ارزیابی آزمایشگاهی خصوصیات مکانیکی مخلوط اصلاح شده با مواد کامپوزیت

مقاله پژوهشی

امین فرج اللهی، گروه مهندسی عمران، واحد ملارد، دانشگاه آزاد اسلامی، ملارد، تهران، ایران
امین چوبدار*، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد ملارد، دانشگاه آزاد اسلامی، ملارد، تهران، ایران
فرزین پورحیدری ممقانی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد ملارد، دانشگاه آزاد اسلامی، ملارد، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Amin.Choob@gmail.com

دریافت: ۹۹/۰٦/۱۸- پذیرش: ۱٤۰۰/۰۲/۰۵
صفحه ۱۸۰-۱٦۹

چکیده

به عنوان یک راه جدید برای اصلاح آسفالت یا مخلوط آسفالت، اصلاح کامپوزیت اثرات آشکاری دارد. به منظور بهبود عملکرد آسفالت در یک روش ساده ، سریع و کارآمد، نوع جدیدی از مواد تقویت‌کننده کامپوزیت (در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته‌است. تست خوردگی مارشال، تست شکاف ذوب - انجماد و تست خمش دمای پایین برای ارزیابی عملکرد آسفالت مخلوط با محتویات مختلف CRM[1] انجام شد. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که عملکرد روسازی مخلوط‌های آسفالت اصلاح‌شده بهتر از مخلوط آسفالت اصلاح‌نشده است. هنگامی که درصد CRM افزایش می‌یابد، مقاومت در برابر شیارشدگی در دمای بالا به طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد، مقاومت در برابر ترک‌خوردگی دمای پایین و مقاومت در برابر آسیب رطوبت ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. با در نظر گرفتن عملکرد دیگر روسازی، مانند پایداری دینامیکی [۲](DS)، نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم [۳](TSR)و حداکثر کرنش کششی، مقدار بهینه CRM پیشنهادی ۵,۹ تا ۷,۹ است .

واژه‌های کلیدی: قیر، آسفالت، افزودنی، حساسیت رطوبتی، کرنش کششی

۱-مقدمه

عملکرد روسازی‌های آسفالت به شدت تحت‌تاثیر ویژگی‌های مخلوط آسفالت قرار می‌گیرد. با رشد ترافیک، شرایط سخت دمای بالا و بار محوری سنگین، نیاز بیشتری برای عملکرد بتن آسفالتی وجود داشته‌است .با توجه به این وضعیت، فن‌آوری اصلاح آسفالت یا مخلوط آسفالت مورد مطالعه قرار گرفته و بهبود یافته‌است. رایج‌ترین فن‌آوری اصلاح، اضافه کردن مواد افزودنی مختلف به آسفالت یا مخلوط آسفالت است. در گذشته فقط از یک افزودنی استفاده می‌شد، اما با پیشرفت‌های مختلفی که در زمینه پیاده‌روها به وجود آمده بود. در گذشته فقط از یک افزودنی استفاده می‌شد، اما با پیشرفت‌های مختلفی که در زمینه پیاده‌روها به وجود آمده بود. اصلاح‌کننده‌های کامپوزیت، مانند مخلوط‌های کامپوزیت با فیبر و پلیمر، مخلوط‌های کامپوزیت با آسفالت طبیعی و فیبر، توجه بیشتری را به خود جلب کرده‌اند. از آنجا که اجزای مختلف تعدیل‌کننده‌های کامپوزیت هر کدام بهبود عملکرد خاصی را هدف قرار می‌دهند، عملکرد کلی روسازی تا حد زیادی بهبود یافته‌است. با این حال، بسیاری از مطالعات تاکنون بر روی اصلاح منفرد تمرکز کرده‌اند و تحقیق بر روی تقویت کامپوزیت هنوز در مراحل اولیه خود علی‌رغم افزایش تقاضا برای کاربرد آن در مهندسی بزرگراه است.

۲-پیشینه تحقیق

تا کنون، مواد اصلاحی که در مخلوط آسفالت و آسفالت به کار می‌روند عمدتا از سه نوع هستند: پلیمر مولکولی بالا، فیلتر معدنی و اصلاح‌کننده مایع. علاوه بر این، پلیمر مولکولی بالا نیز می‌تواند به دو بخش تقسیم شود.الاستومر ترموپلاستیک ، لاستیک و رزین. فیلر معدنی شامل دیاتومیت، مواد نانو، کربن سیاه، الیاف و غیره است. بسیاری از محققان و متخصصان در داخل و خارج از کشور تحقیقات گسترده‌ای در مورد همه انواع مواد انجام داده‌اند. نویسندگان در مورد آن افزودنی‌ها صحبت می‌کنند که شامل پودر لاستیک (Nuha et al, 2013;Sungun et al, 2014)، پلی‌اتیلن (Joenga et al, 2011; Moatasim et al, 2011;Yuan-Yuan, 2012)الیاف لیگنین، الیاف بازالت (Qun-Shan et al, 2012; O.S. Abiola et al, 2014) اثر بهبود یافته قابل‌توجهی بر مقاومت شیارشدگی مخلوط آسفالت در دماهای بالا دارند. اما در عملکرد ضد خستگی یا پایداری آب یا ترک‌خوردگی دمای پایین خیلی خوب نیستند. همچنین برخی فیلترهای معدنی عملکرد نسبتا خوبی در هنگام استفاده در مخلوط‌های آسفالت دارند، اما اثر اصلاح محدود است، مانند آسفالت سنگ (Zhao-feng et al, 2010)، الیاف بازالت (Fu et al, 2016)، بیوچار (Sheng et al, 2014). اگرچه افزودنی‌ها متنوع هستند، هیچ‌کس در بهبود عملکرد روسازی از جمله مقاومت شیارشدگی، مقاومت تغییر شکل، عملکرد ضد خستگی، پایداری آب، ترک‌خوردگی دمای پایین، خیلی خوب نیست. از آنجا که مواد اصلاحی مختلف در درجه اول یک عملکرد خاص را اصلاح می‌کنند، برآورده کردن هر جنبه از عملکرد روسازی دشوار است. بنابراین، استفاده ترکیبی از مواد اصلاحی متعدد توجه محققان را به خود جلب کرده‌است (Fu et al, 2016). استفاده از هر دو ویژگی تکل فیبر پلی پروپیلن در دمای اطراف نقطه ذوب آن و مدول بالای فیبر شیشه یک راه ممکن برای اصلاح بتن آسفالتی است، به طوری که محصول تقویت‌شده پایداری بیشتر و جریان کمتری دارد (Sayyed mahdi Abtahi et al, 2013). ترکیب پودر لاستیک و الیاف لیگنین می‌تواند عملکرد کلی جاده مخلوط آسفالت لاستیکی را بهبود بخشد (Hasi et al, 2014). در این مقاله از تکنولوژی افزودن دوگانه (افزودن همزمان عامل ضد شیارشدگی و الیاف لیگنین) برای کاهش شیارشدگی در دماهای بالا و ترک‌خوردگی در دماهای پایین استفاده شده‌است که می‌تواند عملکرد روسازی را بهبود بخشد (Fu et al, 2016). هنگامی که دیاتومیت و پلی آکریلات با هم برای اصلاح مخلوط آسفالت استفاده می‌شوند، عملکرد دمای بالا و مقاومت آسیب رطوبت به طور همزمان افزایش می‌یابد (Qiu et alL, 2015) تحقیقات نشان داده‌است که افزودن نانو تیتانیوم و سیلیس می‌تواند ویژگی‌های رئولوژیکی آسفالت را افزایش دهد و مقاومت در برابر شیارشدگی و خستگی مخلوط آسفالت را بهبود بخشد (shafabakhsh et al, 2015). اثر اصلاحی مواد افزودنی مختلف بر مخلوط‌های آسفالت یا آسفالت متفاوت است. با تحقیق بیش از سال‌ها، یافت می‌شود که الیاف لیگنین اضافه‌شده به مخلوط آسفالت می‌تواند آسفالت را جذب کند و لایه آسفالت متصل به سنگ دانه را ضخیم کند و اتصال بین آسفالت و سنگ دانه را پایدارتر کند. آسفالت طبیعی، که فرآیند تولید آن ساده است، بسیار سازگار با آسفالت نفتی است، و در بهبود عملکرد ضد شیارشدگی و مقاومت در برابر آسیب آب قابل‌توجه است، و به عنوان یک اصلاح‌کننده در ساخت‌وساز جاده طیف گسترده‌ای از مزایای کاربردی دارد. مواد اصلاح‌شده پلی مر مختلف هستند، مانند لاستیک طبیعی، لاستیک استیرن بوتادی ان، استایرن – بوتادیانستیرین، پلی‌اتیلن ، پلی‌وینیل کلرید و غیره. در اصلاح مخلوط آسفالتی و آسفالتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پلیمر، الیاف لیگنین و آسفالت طبیعی ویژگی‌های خاصی دارند. در اصلاح مخلوط آسفالتی به طور جداگانه استفاده شد. با این حال، تبدیل این سه ماده به یک ماده کامپوزیت جدید و ارزیابی اثرات آن بر عملکرد مخلوط آسفالت اصلاح‌شده به ندرت مورد مطالعه قرار گرفته‌است. در این مقاله، ماده تقویت‌کننده کامپوزیت پودر لاستیک‌از پلیمرها، فیبرهای لیگنین و آسفالت طبیعی با یک فرآیند خاص ساخته شده‌است. مجموعه‌ای از تست‌های آزمایشگاهی در مورد این ترکیب آسفالت پودرلاستیک برای نشان دادن اثر، و ویژگی‌های مخلوط آسفالت اصلاح‌شده انجام شده‌است. این مقاله روش طراحی ترکیبی، تست‌های آزمایشگاهی و بحث در مورد نتایج کاربرد آن در آسفالت را فراهم می‌کند.

٣-مواد و آزمایش‌ها

٣-١- مواد

٣-١-١- آسفالت

قیر ٦٠-٧٠ در این تحقیق مورد استفاده شد. مشخصات آسفالت در جدول ١ نشان‌داده شده‌است.

٣-١-٢- سنگدانه‌ها

سنگ دانه‌های ریز و سنگ دانه‌های درشت مورد استفاده در این مطالعه همگی سنگ آهک هستند و ویژگی‌های سنگ دانه‌ها در جدول ٢ (ریز) و جدول ٣ (درشت) نشان‌داده شده‌است. پودر معدنی مورد استفاده در این مطالعه نیز از سنگ آهک ساخته شده‌است و چگالی نسبی ظاهری آن ٢,٧٤، ضریب آب دوستی ٠,٦٠ و شاخص پلاستیسیته ٢,٣ می‌باشد.

جدول ١. مشخصات قیر

آزمایش	نتیجه
درجه نفوذ	٧١
نشانه درجه نفوذ	٠.٨٧
نقطه نرمی	٤٦,٧
شکل پذیری	١١٦,٣
نقطه شکست	٠,٩٨
قابلیت حل	١٠٠
درصد واکس	١,٨

جدول ٢. مشخصات مصالح ریزدانه

آزمایش	نتیجه
وزن مخصوص مصالح	٢,٧٠٩
هم ارز ماسه ای	٧٥
زبری	١٥

جدول ٣. خصوصیات مصالح درشت دانه

آزمایش	نتیجه	
	٩,٥-٤,٧٥	١٦-٩,٥
درصد شکستگی	٧,٤	٧,٨
لس انجلس	١٢,٩	١٠,٤
وزن مخصوص	٢,٧٦٣	٢,٧٨٦
درصد جذب آب	٠,٧٢	٠,٦٣
زبری	٨	٨
درصد نرمی	٢	٢

٣-١-٣- مصالح تقویت‌کننده کامپوزیت (CRM)

افزودنی مورد استفاده در این مطالعه یک ماده تقویت‌کننده کامپوزیت جدید (CRM)است که توسط یک شرکت مشاوره مهندسی متخصص در مواد بزرگراه تولید می‌شود. این نوعی از مواد دانه‌ای است که از پلیمرها، فیبرهای لیگنین، آسفالت طبیعی و دیگر مواد افزودنی شیمیایی از طریق یک فرآیند ترکیبی خاص ساخته می‌شود. الیاف پلیمری در CRM می‌توانند برخی آسفالت را جذب کنند و پس از پراکندگی و تقویت آسفالت به حالت پایدار برسند. و سمنتاسیون چسبنده

الیاف و آسفالت نقش پر کردن حفره‌های مخلوط را ایفا می‌کند، و انسجام مخلوط آسفالت را افزایش می‌دهد. مواد پلیمری در CRM می‌توانند خواص آسفالت پایه را بهبود بخشند، و ترکیبی از این تغییرات تاثیر مثبتی بر مقاومت شیارشدگی، مقاومت آسیب رطوبت و مقاومت ترک‌خوردگی دمای پایین مخلوط‌های آسفالت دارد. T افزودنی مورد استفاده در این مطالعه یک ماده تقویت‌کننده کامپوزیت جدید (CRM) است که توسط یک شرکت مشاوره مهندسی متخصص در مواد بزرگراه تولید می‌شود. این نوعی از مواد دانه‌ای است که از پلیمرها، فیبرهای لیگنین، آسفالت طبیعی و دیگر مواد افزودنی شیمیایی از طریق یک فرآیند ترکیبی خاص ساخته می‌شود. الیاف پلیمری در CRM می‌توانند برخی آسفالت را جذب کنند و پس از پراکندگی و تقویت آسفالت به حالت پایدار برسند و سمنتاسیون چسبنده الیاف و آسفالت نقش پر کردن حفره‌های مخلوط را ایفا می‌کند، و انسجام مخلوط آسفالت را افزایش می‌دهد. مواد پلیمری در CRMمی‌توانند خواص آسفالت پایه را بهبود بخشند، و ترکیب اصلاح ان دو اثر مثبتی بر مقاومت شیارشدگی و حساسیت رطوبتی و مقاومت در برابر ترک خوردگی دمای پایین دارند. شکل ١ و جدول ٤ افزودنی مورد استفاده را نشان می دهد. این افزودنی شامل ٣٨٪ فیبر لیگنین و ٦٢٪ مصالح پلیمری مسلح شده و قیر طبیعی. در طول فرایند اصلاح، افزودنی به مصالح سنگی داغ اضافه شدند قبل از اضافه شدن قیر. زمان اختلاط خشک به میزان ٥ ثانیه به منظور ذوب شدن افزودنی پیشنهاد شده است. به دلیل ترکیب و مورفولوژی افزودنی، علاوره بر اینکه افزودنی جهت بهبود خواص قیر است، جهت محکم کردن، پر کردن و محدودیت الک مورد استفاده است. در کل خصوصیات مخلوط بهبود می‌یابد و مقاومت در برابر شیارشدگی افزایش می یابد.

جدول ٤. مشخصات افزودنی

اسم	وزن مخصوص	نقطه ذوب	اندازه دانه
CRM	٠,٩٨	١٦٠–١٧٠	٠٧-May

شکل ١. افزودنی مورد استفاده

٣-٢-برنامه آزمایشگاهی

به منظور بازتاب اثر اصلاح بر عملکرد مخلوط براثر CRM، مصالح سنگی با اندازه اسمی ١٣,٢ میلیمتر انتخاب شد و درصد عبوری از الک ٢,٣٦ میلیمتر کمتر از ٤٠ درصد از کل مصالح سنگی می باشد که در جدول ٥ آورده شده است.
ابتدا، براساس طرح اختلاط مارشال، تعدادی نمونه مارشال حاوی CRM، با درصدهای ٠٪، ٠/٤٪، ٠/٦٪، ٠/٨٪ نسبت به وزن مخلوط در طی پروسه خشک به منظور بدست اوردن درصد قیر بهینه اماده شد.

جدول٥. دانه‌بندی مخلوط آسفالتی

اندازه الک (میلیمتر)	١٦	١٣,٢	٩,٥	٤,٧٥	٢,٣٦	١,١٨	٠,٦	٠,٣	٠,١٥	٠,٠٧٥
درصد عبوری ٪	١٠٠	٩٥,٨٥	٧٤,٦٩	٤٧,٧٣	٢٧,٨٤	٢٠,٣٧	١٦,٣٣	١٢,٦٦	١٠,٥٨	٧,٥٥

در نتیجه، رابطه بین محتوای OAC و CRM نتیجه‌گیری می‌شود. دوم، عملکرد مخلوط آسفالت اصلاح‌شده با محتوای مختلف CRM به منظور بررسی اثربخشی این افزودنی مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت، محدوده درصد بهینه CRM با تجزیه و تحلیل داده‌های آزمون تعیین شد.

۳-۳- روش‌های آزمایش

۳-۳-۱-تست غوطه‌وری مارشال و تست شکست یخ - ذوب

تست غوطه‌وری مارشال و تست تجزیه ذوب - انجماد برای ارزیابی پایداری آب مخلوط انجام شد. نمونه‌ها در تست غوطه‌وری مارشال در حمام آب در ٦٠ درجه سانتیگراد به مدت ٤٨ ساعت غوطه‌ور شدند. مردان در آزمون ذوب - انجماد پیوسته در معرض یخ‌زدگی قرار گرفتند. ١٨ درجه سانتیگراد به مدت ١٦ ساعت و ذوب در ٦٠ درجه سانتیگراد به مدت ٢٤ ساعت، پس از آن استحکام کششی غیر مستقیم به دست‌آمد. پایداری باقیمانده غوطه‌وری مارشال (MS^4) و نسبت قدرت تفکیک یخ - ذوب برای ارزیابی پایداری آب مخلوط‌ها محاسبه شدند. پایداری باقیمانده غوطه‌وری مارشال (MS) به عنوان نسبت پایداری مارشال نمونه‌های مرطوب و خشک تعریف شد. نسبت استحکام یخ - ذوب به عنوان نسبت استحکام کششی غیر مستقیم (TSR)نمونه‌های یخ - ذوب و خشک تعریف شد.

۳-۳-۲-تست شیار جای چرخ

تست شیار جای چرخ در دمای C ° ٦٠ تحت شرایط خشک برای به دست آوردن پایداری دینامیکی ((DSو برای ارزیابی ویژگی‌های مقاومت شیارشدگی دمای بالا مخلوط‌های آسفالت انجام شد. تجهیزات مورد استفاده برای تست شیار چرخ، دستگاه اتوماتیک -٥ است که توسط موسسه فن‌آوری کنترل و اندازه‌گیری هوا فضا در پکن ساخته شده‌است و دارای سیستم کنترل خودکار دما می‌باشد. ابعاد نمونه‌های دال ٣٠٠ میلی‌متر ٣٠٠ میلی‌متر ٥٠ میلی‌متر بود. یک چرخ لاستیکی جامد در حال حرکت با سرعت ٤٢ چرخه / دقیقه و در فشار ٠,٧ مگاپاسکال برای شبیه‌سازی بارگذاری وسیله نقلیه بر روی لایه‌های روسازی استفاده می‌شود.

۳-۳-۳- تست خمش در دمای پایین

تست خمش دمای پایین برای ارزیابی عملکرد کششی مخلوط‌های آسفالت در دماهای پایین بود. تجهیزات آزمایش سنسورMTS ٨١٠، LVDT ١١٢mitutoio ID - S پشت میانه نمونه پرتو تنظیم شده‌است. پس از شروع آزمایش، بار متمرکز در وسط نمونه گروهی قرار داده می‌شود تا نمونه تیر تخریب شود. سیستم داده‌های جابجایی و بار را به صورت خودکار جمع‌آوری می‌کند و داده‌ها را می‌توان به دستگاه ثبت X - Y وارد کرد. حداکثر بارگذاری و جابجایی میانی در نقطه‌ای که نمونه تیر تخریب می‌شود، کلید محاسبه مقاومت خمشی و حداکثر کرنش کششی است. این تست در حال انجام است! ١٠ ± ٠,٥ C و با سرعت بارگذاری ٥٠ میلی متر بر ثانیه.

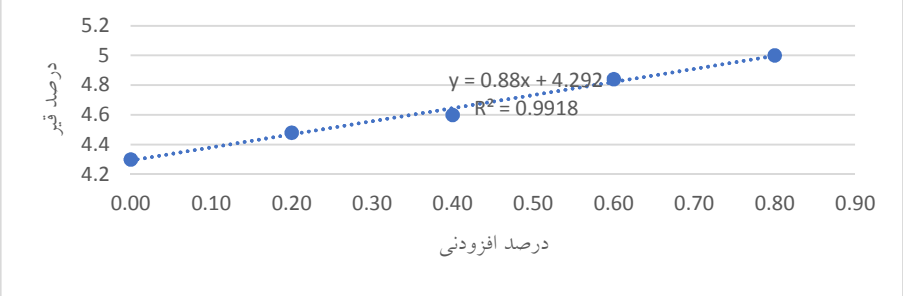
۳-۳- تست پیرشدگی

آزمون پیری برای شبیه‌سازی اثر پیری ناشی از گرما و اکسیداسیون در فرآیند ساخت مخلوط، حمل و نقل، گسترش و نورد مخلوط آسفالت بود. آزمون عمر مفید نیز قادر به شبیه‌سازی عمر کوتاه و بلند مدت مخلوط‌های آسفالت در طول عمر سرویس بود. پیرسازی کوتاه‌مدت قرار دادن مخلوط‌های آسفالت آماده‌شده در آون با دمای ١٣٥ ± ١ درجه سانتیگراد به مدت ٤ ساعت ± ٥ دقیقه بود، مخلوط هر ساعت با یک بیل همزده می‌شد. پس از پیری کوتاه‌مدت، مخلوط آسفالت بعداً به نمونه‌ها فرآوری شد، که سپس در یک کوره تهویه شده با دمای ٨٥ ± ٣ درجه سانتی گراد به مدت ٥ روز، برای شبیه‌سازی پیری بلند مدت در طول عمر مفید، شرطی شد.

٤-نتایج و بحث‌ها

٤-١- تعیین OAC

از آنجا که ترکیب و مورفولوژی CRM ممکن است OAC را تحت‌تاثیر قرار دهد، تست‌های بسیاری بر روی عملکرد مخلوط‌های آسفالت اصلاح‌شده تحت محتویات مختلف CRM برای تعیین OAC انجام شد. نتایج در شکل ٢ نشان‌داده شده‌اند. ترکیبی از دوز ٠,٥ % CRM آماده و آزمایش شد و نتایج نشان داد که OAC ٤,٧٥ ٪ بود که بسیار نزدیک به نتیجه به‌دست‌آمده از طریق معادله زیر است = Y : ٠,٨٧١٤ + ٤,٢٨٢٩ = ٤,٧٢ .بنابراین تایید می‌شود که فرمول رگرسیون بالا به خوبی با همبستگی بین OAC و محتوای CRM متناسب است. از آنجا که عملکرد دوزهای مختلف CRM مورد مطالعه قرار خواهد گرفت، OAC با محتوای ١,٢ % CRM باید تعیین شود. نتیجه را می‌توان از معادله بالا به دست آورد، زمانی که = X ١,٢ ، = Y ٠,٨٧١٤ X +٤,٢٨٢٩ = ٠,٨٧١٤١,٢ + ٤,٢٨٢٩ = ٥,٣ . شکل ٢ نشان می‌دهد که OAC با هر مقدار اضافی ٠,٤ % CRM حدود ٠,٣ – ٠,٤ ٪ افزایش می‌یابد. یعنی، زمانی که محتوای CRM با وزن مخلوط کلی ٠,١ ٪ افزایش می‌یابد،OAC برای مخلوط آسفالت معمولی ٠,١ ٪ افزایش می‌یابد. لازم است توضیح داده شود که چنین نتیجه‌گیری تنها می‌تواند به ترکیب مورد استفاده در مقاله محدود شود. ممکن است برای دیگر طرح‌های ترکیبی قابل اعمال نباشد.



شکل ٢. ارتباط بین افزودنی و درصد قیر بهینه

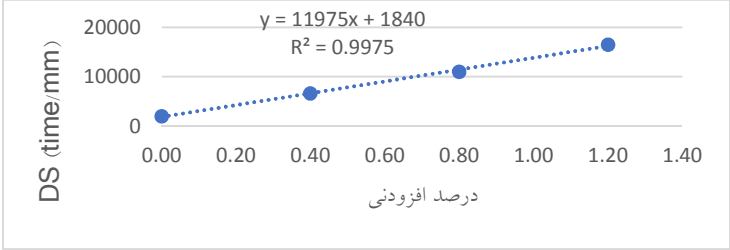
مدیریت ارتباط با مشتری شامل فیبر لیگنین است که یک فیبر آلی خنثی است که از چوب تیمار شده شیمیایی با ویژگی‌های شیمیایی پایدار و مقاومت در برابر دمای بالا به دست می‌آید. به طور کلی با محلول اسیدی خورده نخواهد شد. فیبر به دلیل سطح ویژه بزرگ خود، جذب خوبی از آسفالت دارد. هرچه مقدار فیبر در مخلوط بیشتر باشد، آسفالت بیشتری جذب خواهد شد و OAC در نتیجه افزایش می‌یابد.

٤-٢- عملکرد روسازی

تست‌های آزمایشگاهی برای ارزیابی عملکرد روسازی مخلوط‌های آسفالت اصلاح‌شده با محتویات % CRM ٠,٤، ٠,٨٪، ١,٢٪ و مخلوط آسفالت اصلاح‌نشده انجام شد.

٤-٢-١-ارزیابی پایداری دمای بالا

ماده تقویت‌کننده کامپوزیت ((CRM می‌تواند به طور موثری پایداری دمای بالای مخلوط‌های آسفالت را بهبود بخشد. پایداری دینامیکی با افزایش CRM بهبود می‌یابد، همانطور که در شکل٣ نشان‌داده شده‌است.

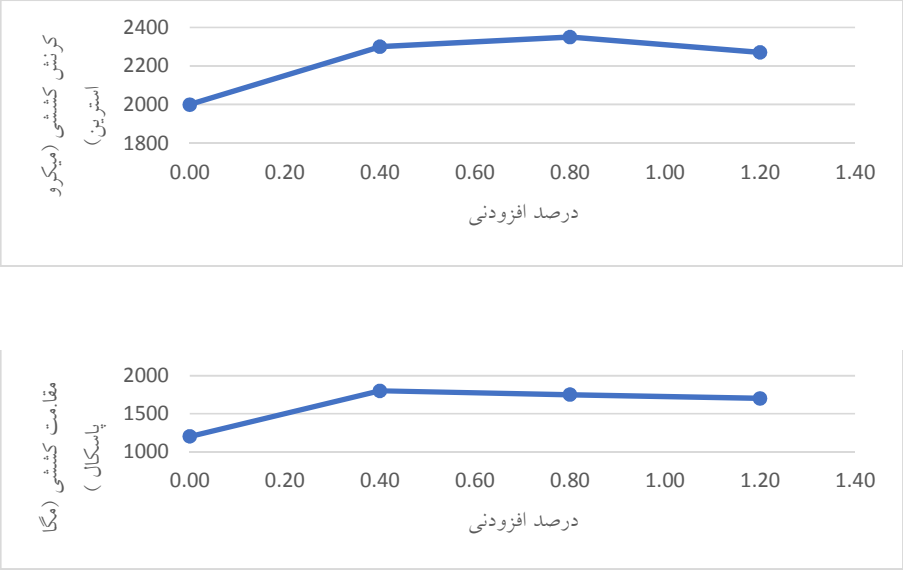


شکل ٣. نتایج آزمایش استقامت دینامیکی

می‌توان آن را از شکل ٣ مشاهده کرد، وقتی مخلوط با ٠,٤ CRM %اضافه می‌شود، پایداری دینامیکی مخلوط ٣ برابر بیشتر از پایداری دینامیکی مخلوط اصلاح‌نشده است و زمانی که CRM به ترتیب به ٠,٨ ٪ و ١,٢ ٪ افزایش یافت، این مقدار ٥,٦ برابر و ٨ برابر مخلوط آسفالت تغییر نیافته است. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که مقاومت شیارشدگی مخلوط آسفالت در دماهای بالا به طور قابل‌توجهی در هنگام افزودن مقدار CRM بهبود می‌یابد، که می‌تواند معیار موثری برای حل مشکل شیارشدگی آسفالت باشد . دلیل اینکه CRM تا حد زیادی به پایداری دمای بالا کمک می‌کند این است که مخلوط آسفالت در دمایی بالاتر از نقطه ذوب CRM تولید می‌شود (١٦٠ – ١٧٠ C همانند جدول ٤)، که CRM را به حالت جریان ویسکوز در طول فرآیند تبدیل می‌کند. هنگامی که ذرات CRM شکل می‌گیرند و نقش مهمی را در چسبندگی و چسبندگی بین سنگدانه‌ها ایفا می‌کنند، پیوند بین قیر و سنگدانه‌ها را تقویت می‌کنند و توانایی کلی مخلوط را برای مقاومت در برابر بار افزایش می‌دهند. علاوه بر این، وجود دارد. برخی آسفالت طبیعی در CRM وجود دارد .مقدار آسفالتین در آسفالت طبیعی بسیار بیشتر از آسفالت پایه است، بنابراین مقدار آسفالتین در آسفالت اصلاح‌شده افزایش خواهد یافت، که منجر به افزایش مواد قطبی در قیر می‌شود، که باعث افزایش پیوند بین مولکول‌ها و افزایش ویسکوزیته می‌شود .بنابراین، شکستن پیوند بین آن‌ها سخت‌تر است مگر اینکه دما به اندازه کافی بالا باشد و پایداری دینامیکی مخلوط آسفالت شاخص مهمی از پایداری دمای بالای آن است.

٤-٢-٢-ارزیابی مقاومت ترک‌خوردگی دمای پایین

نتایج آزمایش نشان می‌دهد که استحکام کششی خمشی نهایی و حداکثر کرنش کششی مخلوط آسفالت پس از افزودن ماده تقویت‌کننده کامپوزیت بهبود می‌یابد، همانطور که در شکل ٤ نشان‌داده شده‌است.



شکل ٤. الف) حداکثر کرنش کششی. ب) مقاومت کششی

هنگامی که محتوای CRM% ٠ باشد، استحکام کششی خمشی و حداکثر کرنش کششی مخلوط آسفالت ٧,٨ MPa . هنگامی که محتوای CRM افزایش می‌یابد، استحکام کششی خمشی و حداکثر کرنش کششی در ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. هنگامی که مقدار ٠,٤ ٪ باشد، استحکام کششی خمشی به مقدار ماکزیمم ١٠,٥ MPa می‌رسد، که در مقایسه با مخلوط آسفالت اصلاح‌نشده ٣٤,٦ ٪ افزایش می‌یابد .هنگامی که محتوای CRM برابر با ٠,٨ ٪ باشد، کرنش کششی در مقایسه با حالت بدون اصلاح به حداکثر مقدار ٢٧٦٦ LE می‌رسد، یعنی ٣٨,١ ٪ بیشتر است. مخلوط آسفالتی نرم شده. اگرچه بهبود عملکرد دمای پایین چندان قابل‌توجه نیست، اما هنوز هم قادر به ایجاد یک اثر مثبت بر مقاومت ترک‌خوردگی دمای پایین مخلوط است که چشم‌انداز کاربردی خوبی را نشان می‌دهد. با توجه به توانایی قیر در مقاومت در برابر تنش کششی دمای پایین، سهم قیر در مقاومت ترک مخلوط آسفالت بسیار بیشتر از سنگدانه است. زمانی که دما کاهش یابد، قیر پر شده بین سنگدانه‌ها نقش پیوند را ایفا خواهد کرد، به طوری که مخلوط آسفالت پیش از موعد ترک نخورد. با این حال، زمانی که دما کاهش می‌یابد، تا حد معینی، قیر معمولی قادر به تحمل تنش کششی بیش از حد نخواهد بود و ترک‌ها ظاهر خواهند شد CRM. مورد استفاده در این تحقیق نوع

جدیدی از عامل ضد شیارشدگی است که از ترکیبی از مواد پلیمری بالا، الیاف لیگنین، آسفالت طبیعی و عوامل شیمیایی ساخته شده‌است. ماده پلیمری برای اصلاح آسفالت قادر به افزایش استحکام و سختی خود است و در عین حال انعطاف‌پذیری دمای پایین خود را حفظ می‌کند. زاویه اصطکاک و نیروی چسبندگی قیر قیر را می‌توان با ترکیب الیاف لیگنین بهبود بخشید، که همچنین می‌تواند مقاومت برشی مخلوط آسفالت را بهبود بخشد و به عملکرد دمای پایین مخلوط کمک کند.

٤-٢-٣- ارزیابی حساسیت رطوبتی

پایداری آب مخلوط آسفالت عمدتا با ماهیت مصالح معدنی، تعامل بین آسفالت و مصالح معدنی، فضای خالی مخلوط آسفالت و ضخامت فیلم آسفالت تعیین می‌شود. به طور کلی، نفوذ آب به سطح سنگدانه نسبت به چسب آسفالت آسان‌تر است که پس از آن چسبندگی بین آسفالت و سنگدانه‌ها را کاهش می‌دهد و منجر به آسیب رطوبت به مخلوط آسفالت می‌شود. بنابراین حضور آب تا حد زیادی تهدیدی برای مخلوط آسفالت در روسازی جاده است. رابطه بین پایداری پسماند غوطه‌وری و قدرت شکست یخ – ذوب با محتوای CRM در شکل ٥ و ٦ الف و ب نشان‌داده شده‌است.

شکل ٥. الف) مقاومت مارشال تر و خشک. ب) نسبت مقاومت مارشال

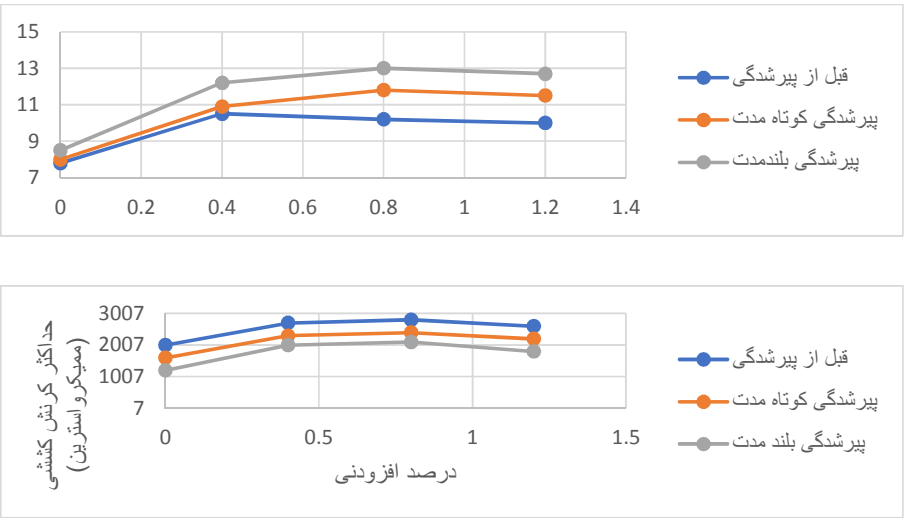
شکل ٦. الف) مقاومت کششی تر و خشک ب) نسبت مقاومت کششی

نسبت پایداری پسماند غوطه‌وری مخلوط آسفالت اصلاح‌نشده ٨٨,٢ ٪ و نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم ((TSR٨٠,٨ ٪ است. هنگام اضافه کردن ٠,٤ ٪ اصلاح‌کننده CRM، نسبت پایداری باقیمانده غوطه‌وری و TSR به ترتیب به ٩٣,٩ ٪ و ٩١,٥ ٪ افزایش می‌یابد. اگر محتوای اصلاح‌کننده به افزایش خود ادامه دهد، نسبت پایداری باقیمانده غوطه‌وری و TSR شروع به کاهش می‌کند.

شکل ٥ و ٦ ب نشان می‌دهند که نسبت پایداری پسماند غوطه‌وری بیشتر از نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم ((TSR) با محتوای مشابه اصلاح‌کننده است. دلیل آن این است که نمونه‌ها برای آزمایش خوردگی مارشال ٧٥ بار فشرده شدند و تخلخل نمونه‌ها به ٣- ٥ ٪ کاهش یافت. ورود آب به شکاف بین سنگدانه ها و لایه‌های آسفالت دشوار است و در نتیجه احتمال آسیب به آب کم‌تر است. تکثیر نمونه‌ها برای آزمایش شکست در حالت انجماد – ذوب در ٧ ٪ کنترل می‌شود، که در آن نمونه‌ها ٥٠ برابر بیشتر از تراکم واقعی در محل فشرده می‌شوند. CRM یک سیال چسبناک با قابلیت تغییر شکل خوب در دماهای بالا است. می‌تواند منافذ بزرگ را پر کند، ساختار آن‌ها را تغییر دهد و تعداد منافذ متصل شده را به طور موثر کاهش دهد و از مهاجرت قیر آسفالت جلوگیری کند. فیبر لیگنین در CRM متخلخل است، تمایل زیادی به جذب آسفالت دارد، لایه آسفالت را بر روی سنگدانه‌های معدنی ضخیم‌تر می‌کند، و در نتیجه مقدار آسفالت آزاد کاهش می‌یابد. این امر نیروی چسبندگی بین آسفالت و سنگدانه را بهبود می‌بخشد و مقاومت آب مخلوط آسفالت را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، مواد پلیمری در CRM می‌توانند چسبندگی بین چسب و سنگدانه را افزایش دهند و آن را نسبت به آسیب ناشی از آب مقاوم‌تر کنند.

٤-٢-٤-ارزیابی عملکرد پیرسازی

آزمون‌های پیری کوتاه‌مدت (٤ ساعت) و پیری بلند مدت (٥ روز) با ٤ دوز مختلف CRM از ٠ ٪، ٠,٤ ٪، ٠,٨ ٪، ١,٢ ٪ انجام شد. سپس پایداری آب و مقاومت ترک‌خوردگی دمای پایین مورد آزمایش قرار گرفت (پایداری دمای بالا مناسب نیست زیرا پیرسازی می‌تواند اثرات مفیدی بر روی آن ایجاد کند). تغییر رفتار پیرسازی مخلوط آسفالت اصلاح‌شده با مقاومت کششی خمشی، کرنش کششی ماکزیمم و نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم (TSR) ارزیابی شد. نتایج تست در شکل ٧ و ٨ نشان‌داده شده‌اند.

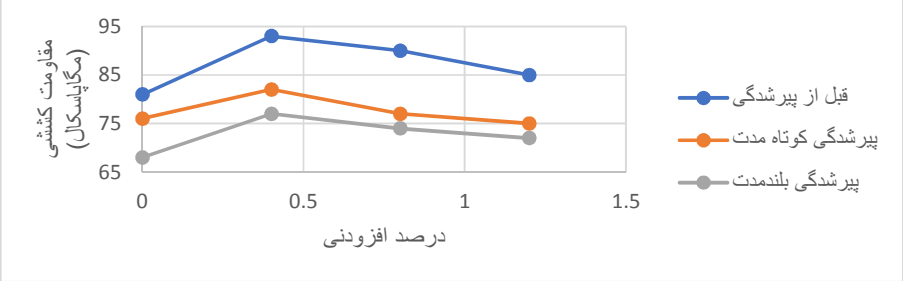


شکل ٧. الف) مقاومت کششی. ب) حداکثر کرنش کششی

از یک طرف، فرآیند پیرسازی باعث می‌شود که سنگدانه ها آسفالت بیشتری را جذب کنند؛ از طرف دیگر آسفالت تحت‌تاثیر گرما و اکسیژن قرار دارد. هر دو اثر، سختی آسفالت را افزایش داده و توانایی دمای پایین (به عنوان مثال، ضد ترک‌خوردگی)را تضعیف می‌کنند. با ادامه عمر، استحکام کششی خمشی افزایش می‌یابد، در حالی که کرنش کششی ماکزیمم کاهش می‌یابد، که در شکل نشان‌داده شده‌است. نمونه‌های ترابکولار در ترک تست خمش دمای پایین در طول فصل مشترک بین سنگدانه‌ها. با گسترش ترک‌ها، یک فرآیند اکستروژن و برش به ذرات بزرگ ظاهر شده و در نهایت منجر به آسیب فشاری – برشی می‌شود. سختی بست آسفالت بعد از پیرسازی افزایش می‌یابد، بنابراین پیوند سطح مشترک با سنگدانه‌های معدنی است. هر چه پیوند بیشتر پیر شود، استحکام کششی خمشی بیشتر می‌شود. قیر پس از

پیرسازی سخت و شکننده می‌شود که قادر به مقاومت در برابر تغییر شکل بزرگ در دماهای پایین نیست. هر چه بست بیشتر پیر شود، وقتی مخلوط شکست بخورد، تغییر شکل آن کم‌تر خواهد بود. وقتی نمونه‌های ترابکولار شکست می‌خورند، کرنش شکست به خیز میانی بستگی دارد. حداکثر کرنش کششی مخلوط پس از پیرسازی نسبت عکس با درجه پیرسازی دارد. شکل ٧ نشان می‌دهد که اگر چه مخلوط آسفالت اصلاح‌شده به سختی می‌تواند الزامات فنی پس از پیری کوتاه‌مدت را برآورده کند، و عملکرد آن پس از پیری بلند مدت به شدت کاهش یافت، اما هنوز هم بهتر از مخلوط آسفالت اصلاح‌نشده است.

با توجه به پایداری آب مخلوط‌های آسفالت قدیمی، زمانی که مقدار CRM از ٠,٤ ٪ به ٨ ٪ و ١,٢ ٪، ٪ افزایش می‌یابد.، مقدار TSR مخلوط آسفالت به ترتیب ٦ ٪، ١,١ ٪ و ٠,٢ ٪ در مقایسه با مخلوط آسفالت اصلاح‌نشده پس از پیری کوتاه‌مدت و ٨,٢ ٪، ٥,٤ ٪ و ٥,٤ ٪ پس از پیری بلند مدت بهبود یافته‌است، که در شکل ٨ نشان‌داده شده‌است.



شکل ٨ نسبت مقاومت کششی بعد از پیرشدگی

بنابراین، ترکیب CRM می‌تواند به طور موثر اثر پیرسازی بر پایداری آب مخلوط آسفالتی را کاهش می‌دهد.

برای شرایط پیرسازی کوتاه‌مدت و بلند مدت، عملکرد دمای پایین و مقاومت آسیب رطوبت مخلوط آسفالت اصلاح‌شده با استفاده از crm بهبود می‌یابد. استحکام کششی انعطاف‌پذیر و حداکثر کرنش کششی مقدار بهینه را در مقدار CRMبرابر با ٠,٨ ٪ می‌بینند، در حالی که مقدار TSR با مقدار CRM برابر با ٠,٤ ٪ به بالاترین مقدار خود می‌رسد. بنابراین، CRM تاثیر مثبتی بر خاصیت پیرسازی مخلوط آسفالت دارد.

٥- نتیجه‌گیری

از طریق تست‌های آزمایشگاهی مخلوط‌های آسفالت اصلاح‌شده باCRM ، عملکرد روسازی ساخته‌شده با استفاده از مخلوط آسفالت اصلاح‌شده با CRM مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. براساس نتایج، نتایج زیر را می‌توان ترسیم کرد.

- پایداری دمای بالای مخلوط‌های آسفالت اصلاح‌شده توسط CRM در مقایسه با مخلوط آسفالت اصلاح‌نشده بهبود می‌یابد. پایداری دینامیکی با افزایش CRM به افزایش خود ادامه می‌دهد، و مقاومت ترک‌خوردگی دمای پایین و مقاومت آسیب رطوبت در ابتدا با CRM افزایش می‌یابد و سپس کاهش می‌یابد، اما همه بالاتر از مخلوط‌های آسفالت تغییر نیافته است. محدوده دوز بهینه CRM ٩ / ٩ - ٥ / ٩ % در مخلوط‌های آسفالت با استفاده از نسبت شکاف ذوب – انجماد و کرنش شکست تعیین می‌شود.

–مخلوط‌های آسفالت اصلاح‌شده هنوز هم می‌توانند پایداری آب خوب و مقاومت ترک‌خوردگی دمای پایین در مقایسه با مخلوط‌های آسفالت تغییر نیافته، پس از پیری کوتاه‌مدت باقی بمانند. عملکرد تا حدی پس از پیری طولانی‌مدت خراب می‌شود، اما عملکرد کلی هنوز هم به طور قابل‌توجهی بهتر از مخلوط‌های آسفالت تغییر نیافته است. بنابراین، CRM تاثیر مثبتی بر بهبود مقاومت در برابر پیری مخلوط‌های آسفالت دارد.

٦- پی‌نوشت‌ها

1- Composite Reinforced Materials
2-Dynamic Stability
3- Tensile Strength Ratio
4-Marshal Stability

٧- مراجع

-Fu Zhen, Huang Zhen, Ma Feng, (2016), “Effect of basalt fiber on the road

modifier in bituminous mixes: a review, Constr. Build. Mater.", 54, pp.305–312.

Qiu-sheng Hu, Gang Zhou, Huo-ming Wang, et al., (2015), "The water stability of PAE and diatomite composite modified asphalt mixture, J. China Foreign Highway 35 (4), pp. 282–284 (in chinese).

-Qun-shan Ye, Hong-xin Guan, (2012), "Properties of asphalt mixtures containing various fibers, J. Test. Eval. 40 (5), pp.708–714.

-Sayyed Mahdi Abtahi, Saman Esfandiarpour, Mehmet Kunt, (2013), "Hybrid reinforcement of asphalt-concrete mixtures using glass and polypropylene fibers, J. Eng. Fibers Fabr", 8 (2), pp. 25–35.

-Sheng Zhao, Bao-shan Huang, Xiang Shu, (2014), "Laboratory investigation of biochar-modified asphalt mixture, Transp. Res. Rec. 2445, pp. 56–63.

-Sungun Kim, Sung-Jin Lee, Yeo-Bin Yun, (2014), "The use of CRM- modified asphalt mixtures in Korea: evaluation of high and ambient temperature performance, Constr. Build. Mater.", 67(SI), pp.244–248.

-Yuan-yuan Sui, Zhong-da Chen, (2012), "Application and mechanism of a new type of polyethylene modifying additive in asphalt mixture, in: 7th International Conference on MEMS, NANO and Smart Systems, Kuala Lumpur, Malaysia".

-Zhao-feng Lu, Zhao-yi He, (2010), "Min Qin, Pavement performance of asphalt mixture modified by rock asphalt, J. Central South Univ. (Science and Technology) 41 (6), pp. 2407–2411.

performance of agedasphalt mixture", Mater. Rev. 30, (1), pp.118– 122.

-Fu Zhen, Yanni Dang, Bo Guo, et al., (2016), "Laboratory investigation on the properties of asphalt mixtures modified with double-adding admixtures and sensitivity analysis[J], J. Traffic Transp". Eng. (English Edition) 3 (5), pp.412–426.

-G.H. Shafabakhsh, O. Jafari Ani, (2015), "Experimental investigation of effect of Nano TiO2/SiO2 modified bitumen on the rutting and fatigue performance of asphalt mixtures containing steel slag aggregates, Constr. Build. Mater.", pp. 692–702.

-Hasi Tuya, (2014),"The road performance of lignin and rubber powder composite modified asphalt mixture, Highway Eng.", 39 (6), pp.170– 174.

-Jeonga Kyu-Dong, Lee Soon-Jae, K.W. Kim, (2011), "Laboratory evaluation of flexible pavement materials containing waste polyethylene (WPE) film, Constr. Build. Mater.", 25 (4), pp.1890–1894.

-Moatasim Attaelmanan, Cheng-Pei Feng, Al-Hadidy Al, (2011), "Laboratory evaluation of HMA with high density polyethylene as a modifier, Constr. Build. Mater". 25 (5), pp. 2764–2770.

-Nuha Salim Mashaan, Asim H. Ali, Suhana Koting, (2013), "Dynamic properties and fatigue fife of stone mastic asphalt mixtures reinforced with waste tyre rubber", Adv. Mater. Sci. Eng. http://dxdoi. org/10.1155/2013/319259.

-O.S. Abiola, W.K. Kupolati, E.R. Sadiku, (2014), "Utilisation of natural fibre as

Experimental Investigation of Mechanical Properties of Mixtures Modified by Composite Material

Amin Farajollahi, Department of Civil Engineering, Malard Branch, Islamic Azad University, Malard, Tehran, Iran.

Amin Choubdar ,M.Sc., Department of Civil Engineering, Malard Branch, Islamic Azad University, Malard, Tehran, Iran.

Farzin Poorheydari Mamaghani, M.Sc., Department of Civil Engineering, Malard Branch, Islamic Azad University, Malard, Tehran, Iran.

E-mail: Amin.Choob@gmail.com

Received: March 2021-Accepted: July 2021

ABSTRACT

As a new way of modifying asphalt or asphalt mixture, composite modification has obvious effects. In order to improve the perfor- mance of asphalt pavement in a simple, fast and efficient way, a new kind of composite reinforcing material (CRM) is used in this study. The Marshall Immersion test, the freeze–thaw splitting test and low-temperature bending test were conducted to evaluate the pavement performance of the asphalt mixture with different CRM contents. Test results show that the pavement performance of modified asphalt mixtures is better than unmodified asphalt mixture. When the CRM content increases, resistance to rutting at a high temperature increases significantly, low temperature cracking resistance and moisture damage resistance first rise and then fall. In consideration of other pavement performance, such as dynamic stability (DS), indirect tensile strength ratio (TSR) and maximum tensile strain, the sug- gested optimal CRM dosage is 5.9‰ to 7.9‰.

Keywords: Binder, Asphalt, Additive, Moisture Susceptibility, Tensile Strain