



www.cpjournals.com

نشریه عمران و پروژه
Civil & Project Journal (CPJ)

The effect of different polymers on bitumen and asphalt properties

Abbas Nilforoushan^۱, Hassan Divandari^{۲*}

^۱- PhD Student, Department of Civil Engineering, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran

^{۲*}- Department of Civil Engineering, Nowshahr Branch, Islamic Azad University, Nowshahr, Iran

Abstract

In recent years, polymer-modified bitumens have been used to produce asphalt mixtures with better corrosion resistance, 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, as well as reducing the costs of the operation period, has led researchers in the field of asphalt pavement to produce modified asphalt, to increase its strength and durability in Take action against traffic loads and various weather conditions. Deficiencies related to pure bitumen produced in refineries lead to premature failures in asphalt pavements. Various additives have been used to modify the behavior of bitumen, including a variety of polymers. In fact, polymers are among the bitumen modifying additives that are widely used in asphalt mixtures today. In this study, reviewing previous research, the need to modify the properties of bitumen will be explained. In the following, various methods of bitumen properties modification are introduced and then the types of bitumen polymer modifiers and the role of each of them in improving the properties of bitumen and asphalt mixtures will be explained.

Keywords:

Bitumen ,Polymer Additives,Asphalt Mixtures,Elastomers,Styrene Polymer ,Butadiene Styrene.



www.cpjournals.com

نشریه عمران و پروژه Civil & Project Journal (CPJ)

اثر پلیمرهای مختلف بر خصوصیات قیر و آسفالت

عباس نیلفروشان^۱، حسن دیوانداری^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری راه و ترابری، گروه عمران، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران

Abbas.nilforoushan@yahoo.com

۲* - گروه عمران، واحد نوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، نوشهر، ایران

divandari@iauns.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۲۵

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 می‌شود. نقش مهم کیفیت روسازی بر ایمنی و راحتی استفاده کنندگان از مسیر و همچنین کاهش هزینه‌های دوره‌ی بهره برداری، پژوهشگران حوزه‌ی 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 جمله‌ی آن‌ها انواع پلیمرها می‌باشند. در واقع، پلیمرها از جمله افزودنی‌های اصلاح کننده‌ی قیر هستند که امروزه به صورت گسترده در مخلوط‌های آسفالتی استفاده می‌شوند. در این پژوهش، با مروری بر تحقیقات پیشین، ضرورت اصلاح خواص قیر شرح داده خواهد شد. در ادامه، انواع روش‌های اصلاح ویژگی‌های قیر معرفی می‌شود و سپس به توضیح در مورد انواع اصلاح کننده‌های پلیمری قیر و نقش هر یک از آن‌ها در ارتقای خصوصیات قیر و مخلوط‌های آسفالتی پرداخته خواهد شد.

کلمات کلیدی: قیر، افزودنی‌های پلیمری، مخلوط‌های آسفالتی، الاستومرها، پلیمر استایرن بوتادین استایرن.

۱- مقدمه

مخلوط آسفالتی از سنگدانه، قیر و فضای خالی تشکیل شده است که تقریباً ۹۶-۹۴ درصد مخلوط آسفالتی از سنگدانه‌ها و ۶-۴ درصد آن را قیر تشکیل می‌دهد. اگر چه مقدار قیر در مخلوط آسفالتی، بسیار کم‌تر از سنگدانه‌هاست، ولی قیمت قیر، چندین برابر قیمت سنگدانه‌ها در مخلوط آسفالتی بوده و همچنان در حال افزایش قیمت می‌باشد. افزایش قیمت جهانی قیر، گاهی باعث ساخت روسازی‌های آسفالتی با کیفیت پایین و خرابی زودرس آن‌ها شده است. بنابراین متخصصین و مهندسیین راهسازی و صنعت روسازی به دنبال استفاده از روش‌ها و تجهیزات نوین برای ساخت روسازی هستند که به دنبال آن، بخش عمده‌ای از تحقیقات انجام شده، در مورد قیر است [۱].

دوام، پایداری و عملکرد مخلوط آسفالتی، به میزان قابل توجهی به خواص فیزیکی و شیمیایی قیر مورد استفاده بستگی دارد. در حال حاضر در کشور، دو نوع قیر ۷۰-۶۰ و ۱۰۰-۸۵ به طور عمده در احداث روسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین به منظور ساخت روسازی بادوام، لازم است از یک قیر متناسب با شرایط آب و هوای منطقه استفاده شود. برای مناطقی با آب و هوای گرم و خشک مانند جنوب کشور، نیاز به قیری با درجه‌ی نفوذ کم‌تر می‌باشد که در صورت استفاده از قیر نامناسب، عمر روسازی کاهش می‌یابد و باعث ایجاد برخی از مشکلات و خرابی‌های زودرس و افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌شود [۲].

قیرهای خالص پالایشگاهی به طور گسترده به عنوان چسباننده در مخلوط‌های آسفالتی استفاده می‌شوند. قیر از نظر حجم و وزن، بخش کوچکی از مخلوط‌های آسفالتی را تشکیل می‌دهد؛ اما به مقدار زیادی بر روی عملکرد آن‌ها در لایه‌های روسازی مؤثر است. قیر دارای رفتار رئولوژیکی پیچیده بوده و رفتار آن، بر اساس دما و زمان بارگذاری، از ویسکوز تا الاستیک تغییر می‌کند. در مرحله‌ی ساخت، قیر باید به اندازه‌ی کافی روان باشد تا بتواند پمپ شده و با مصالح سنگی مخلوط شود و آن‌ها را اندود کند، و در مرحله‌ی بهره برداری باید به اندازه‌ی کافی سخت باشد تا در مقابل تغییر شکل مقاومت کند و برای جلوگیری از ترک‌خوردگی نیز خیلی سخت نباشد. بنابراین، خصوصیات رئولوژیکی قیر به دلیل ارتباط مستقیم با عملکرد آسفالت در روسازی دارای اهمیت زیادی است. برای مدت زیادی قیرهای خالص معمولی تولیدی در پالایشگاه عملکرد رضایت‌بخشی داشته‌اند. اما، به دلیل افزایش بارهای ترافیک در ترکیب با تأثیرات عوامل محیطی، این قیرها همواره عملکردی مطابق انتظار ندارند و خرابی‌های زودرس در لایه‌های آسفالتی ساخته شده با آن‌ها رخ می‌دهد. برای فایق آمدن بر مشکلات خرابی زودرس در آسفالت، در سال‌های اخیر روش‌های مختلف و طیف گسترده‌ای از مواد اصلاح‌کننده و افزودنی به منظور بهبود خواص و رفتار قیر مورد بررسی قرار گرفته است که می‌توان به موادی مانند گوگرد، خرده لاستیک، الیاف و به خصوص انواع مواد پلیمری و در سال‌های اخیر به نانو ذرات اشاره نمود که میزان و نوع تأثیرات این مواد کاملاً متفاوت بوده است. تغییر شکل‌های دائمی یا شیارشدگی همیشه یکی از نگرانی‌های مهم و اساسی مهندسیین طراح روسازی‌های آسفالتی به شمار آمده است. رفتار ویسکوز قیر در درجه‌ی حرارت بالا، افزایش بارهای ترافیکی و تراکم ترافیکی از مهم‌ترین دلایل بروز شیارشدگی به شمار می‌روند و با وجود این که گسترش این تغییر شکل‌ها تدریجی است ولی در طی فصل گرم و بارگذاری سنگین، این خرابی‌ها به مرحله بحرانی خواهند رسید [۳].

امروزه استفاده از مواد طبیعی و پلیمری جهت اصلاح خواص قیر و مخلوط‌های آسفالتی، مورد توجه متخصصان صنعت روسازی قرار گرفته است. به طوری که به کارگیری آن‌ها در روسازی باعث افزایش قابل ملاحظه‌ی عمر راه‌ها و در نتیجه افزایش عمر بهره برداری از روسازی اصلاحی شده است. از جمله مواد طبیعی و پلیمرهایی که در اصلاح قیر به طور معمول مورد استفاده قرار می‌گیرد عبارتند از اصلاح‌کننده‌هایی مانند SBS^۱، SBR^۲، EVA^۳، پودر لاستیک^۴، پلی اتیلن^۵ و قیرهای طبیعی [۴].

مزایای استفاده از پلیمرها برای بهبود خواص مهندسی قیر و مخلوط‌های آسفالتی به خوبی شناخته شده است. هدف اصلی استفاده از پلیمرها، افزایش مقاومت آسفالت در برابر تغییر شکل‌های ماندگار (شیارشده‌گی)، خستگی و ترک‌های حرارتی است. با افزایش

^۱ Styrene-Butadiene-Styrene (SBS)^۲ Styrene-Butadiene-Rubber (SBR)^۳ Ethylene Vinyl Acetate (EVA)^۴ Crumb Rubber (CR)^۵ Polyethylene (PE)

چشمگیر حجم ترافیک و وزن کامیون‌ها، روسازی‌های ساخته شده با مخلوط‌های آسفالتی متداول، عملکرد خوبی از خود نشان نمی‌دهند و اغلب پیش از طول عمر طراحی مورد انتظار، دچار خرابی‌های سازه‌ای و عملکردی می‌شوند. برای رفع این مشکل، می‌توان از مخلوط‌های آسفالتی اصلاح شده با پلیمر استفاده کرد. پلیمرها مهم‌ترین خانواده‌ی اصلاح‌کننده‌های قیر هستند و بسته به نوع آن‌ها آثار مثبتی روی خواص و عملکرد دمای بالا و پایین قیر مانند مقاومت در برابر شیارشدگی و ترک‌های گرمایی دارند. پلیمرها حساسیت گرمایی قیر را، به ویژه در دمای بالا که قیر جاری می‌شود، کاهش می‌دهند تا قیر دیرتر روان شود. 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 نشان نمی‌دهد و در برابر تغییرات دما دچار تغییرات پیوسته می‌شود. تحقیقات انجام شده توسط مؤسسه‌ی آسفالت آمریکا نشان داده است که مخلوط‌های آسفالتی اصلاح شده با پلیمر در مقایسه با مخلوط‌های آسفالتی رایج، ترک خوردگی را تا ۵۰ درصد و شیارشدگی را تا حدود ۶۰ درصد کاهش می‌دهند. مخلوط‌های آسفالتی اصلاح شده با پلیمر می‌توانند عمر سرویس‌دهی روسازی را تا ۲۵ درصد افزایش (بین ۲ تا ۱۰ سال عمر بیش‌تر) داده و در نتیجه هزینه‌ها و شمار دفعات عملیات تعمیر و نگهداری و نوسازی راه کاهش می‌یابد [۵].

با توجه به این که خصوصیات قیرهای اصلاح شده با پلیمر به ویژگی‌ها و میزان پلیمر، نوع قیر پایه و فرایند اتصال در شبکه پلیمری بستگی دارد [۶]، هدف از تحقیق حاضر، بررسی و ارزیابی خواص عملکردی قیر و آسفالت اصلاح شده با پلیمرهای مختلف در مقایسه با مخلوط‌های تولید شده با قیر معمولی است.

۲- ضرورت اصلاح قیر

همان طور که گفته شد، جزء مهم و تعیین‌کننده‌ی ساختمان یک راه آسفالتی، قیر است و تنها 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 فراوانی و در دسترس بودن آن، بیش‌تر روسازی‌های اجرا شده و در دست طراحی در کشور از نوع بتن آسفالتی است. بنابراین بخش مهمی از پژوهش‌های صورت گرفته در این بخش، معطوف به جزء قیر است. زیرا به رغم درصد وزنی کم قیر (۴ تا ۶ درصد)، در قوام و استحکام پوشش جاده در مقابل عوامل فرسایش نقش بسیار مهمی دارد و هر گونه بهبود خواص قیر در نهایت به اصلاح پوشش راه خواهد انجامید.

اصلاح‌کننده‌های قیر موادی هستند که یا از پیش به قیر افزوده شده یا در هنگام تهیه‌ی مخلوط‌های آسفالتی به واحد مخلوط‌کننده‌ی کارخانه‌ی آسفالت اضافه می‌شوند تا خواص و عملکرد قیر دارای افزودنی یا مخلوط آسفالتی ساخته شده با آن را بهبود بخشند. عمده‌ی ضعف قیرها را می‌توان در مواردی مانند کم بودن خاصیت الاستیسیته، خواص مقاومت تنشی، محدودیت دامنه‌ی سرویس‌دهی از نظر دما (فاصله‌ی کم‌ترین دمای شکنندگی و بالاترین دمای نرمی قیر)، چسبندگی و ... برشمرد [۷].

هر چند قیرهای متعارف تولیدی در پالایشگاه‌ها پاسخگوی کارهای آسفالتی در شرایط معمولی است، و اگر این قیرها به طور مناسب برای کاربرد مورد نظر انتخاب و با رعایت کامل اصول مربوطه در تهیه‌ی مخلوط‌های آسفالتی مصرف شود، از خواص مکانیکی کافی برای بسیاری از شرایط آب و هوایی برخوردار خواهد بود، اما توجه مهندسان و طراحان به مسائل زیر باعث شده قیرهای معمولی تولید پالایشگاه‌ها محدودیت‌های قابلیت‌ی خود را در بیش‌تر زمینه‌ها نشان دهد. این محدودیت‌ها عبارتند از [۸]:

- جلوگیری از تغییر شکل‌های دائم رویه‌های آسفالتی در دمای بالا و قیرزدگی
- افزایش مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر خستگی
- افزایش مقاومت مخلوط‌های آسفالتی در برابر لخت‌شدگی مصالح سنگی و حساسیت‌های رطوبتی
- داشتن انعطاف‌پذیری مناسب در دماهای پایین و جلوگیری از ترک‌های دمای پایین

به طور کلی محدودیت‌های خواص قیرهای معمولی موجود را به شرح زیر می‌توان عنوان نمود [۹]:

- در دمای بالا و بارگذاری طولانی مدت، امکان جاری شدن قیر و قیرزدگی و تغییر شکل دائم و شیارشدگی 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.

محدودیت‌های قیر معمولی باعث شد که در زمینه‌ی اصلاح رفتار و در نتیجه اصلاح عملکرد مخلوط‌های آسفالتی گام‌هایی برداشته شود. در دهه‌های اخیر در این زمینه روش‌های مختلف و طیف گسترده‌ای از مواد اصلاح کننده و افزودنی به منظور بهبود خواص و رفتار قیر و در نتیجه بهبود عملکرد مخلوط‌های آسفالتی مورد بررسی و استفاده قرار گرفته که میزان و نوع تأثیرات این مواد در تغییرات رفتاری آسفالت کاملاً متفاوت بوده است.

پلیمر استایرن بوتادین استایرن (SBS) یکی از مهم‌ترین اصلاح کننده‌های پلیمری قیرها به شمار می‌آید که به طور گسترده و به منظور بهبود خواص قیر استفاده می‌شود. قیرهای اصلاح شده با این پلیمر حدود رواداری ویسکوزیته دمای اختلاط و دمای تراکم را ارضا می‌کند و در دمای خدمت‌دهی پایین نیز خاصیت الاستیسیته‌ی خود را حفظ می‌کند [۱۰].

قیرهایی که در ترکیبات آن‌ها میزان آروماتیک بیش‌تری وجود دارد، هنگام اصلاح با افزودنی SBS از پایداری بیش‌تری برخوردار بوده و الاستیسیته قیر اصلاح شده به خوبی حفظ می‌شود [۱۱]. اصلاح قیر با پلیمر SBS مورد بررسی پژوهشگران بسیاری قرار گرفته و به این نتیجه رسیدند که پلیمر SBS منجر به بهبود خواص رئولوژیکی قیر، افزایش نقطه‌ی نرمی و کاهش حساسیت حرارتی آن می‌شود و به طور کلی میزان پیرشدگی کوتاه مدت و بلند مدت قیرهای اصلاح شده با این پلیمر نیز کم‌تر از قیر پایه است.

به طور معمول در صنعت آسفالت استفاده از افزودنی‌های پلیمری با درصد‌های بین ۳ تا ۴/۵ درصد رواج بیش‌تری دارد. با این وجود در سال‌های اخیر افزایش درصد پلیمرها (بین ۵ تا ۱۵ درصد) به منظور اصلاح قیر مورد توجه برخی از محققان قرار گرفته است [۱۲]. نتایج تحقیقات نشان داده است که یکی از مؤثرترین راه‌ها به منظور حفظ خصوصیات فیزیکی قیر در برابر پیرشدگی افزایش درصد پلیمر است. همچنین در مقایسه با درصد‌های پایین، قیرهای اصلاح شده با بالاتر پلیمر عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند [۱۳]. جیاکومو و همکاران به این نتیجه رسیدند که اصلاح قیر با ۶ درصد SBS می‌تواند منجر به بهبود شرایط سخت شدگی قیر ناشی از پیرشدگی شود [۱۴].

ارزیابی خواص قیر و مخلوط‌های آسفالتی اصلاح شده با پلیمر، کانون توجه مطالعات بسیاری در زمینه‌ی روسازی بوده است. خدایی و مهرآرا در سال ۲۰۰۹ عملکرد شیارشدگی مخلوط‌های آسفالتی ساخته شده با قیرهای اصلاح شده حاوی مقادیر مختلف SBS را با استفاده از آزمایش خزش دینامیکی در دماهای ۴۰ و ۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد مورد آزمایش قرار دادند. در این پژوهش مشخص شد که استفاده از SBS به میزان پنج درصد در مقایسه با مقادیر ۴٪ و ۶٪، اثر بیش‌تری در بهبود خصوصیات مقاومتی مخلوط در برابر شیارشدگی دارد [۱۵]. مدرس در سال ۲۰۱۳ تأثیر پلیمر SBS بر روی خصوصیات خستگی و سختی مخلوط‌های آسفالتی را مورد ارزیابی قرار داد و متوجه شد در دمای ۲۰ و ۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، مخلوط‌های ساخته شده از قیرهای اصلاح شده با پلیمر SBS، مقاومت کششی غیر مستقیم بالاتری نسبت به مخلوط‌های متداول داشتند، اما این روند در دمای ۱۰- درجه‌ی سانتی‌گراد وارونه بود. مخلوط‌های آسفالتی اصلاح شده با پلیمر SBS به طور کلی سختی بالاتری نسبت به مخلوط‌های مرسوم از خود نشان دادند. همچنین مخلوط‌های آسفالتی اصلاح شده با پلیمر در مقایسه با مخلوط‌های مرسوم، به ویژه در دمای ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و کرنش بالا (بیش‌تر از ۲۵۰ میکرواسترین) عمر خستگی بیش‌تری داشتند [۱۶] ترالدو و ماریانی در سال ۲۰۱۴ تأثیر پلیمرهای EVA و LDPE^۱ را روی خصوصیات خستگی مخلوط-

^۱ Low-density Polyethylene (LDPE)

های آسفالتی مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که مخلوط‌های اصلاح شده عملکرد بهتری نسبت به نمونه‌ی خالص دارند و نمونه‌ی حاوی پلیمر EVA عملکرد به مراتب بهتری نسبت به نمونه‌ی اصلاح شده با LDPE از خود نشان می‌دهد [۱۷].

در سال ۲۰۱۴ نتایج آزمایش‌های انجام شده در دانشگاه نانتینگهام نشان داد که استفاده از قیر اصلاح شده حاوی ۵ و ۷ درصد SBS عملکرد شیارشدگی مخلوط آسفالتی را بهبود می‌بخشد. اما با در نظر گرفتن هزینه‌های تولید، استفاده از ۵ درصد SBS به عنوان مقدار بهینه پیشنهاد شد [۱۸] هاو و همکاران در سال ۲۰۱۷ دریافتند که اصلاح یک قیر نرم (با درجه‌ی نفوذ ۱۴۰-۱۲۰) با پنج درصد SBS در ارضای معیارهای لازم برای مصرف در مکانی با حداقل دمای ۴۲- درجه‌ی سانتی‌گراد در چین موفق بود [۱۹]. همچنین ژانگ و همکاران در همین سال دریافتند که تجزیه‌ی پلیمر SBS در اثر پیرشدگی با تابش اشعه‌ی فرابنفش نسبت به اکسیداسیون حرارتی شدیدتر است [۲۰].

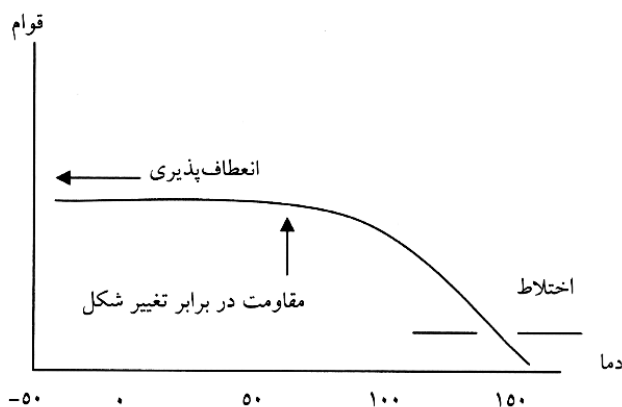
استفاده از قیرهای اصلاح شده با پلیمر در کشورهای در حال توسعه مانند ایران هنوز یک فناوری جدید است و به دلیل محدودیت منابع و مشکلات لجستیکی (اعم از نیاز به واحد اصلاح قیر در کارخانه‌ی آسفالت، مخازن اضافی قیر داغ، تجهیزات پمپاژ و مشکلات پایداری قیر پلیمری در مخازن)، صنعت هنوز به استفاده از قیرهای اصلاح شده با پلیمر ترغیب نشده است. از طرفی، به دلیل عدم شناخت و مطالعه‌ی دقیق و بلند مدت این فناوری‌ها در عرصه‌ی اجرایی، هنوز بسیاری از مدیران به این فناوری‌ها با دیده‌ی تردید می‌نگرند. بررسی جامع و مهندسی مجدد می‌تواند راهگشای رفع این ابهام‌ها بوده و به بسیاری از پرسش‌ها در زمینه‌ی استفاده‌ی به جا و به هنگام این فناوری‌ها پاسخ دهد.

۳- آسفالت پلیمری

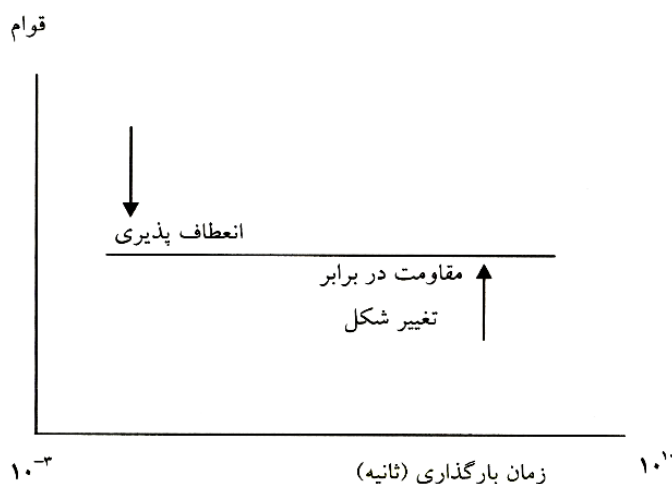
یکی از بهترین مواد افزودنی به آسفالت، پلیمرها هستند. افزودن مواد پلیمری به آسفالت مانع بروز تغییر شکل موضعی بزرگ در زیر چرخ‌های وسایل نقلیه خواهد شد. اثر این پلیمرها بر روی مشخصات فنی آسفالت، کم نمودن وابستگی و حساسیت خواص مکانیکی مخلوط، استقامت و ویسکوزیته نسبت به درجه‌ی حرارت است. برای حل این معضل از قیرهایی که به صورت پلیمری اصلاح شده‌اند، استفاده می‌شود. همین موضوع باعث شده تا کشورهای مختلف صنعتی به فکر استفاده از آسفالت‌های اصلاح شده با پلیمر افتاده‌اند تا بتوانند به نیازهای ترافیکی خود پاسخ دهند. البته نوع پلیمر مورد استفاده در هر کشور متفاوت است، اما رزین‌های ترموپلاستیک الاستومر، از مهم‌ترین اصلاح‌کننده‌های قیری هستند. خاصیت چسبندگی بالا، کاهش حساسیت دمایی، افزایش مدول سختی، مقاومت در برابر تغییر شکل در دمای بالا، انعطاف‌پذیری بیش‌تر در دمای پایین و بهبود استحکام کششی از ویژگی‌های آسفالت پلیمری است (فخری ۱۳۸۵).

۴- روش‌های اصلاح خواص قیر

به طور کلی، روش‌های اصلاح خواص قیر را می‌توان به دو روش فیزیکی و شیمیایی طبقه‌بندی کرد. در هر یک از این دو روش، هدف نزدیک شدن به یک نوع رفتار ایده‌آل برای قیر است. رفتار قیر ایده‌آل را می‌توان به صورت نمودار شکل‌های ۱ و ۲ نشان داد.



شکل ۱: رفتار قیر اصلاح شده [۸]



شکل ۲: رفتار قیر ایده آل هنگام خدمت‌دهی [۸].

۴-۱- روش‌های شیمیایی

هر گاه مواد شیمیایی برای ایجاد تغییر در ساختمان شیمیایی و در نتیجه خواص و رفتار فیزیکی قیر به کار برده می‌شود، این نوع اصلاح خواص را یک روش شیمیایی می‌نامند. به عنوان یک اصل پذیرفته شده است که افزایش تعداد گروه‌های قطبی روی مولکول‌های قیر باعث افزایش چسبندگی قیر به مصالح سنگی خصوصاً در حضور آب می‌گردد [۸].

۴-۲- روش‌های فیزیکی

در این روش هیچ پیوند شیمیایی بین ماده‌ی اصلاح کننده و قیر ایجاد نمی‌شود (البته گاهی امکان ایجاد پیوندهایی مانند پیوند هیدروژنی وجود دارد)، بلکه با اثرات فیزیکی باعث تغییر و اصلاح رفتار قیر می‌گردد. اصلاح کننده‌های فیزیکی زیادی برای بهبود خواص قیر جهت مخلوط‌های آسفالتی مورد استفاده قرار گرفته است، مانند برخی از پلیمرهای نو یا بازیابی شده، دوده، الیاف، برخی از فیلرها، خرده پلاستیک، خاکسترهای صنعتی، سلولز، لیگنین، شیشه و غیره [۸].

۵- اصلاح کننده‌های پلیمری

افزودنی‌های مختلف پلیمری که در زمینه‌ی بهبود خواص قیرها مورد بررسی قرار گرفته‌اند، در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

جدول ۱: انواع اصلاح کننده‌های پلیمری قیر [۸].

مثال	نوع اصلاح کننده
رزین‌های اپوکسی و پلی‌اورتان	پلاستیک‌ها
پلی اتیلن، پلی پروپیلن و کوپلیمرهای اتیلن (EVA, EMA, EBA)	پلیمرهای گرما سخت (ترموست)
کوپلیمرهای استایرن (SBR, SB)	پلیمرهای گرما نرم (ترموپلاستیک)
کوپلیمرهای استایرن (SBS, SIS, SEBS)	الاستومرها
الیاف پلی استر	ترموپلاستیک الاستومرها
لاستیک‌های بازیافتی	الیاف مصنوعی
	لاستیک‌های بازیافتی

مزایای استفاده از پلیمرها برای بهبود خواص مهندسی قیر و در نتیجه مخلوط‌های آسفالتی به خوبی شناخته شده است. هدف اصلی استفاده از پلیمرها، افزایش مقاومت آسفالت در برابر تغییر شکل‌های ماندگار (شیارشده‌گی)، خستگی و ترک‌های حرارتی است. با افزایش چشمگیر حجم ترافیک و وزن کامیون‌ها، روسازی‌های ساخته شده با مخلوط‌های آسفالتی متداول دارای عملکرد خوبی نبوده و اغلب پیش از طول عمر طراحی مورد انتظار، دچار خرابی‌های سازهای و عملکردی می‌شوند. برای رفع این مشکل، می‌توان از مخلوط‌های آسفالتی اصلاح شده با پلیمر استفاده کرد. تحقیقات انجام شده توسط مؤسسه‌ی آسفالت آمریکا نشان داده است که مخلوط‌های آسفالتی اصلاح شده با پلیمر در مقایسه با مخلوط‌های آسفالتی رایج، ترک‌خوردگی را تا ۵۰ درصد و شیارشده‌گی را تا حدود ۶۰ درصد کاهش می‌دهند. مخلوط‌های آسفالتی اصلاح شده با پلیمر می‌توانند عمر سرویس‌دهی روسازی را تا ۲۵ درصد (بین ۲ تا ۱۰ سال عمر بیش‌تر) افزایش داده و در نتیجه هزینه‌ها و بازه‌های زمانی تعمیر و نگهداری و نوسازی راه کاهش می‌یابد. البته با وجود مقدار زیاد تولیدات پلیمری، تنها تعداد محدودی از آنها برای اصلاح خواص قیرها مناسب هستند. پلیمری که برای اصلاح خواص و رفتار قیر استفاده می‌شود باید [۲۱]:

- با قیر سازگار باشد.
 - در دمای اختلاط آسفالت، تخریب نشود.
 - حساسیت حرارتی قیر را بهبود بخشد.
 - به کمک تجهیزات مرسوم اختلاط و پخش مصالح بتوان مراحل آن را اجرا کرد.
 - در دماهای کاربرد عادی قابلیت رسیدن به ویسکوزیته‌ی لازم برای پوشش دادن را داشته باشد.
 - در هنگام انبار کردن و نگاهداری و پس از خدمت‌دهی و وقتی که با قیر مخلوط می‌شود، خواص اولیه‌ی خود را حفظ کند.
- انواع پلیمر در اصلاح خواص قیر به کار رفته است و همانند اصلاح کننده‌های دیگر، پلیمرها نیز دارای مزایا و معایب خاص خود بوده و باید رفتار قیر را به رفتار ایده‌آل نزدیک کند.

۵-۱- پلیمرهای گرما سخت^۱

پلیمری است که به طور برگشت ناپذیر در دمایی که به ماهیت شیمیایی آن‌ها بستگی دارد، سخت می‌شود. زنجیره‌ی مولکولی آن‌ها شبکه‌ی سه بعدی را تشکیل می‌دهد که در مقابل هر تحرک حرارتی مقاومت می‌کند به عبارت دیگر، این مواد، پس از شکل‌گیری به حالت نهایی، بزرگ مولکول‌هایی هستند که نه ذوب و نه حل می‌شوند. تولید چنین محصولاتی معمولاً با مواد خام مایع یا قابل حلی با وزن مولکولی فوق‌العاده کمی شروع می‌شود که بر اثر حرارت دادن تحت فشار یا عادی، یا از طریق واکنش‌های شیمیایی با مواد افزودنی در شرایط قالب‌گیری مناسب، شبکه‌ای می‌شود. نتیجه‌ی این فرآیند، موادی شبکه‌ای شده به صورت سه بعدی (سخت شده) با وزن مولکولی زیاد است. مولکول‌های بسیار بزرگ حاصله را فقط با تخریب شیمیایی شبکه‌ها، می‌توان به اجزایی کوچک‌تر و در نتیجه قابل ذوب شدن یا حل شدن، تقسیم کرد. این کار، در دماهای فوق‌العاده بالا یا با استفاده از مواد شیمیایی خاصی امکان‌پذیر است. گرما سخت‌ها، اغلب حاوی مواد پرکننده‌ای است که بر خصوصیات ظاهری و خواص محصول تأثیر زیادی می‌گذارد.

۵-۲- پلیمرهای گرما نرم

این پلیمرها وقتی گرم شوند، ذوب و یا نرم شده و قابل فرآیند می‌شوند. این نوع پلیمرها اساساً زنجیره‌ای ماکرو مولکول خطی با تعدادی شاخه‌های فرعی هستند. بر اثر سرد شدن، چنین پلاستیک‌هایی مجدداً به حالت جامد باز می‌گردند. این فرآیند را بارها می‌توان تکرار کرد، البته در موارد استثنایی که پایداری شیمیایی (دمایی که در آن تجزیه شیمیایی شروع می‌شود)، کم‌تر از چسبندگی بین بزرگ مولکول‌ها بر اثر جاذبه‌ی بین زنجیرها است که در این حالت، بر اثر حرارت دادن، پلاستیک قبل از رسیدن به نقطه‌ی نرمی یا ذوب، دچار تغییرات شیمیایی می‌شود. پلیمرهای گرما نرم به دو دسته‌ی الاستومرها و پلاستومرها تقسیم می‌شوند. در دماهای خدمت‌دهی کارایی آن‌ها از چند جنبه خصوصاً سختی، تغییر شکل‌پذیری و تاب ضربه متفاوت هستند. در مورد پلاستومرها تغییر شکل کشسان با یک تغییر شکل دائمی نسبتاً بزرگ همراه است.

۵-۳- الاستومرها^۲

الاستومرها از جمله پلیمرهایی هستند که به طور گسترده در بهبود خواص قیر و در نتیجه اصلاح عملکرد مخلوط‌های آسفالتی در راهسازی به تنهایی و یا به همراه سایر پلیمرها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مواد بیش‌تر به خاطر خاصیت الاستیسیته مورد توجه قرار گرفته‌اند. الاستومرها موادی شبیه لاستیک و کشسان هستند و معمولاً از بزرگ مولکول‌هایی با شبکه‌های نسبتاً ضعیف تشکیل شده است. اتصالات شبکه‌ای لاستیک طبیعی یا مصنوعی، در حین قالب‌گیری یا فرآیند گوگردی شدن به وجود می‌آید. به علت طبیعت شبکه‌ای، الاستومرها تا قبل از رسیدن به دمای تخریب، بر اثر حرارت ذوب نمی‌شود. از این نظر، رفتار آن‌ها با بسیاری از مواد گرمانرم الاستیک نظیر پلی وینیل کلراید^۳ حاوی نرم‌کننده، متفاوت است.

بر خلاف الاستومرهایی که به صورت شیمیایی به عنوان مثال توسط گوگرد یا پراکسیدها مشبک شده است (لاستیک)، تشکیل شبکه در آن‌ها که به الاستومرهای گرما نرم موسوم است، در اثر برهم کنش فیزیکی بین بزرگ مولکول‌ها روی می‌دهد. در اثر حرارت دادن، نیروی برهم کنش فیزیکی بین مولکول‌های زنجیری کاهش یافته، این پلیمرها به شکل گرما نرم گونه عمل می‌کند و در اثر سرد شدن، برهم کنش فیزیکی بین مولکول‌ها قوی‌تر شده، ماده مجدداً رفتار الاستومری نشان می‌دهد [۱۰].

^۱ Thermosets

^۲ Elastomers

^۳ Poly Vinyl Chloride

۵-۴- پلاستومرها^۱

انواع مختلف کاپلیمرهای پلاستومر در اصلاح قیر به کار گرفته می‌شود. در کاربردهای راهسازی اساساً کاپلیمرهای اتیلن مورد استفاده قرار می‌گیرند. کاپلیمرهای اتیلن در قیرهای راهسازی بسته به نوع قیر (مشخصات فیزیکی و ساختار شیمیایی)، نوع پلیمر (جرم مولکولی، ماهیت کومونومر و درصد کومونومر) و درصد کاپلیمر، خواص قیر را تغییر می‌دهند. در درصدهای کم کاپلیمر تغییرات خواص در اثر افزایش درصد آسفالتن فاز قیری روی می‌دهد، که در این صورت انتخاب قیر اولیه بسیار مهم می‌باشد. در درصدهای زیاد پلیمر، پلیمر توسط بخش مالتن قیر نرم می‌شود، که در این شرایط انتخاب نوع کاپلیمر خواص قیر نهایی را تعیین می‌کند. با توجه به خواص فیزیکی قیرهای راهسازی، افزایش کاپلیمر اتیلن درجه‌ی نفوذ را کاهش، نقطه‌ی نرمی را افزایش و حساسیت حرارتی را کاهش می‌دهد.

در ادامه برخی از اصلاح کننده‌های پرکاربرد در صنعت روسازی به تفصیل شرح داده خواهند شد.

۵-۵- لاستیک استایرن بوتادین^۲ (SBR)

این نوع لاستیک از کاپلیمریزاسیون استایرن و بوتادین در سیستم امولسیون تولید می‌شود که محصول به صورت شیرابه‌ای سفید رنگ است. در صورت شکسته شدن امولسیون، این لاستیک از آب جدا می‌شود. معمولاً این کاپلیمر به هر دو شکل امولسیون و پلیمر خالص به قیر اضافه می‌گردد. SBR خانواده‌ای از لاستیک‌های مصنوعی را شامل می‌شود که از استایرن و بوتادین تشکیل شده‌اند. این مواد مقاومت مناسبی در مقابل ساییدگی و پیرشدگی دارند. 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 اولیه‌ی 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 سال ۲۰۱۲، بیش از ۴/۵ میلیون تن از ماده‌ی SBR در دنیا تولید شده است.

SBR به همراه اتیلن اتیل اکریلات^۳ و پلی‌اتیلن در اصلاح خواص قیرها به کار گرفته شده است. افزایش ۵ درصد از پلی‌اتیلن به همراه ۳ درصد از این الاستومر به قیرهای AC-۲۰ و AC-۱۰ و AC-۵ نشان داد که مقاومت کششی آن‌ها افزایش یافته و همچنین مقاومت در برابر ترک حرارتی به طور قابل توجهی بهبود یافته است و نیز مخلوط‌های آسفالتی تهیه شده با آن‌ها مقاومت خوبی در برابر تغییر شکل و شیارشدگی از خود نشان داده است.

مقایسه‌ی این پلیمر با EVA و SB در آزمون خستگی نشان داده است که قیرهای اصلاح شده با SBR دارای مقاومت بیش‌تری است. در این بررسی تعداد دورهای لازم جهت تخریب نمونه‌ها تقریباً ۷۰۰۰ دور بوده که پس از افزودن SBR این تعداد به ۳۰۰۰۰ دور افزایش یافته است که این به معنی افزایش بیش از ۴ برابری مقاومت در برابر خستگی است. در تقسیم‌بندی انجام شده، SBR در خانواده‌ای از پلیمرها قرار می‌گیرد که در غلظت ۳ درصد قادر به افزایش ۲۰ تا ۶۰ درصدی بازیابی کشسان قیرها است.

تأثیر دیگر SBR در بهبود خواص دمای پایین قیرها می‌باشد. این تأثیر باعث افزایش انعطاف‌پذیری قیر در دماهای پایین شده و از ترک‌های حرارتی می‌کاهد. تحقیقات انجام شده بر روی مخلوط‌های آسفالتی حاوی این پلیمر، نشان می‌دهد که ترک‌های حاصله در اثر دمای پایین در این نوع آسفالت در مقایسه با آسفالت اصلی کم‌تر بوده است. همچنین بررسی‌های انجام شده در مورد روسازی‌های آسفالتی حاوی این پلیمر نشان داده است که این مخلوط‌های آسفالتی در مقایسه با مخلوط آسفالتی معمولی، مقاومت بیش‌تری را در برابر ترک‌های انعکاسی دارد. قیرهای اصلاح شده با الاستومر کربوکسیله شده، نیز نشان داده که افزایش این نوع الاستومر باعث کاهش درجه‌ی نفوذ و

^۱ Plastomers

^۲ Styrene Butadiene Rubber

^۳ Ethylene Ethyl Acrylate (EEA)

افزایش نرمی و همچنین بهبود حساسیت حرارتی قیر شده است و نیز در درجه‌ی حرارت‌های پایین، وجود این نوع الاستومرها، خواص الاستیکی قیر را بدون افزایش سختی، افزایش می‌دهد، که این وضعیت در رابطه با رفتار خستگی حائز اهمیت است.

۵-۶- کوپلیمر SBS

یکی از مواد پلیمری استفاده شده برای اصلاح قیر خالص کوپلیمر استایرن بوتادین استایرن^۱ (SBS) است که تحقیقات نشان داده باعث بهبود خواص قیر می‌شود. با پیشرفت روش‌های کوپلیمریزاسیون در اوایل دهه‌ی ۱۹۶۰ یکی از مؤثرترین افزودنی‌های قیر، یعنی بلاک کوپلیمرهای SBS به بازار مواد قیری عرضه شد که خواص لاستیکی و ترموپلاستیکی را یک جا داراست. این پلیمر ترموپلاستیک قادر به ارائه‌ی خاصیت چسبندگی، مقاومت و ارتجاعی به قیر است که کمک می‌کند تا دوام روسازی افزایش یابد. دامنه‌های صلب (بلوک‌های پلی استایرن) از طریق زنجیرهای انعطاف پذیر (بلوک‌های بوتادین) یک شبکه‌ی الاستومریک را تشکیل می‌دهد. متأسفانه، SBS تمایل به جدا شدن از قیر هنگام ذخیره سازی در دماهای بالا دارد. فاز پلیمر در مخزن ذخیره‌ی قیر جدا شده و می‌تواند مشکلاتی را در پمپاژ ایجاد کند. این مانع اصلی استفاده از SBS در روسازی است. محدودیت دیگر این ماده قیمت‌های نسبتاً بالای آن می‌باشد. اما، مهم‌ترین و محدودکننده‌ترین الزام در استفاده از این مواد سازگاری بین پلیمر و قیر است تا جدا نشدن از قیر در مرحله‌ی انبار کردن را تضمین کند.

در پلیمرهای SBS که در قیرهای راهسازی به کار می‌رود، معمولاً استایرن بین ۲۰ تا ۳۰ درصد وزن کل پلیمر را تشکیل می‌دهد. درصد بیش‌تر استایرن می‌تواند باعث ناسازگاری با قیر و اشکالاتی در پخش کردن و ناپایداری انباری در دماهای بالا شود.

پلیمرهای خانواده‌ی SBS تمامی مشخصات قیر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در دمای بالا حتی در غلظت‌های پایین (مثلاً ۳ درصد) که شبکه‌ی پیوسته‌ی الاستومری در محیط قیر هنوز کاملاً تشکیل نشده است، قادر به کاهش چندبرابری شیارشدگی مخلوط آسفالتی است و در دماهای پایین به دلیل تورم ۹ برابری ذرات پلیمر در قیر، انعطاف‌پذیری قیر را بهبود بخشیده و از ترک‌های طولی و عرضی جلوگیری می‌نماید.

بر اساس تحقیقات انجام شده کوپلیمر SBS به عنوان بهترین و مؤثرترین اصلاح کننده‌ی قیر معرفی شده است. علت این امر تشکیل شبکه‌ی سه بعدی است که الاستیسیته، پلاستیسیته و تاب کششی قیر را بهبود می‌بخشد. یک جنبه‌ی مثبت کاربرد این پلیمر، ویسکوزیته‌ی کم مخلوط‌های آن با قیر، در دمای اختلاط است. اگر این نوع پلیمر به مقدار کافی به قیر اضافه شود یک شبکه‌ی کامل تشکیل می‌شود. یک نقطه ضعف ذاتی SBS تخریب حرارتی - اکسایشی آن در دمای بالا است. علت وقوع تخریب، وجود پیوندهای دوگانه در زنجیره‌ی اصلی کوپلیمر است. بنابراین SBS توسط کوپلیمرهای دیگر مانند SEBS^۲ و یا SEPS^۳ جایگزین شده است تا از تخریب زنجیره‌ی اصلی کوپلیمر جلوگیری به عمل آید. SEBS پایداری خیلی خوبی (۲۷ ساعت) در دماهای بالا دارد.

۵-۷- کوپلیمر اتیلن وینیل استات (EVA)

کوپلیمرهای اتیلن که به عنوان کوپلیمرهای عامل‌دار شناخته می‌شود، کوپلیمرهای اتفاقی است که از پلیمریزاسیون رادیکالی اتیلن و یک مونومر به دست می‌آید. ساختار شیمیایی کوپلیمر اثر قابل ملاحظه‌ای روی سازگاری آن با قیر دارد. درصد کومونومر خیلی کم به معنی بسیار کوچک بودن پارامتر حلالیت کوپلیمر جهت سازگاری مناسب با قیر است. در درصدهای بالای کومونومر نیز حلالیت، برای سازگاری بهینه، خیلی بزرگ خواهد بود. لذا نتیجه گرفته می‌شود که در مورد بهترین کوپلیمرهای اتیلن در اصلاح قیر، بیش‌ترین هم‌خوانی بین مشخصات فیزیکی (که ظرفیت آن را اصلاح خواص قیر تعیین می‌کند) و حلالیت آن‌ها (که سازگاری آن را تعیین می‌کند) وجود دارد.

^۱ Styrene Butadiene Styrene

^۲ Styrene Ethylene Butadiene Styrene

^۳ Styrene Ethylene Propylene Styrene

^۴ Ethylene Vinyl Acetate

این مجموعه مشخصات، نخست به ماهیت و درصد کومونومر و سپس به مشخصات ماکرو مولکولی (جرم مولکولی متوسط و توزیع جرم‌های مولکولی) بستگی دارد. به همین دلیل بعضی از پلیمرها، اختصاصاً برای کاربردهای راهسازی توصیه می‌شود.

افزودن EVA به قیر باعث بهبود خواص قیر می‌شود. این کوپلیمر تقریباً هیچ مشکل حلالیتی در قیر ندارد، و خواص آن به وزن مولکولی و مقدار وینیل استات بستگی دارد، لذا درجه‌بندی این پلیمر با این دو پارامتر مشخص می‌شود. بررسی‌های انجام شده نشان داده که افزودن EVA به قیر اثر بیش‌تری از SBS و PE روی کاهش تغییر شکل دائمی مخلوط‌های آسفالتی در دمای بالا دارد. افزایش ۲ تا ۵ درصد از این پلیمر، درجه نفوذ قیرهای مختلف را در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌دهد که با افزایش درصد آن در دماهای بالا این اثر مشهودتر است ولی در دماهای پایین اختلاف زیادی بین درصدهای مختلف EVA وجود ندارد. این پلیمر نقطه‌ی نرمی قیرهای مختلف را نیز افزایش می‌دهد، به طوری که افزایش ۲ تا ۵ درصدی آن، بسته به نوع قیر، نقطه‌ی نرمی را ۴ تا ۱۸ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش می‌دهد.

از آن جایی که سازگاری پلیمر با قیر اثر زیادی روی خواص مخلوط آن‌ها دارد. بسته به نوع قیر، افزایش EVA می‌تواند باعث ثابت ماندن و یا کاهش خاصیت انگمی قیر در ۲۵ درجه سانتی‌گراد شود. این به دلیل فقدان یک شبکه مؤثر الاستومری در این نوع مخلوط قیر پلیمری است. در دماهای پایین‌تر از صفر، این پلیمر تا اندازه‌ای خاصیت انگمی قیر را افزایش می‌دهد. با این وجود در آزمون خزش درصد بالایی از تغییر شکل ایجاد شده بازایی می‌شود. با افزایش این کوپلیمر، ویسکوزیته قیر حاصله نیز افزایش می‌یابد.

۵-۸- پلی اتیلن

پلی اتیلن که از زنجیره‌های بسیار طولانی از مونومرهای اتیلن تشکیل شده، جسمی است جامد، شفاف و سفید رنگ که در ضخامت زیاد کدر می‌شود. پلی اتیلن از نظر شیمیایی بی‌اثر است ولی وجود پیوند دوگانه آن را در مقابل اکسیژن، حساس نموده است. این پلیمر در هیچ حلالی در درجه‌ی حرارت معمولی حل نمی‌شود. پلی اتیلن می‌تواند نقطه‌ی نرمی و نفوذپذیری قیرهای پالایش مستقیم و بعضی از قیرهای دمیده را در حد مطلوبی اصلاح کند.

برخی خواص فیزیکی قیر اصلاح شده با پلی اتیلن مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که افزایش پلی اتیلن، نقطه‌ی نرمی قیر را افزایش می‌دهد. همچنین بررسی افزایش اثر پلی اتیلن بر خاصیت کشش پذیری قیر نشان می‌دهد که افزایش این پلیمر باعث کاهش کشش پذیری می‌شود که ابتدا شیب کاهش آن تند است و به تدریج از آن کاسته می‌شود.

۵-۹- خرده لاستیک

در سی سال گذشته افزودن مصالح لاستیکی بازایی شده به مخلوط‌های آسفالتی به عنوان هدف ثانویه و به دلیل حفاظت از محیط زیست مطرح، و در این زمینه تحقیقاتی انجام شد. از جمله این مواد خرده یا پودر لاستیک تایرهای کهنه و فرسوده است. استفاده از خرده لاستیک در قیر به سال‌های اول دهه‌ی ۱۹۶۰ باز می‌گردد. از آن به بعد انواع لاستیک مانند لاستیک مصنوعی، طبیعی، شیرابه‌ی لاستیکی و غیره به قیر اضافه شده است. خرده لاستیک ساختمان شبکه‌ای داشته و در بخش مالتن قیر محلول نمی‌باشد.

برخی از این مزایای خرده لاستیک در قیر توسط محققین مطالعه شده است. این نتایج حاکی از افزایش ۲۰۰۰-۱۰۰ درصدی ویسکوزیته قیر، بعد از افزایش خرده لاستیک است. همچنین نتایج آزمایش خزش نشان می‌دهد که رفتار این نوع قیرها به رفتار قیر ایده‌آل نزدیک است. داده‌های رئولوژیکی، بهبود خواص قیر در دو محدوده‌ی دمایی سرد و گرم را تأیید می‌کند. انواع مختلف خرده لاستیک اثرات متفاوتی بر روی خواص قیر دارد. این مطلب توسط برخی پژوهشگران مطالعه شده است و علت اختلاف به نوع مواد سازنده‌ی خرده لاستیک نسبت داده شده است. همچنین دما، شیوه و مدت زمان اختلاط نیز تأثیر عمده‌ای بر رفتار حاصله دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد مخلوط‌های

آسفالتی ساخته شده با این نوع قیرها دارای مقاومت خوبی در مقابل شیارشدگی، تغییر شکل‌های دائم و خستگی بوده و همچنین این مخلوط‌ها در مقابل ترک‌های انعکاسی مقاومت بهتری از خود نشان داده است.

به طور کلی، از مهم‌ترین مزایای استفاده از خرده لاستیک در تهیه‌ی مخلوط‌های آسفالتی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۲۱]:

- مقاومت بیش‌تر در برابر خستگی،
- افزایش خاصیت کشش‌پذیری در دمای پایین،
- حساسیت حرارتی کم‌تر،
- الاستیسیته‌ی بهبودیافته‌ی پوشش،
- ویسکوزیته و چسبندگی بیش‌تر و مقاومت در برابر شیارشدگی،
- بهبود خواص رئولوژیکی،
- کاهش درجه نفوذ،
- افزایش نقطه نرمی،
- کاهش شکنندگی در درجه حرارت پایین،
- کاهش مدول مصالح،
- کاهش صدای چرخ و
- مقاومت بیش‌تر در برابر یخ‌زدگی سطوح متخلخل.

در نگاه نخست به نظر می‌رسد افزایش خرده لاستیک به پاکیزگی محیط زیست کمک می‌کند. اما بررسی‌ها نشان داده است که در خلال فرآیند اختلاط، حجم وسیعی از مواد شیمیایی آلاینده تولید و وارد محیط می‌شود. مشکلات ایمنی کارگران، فقدان استانداردهایی جهت برآورد قیرهای خرده لاستیکی، پیر شدن حرارتی قیر در دمای خیلی بالا و غیر قابل بازیابی بودن این نوع پوشش‌ها را نیز باید به معایب فنی قیرهای خرده لاستیکی افزود.

۶- نتیجه‌گیری

اگر چه قیر، درصد وزنی نسبتاً کمی از مخلوط‌های آسفالتی را تشکیل می‌دهد، ولی اثر بسیار زیادی بر خواص آسفالت دارد. از این رو، امروزه پژوهش‌های زیادی درباره‌ی بهبود این جزء از مخلوط‌های آسفالتی انجام شده است. کاربرد پلیمر برای اصلاح خواص قیرهای مورد استفاده در روسازی راه، رو به گسترش است. به کارگیری قیر اصلاح شده در آسفالت باعث افزایش قابل ملاحظه‌ی عمر راه‌ها و در نتیجه موجب افزایش عمر بهره برداری از آن‌ها می‌شود. قیر به کار رفته در مخلوط‌های آسفالتی، درصد وزنی بسیار کمی از این مخلوط (۴ تا ۶ درصد) را تشکیل می‌دهد ولی اثر قابل توجهی بر کارایی آسفالت دارد.

پلیمرها به عنوان مهم‌ترین خانواده‌ی اصلاح‌کننده‌ی قیر، به منظور بهبود و افزایش کارایی به آن اضافه می‌شوند. بیش‌ترین پلیمرهایی که در اصلاح خواص قیرها کاربرد دارند، معمولاً اصلاح‌کننده‌هایی نظیر SBS، SBR، EVA و PE هستند. در میان انواع

پلیمرهای موجود، پلیمر SBS به عنوان یکی از بهترین مواد اصلاح کننده قیر به شمار می‌رود. پلیمر SBS با ایجاد شبکه‌ای سه بعدی داخل قیر و مسلح کردن آن باعث افزایش مقاومت مارشال مخلوط‌های آسفالتی می‌شود. نتایج آزمایش‌های متعدد نشان داده است که این پلیمر موجب افزایش روانی مارشال نیز می‌شود. استفاده از پلیمر SBS باعث افزایش مدول گسیختگی و نیز افزایش عمر خستگی می‌شود که از عوامل مهم در بیان ویژگی‌های مخلوط آسفالتی است.

استفاده از برخی پلیمرها، اثر قابل توجهی در رفتار ویسکوالاستیک قیر پدید می‌آورد. این مواد خاصیت کشسانی قیر را در دماهای بالاتر حفظ می‌کنند. لازمه‌ی تغییرات یاد شده پدید آمدن یک شبکه‌ی پلیمری در داخل قیر است. یعنی تا زمانی که این شبکه به وجود نیامده باشد، تغییری در خصوصیات قیر مشاهده نخواهد شد. باید توجه داشت که کارایی پلیمر به مقدار زیادی به وسیله‌ی مقدار آسفالتن در قیر تحت تأثیر قرار می‌گیرد. همچنین با وجود انبوه پلیمرهای مختلف، تعداد نسبتاً کمی از آن‌ها برای اصلاح قیر مناسب هستند.

قیرهای اصلاح شده با پودر لاستیک، خواص منحصر به فردی دارند؛ زیرا این نوع قیرها از یک فاز مایع و ذرات متورم شونده تشکیل می‌شوند. ماهیت فرایند واکنش بین قیر و پودر لاستیک به طور کامل شناخته شده نیست. اضافه کردن پودر لاستیک به قیر، مزایایی نظیر بهبود مقاومت در برابر خستگی مخلوط‌های آسفالتی، انعطاف بیش‌تر در دمای پایین، کاهش سروصدای ناشی از ترافیک، بهبود مقاومت مخلوط‌های آسفالتی در برابر ضربه و کاهش آلاینده‌های محیط زیست از طریق کاربرد لاستیک‌های مستعمل را در پی دارد.

مراجع

- [۱] Hesami, S. And Sobhi, S., (۱۳۹۶), "A review of natural bitumen and its effect on the properties of bitumen and asphalt mixtures," Scientific-Extension Quarterly, Volume ۲۵, Number ۹۲, pp. ۱۹, Persian.
- [۲] Aflaki, S. and Tabatabaee, N., (۲۰۰۹), "Proposals for modification of Iranian bitumen to meet the climatic requirements of Iran", Construction and Building Materials, Volume ۲۳, Issue ۶, pp. ۲۱۴۱-۲۱۵۰, Persian.
- [۳] Fakhri, M., (۲۰۰۵), "New methods of designing asphalt mixtures based on performance and proposing a suitable method for the country," Ministry of Roads and Transportation, Deputy Minister of Education, Research and Technology, Transportation Research Institute, Persian.
- [۴] Sengoz, B. and Isikyakar, G., (۲۰۰۸), "Evaluation of the properties and microstructure of SBS and EVA polymer modified bitumen", Construction and Building Materials, Volume ۲۲, Issue ۹, pp. ۱۸۹۷-۱۹۰۵.
- [۵] Asphalt Institute, (۲۰۰۱), "Quantification of the Effects of Polymer-Modified Asphalt", ۱st ed., United States.
- [۶] X. Lu and U. Isacson, (۲۰۰۰), "Modification of road bitumen with thermoplastic polymers", Polymer Testing, Volume ۲۰, Issue ۱, pp. ۷۷-۸۶.
- [۷] Gogonani, H., Aging of polymer and filler modified bitumen, Master Thesis in Civil Engineering - Road and Transportation, Faculty of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, ۲۰۱۵, Persian.
- [۸] S.Abtahi. M., Dibaji, A. And Goli, A., Bitumen, Modification and Maintenance, Brin Scholars Publications, ۱۳۹۲, Persian.
- [۹] C. Zhuang, N. Li, W. Zhao, C. Cai, Effects of SBS content on the performance of modified asphalt, in: IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., IOP Publishing, ۲۰۱۷: p. ۱۲۰۲۸.

- [۱۰] J. Yuan, H. Lu, W. Yin, Y. Wu, Influences of Naphthenic Oil on SBS-Modified Asphalt Binder, *J. Mater. Civ. Eng.*, ۳۱ (۲۰۱۹) ۴۰۱۹۱۶۲.
- [۱۱] P. Lin, C. Yan, W. Huang, Y. Li, L. Zhou, N. Tang, F. Xiao, Y. Zhang, Q. Lv, Rheological, chemical and aging characteristics of high content polymer modified asphalt, *Constr. Build. Mater.*, ۲۰۷ (۲۰۱۹) ۶۱۶-۶۲۹.
- [۱۲] F. Zhang, C. Hu, The Composition and Ageing of High-Viscosity and Elasticity Asphalts, *Polym. Compos.*, (۲۰۱۵).
- [۱۳] G. Cuciniello, P. Leandri, S. Filippi, D. Lo, M. Losa, G. Airey, Effect of ageing on the morphology and creep and recovery of polymer-modified bitumens, *Mater. Struct.*, ۳ (۲۰۱۸) ۱-۱۲.
- [۱۴] Khodaii, A. and Mehrara, A., (۲۰۰۹), "Evaluation of permanent deformation of unmodified and SBS modified asphalt mixtures using dynamic creep test", *Construction and Building Materials*, Volume ۲۳, Issue ۷, pp. ۲۵۸۶-۲۵۹۲, Persian.
- [۱۵] Modarres, A., (۲۰۱۳), "Investigating the toughness and fatigue behavior of conventional and SBS modified asphalt mixes", *Construction and Building Materials*, Volume ۴۷, pp. ۲۱۸-۲۲۲, Persian.
- [۱۶] Toraldo, E. and Mariani, E., (۲۰۱۴), "Effects of polymer additives on bituminous mixtures", *Construction and Building Materials*, Volume ۶۰, pp. ۳۸-۴۲.
- [۱۷] Mohammed, S. A., (۲۰۱۴), "Toward an Improved Model for Permanent Deformation of Sbs-Modified Asphalt Mixtures", Degree of Master of Science in Transportation Engineering, University of Nottingham.
- [۱۸] Hao, J., Cao, P., Liu, Z., Wang, Z. and Xia, S., (۲۰۱۷), "Developing of a SBS polymer modified bitumen to avoid low temperature cracks in the asphalt facing of a reservoir in a harsh climate region", *Construction and Building Materials*, Volume ۱۵۰, pp. ۱۰۵-۱۱۳.
- [۱۹] Zhang, D., Zhang, H. and Shi, C., (۲۰۱۷), "Investigation of aging performance of SBS modified asphalt with various aging methods", *Construction and Building Materials*, Volume ۱۴۵, pp. ۴۴۵-۴۵۱.
- [۲۰] Fakhri, M., (۲۰۰۶), Application of polymer in improving the properties of bitumens and asphalt mixtures, Ministry of Roads and Transportation, Deputy of Education, Research and Technology, Transportation Research Institute, Persian.
- [۲۱] Sadr al-Dini Mehrjardi, M. R., Yousefi, A. And Kavousi, A., "Improving the properties of bitumen with polymeric materials", *Journal of Polymer Science and Technology*, Year ۱۰, Number ۲, ۲۰۰۲, Persian.