

بررسی تأثیر افزودنی پلیمر بر اصلاح قیر در مخلوط‌های آسفالتی

مقاله علمی - پژوهشی

محمد رضا طهماسبی*، استادیار، موسسه آموزش عالی عمران و توسعه همدان، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران، همدان، ایران
نسترن امید نژاد، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه عمران- راه و ترابری، موسسه آموزش عالی عمران و توسعه همدان، همدان، ایران
مهدی نیک فرجام، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه عمران-راه و ترابری، موسسه آموزش عالی عمران توسعه همدان، همدان، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mr_tahmasbi33@yahoo.com

دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۷ - پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۶

صفحه ۲۳۸-۲۲۹

چکیده

در سال‌های اخیر برای تولید مخلوط‌های آسفالتی با مقاومت بهتر در برابر شیارشدگی، ترک‌های خستگی و ترک‌های حرارتی از قیرهای اصلاح شده با پلیمر استفاده شده است. پژوهش‌های انجام شده در دهه‌های اخیر نشان داده که استفاده از پلیمرها در مخلوط‌های آسفالتی سبب بهبود خصوصیات آنها و به تأخیر انداختن خرابی‌ها در روسازی می‌شود. نقش مهم کیفیت روسازی بر ایمنی و راحتی استفاده کنندگان از مسیر و همچنین کاهش هزینه‌های دوره بهره‌برداری، پژوهشگران حوزه روسازی آسفالتی را بر آن داشته است تا با تولید آسفالت اصلاح شده نسبت به افزایش مقاومت و دوام آن در برابر بارهای ترافیکی و شرایط گوناگون آب و هوایی اقدام کنند. نواقص و ضعف‌های مربوط به قیرهای خالص تولید شده در پالایشگاه‌ها، منجر به بروز خرابی‌های زود هنگام در روسازی‌های آسفالتی می‌شود. از مواد افزودنی متنوعی در اصلاح رفتار قیر استفاده شده است که از جمله آنها انواع پلیمرها هستند. قیر یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر عملکرد خستگی مخلوط‌های آسفالتی است. افزودنی‌های پلیمری به عنوان اصلاح کننده خصوصیات قیر و نهایتاً مخلوط آسفالتی با تجربیات موفق همراه بوده است و عملکرد اساسی آنها متاثر از خواص فیزیکی، شیمیایی و رئولوژیک قیر است.

واژه‌های کلیدی: پلیمر، قیر، مخلوط آسفالت

۱-مقدمه

قیر و مخلوط‌های آسفالتی به منظور کاهش شدت خرابی‌ها و هزینه‌های تعمیر و نگهداری روسازی، امری اجتناب ناپذیر است. یکی از راه‌های مقابله با خستگی آسفالت به کارگیری ترکیبات پلیمری به منظور اصلاح خواص قیر و نهایتاً مخلوط‌های آسفالتی است. افزودنی‌های پلیمری به عنوان اصلاح‌کننده خصوصیات قیر و نهایتاً مخلوط آسفالتی با تجربیات موفق همراه بوده است و عملکرد اساسی آنها متاثر از خواص فیزیکی، شیمیایی و رئولوژیک قیر است. پلیمرهای الاستیک می‌توانند با اصلاح قیر موجب کاهش تغییر شکل‌های دائم و گودافتادگی مسیر چرخ‌ها در روسازی‌های آسفالتی شوند. پلاستومرها موجب افزایش سختی قیر در دماهای زیاد می‌گردند و می‌توانند مقاومت در برابر تغییر شکل‌های ماندگار

روسازی راه یکی از اجزای اساسی جاده‌ها محسوب می‌شود که در تامین ایمنی و راحتی سرنشینان خودرو نقش مهمی را ایفا می‌کند. در روسازی بارهای ترافیکی، شرایط محیطی و مصالح نامرغوب از جمله عواملی هستند که موجب ایجاد خرابی‌هایی نظیر ترک‌های خستگی، شیارشدگی و عریان شدگی سنگدانه‌ها می‌گردند و به تبع آن منجر به کاهش ایمنی و راحتی می‌شوند. قیر یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر عملکرد خستگی مخلوط‌های آسفالتی است. از آنجا که قیر خالص قادر به فراهم آوردن شرایط مناسب در مخلوط جهت تحمل بارهای ترافیکی تردد امروزی نیست استفاده از افزودنی‌های اصلاح‌کننده خواص قیر امری ضروری است. در پی اعمال بارهای ترافیکی سنگین و محورهای متنوع امروزی، ضرورت اصلاح خواص

۲- پیشینه تحقیق

نواقص و ضعف‌های مربوط به قیرهای خالص تولید شده در پالایشگاه‌ها، منجر به بروز خرابی‌های زود هنگام در روسازی‌های آسفالتی می‌شود. از مواد افزودنی متنوعی در اصلاح رفتار قیر استفاده شده است که از جمله آنها انواع پلیمرها هستند.

روش‌های اصلاح خواص قیر

به طور کلی روش‌های اصلاح خواص قیر را می‌توان به دو روش فیزیکی و شیمیایی طبقه بندی نمود.

روش‌های شیمیایی

مواد شیمیایی برای ایجاد تغییر در ساختمان شیمیایی و در نتیجه خواص و رفتار فیزیکی قیر به کار برده می‌شوند.

روش‌های فیزیکی

در این روش هیچ پیوند شیمیایی بین ماده اصلاح کننده و قیر ایجاد نمی‌شود، بلکه با اثرات فیزیکی باعث تغییر و اصلاح رفتار قیر می‌گردد. یکی از افزودنی‌ها در زمینه بهبود خواص قیرها اصلاح کننده‌های پلیمری است. (زیاری، ابطحی و خوراسگانی، ۱۳۸۷)

جدول ۱. انواع پلیمرها (زیاری، ابطحی و خوراسگانی، ۱۳۸۷)

مثال	اصلاح کننده‌های پلیمری
	۱- پلاستیک‌ها
رزینهای اپوکسی و پلی‌اورتان	پلیمرهای گرماسخت
پلی اتیلن، پلی پروپیلن و کوپلیمرهای اتیلن، EMA, EVA, EA	پلیمرهای گرمانرم
کوپلیمرهای استایرن (SB, SBR)	۲- الاستومرها
کوپلیمرهای استایرن (SEBS, SIS, SBS)	۳- ترموپلاستیک الاستومرها
الیاف پلی استر	۴- الیاف مصنوعی
لاستیکهای بازیافتی	۵- لاستیکهای بازیافتی

و گودافتادگی مسیر چرخ‌ها در روسازی آسفالتی را افزایش دهند. اتیلن وینیل استات از این دسته پلیمری بوده که در ایالات متحده نیز رواج بیشتری داشته است. (عامری و همکاران، ۱۳۹۷). قیرهای استحصالی از نفت خام و یا قیر طبیعی که سالیان دراز عمدتاً به عنوان ماده چسباننده در ساخت جاده‌ها و یا دیگر مصارف عایق کاری و پوششی بکار می‌رود، هیچ گاه از یک سری خواص فیزیکی و مکانیکی کاملاً رضایت بخش برخوردار نبوده و با توجه به خواص فیزیکی و مکانیکی محدود، از قابلیت کاربردی محدود و زمان سرویس‌دهی مشخص برخوردار است. از این رو محققان همواره تلاش داشته‌اند که به نحوی خواص این سنگین‌ترین برش نفتی را در جهت مطلوب تغییر دهند. اصلاح خواص قیر باعث بالا رفتن کیفیت آن و افزایش عمر سرویس‌دهی پوشش گردیده و در نتیجه هزینه‌های نگهداری و تکرار پوشش به نحو چشمگیری کاسته خواهد شد.

بطور کلی محدودیت‌های خواص قیرهای معمول موجود را به شرح زیر می‌توان عنوان نمود:

- در دمای بالا و بارگذاری طولانی مدت امکان جاری شدن قیر و قیرزدگی و تغییر شکل دائم و شیارافتادگی وجود دارد.

- در دماهای پایین و بارگذاری طولانی مدت، تحت اثر تنش‌های حرارتی امکان بروز ترک در مخلوط آسفالتی وجود دارد.

- در دماهای پایین و بارگذاری کوتاه مدت قیر شکننده شده و امکان ایجاد ترکهای مکانیکی به وجود می‌آید.

- عدم امکان استفاده در برخی از مخلوط‌های آسفالتی نظیر آسفالت متخلخل و یا آسفالت ماستیک.

- عدم امکان استفاده در روکش‌های نازک که دارای کیفیت و دوام کافی نمی‌باشند.

این محدودیت‌ها باعث گردید که در زمینه اصلاح رفتار قیر و در نتیجه اصلاح عملکرد مخلوط‌های آسفالتی گام‌هایی برداشته شود. هدف نهایی در به کارگیری مواد افزودنی، بهبود در عملکرد روسازی‌هاست. کارکرد بهتر روسازی باعث پایین آمدن مخارج تعمیرات در طی عمر آن می‌شود. (زیاری، ابطحی و خوراسگانی، ۱۳۸۷).

هدف از استفاده از افزودنی‌ها بهبود خواص و یا عملکرد قیر حاوی افزودنی و یا مخلوط آسفالتی تولید شده است. از میان افزودنی‌های مورد استفاده در قیر پلیمرها به عنوان مهم‌ترین خانواده اصلاح‌کننده مخلوط آسفالتی شناخته می‌شوند که با به کارگیری این مواد عملکرد و کارایی قیر و مخلوط آسفالتی بهبود می‌یابد. (لواندوسکی، ۱۹۹۴) سه دسته کلی پلیمر شامل ترموپلاستیک الاستومرها، پلاستومرها و پلیمرهای واکنش‌پذیر برای اصلاح خصوصیات قیر وجود دارد که هر کدام از آن‌ها اثر ویژه‌ای بر روی خصوصیات قیر دارند. ترموپلاستیک الاستومرها خاصیت بازیابی تغییر شکل‌ها بعد از بارگذاری را افزایش و دامنه دمایی عملکرد قیر را گسترش می‌دهند. در طرف دیگر پلاستومرها و پلیمرهای واکنش‌پذیر قیر را سخت‌تر و در نتیجه تغییر شکل در اثر بارگذاری را کاهش می‌دهند. در حالت کلی خصوصیات قیرهای اصلاح شده علاوه بر نوع پلیمر مصرفی به درصد استفاده‌ی آن در قیر نیز وابسته است. (گاما و همکاران، ۲۰۱۶). در پژوهشی عملکرد آسفالت متخلخل اصلاح شده با دو نوع پلیمر از دسته الاستومرها و پلاستومرها (SBR و EVA) مورد بررسی قرار گرفت. جهت ارزیابی خصوصیات مخلوط آسفالتی متخلخل آزمایش‌های مدول برجهدگی، مقاومت کششی غیر مستقیم و آزمایش شیار جای چرخ انجام گرفت. SBR از خانواده الاستومرها است که افزایش شکل‌پذیری، بهبود بازیابی الاستیک، افزایش ویسکوزیته و همچنین بهبود انسجام و چسبندگی در قیر، از مزایای آن است. پلیمر SBR باعث کاهش درجه نفوذ و افزایش نقطه نرمی می‌شود، که منجر به افزایش الاستیسیته و سیالیت قیر در دمای بالا می‌گردد. همچنین استحکام، روانی و مقاومت شیارشدگی مخلوط آسفالتی با افزودن SBR افزایش پیدا می‌کند. پلیمر EVA از دسته پلاستومرها بوده و با ایجاد یک ساختار سخت و سه بعدی در قیر منجر به افزایش مقاومت قیر در برابر تغییر شکل می‌گردد. (عامری و وامق، ۱۳۹۸). نتایج آزمایش‌های قیر نشان می‌دهد سختی و ویسکوزیته و انعطاف‌پذیری قیر با افزودن پلیمرها به قیر افزایش می‌یابد که منجر به بهبود عملکرد قیر می‌گردد. همچنین نتایج آزمایش‌های مخلوط آسفالتی نیز نشانگر افزایش انسجام، پیوستگی و چسبندگی در مخلوط‌های آسفالتی متخلخل نسبت به نمونه شاهد است که منجر به افزایش مقاومت در برابر رطوبت و کاهش شیارشدگی می‌گردد. اصلاح قیر به وسیله پلیمرها موجب

در نهایت پلیمر به عنوان یک جایگزین شونده قیر به حساب می‌آید. بطور کلی پلیمرهای مورد استفاده در صنعت راهسازی به چهار گروه الاستومرها (لاستیک‌ها)، پلیمرهای گرمانرم (ترموپلاستیک‌ها)، پلیمرهای گرماسخت (ترموست‌ها) و ترموپلاستیک الاستومرها تقسیم می‌شوند. جزء مهم و تعیین‌کننده ساختمان یک راه آسفالتی قیر است و با آگاهی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی قیر امکان شناخت رفتار صحیح و در صورت لزوم اصلاح آن به کمک افزودنی‌ها فراهم می‌شود. به دلیل خصوصیات جالب این ماده و همچنین ارزانی و فراوانی آن بیشتر روسازی‌های اجرا شده و در دست طراحی در کشور ما از نوع بتن آسفالتی است. بخش مهمی از پژوهش‌های صورت گرفته در جهان پیرامون راه معطوف به جز قیر است. زیرا این جز علی‌رغم درصد وزنی کم (۴ تا ۶ درصد) در قوام و استحکام پوشش جاده در مقابل عوامل فرسایشی نقش بسیار مهمی دارد و هرگونه بهبود خواص قیر در نهایت به اصلاح پوشش راه خواهد انجامید. پلیمرها مهم‌ترین خانواده اصلاح‌کننده قیرند و بسته به نوع آنها آثار مثبتی روی خواص و عملکرد دمای بالا و پایین قیر مانند مقاومت در برابر شیاردار شدن و ترک‌های دمایی (انقباضی) دارند. پلیمرها حساسیت گرمایی قیر را به ویژه در دمای بالا که قیر جاری می‌شود کاهش می‌دهند تا قیر دیرتر روان شود. همچنین این مواد مقاومت مخلوط‌های آسفالتی را در برابر خستگی بالا برده و چسبندگی قیر به مصالح را افزایش می‌دهند. یک قیر ایده‌آل باید در دمای معمولی رفتاری ثابت داشته باشد و در دمای اختلاط به ماده‌ای بسیار روان تبدیل شود. یک قیر اصلاح نشده رفتار ایده‌آل را نشان نمی‌دهد و در برابر تغییرات دما دچار تغییرات پیوسته می‌شود. استفاده از برخی پلیمرها بهبود شایانی در رفتار ویسکوالاستیک قیر پدید می‌آورد. این مواد خاصیت کشسانی قیر را در دماهای بالاتر حفظ می‌کنند. لازمه تغییرات یاد شده پدید آمدن یک شبکه پلیمری در داخل قیر است. یعنی تا زمانیکه این شبکه به وجود نیامده باشد در خصوصیات قیر بهبودی مشاهده نمی‌شود. باید توجه داشت که کارایی پلیمر به مقدار زیادی به وسیله مقدار آسفالتن در قیر تحت تأثیر قرار می‌گیرد. همچنین با وجود تعداد پلیمرهای موجود تعداد نسبتاً کمی از آنها برای اصلاح قیر مناسبند. (صدرالدینی، یوسفی، کاوسی، ۱۳۸۱)

کاهش درجه نفوذ و افزایش سختی می‌گردد. که این تغییرات منجر به بهبود دوام و عملکرد بهتر نسبت به قیر خالص می‌گردد.

روش آزمایش	مقدار	خصوصیات / واحد
EVA		
ASTM D1505	۰٫۹۳۹	وزن مخصوص / (g/cm ³)
LG Method	۱۸	مقدار استایرن / (%)
ASTM D1238	۲/۵	شاخص ذوب / (gr/10min)
ASTM D2240	۸۵	سختی / (Shore A)
SBR		
ASTM D1646	۴۶ - ۵۸	Mooney viscosity @ 100 C (MU)
ASTM D5668	۰٫۷۵<	مواد فرار / (wt%)
ASTM D5667	۱/۵<	مقدار خاکستر / (wt%)
ASTM D5774	- ۷/۵	اسیدهای آلی / (wt%)
ASTM D5775	- ۲۴/۵	استایرن / (wt%)
ASTM D 412	۲۵>	مقاومت کششی / (kg/cm ²)

شکل ۱. مشخصات پلیمرهای مورد استفاده

(عامری و وامق، ۱۳۹۸)

نتایج بازیابی الاستیک حاکی از افزایش انعطاف‌پذیری قیرهای اصلاح شده است که می‌تواند منجر به کاهش تغییرشکل‌های پلاستیک، افزایش مقاومت در برابر شیار شدگی و خستگی شود. مقاومت مخلوط‌های اصلاح شده با پلیمرها در برابر شیارشدگی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا می‌کند.

براساس نتایج به دست آمده می‌توان عنوان کرد که پلیمرها با تغییراتی که در ساختار قیر به وجود می‌آورند موجب بهبود خصوصیات فیزیکی و مکانیکی از جمله چسبندگی، سختی و انعطاف‌پذیری قیر می‌گردند. (عامری و وامق، ۲۰۱۸)

یکی از خرابی‌های متداول در مخلوط‌های آسفالتی ناشی از تأثیر تخریبی رطوبت بر پیوستگی قیر و چسبندگی قیر-سنگدانه است که خرابی رطوبتی نام دارد. روشهای مختلفی برای بهبود چسبندگی و کاهش حساسیت رطوبتی وجود دارد که یکی از متداول‌ترین آنها اصلاح قیر با مواد مناسب است. خرابی رطوبتی، جابجایی قیر از روی سطح سنگدانه یا شکست در غشای قیر است. رطوبت علاوه بر آنکه باعث ایجاد خرابی رطوبتی می‌شود باعث شکل‌گیری سایر خرابی‌ها مانند خستگی، شیارشدگی، قیرزدگی و کناررفتگی نیز می‌شود. SBR خانواده‌ای از لاستیک‌های مصنوعی را شامل می‌شود که از استایرن و بوتادین تشکیل شده‌اند. این مواد مقاومت مناسبی در مقابل ساییدگی و پیرشدگی را دارا هستند. پلیمر SBR به عنوان یک پلیمر متداول با کارایی‌های زیاد و بالا تعریف می‌شود و در دنیا پرمصرف‌ترین لاستیک به حساب

می‌آید که به علت دارا بودن مواد اولیه تولید ارزان و فراوان دارای قیمت مناسبی است و به همین دلیل بالاترین حجم تولید را نیز در صنعت لاستیک به خود اختصاص داده است. در پژوهشی برای اصلاح قیر از ماده پلیمری SBR به عنوان ماده اصلاح‌کننده‌ی ضد عریان شدگی قیر استفاده شده است. برای تولید قیرهای اصلاح شده ابتدا قیر پایه تا دمای ۱۶۰ درجه سانتیگراد گرم شده و سپس ماده افزودنی در درصد مورد نظر (۲ و ۴ درصد جرم قیر) به آن اضافه شد. عمل اختلاط در میکسر با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه و به مدت ۱۵ دقیقه انجام شد. قیر پایه نیز در دما و زمان مشابه در میکسر قرار داده می‌شود تا تأثیر پیرشدگی مشابه با قیرهای اصلاح شده را تجربه کند. آزمایش بارگذاری تکراری برای تعیین مدول مخلوط‌های آسفالتی در شرایط مرطوب و خشک استفاده شد. درصد قیر بهینه در مورد نمونه‌های ساخته شده با سنگدانه‌های سنگ آهک و گرانیتی به ترتیب ۵٫۸ و ۵٫۵ بوده است. برای ترکیب‌های مختلف مخلوط‌های آسفالتی آزمایش بارگذاری تکراری در شرایط خشک و مرطوب انجام شده و مدول سختی مخلوط‌های آسفالتی در سیکل‌های مختلف بدست آمده است. نتایج نشان داد که استفاده از پلیمر SBR باعث شده است تا مقاومت مخلوط‌های آسفالتی در برابر خرابی رطوبتی به ویژه در نمونه‌های ساخته شده با سنگدانه‌های گرانیتی بهبود یابد. (حامدی، ۱۳۹۷)

استایرن بوتادین استایرن (SBS) دارای خصوصیاتی از دو دسته پلیمری (الاستیک و پلاستومرها) بوده که توانایی بهبود عملکرد دینامیک آسفالت در برابر بارهای اعمالی را دارد. با این حال سازگاری ضعیف این پلیمر در قیر و در نتیجه ناپایداری انبارداری قیر اصلاح شده با SBS مانعی برای استفاده از آن در روسازی راه‌ها است. (وانگ و ژانگ، ۲۰۱۳)

پلیمر SBR از کوپلیمریزاسیون استایرن و بوتادین تولید می‌شود. مونومر نرم بوتادین در الاستیسیته شرکت می‌کند و قیر را منعطف‌تر می‌کند. در حالیکه مونومر سخت استایرن سختی و مقاومت برای قیر به همراه می‌آورد و نقطه نرمی را افزایش می‌دهد. وجود مونومر استایرن در SBR باعث بهبود سازگاری این پلیمر با پلاستومرها و افزایش برهم کنش بین دو فاز و اختلاط آن‌ها می‌شود. (رابینسون، ۲۰۰۵ و راسمان، ۲۰۰۷).

انجام تحقیقات فراوان و کسب تجارب علمی بسیار، خصوصاً در خلال ۳۰ سال گذشته موجب پیشرفت‌های مهم و

درصد PET مقدار ویسکوزیته قیر اصلاح شده نسبت به حالت عادی در دمای ۱۳۵ درجه را تا دو برابر افزایش می‌دهد.

استفاده از اصلاح کننده SBS

برای آب و هوای گرم بعلت خاصیت ویسکوز قیر باید از قیرهای سخت با درجه نفوذ پایین و با کندروانی بیشتر و قیر غلیظ استفاده نمود و عملاً برای آب و هوای گرم از قیر ۶۰/۷۰ و برای آب و هوای بسیار گرم از قیر ۴۰/۵۰ استفاده می‌شود. عموماً با وجود خاصیت ویسکوز، قیر تحت بارهای سنگین و افزایش دما در طول تابستان می‌تواند نرم شده و در نتیجه سختی آن پایین آید. برای مقابله با این دیده‌ها می‌توان با افزودن اصلاح کننده‌ها نظیر سولفور و پلیمرها به قیر که خاصیت الاستیکی دارند قیر را اصلاح کرد و در نتیجه ترکیب بتن آسفالتی نیز به تبع آن اصلاح شده و کارایی بهتری در مدت زمان بهره برداری خواهد داشت. در یک مطالعه خاص در این خصوص جهت اصلاح قیر و بهبود و عملکرد مناسب بتن آسفالتی گرم تحت آب و هوای گرم از اصلاح کننده پلیمری SBS برای قیر ۶۰/۷۰ مورد استفاده قرار گرفته است.

آزمایشات نشان داد که ضریب اثر شکست با استفاده از SBS در مقایسه با حالت عادی با افزایش دما ترقی میکند. به قسمی که ترکیبهای بتن آسفالتی اصلاح شده با SBS اثر بار بهتری در حدود ۱/۲ تا ۲/۱ برابر در مقابل ترک های ابتدایی نسبت به ترکهای بتن آسفالتی معمولی را دارا هستند. همچنین مقدار مدول ارتجاعی با افزایش دما از ۳۰ تا ۴۰ درجه سانتیگراد همراه با کاهش است. بدیهی است مقدار استقامت مارشال نیز با افزایش دما سیر نزولی دارد. ولی با استفاده از SBS جهت اصلاح قیر مقدار مدول ارتجاعی در جهت افزایش دما ضمن کاهش با بهبود همراه است. بقسمی که سختی مطلوب‌تری نسبت به بتن آسفالتی غیر اصلاح شده را دارا است. همچنین در این خصوص مقدار استقامت مارشال نیز به مقدار ۲۵ درصد با بهبودی نسبی همراه است. مشاهده شد که تغییر شکل‌های افقی و قائم عامل اصلی برای ترک‌های خستگی و اثر چرخ و شیار برای ترکیبهای بتن آسفالتی به شمار می‌آید. لذا با افزایش مقاومت تغییر شکل پلاستیک، طول عمر خستگی و مقاومت اثر چرخ نیز با افزایش قابل توجهی مواجه خواهد گردید.

گسترده کنونی در استفاده از آمیزه‌های قیر-پلیمر شده است. در حالیکه تا پیش از این، از پلی اتیلن، پلی پروپیلن، لاستیک طبیعی و سایر لاستیک‌های سنتزی دیگر استفاده می‌شد، ولی در حال حاضر ترموپلاستیک الاستومرها (TPE) با دامنه کاربرد وسیع تری به کار می‌روند.

استفاده از پروتیلن ترفنالات (PET)

برای آب و هوای سرد نظیر غرب ایران بعلت خاصیت الاستیسیته قیر در دماهای پایین و همچنین بارگذاری سنگین احتمال شکنندگی و ترک برداری آسفالت در چنین مناطقی محتمل است. بنابراین عملکرد خوب روسازی جاده‌ها به قیری نیاز دارد که در مقابل اثر چرخ (شیار) در دمای بالا و یا برای ترک در دماهای پایین از حساسیت کمتری برخوردار باشد و ضمناً می‌بایستی سنگریزه‌ها را به خوبی پوشش دهد. اضافه کردن مواد پلیمری به قیر، خواص رئولوژیکی قیر را بهبود داده و نهایتاً عملکرد روسازی جاده‌ها را برای دماهای پایین و بالا با افزایش مقاومت ترکیب در مقابل شکست خستگی و شکست دمایی (شکست در دمای پایین)، تغییر شکل دائمی و ماندگار را اصلاح کرده و عملکرد سرویس دهی را بهبود بخشید. استفاده از پلیمرها با افزایش مدول برشی و کاهش خاصیت پلاستیسیته در دماهای بالا و یا افزایش مقاومت در مقابل شکست حرارتی برای دماهای پایین و کاهش تغییر شکل دائمی و ماندگار زیر بارها و بخصوص در اثر چرخ و شیار کاربرد دارد که باعث چسبندگی بهتر سنگریزه‌ها می‌گردد. همچنین اصلاح کننده‌ها با بهبود چسبندگی و خواص قیرها هزینه چرخه عمر را کاهش داده و طرح بهینه، عملکرد روسازی جاده‌ها را افزایش می‌دهد. ولی با این وجود سعی می‌شود حتی الامکان از پلیمرهایی به عنوان اصلاح کننده‌های قیری استفاده شود که از درصد کمتری برای بهبود قیر استفاده شود و نهایتاً از نقطه نظر اقتصادی و محیط زیست مقرون به صرفه باشد که در این خصوص می‌توان از موادی نظیر خرده لاستیک‌های تایرهای پلیمری مانند پروتیلن ترفنالات (PET) به عنوان راه حلی برای رفع مشکل مواد زائد و برای اصلاح کیفیت روسازی بهره‌مند شد. در آزمایشی از PET به مقدار ۲،۴،۶،۸ و ۱۰ درصد برای قیر با درجه نفوذ ۸۵/۱۰۰ استفاده شد و نشان داده شد با ازدیاد PET مقدار درجه نفوذ با کاهش روبرو بوده و قیر سختتر و سفتتر می‌گردد. همچنین نقطه نرمی قیر و مقدار کندروانی با افزایش مواجه میشود. به طوریکه با مصرف ۱۰

عمر خستگی را به میزان قابل توجهی نسبت به نمونه فاقد افزودنی افزایش دهد. در پژوهشی از آمیزه دو پلیمر پلاستومر پلی پروپیلن (PP) و الاستومر استایرن بوتادین رابر (SBR) به مقداری برابر استفاده شد. نتایج آزمایش مدول برجهنگی نشان داد که آمیخته‌های پلیمری نیز می‌توانند همچون SBS موجب افزایش مدول برجهنگی مخلوط‌های آسفالتی گردند. آزمون خستگی نشان داد که آمیخته‌های پلیمری می‌توانند موجب بهبود خستگی مخلوط‌های آسفالتی گردند. هم‌پوشانی خواص دو پلیمر PP و SBR توانسته در بهبود ترک‌های خستگی بهتر از پلیمر SBS عمل نماید. آمیخته SBR/PP می‌تواند موجب بهبود خواص دمای کم گردد و جایگزین مناسبی برای پلیمر گران قیمت SBS است. (عامری و همکاران، ۱۳۹۷). قیرهای اصلاح شده با پودر لاستیک خواص منحصر به فردی دارند. زیرا آنها از یک فاز مایع و ذرات متورم شونده تشکیل می‌شوند. ماهیت فرایند واکنش بین قیر و پودر لاستیک بطور کامل شناخته شده نیست. دو مکانیسم اصلی متورم شدن و تخریب، خصوصیات قیر را تحت تاثیر قرار می‌دهند. اصلاح کننده‌ی پودر لاستیک در طی تورم و انتشار در قیر در زمان واپلیمر شدن جذب قیر می‌شوند. این رفتار فاز مایع را سخت‌تر و کشسان‌تر می‌سازد. متورم شدن ذرات لاستیک شبکه قیر را به وسیله کاهش فاصله بین ذرات تحت تأثیر قرار می‌دهد، کمبود گرانروی قیر را از بین برده و قیر را سخت‌تر می‌کند. در پژوهشی نشان داده شد که اضافه کردن پودر لاستیک در قیر به دلیل افزایش گرانروی قیر موجب افزایش نقطه نرمی، شاخص نفوذپذیری و درجه کارایی می‌شود. ولی درجه نفوذ و نقطه شکست فراس قیر را کاهش می‌دهد. که به معنای بهبود خواص قیر در شرایط آب و هوایی سرد و گرم با استفاده از پودر بازیابی شده است. در واقع در این پژوهش یک هدف فنی (بهبود خواص قیر) به صورت همزمان با یک هدف زیست محیطی (پرهیز از دفن کردن لاستیک‌های فرسوده در طبیعت) حاصل شده‌اند. اضافه کردن پلی اتیلن به قیر به دلیل افزایش سختی قیر موجب افزایش نقطه نرمی، نقطه شکست فراس و شاخص نفوذپذیری قیر می‌شود ولی درجه نفوذ قیر را کاهش می‌دهد که معنای آن افزایش کارایی قیر حاصل در جلوگیری از شیاردار شدن پوشش‌های آسفالتی در جاده‌ها و خیابان‌ها است. اضافه کردن روغن HVS به قیر به دلیل افزایش نرمی قیر موجب افزایش

بررسی نتایج مکانیسم شکست نشان داد شروع ترک‌های ابتدایی و مدت زمان انتشار برای ترکیب اصلاحی نسبت به قیر عادی از بهبود نسبی برخوردار است. در مناطق کویری عموماً اختلاف دما در زمستان و تابستان و حتی در شب و روز به ۴۰ الی ۵۰ درجه سانتیگراد بالغ می‌شود. لذا در چنین خاصیت آب و هوایی و با توجه به خاصیت ویسکوالاستیسیته قیر و همچنین افت وزنی قیر در اثر تبخیر مواد روغنی آن تحت دمای بسیار بالا و علی‌الخصوص به علت خاصیت حرارتی قیر که برای آب و هوای کویری با اختلاف دمای بسیار زیاد شب و روز، این تغییرات دمایی می‌تواند بر درجه نفوذ قیر و کندروانی قیر تاثیر بگذارد و این تغییرات به نوبه خود می‌تواند بر دوام و پایداری مخلوط‌های بتن آسفالتی جاده‌های انعطاف‌پذیر تاثیرگذار باشد. برای چنین شرایط بخصوصی استفاده از اصلاح کننده‌های مناسب قیری نظیر SBS ضمن بهبود عملکرد روسازی آسفالتی، افزایش طول عمر خستگی و کاهش حساسیت حرارتی قیر و کاهش تغییر شکل ماندگار بدنبال خواهد داشت. طبق آزمایشات انجام یافته برای مدول ارتجاعی و طول عمر خستگی، استفاده از SBS به مقدار ۶ درصد حساسیت حرارتی قیر را به مقدار ۲/۷ الی ۳ برابر بهبود می‌بخشد. این بهبود کیفیت و عملکرد روسازی را می‌توان چنین تعبیر کرد که قیر تحت دماهای بسیار بالا حالت ویسکوز داشته و در نتیجه استفاده از SBS مقدار مدول ارتجاعی را افزایش داده و بر سختی آن می‌افزاید و نهایتاً ترکیب آسفالتی را اصلاح کرده و بر عملکرد و کیفیت آن جاده‌های انعطاف‌پذیر آسفالتی تاثیر می‌گذارد. (کی‌منش و شاکر، ۱۳۹۴). نتایج رئولوژی استفاده از آمیخته اتیلن وینیل استات و پلی اتیلن سبک در قیر نشان داد که افزودن ترکیبی از این دو پلیمر، مدول برشی بالاتری نسبت به پلیمر گران قیمت SBS و EVA خالص دارد. همچنین میزان خاصیت الاستیک آمیخته در دماهای زیاد، افزایش می‌یابد و این نشان دهنده بهبود مقاومت شیارشدگی در دمای زیاد است. در تحقیقی از ترکیب دو پلیمر پلی استایرن و استایرن بوتادین رابر برای بهبود مقاومت خستگی استفاده شد. در این تحقیق این دو پلیمر به صورت مستقیم با قیر داغ مخلوط گردیدند. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار SBR در قیرهای اصلاح شده عمر خستگی مخلوط‌های آسفالتی افزایش یافته است. در حالت کلی ترکیب دو پلیمر پلاستومر و الاستومر در مخلوط توانسته است

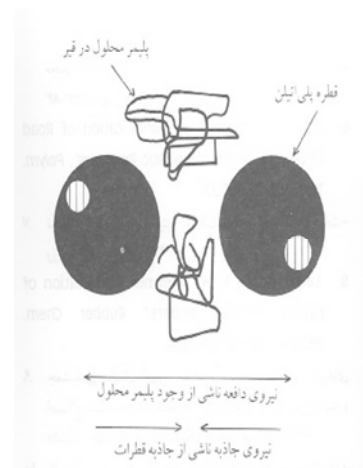
با توجه به نتایج گزارش شده می‌توان نتیجه گرفت که در اثر عمل اختلاط در دمای بالا برخی از مواد فرار و سبک قیر اولیه تبخیر می‌شوند و برخی دیگر تغییر ساختار می‌دهند. در نتیجه این عمل نقطه نرمی، نقطه شکست فراس و شاخص نفوذپذیری افزایش می‌یابد، ولی به دلیل سخت‌تر شدن قیر درجه نفوذ آن کاهش پیدا می‌کند. (صدرالدینی، یوسفی و کاووسی، ۱۳۸۱)

۵- نتیجه گیری

۱- نتایج استفاده از پلیمرها در مخلوط‌های آسفالتی

- دستیابی به مخلوط نرم‌تر در دماهای پایین بهره‌برداری و کاهش ترک خوردگی
- دستیابی به مخلوط سخت‌تر در دماهای بالا و کاهش تغییر شکل و خط افتادگی (شیاردار شدن)
- کاهش گرانروی در دماهای ساخت و اختلاط
- افزایش مقاومت و استحکام مخلوط
- بهبود مقاومت مخلوط در برابر سایش
- کاهش کنده شدن سنگدانه‌ها
- کاهش ترک‌های انقباضی روسازی
- بهبود تراکم و اجرا، تسریع در سخت و سفت شدن مخلوط‌های نرم
- بهبود مقاومت مخلوط در برابر خستگی
- امکان کاربرد سنگدانه‌های ضعیف در مخلوط‌های آسفالتی
- ایجاد لایه ضخیم‌تر قیر روی سنگدانه‌ها
- بهبود چسبندگی و کاهش عریان شدگی سنگدانه‌ها
- کاهش بیرون زدگی قیر
- کاهش ضخامت لایه رویه‌های آسفالتی
- کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری، بهبود کلی عملکرد روسازی‌ها
- افزایش قدرت باربری آسفالت
- افزایش مقاومت در برابر رطوبت
- کاهش پیرشدگی قیر و کاهش حساسیت حرارتی آسفالت
- افزایش مدول برجهندگی
- افزایش مقاومت خستگی آسفالت

درجه نفوذ می‌شود. ولی نقطه نرمی، نقطه شکست فراس و شاخص نفوذپذیری قیر را نسبت به قیر شاهد کاهش می‌دهد. در نتیجه، کارایی قیر در شرایط سرد بهبود می‌یابد. اثر دیگر روغن HVS روی آمیزه‌های قیر و پلیمر تهیه شده افزایش سازگاری و پایداری بیشتر این نوع آمیزه‌هاست. استفاده از هر سه اصلاح‌کننده بطور همزمان در قیر منجر به فرمولبندی می‌گردد که دارای خواص خوب در همه شرایط، پایداری و سازگاری است. استفاده از این نوع قیر در مناطق با آب و هوای کویری (گرم و سرد خشک) مطلوب به نظر می‌رسد. پایدار شدن آمیزه‌های چهارتایی شامل قیر، لاستیک، پلی اتیلن و روغن را می‌توان اینطور توجیه کرد که به دلیل انحلال‌پذیری و سازگاری خوب لاستیک با قیر، مولکول‌های لاستیک کاملاً در قیر حل می‌شوند. این در حالی است که قطرات پلی اتیلن با قیر ناسازگارند و تمایل زیادی به جدایی فاز دارند. در ابتدا قطرات پلی اتیلن کوچکند و نیروی شناوری وارد بر آنها بسیار کوچک است. پس از آنکه قطرات مختلف به یکدیگر می‌پیوندند حجم قطره نهایی بزرگ شده و نیروی شناوری وارد بر آن نیز بزرگ می‌شود. در نتیجه این عمل، قطرات بزرگ پلی اتیلن سریعاً به سطح بالایی قیر مهاجرت می‌کند و جدایی فاز روی می‌دهد. حال اگر پلیمر محلولی در قیر وجود داشته باشد به دلیل داشتن حجم هیدرودینامیکی زیاد بر اساس مکانیسم پایدارسازی تخلیه از نزدیک شدن بیش از حد قطرات پلی اتیلن جلوگیری می‌کند (شکل ۲) و در نتیجه سیستم پایدار می‌ماند. (صدرالدینی، یوسفی و کاووسی، ۱۳۸۱)



شکل ۲. چگونگی پایدار شدن قطرات پلی اتیلن در قیر به وسیله پلیمرهای محلول (صدرالدینی، یوسفی و کاووسی، ۱۳۸۱)

۲- مزایای اضافه کردن پودر لاستیک به قیر

را برطرف نماید. از طرفی قیمت زیاد برخی از پلیمرها به دلیل فرایند تولید و یا وارداتی بودن آنها موجب شده تا پژوهش‌ها تنها در مقیاس آزمایشگاهی اجرا شده و در صنعت راهسازی آن چنان که شایسته است مورد توجه قرار نگیرد. هم‌پوشانی خواص پلیمرها از طریق ترکیب آنها با یکدیگر می‌تواند یکی از راه‌های غلبه بر این معضل باشد. آمیخته پلیمری، ترکیبی از حداقل دو پلیمر بوده و از مهمترین دلایل آمیزه سازی پلیمری را می‌توان دستیابی به ترکیب پلیمری با صرفه، از طریق اختلاط با گونه‌ای ارزان‌تر نظیر پلیمرهای بازیافتی و تهیه مواد با خصوصیات بهتر نام برد.

بهبود مقاومت در برابر خستگی مخلوط‌های قیری، انعطاف بیشتر در دماهای پایین، کاهش سر و صدای ناشی از ترافیک، کاهش درصد ماسه در مخلوط، کاربرد مواد زاید و لاستیک‌های مستعمل اتومبیل‌ها (کاهش آلاینده‌های محیط زیست)، اصلاح ضریب کشسانی و برگشت کشسان، بهبود مقاومت مخلوط‌های قیری در برابر ضربه، کاهش آب پیمایی و آب افشانی، بهبود مقاومت لغزشی در طی دوره یخبندان جاده و کاهش هزینه‌های نمک پاشی و دیگر هزینه‌های نگهداری راه در زمستان و افزایش مقاومت در برابر یخ زدگی.

پیشنهادات

از آنجا که به کارگیری مواد پلیمری اولیه از نظر اقتصادی هزینه زیادی در برخواهد داشت و همچنین به جهت حفظ محیط زیست، استفاده از پلیمرهای ضایعاتی و بازیافتی برای اصلاح قیر در مخلوط‌های آسفالتی می‌تواند مورد بررسی و مطالعه بیشتری قرار گیرد.

۳- پایداری پلیمرها

پایداری پلیمرها در قیرهای اصلاح شده به هنگام انبارداری، گرم کردن و اختلاط سنگدانه با قیر یکی از عیوبی است که کاربرد پلیمرها را محدود ساخته است. با وجود اینکه تحقیقات زیادی در زمینه کاربرد پلیمر در آسفالت انجام گردیده است لیکن تاکنون هیچ پلیمری نتوانسته به طور کامل معایب آسفالت

۶- مراجع

-Ameri, M. and Vamegh M., (2018), "Rutting performance of road pavement asphalt binders modified by polymers", Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Construction Materials, pp.1–19. Doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.142.
-Gama, D. A., Rosa, J. M., De Melo, T. J. A., & Rodrigues, J. K. G., (2016), "Rheological studies of asphalt modified with elastomeric polymer", Construction and Building Materials, 106, pp.290–295.
-Lewandowski, L. H., (1994), "Polymer Modification of Paving Asphalt Binders", Rubber Chemistry and Technology, 67(3), pp.447–480. Doi.org/10.5254/1.3538685.
-Robinson, H., (2005), "Polymers in asphalt", iSmithers Rapra Publishing, pp.128.
-Rossmann, S., (2007), "Technical guideline: The use of modified binders in road construction", Pretoria, Asphalt Academy, Second Edition.
-Wang, S., Zhang, Y., (2013), "SBS/carbon black compounds give asphalts with improved high-temperature storage stability", Polym. Composites, 11(6), pp. 477-485.

- حامدی، غ.، (۱۳۹۷)، "بررسی تأثیر اصلاح قیر با پلیمر SBR بر حساسیت رطوبتی مخلوط آسفالتی گرم"، نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۰، شماره ۵، ص. ۸۷۶-۸۶۵.
-زیاری، ح. ابطحی، م. و خوراسگانی، الف.، (۱۳۸۷)، "معرفی انواع اصلاح کننده‌های قیر"، چهارمین همایش قیر و آسفالت ایران، تهران.
-صدرالدینی مهرجردی، م. یوسفی، ع. و کاوسی، الف.، (۱۳۸۱)، "بهبود خواص قیر با مواد پلیمری"، دو ماهنامه علوم و تکنولوژی پلیمر، شماره ۲، دوره ۱۵.
-عامری، م. و وامق، م.، (۱۳۹۸)، "بررسی آزمایشگاهی اثر پلیمر بر عملکرد قیر و مخلوط‌های آسفالتی متخلخل"، فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل و نقل، دوره ۱۶، شماره ۴، ص. ۱۷۸-۱۶۵.
-عامری، م. وامق، م. چاوشیان، ف. و میرایی مقدم، م.، (۱۳۹۷)، "بررسی اثر آمیخته پلیمری بر خستگی مخلوط‌های آسفالتی"، نشریه مهندسی زیرساخت‌های حمل و نقل، دوره ۴، شماره ۳، ص. ۱-۱۴.
-کی منش، م. و شاکر، س.، (۱۳۹۴)، "کتاب تکنولوژی و مواد روسازی"، تهران، انتشارات دانشگاه پیام نور.

Investigation the Effect of Polymer Additive on Bitumen Modification in Asphalt Mixtures

Mohammad Reza Tahmasbi, Assistant Professor, Higher Education Institute of Civil Engineering and Development, Hamedan, Iran.

Nastaran Omidinezhad, M.Sc., Grad., Institute of Civil Engineering and Development, Hamedan, Iran.

Mehdi Nikfarjam, M.Sc., Grad., Institute of Civil Engineering and Development, Hamedan, Iran.

E-mail: mr_tahmasbi33@yahoo.com

Received: February 2023- Accepted: May 2023

ABSTRACT

In recent years, polymer-modified bitumen has been used to produce asphalt mixtures with better resistance to grooves, fatigue cracks and heat cracks. Research in recent decades has shown that the use of polymers in asphalt mixtures improves their properties and delays breakdowns. The important role of pavement quality on the safety and comfort of road users and also reducing the costs of the operation period, has led researchers in the field of asphalt pavement to produce modified asphalt to increase its resistance and durability against traffic loads and various conditions. Defects in pure bitumen produced in refineries lead to premature failure of asphalt pavements. A variety of additives have been used to modify the behavior of bitumen, including a variety of polymers. Bitumen is one of the most important factors affecting the fatigue performance of asphalt mixtures. Polymer additives as modifiers of bitumen properties and finally asphalt mix have been associated with successful experiments and their basic performance is affected by the physical, chemical and rheological properties of bitumen.

Keywords: Polymer, Bitumen, Asphalt Mix