Archive of SID

قابل دسترس در نشانی: http://jips.ippi.ac.ir

مجله علوم و تکنولوژی پلیمر،
سال بیست و یکم، شماره ۳،
صفحه ۲۰۸-۲۰۱، ۱۳۸۷
ISSN : 1016-3255

اثر پلیمر SBS بر خواص قیر و درجه کارایی آن

حسن زیاری[۱]، سید مهدی ابطحی*[۲]، احمد گلی[۱]

۱ - تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی عمران، صندوق پستی ۱۶۸۴۶/۱۳۱۱۴

۲ - اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی عمران، صندوق پستی ۸۴۱۵۶/۸۳۱۱۱

دریافت: ۸۶/۹/۱۷، پذیرش: ۸۷/۴/۹

چکیده

قیر با توجه به خواص فیزیکی و مکانیکی محدود، قابلیت کاربری محدود و زمان سرویس‌دهی مشخص دارد. پلیمرها به عنوان مهم‌ترین خانواده اصلاح‌کننده قیر، به منظور بهبود عملکرد و افزایش کارایی قیر به آن اضافه می‌شوند که درمیان انواع پلیمرهای موجود، پلیمر استیرن - بوتادی‌ان - استیرن (SBS) ازجمله بهترین مواد اصلاح‌کننده قیر به شمار می‌رود. دراین پژوهش، پلیمر SBS به عنوان یکی از اصلاح کننده‌های الاستومری گرمانرم با درصدهای وزنی مختلف (۲تا۵ درصد) با قیر ۶۰/۷۰ پالایشگاه اصفهان مخلوط شده و اثر آن برخواص مختلف قیر از جمله درجه نفوذ، نقطه نرمی، نقطه شکست فراس، درصد افت وزنی و شاخص نفوذپذیری مورد بررسی قرارگرفته است. هم‌چنین در این پژوهش، قیرهای اصلاح شده با پلیمر مزبور بر اساس درجه کارایی تقسیم‌بندی شده‌اند، که امروزه مبنای دسته‌بندی قیرهای مورد استفاده در صنعت راه‌سازی است و در کشورهای توسعه یافته جای‌گزین روش دسته‌بندی بر اساس درجه نفوذ شده است. تقسیم‌بندی قیرهای اصلاح شده بر اساس درجه کارایی امکان تهیه نقشه پهنه‌بندی قیر مطلوب در اقلیم‌های مختلف کشور را فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی

اصلاح کننده قیر،
نقطه شکست فراس،
درجه نفوذ، نقطه نرمی ،
استیرن ـ بوتادی‌ان ـ استیرن (SBS)

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:

mabtahi@cc.iut.ac.ir

Effect of Polymer on Bitumen Properties and its Performance Grade

H. Ziari[1], S.M. Abtahi[2*], and A. Goli[1]

1. Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, P.O. Box: 16846/13114, Tehran, Iran

2. Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, P.O. Box: 84156/83111, Isfahan, Iran

Received 18 December 2007; accepted 16 Jun 2008

Abstract

With respect to the physical and mechanical limited qualities of bitumen, it benefits from certain specific ability in application and its life service. Polymers as the most important modifiers of bitumen are applied to it in order to improve its functional efficiency. Among various polymers, styrene-butadiene-styrene (SBS) is the best modifier of the bitumen. In this work, SBS polymer as one of the modifiers of elastomeric thermoplastics with different weight percentages (2% to 5%) have been mixed with bitumen (60/70) of Isfahan Refinary and its effect on different properties of the bitumen for example penetration index, softening point, Frass breaking point and reduction in weight perecentage has been studied. Furthermore, in this paper, the modified bitumen property on performance grade is the preferred category. Classification of modified bitumen based on performance grade makes it possible to provide perfect bitumen pattern in different climates.

Key Words

bitumen's modifier,
Frass point breaking,
penetration index, softening point,
styrene-butadiene-styrene

(*) To whom correspondence should be addressed.
E-mail: mabtahi@cc.iut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

امروزه استفاده از پلیمر برای اصلاح خواص قیرها رو به گسترش است [۱]. به همین دلیل، در دهه‌های گذشته پژوهش‌های زیادی برای اصلاح خواص قیرها (مانند استفاده از پلیمر SBS) انجام شده است[۲]. از جمله پلیمرهایی که در اصلاح قیرها کاربرد فراوان دارند، پلیمرهای گروه الاستومراند که شامل استیرن - بوتادی‌ان - استیرن (SBS) و پلیمرهای مشابه مانند لاستیک استیرن - بوتادی‌ان (SBR)، اتیلن - وینیل استات (EVA) و پلی‌اتیلن (PE) هستند[۲،۳]. کوپلیمر SBS کوپلیمری سه‌قطعه‌ای است که در آن قطعه‌های استیرن به وسیله یک قطعه بوتادی‌ان از یک دیگر جدا شده‌اند. این کوپلیمرها می‌تواند خطی یا شعاعی باشد و در قیر شبکه‌ای کشسان سه بعدی از فاز پلی‌استیرن را تشکیل می‌دهد که به وسیله فاز پلی‌بوتادی‌ان به یک دیگر متصل شده است[۶-۴]. در پلیمرهای SBS که در قیرهای راه‌سازی کاربرد دارند، معمولاً استیرن بین ۲۰ تا ۳۰ درصد وزن کل این پلیمرها را تشکیل می‌دهد. درصد بیشتر استیرن می‌تواند باعث ناسازگاری با قیر و اشکالاتی در پخش کردن و ناپایداری انبارداری در دماهای بالا شود [۱۰-۵]. استفاده از الاستومرهای گرمانرم در اصلاح قیر صنعتی به دلیل دارا بودن هم زمان هر دو خاصیت گرمانرمی و الاستومری است[۱۴-۹].

با توجه به این که معیارهای دسته‌بندی قیر بر مبنای شاخص نفوذپذیری با وجود هزینه و زمان کم دارای معایب زیادی است [۱۵] و اگرچه دسته‌بندی قیرها بر اساس درجه کارایی (performance grade, PG) در حال جای‌گزینی بر اساس درجه نفوذ است [۱۶]، ولی این آزمایش‌ها بسیار گران‌قیمت و انجام آنها نیاز به زمان طولانی‌تری دارد [۱۷، ۱۵]. از طرف دیگر، بیشتر تولیدات پالایشگاه‌های کشور محدود به قیر ۶۰/۷۰ است که نمی‌تواند کارایی مناسبی برای تمام شرایط آب و هوایی کشور داشته باشد. در این پژوهش، پس از مطالعه انواع پلیمرهای اصلاح کننده قیر [۱۰-۱] یکی از بهترین پلیمرها (SBS) انتخاب و با درصدهای وزنی مختلف (۲ تا۵ درصد) با قیر ۶۰/۷۰ پالایشگاه اصفهان مخلوط شد و اثر آن بر خواص مختلف قیر از جمله درجه نفوذ، نقطه نرمی، نقطه شکست فراس، درصد افت وزنی و شاخص نفوذپذیری مورد بررسی قرارگرفته است. این پلیمر در محدوده میکروسکوپی ساختاری دوفازی دارد. هم‌چنین، نتایج حاصل از مطالعات میکروسکوپی الکترونی نشان داده است که شکل هندسی فازها همراه با جزء وزنی اجزای تشکیل دهنده آن تغییر می‌کند [۱۳-۱۱]. قیرهای اصلاح شده با این پلیمرها در دمای اختلاط و تراکم گرانروی مناسبی دارند، ضمن آن که در دمای سرویس‌دهی و به ویژه دماهای کم خواص کشسانی آن حفظ می‌شود [۱۲]. سپس، با استفاده از روابط معادل‌سازی [۱۸] معادل آن قیر براساس درجه کارایی محاسبه شد. با در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی مختلف کشور می‌توان بر پایه آزمایش‌هایی که انجام آنها در همه جا امکان‌پذیر است و با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه مورد نظر و به روشی ساده، قیری را انتخاب، یا قیر موجود را طوری اصلاح کرد که کارایی مناسبی داشته باشد. در نتیجه عمر روکش آسفالتی افزایش و هزینه تعمیر و نگه‌داری راه کاهش می‌یابد [۱۹]. هم‌چنین، دسته‌بندی قیرهای اصلاح شده بر اساس PG امکان تهیه نقشه پهنه‌بندی قیر مطلوب در اقلیم‌های مختلف کشور را فراهم می‌کند.

تجربی

مواد و دستگاه‌ها

دراین پژوهش، از قیر ۶۰/۷۰ پالایشگاه اصفهان به عنوان قیر پایه با مشخصات ارائه شده در جدول ۱ استفاده شده است. مشخصات SBS مصرفی نیز در جدول ۲ آمده است.

برای اختلاط قیر و پلیمر، مخلوط‌کن Silverson مدل L4R با برش زیاد به کار گرفته شد.

روش‌ها

مخلوط‌کردن

تمایل به دماهای زیاد، برای کاهش گرانروی و رسیدن به اختلاطی مناسب از یک طرف و افزایش سرعت تخریب پلیمر در دماهای زیاد از طرف دیگر، ناحیه اختلاط را محدود به $180^{\circ}C < T_{mix} < 200^{\circ}C$ کرده است [۲۰].

روش اختلاط در مخلوط‌کن بدین ترتیب بود که ابتدا قیر تا دمای $150^{\circ}C$ گرم شد و پلیمر SBS به مدت ۱۰ min با دور کم (۲۰۰ rpm) با قیر

جدول ۱ ـ مشخصات قیر ۶۰/۷۰ مصرفی.

نوع قیر	شرکت سازنده	چگالی (g/cm^3)	درجه نفوذ	نقطه نرمی ($^{\circ}C$)	کشش‌پذیری (cm)
۶۰/۷۰	پالایشگاه اصفهان	۱/۰۳	۶۶	۵۱	۱۰۰

جدول ۲ ـ مشخصات SBS مصرفی.

پلیمر	نوع	شرکت سازنده	ساختار مولکولی	درصد استیرن
SBS	Carl Prene 501	Dynasol	خطی	۳۱

www.SID.ir

مخلوط شد تا اختلاط اولیه قیر و پلیمر انجام شود و شبکه اولیه تشکیل شده پلیمر در داخل قیر مانع از تغییر زیاد خواص قیر در اثر افزایش دما برای ترکیب ثانویه شود. سپس، دمای قیر به ۱۸۰°C افزایش یافت و پلیمر SBS و قیر با سرعت زیاد (۳۰۰۰ rpm) به مدت ۳۰ min با هم ترکیب شدند.

تعیین درجه نفوذ

آزمایش تعیین درجه نفوذ طبق استانداردهای ASTM D5 و ۲۹۵۰ استاندارد ایران، در دمای ۲۵°C انجام شد. در این آزمایش، ظرف کوچکی از قیر در حمام آب ۲۵°C به مدت ۱ h قرار داده شد و مقدار نفوذ یک سوزن استاندارد در قیر زیر بار استاندارد (۱۰۰ گرمی) به مدت ۵ s برحسب ۰/۱mm اندازه‌گیری شد.

تعیین نقطه نرمی

نقطه نرمی قیر اولیه و قیرهای اصلاح شده طبق استانداردهای ASTM D36 و ۲۹۵۱ استاندارد ایران اندازه‌گیری شد. دو قرص قیری در دو حلقه برنجی قالب‌گیری شدند. پس ازسرد شدن، قیر اضافی به وسیله کاردک داغ برداشته شد و سپس یک ساچمه استاندارد در مرکز هر قرص قیر قرار داده شد، آزمایش با سرعت گرمادهی 5°C/min شروع ودمایی که درآن قیر و ساچمه با انتهای دستگاه تماس پیدا کرد به عنوان نقطه نرمی قیر مربوط گزارش شد.

آزمایش افت وزنی قیر

آزمایش افت وزنی قیر طبق استاندارد ASTM D6انجام شد. در این آزمایش، ابتدا ۵۰ g از قیر ذوب شده به ظرف استوانه‌های شکل به قطر داخلی ۵۵ mm و عمق ۳۵ mm منتقل می‌شود. پس از سرد شدن، به مدت ۵ h در گرم‌خانه مجهز به تهویه هوا در دمای ثابت ۱۶۳°C (دمای پخت آسفالت) نگه‌داری می‌شود. نتیجه آزمایش بر حسب مقدار کاهش وزن نسبت کل نمونه ارزیابی می‌شود:

$$\text{درصد افت وزنی} = \frac{w_a - w_b}{w_a} \times ۱۰۰ \qquad (۱)$$

w_a و w_b به ترتیب وزن نمونه پیش از ورود به گرم‌خانه و پس از خروج از آن است.

نقطه شکست فراس

آزمایش نقطه شکست فراس یکی از معدود آزمایش‌هایی است که برای تشریح رفتار قیر در دماهای خیلی کم (حدود -۳۰°C) به کار برده می‌شود. هدف از این آزمایش تعیین نقطه شکست مواد قیری در دماهای کم است. دمای شکست عبارت است از دمایی که در آن اولین شکست در سطح قیر حاصل می‌شود.

این آزمایش طبق استاندارد BS2000 Part 80 انجام شد. در این آزمایش سطح پلاک فلزی از جنس فولاد زنگ نزن نازک فنری از نمونه آزمایش پوشیده و در شرایط آزمون با کاهش تدریجی دما خم می‌شود تا در سطح پوشش قیر ترک مشاهده شود. برای هر آزمایش سه پلاک به ابعاد ۴۱×۲۰ mm آماده و مقدار ۰/۴±۰/۰۱g قیر روی صفحه فلزی انعطاف‌پذیر به شکل یک‌نواخت پخش شد. هنگام انجام آزمایش پلاک‌ها در جای مورد نظر قرار گرفته و دمای محفظه ظرف با سرعت ۱°C/min کاهش می‌یابد. وقتی که دما به حداقل ۱۰°C بالای نقطه شکست مورد نظر رسید، در هر دقیقه پلاک با چرخاندن دستگیره و با شدت ۱ rps خم و نمونه بازرسی می‌شود. سپس، دستگیره با همان سرعت برگردانده و این کار تکرار می‌شود تا اولین شکست در سطح فیلم مشاهده شود.

شاخص نفوذپذیری

به طورکلی تغییرات حاصل درغلظت قیر (درجه نفوذ یا گرانروی)، که از تغییر درشرایط گرمایی آن به وجود می‌آید، حساسیت گرمایی قیر نامیده می‌شود که برای قیرهای مختلف، متفاوت است.

حساسیت گرمایی قیرها به روش‌های مختلفی محاسبه می‌شوند. یکی از این روش‌ها، محاسبه حساسیت گرمایی قیر به روش شاخص نفوذ (penetration index, PI) است که از معادلات زیر به دست می‌آید [۱۰]:

$$PI = \frac{20 - 500A}{1 + 50A} \qquad (۲)$$

$$A = \frac{\log 800 - \log(\text{Penat } 25^\circ C)}{T_{R\&B} - 25^\circ C} \qquad (۳)$$

که در آن $T_{R\&B}$ دمای نقطه نرمی است.

نتایج و بحث

در تهیه نمونه‌های قیری، پلیمر SBS با مقادیر ۲، ۳، ۴ و ۵ درصد به قیر اضافه شد. آزمون‌هایی که روی نمونه‌ها انجام شد، شامل درجه نفوذ، نقطه نرمی، افت وزنی قیر و نقطه شکست فراس بود. هم‌چنین از نتایج

Archive of SID
www.SID.ir

Archive of SID

این آزمایش‌ها، شاخص نفوذپذیری نمونه‌ها مورد بررسی قرارگرفت که به ترتیب درباره آنها بحث می‌شود.

درجه نفوذ

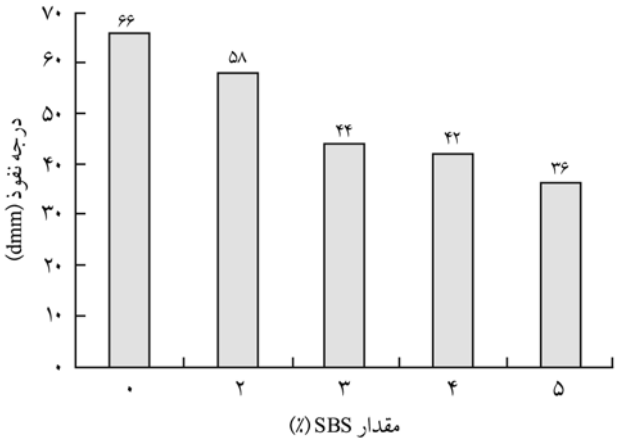
آزمایش درجه نفوذ برای تعیین سختی نسبی به کار می‌رود. با افزایش مقدار پلیمر SBS به قیر، درجه نفوذ قیرکاهش می‌یابد. با توجه به شکل ۱ می‌توان مشاهده کرد که مقدار ۳ و ۵ درصد پلیمر بیشترین اثر را برکاهش مقدار درجه نفوذ قیر دارند. کاهش درجه نفوذ به معنی کاهش روانی و افزایش قوام دردماهای بالا و متوسط است و این نمونه قیرهای پلیمری دردمای بالا از شیاردارشدن آسفالت جلوگیری می‌کند.

کاهش درجه نفوذ قیرهای مخلوط شده با پلیمر SBS به این علت است که پلیمر SBS به طور هم زمان دارای خاصیت لاستیکی و گرمانرمی است. بنابراین، شبکه‌ای سه بعدی از قطعه‌های پلی‌استیرن و قطعه‌های میانی پلی‌بوتادی‌ان در قیر ایجاد می‌شود که قطعه‌های با خواص گرمانرمی (قطعه‌های پلی‌استیرن PS) باعث افزایش گرانروی قیر در دماهای بالا شده و در نتیجه باعث کاهش درجه نفوذ قیر می‌شود که این خواص با آزمایش نقطه نرمی نیز اثبات می‌گردد.

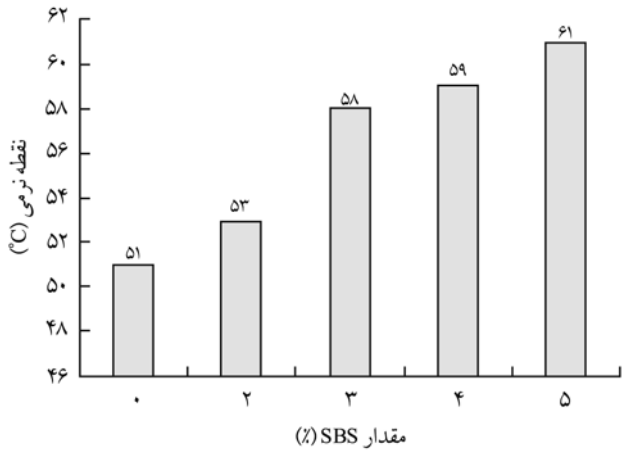
نقطه نرمی

دمایی درآن که قیر حالت روانی پیدا می‌کند، نقطه نرمی قیر نامیده می‌شود. قیری که درجه نرمی بیشتری داشته باشد، کمتر در برابر تغییرات دما حساس است وکندروانی آن کمتر تغییر می‌کند. همان طورکه در شکل۲ مشاهده می‌شود، استفاده از ۳ درصد پلیمر، اثر قابل توجهی بر افزایش نقطه نرمی دارد.

دلیل افزایش نقطه نرمی با افزایش مقدار پلیمر SBS این است که با افزایش دما قطعه‌های پلی‌استیرن ذوب شده و الاستومر گرمانرم حالت



شکل ۱ ـ اثر پلیمر SBS بردرجه نفوذ قیر.



شکل ۲ ـ اثر پلیمر SBS برنقطه نرمی قیر.

مذاب به خود می‌گیرد که نتیجه آن تشکیل زنجیرهای بلند و انعطاف‌پذیر پلیمر در محیط قیر و در نتیجه تشکیل شبکه سه بعدی در ساختار داخلی قیر است که باعث افزایش کشسانی و هم‌چنین گرانروی مخلوط شده، در نتیجه افزایش سیالیت قیر در دماهای بالاتر اتفاق می‌افتد. از نتایج این آزمایش برای استفاده در محاسبه PI و PG معادل قیرها استفاده شده است.

تعیین کاهش وزن قیر

برای تعیین کاهش وزن قیر با درصدهای مختلف پلیمر، ۵ نمونه تهیه و مطابق استاندارد ASTM D6 آزمایش روی قیرها انجام شد. نتایج حاصل از این آزمایش در جدول ۳ ارائه شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار پلیمر SBS در مخلوط قیر، افت وزنی قیر به مقدار قابل توجهی کاهش یافته است، به طوری که در قیر با ۵ درصد پلیمر SBS این مقدار بسیار ناچیز است. علت این پدیده را می‌توان این طور توجیه کرد که پلیمر با ایجاد شبکه‌ای

جدول ۳ ـ نتایج اثر پلیمر SBS بر افت وزنی قیر.

درصد SBS	وزن نمونه (g)		درصد کاهش وزن
	پیش از ورود به گرم‌خانه	پس از ورود به گرم‌خانه	
۰	۵۰	۴۹/۳۲	۱/۳۶
۲	۵۰	۴۸/۸۵	۲/۳۱
۳	۵۰	۴۹/۳۵	۰/۹۰
۴	۵۰	۴۹/۹۸	۰/۰۴
۵	۵۰	۴۹/۹۸	۰/۰۴

www.SID.ir

سه بعدی پیوسته در داخل قیر، با افزایش گرانروی قیر و محبوس کردن مواد قیری در خود مانع از کاهش وزن آن در اثر خروج رزین های قیر و باعث جلوگیری از سخت شدن قیر می گردد. آزمایش کاهش وزن می تواند پدیده پیرسازی در مدت زمان پخت آسفالت (که معمولاً حداکثر پدیده سخت شدن قیر در این مرحله ایجاد می شود) را شبیه سازی کند که با توجه به شکل ۳ می توان مشاهده کرد که پلیمر SBS مانع از سخت شدن قیر می شود. بنابراین، از بروز خرابی های رویه آسفالتی که علت آن سخت شدن تدریجی قیر (age hardening) است، مانند کم شدن خواص کشسانی آن، شکننده شدن قیر و در نتیجه افزایش پتانسیل بروز خرابی های زود هنگام در اثر عبور بارهای ترافیکی تکرار شونده جلوگیری می کند.

شاخص نفوذپذیری (PI)

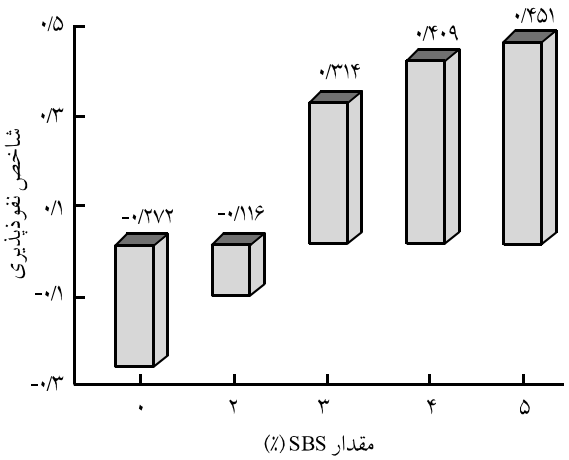
بنابر تجربه، قیر راه سازی در شرایطی که دارای PI نزدیک به ۱+ باشد، کارایی بهتری دارد [۲۱،۱۸]. افزایش پلیمر SBS با درصدهای مختلف باعث افزایش PI قیر می شود. ولی مقدار آن برای هر ترکیب متفاوت است. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱ بهترین PI با مقدار ۰/۴۵+، برای ۵ درصد SBS به دست می آید که نسبت به سایر مخلوط ها به مقدار ایده آل ۱+ نزدیک تر است (شکل ۳).

قیر خالص با وجود خاصیت چسبندگی خوب، از پیوستگی محدودی برخوردار است و دارای محدودیت دما بین نقطه شکست و نقطه نرمی است. استفاده از SBS ضمن بهبود پیوستگی، باعث توسعه محدوده دمایی قابل تحمل تا بیش از دو برابر قیر خالص می گردد که این امر باعث بهبود مقاومت در برابر روانی، نقطه نرمی و گرانروی بیشتر در شرایط سرویس و کاهش حساسیت گرمایی می شود. مقدار PI بیشتر دلالت بر مقدار کمتر حساسیت گرمایی قیر دارد و بیان گر این است که قیر یاد شده می تواند در مناطق با اختلاف دمای زیاد خواص مطلوب تری نشان دهد [۱۸،۲۱].

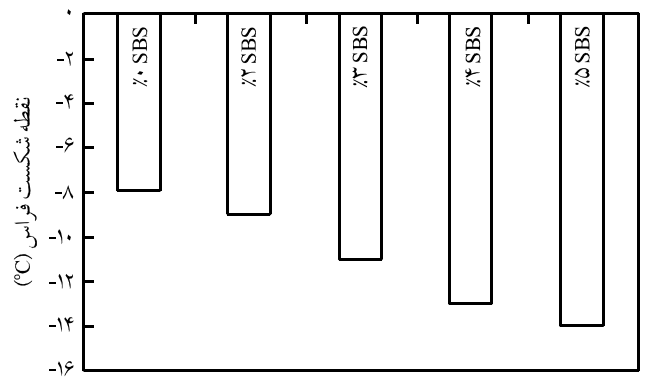
نقطه شکست فراس

نقطه شکست فراس یکی از آزمایش های مهم برای تشریح رفتار قیر در دماهای کم است، مانند مناطق سردسیر که تعداد روزهای یخ بندان در آن جا طولانی است. همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود، نقطه شکست فراس قیرها با افزایش درصد پلیمر SBS کاهش می یابد (منفی تر می شود).

کاهش نقطه شکست فراس، با افزایش پلیمر می تواند به این علت باشد که پلیمر SBS دارای پیوندهای استیرن و بوتادی ان است. وجود الاستومر پلی بوتادی ان به دلیل دارا بودن خاصیت کشسانی زیاد، در میان شبکه پلیمر SBS مانند فنر باعث انعطاف پذیری قیر شده و در نتیجه شکنندگی قیر را کاهش می دهد که در زمستان و در درجه های آب و هوایی کم از مسائل مهم به شمار می رود. قطعه های پلی استیرن وقتی که به دمای گذار شیشه ای خود (۱۰۰°C) می رسد، حالت شبکه ای شدن فیزیکی به خود می گیرد. هم چنین، در دمای کم، پلی استیرن به شکل سخت است و بخش های انتهایی زنجیر را تشکیل می دهد و زنجیرهای الاستومر بوتادی ان را که نرم است، به هم وصل می کند. این موضوع نشان می دهد که افزودن پلیمر SBS به قیر باعث رفتار بهتر قیرها در دمای پایین می شود و همان طور که این پلیمر خواص دمای بالای قیر را بهبود می بخشد و مانع از تغییر شکل های زیاد قیر در دماهای بالا مانند شیارشدگی مسیر چرخ ها (rutting) می شود، خواص دمای پایین قیر را نیز بهبود می بخشد، مانع از شکننده شدن آسفالت در دماهای کم می شود و خاصیت ارتجاعی قیر و آسفالت را حفظ می کند. این موضوع



شکل ۳ ـ اثر پلیمر SBS بر شاخص نفوذپذیری.



شکل ۴ ـ اثر پلیمر SBS بر نقطه شکست فراس قیر.

www.SID.ir

Archive of SID

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این پلیمر به شمار می‌رود و به همین دلیل می‌توان پلیمر SBS را، که یکی از بهترین مواد اصلاح‌کننده قیرهاست، معرفی کرد.

دسته‌بندی براساس درجه کارایی

با توجه به نقش مؤثر قیر در دوام و استحکام مخلوط‌های آسفالتی و نامناسب بودن دو روش متداول دسته‌بندی قیرها (درجه نفوذ و گرانروی که بدون توجه به شرایط به کارگیری مخلوط آسفالتی انجام شده است)، برای استفاده از قیر در شرایط آب و هوایی مختلف و دست‌یابی به خواص مهندسی قیر، در سال ۱۹۸۷ میلادی در آمریکا پروژه‌ای به نام SHRP (Strategic Highway Research Program) یا برنامه تحقیقات استراتژیک بزرگراه‌ها با بودجه‌ای ۵۰ میلیون دلاری تعریف شد که هدف آن ایجاد روش جدیدی برای دسته‌بندی قیر و پیش‌بینی عملکرد آن در رویه آسفالتی بر مبنای علمی بود [۱۵،۲۲]. در

جدول ۴ - مقایسه درجه کارایی با دسته‌بندی بر اساس نفوذپذیری و گرانروی [۱۵].

درجه کارایی	دسته‌بندی بر اساس نفوذپذیری و گرانروی
• خواص فیزیکی از راه اصول مهندسی به طور مستقیم به کارایی قیر مربوط می‌شود. • معیار آزمایش ثابت است، ولی دمای آزمایش با توجه به شرایط آزمایش تغییر می‌کند. • پیرسازی برای سه حالت بحرانی شبیه‌سازی و آزمایش می‌شود: ۱- پیش از اختلاط با مصالح، ۲- پس از اختلاط و اجرا و ۳- در طولانی مدت • دسته‌بندی بسیار دقیق است و کمترین هم‌پوشانی بین مشخصات قیرهای با دسته‌بندی متفاوت وجود دارد. • این سامانه دسته‌بندی برای قیرهای اصلاح شده و اصلاح نشده مناسب است.	• آزمایش نفوذ و شکل‌پذیری تجربی است و به طور مستقیم به عملکرد قیر مربوط نمی‌شود. • آزمایش‌ها در دمایی استاندارد انجام می‌شود، بدون توجه به شرایطی که آسفالت در آن به کار رفته است. • آزمایش‌های پیرسازی فقط در کوتاه مدت انجام می‌شود. در حالی که پیرسازی در طولانی مدت در ترک ناشی از خستگی و ترک دمای پایین بسیار قابل توجه است. • قیرهای با یک دسته‌بندی دارای تفاوت‌های قابل توجهی در مشخصات هستند. این سامانه‌های دسته‌بندی برای قیرهای اصلاح شده مناسب نیست.

جدول ۴ ویژگی‌های درجه کارایی با دسته‌بندی بر اساس نفوذپذیری و گرانروی مقایسه شده است.

درجه کارایی براساس خواص قیر در شرایط به کار رفته واقعی از جمله شرایط آب و هوایی و پیرسازی است. در این روش، دسته‌بندی جدیدی براساس درجه کارایی ارائه شده است که مبتنی بر رفتار کامل قیر و شناخت دقیق از ویژگی‌های عملکردی آن است [۱۷].

در این سامانه دسته‌بندی خواص فیزیکی مورد لزوم برای تمام درجه‌های کارایی ثابت می‌ماند، ولی دمایی که این خواص باید به دست آیند، بسته به شرایط جوی تغییر می‌کند که قیر باید در آن سرویس‌دهی کند [۱۷]. به عبارت دیگر، از ویژگی‌های سامانه مزبور این است که معیار سنجش ثابت مانده و تنها دمای اندازه‌گیری آن تغییر می‌کند [۱۶].

در سامانه SHRP خواص فیزیکی که اندازه‌گیری می‌شوند، طبق اصول مهندسی با عملکرد میدانی به طورمستقیم رابطه دارد و آزمایش‌های SHRP در دماهایی انجام می‌شود که انتظار می‌رود، قیر باید در آن سرویس‌دهی کند. در جدول ۵ دستگاه‌های مورد استفاده در آزمایش‌های SHRP و هدف استفاده از هر یک از آنها ارائه شده است.

جدول ۵ - دستگاه‌های مورد استفاده در سامانه SHRP برای تعیین مشخصات و درجه کارایی قیر [۱۵،۱۷].

دستگاه	هدف
Rolling Thin Film Oven (RTFO)	شبیه‌سازی رفتار پیرسازی قیر ناشی از اکسایش و از دست دادن مواد فرار در هنگام اختلاط
Pressure Aging Vessel (PAV)	شبیه‌سازی رفتار پیرسازی قیر ناشی از اکسایش در هنگام سرویس در جاده
Rotational Viscometer (RV)	اندازه‌گیری گرانروی قیر در دماهای زیاد و هنگام اختلاط و پمپ کردن
Dynamic Shear Rheometer (DSR)	اندازه‌گیری مقاومت قیر در برابر شیاردار شدن (تغییر شکل‌های دائمی) و ترک‌های خستگی
Bending Beam Rheometer (BBR)	اندازه‌گیری مقاومت قیر در برابر ترک‌های گرمایی (عرضی) در دماهای کم
Direct Tensile Tester (DTT)	اندازه‌گیری مقاومت قیر در برابر ترک‌های گرمایی (عرضی) در دماهای کم

www.SID.ir

جدول ۶ - نقطه شکست فراس، نقطه نرمی و درجه کارایی نمونه‌های قیر.

درصد پلیمر	$T_{R\&B}$ (°C)	T_{Frass} (°C)	$^{1}T_{R\&B}+20°C$	$^{2}T_{Frass}$ (°C)	PG	
٪۰	۵۱	-۸	۷۱	-۱۶	-۱۶	۷۰
٪۲	۵۳	-۹	۷۳	-۱۸	-۱۶	۷۰
٪۳	۵۸	-۱۱	۷۸	-۲۲	-۲۲	۷۶
٪۴	۵۹	-۱۳	۷۹	-۲۶	-۲۲	۷۶
٪۵	۶۱	-۱۴	۸۱	-۲۸	-۲۸	۷۶

(۱) حداکثر و (۲) حداقل دمای قابل تحمل قیر.

هدف نهایی تحقیقات SHRP روی قیر، محدود کردن خرابی‌های عمده رویه‌های آسفالتی یعنی تغییر شکل دائمی، ترک ناشی از خستگی و ترک ناشی از دمای کم است [۱۶].

درجه کارایی دارای دو عدد است. عدد سمت چپ (TDSR) حداکثر دمای قابل تحمل قیر را نشان می‌دهد و عدد سمت راست (TBBR) که منفی است، حداقل دمای قابل تحمل قیر را نشان می‌دهد. مقدار PG را می‌توان به طور تقریبی از معادلات زیر برآورد کرد [۱۸]:

$$PG = H, -L \quad (۴)$$

$$H = T_{R\&B} + 20°C \quad (۵)$$

$$L = 2\ T_{Frass} \quad (۶)$$

شایان ذکر است که در PG، تغییرات شش درجه‌ای است، یعنی این که هرشش درجه تغییردر H و L یک درجه تغییر را در PG سبب می‌شود. با توجه به این که انجام آزمایش‌های SHRP بسیار گران قیمت است، از روش معادل برای دسته‌بندی قیرها با توجه به درجه کارایی استفاده شده است. نتایج این محاسبات در جدول ۶ آمده است.

نتیجه‌گیری

به دلیل این که دمای گذار شیشه‌ای پلی‌استیرن، ۱۰۰°C+ است، تا زمانی که دمای محیط به این درجه نرسد، پلی‌استیرن سخت است و با افزودن به قیر صنعتی، در تابستان از نرم شدن زیاد آسفالت جلوگیری می‌کند. هم‌چنین، با توجه به این که دمای گذار شیشه‌ای پلی‌بوتادی‌ان (-۹۰°C) خیلی پایین است، درتابستان نیز این قطعه‌های پلی‌استیرن هستند که از دو طرف پلی‌بوتادی‌ان را (که نرم هستند) گرفته و نگه می‌دارند و از سیالیت پلیمر و در نتیجه قیر صنعتی جلوگیری می‌کنند. به علت وجود پلی‌بوتادی‌ان در SBS، این ماده الاستومر محسوب شده و به واسطه دمای گذار شیشه‌ای کم آن، به مقاومت در مقابل شکنندگی در فصل زمستان کمک می‌کند. در مجموع وجود پلی‌استیرن و بوتادی‌ان درتابستان به نقطه نرمی و در زمستان به مقاومت در مقابل شکنندگی کمک می‌کند.

با توجه به مطالب گفته شده در باره اصلاح قیرها با پلیمر SBS می‌توان به نکات زیر به طور خلاصه اشاره کرد:

- پلیمر SBS با افزایش نقطه نرمی وکاهش درجه نفوذ باعث بهبود خواص قیر در دمای بالا می‌شود.
- با افزایش پلیمر SBS به قیر، نقطه شکست فراس قیر کاهش می‌یابد که این امر باعث کارایی بسیار خوب قیر در دمای پایین می‌شود.
- اضافه کردن پلیمر SBS به قیر، شاخص نفوذپذیری قیر را افزایش می‌دهد که نشان‌دهنده حساسیت گرمایی کم قیر است.
- اصلاح قیر با پلیمر استیرن - بوتادی‌ان - استیرن (SBS) به علت این که زنجیرهای استیرن رفتار گرمانرم و زنجیرهای بوتادی‌ان حالت کشسانی در مخلوط ایجاد می‌کنند، موجب کارایی بسیار خوب قیردر محدوده دمایی بالا و پایین، مقاومت بهتر در مقابل تغییر شکل در دمای بالا و هم‌چنین انعطاف‌پذیری بیشتر در دمای پایین می‌شود. از این رو، این پلیمر یکی از بهترین مواد اصلاح کننده قیرها به شمار می‌رود.

مراجع

1. Ajour A.M., Several Projects, Several Types of Surfaces, *Bull LCPC,* ***113****,* 9-21, 1981.
2. Brule B.B. and Tanguy Y., Paving Asphalt Polymer Blends: Relationship between Composition, Structure and Properties, *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists,* **57**, 41-64, 1988.

Archive of SID
www.SID.ir

Archive of SID

3. Lu. X. and Isacsson U., Rheological Characterization of Styrene-Butadiene-Styrene Copolymer Modified Bitumens, *Construct. Build. Mater.,* **11**, 23-32, 1997.
4. Yildirim Y., Polymer Modified Asphalt Binders, *Construct. Build. Mater.,* **21**, 66-72, 2007.
5. Sargand S. and Kim S., Performance Evaluation of Polymer Modified and Unmodified Superpave Mixes, *Second International Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control,* Auburn, AL, 2001.
6. Sebaaly P., Bazi G. and Vivekanathan Y., Evaluation of New Pavement Technologies in Nevada, Technical Report, University of Nevada, 2003.
7. Chen J. and Lin C., Construction of Test Road to Evaluate Engineering Properties of Polymer-Modified Asphalt Binders, *Int. J. Pavement Eng*., **1**, 285-295, 2000.
8. LU X. and Isacsson U., Laboratory Study on the Low Temperature Physical Hardening of Conventional and Polymer Modified Bitumen's, *Construct. Build. Mater.,* **14**, 79-88, 2000.
9. Fawcett A.H. and Mc Nally T., Blends of Bitumen with Various Polyolefin's, *Polymer,* **41**, 5315-5326, 2000.
10. Stroup-Gardiner M. and Newcomb D.E., Asphalt Modified by SBS Triblock Copolymer Structures and Properties, *Polym. Eng. Sci.,* **30**, 1707-1723, 1996.
11. Gordon D.A., Rheological Properties of Styrene-Butadiene-Styrene Polymer Modified Road Bitumens, *Fuel,* **82**, 1709-1719, 2003.
12. Guian W., Zhang Y., Sun K., and Yongzhong F., Rheological Characterization of Storage-stable SBS-modified Asphalt, *Polym. Test.,* **21**, 295-302, 2002.
13. Tons E. and Krokosky E.M., A Study of Welded Wire Fabric Strip Reinforcement in Bituminous Concrete Resurfacing, *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists,* **29**, 43-80, 1960.
14. Brown S.F., Rowlett R.D., and Boucher J.L., Asphalt Modification, *Proceedings of the Conference on the United States Strategic Highway Research Program: Sharing the Benefits,* London, 81-203, 1990.
15. Sahebi Z., Bitumen Classification, Polymer and Technology Research Institute, Iran, 2005.
16. Bahia H., Hanson D., and Anderson R., Characterization of Modified Asphalt Binders in Superpave Mix Design, NCHRP Report 459, Transportation Research Board, Washington, DC, 2001.
17. Yousefi A.A., Bitumen Classification Base on SHRP Program, Polymer and Technology Research Institute, Iran, 2005.
18. Yousefi A.A., Polyethylene Dispersions in Bitumen: Polymer Structural Parameter Effect, *J. Appl. Polym. Sci.,* **90**, 3183-3190, 2003.
19. Beygi A.E.N., Effect of Elastomers, Thermoplastics and Elastomer-termoplastics on Specific of Asphalt, *The 1st Bitumen and Asphalt Conference,* Iran, Tehran, 1994.
20. Serfass J.P. and Samanos J., Fiber-Modified Asphalt Concrete Characteristics, Applications and Behavior, *J. Associat. Asphalt Paving Technol.,* **65**, 193-230, 1996.
21. Yousefi A.A., Rubber-polyethylene Modified Bitumen, *Iran. Polym. J.,* **13**, 99-110, 2004.
22. Naderi A. and Shahriari M., Superpave Tests and Specifications of Performance Grade, Ministry of Road and Tansportation of Iran, 2000.
23. Coplantz J., Yapp M., and Finn F., Review of Relationships between Modified Asphalt Properties and Pavement Performance, SHRP-A-631, Strategic Highway Research Program,

www.SID.ir