ارزیابی تاثیر استفاده از الیاف بر عملکرد آسفالت حفاظتی میکروسرفیسینگ

مقاله علمی - پژوهشی

امیرکاووسی*، استاد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
ریحانه دارش، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول:kavussia@modares.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۰- پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۵
صفحه ۲۱۰-۱۹۹

چکیده

مشکلات مخلوط آسفالت حفاظتی میکروسرفیسینگ از قبیل مقاومت کم در برابر ترک‌ها، عملکرد نامناسب در ترافیک سنگین و در نتیجه عمر کوتاه روسازی موجب شده است که از الیاف مختلف برای تقویت این مخلوط استفاده شود. در این تحقیق عملکرد مخلوط آسفالت میکروسرفیسینگ شامل الیاف مختلف پلی‌الفین اصلاح‌شده پلی‌پروپیلنی، فورتا و فایبرگلاس در مقادیر ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد با آزمایش‌های پیوستگی، سایش در شرایط مرطوب، چرخ بارگذاری و تیر خمشی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده از آزمایش‌های انجام شده نشان داد که عملکرد مخلوط میکروسرفیسینگ با اضافه کردن الیاف به طور قابل توجهی بهبود می‌یابد. افزودن ۰/۲ درصد الیاف پلی‌الفین اصلاح‌شده پلی‌پروپیلنی، فورتا و فایبرگلاس بهترین مقدار برای بهبود عملکرد پیوستگی و مقاومت در برابر سایش مخلوط است. همچنین اضافه کردن مقدار ۰/۱ درصد الیاف فورتا و پلی‌الفین اصلاح شده پلی‌پروپیلنی و ۰/۲ درصد الیاف فایبرگلاس باعث ایجاد کمترین عمق شیار شده است. در آزمایش تیرخمشی بهترین عملکرد مقاومت در برابر شکست خمشی را مخلوط میکروسرفیسینگ حاوی الیاف فورتا از خود نشان داد. استفاده از این الیاف در مخلوط باعث افزایش ۱۵/۳ ، ۳۳/۱ و ۶۷/۲ درصدی مقاومت در برابر شکست به ترتیب در دماهای ۲۵ ، ۰ و ۱۰- درجه سانتی‌گراد گردید. با توجه به نتایج به دست آمده و مقایسه پارامترهای آزمایش پیوستگی و شیارشدگی در این تحقیق مشاهده شد که بین میزان پیچش نمونه‌ها و عمق شیار ایجاد شده درآن‌ها رابطه معنادار وجود دارد به نحوی که با افزایش پیوستگی مخلوط، کمترین عمق شیار در نمونه‌ها مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: الیاف، تیرخمشی، میکروسرفیسینگ، میکروسرفیسینگ مسلح شده با الیاف

۱-مقدمه

با افزایش احجام ترافیکی و افزایش بارهای محوری، خرابی‌های روسازی راه‌ها افزایش یافته است. از همین رو توجه به تعمیر و نگهداری جهت افزایش عمر خدمت‌دهی روسازی امری ضروری است (Zimmerman & Peshkin, 2008). آسفالت حفاظتی میکروسرفیسینگ لایه‌ای نازک و محافظ بر روی سطح روسازی است که اجزاء مخلوط آن شامل سنگ‌دانه با کیفیت و شکسته، فیلر، آب، قیر امولسیونی اصلاح‌شده و مواد افزودنی می‌باشد (Patel & Gujar, 2017). کیفیت هرکدام از این مواد در عملکرد روسازی مؤثر است. این نوع مخلوط مقاومت سازه‌ای را افزایش نمی‌دهد و کاربرد آن در مواردی است که روسازی از نظر سازه‌ای سالم باشد (Shi, et al, 2021). به دلیل وجود مشکلاتی نظیر مقاومت کم در برابر ترک‌خوردگی، عملکرد ضعیف در ترافیک‌های سنگین و در نتیجه عمر کوتاه‌تر مخلوط آسفالتی میکروسرفیسینگ، امروزه موادی همچون پلیمر و الیاف جهت تقویت این مخلوط مورد استفاده قرار می‌گیرد. افزودن پلیمرها به مخلوط آسفالت حفاظتی، چسبندگی و مقاومت در برابر

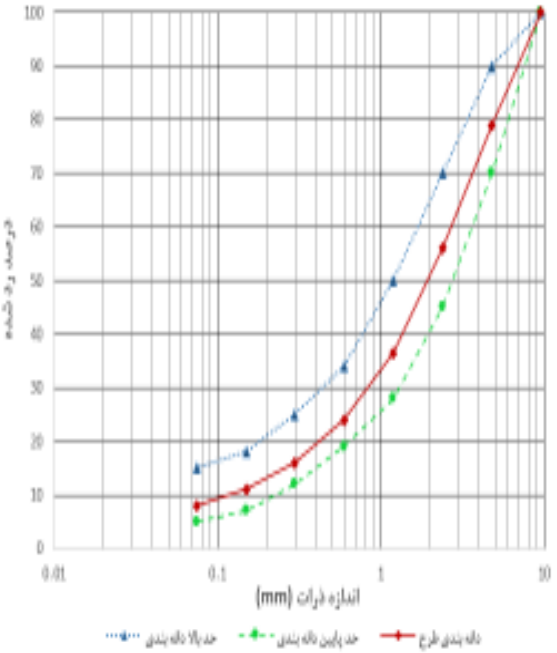
سایش را بهبود می‌بخشد. همچنین نتایج به دست آمده از مخلوط‌های حاوی پلیمر نشان می‌دهد که تغییر شکل قائم ایجاد شده نسبت به نمونه بدون پلیمر کاهش پیدا کرده است. طبق مشاهدات، اضافه کردن مقدار ۳ تا ۵ درصد پلیمر به مخلوط آسفالت حفاظتی بهبود عملکرد این آسفالت را در پی دارد (Hafezzadeh & Kavussi, 2019). در تحقیقات صورت گرفته مخلوط میکروسرفیسینگ مسلح شده با الیاف نیز عملکرد مناسبی را از خود نشان داده است. استفاده از الیاف در مخلوط میکروسرفیسینگ باعث افزایش طول عمر، کاهش شیار شدگی، افزایش استحکام کششی، مقاومت در برابر ترک‌خوردگی، مقاومت در برابر تغییر شکل و افزایش عمر خستگی می‌شود. انواع مختلف الیاف اعم از شیشه، پلی‌پروپیلن و پلی‌استر برای تقویت این آسفالت مورد استفاده قرار می‌گیرد (Price, 2014). در این مطالعه، از الیاف مختلف سلولز، بازالت و شیشه در مخلوط میکروسرفیسینگ استفاده شد. در این تحقیق عملکرد هرکدام از الیاف ذکر شده با استفاده از آزمایش‌های پیوستگی و سایش در شرایط مرطوب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تنها الیاف شیشه حداقل استانداردهای لازم برای طرح اختلاط مخلوط آسفالت میکروسرفیسینگ را برآورده کرده است. همچنین استفاده از این الیاف در مخلوط میکروسرفیسینگ بهبود مقاومت مخلوط در برابر ترک‌خوردگی را نشان داده است (Price, 2014). در مطالعه دیگری در سال ۲۰۱۳ عملکرد الیاف پلی‌پروپیلن مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق مقاومت در برابر سایش، شیار شدگی و ترک‌خوردگی به ترتیب با انجام آزمایش‌های سایش در شرایط مرطوب، چرخ بارگذاری و تیر خمشی بررسی شد. در این تحقیق مشخص شد که میزان بهینه الیاف مصرفی در مخلوط میکروسرفیسینگ در محدوده ۰/۱ تا ۰/۳ درصد وزن خشک سنگدانه‌ها است (LI Kan LI Xin-wei, 2013). در مطالعه دیگری، الیاف پلی‌استر با مقدار ۰/۲ درصد جهت تقویت مخلوط میکروسرفیسینگ استفاده شد (Wu, 2015). در این مطالعه آزمایش‌های پیوستگی، سایش در شرایط مرطوب و تیر خمشی برای ارزیابی عملکرد الیاف پلی‌استر مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به نتایج آزمایش‌های این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از الیاف باعث بهبود عملکرد مخلوط می‌شود. همچنین نمونه‌های میکروسرفیسینگ مسلح شده با الیاف افزایش مقاومت در برابر ترک‌خوردگی را از خود نشان داده‌اند. در مطالعه دیگری عملکرد مخلوط آسفالتی میکروسرفیسینگ حاوی الیاف شیشه و همچنین میکروسرفیسینگ بدون الیاف، در دماهای ۰ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه عملکرد میکروسرفیسینگ حاوی الیاف با نمونه‌ی بدون الیاف نشان می‌دهد که مخلوط الیافی در هر دو دمای آزمایش دارای چقرمگی بیشتری بوده و شکست نرم‌تری را تجربه کرده است (Charmot, et al. 2015) . در رابطه با سایر الیاف قابل استفاده در مخلوط میکروسرفیسینگ مطالعه تن‌زاده و اوتادی نشان می‌دهد که افزودن الیاف پلی‌اتیلن باعث بهبود عملکرد مخلوط میکروسرفیسینگ می‌شود. همچنین در این تحقیق با مقایسه نتایج آزمایش پیوستگی و چرخ بارگذاری مشخص شد که نمونه‌های با پیوستگی بیشتر، کمترین عمق شیار را دارند. همچنین، استفاده از الیاف هم در کاهش عمق شیار و هم در بهبود عملکرد سایشی مخلوط موثر است (Tanzadeh & Otadi, 2018).

۲- مواد و مصالح

مواد و مصالح استفاده شده در این تحقیق شامل سنگدانه صد درصد شکسته، قیر امولسیونی، پلیمر، آب، فیلر و الیاف است.

مصالح سنگی حدود ۸۲ تا ۹۰ درصد از وزن مخلوط میکروسرفیسینگ را شامل می‌شوند. برای حصول نتایج بهتر، باید از مصالح صد درصد شکسته که تمیز و عاری از هرگونه موادی که دوام و چسبندگی مخلوط را دچار مشکل می‌سازد استفاده کرد. در این تحقیق از مصالح ریزدانه آهکی با دانه بندی نوع ۳ استفاده شده است. منحنی دانه‌بندی طرح مورد استفاده در شکل ۱ آورده شده است. استفاده از فیلرها موجب افزایش کارایی و تنظیم گیرش مخلوط می‌شود و عمل‌آوری آن را در زمان کوتاه‌تری میسر می‌سازد. در این پژوهش از سیمان تیپ ۱ کارخانه آبیک قزوین به عنوان فیلر استفاده شد. برای ساخت مخلوط آسفالت میکروسرفیسینگ معمولاً از قیر امولسیونی کاتیونی استفاده می‌شود. قیر امولسیونی مورد استفاده در این پژوهش قیر[1] CSS می‌باشد. میزان قیر باقی‌مانده امولسیون تهیه شده، ٦٥٪ به دست آمد. لازم به ذکر است که قیر امولسیونی استفاده شده با اضافه کردن ۳ درصد شیره لاستیک SBR[2] به روش پس افزوده اصلاح شده است. اصلاح قیر امولسیونی با پلیمر منجر به بهبود چسبندگی، مقاومت در برابر ایجاد ترک و مقاومت در برابر روانی می‌شود. در این تحقیق از شیره لاستیک کاتیونیک SBR جهت

اصلاح قیر امولسیونی استفاده شده است. آب مصرفی مورد استفاده در مخلوط میکروسرفیسینگ باید عاری از هرگونه مواد مضر، نمک‌ها، مواد معدنی و آلی باشد. در این تحقیق از آب شرب شهر تهران استفاده شده است.



شکل۱. نمودار دانه‌بندی مورد استفاده در تهیه مخلوط میکروسرفیسینگ

در خصوص الیاف مورد استفاده، الیاف متفاوت به عنوان پارامتر متغییر با درصدهای مختلف در نظر گرفته شده است. به این ترتیب با انجام آزمایشات لازم، مقدار بهینه الیاف و نحوه عملکرد آن ها مورد ارزیابی قرار گرفت. در تحقیق از الیاف فورتا، پلی الفین اصلاح‌شده پلی‌پروپیلنی و فایبرگلاس با طول ۱۹ میلی‌متر استفاده شد.

۳- روش تحقیق و طرح اختلاط

پس از تهیه مواد و مصالح، آزمایش‌های کنترل کیفیت مطابق آیین نامه ISSA 143 (2010) انجام شد. ابتدا به منظور تعیین مقدار قیر بهینه، سه درصد قیر مختلف برای ساخت نمونه‌های آزمایش‌های سایش در شرایط مرطوب[3] و چرخ بارگذاری[4] در نظر گرفته شد. برای به دست آوردن این مقادیر، درصدهای مختلف قیر با توجه به محدوده‌ی مجاز درنظر گرفته شد و سپس با استفاده از روش آزمون و خطا، طرح اختلاط مطلوب و سازگار با مواد و مصالح بدست آمد. در نهایت مقادیر ۱۱، ۱۳ و ۱۵ درصد قیر امولسیونی برای ساخت نمونه‌های مخلوط انتخاب گردید. نمونه‌های آزمایش سایش در شرایط مرطوب و چرخ بارگذاری (جذب ماسه) با سه درصد مختلف قیر انتخابی ساخته و مورد آزمایش قرار گرفتند. نهایتاً با توجه به نتایج آزمایش‌ها و با استفاده از روش استفاده از نمودار توصیه شده آئین نامه ISSA 143 مقدار قیر بهینه بدست آمد. برای ساخت مخلوط میکروسرفیسینگ حاوی الیاف، از ۱۲ درصد آب، ۳ درصد سیمان، ۱۳/۵ درصد قیر امولسیون، ۳٪ شیره لاستیک SBR و همچنین از الیاف فورتا، پلی الفین اصلاح‌شده، پلی‌پروپیلن و فایبرگلاس با درصدهای ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ استفاده شد. همچنین برای ارزیابی عملکرد مخلوط‌های حاوی انواع الیاف، آزمایش‌های پیوستگی[5]، سایش در شرایط مرطوب، چرخ بارگذاری و تیرچه خمشی[6] مورد استفاده قرار گرفت.

شکل۲. آزمایش تیرچه خمشی بر روی نمونه مخلوط میکروسرفیسینگ

در جدول ۱ ترکیب نوع و تعداد الیاف نمونه‌های مختلف مخلوط میکروسرفیسینگ برای آزمایش‌های پیوستگی، سایش در شرایط مرطوب و چرخ بارگذاری آورده شده است. در جدول ۲ شرایط انجام آزمایش تیرچه خمشی (شکل ۲) برای آزمایش نمونه‌های مخلوط میکروسرفیسینگ حاوی ۰/۲ درصد الیاف ارایه شده است.

٤- تحلیل نتایج

تحلیل نتایج ابتدا به صورت مجزا برای آزمایش‌های پیوستگی، سایش در شرایط مرطوب، چرخ بارگذاری و تیر خمشی انجام شده است.

٤-١-آزمایش پیوستگی

بررسی عملکرد انواع الیاف در مقادیر مختلف و تاثیر آن ها در روند عمل‌آوری تا گیرش نهایی در نمودارهای جداگانه در این بخش ارائه شده است. روند عمل‌آوری مخلوط میکروسرفیسینگ را می توان با داشتن مقاومت پیچشی نمونه‌ها در زمان‌های مختلف بدست آورد و با مقایسه این مقادیر با منحنی‌های آیین نامه ASTM D6372، نوع گیرش و ترافیک عبوری را مشخص کرد.

٤-١-١- بررسی عملکرد مخلوط در ۰/۱ درصد الیاف

منحنی توپر در شکل‌های ۳، ٤ و ۵ محدوده گیرش ترافیک آرام را نشان می‌دهد. در نمودار شکل ۳ روند عمل‌آوری مخلوط میکروسرفیسینگ با انواع الیاف مصرفی در مقدار ۰/۱ درصد مشخص شده است. در این نمودار عملکرد خوب الیاف فورتا و فایبرگلاس در مخلوط میکروسرفیسینگ دارای ۰/۱ درصد الیاف نشان داده شده است. این دو الیاف نسبت به الیاف پلی الفین اصلاح‌شده پلی‌پروپیلنی روند عمل‌آوری بهتری داشته است که این امر می‌تواند ناشی از پخش خوب الیاف در مخلوط و در نتیجه عملکرد کامپوزیتی مناسب با مخلوط میکروسرفیسینگ باشد.

٤-١-٢- بررسی عملکرد مخلوط در ۰/۲ درصد الیاف

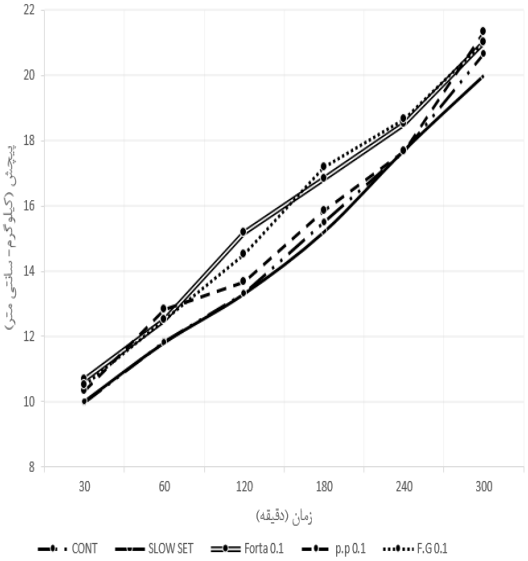
در شکل ٤ روند عمل‌آوری مخلوط میکروسرفیسینگ در مقدار ۰/۲ درصد الیاف فورتا، پلی الفین اصلاح‌شده پلی‌پروپیلنی و فایبرگلاس نشان داده شده است. در این نمودار مشهود است که الیاف فورتا و فایبرگلاس عملکرد بهتری نسبت به الیاف پلی‌الفین اصلاح‌شده پلی‌پروپیلنی در عمل‌آوری مخلوط میکروسرفیسینگ داشته‌اند. گیرش اولیه مخلوط میکروسرفیسینگ با الیاف فایبرگلاس زودتر از الیاف دیگر اتفاق افتاده است و الیاف فورتا در گیرش نهایی مخلوط عملکرد خوبی را نشان داده‌اند که این مسئله بدان مفهوم است که عملکرد کامپوزیتی مناسبی بین الیاف و مخلوط میکروسرفیسینگ ایجاد شده است.

جدول ۱. مشخصات نمونه‌های استفاده شده برای انجام آزمایش‌های ارزیابی عملکرد مخلوط میکروسرفیسینگ

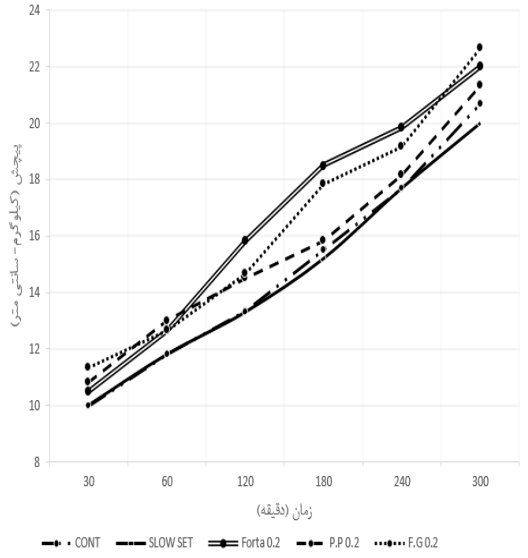
درصد قیر	نوع الیاف	درصد الیاف
۱۳/۵	فورتا	۰/۱
		۰/۲
		۰/۳
	پلی الفین اصلاح‌شده پلی‌پروپیلنی	۰/۱
		۰/۲
		۰/۳
	فایبرگلاس	۰/۱
		۰/۲
		۰/۳

جدول ۲. مشخصات نمونه‌ها برای انجام آزمایش تیرچه خمشی جهت ارزیابی عملکرد الیاف در مخلوط میکروسرفیسینگ

درصد قیر	درصد الیاف	نوع الیاف	دما (درجه سانتی‌گراد)		
۱۳/۵	۰/۲	فورتا	۲۵	۰	-۱۰
		پلی الفین اصلاح‌شده پلی‌پروپیلنی	۲۵	۰	-۱۰
		فایبرگلاس	۲۵	۰	-۱۰



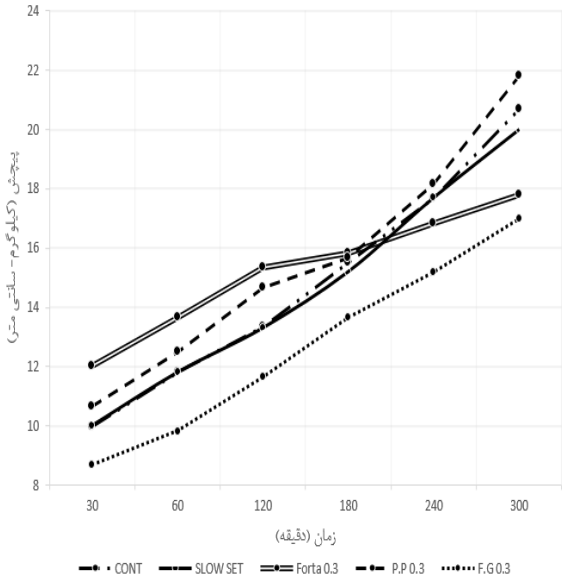
شکل ۳. نمودار عملکرد پیوستگی الیاف مختلف در ۰/۱ درصد الیاف



شکل ٤. نمودار عملکرد پیوستگی الیاف مختلف در ۰/۲ درصد الیاف

٤-۱-۳- بررسی عملکرد مخلوط در ۰/۳ درصد الیاف

نمودار شکل ۵ روند عمل‌آوری مخلوط میکروسرفیسینگ در ۰/۳ درصد الیاف، با الیاف فورتا، پلی الفین اصلاح‌شده پلی‌پروپیلنی و فایبرگلاس را نشان می‌دهد. در این نمودار عملکرد الیاف فایبرگلاس در مقدار ۰/۳ درصد از محدوده گیرش آرام خارج است. همچنین در این مقدار الیاف فورتا نیز عملکرد خوبی را نشان نداده است. این امر نشان می‌دهد که افزایش الیاف از حد معینی نقش کامپوزیتی مخلوط را از بین برده و عملکرد آن را تضعیف می‌کند. تنها الیاف پلی الفین اصلاح‌شده پلی‌پروپیلنی عملکرد بهتری را نسبت به دو الیاف دیگر نشان داده‌اند. با توجه به نمودارهای آزمایش پیوستگی مشهود است که نوع الیاف و درصد آن‌ها در روند عمل‌آوری مخلوط میکروسرفیسینگ موثر بوده و از طرفی پخش خوب الیاف در مخلوط میکروسرفیسینگ نقش مهمی را ایفا می‌کند. به طور کلی مقادیر ۰/۱ و ۰/۲ درصد الیاف در آزمایش پیوستگی عملکرد بهتری را از خود نشان داده‌اند.



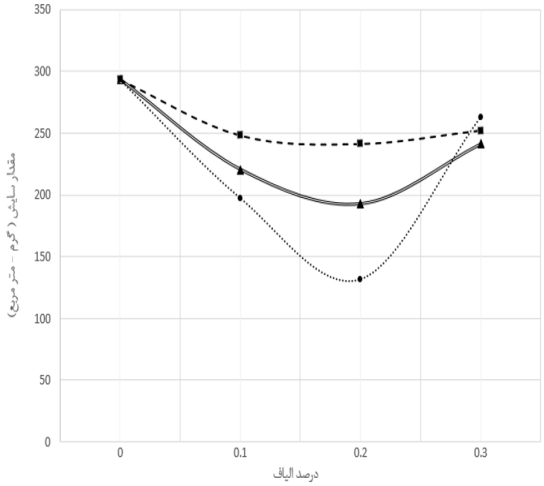
شکل ۵. نمودار عملکرد پیوستگی الیاف مختلف در ۰/۳ درصد الیاف

٤-۲- آزمایش سایش در شرایط مرطوب

نتایج آزمایش سایش در شرایط مرطوب بر روی نمونه‌های مختلف مخلوط میکروسرفیسینگ حاوی انواع الیاف در مقادیر مختلف در این قسمت ارائه شده است. میزان سایش مخلوط میکروسرفیسینگ حاوی الیاف نسبت به نمونه بدون الیاف بررسی شده است. نتایج بدست آمده گویای این مساله است که افزودن تمامی الیاف‌ها در درصدهای ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ سبب افزایش مقاومت سایشی مخلوط میکروسرفیسینگ می‌شود.

در نمودار شکل ٦ نتایج آزمایش سایش در شرایط مرطوب برای الیاف فورتا، پلی الفین اصلاح‌شده پلی‌پروپیلنی و فایبرگلاس نشان داده شده است. در این نمودار عملکرد انواع الیاف نسبت به یکدیگر و همچنین نسبت به نمونه بدون الیاف (نمونه شاهد) آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که مقدار ۰/۱ درصد الیاف در مخلوط میکروسرفیسینک باعث کاهش سایش نمونه‌ها شده

است. این روند افت سایش در همه‌ی مخلوط‌های میکروسرفیسینگ حاوی الیاف تا مقدار ۰/۲ درصد نیز ادامه داشته است. در مقدار ۰/۲ درصد الیاف تمامی مخلوط‌ها بهترین عملکرد مقاومتی در برابر سایش را داشتند. با اضافه کردن الیاف و رسیدن به مقدار ۰/۳ درصد، روند افزایشی مقدار سایش نسبت به مقادیر کمتر قابل مشاهده است. این عملکرد نامطلوب طبق مشاهدات آزمایشگاهی می‌تواند ناشی از ازدیاد الیاف در مخلوط میکروسرفیسینگ باشد. در این درصد، الیاف نه تنها نقش مسلح کنندگی نداشته اند، بلکه تاثیر منفی در مقاومت سایشی مخلوط از خود نشان دادند. الیاف فایبرگلاس با بیشترین مقاومت سایشی در مقدار ۰/۲ درصد ، ۵۵ درصد بهبود عملکرد سایشی را نتیجه دادند. این الیاف نسبت به نمونه شاهد نیز بهترین عملکرد را در مخلوط میکروسرفیسینگ مسلح شده با الیاف داشته است. استفاده از الیاف فورتا نیز با بهبود مقاومت سایشی ۳٤/۲ درصدی، عملکرد خوبی را از خود نشان داده است. با توجه به نتایج آزمایش سایش در شرایط مرطوب برای این الیاف می‌توان نتیجه گرفت که مقدار ۰/۲ درصد الیاف مناسب‌ترین مقدار برای حصول سایش کمتر در مخلوط های میکروسرفیسینگ مسلح شده با الیاف می‌باشد. لازم به ذکر است که در این مخلوط، نوع الیاف و همینطور پخش صحیح و کامل الیاف در مخلوط نقشی مهمی را ایفا می‌کند. استفاده از الیاف پلی‌الفین‌اصلاح‌شده پلی‌پروپیلنی درمخلوط میکروسرفیسینگ سبب کاهش میزان سایش شده است اما در مقایسه با الیاف فایبرگلاس و فورتا عملکرد ضعیف‌تری داشته است.



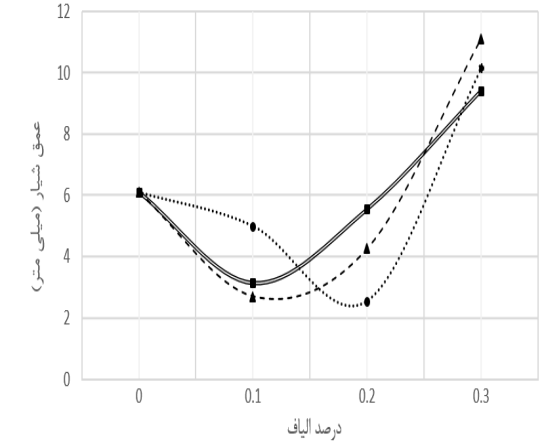
Forta	293.26	220.63	193.03	241.3
P.P	293.26	248.1	241.27	252.23
F.G	293.26	197.4	131.6	263.2

شکل٦. نتایج آزمایش سایش در شرایط مرطوب انواع الیاف در درصدهای مختلف

٤-۳- آزمایش بارگذاری چرخ

در این تحقیق آزمایش بارگذاری چرخ بر روی نمونه‌های مختلف انجام شد. نتایج این آزمایش برای انواع الیاف با درصدهای متفاوت در این بخش ارایه شده است.

در نمودار شکل ۷، نتایج آزمایش چرخ بارگذاری مخلوط‌های میکروسرفیسینگ حاوی الیاف پلی‌الفین اصلاح‌شده پلی‌پروپیلنی، فورتا و فایبرگلاس در درصدهای ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ قابل مشاهده است. در این نمودار عملکرد هرکدام از الیاف در درصدهای آزمایش شده مورد بررسی قرار گرفته است. طبق نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که الیاف فورتا و پلی‌الفین اصلاح‌شده پلی‌پروپیلنی در مقدار ۰/۱ درصد کمترین عمق شیارشدگی را ایجاد کرده‌اند. به طوری که این الیاف به ترتیب ۵۵/۷ و ٤۸/۳ درصد عمق شیارشدگی را نسبت به مخلوط شاهد کاهش داده‌اند. استفاده از الیاف فایبرگلاس در این مقدار، کاهش جزئی عمق شیار را به همراه داشته است. بیشترین کاهش عمق شیار در این الیاف مربوط به مقدار ۰/۲ درصد با کاهش عمق شیار ۵۸/۲ درصدی است. در تمامی الیاف، مقدار ۰/۳ درصد نه تنها عملکرد مثبتی در کاهش عمق شیارشدگی نداشته است، بلکه عمق شیارشدگی به مراتب بیشتری از مخلوط میکروسرفیسینگ بدون الیاف را از خود نشان داده‌اند.



Forta	6.1	3.15	5.55	9.4
P.P	6.1	2.7	4.25	11.1
FG	6.1	5	2.55	10.15

شکل ۷. نتایج آزمایش بارگذاری چرخ الیاف مختلف در درصدهای متفاوت

٤-٤- آزمایش تیر خمشی

در این تحقیق برای ارزیابی رفتار خمشی و چقرمگی مخلوط میکروسرفسیسینگ نمونه‌های تیرچه با ابعاد ۲٤×۱٤۰×۳۰ میلی‌متر ساخته شدند. عمل‌آوری نمونه‌ها طبق مطالعه Charmot و همکاران انجام شد. سپس نمونه‌های تیر تحت خمش سه نقطه‌ای با نرخ یک میلی متر بر ثانیه در دماهای ۲۵، ۰ و ۱۰- درجه سانتی‌گراد بارگذاری شدند و نتایج به دست آمده برای هر یک از الیاف ثبت شد.

٤-٤-١- آزمایش تیرچه خمشی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد

با توجه به نتایج آزمایش تیر خمشی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، می‌توان نتیجه گرفت که در مخلوط میکروسرفیسینگ نمونه‌های حاوی الیاف نسبت به نمونه‌های فاقد الیاف دارای چقرمگی بیشتر و شکست نرم‌تری هستند (شکل۸). در بین الیاف مختلف، الیاف فورتا با ۱۵/۳ کیلوپاسکال چقرمگی، بیشترین مقدار انرژی شکست را از خود نشان داد. الیاف فایبرگلاس با میزان چقرمگی ۹/۵ کیلوپاسکال پس از الیاف فورتا بهترین عملکرد را نسبت به نمونه بدون الیاف در این دما داشت. در این دما نمونه‌های حاوی الیاف پلی الفین اصلاح‌شده پلی‌پروپیلنی عملکردی ضعیف تری از مخلوط شاهد از خود نشان دادند.

٤-٤-٢- آزمایش تیر خمشی در دمای صفر درجه سانتی‌گراد

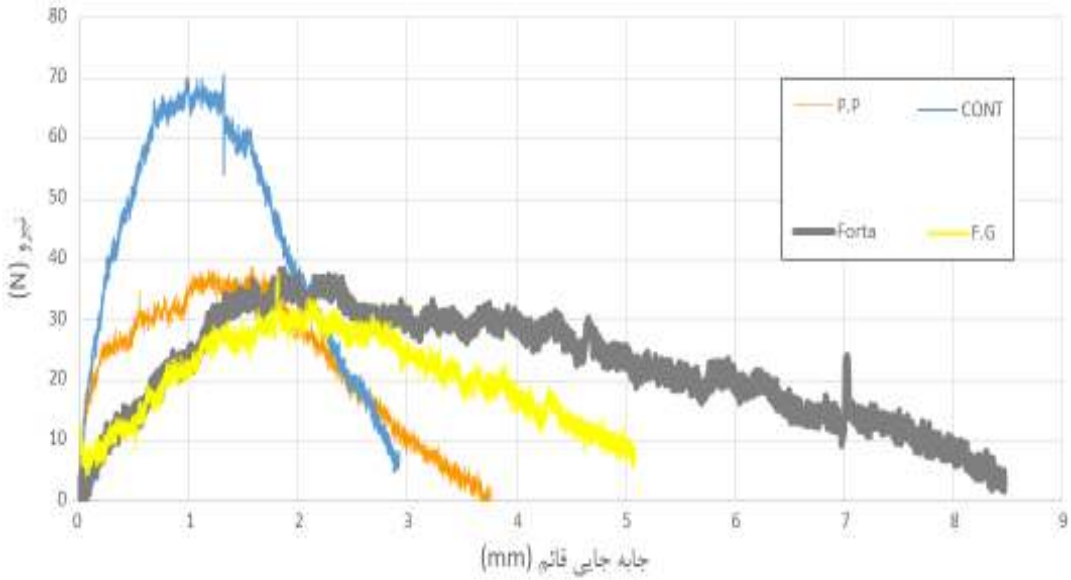
نمونه‌های ساخته شده حاوی الیاف فورتا، پلی الفین اصلاح‌شده پلی‌پروپیلنی و فایبرگلاس در مقدار ۰/۲ درصد در دمای صفر درجه سانتی‌گراد تحت آزمایش خمش سه نقطه‌ای قرار داده شدند تا عملکرد الیاف در دماهای مختلف مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به شکل ۹ در این دما نیز عملکرد بهتر مخلوط میکروسرفیسینگ الیافی در انرژی شکست به خوبی مشهود است.

با توجه به نتایج بدست آمده دردمای صفر درجه سانتی‌گراد، الیاف فورتا با ۱٤۳/۳ کیلوپاسکال چقرمگی، شکست مخلوط نرم‌تری را موجب شده و ٦٦/٤ درصد انرژی شکست را بهبود بخشیده است. الیاف فایبرگلاس و پلی‌الفین‌اصلاح‌شده‌پلی‌پروپیلنی به ترتیب با ۳٦/۵ و ۱۰/۵ درصد بهبود عملکرد، انرژی شکست مخلوط میکروسرفیسینگ حاوی الیاف را افزایش دادند.

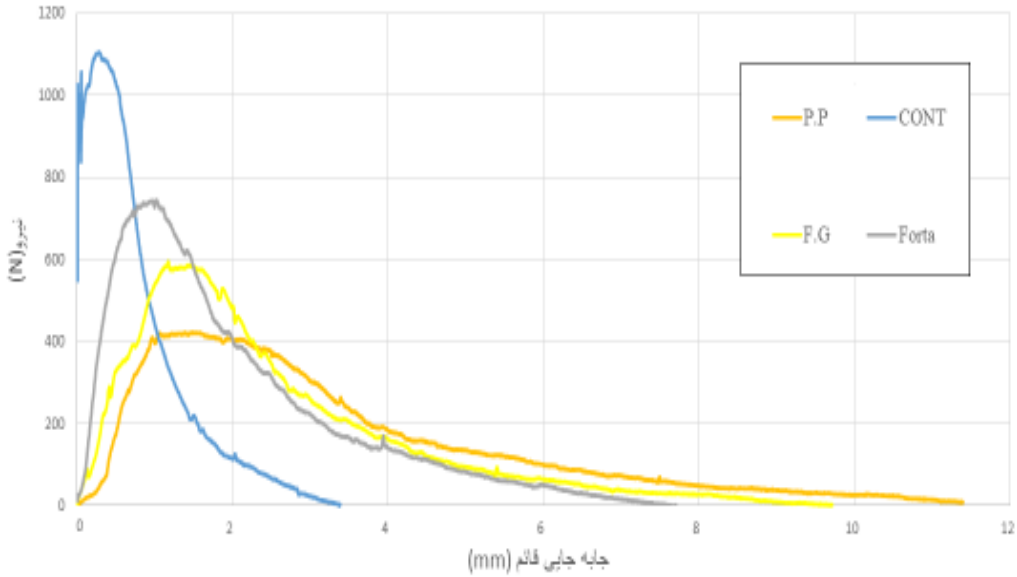
٤-٤-٣-آزمایش تیرچه خمشی در دمای ۱۰- درجه سانتی‌گراد

شکل ۱۰ نتایج آزمایش تیرچه خمشی مخلوط‌های میکروسرفیسینگ حاوی الیاف فورتا، پلی الفین اصلاح‌شده پلی‌پروپیلنی و فایبرگلاس را نشان می‌دهد. در این نمودار که نشان‌دهنده‌ی رفتار مخلوط در دمای ۱۰- درجه سانتی‌گراد می‌باشد، رفتار مناسب الیاف برای انرژی شکست ترسیم شده است. در این دما نیز عملکرد الیاف فورتا بیشترین مقدار انرژی شکست را از خود نشان داده است، به طوری که بهبود عملکردی برابر با ۷۷/۳ درصد نسبت به نمونه شاهد را نشان می‌دهد. الیاف فایبرگلاس در این مخلوط ۲٦/٤ درصد چقرمگی مخلوط را افزایش داده است.

الیاف پلی‌الفین اصلاح شده پلی‌پروپیلنی در این دما نیز نه تنها عملکرد بهبود بخشی نداشته بلکه عملکرد ضعیف‌تری نسبت به مخلوط بدون الیاف نشان داد. این عملکرد نشان می‌دهد که الیاف پلی‌الفین اصلاح شده پلی‌پروپیلنی در دمای ۱۰- درجه سانتی‌گراد، نه تنها باعث افزایش مقاومت کششی مخلوط نشده است، بلکه انسجام اولیه مخلوط را با تجمع زیاد تحت الشعاع قرار داده و باعث رفتار ضعیف‌تر مخلوط میکروسرفیسینگ شده است.



شکل ۸ . نمودار نتایج آزمایش تیرخمشی نمونه‌های میکروسرفیسینگ در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد



شکل ۹ . نمودار نتایج آزمایش تیرچه خمشی نمونه‌های میکروسرفیسینگ در دمای صفر درجه سانتی‌گراد

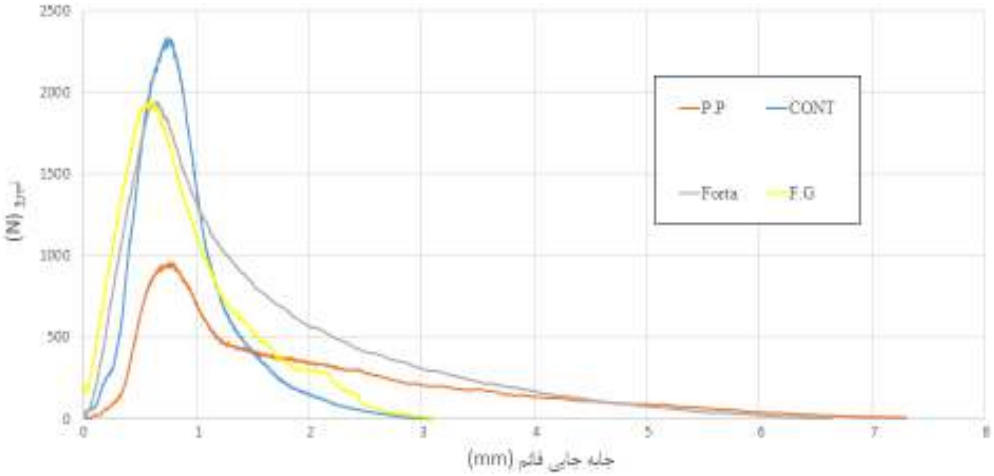
با توجه به آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق، سودمندی استفاده از الیاف در مخلوط میکروسرفیسینگ مشخص شد. همچنین نشان داده شد که مقدار و نوع الیاف مصرفی در این نوع مخلوط حفاظتی عملکرد آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. عملکرد مناسب مخلوط میکروسرفیسینگ حاوی الیاف را می‌توان متاثر از پخش مناسب و مقدار بهینه الیاف دانست. طبق نتایج به‌دست آمده از آزمایش تیرچه خمشی و بررسی پارامتر انرژی شکست می‌توان عملکرد انواع الیاف استفاده شده در این تحقیق را برای بازه‌های دمایی گوناگون ارزیابی کرد. نتایج نشان می‌دهد که الیاف فورتا در تمامی محدوده‌های دمایی آزمایش شده، عملکرد مطلوبی را از خود نشان داده است. از همین رو استفاده از این نوع الیاف برای مناطقی که آب و هوای سردسیر دارند و مناطق با دمای معتدل، بدون ایجاد مشکلات فنی امکان پذیر می‌باشد. الیاف فایبرگلاس با توجه به نمایش رفتار بهتر در دماهای پایین برای مناطق سردسیر پیشنهاد می‌شوند. برای استفاده از این الیاف

در مناطق با دمای متوسط نیز هیچ‌گونه کاهش عملکردی مشاهده نشد و افزایش جزئی عملکرد را به دنبال داشت. با توجه به نتایج به دست آمده از مخلوط‌های حاوی الیاف پلی‌الفین اصلاح شده پلی‌پروپیلنی، استفاده از این نوع الیاف در دماهای مختلف عملکرد ضعیفی داشته و توصیه نمی‌شود.

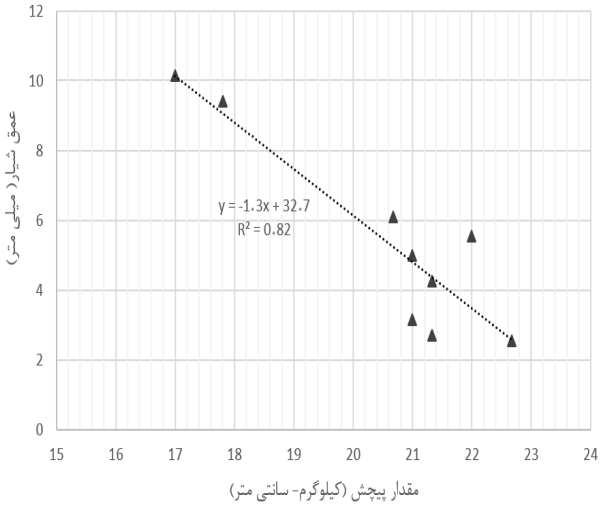
۵- رابطه بین پیوستگی مخلوط و عمق شیار شدگی

با تحلیل نتایج به دست آمده از آزمایش پیوستگی و بارگذاری چرخ نمونه‌های میکروسرفیسینگ حاوی الیاف مختلف، مشاهده شد که بین این دو مشخصه مخلوط رابطه معناداری وجود دارد. به این ترتیب که در نمونه‌های مخلوط دارای الیاف بهینه و با پیوستگی بیشتر، عمق شیار ایجاد شده در اثر اعمال بارگذاری چرخ کمتر است.

وجود چنین رابطه‌ای در ادبیات موضوع نیز گزارش شده بود. این موضوع اهمیت مشخصه پیوستگی میکروسرفیسینگ را دوچندان می‌کند. به این ترتیب که هرچه مقاومت پیچشی مخلوط بیشتر شود، انسجام بیشتر اجزاء میکروسرفیسینگ نه تنها عمل‌آوری سریع‌تر را فراهم می‌کند بلکه در طول دوران خدمت‌دهی خرابی‌های کمتری به لایه‌ی استفاده شده وارد می‌شود. از همین رو اطمینان از انسجام مخلوط در آزمایش پیوستگی، می‌تواند بسیاری از مشخصات مورد نیاز را در طراحی میکروسرفیسینگ برآورده کند.



شکل ۱۰. نمودار نتایج آزمایش تیرچه خمشی نمونه‌های میکروسرفیسینگ در دمای ۱۰- درجه سانتی‌گراد



شکل ۱۱. نمودار رابطه پیوستگی و عمق شیار مخلوط میکروسرفیسینگ

٦- نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای بهبود عملکرد مخلوط میکروسرفیسینگ از الیاف فورتا، پلی‌الفین اصلاح‌شده پلی‌پروپیلنی و فایبرگلاس استفاده شد. مقادیر مختلف الیاف (۰/۱ ، ۰/۲ و ۰/۳ درصد) برای دستیابی به مقدار بهینه مورد بررسی قرار گرفت. برای ارزیابی عملکرد مخلوط میکروسرفیسینگ حاوی الیاف و مقایسه با نمونه‌ی بدون الیاف آزمایش‌های پیوستگی، سایش در شرایط مرطوب و چرخ بارگذاری و تیرچه خمشی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج به دست آمده از این تحقیق را به طور خلاصه می‌توان در موارد زیر جمع بندی نمود:

-به طور کلی استفاده از الیاف در مخلوط میکروسرفیسینگ بهبود عملکرد مخلوط را به دنبال دارد. روند عمل‌آوری مخلوط‌های میکروسرفیسینگ حاوی الیاف مختلف در آزمایش پیوستگی نشان داد که مخلوط حاوی ۰/۲ درصد الیاف فایبرگلاس بهترین عملکرد را نسبت به سایر نمونه‌ها دارد.

-نتایج آزمایش سایش در شرایط مرطوب نشان می‌دهد که مقاومت سایشی مخلوط آسفالت میکروسرفیسینگ حاوی الیاف فورتا، پلی‌الفین اصلاح‌شده پلی‌پروپیلنی و فایبرگلاس در مقدار ۰/۲ درصد به ترتیب ۳٤٪ ، ۱۷٪ و ۵۵٪ نسبت به نمونه شاهد افزایش داشته است.

-استفاده از الیاف فورتا و پلی الفین اصلاح‌شده پلی‌پروپیلنی با مقدار ۰/۱ درصد در مخلوط میکروسرفیسینگ به ترتیب کاهش عمق شیارشدگی برابر با ٤۸٪ و ۵۵٪ نسبت به نمونه بدون الیاف را نتیجه داده است. همچنین الیاف فایبرگلاس در مقدار ۰/۲ درصد کاهش عمق شیارشدگی ۵۸ درصدی را از خود نشان داده است.

-مقدار ۰/۳ درصد الیاف در مخلوط میکروسرفیسینگ عملکرد مثبتی نداشته و این درصد در مواردی نسبت به نمونه بدون الیاف نیز عملکرد به مراتب ضعیف‌تری داشته است. این امر می‌تواند حاکی از این باشد که افزودن بیش از حد الیاف در مخلوط میکروسرفیسینگ نه تنها مفید نبوده بلکه بر عملکرد مخلوط تاثیر منفی خواهد گذاشت.

-به طور کلی افزودن ۰/۲درصد الیاف به مخلوط میکروسرفیسینگ، چقرمگی مخلوط را در دماهای مختلف ۲۵، ۰ و ۱۰- درجه سانتی‌گراد افزایش داده و مخلوط شکست نرم‌تری را از خود نشان داده است.

۷- پی‌نوشت‌ها

1. Cationic Slow Setting
2. Styrene Butadiene Rubber
3. Wet Track Abrasion Test
4. Loaded Wheel Test
5. Cohesion Test
6. Flexural Beam Test

۸- مراجع

-Charmot, S., Yifan, Y., Shi, M., Hu, H., and Zheng, Z. (2015), “Measurements of the effectiveness of fiber reinforced micro surfacing mixtures”, Pavement Preservation & Recycling Summit, Paris, Febraury, pp. 22-25.

-Hafezzadeh R & Kavussi A., (2019), “Application of microsurfacing in repairing pavement surface rutting”, Journal of Road Materials and Pavement Design, https://doi.org/10.1080/14680629.2019.1663243.

-ISSA 143 (2010), "Recommended Performance Guidelines for Micro Surfacing, International Slurry Seal Association".

-LI Kan1, LI Xin-wei2, W. D., (2013), "Study on Road Performances of Micro-surfacing Mixed with Polypropylene Filament Fiber".

-Patel, N., & Gujar, R., (2017), "Evaluationof performance of high calcium fly ash as amineral filler in mix design of microsurfacing of road pavement", An International Journal (CiVEJ), Vol.4, No.2.

-Price, P., (2014), "Microsurfacing suspended fibre technology: product innovation. In ARRB Conference", 26th, Sydney, New South Wales, Australia.

-Shackil, G. J., (2020), "Evaluating cracking performance of polymer enhanced and fiber reinforced microsurface mixtures using asphalt laboratory testing", MSc Theses and Dissertations.

-Shi, J. Jia, S. Wang, L. Zhang, Q. Han, H. Chen, Y. Song, Z. Zhao, L., (2021), "Validation of Adhesive and Temperature Property Characteristics of Microsurfacing by PerformanceBased Mixture Design Approach", Materials 2021, 14, 4532.
-doi.org/10.3390/ma14164532.

-Tanzadeh, J., & Otadi, A., (2018), "Laboratory Investigation of Microsurfacing Asphalt Modified with Nanosilica and Nanoclay Combined with Polyethylene Fibers", Journal of Testing and Evaluation, 46(4).

-Wu, Z., (2015), "Research on Fiber Micro-Surfacing Mixture Design and Pavement Performance in Interchange’s Connections".

-Zimmerman, K. A., & Peshkin, D. G., (2008), "Best practices in pavement preservation", In Proceedings of 7th International Conference on Managing Pavement Assets", Alberta, Canada, Citeseer.

Evaluation of the Role of Fibers in Performance of Microsurfacing Mixtures

Amir Kavussi, Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Reyhaneh Darash, M.Sc., Grad., Department of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Email: kavussia@modares.ac.ir

Received: July 2022- Accepted: November 2022

ABSTRACT

Microsurfacing mixtures are applied as efficient surface treatment mixes for rehabilitation of pavement surfaces. Unlike their several benefits, microsurfacing mixes lack resistance to heavy traffic loading and low temperature cracking. Among various methods of increasing their resistance, the application of different fiber types was of interest of many researchers. In this research, the effects of various fiber types, including modified Plyolefin-Polypropylene, Forta and Fiberglass at 0.1, 0.2 and 0.3 percentage levels of the mix were investigated. Cohesion, Wet Track Abrasion, Loaded Wheel and Flexural Beam tests were carried out on different mix compositions containing various fiber types. Experimental results showed that performance of microsurfacing mixtures is significantly improved with the addition of fibers. The results showed that the addition of %0.2 modified Plyolefin-Polypropylene, %0.2 Forta and %0.2 Fiberglass separately, resulted in major improvements in cohesion and abrasion resistance of mixes. Mixes containing %0.1 Forta, %0.1 modified Plyolefin-Polypropylene and %0.2 Fiberglass, compared with conventional microsurfacing mixtures, showed the least rut values. Analyzing the results of the cohesion and loaded wheel tests, it was observed that specimens exhibiting highest cohesions resulted in less rutting. In flexural beam testing, it was observed that the application of Forta fiber resulted in the best performance against cracking. The application of this fiber in mixtures increased toughness values at 25, 0 and -10 °C to %15.3, %33.1 and %67.2, respectively.

Keywords: Fibers, Microsurfacing Mix, Flexural Beam and Loaded Wheel Tests