکم می‌شود. نمونه‌های با الیاف خشک بعد از خارج کردن از قالب به حوضچه عمل‌آوری منتقل شده و تا زمان شکست در آنجا عمل‌آوری شدند. نمونه‌ها با الیاف اشباع بعد از خروج از قالب و تا لحظه شکست در محیط با رطوبت نسبی ۳۰٪ قرار گرفتند.

جدول ۳ طرح مخلوط پایه برای انجام این تحقیق را نشان می‌دهد که از تحقیقات پیشین نویسندگان با همین مصالح استخراج شده است. مطالعات به دو بخش تقسیم می‌شود در یک بخش تاثیر الیاف خشک بر مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و انرژی جذب شده پرداخته می‌شود. در بخش دیگر مطالعات به بررسی تاثیر الیاف اشباع شده در همین موارد پرداخته می‌شود. فلسفه استفاده از الیاف اشباع برای بررسی امکان سنجی تولید بتن خود عمل‌آور از این الیاف می‌باشد که می‌تواند برای عمل‌آوری بتن در مناطق گرم و خشک ایران پاسخگو باشد. در طرح اختلاط پایه میزان پودر (سیمان و دوده سیلیسی و پودر سنگ آهک) ۵۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب بوده و میزان آب به پودر ۰/۳۵ می‌باشد. فوق روان‌کننده ۰/۷۵٪ و زنی سیمان می‌باشد که آب اضافی آن از آب اختلاط کم شده است. الیاف در درصدهای ۰، ۰/۵، ۱/۰ و ۱/۵٪ حجم بتن برای بررسی به بتن اضافه شد. کدگذاری نمونه‌ها براساس میزان الیاف مصرفی بیان گردیده است. بطور مثال، نمونه FRC1.5 بیانگر بتن مسلح شده با مصرف میزان ۱/۵ الیاف می‌باشد. برای ساخت بتن ابتدا درشت دانه با نصف سیمان و یک چهارم آب برای مدت یک دقیقه مخلوط می‌شود. در ادامه ریزدانه، دوده سیلیسی، نصف دیگر سیمان، نصف آب و الیاف برای مدت ۲ دقیقه مخلوط می‌شوند. الیاف به تدریج به مخلوط اضافه می‌شوند تا از گلوله‌شدن آنها در مخلوط جلوگیری شود و پخش مناسبی صورت پذیرد.

جدول ۲. مشخصات ظاهری، مکانیکی و شیمیایی الیاف ضایعاتی فرش مصرفی

نوع الیاف	وزن مخصوص	طول (میلی متر)	قطر (میلی متر)	مقاومت کششی (مگاپاسکال)	نقطه ذوب	واکنش با آب	وضعیت مقاومت قلبایی
پلی اکریلیک	۰/۹۴	۶-۹	۰/۱	۶۹۰	۱۴۵ درجه سانتی گراد	آبگریز	خوب

جدول ۳. طرح مخلوط‌های بتنی (کیلوگرم بر متر مکعب)

نام نمونه	FRC0	۰/۵FRC	۱/۰-FRC	۱/۵FRC
پودر سنگ	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰
الیاف فرش	۰	۴/۷	۹/۴	۱۴/۱
دوده سیلیس	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
فوق روان‌کننده	۳/۰	۳/۰	۳/۰	۳/۰
شن	۷۱۱	۷۱۱	۷۱۱	۷۱۱
ماسه	۸۶۹	۸۶۹	۸۶۹	۸۶۹
سیمان	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
آب	۱۸۵	۱۸۵	۱۸۵	۱۸۵

۴- روش‌های آزمایشگاهی

عبور از ۳ میلگرد به یکم ستپیل افقی می‌ریزد. پس از توقف جریان، نسبت کمترین ارتفاع در مستطیل افقی به ارتفاع در مستطیل قائم نسبت انسداد را مشخص می‌کند. BS EN 12350-10 در سال ۲۰۱۰. شایان ذکر است، که آزمایشات حلقه جی و جعبه ال کاربرد چندانی در تهیه طرح مخلوط بتن خود تراکم روسازی ندارد، منتهی بواسطه کاربردهای دیگر این آزمایشات کارائی در این تحقیق بدان پرداخته شده است. آزمایش مقاومت فشاری و خمشی بر اساس استانداردهای EN 12350-9 و ASTM C293 بروی نمونه‌ها با سن ۲۸ روزه انجام شد. نمونه‌های فشاری مکعبی دارای ابعاد ۱۵ سانتی‌متر و نمونه‌های خمشی دارای ابعاد استاندارد ۱۰×۱۰×۵۰ سانتی‌متر مکعب می‌باشند. از نمودار بار-جابجایی برای محاسبه میزان جذب انرژی استفاده شد. شکل ۳ برخی شمایی از وضعیت فعالیت‌های آزمایشگاهی در این تحقیق را نشان می‌دهد.

آزمایش‌ها در این تحقیق به دو بخش آزمایش‌های بتن خمیری و بتن سخت شده تقسیم‌بندی می‌شوند. خواص بتن تازه از طریق آزمایش‌های جریان اسلامپ، آزمایش حلقه جی، آزمایش قیف وی و جعبه ال اندازه‌گیری شد. کلیه این آزمایش‌ها دوبار انجام شده و میانگین به عنوان نتیجه گزارش شد. برای انجام آزمایش جریان اسلامپ و حلقه جی ۶ لیتر بتن تازه بطور جداگانه تهیه شد. بعد از برداشتن قیف میزان قطر پخش شدگی و زمان رسیدن به قطر ۵۰۰ میلی‌متر اندازه‌گیری شد (ASTM C1611, 2018)، در آزمایش حلقه جی نیز بعد از برداشتن قیف اختلاف ارتفاع بتن دور یک حلقه با ۱۲ میلگرد صاف به عنوان نتیجه گزارش شد (ASTM C1611, 2018). آزمایش قیف وی بر اساس استاندارد EN 12350-9 انجام شد. در این آزمایش زمان عبور ۱۲ لیتر بتن از داخل یک قیف وی شکل بعد از ۵ دقیقه اندازه‌گیری و گزارش شد. در آزمایش جعبه ال شکل بتن در یک مستطیل قائم ریخته شده و از دریچه انتهایی آن پس از



شکل ۳. آزمایشات کارایی و مشخصات مکانیکی بتن خود تراکم

۴-ارایه نتایج و تفسیر

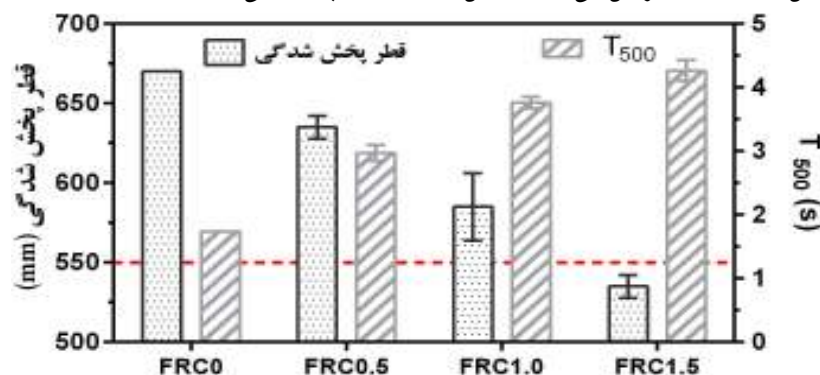
۴-۱- کارایی بتن تازه

بتن توسط الیاف و اصطکاک ایجاد شده بین سنگدانه‌ها و الیاف باشد. بر اساس پیشنهاد آیین‌نامه EFNARC در سال ۲۰۰۵ حداقل قطر پخش شدگی برای بتن خود تراکم ۵۵۰ میلی‌متر است که با در نظر گرفتن این حد پایین، نمونه ۱/۵FRC نمی‌تواند شرایط لازم آیین‌نامه‌ای را برآورده نماید.

نتایج حاصل از قطر پخش‌شدگی و زمان رسیدن به قطر ۵۰۰ میلی‌متر در شکل ۴ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش درصد الیاف از قطر پخش‌شدگی کم شده و به زمان رسیدن به قطر ۵۰۰ میلی‌متر افزوده می‌شود. کاهش قطر پخش‌شدگی می‌تواند بدلیل جذب آب

بازرسی چشمی نشان می‌دهد در نمونه FRC0 اندکی آب انداختگی دور دایره مشاهده می‌شود که با افزودن الیاف کاملاً از بین می‌رود.
به عبارت دیگر، بتنی تشکیل می‌شود که تمایل کمتری به آب‌انداختگی دارد.

زمان رسیدن به قطر ۵۰۰ میلی‌متر نیز براساس پیشنهاد آیین‌نامه‌های مختلف کمتر از ۸ ثانیه می‌باشد که بر این اساس تمامی نمونه‌ها در محدوده آیین‌نامه‌ای قرار دارند. زمان رسیدن به این قطر شاخصی از ویسکوزیته بتن خود تراکم می‌باشد که با افزایش درصد الیاف افزایش می‌یابد. شاخص



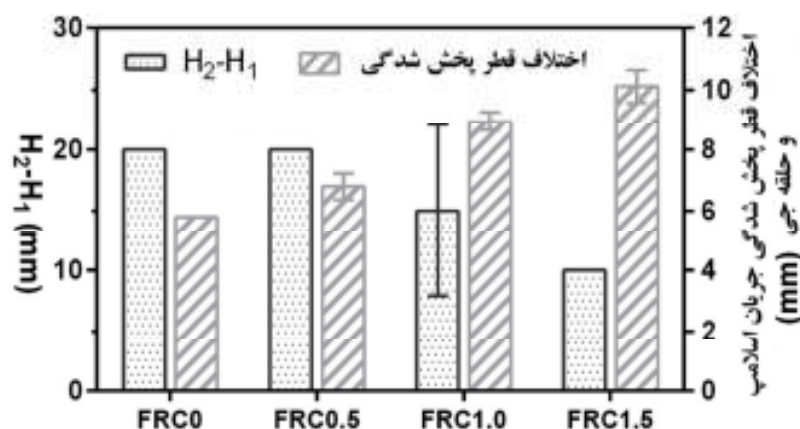
شکل ۴. قطر پخش شدگی و زمان رسیدن به دایره با قطر ۵۰۰ میلی‌متر در آزمایش جریان اسلامپ

جدول ۴. نتایج کارائی مخلوط‌های طرح و محدود مجاز آیین‌نامه‌ای EFNARC برای بتن خود تراکم EN 12350-9

شماره	آزمایش	خصوصیت	مشخصه	محدوده	FRC0	FRC0.5	FRC1.0	FRC1.5
۱	آزمایش جریان اسلامپ	قابلیت پرکنندگی	قطر پخش شدگی	۵۵۰-۸۰۰ میلی‌متر	۶۷۰	۶۳۰	۵۷۰	۵۳۰
۲		قابلیت پرکنندگی	زمان رسیدن به قطر ۵۰۰ میلی‌متر	۲-۵ ثانیه	۱/۷۴	۲/۹۷	۳/۷۶	۴/۲۷
۳	قیف وی	قابلیت پرکنندگی		۶ تا ۱۲ ثانیه	۶/۲	۷/۸	۸/۶۵	۹/۹
۴	جعبه ال شکل	قابلیت عبور		۰/۸ تا ۱/۰	۰/۹۵	۰/۸۹	۰/۸۱	۰/۷۵
۵	حلقه جی	قابلیت عبور	اختلاف ارتفاع داخل و خارج حلقه	(۱۰-)	۲۰	۲۰	۱۵	۱۰
۶		قابلیت عبور	اختلاف قطر پخش شدگی با جریان اسلامپ	۰ تا ۵۰ میلی‌متر	۵/۸	۶/۸	۹/۰	۱۰/۱

می‌شود با افزایش درصد الیاف اختلاف ارتفاع داخل و خارج حلقه جی افزایش می‌یابد. این افزایش به دلیل درگیری الیاف و اصطکاک بین آنها، سنگدانه و میلگردهای حلقه می‌باشد. مطابق جدول ۳ از لحاظ اختلاف ارتفاع داخل و خارج حلقه تنها نمونه با ۱/۵٪ الیاف نمی‌تواند قابل قبول باشد.

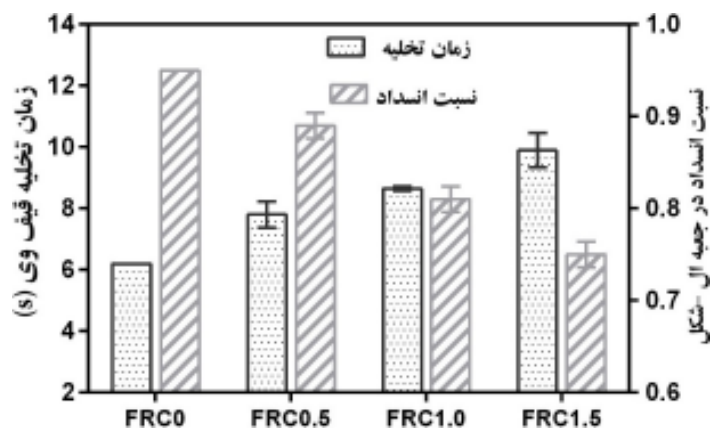
نتایج حاصل از اختلاف قطر پخش‌شدگی بین دو آزمایش جریان اسلامپ و حلقه جی همچنین، اختلاف ارتفاع بین داخل و خارج حلقه جی در شکل ۴ نشان داده شده است. مطابق جدول ۴ حداکثر اختلاف در قطر پخش شدگی باید کمتر از ۵۰ میلی‌متر باشد که با توجه به شکل ۵ کلیه نمونه‌ها در زیر این حد قرار دارند. همانگونه که در شکل ۴ مشاهده



شکل ۵. میانگین اختلاف ارتفاع بتن داخل و خارج حلقه جی و اختلاف قطر پخش شدگی در آزمایش جریان اسلامپ و حلقه جی

افزایش داشته است. کاهش کارایی بتن با بکارگیری الیاف ضایعاتی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است. وانگ ۱۹۹۹ نشان داد که الیاف ضایعاتی فرش اسلامپ بتن را بطور قابل توجهی کاهش می‌دهند. مو و همکارانش در سال ۲۰۰۵ نشان دادند با افزایش ۰/۲٪ الیاف اکریلیک زمان وی-سی از ۷ به ۱۳ ثانیه افزایش می‌یابد. عبدالعال و محمد حسینی ۲۰۱۶ نیز نشان دادند که با افزایش درصد الیاف ضایعاتی فرش از ۰ به ۱/۲۵٪، اسلامپ از ۲۱۰ به ۲۵ میلی‌متر کاهش و زمان وی-سی از ۳ به ۱۶ ثانیه افزایش می‌یابد.

آزمایش قیف وی پتانسیل بتن خودتراکم را برای عبور از بین فضاهای باریک نشان می‌دهد. نتایج آزمایش عبور بتن خود تراکم از قیف وی و جعبه ال-شکل در شکل ۶ ارایه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش درصد الیاف از ۰ به ۱/۵٪ زمان عبور بتن خودتراکم از دریچه قیف وی ۵۰٪ کاهش می‌یابد. جعبه ال-شکل قابلیت عبور بتن از بین میلگردها و جداره قالب را نشان می‌دهد. نتایج نسبت انسداد برای بتن خودتراکم در شکل ارایه شده است. مطابق جدول ۳ نسبت انسداد با افزایش درصد الیاف از ۰ به ۱/۵٪، ۲۵٪



شکل ۶. زمان تخلیه در آزمایش قیف وی و نسبت انسداد در جعبه ال-شکل

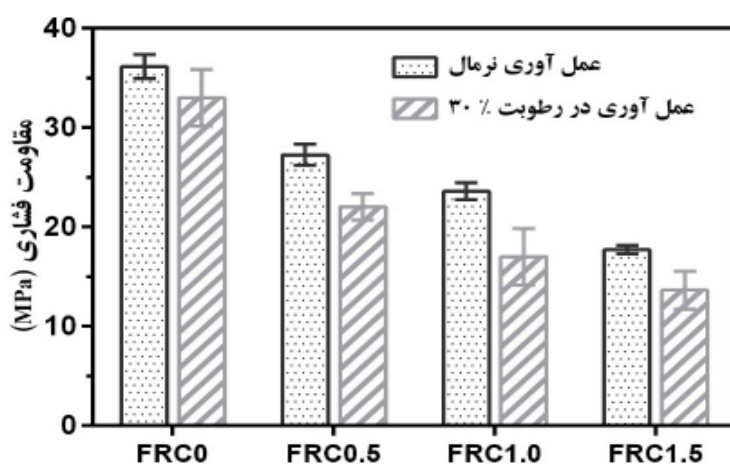
آزمایش مقاومت فشاری

شدیدی می‌یابد. این کاهش مقاومت از ۰ به ۰/۵٪ الیاف ۲۵٪ و از ۰ به ۱/۵٪ الیاف ۵۸٪ می‌باشد. شرایط کاهش مقاومت در نمونه‌های عمل‌آوری شده در رطوبت ۳۰٪ شبیه به نمونه نرمال می‌باشد. مقایسه نتایج عمل‌آوری نرمال و عمل‌آوری

نتایج آزمایش مقاومت فشاری برای دو حالت عمل‌آوری نرمال و رطوبت ۳۰٪ در شکل ۷ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش درصد الیاف مقاومت فشاری نمونه‌های عمل‌آوری شده در شرایط نرمال کاهش

افزایش حجم الیاف باشد (رضانپور، ۲۰۱۳، کاراهان، ۲۰۱۱) این کاهش می‌تواند به دلیل سطح تماس ضعیف بین الیاف- ماتریس سیمانی باشد (کاراهان، ۲۰۱۹). اولیویرا و همکارانش و سیلوا و همکارانش (۲۰۱۲)، نشان دادند که هنگامی که الیاف اکریلیک در ۱٪ حجمی ملات بکار برده شود مقاومت کاهش می‌یابد. همچنین کاهش مقاومت بتن هنگامی که با الیاف ضایعاتی فرش استفاده شود توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است.

در رطوبت ۳۰٪ در شکل ۷ نشان می‌دهد که نمونه‌های عمل‌آوری شده در رطوبت ۳۰٪ نسبت به نمونه در دمای نرمال بطور میانگین ۲۸٪ کاهش مقاومت دارد. از طرف دیگر، نمونه‌های حاوی الیاف نه تنها نسبت به نمونه بدون الیاف افزایش مقاومت نشان نمی‌دهد بلکه کاهش مقاومت شدید از خود نشان می‌دهد. به طوری که، از نمونه با ۰ به ۰/۵ و ۱/۵٪ الیاف مقاومت فشاری به ترتیب ۳۵٪ و ۷۵٪ کاهش مقاومت از خود نشان می‌دهد. کاهش مقاومت فشاری با افزودن الیاف می‌تواند بدلیل ایجاد ماکروحفرات به دلیل

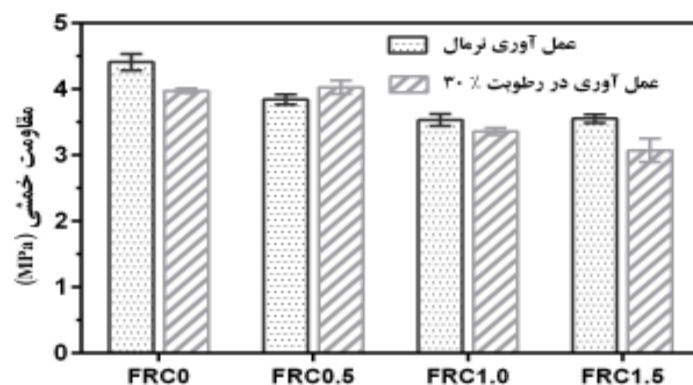


شکل ۷. مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه شاهد و حاوی الیاف فرش در دو حالت عمل‌آوری نرمال و رطوبت ۳۰٪

آزمایش مقاومت خمشی

نسبت به نمونه بدون الیاف افزایش مقاومت نشان نمی‌دهد بلکه کاهش مقاومت شدید از خود نشان می‌دهد. بطوری که، از نمونه با ۰ به ۰/۵ و ۱/۵٪ الیاف مقاومت خمشی به ترتیب ۱۴٪ کاهش و ۳٪ افزایش مقاومت از خود نشان می‌دهد. افزایش تخلخل در نمونه به دلیل کاهش کارایی و توزیع نامناسب الیاف در نمونه می‌تواند عامل کاهش مقاومت خمشی در نمونه با ۱/۵٪ الیاف باشد (ماستالی، ۲۰۱۶)، کاهش اندک مقاومت خمشی با افزایش درصد الیاف در نتایج سایر محققین نیز دیده می‌شود. نتایج عبدالعال (۲۰۱۶)، نشان دهند در بتن معمولی الیاف ضایعاتی پیش از مصرف مقاومت خمشی را تا ۲۵٪ افزایش می‌دهند. میزان بهینه درصد الیاف برای این محققین ۰/۵٪ می‌باشد.

نتایج آزمایش مقاومت خمشی برای دو حالت عمل‌آوری نرمال و رطوبت ۳۰٪ در شکل ۸۲ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش درصد الیاف از ۰ به ۰/۵٪ الیاف مقاومت خمشی نمونه‌های عمل‌آوری شده در شرایط نرمال کاهش شدیدی می‌یابد. این کاهش مقاومت از ۰ به ۰/۵٪ الیاف ۱۲٪ و از ۰ به ۱/۵٪ الیاف ۱۵٪ می‌باشد. شرایط کاهش مقاومت در نمونه‌های عمل‌آوری شده در رطوبت ۳۰٪ شبیه به نمونه نرمال می‌باشد. مقایسه نتایج عمل‌آوری نرمال و عمل‌آوری در رطوبت ۳۰٪ در شکل ۸۳ نشان می‌دهد که نمونه‌های عمل‌آوری شده در رطوبت ۳۰٪ نسبت به نمونه در دمای نرمال بطور میانگین ۴۵٪ افزایش مقاومت دارد. از طرف دیگر، نمونه‌های حاوی الیاف نه تنها

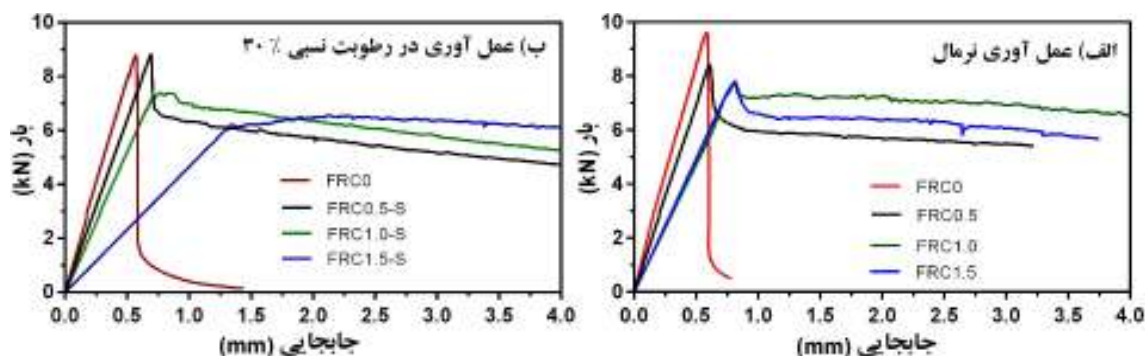


شکل ۲. مقاومت خمشی نمونه‌های ۲۸ روزه‌ی شاهد و حاوی الیاف فرش

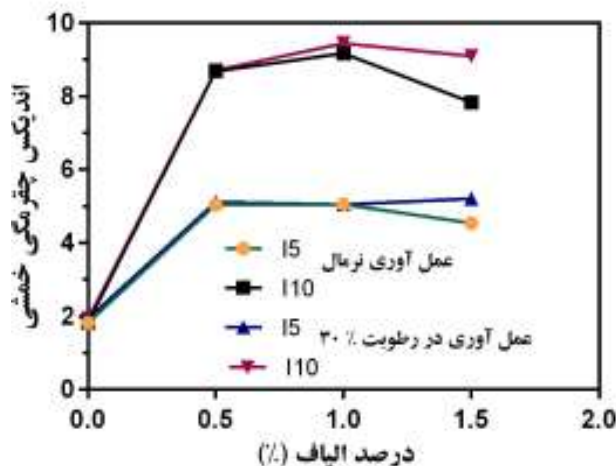
نمودارهای بار-جابجایی

نسبی ۳۰٪ در شکل ۱۰ ارایه شده است. برای نمونه‌ها در حالت عمل‌آوری نرمال، از ۰ به ۰/۵٪ شاخص‌های ۱۵ و ۱۱۰ به ترتیب ۹۳ و ۱۳۰٪ افزایش می‌یابد. افزایش این دو اندیکس به مفهوم بالا رفتن چقرمگی بتن خود تراکم با حضور الیاف فرش می‌باشد. الیاف فرش در ناحیه ترک خوردگی بتن پل ایجاد کرده و مانع گسیختگی کامل بتن می‌شود. اندیکس ۱۵ بعد از ۰/۵٪ تا ۱٪ تغییر چندانی نمی‌یابد اما بعد از ۱ تا ۱/۵٪ به میزان ۱۱٪ کاهش می‌یابد. شاخص ۱۱۰ از ۰/۵ تا ۱٪ اندکی افزایش ۵/۴٪ می‌یابد. اما، این روند از ۱ تا ۱/۵٪ کاهشی (۱۵/۷٪) است. روند شاخص چقرمگی خمشی برای نمونه‌های در حالت عمل‌آوری در رطوبت ۳۰٪ شبیه به عمل‌آوری نرمال است با این تفاوت که اندیکس ۱۵ از ۱ تا ۱/۵٪ به میزان ۱۰٪ افزایش می‌یابد. افزایش شاخص‌های چقرمگی با افزایش درصد الیاف ضایعاتی فرش توسط سایر محققین نیز گزارش شده است و وانگ و همکارانش معتقدند که اندیکس‌های چقرمگی خمشی در ۱٪ الیاف به بیشترین مقدار خود می‌رسند. هرچند که داده‌های الیاف ضایعاتی فرش در ۰/۵٪ به مقدار بهینه خود می‌رسند. این اختلاف می‌تواند به دلیل تفاوت در جنس الیاف باشد که در تحقیق وانگ پلی پروپیلن و نایلون بوده اما در تحقیق حاضر اکریلیک است. نتایج فرشیدی و همکاران (۲۰۱۹)، نیز تا ۳٪ برای تکه‌های موکت افزایش شاخص‌های ۱۵ و ۱۱۰ را نشان می‌دهد.

نمودارهای بار-جابجایی نمونه‌های حاوی الیاف بار-جابجایی مختلف در شرایط عمل‌آوری نرمال و در رطوبت نسبی ۳۰٪ در شکل ۹ نشان داده شده‌اند. مقایسه عمل‌آوری نرمال و مرطوب نشان می‌دهد که نمودارهای بار-جابجایی عمل‌آوری نرمال حداکثر بار بیشتری نسبت به عمل‌آوری در رطوبت ۳۰٪ دارند. همانطور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود با افزایش درصد الیاف از حداکثر بار گسیختگی کاسته شده و میزان جابجایی در این حداکثر بار گسیختگی به سمت راست (تغییر مکان بالاتر) تمایل پیدا می‌کند. بطور مثال در نمونه با ۰٪ الیاف حداکثر بارگسیختگی در جابجایی ۰/۵ میلی‌متر رخ داده در حالی که برای نمونه با ۱٪ الیاف این جابجایی در ۰/۸ میلی‌متر رخ می‌دهد. الیاف فرش نقش عمده خود را در بعد از ترک خوردگی بتن نشان می‌دهد بطوریکه اگر جابجایی نظیر ۱ میلی‌متر را ملاک قرار دهیم برای ۰، ۰/۵، ۱/۰ و ۱/۵٪ الیاف میزان بار به ترتیب ۰، ۵/۹۵، ۷/۲۱ و ۶/۶۱ کیلونیوتن می‌رسد. اگر جابجایی نظیر ۲ میلی‌متر را ملاک قرار دهیم برای ۰، ۰/۵، ۱/۰ و ۱/۵٪ الیاف میزان بار به ترتیب ۰، ۵/۶۵، ۷/۲۸ و ۶/۳۸ کیلو نیوتن می‌رسد. این اعداد به مفهوم حفظ قابلیت باربری بعد از ترک خوردگی اولیه می‌باشد که در اثر افزودن الیاف فرش ایجاد می‌شود. شاخص چقرمگی خمشی ۱۵ (مقدار شاخص مربوط به جابجایی معادل ۳ برابر جابجایی لحظه ترک‌خوردگی) و ۱۱۰ (مقدار شاخص مربوط به جابجایی معادل ۵/۵ برابر جابجایی لحظه ترک‌خوردگی) برای نمونه‌های خمشی در حالت عمل‌آوری نرمال و رطوبت



شکل ۹. نمودار بار-جابجایی ۲۸ روزه شاهد و حاوی الیاف فرش در دو حالت عمل آوری نرمال و رطوبت ۳۰٪

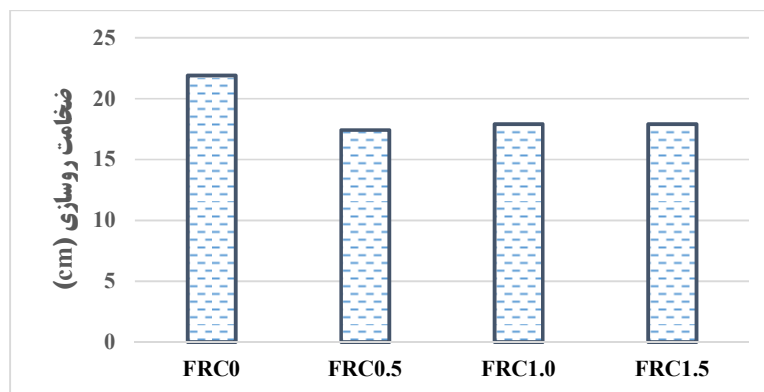


شکل ۱۰. اندیکس چقرمگی خمشی ۱۵ و ۱۱۰ برای نمونه‌های خمشی در حالت عمل آوری نرمال و رطوبت نسبی ۳۰٪

۳-۵- برآورد تاثیر الیاف مصرفی بر ضخامت روسازی بتنی

نمونه‌های بتنی مسلح شده الیافی و در نظرگیری ضریب عکس العمل بستر معادل ۵۵ مگا پاسکال بر متر و ترافیک یک میلیون محور معادل ۱۳ تنی ضخامت روسازی محاسبه گردید که نتایج آن در شکل ۱۱ نشان داده شده است. مطابق با نتایج حاصله. برای نمونه‌ها در حالت عمل آوری نرمال، با تغییر درصد مصرف الیاف از ۰ به ۰/۵٪، ۱٪ و ۱/۵٪ ضخامت به دست آمده به ترتیب ۸، ۱۱ و ۸٪ کاهش می‌یابد. بنابراین درصد جایگزینی ۰/۵٪ بدلیل تاثیر ناچیز در کاهش مقاومت خمشی و تاثیر قابل ملاحظه در افزایش تاب خمشی در ناحیه پس‌ترک‌خوردگی باعث بیشترین کاهش ضخامت طرح می‌گردد.

روش‌های کلاسیک طراحی روسازی بتنی بر اساس تحلیل الاستیک خطی بر مبنای معادلات تنش و سترگارد می‌باشد. در این معادلات تنش مجاز در بتن توسط مقاومت خمشی بتن یا مدول گسیختگی (MOR) محدود شده است. اثر الیاف بر مدول گسیختگی بتن ناچیز می‌باشد، بنابراین، طراحی روسازی بتنی مسلح به الیاف با روش طراحی الاستیک خطی منجر به ضخامتی برابر با روسازی بتنی غیر مسلح می‌گردد. از همین رو برای طراحی روسازی بتنی مسلح به الیاف از روش تئوری خطوط تسلیم مطابق با منبع (پاکارد، ۱۹۸۴)، استفاده شده است. ابتدا با محاسبه پارامتر $R_{e,3}$ (تاب خمشی معادل نمونه‌ها تا خیز ۳ میلی‌متر) برای



شکل ۱۱. اثر الیاف بر ضخامت روسازی طرح شده با شرایط پیش فرض ترافیک و مقاومت بستر

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق تاثیر الیاف ضایعاتی فرش در درصدهای حجمی ۰، ۰/۵، ۱/۰ و ۱/۵ بر کارایی و خصوصیات مکانیکی و جذب انرژی بتن سخت شده خود تراکم بررسی شد. نتایج این تحقیق را بصورت خلاصه می توان به فرم زیر جمع بندی نمود:

- اضافه کردن الیاف فرش باعث کاهش مقاومت فشاری و خمشی می شود بطوری که با افزایش الیاف از ۰ به ۱/۵٪ مقاومت فشاری ۵۸٪ کاهش در عمل آوری نرمال و ۷۵٪ کاهش مقاومت فشاری در عمل آوری در رطوبت ۳۰٪ و همچنین مقاومت خمشی ۱۵٪ کاهش در عمل آوری نرمال اما ۳٪ افزایش در عمل آوری در رطوبت ۳۰٪ می یابند.

- الیاف تاثیر مثبت خود را در جذب انرژی نشان می دهند به طوری که با افزایش الیاف از ۰ به ۰/۵٪ میزان اندیکس چقرمگی خمشی ۱۵ و ۱۱۰ به ترتیب ۹۳٪ و ۱۳۰٪ افزایش می یابد. بعد از این درصد، افزایش الیاف منجر به افزایش قابل توجهی در اندیکس های چقرمگی نمی شوند.

- مقایسه نمونه های عمل آوری نرمال و عمل آوری در رطوبت نسبی ۳۰٪ نشان می دهد که اشباع کردن الیاف ضایعاتی فرش و استفاده آن ها در بتن تاثیر مطلوبی در عمل آوری بتن در شرایط خشک ندارد.

- استفاده از الیاف ضایعاتی فرش باعث کاهش شاخص های کارایی بتن تازه نظیر قابلیت جریان پذیری و قابلیت عبور بتن خودتراکم می گردد اما مخلوطی با چسبندگی بهتر ایجاد شده، که آب انداختگی و جداشدگی کمتری در پی دارد. تنها درصدی از الیاف که نمی تواند شرایط آیین نامه ای کارایی بتن خود تراکم را جوابگو باشد ۱/۵٪ است.

- با در نظر گرفتن شرایط کارایی بتن تازه، مقاومت فشاری،

مقاومت خمشی و اندیکس های خمشی درصد بهینه برای الیاف ضایعاتی فرش ۰/۵٪ پیشنهاد می شود. درصدهای بالاتر خصوصاً ۱/۵٪ نیاز به فوق روان کننده یا آب بیشتری دارد و منجر به کاهش شدید مقاومت فشاری می شوند.

- مطابق با روش PCA برای طرح ضخامت روسازی بتن مسلح الیافی، در شرایط عمل آوری نمونه ها در حالت نرمال، با تغییر درصد الیاف از ۰ به ۰/۵، ۱٪ و ۱/۵٪ ضخامت بدست آمده به ترتیب ۱۱، ۸ و ۸٪ کاهش می یابد. بنابراین درصد جایگزینی ۰/۵٪ بدلیل تاثیر ناچیز در کاهش مقاومت خمشی و تاثیر قابل ملاحظه در افزایش تاب خمشی در ناحیه پس ترک خوردگی باعث بیشترین کاهش ضخامت طرح می گردد.

۶- مراجع

- Ahmed, H. U., Faraj, R. H., Hilal, N., Mohammed, A. A., & Sherwani, A. F. H. (2021), "Use of recycled fibers in concrete composites: A systematic comprehensive review", *Composites Part B: Engineering*, 108769.
- ASTM C1611, (2018), "Standard test method for slump flow of self-consolidating concrete, ASTM International", West Conshohocken, PA.
- ASTM C1621, (2017), "Standard Test Method for Passing Ability of Self-Consolidating Concrete by J-Ring, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C293, (2016), "Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading)", ASTM International, West Conshohocken, PA, pp. 19428-2959.

- industrial carpet waste, Doctoral dissertation, Universiti Teknologi Malaysia.
- Ramezaniapour, A. A., Esmaeili, M., Ghahari, S. A., & Najafi, M. H., (2013), "Laboratory study on the effect of polypropylene fiber on durability, and physical and mechanical characteristic of concrete for application in sleepers", *Construction and Building Materials*, 44, pp.411-418.
- Pereira-de-Oliveira, L. A., Castro-Gomes, J. P., & Nepomuceno, M. C., (2012), "Effect of acrylic fibres geometry on physical, mechanical and durability properties of cement mortars", *Construction and Building Materials*, 27(1), pp.189-196.
- Mohammad hosseini, H., & Yatim, J. M., (2017), "Evaluation of the effective mechanical properties of concrete composites using industrial waste carpet fiber", *INAE Letters*, 2(1), pp.1-12.
- Mastali, M., Dalvand, A., & Sattarifard, A. R., (2016), "The impact resistance and mechanical properties of reinforced self-compacting concrete with recycled glass fibre reinforced polymers", *Journal of Cleaner Production*, 124, pp.312-324.
- Packard, R. G., (1984), "Thickness design for concrete highway and street pavements".
- Silva, E. R., Coelho, J. F. J., & Bordado, J. C., (2013), "Strength improvement of mortar composites reinforced with newly hybrid-blended fibres", *Influence of fibres geometry and morphology*, *Construction and Building Materials*, 40, pp.473-480.
- Schmidt, H., & Cieślak, M., (2008), "Concrete with carpet recyclates: Suitability assessment by surface energy evaluation", *Waste Management*, 28(7), pp.1182-1187.
- Wang, Y., Zureick, A. H., Cho, B. S., & Scott, D. E., (1994), "Properties of fibre reinforced concrete using recycled fibres from carpet industrial waste", *Journal of materials science*, 29(16), pp.4191-4199.
- Wang, Y., (1999), "Utilization of recycled carpet waste fibers for reinforcement of concrete and soil", *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 38(3), pp.533-546.
- Zarei, A., Rooholamini, H., & Ozbakkaloglu, T., (2021), "Evaluating the Properties of Concrete Pavements Containing Crumb Rubber and Recycled Steel Fibers Using Response Surface Methodology", *International Journal of Pavement Research and Technology*, pp.1-15.
- Awal, A. A., & Mohammadhosseini, H., (2016), "Green concrete production incorporating waste carpet fiber and palm oil fuel ash", *Journal of Cleaner Production*, 137, pp.157-166.
- EFNARC, (2005), "The European guidelines for self-compacting concrete, Specification, Production and Use".
- Cunningham, P. R., Green, P. G., & Miller, S. A., (2021), "Utilization of post-consumer carpet calcium carbonate (PC4) from carpet recycling as a mineral resource in concrete", *Resources, Conservation and Recycling*, 169, pp.105496.
- Choobbasti, A. J., Samakoosh, M. A., & Kutanaei, S. S., (2019), "Mechanical properties soil stabilized with nano calcium carbonate and reinforced with carpet waste fibers", *Construction and Building Materials*, 211, pp.1094-1104.
- De Gutiérrez, R. M., Diaz, L. N., & Delvasto, S., (2005), "Effect of pozzolans on the performance of fiber-reinforced mortars", *Cement and Concrete Composites*, 27(5), pp.593-598.
- BS EN 12350-10, (2010), "Testing fresh concrete, Self-compacting concrete, L box test, British Standard Int.
- Fashandi, H., Pakravan, H. R., & Latifi, M., (2019), "Application of modified carpet waste cuttings for production of eco-efficient lightweight concrete", *Construction and Building Materials*, 198, pp.629-637.
- EN 12350-9, Testing self-compacting concrete: V-Funnel test, British Standard Int.
- Karahan, O., & Atiş, C. D., (2011), "The durability properties of polypropylene fiber reinforced fly ash concrete, *Materials & Design*, 32(2), pp.1044-1049.
- Mo, K. H., Alengaram, U. J., Jumaat, M. Z., & Liu, M. Y. J., (2015), "Contribution of acrylic fibre addition and ground granulated blast furnace slag on the properties of lightweight concrete", *Construction and Building Materials*, 95, pp.686-695.
- Mohammad Hosseini, H., Alyousef, R., Lim, N. H. A. S., Tahir, M. M., Alabduljabbar, H., & Mohamed, A. M., (2020), "Creep and drying shrinkage performance of concrete composite comprising waste polypropylene carpet fibres and palm oil fuel ash", *Journal of Building Engineering*, 30, 101250.
- Mohammadhosseini, H., & Awal, A. S. M. A., (2014), "Physical and mechanical properties of concrete containing fibers from

Effect of Industrial Carpet Waste Fibers on the Mechanical and Toughness Properties of Self-Compacting Concrete

Navid Ghasemi, M.Sc., Grad., Civil Engineering Department, Azad University, Khomein Branch, Khomein, Iran.

Arash Bayat, Assistant Professor, Civil Engineering Department, Azad University Khomein Branch, Khomein, Iran.

Hamed Rooholamini, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Hormozghan University, Hormozghan, Iran.

E-mail: Rooholamini@Hormozgan.ac.ir

Received: October 2021- Accepted: May 2022

ABSTRACT

This research was aimed to evaluate the effect of the recycled waste carpet fiber on the mechanical properties of self-compacting concrete (SCC). Waste carpet fibers in 0, 0.5, 1.0 and 1.5% of volumes fraction of SCC were added. SCC samples have two different curing procedures; normal curing and curing at relative humidity of 30 %. For fresh stage, slump flow test, j-ring, V funnel and L box were done and for hardened stage, compressive and flexural tests were performed at the age of 28 days. The load–deflection curves were extracted from flexural test data to calculate the flexural toughness. Results show that by increasing fiber from 0 to 1.5%, the workability of SCC and compressive strength significantly decreases. However, reduction in workability for fibers up to 1% is still in the acceptable limits of EFNARC. From 0 to 1.5% waste fiber in flexural test, significant increases in energy absorption and toughness index were observed. The major increases in toughness index were observed from 0 to 0.5 % and after that do not change considerably.

Keywords: Industrial Waste Carpet Fiber, Self-Compacting Concrete, Index of Flexural Toughness