

ارزیابی آزمایشگاهی عملکرد آسفالت حفاظتی میکروسرفیسینگ حاوی الیاف

پلی پروپیلن

حسن زیاری (مسئول مکاتبات)، دانشکده مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

E-mail: H.Ziari@iust.ac.ir

محمدجواد مهدی‌زاده، دانشجوی کارشناسی ارشد گرایش راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

مهدی زال‌نژاد، دانشجوی دکتری گرایش راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۰

دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۳

چکیده

با توجه به اهمیت راه‌ها در ایجاد ارتباط بین نواحی مختلف، همواره مسئله تعمیر و نگهداری راه‌ها امری حیاتی برای سازمان‌های حمل و نقل محسوب می‌شود. یکی از مهم‌ترین روش‌های تعمیر و نگهداری پیشگیرانه راه‌ها استفاده از میکروسرفیسینگ است. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر اضافه نمودن الیاف پلی‌پروپیلن در طرح اختلاط میکروسرفیسینگ جهت سنجش عملکرد آن است. در این راستا، به منظور ارزیابی عملکرد مخلوط میکروسرفیسینگ، از ۵ ترکیب مختلف حاوی صفر، ۰/۰۵، ۰/۱۰، ۰/۱۵ و ۰/۲۰ درصد الیاف پلی‌پروپیلن بر اساس وزن کل سنگدانه استفاده گردید. ارزیابی نمونه‌های میکروسرفیسینگ به واسطه آزمایش‌های چسبندگی مرطوب، چرخ بارگذاری شده و سایش در شرایط مرطوب مطابق با استاندارد ASTM D6372 انجام شد. نتایج طراحی نشان داد که مخلوط‌های اصلاح‌شده با الیاف پلی‌پروپیلن، موجب بهبود عملکرد میکروسرفیسینگ می‌شوند. به طوری که در میان مخلوط‌ها، مخلوط میکروسرفیسینگ حاوی ۰/۱۰ درصد الیاف موجب افزایش چسبندگی به قیر در مدت زمان ۳۰ و ۶۰ دقیقه به ترتیب به میزان ۲۰/۶ و ۲۱/۱ درصد، کاهش جابه‌جایی عمودی و جانبی به ترتیب به میزان ۳۸/۲ و ۲۸/۹ درصد، بهبود مقاومت در برابر سایش به میزان ۳۵/۶ درصد و کاهش قیرزدگی به میزان ۲۵/۴ درصد گردید. مخلوط حاوی ۰/۱۰ درصد الیاف نسبت به نمونه شاهد دارای ۱/۶ درصد قیر امولسیون بیشتر به منظور دستیابی به چسبندگی مناسب در زمان مشخص است. از سوی دیگر طبق نتایج بدست آمده، استفاده بیش از مقدار بهینه‌ی الیاف پلی‌پروپیلن در مخلوط میکروسرفیسینگ، باعث پخش نشدن مناسب الیاف در مخلوط و تشکیل توده‌های گلوله‌ای از الیاف شده که ممکن است باعث کاهش عملکرد مناسب مخلوط شود.

کلمات کلیدی: آسفالت حفاظتی، الیاف پلی‌پروپیلن، تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، میکروسرفیسینگ

۱. مقدمه

شکست تشکیل شده و اغلب به‌عنوان مخلوط سطحی با هدف اصلاح شیارشدگی، بهبود اصطکاک سطح و افزایش عمر روسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Broughton et al., 2010; A. ISSA, 2012). این نوع مخلوط‌ها از نوع مخلوط‌های سرد بوده که باید با ماشین‌آلات مخصوصی مخلوط و پخش شوند. مزیت اصلی مخلوط میکروسرفیسینگ نسبت به دیگر آسفالت‌های حفاظتی این است که قیر امولسیون اصلاح‌شده با پلیمر موجب می‌شود که در اغلب موارد و تحت شرایط محیطی مناسب و بدون نیاز به غلتک، گیرش مخلوط در مدت‌زمان حدود یک ساعت حاصل شود (Gransberg, Board, & Program, 2010).

از آنجایی که میکروسرفیسینگ یکی از روش‌های مهم نگهداری و حفاظت از راه‌ها محسوب می‌شود، بررسی مدهای خرابی یا شکست در این نوع آسفالت حفاظتی امری حیاتی بوده و برای ادارات راه و شهرسازی این موضوع مهم است که آسفالت‌های حفاظتی طوری طراحی و بهینه‌سازی شده که دارای بهترین عملکرد و بیشترین عمر بهره‌وری باشند (Zalnezhad & Hesami, 2020). یکی از روش‌های ارتقاء عملکرد این نوع از مخلوط‌های آسفالتی استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن است. الیاف پلی‌پروپیلن با مدول ارتجاعی پایین، استحکام بالا، شکل‌پذیری و دوام مناسب در مخلوط‌های آسفالتی برای بهبود شکل‌پذیری و عملکرد ضد ترک‌خوردگی استفاده می‌شود. به‌طور کلی الیاف پلی‌پروپیلن به دلیل مزایای فراوان به‌عنوان تقویت‌کننده به‌طور گسترده‌ای در آسفالت استفاده شده که با استفاده از این الیاف آسفالت مقاومت قابل‌توجهی در برابر خرابی‌ها خواهد داشت (Wang, Mallick, & Rahbar, 2020). در این خصوص اصلاح آسفالت با الیاف پلی‌پروپیلن پژوهش‌هایی از سوی محققین انجام شده است. در پژوهشی از گلچین و امیری (۲۰۱۹) ویژگی‌های خرابی رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا نمونه‌های آسفالتی مختلف با مصالح آهکی و گرانیت حاوی الیاف پلی‌پروپیلن در درصدهای ۰، ۲ و

راه‌ها و مسیرهای حمل‌ونقل به‌عنوان وسیله‌ای برای آمدوشد، مسیری برای وصل کردن مناطق مختلف به یکدیگر، تجارت و بازرگانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این شبکه‌های ارتباطی مهم‌ترین و حساس‌ترین زیرساخت‌های اصلی شهر و کشور را تشکیل داده که جزو بزرگ‌ترین دارایی‌های هر کشور به‌شمار می‌آیند. (Robati, Carter, & Perraton, 2015). با وجود منابع عظیم اختصاص‌یافته به راه‌ها، با توجه به این‌که دائماً تحت نظارت عمومی قرار داشته، ضروری است که قابلیت سرویس‌دهی روسازی‌ها به روشی مؤثر حفظ شود (Zulu, Singh, & Shaba, 2020). مؤثرترین روش برای حفظ این قابلیت، اجرای یک سیستم برنامه‌ریزی شده حفاظتی است. یک برنامه حفظ روسازی با هدف حفظ سرمایه‌گذاری در شبکه روسازی، افزایش عمر روسازی، افزایش عملکرد روسازی، اطمینان از مقرون‌به‌صرفه بودن و کاهش تأخیرهای کاربر استفاده‌کننده از راه انجام می‌شود. (Galehouse, Moulthrop, & Hicks, 2003). نگهداری پیشگیرانه روشی است که به‌منظور حفظ روسازی و کاهش نرخ خرابی روسازی، اجرا می‌شود. هدف از تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، ترمیم خرابی‌های زودرس روسازی، کند نمودن و به تأخیر انداختن خرابی‌های روسازی و کاهش نیاز به تعمیر و نگهداری اصلاحی است. یکی از اصلی‌ترین روش‌ها در نگهداری پیشگیرانه استفاده از انواع آسفالت‌های حفاظتی است. در میان روش‌های مختلف نگهداری پیشگیرانه، میکروسرفیسینگ به‌عنوان روشی که دارای مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی قابل‌توجه است شناخته می‌شود (Broughton, Lee, & Kim, 2012; Takamura, Lok, Wittlinger, & Aktiengesellschaft, 2001). مخلوط‌های میکروسرفیسینگ از مصالح صد در صد شکسته با دانه‌بندی مشخص، قیر امولسیون کاتیونی اصلاح‌شده با پلیمر، آب، فیلرهای معدنی و افزودنی‌های شیمیایی برای کنترل زمان

ارزیابی آزمایشگاهی عملکرد آسفالت حفاظتی میکروسرفیسینگ حاوی الیاف پلی پروپیلن

مدول سختی نمونه‌ها می‌شود (Jeffery-Wright, Choudhary, Akhlaghi, & Price, 2013). افضلی و همکاران در مطالعه‌ای در رابطه با خواص مخلوط میکروسرفیسینگ با افزودن الیاف کورتا در دو درصد ۰/۱ و ۰/۳ و در طول‌های ۱۹، ۳۰ و ۵۲ میلی‌متر نشان دادند که الیاف تقریباً در بیشتر حالت‌ها منجر به بهبود چسبندگی و ارتقاء مقاومت تغییرشکل مخلوط‌های میکروسرفیسینگ در برابر بارگذاری ترافیک شده است (افضل‌ی نیز، پرن‌دیان، زابلی و کیانفر، ۱۳۹۶). اوتادی و تن‌زاده (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای با افزودن نانورس و نانوسیلیس به همراه الیاف پلی‌اتیلن به مخلوط میکروسرفیسینگ دریافتند که استفاده از ۰/۴ درصد الیاف پلی‌اتیلن به همراه نانورس سایش نمونه‌های ساخته شده را کاهش می‌دهد. از طرف دیگر دریافتند که الیاف پلی‌اتیلن باعث افزایش مقاومت در برابر شیارشدگی و ترک‌خوردگی و افزایش چسبندگی می‌شود (Otadi & Tanzadeh, 2018).

تأثیر مهم الیاف پلی‌پروپیلن در مخلوط‌های آسفالتی گرم مورد مطالعه قرار گرفته است اما مطالعات محدودی در اثربخشی آن در آسفالت‌های حفاظتی، انجام شده است. لذا در این تحقیق با ساخت نمونه‌هایی از مخلوط میکروسرفیسینگ، به بررسی اثر افزودن درصد‌های مختلف الیاف پلی‌پروپیلن بر خواص این نوع از آسفالت حفاظتی، پرداخته شده است. در این راستا، ابتدا مشخصات مصالح سنگی و قیر امولسیون مورد ارزیابی قرار گرفته و سپس به منظور ارزیابی عملکرد مخلوط میکروسرفیسینگ حاوی الیاف، ۵ ترکیب مختلف حاوی صفر، ۰/۰۵، ۰/۱۰، ۰/۱۵ و ۰/۲۰ درصد بر اساس وزن کل سنگدانه تهیه شد. ارزیابی نمونه‌های آسفالتی به واسطه آزمایش‌های چسبندگی، چرخ بارگذاری شده و سایش در شرایط مرطوب مطابق با دستورالعمل *ISSA A143* و استاندارد *ASTM D6372* انجام شد.

۲. مواد و روش آزمایش

۴ تهیه شدند. در ادامه آزمایش کشش غیر مستقیم بر روی نمونه‌ها در حالت‌های یک، سه و پنج سیکل ذوب و یخ انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از الیاف باعث بهبود مقاومت مخلوط‌های آسفالتی در شرایط خشک و مرطوب می‌شود. این پژوهش برای بهبود مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر خرابی رطوبتی، افزایش پلی‌پروپیلن تا ۴ درصد وزن قیر را پیشنهاد می‌کند (گلچین و امیری، ۱۳۹۸). جوانی و همکاران (۲۰۱۹) در دیگر مطالعه، ویژگی‌های عملکردی مخلوط آسفالتی گرم حاوی شیشه بازیافتی و الیاف پلی‌پروپیلن را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. مهم‌ترین نتایج بدست آمده نشان داد که استفاده از ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ درصد الیاف پلی‌پروپیلن باعث افزایش پایداری مارشال به ترتیب به میزان ۱۰، ۷ و تقریباً ۱ درصد می‌شود (Javani, Kashi, & Mohamadi, 2019). در پژوهشی از محمد و همکاران (۲۰۲۰) مخلوط اصلاح شده توسط الیاف پلی‌پروپیلن و تأثیر آن بر مقاومت تغییر شکل بررسی شد. در این پژوهش مشخص شد، افزودن الیاف پلی‌پروپیلن باعث افزایش پایداری مخلوط آسفالت تا ۱۴ درصد و افزایش درصد قیر بهینه تا ۱۱ درصد می‌شود. با افزودن الیاف پلی‌پروپیلن، فضای خالی پر شده با قیر، درصد فضای خالی و روانی در مقایسه با مخلوط آسفالت اصلاح نشده کاهش می‌یابد. همچنین معلوم گردید، مخلوط اصلاح شده با ۰/۵ درصد الیاف پلی‌پروپیلن دارای مناسب‌ترین عملکرد است (Rashid, Ahmad, & Ahmed, 2020). از لحاظ سابقه بحث در خصوص ارتقا عملکرد میکروسرفیسینگ، مقالات متعددی به بررسی این موضوع پرداخته‌اند. در مطالعه‌ای توسط جفری رایت و همکاران (۲۰۱۳) با هدف افزایش استحکام کششی و بالا بردن مشخصه‌ی انعطاف‌پذیری، الیاف بازالت مصنوعی، سلولوز و شیشه به مخلوط میکروسرفیسینگ اضافه گردید. طی این مطالعات مشخص گردید که اضافه نمودن الیاف شیشه‌ای با نسبت ۰/۲ درصد وزن خشک سنگدانه و طول کمتر از ۱۲/۵ میلی‌متر باعث افزایش مقاومت کششی و مقاومت در برابر ترک‌خوردگی و

۱-۲ مواد و مصالح

Kaymanesh, Yousefi, & Abedini, 2020; Esfahani & Khatayi, 2020). مشخصات قیر امولسیون

تولید شده پس از آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

۲-۱-۲ مصالح سنگی

در این پژوهش مصالح سنگی کوهی در اندازه ۵-۰ میلی‌متر مورد استفاده واقع شد. از منظر دانه‌بندی، دانه‌بندی نوع II استفاده گردیده و محدوده آن مطابق جدول ۲ است. ویژگی سنگدانه‌های مخلوط پس از آزمایش در این پژوهش در جدول ۳ ارائه شده است. مصالح سنگی مطابق دستورالعمل ISSA A143 دارای ویژگی‌های مشخصی است. همان‌طور که مشخص است که ارزش ماسه‌ای، سلامت در برابر سولفات سدیم و سایش به وسیله لس‌آنجلس مصالح سنگی قابل قبول بوده، به همین جهت انتظار می‌رود، پایداری خواص آسفالت، به خصوص در حضور رطوبت و هنگام یخبندان، عملکرد مصالح در برابر تغییرات شرایط جوی و آب‌وهوایی و همچنین عملکرد مصالح در برابر سایش و ضربه مناسب باشد.

اجزای تشکیل دهنده میکروسرفیسینگ شامل مصالح سنگی شکسته، قیر امولسیون کاتیونی اصلاح‌شده با پلیمر، آب، فیلر فعال (معمولاً سیمان) و در صورت لزوم افزودنی‌های شیمیایی برای کنترل زمان شکست است. در ادامه الزامات هر یک از اجزا و ویژگی‌های آن مورد بررسی قرار خواهد گرفت (ASTM D6372, 2015; ISSA A143, 2010).

۱-۱-۲ قیر امولسیون اصلاح‌شده با پلیمر

در این تحقیق از قیر امولسیون کاتیونی کند شکن اصلاح‌شده با پلیمر مطابق ASTM D6372 استفاده شد. به منظور ساخت قیر امولسیون اصلاح‌شده با پلیمر، محلول صابونی حاوی آب، اسید، امولسیفایر کاتیونی کند شکن و ۳ درصد پلیمر استایرن بوتادین رابر بر اساس وزن جامد قیر، با قیر به مقدار ۶۲ درصد در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد، در دستگاه امولسیون ساز با سرعت ۲۸۴۰ دور بر دقیقه مورد اختلاط و امولسیون‌سازی قرار گرفت. روش تولید قیر امولسیون مطابق استاندارد ASTM D2397 و مطالعات دیگر پژوهشگران انجام شد (Abedini, Hassani,)

جدول ۱. مشخصات قیر امولسیونی اصلاح‌شده با پلیمر

آزمایش	روش آزمایش	نتیجه‌ی آزمایش
کندروانی سی بولت- فورل در دمای ۲۵°C، ثانیه	AASHTO T59	۲۲
نشست (پایداری) در انبار کردن قیر امولسیون، ۲۴ ساعت، %	ASTM D6930	۰/۵
تقطیر قیر امولسیون، جرم وزنی %	ASTM D7497	۶۲
الک، %	ASTM D244	۰/۰۲
اندود، %	AASHTO T59	۹۸
بار ذرات	AASHTO T59	مثبت
آزمایش‌های بر روی قیر باقی‌مانده از تقطیر قیر امولسیون		
نقطه نرمی قیر با آزمایش حلقه و گلوله، درجه سانتی‌گراد	ASTM D36	۶۳*
درجه نفوذ در ۲۵°C، ۱۰۰ گرم، ۵ ثانیه	ASTM D5	۶۲*

*قیر پایه‌ی مورد استفاده برای امولسیون سازی از نوع ۷۰-۶۰ با نقطه نرمی ۵۴ و درجه نفوذ ۶۵ بوده است.

ارزیابی آزمایشگاهی عملکرد آسفالت حفاظتی میکروسرفیسینگ حاوی الیاف پلی پروپیلن

جدول ۲. دانه بندی مصالح سنگی میکروسرفیسینگ

اندازه الک	دانه بندی انتخابی نوع II	محدوده نوع II دستورالعمل ISSA A143
۴/۷۵ میلی متر (شماره ۴)	۱۰۰	۱۰۰-۹۰
۲/۳۶ میلی متر (شماره ۸)	۷۲	۹۰-۶۵
۱/۱۸ میلی متر (شماره ۱۶)	۴۶	۷۰-۴۵
۶۰۰ میکرون (شماره ۳۰)	۳۰	۵۰-۳۰
۳۰۰ میکرون (شماره ۵۰)	۲۱	۳۰-۱۸
۱۵۰ میکرون (شماره ۱۰۰)	۱۶	۲۱-۱۰
۷۵ میکرون (شماره ۲۰۰)	۱۰	۱۵-۵

جدول ۳. خصوصیات مصالح سنگی

آزمایشها	استاندارد	درشت دانه	ریزدانه	مشخصات مطابق ISSA A143
وزن مخصوص حقیقی (gr/cm^3)	ASTM C127	۲/۶۳	۲/۶۴	-
وزن مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	ASTM C128	۲/۷۱	۲/۷۳	-
درصد جذب آب	ASTM C127	۱/۱۱	۱/۳۷	-
ارزش ماسه‌ای مصالح ریزدانه و خاکها	ASTM D2419	-	٪۶۷	حداقل ٪۶۵
سلامت مصالح با سولفات سدیم	ASTM C88	-	٪۲	حداکثر ٪۱۵
مقاومت سایشی در ماشین لس آنجلس	ASTM C131	٪۲۶	-	حداکثر ٪۳۰

۳-۱-۲ الیاف پلی پروپیلن

الیاف پلی پروپیلن استفاده شده در این تحقیق با طول ۱۲ میلی متر محصول شرکت دنیای بتن پارسین بوده است. نقطه ذوب این الیاف ۱۶۲ درجه سانتی گراد است. مشخصات فیزیکی الیاف استفاده شده در جدول ۴ آمده است. درصدهای مختلف انتخابی برای الیاف پلی پروپیلن ۰/۰۵، ۰/۱۰، ۰/۱۵ و ۰/۲۰ درصد بر اساس وزن کل مصالح سنگی است. شکل ظاهری الیاف در شکل ۱ ارائه شده است.

جدول ۴. مشخصات فیزیکی و شیمیایی الیاف پلی پروپیلن

مقدار	مشخصات فیزیکی و شیمیایی
۰/۳۹۱	وزن مخصوص، gr/cm^3
۱۲	طول برش الیاف، mm
۱۶۲	نقطه ذوب، °C
۵۹۳	نقطه اشتعال، °C
سفید	رنگ

۴-۱-۲ فیلر فعال معدنی (سیمان)

استفاده از سیمان به میزان مناسب، به‌عنوان کنترل‌کننده‌ای برای زمان شکست قیر امولسیون است. در این پژوهش از سیمان پرتلند نوع II تهیه شده از کارخانه فیروزکوه، به‌عنوان فیلر معدنی فعال برای تسریع زمان گیرش و عمل‌آوری و بالا بردن چسبندگی بین مصالح سنگی به میزان وزنی ۱٪ بر اساس وزن کل سنگدانه در میکروسرفیسینگ استفاده شد.



شکل ۱. شکل ظاهری الیاف پلی‌پروپیلن

جدول ۵. مجاز آزمایش‌های میکروسرفیسینگ (ISSA, 2010)

شماره استاندارد	مقدار مجاز	آزمایش
TB 113	حداقل ۱۲۰ ثانیه	زمان اختلاط
TB 139	حداقل ۱۲ کیلوگرم - سانتی‌متر	چسبندگی مرطوب در ۳۰ دقیقه
	حداقل ۲۰ کیلوگرم - سانتی‌متر	چسبندگی مرطوب در ۶۰ دقیقه
TB 109	حداکثر ۵۳۸ گرم بر مترمربع	تعیین حداکثر قیر به‌وسیله چرخ بارگذاری شده و چسبندگی ماسه
TB 100	حداکثر ۵۳۸ گرم بر مترمربع	افت سایش در شرایط مرطوب ۱ ساعت
TB 147	حداکثر ۱۰ درصد	تغییر مکان عمودی (چرخ بارگذاری شده)
	حداکثر ۵ درصد	تغییر مکان افقی (چرخ بارگذاری شده)

استفاده گردید... طراحی میکروسرفیسینگ و آزمایش‌های مرتبط با آن به ترتیب در دستورالعمل و آیین‌نامه ISSA A143 و ASTM D6372 ارائه شده است. مقادیر مجاز هر یک از آزمایش‌ها و درجه‌بندی هر یک از مخلوط‌های آسفالتی به ترتیب در جدول‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. در طراحی مخلوط‌های میکرو سرفیسینگ پس از انتخاب مصالح سنگی و قیر امولسیونی مناسب سازگار با سنگدانه، آزمایش‌ها بر روی مصالح بر اساس استاندارد ASTM D6372 انجام گرفته و سپس بر اساس محدودیت‌های مشخص شده، ویژگی‌های موارد بررسی می‌شود. پس از برآورده شدن الزامات مصالح، طرح اختلاط و ارزیابی عملکرد مخلوط‌ها با آزمایش‌های زمان اختلاط، چسبندگی مربوط، سایش در شرایط مرطوب، تعیین حداکثر قیر به‌وسیله چرخ بارگذاری شده - چسبندگی ماسه و ارزیابی میزان جابه‌جایی عمودی و جانبی با چرخ بارگذاری

۵-۱-۲ آب

منظور از آب، آبی است که در هنگام هم زدن مخلوط اضافه شده و علاوه بر آبی است که در قیر امولسیونی وجود دارد. آب اضافه شده هیدراسیون سیمان را تسریع کرده و باعث پوشش بهتر مصالح و بهبود کار آبی مخلوط می‌شود (Johannes, 2014; Keymanesh, Ziari, Zalnezhad, & Zalnezhad, 2021). آب مورد استفاده در این پژوهش، آب شرب با درجه ۱ سیدی/قلیایی ۷ بوده که در تمامی مخلوط‌های میکروسرفیسینگ استفاده شد.

۲-۲ طرح اختلاط و آزمایش‌ها

۱-۲-۲ طرح اختلاط

در این مطالعه الیاف پلی‌پروپیلن در درصدهای ۰، ۰/۰۵، ۰/۱۰، ۰/۱۵ و ۰/۲۰ بر اساس وزن کل سنگدانه، هر کدام در سه سطح مختلف از قیر امولسیون، در مخلوط‌های میکروسرفیسینگ

ارزیابی آزمایشگاهی عملکرد آسفالت حفاظتی میکروسرفیسینگ حاوی الیاف پلی پروپیلن

شده انجام می‌شود (Keymanesh et al., 2021; Zalnezhad & Hesami, 2020).

مقدار بهینه قیر امولسیون تو سط نتایج آزمایش سایش در شرایط مرطوب و

آزمایش تعیین حداکثر قیر با چرخ بارگذاری شده-چسبندگی

ماسه مشخص می‌شود. با توجه به محدودیت‌های مشخص شده

برای حداقل و حداکثر قیر، اگر اختلاف بین حداقل و حداکثر

قیر بیشتر از ۳ درصد باشد، مقدار بهینه قیر امولسیون در وسط

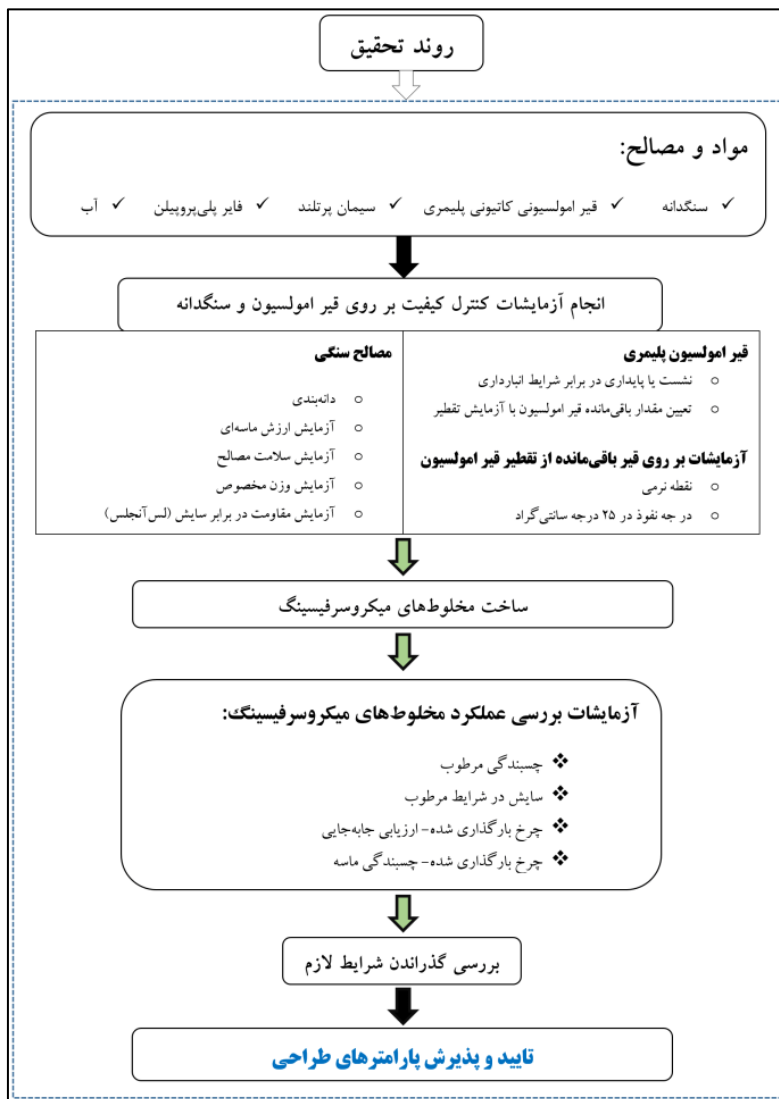
دامنه ۳ در صدی از بیشترین مقدار محدودیت است. همچنین،

اگر مقدار حداقل و حداکثر قیر کمتر از ۳ درصد باشد، مقدار

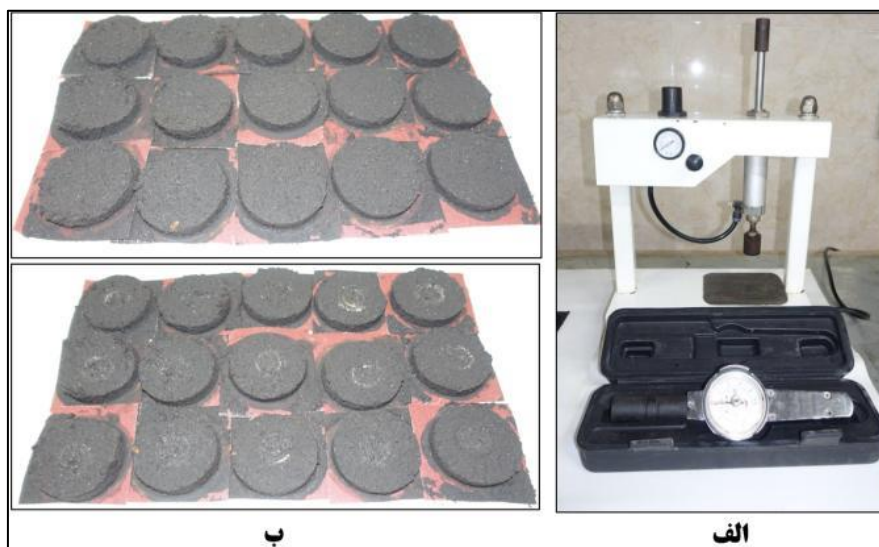
بهینه قیر امولسیون با توجه به محدودیت حداقل و حداکثر قیر،

وسط دامنه مذکور انتخاب می‌گردد (Keymanesh et al., 2021; Zalnezhad & Hesami, 2020).

نوع مخلوط	الیاف اضافه شده به مخلوط بر اساس وزن کل سنگدانه، %
A	۰
B	۰/۰۵
C	۰/۱۰
D	۰/۱۵
E	۰/۲۰



شکل ۲. روند پژوهش در این مطالعه



شکل ۳. الف- نمایی از دستگاه آزمایش چسبندگی ب- نمونه‌ها قبل و بعد از آزمایش چسبندگی

۲-۲-۲ آزمایش‌ها

آزمایش‌های طرح اختلاط و ارزیابی عملکرد مخلوط‌های میکروسرفیسینگ در این پژوهش زمان اختلاط، چسبندگی مرطوب، سایش در شرایط مرطوب، چرخ بارگذاری شده- چسبندگی ماسه و چرخ بارگذاری شده- جابه‌جایی بوده که هرکدام از آن‌ها در ادامه شرح داده شده است.

آزمایش زمان اختلاط در طراحی مخلوط شامل اختلاط قیر امولسیون کاتیونی اصلاح شده با پلیمر، مصالح سنگی، فیلر فعال (معمولاً سیمان) و آب است. در آسفالت حفاظتی میکروسرفیسینگ ضروری است تا از شکست زودهنگام قیر امولسیونی جلوگیری شود. این آزمون با حدود مواد تشکیل دهنده میکروسرفیسینگ ارائه شده در جدول ۷، انجام می‌شود. خلاصه روند آزمایش به این صورت است که ابتدا سنگدانه را تا رسیدن به رطوبت زیر ۱ درصد خشک کرده و سپس درصدی از فیلر فعال، آب و قیر امولسیون به آن اضافه می‌شود. در این آزمایش مدت‌زمان شکستن مخلوط در اثر اختلاط به‌عنوان زمان اختلاط معرفی شده که بایستی حداقل ۱۲۰ ثانیه باشد (ISSA, 2017e).

جهت تعیین چسبندگی اولیه، عمل‌آوری و همچنین تعیین حداقل زمان مناسب برای بازگشایی ترافیک عبوری از روی آسفالت

حفاظتی میکروسرفیسینگ از آزمایش چسبندگی مرطوب، استفاده می‌شود (ISSA, 2017d). در این رابطه بر اساس نتایج بدست آمده پس از ۳۰ و ۶۰ دقیقه عمل‌آوری در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، مخلوط مناسب جهت بازگشایی ترافیک انتخاب می‌شود. حداقل مقادیر چسبندگی به‌منظور ارزیابی خاصیت شکنندگی قیر امولسیون در مدت‌زمان ۳۰ دقیقه و بازگشایی ترافیک در مدت‌زمان ۶۰ دقیقه به ترتیب ۱۲ کیلوگرم- سانتی‌متر و ۲۰ کیلوگرم- سانتی‌متر است (ISSA, 2017d). نمایی از دستگاه ارزیابی چسبندگی و نمونه‌ها قبل و بعد از آزمایش در شکل ۳ ارائه شده است.

جدول ۷. حدود پیشنهادی اجزای تشکیل دهنده مخلوط

مواد تشکیل دهنده	حدود پیشنهادی
قیر باقی‌مانده	۵/۵ تا ۱۰/۵ درصد نسبت به وزن خشک مصالح سنگی
فیلر معدنی	۰ تا ۳ درصد نسبت به وزن خشک مصالح سنگی
آب	به میزان لازم برای ایجاد غلظت مناسب در مخلوط



شکل ۴. نمایی از دستگاه آزمایش WTAT و نمونه‌های آن

و سپس مخلوط وزن شده و وزن اندازه‌گیری شده ثبت می‌گردد. سپس، بر اساس راهنمای ISSA A143، مقدار مناسبی از ماسه اتاوا در دمای ۸۲ درجه سانتی‌گراد در آن قرار گرفته و سپس به صورت یکنواخت بر روی نمونه در محل شیار ایجاد شده، پخش می‌شود. در این حالت بارگذاری به مدت ۱۰۰ سیکل مشابه حالت قبل جهت تراکم نمونه انجام می‌گردد. در ادامه نمونه از جای موردنظر خارج شده و نمونه دوباره وزن می‌شود. اختلاف بین وزن اندازه‌گیری شده وزن اولیه پس از ۱۰۰۰ سیکل تراکم به عنوان مقدار ماسه‌ای که چسبیده است، گزارش می‌گردد. بدین ترتیب حداکثر مقدار مجاز قیر در هر یک از مخلوط‌ها تعیین می‌شود (ISSA, 2017a). نمایی از دستگاه چرخ بارگذاری و نمونه‌های آن در شکل ۵ نشان داده شده است.

آزمایش چرخ بارگذاری شده - جا به جایی، ویژگی‌های تغییر شکل مخلوط را تحت بار ترافیک شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد. در این پژوهش مخلوط با استفاده از ۱۰۰۰ سیکل بارگذاری چرخ ۵۶۷ کیلوگرم متراکم شده و سپس عرض و ضخامت نمونه، قبل و بعد از تراکم با ۱۰۰۰ سیکل بارگذاری، در مسیر چرخ و در وسط طول نمونه اندازه‌گیری می‌گردد.

در آزمایش سایش در شرایط مرطوب حداقل مقدار قیر امولسیون مورد نیاز جهت جلوگیری از بروز خرابی شن‌زدگی اندازه‌گیری می‌شود. سپس مقدار از دست رفتن سنگدانه نمونه‌ها، بعد از سایش مشخص می‌شود. در روند این آزمایش یک نمونه از مخلوط میکروسرفیسینگ، عمل‌آوری شده در آن در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت حداقل ۱۵ ساعت، وزن شده و سپس در مدت زمان ۱ ساعت در آب ۲۵ درجه سانتی‌گراد غوطه‌ور می‌شود. سپس با یک نوار لاستیکی در شرایط غوطه‌وری در آب به روش چرخشی به مدت ۵ دقیقه تحت عمل سایش قرار می‌گیرد. در نهایت نمونه سایش یافته در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس وزن شده تا مقدار هدر روی سنگدانه‌ها مشخص گردد (ISSA, 2017c).

دستگاه آزمایش سایش در شرایط مرطوب و نمونه‌های آن در شکل ۴ ارائه شده است. دستورالعمل ISSA A143، حداکثر افت وزنی ناشی از سایش را در ۱ ساعت به ۵۳۸ گرم بر مترمربع محدود می‌کند.

در آزمایش چرخ بارگذاری شده-چسبندگی ماسه، حداکثر قیر جهت جلوگیری از خرابی قیرزدگی در مخلوط‌های میکروسرفیسینگ، تعیین می‌شود. در این آزمایش مخلوط‌ها با چرخ بارگذاری ۵۶۷ کیلوگرمی طی ۱۰۰۰ سیکل متراکم شده

تغییر مکان عمودی و افقی نمونه‌ها نبایستی به ترتیب از ۱۰ و

۵ درصد تجاوز نماید (ISSA, 2017b).



شکل ۵. آزمایش چرخ بارگذاری-چسبندگی ماسه و نمونه‌های آن

جدول ۸. آزمایش زمان اختلاط برای مخلوط‌های میکروسرفیسینگ

E		D		C		B		A		نوع مخلوط
۹	۸/۵	۸	۹	۸/۵	۸	۹	۸/۵	۸	۹	درصد قیر باقی‌مانده
۱۱	۱۲	۱۲	۱۰	۱۱	۱۲	۱۰	۱۰	۱۱	۹	درصد آب
۱۲۴	۱۲۵	۱۲۳	۱۲۳	۱۲۴	۱۲۵	۱۲۶	۱۲۷	۱۲۶	۱۲۵	زمان اختلاط بدست آمده

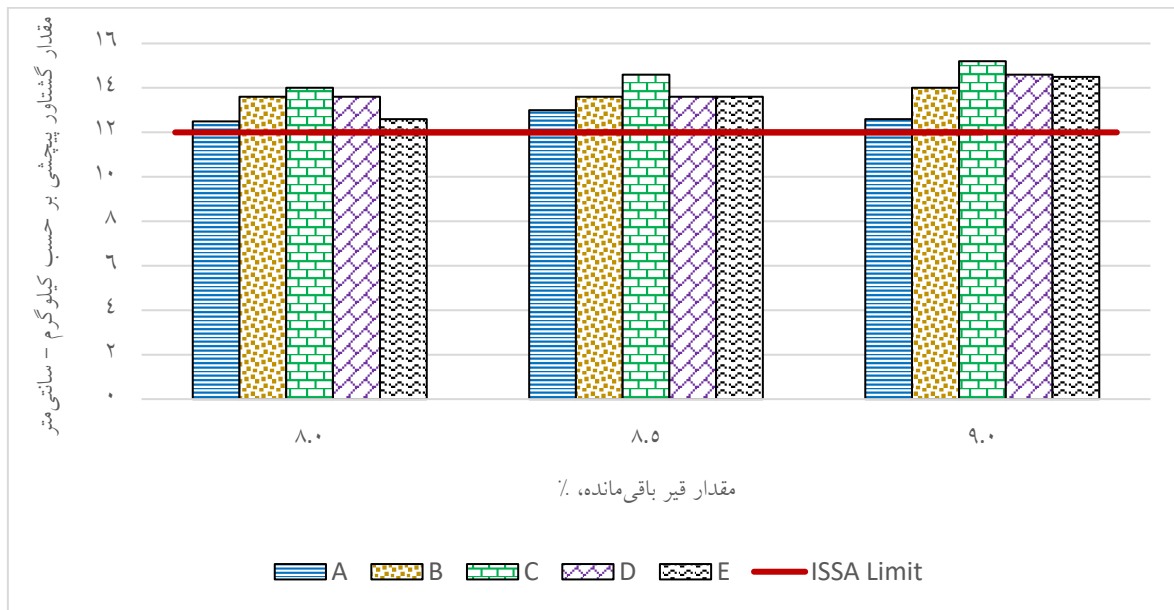
افزایش درصد الیاف به دلیل جذب آب بیشتر توسط آن، میزان آب برای رساندن زمان اختلاط به محدوده دستورالعمل ISSA 143 افزایش یافت. به عبارت دیگر با افزودن الیاف کارایی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. این موضوع با تحقیق دیگر پژوهشگران نیز مطابقت دارد (Alsadey, 2016; Bentegri, Boukendakdji, Kadri, Ngo, & Soualhi, 2020).

۳. نتایج و بحث

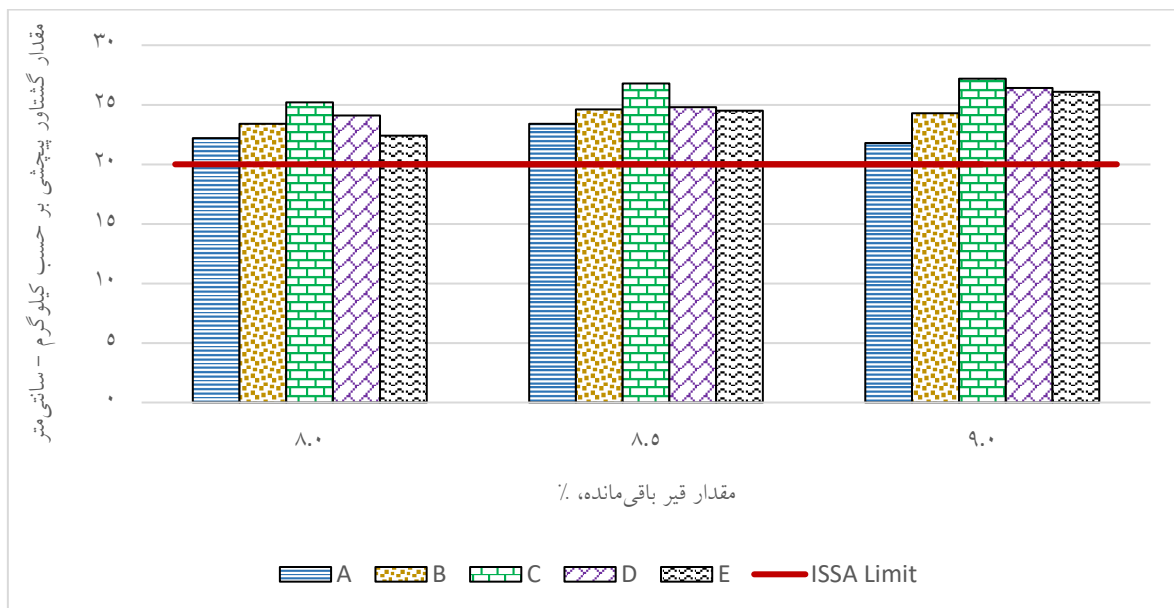
۳-۱ آزمایش زمان اختلاط

در جدول ۸ مقادیر مناسب آب، سیمان و مقادیر اولیه قیر امولسیون در سه سطح مشخص گردیده است. در این آزمایش برای هر یک از مخلوط‌ها حاوی درصد‌های مختلف از قیر امولسیون، حداقل زمان اختلاط ۱۲۰ ثانیه مورد بررسی واقع شده است. همان‌طور که در جدول مشخص شده است، با

ارزیابی آزمایشگاهی عملکرد آسفالت حفاظتی میکروسرفیسینگ حاوی الیاف پلی پروپیلن



شکل ۶. نتایج آزمایش چسبندگی در ۳۰ دقیقه برای هریک از مخلوط‌های میکروسرفیسینگ



شکل ۷. نتایج آزمایش چسبندگی در ۶۰ دقیقه برای هریک از مخلوط‌های میکروسرفیسینگ

(متناظر با چسبندگی) نسبت به سایر مخلوط‌ها است. به‌طور کلی نمونه‌های حاوی الیاف، بیشترین مقدار چسبندگی را در درصد قیر ۸/۵ و ۹ کسب کرده‌اند. به‌عنوان نمونه در قیر باقی مانده ۹ درصد، مخلوط‌های A, B, C, D و E نسبت به نمونه شاهد A به ترتیب موجب افزایش چسبندگی به قیر در مدت‌زمان ۳۰ دقیقه به میزان ۷/۹، ۲۰/۶، ۱۵/۹ و ۱۵/۱ درصد و در مدت‌زمان ۱ ساعت به میزان ۱۱/۵، ۲۴/۸، ۲۱/۱ و ۱۹/۷

۲-۳ آزمایش چسبندگی مرطوب

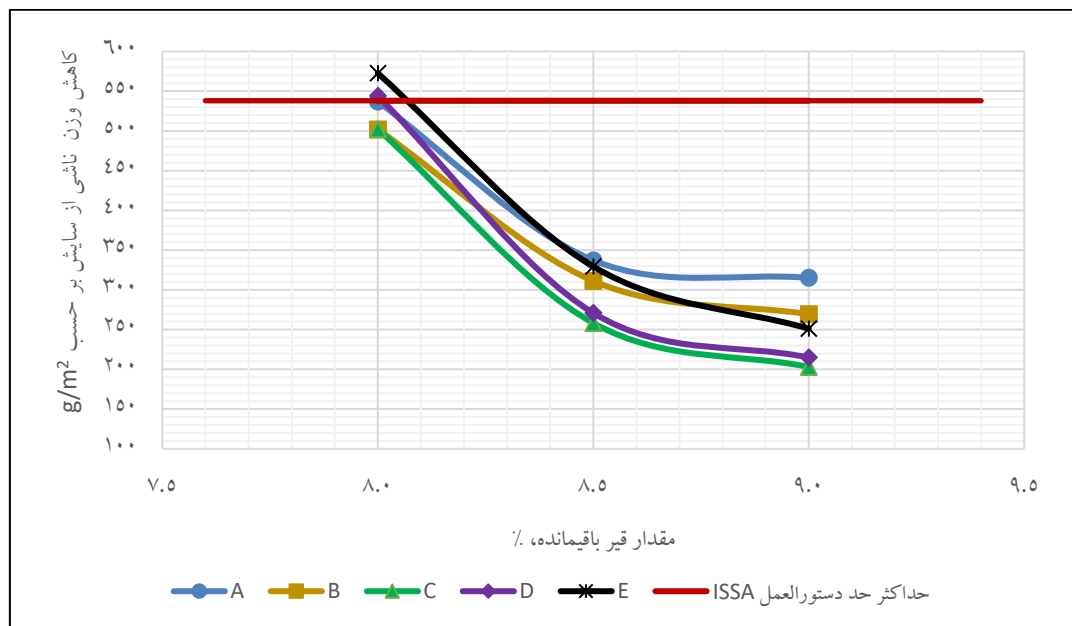
نتایج آزمایش چسبندگی مرطوب در زمان‌های ۳۰ و ۶۰ دقیقه مخلوط‌های میکروسرفیسینگ در گراف‌های ۶ و ۷ ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصله، تمامی مخلوط‌ها گیرش و مقاومت لازم برای بازگشایی ترافیک به ترتیب در مدت‌زمان ۳۰ دقیقه و ۱ ساعت را کسب کرده و مخلوط C در مقدار قیر باقی مانده ۸ تا ۹ درصد، دارای بیشترین مقدار گشتاور پیچشی

شاهد به ترتیب به مقدار ۱۴/۵، ۳۵/۶، ۳۱/۸ و ۲۰/۳ درصد عملکرد سایش را بهبود داده‌اند. همچنین از میان نمونه‌ها، کمترین مقدار افت وزنی متعلق به نمونه C در ۹ درصد قیر باقی‌مانده با عدد ۲۰۳ گرم بر سانتیمتر مربع است. دیگر نتایجی از نمودار دریافت می‌شود آن است که از آنجایی که کاهش افت وزنی نشان‌دهنده عملکرد بهتر است، با افزایش قیر از ۸ تا ۹ درصد نرخ کاهش افت وزنی در مخلوط‌های C، D و E بیشتر از مخلوط‌های A و B بوده است. به عبارتی می‌توان نتیجه گرفت افزایش قیر در افزایش نرخ سایش مخلوط‌های حاوی ۰ و ۰/۱ درصد الیاف (مخلوط‌های A و B) تأثیر چندانی ندارد. در قیر ۸ در صد با افزایش الیاف تا ۰/۱ در صد، سایش کاهش پیدا می‌کند ولی پس‌از آن با افزایش مقدار الیاف تا ۰/۲ درصد، سایش افزایش پیدا می‌کند. این در حالی است که با افزایش قیر به ۹ در صد، با افزایش الیاف تا ۰/۲ در صد، عملکرد مخلوط‌ها در برابر سایش بهبود پیدا می‌کند یا به عبارت دیگر سایش روند کاهش پیدا می‌کند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در صورت جایگزینی الیاف تا ۰/۱ و ۰/۱۵ درصد، باید قیر متناسب با آن به‌منظور به حداقل رساندن پدیده‌های شستگی تعیین و تأمین شود. این موضوع به‌خوبی در گراف مشاهده می‌شود. به‌طور خلاصه مطابق گراف نشان داده شده، نمونه‌های حاوی الیاف عملکرد بهتری نسبت به نمونه شاهد در در صد‌های بالای قیر داشته‌اند. دلیل این امر به آن است که الیاف پلی‌پروپیلن باعث ایجاد مقاومت کششی، اتصال بهتر سنگدانه‌ها به یکدیگر و استحکام بالا در مخلوط می‌شوند (WU, Gang, MO, Zheng, & YE, 2006; Xu & Wang, 2011). با این وجود بعد از اینکه مقدار الیاف به مقدار معین و بهینه‌ای رسید، بیش از مقدار بهینه، قادر به پراکندگی یکنواخت در مخلوط نبوده و باعث افت عملکرد نسبت به نمونه مقدار بهینه الیاف می‌شوند.

درصد شده است. در مدت‌زمان ۱ ساعت در مخلوط A و B با افزایش مقدار قیر باقی‌مانده از ۸ به ۸/۵ درصد، مقدار چسبندگی افزایش یافته و سپس با افزایش قیر به ۹ درصد، مقدار چسبندگی کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان این‌طور استنباط کرد با افزایش درصد قیر تا مقدار معینی، چسبندگی در نمونه‌های A و B افزایش یافته و سپس با افزایش بیشتر مقدار قیر امولسیون و به‌تبع آن افزایش زمان عمل‌آوری، مقدار چسبندگی کاهش خواهد یافت. این در حالی است که در نمونه‌های حاوی الیاف، با افزایش میزان الیاف و مقدار قیر، مقدار چسبندگی مخلوط‌ها افزایش یافته است. همان‌طور که در آزمایش زمان اختلاط نیز مشاهده شد، الیاف باعث تسریع در شکست قیر امولسیون و در نتیجه سبب بهبود چسبندگی می‌شود. از دیگر سو گنجاندن الیاف در مخلوط‌های آسفالتی باعث استحکام آن‌ها می‌شود زیرا آن‌ها به عنوان تقویت‌کننده عمل کرده و به دلیل افزایش قفل شدن سنگدانه‌ها به یکدیگر سبب افزایش چسبندگی، شکل‌پذیری و مقاومت کششی مخلوط‌های آسفالتی می‌شوند. اتصال بین سنگدانه‌ها و الیاف، مواد را قادر می‌سازد تا قبل از وقوع ترک‌خوردگی، انرژی کرنش اضافی را تحمل کنند. بنابراین، برای افزایش عمر مفید جاده‌های ایمن اهمیت زیادی دارد. این موضوع، با تحقیق دیگر پژوهشگران نیز مطابقت دارد (Slebi-Acevedo, Lastra-González, Pascual-Muñoz, & Castro-Fresno, 2019; Stempihar, Souliman, & Kaloush, 2012).

۳-۳ آزمایش سایش در شرایط مرطوب

نتایج این آزمایش در مدت‌زمان ۱ ساعت غوطه‌وری همه مخلوط‌های میکروسرفیسینگ در نمودار ۸ نشان داده شده است. با توجه به نمودار مقابل، افزایش درصد قیر در همه نمونه‌ها سبب بهبود عملکرد در برابر سایش می‌گردد. این نمودار نشان می‌دهد که مخلوط‌های حاوی الیاف شامل ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۱۵ و ۰/۲ در صد در ۹ در صد قیر باقی‌مانده نسبت به نمونه



شکل ۸. نتایج آزمایش سایش در شرایط مرطوب در ۱ ساعت برای هریک از مخلوط‌های میکروسرفیسینگ

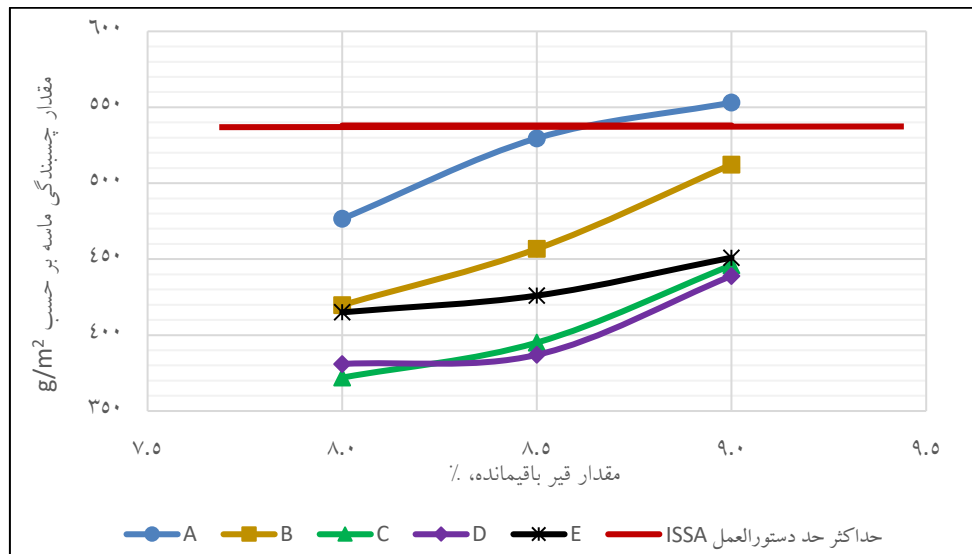
۳-۴ آزمایش تعیین حداکثر قیر به وسیله چرخ

بارگذاری شده و چسبندگی ماسه

نتایج این آزمایش برای مخلوط‌های آسفالتی در ادامه به شرح گراف ۹ است. مطابق این نمودار، افزایش درصد قیر و الیاف به ترتیب باعث افزایش و کاهش مقدار قیر زدگی می‌شود به طوری که همه نمونه‌ها در قیر ۸ و ۹ درصد به ترتیب دارای کمترین و بیشترین مقدار قیر زدگی هستند. این نمودار نشان می‌دهد که مقادیر قیر زدگی نمونه‌های C و D فاصله چندانی با یکدیگر ندارند و مقدار قیر زدگی بطور چشمگیری در همه درصد‌های قیر باقیمانده نسبت به نمونه شاهد کاهش می‌یابد. در نهایت از میان نمونه‌های حاوی الیاف، نمونه‌های D و C (به ترتیب با مقدار ۰/۱ و ۰/۱۵ درصد الیاف) با مقدار چسبندگی ماسه نزدیک به هم دارای بهترین عملکرد در مقابل قیر زدگی هستند. به طور مثال در قیر ۸/۵ درصد، نمونه‌های B، C، D و E عملکرد قیر زدگی نمونه شاهد را به ترتیب ۱۳/۸، ۲۵/۴، ۲۶/۹ و ۱۹/۶ درصد بهبود داده‌اند. لذا، استفاده از الیاف باعث بهبود

چشمگیر عملکرد مخلوط‌های آسفالت سرد می‌گردد. البته بایستی در صد قیر مناسب برای مخلوط‌های حاوی الیاف برای به حداقل رساندن مقدار قیر زدگی تعیین گردد. نکته دیگری که حائز اهمیت است در مخلوط‌های A و B با افزایش درصد قیر نرخ افزایش چسبندگی افزایش پیدا کرده ولی در مخلوط‌های C، D و E، نرخ افزایش قیر زدگی از ۸ به ۸/۵ نسبت به ۸/۵ به ۹ درصد با شیب کمتری رشد کرده است.

یکی از عوامل مهم در قیر زدگی، کمبود در صد فضای خالی در مخلوط آسفالتی است و توجه و افزایش فضای خالی برای روسازی‌های طراحی شده برای خدمت در مناطق گرم که قیر زدگی یکی از مشکلات اصلی است می‌تواند باعث حل شدن این معضل شود (Ebrahimi, 2010). افزودن الیاف باعث افزایش درصد فضای خالی می‌شود (Chen, Xu, 2009). در نتیجه این امر باعث افزایش مقاومت در برابر قیر زدگی می‌شود. این موضوع، با تحقیق دیگر پژوهشگران نیز مطابقت دارد (Han, Guo, & Liu, 2012).



شکل ۹. حداکثر قیر در مخلوط‌های میکروسرفیسینگ به وسیله آزمایش چرخ بارگذاری و چسبندگی ماسه

۳-۵ تعیین مقدار بهینه قیر امولسیون مخلوط‌های

میکروسرفیسینگ

محدوده مجاز قیر امولسیون و مقدار بهینه آن از طریق رسم نتایج آزمایش‌های چرخ بارگذاری شده - چسبندگی ماسه و سایش در شرایط مرطوب و تلفیق نمودارهای این دو آزمایش بدست می‌آید. در تلفیق دو نمودار نتایج آزمایش ماسه چسبیده به صورت یک نمودار خطی و نتایج آزمایش سایش مرطوب به صورت نمودارهای توابع توانی نشان داده می‌شوند (Keymanesh et al., 2021). محدوده مجاز قیر امولسیون برای تمامی مخلوط‌ها در جدول ۹ ارائه شده است. در شکل ۱۰ برای هر یک از مخلوط‌های A، B، C، D و E اندیس‌های ۱ و ۲ به ترتیب نشان‌دهنده نتایج و نمودار آزمایش چرخ بارگذاری - چسبندگی ماسه و آزمایش سایش در شرایط مرطوب است.

همان‌طور که از نتایج بدست آمده است درصد بهینه قیر امولسیون مخلوط‌های آسفالتی حاوی الیاف پلی‌پروپیلن نسبت به مخلوط شاهد افزایش داشته است. به طوری که مقدار بهینه قیر امولسیون مخلوط‌های A، B، C، D و E به ترتیب به مقدار ۰/۴، ۱/۶، ۲ و ۲ درصد نسبت به مخلوط A (مخلوط شاهد) بیشتر بوده است.

این امر در اثر جذب الیاف به قیر بوجود می‌آید. تحقیقات نشان می‌دهد که درصد قیر بهینه آسفالت با افزایش درصد الیاف بکارگرفته شده در مخلوط افزایش می‌یابد. پس از اضافه کردن الیاف، بخشی از قیر آسفالت توسط الیاف جذب می‌شود، به این معنی که مخلوط آسفالت برای تأمین این بخش از قیر دست رفته، به قیر بیشتری نیاز دارد تا بهترین عملکرد را داشته باشد (Mrema, Noh,) (Guo, Li, Lu, Bi, & He, 2020)

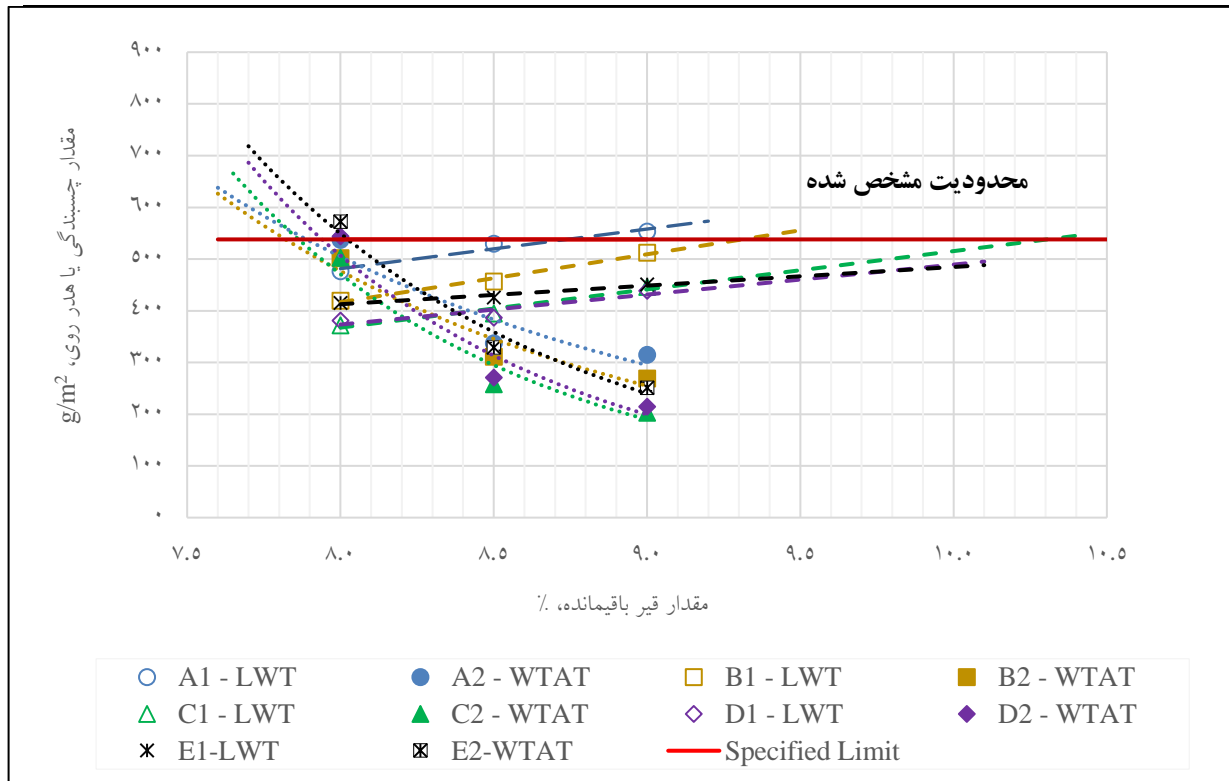
(Kwon, & Lee, 2020)

جدول ۹. محدوده مجاز قیر امولسیون و درصد بهینه آن

نوع مخلوط	حداقل مقدار قیر امولسیون بدست آمده از آزمایش سایش	حداکثر مقدار قیر امولسیون بدست آمده از چسبندگی ماسه	دامنه قابل قبول قیر امولسیون	مقدار بهینه قیر امولسیون
A	٪۱۲/۷	٪۱۴/۱	٪۱۲/۷ - ٪۱۴/۱	٪۱۳/۴
B	٪۱۲/۷	٪۱۵/۰	٪۱۲/۷ - ٪۱۵/۰	٪۱۳/۸
C	٪۱۲/۷	٪۱۶/۵	٪۱۳/۵ - ٪۱۶/۵	٪۱۵/۰

ارزیابی آزمایشگاهی عملکرد آسفالت حفاظتی میکروسرفیسینگ حاوی الیاف پلی پروپیلن

نوع مخلوط	حداقل مقدار قیر امولسیون بدست آمده از آزمایش سایش	حداکثر مقدار قیر امولسیون بدست آمده از چسبندگی ماسه	دامنه قابل قبول قیر امولسیون	مقدار بهینه قیر امولسیون
D	٪۱۲/۸	٪۱۶/۹	٪۱۳/۹ - ٪۱۶/۹	٪۱۵/۴
E	٪۱۳/۰	٪۱۶/۹	٪۱۳/۹ - ٪۱۶/۹	٪۱۵/۴



شکل ۱۰. ترکیب نتایج آزمایش سایش در شرایط مرطوب و آزمایش چرخ بارگذاری شده - چسبندگی ماسه جهت تعیین قیر بهینه

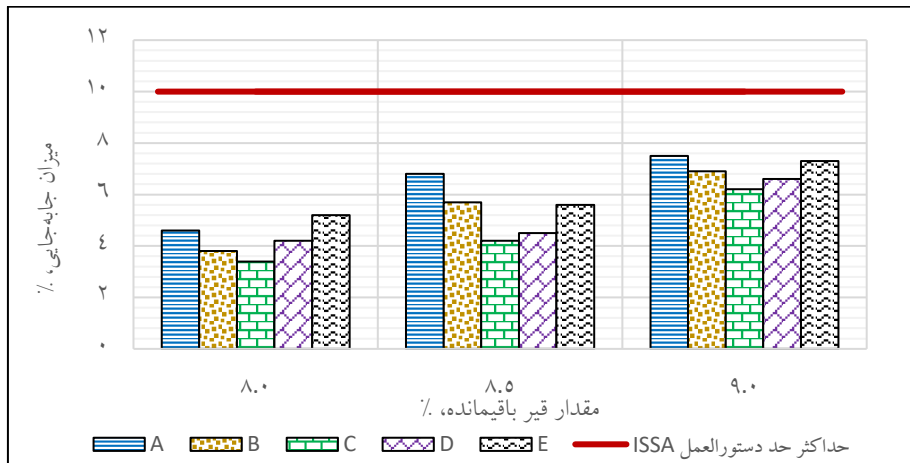
۳-۶ تعیین میزان جابه‌جایی مخلوط با آزمایش چرخ بارگذاری شده

نتایج این آزمایش برای مخلوط‌های میکروسرفیسینگ از دو منظر مقدار قیر امولسیون و مقدار الیاف با توجه به نمودارهای ۱۱ و ۱۲ قابل بررسی است. از منظر قیر امولسیون در مخلوط A و B با افزایش قیر باقی مانده از ۸ به ۸/۵ درصد، مقدار جابه‌جایی‌ها با نرخ بیشتری نسبت به قیر باقی مانده ۸/۵ به ۹ درصد افزایش یافته ولی در مخلوط‌های C، D و E همان‌طور که مشاهده می‌شود ابتدا میزان جابه‌جایی در قیر باقی مانده ۸ به ۸/۵ درصد تقریباً ثابت و سپس از قیر باقی مانده ۸/۵ به ۹ درصد روند میزان جابه‌جایی به صورت افزایشی تغییر می‌کند. این بدان معنا است که در هر یک از مخلوط‌ها تعیین میزان قیر

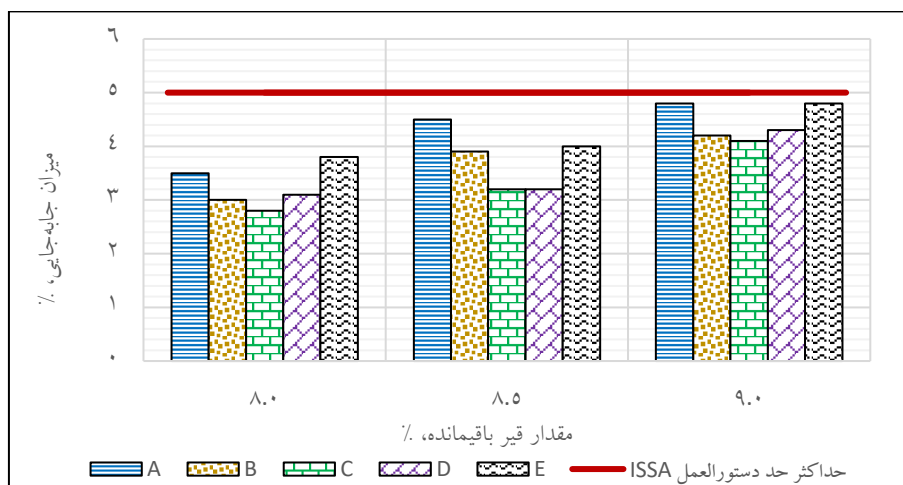
مناسب برای کاهش میزان جابه‌جایی‌ها امری لازم و ضروری است. از منظر مقدار الیاف، با توجه به نتایج حاصله در تمامی مخلوط‌ها، نمونه‌های حاوی الیاف در تمامی مخلوط‌ها، عملکرد بهتری از نمونه شاهد در همه جابه‌جایی‌های افقی و عمودی داشته‌اند. به طوری که با افزایش میزان الیاف از جابه‌جایی عمودی و جانبی کاسته شده و کمترین میزان جابه‌جایی مربوط به نمونه C است. بدین معنا که در مخلوط‌هایی که مستعد شیارشدگی هستند، می‌توان پس از تأمین قیر کافی، احتمال وقوع خرابی شیارشدگی را با افزودن الیاف به میزان ۰/۱ درصد به میزان مؤثری کاهش داد. به‌عنوان نمونه در قیر باقی مانده ۸/۵ درصد، مخلوط‌های B، C، D و E نسبت به نمونه شاهد، موجب بهبود عملکرد جابه‌جایی عمودی به میزان ۱۶/۲، ۳۸/۲

دلیل افزایش مقاومت در برابر جابه‌جایی مخلوط‌های حاوی الیاف آن است که پلی‌پروپیلن با ایجاد چسبندگی مناسب در مخلوط به تحمل بارهای کششی کمک می‌کند و مقداری از تنش وارد شده به مخلوط به الیاف منتقل می‌شود. همان‌طور که ذکر شد استفاده از الیاف در مخلوط آسفالتی، تشکیل یک ساختار شبکه‌ای به هم پیوسته و مرتبط با یکدیگر را می‌دهد که این ساختار مشخصه‌های مقاومتی مخلوط را در برابر شیارشدگی و تغییر شکل بهبود می‌بخشد. همچنین قفل و بست محکم الیاف پلی‌پروپیلن به سنگدانه در ساختار به وجود آمده و با جلوگیری از حرکت آن‌ها می‌توان انتظار داشت که مقاومت مخلوط میکروسرفیسینگ در برابر ترافیک عبوری افزایش یابد.

۳۳/۸ و ۱۷/۶ درصد و بهبود عملکرد جابه‌جایی افقی را به میزان ۱۳/۳، ۲۸/۹، ۲۸/۹ و ۱۱/۱ شده‌اند. لذا این نتایج نشان‌دهنده آن است که بایستی مقدار الیاف با درصد مناسب قیر جهت کاهش جابه‌جایی مخلوط آسفالت سرد تعیین گردد. ذکر این نکته نیز ضروری است که استفاده از مقدار بیش از درصد بهینه‌ی الیاف پلی‌پروپیلن، باعث پخش نشدن مناسب الیاف در مخلوط و تشکیل توده‌های گلوله‌ای الیافی می‌شود که از طرفی ممکن است باعث به‌خوبی پوشیده نشدن سنگدانه‌ها با قیر شده و از سمت دیگر افزایش در صد فضای خالی در مخلوط را به دنبال خواهد داشت. این موضوع باعث کاهش عملکرد مناسب در مقابل تغییر شکل خواهد شد.



شکل ۱۱. میزان جابه‌جایی عمودی مخلوط‌ها در درصد‌های مختلف از قیر



شکل ۱۲. میزان جابه‌جایی افقی مخلوط‌ها در درصد‌های مختلف از قیر

۴. تحلیل آماری

تحلیل واریانس با هدف بررسی تأثیر افزودن الیاف پلی پروپیلن و قیر باقی مانده بر خصوصیات مخلوط‌های میکروسرفیسینگ با استفاده از نرم افزار SPSS22 انجام شده است. به منظور انجام تحلیل ANOVA در ابتدای امر، کنترل نرمال بودن داده‌ها به کمک آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شده و پس از آن تحلیل بر روی داده‌های نرمال انجام شده است. نتایج میزان تأثیرگذاری افزودن الیاف پلی پروپیلن و درصد قیر باقی مانده بر عملکرد مخلوط آسفالتی میکروسرفیسینگ در جدول ۱۰ قابل مشاهده است.

نتایج حاصل از تحلیل واریانس در خصوص تأثیر الیاف پلی پروپیلن بر خصوصیات مخلوط آسفالتی میکروسرفیسینگ حکایت از آن دارد که این الیاف اثر معناداری در سطح معناداری ۰/۰۵ بر تمام آزمایش‌های انجام شده از قبیل سایش در شرایط مرطوب، جابه‌جایی عمودی و جانبی و چرخ بارگذاری-چسبندگی ماسه (پتانسیل قیرزدگی) و چسبندگی مرطوب مخلوط‌های آسفالتی میکروسرفیسینگ دارد. از طرف دیگر با

توجه به نتایج به دست آمده از پارامترهای P-Value و F-Value در تحلیل واریانس، الیاف پلی پروپیلن در آزمایش‌های ارزیابی پتانسیل قیرزدگی و چسبندگی مرطوب در ۳۰ و ۶۰ دقیقه عامل تأثیرگذارتری نسبت به درصد قیر باقی مانده بوده است. همان‌طور که در نتایج این دو آزمایش نیز بیان شد، افزودن الیاف به مخلوط آسفالتی موجب استحکام آن‌ها شده و به‌عنوان تقویت‌کننده عمل کرده و با افزایش قفل‌وبست سنگدانه‌ها به یکدیگر، سبب افزایش چسبندگی مخلوط‌های آسفالتی می‌شود. از طرف دیگر، با افزودن الیاف و به دنبال آن افزایش درصد فضای خالی در مخلوط، پتانسیل قیرزدگی کاهش می‌یابد. نتایج تحلیل واریانس در خصوص تأثیر میزان قیر باقی مانده بر خصوصیات مخلوط آسفالتی میکروسرفیسینگ نیز نشان داده که مقدار درصد قیر باقی مانده تأثیر معناداری بر تمام آزمایش‌های انجام شده روی مخلوط آسفالتی میکروسرفیسینگ داشته و با توجه به مقادیر به دست آمده F-value و P-value، قیر باقی مانده در آزمایش‌های سایش در شرایط مرطوب و تغییرشکل‌های عمودی و جانبی عامل تأثیرگذارتری بوده است.

جدول ۱۰. تحلیل واریانس و بررسی تأثیرگذاری الیاف پلی پروپیلن و قیر باقی مانده بر خصوصیات عملکردی مخلوط

خصوصیات عملکرد	متغیر	جمع مجذورات	میانگین مجذورات	F-Value	P-Value
سایش در شرایط مرطوب	قیر باقی مانده	۲۲۴۳۴/۵۳۳	۱۱۲۱۷۱/۲۶۸	۱۶۳/۶۹	۰/۰۰۰
	الیاف پلی پروپیلن	۱۱۱۱۵/۰۶۷	۲۷۷۸۷۶۷	۴/۰۵۵	۰/۰۴۴
جابه‌جایی عمودی	قیر باقی مانده	۱۷/۸۳۶	۸/۹۱۸	۴۲/۰۳۳	۰/۰۰۰
	الیاف پلی پروپیلن	۵/۶۸۷	۱/۴۲۲	۶/۷۰۱	۰/۰۱۱
جابه‌جایی جانبی	قیر باقی مانده	۳/۶۲۱	۱/۸۱۱	۳۴/۵۹۹	۰/۰۰۰۰
	الیاف پلی پروپیلن	۱/۹۳۷	۰/۴۸۴	۹/۲۵۵	۰/۰۰۴
حداکثر قیر با چرخ بارگذاری - چسبندگی ماسه	قیر باقی مانده	۱۱۴۸۲/۱۳۳	۵۷۴۱/۰۶۷	۳۲/۲۱۱	۰/۰۰۰۱
	الیاف پلی پروپیلن	۲۸۸۷۲/۹۳۳	۷۲۱۸/۲۳۳	۴۰/۴۹۹	۰/۰۰۰
چسبندگی مرطوب در ۶۰ دقیقه	قیر باقی مانده	۸/۰۹۲	۴/۰۴۶	۵/۴۱۲	۰/۰۳۳
	الیاف پلی پروپیلن	۲۴/۸۷۱	۶/۲۱۸	۸/۳۱۶	۰/۰۰۶
چسبندگی مرطوب در ۳۰ دقیقه	قیر باقی مانده	۲/۳۱۶	۱/۱۵۸	۷/۳۶۸	۰/۰۱۵
	الیاف پلی پروپیلن	۵/۸۶۳	۱/۴۶۶	۹/۳۲۶	۰/۰۰۴

۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی به‌کارگیری الیاف پلی‌پروپیلن در طرح اختلاط میکروسرفیسینگ جهت سنجش عملکرد آن پرداخته شد. در این راستا، ابتدا مشخصات اجزای مخلوط موردبررسی قرار گرفته و سپس به‌منظور ارزیابی عملکرد مخلوط، از ۵ ترکیب مختلف حاوی صفر، ۰/۰۵، ۰/۱۰، ۰/۱۵ و ۰/۲۰ درصد الیاف بر اساس وزن کل سنگدانه استفاده گردید. ارزیابی نمونه‌ها آسفالتی به‌واسطه آزمایش‌های چسبندگی مرطوب، چرخ بارگذاری شده و سایش در شرایط مرطوب مطابق با دستورالعمل ASTM D6372 انجام شد. نتایج آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق به‌طور خلاصه در ادامه ارائه شده است:

- در آزمایش چسبندگی مرطوب در زمان‌های ۳۰ و ۶۰ دقیقه، تمامی مخلوط‌ها مقاومت لازم جهت عبور بار ترافیک را کسب کرده و با افزایش میزان الیاف و مقدار قیر، مقدار چسبندگی مخلوط‌ها افزایش یافته است. در میان نمونه‌ها، مخلوط حاوی ۰/۱ درصد الیاف در مقدار قیر باقی‌مانده ۹ درصد دارای مناسب‌ترین عملکرد بوده به طوری که نسبت به نمونه شاهد A موجب افزایش چسبندگی به قیر در مدت‌زمان ۳۰ دقیقه و ۱ ساعت به ترتیب به میزان ۲۰/۶ و ۲۴/۸ درصد شده است.
- در آزمایش سایش در شرایط مرطوب مشخص گردید با افزایش توأم الیاف و قیر امولسیون، مقاومت مخلوط آسفالتی را در برابر خرابی عریان‌شدگی بیشتر می‌شود. از میان نمونه‌ها، کمترین مقدار افت وزنی متعلق به نمونه ۰/۱ درصد الیاف در ۹ درصد قیر باقیمانده با عدد ۲۰۳ گرم بر سانتیمتر مربع است. مخلوط‌های حاوی ۰/۱ درصد الیاف در ۹ درصد قیر باقی‌مانده نسبت به نمونه شاهد موجب بهبود عملکرد سایشی به میزان ۳۵/۶ درصد گردید. در میان مخلوط‌های حاوی الیاف در درصدهای پایین قیر با افزایش الیاف تا ۰/۱ درصد، سایش کاهش پیدا می‌کند ولی پس از آن با افزایش مقدار الیاف تا ۰/۲ درصد، سایش افزایش پیدا می‌کند. به‌طور خلاصه، افزایش الیاف تا مقدار ۰/۱ درصد، سبب افزایش مقاومت

نمونه‌ها در برابر سایش شده ولی با افزایش بیشتر مقدار آن‌ها از ۰/۱ به ۰/۲ درصد جایگزینی، باید مقدار قیر امولسیون نیز متناسباً افزایش یابد.

- در آزمایش تعیین حداکثر قیر به‌وسیله چرخ بارگذاری - چسبندگی ماسه معلوم گردید که افزایش درصد قیر و الیاف به ترتیب باعث افزایش و کاهش مقدار قیر زدگی می‌شود. در میان نمونه بهترین عملکرد را مخلوط‌های با مقدار الیاف ۰/۱ و ۰/۱۵ درصد داشته‌اند. به طوری که در قیر ۸/۵ درصد، نمونه‌های با مقدار الیاف ۰/۱ و ۰/۱۵، عملکرد قیرزدگی را نسبت به نمونه شاهد به ترتیب به میزان ۲۵/۴ و ۲۶/۹ درصد بهبود داده‌اند.

- در تعیین درصد بهینه قیر امولسیون، قیر بهینه مخلوط‌های آسفالتی حاوی الیاف پلی‌پروپیلن نسبت به مخلوط شاهد افزایش داشته است. به طوری که مقدار بهینه قیر امولسیون مخلوط‌های حاوی ۰/۰۵، ۰/۱۰، ۰/۱۵ و ۰/۲۰ الیاف به ترتیب به مقدار ۰/۴، ۰/۶، ۰/۲ و ۲ درصد نسبت به مخلوط شاهد بیشتر بوده است. بنابراین بیشترین درصد قیر امولسیون مرتبط با مخلوط حاوی ۰/۲۰ درصد الیاف پلی‌پروپیلن است.

- با توجه به آزمایش تعیین میزان جابه‌جایی مخلوط با چرخ بارگذاری شده، نمونه‌های حاوی الیاف عملکرد مناسب‌تری نسبت به نمونه شاهد در جابه‌جایی‌های افقی و عمودی داشته‌اند. در قیر باقی‌مانده ۸/۵ درصد، مخلوط‌های مخلوط‌های حاوی ۰/۰۵، ۰/۱۰، ۰/۱۵ و ۰/۲۰ الیاف نسبت به نمونه شاهد، موجب بهبود عملکرد جابه‌جایی عمودی به میزان ۱۶/۲، ۳۸/۲، ۳۳/۸ و ۱۷/۶ درصد و بهبود عملکرد جابه‌جایی افقی را به میزان ۱۳/۳، ۲۸/۹، ۲۸/۹ و ۱۱/۱ شده‌اند. همان‌طور که از نتایج بدست آمد، کمترین میزان جابه‌جایی مربوط به نمونه حاوی ۰/۱۰ الیاف است. بدین معنا که در مخلوط‌هایی که مستعد شیارشدگی هستند، می‌توان پس از تأمین قیر کافی، احتمال وقوع خرابی شیارشدگی را با افزودن الیاف به میزان ۰/۱ درصد به میزان مؤثری کاهش داد.

۶. مراجع

- Ebrahimi, M. G. (2010). The effect of polypropylene modification on Marshall stability and flow. Eastern Mediterranean University (EMU),
- Esfahani, M. A., & Khatayi, A. (2020). Effect of type and quantity of emulsifier in bitumen polymer emulsion on microsurfacing performance. *International Journal of Pavement Engineering*, 1-15. doi:10.1080/10298436.2020.1784416
- Galehouse, L., Moulthrop, J. S., & Hicks, R. G. (2003). Principles of pavement preservation: Definitions, benefits, issues, and barriers. *TR News*(228).
- Gransberg, D. D., Board, T. R., & Program, N. C. H. R. P. S. (2010). NCHRP Synthesis 411: Microsurfacing.
- Guo, F., Li, R., Lu, S., Bi, Y., & He, H. (2020). Evaluation of the effect of fiber type, length, and content on asphalt properties and asphalt mixture performance. *Materials*, 13(7), 1556.
- Han, J. H., Guo, J. J., & Liu, Z. (2012). Experimental investigation on performance of fiber asphalt mixture. Paper presented at the Advanced Materials Research.
- ISSA. (2010). A143–“Recommended Performance Guideline for Micro Surfacing.”.
- ISSA. (2017a). Test Method for Measurement of Excess Asphalt in Bituminous Mixtures by Use of a Loaded Wheel Tester and Sand Adhesion. In *Technical Bulletin: International slurry surfacing association*.
- ISSA. (2017b). Test method for measurement of stability and resistance to compaction, vertical and lateral displacement of multilayered fine aggregate cold mixes. In
- افضلی نینز، ا.، پرندیان، ا.، زابلی، گ. و کیانفر، ک. (۱۳۹۶)، "ارزیابی خواص آسفالت حفاظتی میکروسرفیسینگ حاوی الیاف کورتا سیرجان"، نهمین همایش قیر و آسفالت ایران، تهران.
- گلچین، ب.، و امیری، ح. ا. (۱۳۹۸)، "بررسی اثر افزودنی پلی پروپیلن بر روی مشخصات خرابی رطوبتی مخلوط های آسفالتی" فصلنامه مهندسی حمل و نقل.
- Abedini, M., Hassani, A., Kaymanesh, M. R., Yousefi, A. A., & Abedini, H. (2020). Multiple stress creep and recovery behavior of SBR-modified bitumen emulsions. *Journal of Testing and Evaluation*, 48(4).
- Alsadey, S. (2016). Effect of polypropylene fiber on properties of mortar. *Int. J. Energy Sci. Eng*, 2, 8-12.
- Bentegri, I., Boukendakdji, O., Kadri, E. H., Ngo, T. T., & Soualhi, H. (2020). Rheological and tribological behaviors of polypropylene fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 261, 119962. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119962>
- Broughton, B., Lee, S.-J., & Kim, Y.-J. (2012). 30 years of microsurfacing: A review. *International Scholarly Research Notices*, 2012.
- Chen, H., Xu, Q., Chen, S., & Zhang, Z. (2009). Evaluation and design of fiber-reinforced asphalt mixtures. *Materials & Design*, 30(7), 2595-2603.
- D6372, A. (2015). Standard Practice for Design, Testing, and Construction of Microsurfacing. In *West Conshohocken, PA: American Society of Testing and Materials*.

containing electric arc furnace (EAF) steel slag filler. *Construction and Building Materials*, 269, 121336.

– Keymanesh, M. R., Ziari, H., Zalnezhad, H., & Zalnezhad, M. (2021). Mix design and performance evaluation of microsurfacing containing electric arc furnace (EAF) steel slag filler. *Construction and Building Materials*, 269, 121336. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121336>

– Mrema, A. H., Noh, S.-H., Kwon, O.-S., & Lee, J.-J. (2020). Performance of Glass Wool Fibers in Asphalt Concrete Mixtures. *Materials*, 13(21), 4699.

– Otadi, A., & Tanzadeh, J. (2018). Laboratory investigation of microsurfacing asphalt modified with nanosilica and nanoclay combined with polyethylene fibers. *Journal of Testing and Evaluation*, 46(4), 1321-1332.

– Rashid, M. F., Ahmad, N., & Ahmed, A. (2020). The Effect of using Polypropylene Fiber on Deformation Resistance of Asphalt Concrete. Paper presented at the 2nd Conference on Sustainability in Civil Engineering (CSCE'20). Department of Civil Engineering. Capital University of Science and Technology, Islamabad Pakistan.

– Robati, M., Carter, A., & Perraton, D. (2015). Evaluation of a modification of current microsurfacing mix design procedures. *Canadian journal of civil engineering*, 42(5), 319-328.

– Slebi-Acevedo, C. J., Lastra-González, P., Pascual-Muñoz, P., & Castro-Fresno, D. (2019). Mechanical performance of fibers in hot mix asphalt: A review. *Construction and Building Materials*, 200, 756-769.

Technical Bulletin: International Slurry Surfacing Association.

– ISSA. (2017c). Test Method for Wet Track Abrasion of Slurry Surfacing Systems. In *Technical Bulletin: International Slurry Surfacing Association*.

– ISSA. (2017d). Test method to classify emulsified asphalt/aggregate mixture systems by modified cohesion tester measurement of set and cure characteristics. In *Technical Bulletin: International Slurry Surfacing Association*.

– ISSA. (2017e). Trial mix procedure for slurry seal design. In *Technical Bulletin: International Slurry Surfacing Association*.

– ISSA, A. (2010). 143 Recommended Performance Guidelines for Micro Surfacing. International Slurry Surfacing Association, Annapolis, MD (Revised).

– Javani, M., Kashi, E., & Mohamadi, S. (2019). Effect of polypropylene fibers and recycled glass on AC mixtures mechanical properties. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 12(5), 464-471.

– Jeffery-Wright, H., Choudhary, A., Akhlaghi, H., & Price, P. (2013). Microsurfacing suspended fibre technology: product innovation: laboratory research investigation. Paper presented at the AAPA International Flexible Pavements Conference, 15th, 2013, Brisbane, Queensland, Australia.

– Johannes, P. T. (2014). Development of an improved mixture design framework for slurry seals and micro-surfacing treatments. The University of Wisconsin-Madison,

– Keymanesh, M. R., Ziari, H., Zalnezhad, H., & Zalnezhad, M. (2020). Mix design and performance evaluation of microsurfacing

selected pavement preservation treatments.
Civil Engineering Journal, 6(2), 210-224.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.171>

– Stempihar, J. J., Souliman, M. I., & Kaloush, K. E. (2012). Fiber-Reinforced Asphalt Concrete as Sustainable Paving Material for Airfields. *Transportation research record*, 2266(1), 60-68. doi:10.3141/2266-07

– Takamura, K., Lok, K. P., Wittlinger, R., & Aktiengesellschaft, B. (2001). Microsurfacing for preventive maintenance: eco-efficient strategy. Paper presented at the International Slurry Seal Association Annual Meeting, Maui, Hawaii.

– Wang, S., Mallick, R. B., & Rahbar, N. (2020). Toughening mechanisms in polypropylene fiber-reinforced asphalt mastic at low temperature. *Construction and Building Materials*, 248, 118690. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118690>

– WU, S.-p., Gang, L., MO, L.-t., Zheng, C., & YE, Q.-s. (2006). Effect of fiber types on relevant properties of porous asphalt. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 16, s791-s795.

– Xu, W., & Wang, X. C. (2011). Study on performance for fiber asphalt mixture resistance to water damage. Paper presented at the Advanced Materials Research.

– Zalnezhad, M., & Hesami, E. (2020). Effect of steel slag aggregate and bitumen emulsion types on the performance of microsurfacing mixture. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 7(2), 215-226. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jtte.2018.12.005>

– Zulu, K., Singh, R. P., & Shaba, F. A. (2020). Environmental and economic analysis of

حسن زیاری، محمدجواد مهدی‌زاده، مهدی زال‌نژاد

محمدجواد مهدی‌زاده، درجه کارشناسی رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۹۶ از دانشگاه گرمسار اخذ نموده و در حال حاضر دانشجوی کارشناسی ارشد عمران گرایش راه و ترابری در دانشگاه علم و صنعت می‌باشد. زمینه‌های اصلی موردعلاقه پژوهشی ایشان ارزیابی عملکردی و بهبود خصوصیات انواع مخلوط‌های آسفالت حفاظتی و رتولوژی مواد چسباننده قیری و امولسیون می‌باشد. در حال حاضر ایشان به عنوان کارشناس طراح مسیّر، در شرکت مشاور اتحادراه فعالیت دارد.



حسن زیاری، درجه کارشناسی و کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران را در سال‌های ۱۳۶۵ و ۱۳۶۷ از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. در سال ۱۳۷۹ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران-راه و ترابری از دانشگاه علم و صنعت گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان مدیریت نگهداری روسازی، طراحی روسازی، تکنولوژی قیر و آسفالت بوده و در حال حاضر عضو هیأت علمی با مرتبه استاد در دانشگاه علم و صنعت ایران است.



مهدی زال‌نژاد، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران و کارشناسی ارشد-گرایش راه و ترابری را از دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶ اخذ نموده است. در حال حاضر دانشجوی دکتری عمران گرایش راه و ترابری در دانشگاه علم و صنعت می‌باشد. به طور خاص، زمینه‌های اصلی تحقیقاتی ایشان رتولوژی چسباننده‌های قیری و امولسیون، تحلیل رفتاری آسفالت‌های سرد و حفاظتی (میکروسرفیسینگ، اسلاری سیل و غیره)، تعمیر و نگهداری پیشگیرانه روسازی راه و استفاده انواع مواد در ساختار مخلوط‌های آسفالتی است. در حال حاضر، او به عنوان مدیر فنی در شرکت عمارت گستر پیشگامان نوین فعالیت دارد.

