



اثر پلیمر SBS بر خواص قیر و درجه کارایی آن

حسن زیاری^۱، سید مهدی ابطیحی^{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 سرویس دهی مشخص دارد. پلیمرها به عنوان مهم ترین خانواده اصلاح کننده قیر، به منظور بهبود عملکرد و افزایش کارایی قیر به آن اضافه می شوند که در میان انواع پلیمرهای موجود، پلیمر استیرن - بوتادی ان - استیرن (SBS) از جمله بهترین مواد اصلاح کننده قیر به شمار می رود. در این پژوهش، پلیمر SBS به عنوان یکی از اصلاح کننده های الاستومری گرمانرم با درصد های وزنی مختلف (۲ تا ۵ درصد) با قیر ۶۰/۷۰ پالایشگاه اصفهان مخلوط شده و اثر آن بر خواص مختلف قیر از جمله درجه نفوذ، نقطه نرمی، نقطه شکست فراس، درصد افت وزنی و شاخص نفوذ پذیری مورد بررسی قرار گرفته است. هم چنین در این پژوهش، قیرهای اصلاح شده با پلیمر مزبور بر اساس درجه کارایی تقسیم بندی شده اند، که امروزه مبنای دسته بندی قیرهای مورد استفاده در صنعت راه سازی است و در کشورهای توسعه یافته جایگزین روش دسته بندی بر اساس درجه نفوذ شده است. تقسیم بندی قیرهای اصلاح شده بر اساس درجه کارایی امکان تهیه نقشه پهنه بندی قیر مطلوب در اقلیم های مختلف کشور را فراهم می کند.

واژه های کلیدی

اصلاح کننده قیر،
نقطه شکست فراس،
درجه نفوذ، نقطه نرمی،
استیرن - بوتادی ان - استیرن (SBS)

* مسئول مکاتبات، پیام نگار:

mabtahi@cc.iut.ac.ir

Effect of Polymer on Bitumen Properties and its Performance Grade

H. Ziari¹, S.M. Abtahi^{2*}, and A. Goli¹

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 Refinery and its effect on different properties of the bitumen for example penetration index, softening point, Frass breaking point and reduction in weight percentage 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

مقدمه

کشور می توان بر پایه آزمایش هایی که انجام آنها در همه جا امکان پذیر 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 نگه داری راه کاهش می یابد [۱۹]. هم چنین، دسته بندی قیرهای اصلاح شده بر اساس PG امکان تهیه نقشه پهنه بندی قیر مطلوب در اقلیم های مختلف کشور را فراهم می کند.

تجربی

مواد و دستگاهها

در این 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، مخلوط کن Silverson مدل L4R با برش زیاد به کار گرفته شد.

روشها

مخلوط کردن

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 $180^{\circ}\text{C} < T_{\text{mix}} < 200^{\circ}\text{C}$ کرده است [۲۰].

روش اختلاط در مخلوط کن بدین ترتیب بود که ابتدا قیر تا دمای 150°C گرم شد و پلیمر SBS به مدت ۱۰ min با دور کم (۲۰۰ rpm) با قیر

جدول ۱ - مشخصات قیر ۶۰/۷۰ مصرفی.

نوع قیر	شرکت سازنده	چگالی (g/cm ³)	درجه نفوذ	نقطه نرمی (°C)	کشش پذیری (cm)
۶۰/۷۰	پالایشگاه اصفهان	۷۰۳	۶۶	۵۱	۱۰۰

جدول ۲ - مشخصات SBS مصرفی.

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

امروزه استفاده از پلیمر برای اصلاح خواص قیرها رو به گسترش است [۱]. به همین دلیل، در دهه های گذشته پژوهش های 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 - بوتادی ان - استیرن (SBS) و پلیمرهای مشابه مانند لاستیک استیرن - بوتادی ان (SBR)، اتیلن - وینیل استات (EVA) و پلی اتیلن (PE) هستند [۲، ۳]. کوپلیمر SBS کوپلیمری سه قطعه ای است که در آن قطعه های استیرن به وسیله یک قطعه بوتادی ان از یک دیگر جدا شده اند. این کوپلیمرها می تواند خطی یا شعاعی باشد و در قیر شبکه ای کشسان سه بعدی از فاز پلی استیرن را تشکیل می دهد که به وسیله فاز پلی بوتادی ان به یک دیگر متصل شده است [۴-۶]. در پلیمرهای SBS که در قیرهای راه سازی کاربرد دارند، معمولاً استیرن بین ۲۰ تا ۳۰ درصد وزن کل این پلیمرها را تشکیل می دهد. درصد بیشتر استیرن می تواند باعث ناسازگاری با قیر و اشکالاتی در پخش کردن و ناپایداری انبارداری در دماهای بالا شود [۱۰-۱۵]. استفاده از الاستومرهای گرمانرم در اصلاح قیر صنعتی به دلیل دارا بودن هم زمان هر دو خاصیت گرمانرمی و الاستومری است [۹-۱۴].

با توجه به این که معیارهای دسته بندی قیر بر مبنای شاخص نفوذپذیری با وجود هزینه و زمان کم دارای معایب زیادی است [۱۵] و اگرچه دسته بندی قیرها بر اساس درجه کارایی (performance grade, PG) در حال جایگزینی بر اساس درجه نفوذ است [۱۶]. ولی این آزمایش ها بسیار گران قیمت و انجام آنها نیاز به زمان طولانی تری دارد [۱۷، ۱۵]. از طرف دیگر، بیشتر تولیدات پالایشگاه های کشور محدود به قیر ۶۰/۷۰ است که نمی تواند کارایی مناسبی برای تمام شرایط آب و هوایی کشور داشته باشد. در این پژوهش، پس از مطالعه انواع پلیمرهای اصلاح کننده قیر [۱۰-۱۱] یکی از بهترین پلیمرها (SBS) انتخاب و با درصدهای وزنی مختلف (۲ تا ۵ 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 قرار گرفته است. این پلیمر در محدوده میکروسکوپی ساختاری دوفازی دارد. هم چنین، نتایج حاصل از مطالعات میکروسکوپی الکترونی نشان داده است که شکل هندسی فازها همراه با جزء وزنی اجزای تشکیل دهنده آن تغییر می کند [۱۱-۱۳]. قیرهای اصلاح شده با این پلیمرها در دمای اختلاط و تراکم گرانروی مناسبی دارند، ضمن آن که در دمای سرویس دهی و به ویژه دماهای کم خواص کشسانی آن حفظ می شود [۱۲]. سپس، با استفاده از روابط معادل سازی [۱۸] معادل آن قیر بر اساس درجه کارایی محاسبه شد. با در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی مختلف

تشریح رفتار قیر در دماهای خیلی کم (حدود 30°C -) به کار برده می شود. 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 می شود.

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 می شود تا در سطح پوشش قیر ترک مشاهده شود. برای هر آزمایش سه پلاک به ابعاد $41 \times 20 \text{ mm}$ آماده و مقدار $0.4 \pm 0.1 \text{ g}$ قیر روی صفحه فلزی انعطاف پذیر به شکل یک نواخت پنخش شد. هنگام انجام آزمایش پلاک ها در جای مورد نظر قرار گرفته و دمای محفظه ظرف با سرعت $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ کاهش می یابد. وقتی که دما به حداقل 10°C بالای نقطه شکست مورد نظر رسید، در هر دقیقه پلاک با چرخاندن دستگیره و با شدت 1 rps خم و نمونه بازرسی می شود. سپس، دستگیره با همان سرعت برگردانده و این کار تکرار می شود تا اولین شکست در سطح فیلم مشاهده شود.

شاخص نفوذپذیری

به طور کلی تغییرات حاصل در غلظت قیر (درجه نفوذ یا گرانیروی)، که از تغییر در شرایط گرمایی آن به وجود می آید، حساسیت گرمایی قیر نامیده می شود که برای قیرهای مختلف، متفاوت است.

حساسیت گرمایی قیرها به روش های مختلفی محاسبه می شوند. یکی از این روش ها، محاسبه حساسیت گرمایی قیر به روش شاخص نفوذ (penetration index, PI) است که از معادلات زیر به دست می آید [10]:

$$PI = \frac{20 - 500A}{1 + 50A} \quad (2)$$

$$A = \frac{\log 800 - \log(\text{Penat } 25^{\circ}\text{C})}{T_{R\&B} - 25^{\circ}\text{C}} \quad (3)$$

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

نتایج و بحث

در تهیه نمونه های قیری، پلیمر SBS با مقادیر ۲، ۳، ۴ و ۵ درصد به قیر اضافه شد. آزمون هایی که روی نمونه ها انجام شد، شامل درجه نفوذ، نقطه نرمی، افت وزنی قیر و نقطه شکست فراس بود. هم چنین از نتایج

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 180°C افزایش یافت و پلیمر SBS و قیر با سرعت زیاد (3000 rpm) به مدت 30 min با هم ترکیب شدند.

تعیین درجه نفوذ

آزمایش تعیین درجه نفوذ طبق استانداردهای ASTM D5 و 2950 استاندارد ایران، در دمای 25°C انجام شد. در این آزمایش، ظرف کوچکی از قیر در حمام آب 25°C به مدت 1 h قرار داده شد و مقدار نفوذ یک سوزن استاندارد در قیر زیر بار استاندارد (100 گرمی) به مدت 5 s بر حسب 0.1 mm اندازه گیری شد.

تعیین نقطه نرمی

نقطه نرمی قیر اولیه و قیرهای اصلاح شده طبق استانداردهای ASTM D36 و 2951 استاندارد ایران اندازه گیری شد. دو قرص قیری در دو حلقه برنجی قالب گیری شدند. پس از سرد 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 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ شروع و دمایی که در آن قیر و ساچمه با انتهای دستگاه تماس پیدا کرد به عنوان نقطه نرمی قیر مربوط گزارش شد.

آزمایش افت وزنی قیر

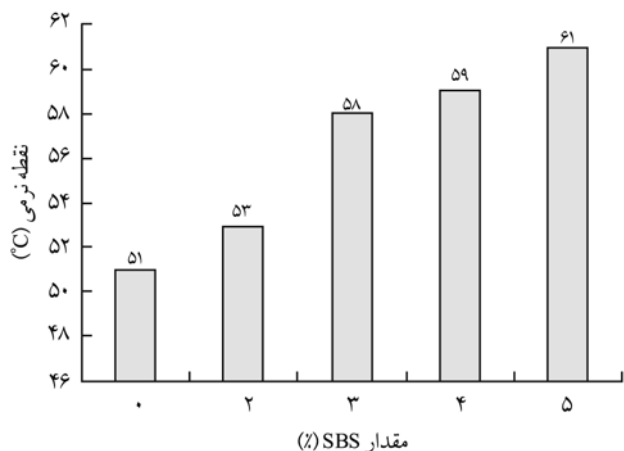
آزمایش افت وزنی قیر طبق استاندارد ASTM D6 انجام شد. در این آزمایش، ابتدا 50 g از قیر ذوب شده به ظرف استوانه های شکل به قطر داخلی 55 mm و عمق 35 mm منتقل می شود. پس از سرد شدن، به مدت 5 h در گرم خانه مجهز به تهویه هوا در دمای ثابت 163°C (دمای پخت آسفالت) نگه داری می شود. نتیجه آزمایش بر حسب مقدار کاهش وزن نسبت کل نمونه ارزیابی می شود:

$$\text{درصد افت وزنی} = \frac{w_a - w_b}{w_a} \times 100 \quad (1)$$

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

نقطه شکست فراس

آزمایش نقطه شکست فراس یکی از محدود آزمایش هایی است که برای



شکل ۲- اثر پلیمر SBS بر نقطه نرمی قیر.

مذاب به خود می‌گیرد که نتیجه آن تشکیل زنجیرهای بلند و انعطاف پذیر پلیمر در محیط قیر و در نتیجه تشکیل شبکه سه بعدی در ساختار داخلی قیر است که باعث افزایش کشسانی و هم چنین گرانی و 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 این‌طور توجیه کرد که پلیمر با ایجاد شبکه‌ای

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

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

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

درجه نفوذ

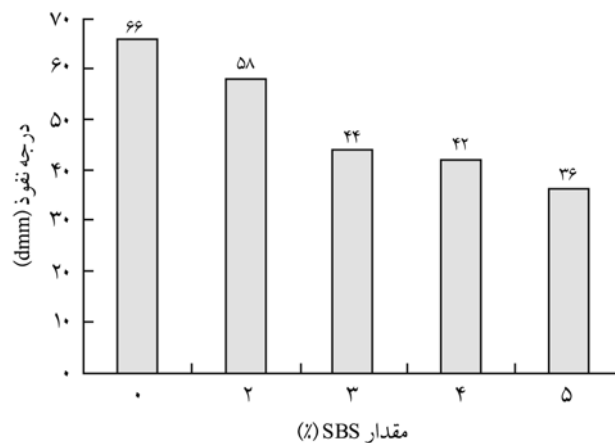
آزمایش درجه نفوذ برای تعیین سختی نسبی به کار می‌رود. با افزایش مقدار پلیمر SBS به قیر، درجه نفوذ قیر کاهش می‌یابد. با توجه به شکل ۱ می‌توان مشاهده کرد که مقدار ۳ و ۵ درصد پلیمر بیشترین اثر را بر کاهش مقدار درجه نفوذ قیر دارند. کاهش درجه نفوذ به معنی کاهش روانی و افزایش قوام دردهای بالا و متوسط است و این نمونه قیرهای پلیمری دردمای بالا از شیاردار شدن 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 پلی استیرن و قطعه‌های میانی پلی بوتادی آن در قیر ایجاد می‌شود که قطعه‌های با خواص گرمانرمی (قطعه‌های پلی استیرن PS) باعث افزایش گرانی و 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 در آن 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 و کندروانی آن کمتر تغییر می‌کند. همان‌طور که در شکل ۲ 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 پلی استیرن ذوب شده و الاستومر گرمانرم حالت



شکل ۱- اثر پلیمر SBS بر درجه نفوذ قیر.

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 [۲۱، ۱۸].

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).

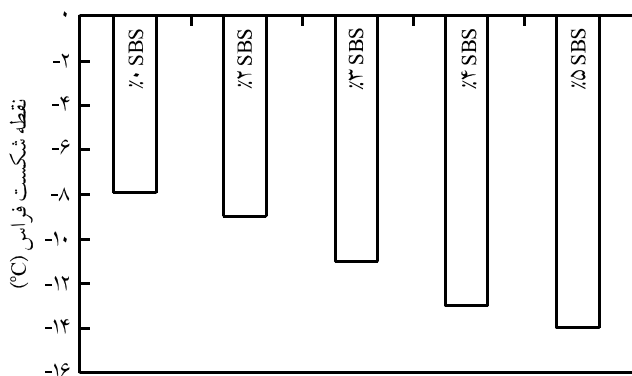
کاهش نقطه شکست فراس، با افزایش پلیمر می تواند به این علت باشد که پلیمر SBS دارای پیوندهای استیرن و بوتادی ان است. وجود الاستومر پلی بوتادی ان به دلیل دارا بودن خاصیت کشسانی زیاد، در میان شبکه پلیمر SBS مانند فنر باعث انعطاف پذیری قیر شده و در نتیجه شکنندگی قیر را کاهش می دهد که در زمستان و در درجه های آب و هوایی کم از مسائل مهم به شمار می رود. قطعه های پلی استیرن وقتی که به دمای گذار شیشه ای خود (100°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

سه بعدی پیوسته در داخل قیر، با افزایش گرانشی 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.

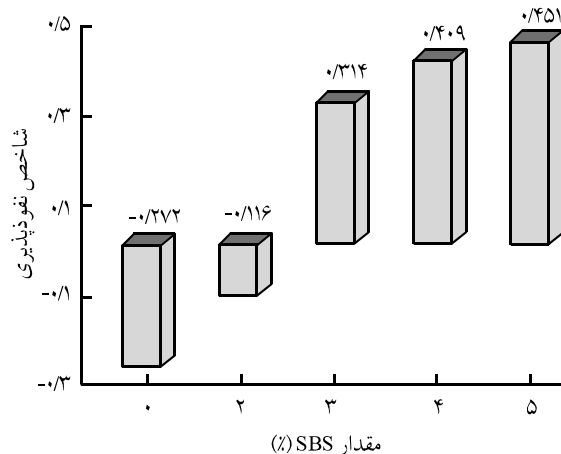
شاخص نفوذپذیری (PI)

بنابر تجربه، قیر راه سازی در شرایطی که دارای PI نزدیک به +۱ باشد، کارایی بهتری دارد [۲۱، ۱۸]. افزایش پلیمر SBS با درصد های 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 گرانشی بیشتر در شرایط سرویس و کاهش حساسیت گرمایی می شود. مقدار PI بیشتر



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



شکل ۳ - اثر پلیمر SBS بر شاخص نفوذپذیری.

جدول ۴ ویژگی های درجه کارایی با دسته بندی 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، دسته بندی جدیدی براساس درجه کارایی ارائه شده است که مبتنی بر رفتار کامل قیر و شناخت دقیق از ویژگی های عملکردی آن است [۱۷].

در این سامانه دسته بندی خواص فیزیکی مورد لزوم برای تمام درجه های کارایی ثابت می ماند، ولی دمایی که این خواص باید به دست آیند، بسته به شرایط جوی تغییر می کند که قیر باید در آن سرویس دهی کند [۱۷]. به عبارت دیگر، از ویژگی های سامانه مزبور این است که معیار سنجش ثابت مانده و تنها دمایی اندازه گیری آن تغییر می کند [۱۶].

در سامانه SHRP خواص فیزیکی که اندازه گیری می شوند، طبق اصول مهندسی با عملکرد میدانی به طور مستقیم رابطه دارد و آزمایش های SHRP در دماهایی انجام می شود که انتظار می رود، قیر باید در آن سرویس دهی کند. در جدول ۵ دستگاه های مورد استفاده در آزمایش های SHRP و هدف استفاده از هر یک از آنها ارائه شده است.

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

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

یکی از مهم ترین ویژگی های این پلیمر به شمار می رود و به همین دلیل می توان پلیمر SBS را، که یکی از بهترین مواد اصلاح کننده قیرهاست، معرفی کرد.

دسته بندی براساس درجه کارایی

با توجه به نقش مؤثر قیر در دوام و استحکام مخلوط های آسفالتی و نامناسب بودن دو روش متداول دسته بندی 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 پروژه ای به نام SHRP (Strategic Highway Research Program) با برنامه تحقیقات استراتژیک بزرگراه ها با بودجه ای ۵۰ میلیون دلاری تعریف شد که هدف آن ایجاد روش جدیدی برای دسته بندی قیر و پیش بینی عملکرد آن در رویه آسفالتی بر مبنای علمی بود [۱۵، ۲۲]. در

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

درجه کارایی	دسته بندی بر اساس نفوذپذیری و گرانروی
خواص فیزیکی از راه اصول مهندسی به طور مستقیم به کارایی قیر مربوط می شود.	• آزمایش نفوذ و شکل پذیری تجربی است و به طور مستقیم به عملکرد قیر مربوط نمی شود.
معیار آزمایش ثابت است، ولی دمای آزمایش با توجه به شرایط آزمایش تغییر می کند.	• آزمایش ها در دمایی استاندارد انجام می شود، بدون توجه به شرایطی که آسفالت در آن به کار رفته است.
پیرسازی برای سه حالت بحرانی شبیه سازی و آزمایش می شود: ۱- پیش از اختلاط با مصالح، ۲- پس از اختلاط و اجرا و ۳- در طولانی مدت	• آزمایش های پیرسازی فقط در کوتاه مدت انجام می شود. در حالی که پیرسازی در طولانی مدت در ترک ناشی از خستگی و ترک دمای پایین بسیار قابل توجه است.
دسته بندی بسیار دقیق است و کمترین هم پوشانی بین مشخصات قیرهای با دسته بندی متفاوت وجود دارد.	• قیرهای با یک دسته بندی دارای تفاوت های قابل توجهی در مشخصات هستند.
این سامانه دسته بندی برای قیرهای اصلاح شده و اصلاح نشده مناسب است.	• قیرهای با یک دسته بندی برای قیرهای اصلاح شده مناسب نیست.

نتیجه گیری

به دلیل این که دمای گذار شیشه ای پلی استیرن، $+100^{\circ}\text{C}$ است، تا زمانی که دمای محیط به این درجه نرسد، پلی استیرن سخت است و با افزودن به قیر صنعتی، در تابستان از نرم شدن زیاد آسفالت جلوگیری می کند. هم چنین، با توجه به این که دمای گذار شیشه ای پلی بوتادی ان (-90°C) خیلی پایین است، در تابستان نیز این قطعه های پلی استیرن هستند که از دو طرف پلی بوتادی ان را (که نرم هستند) گرفته و نگه می دارند و از سیالیت پلیمر و در نتیجه قیر صنعتی جلوگیری می کنند. به علت وجود پلی بوتادی ان در SBS، این ماده الاستومر محسوب شده و به واسطه دمای گذار شیشه ای کم آن، به مقاومت در مقابل شکنندگی در فصل زمستان کمک می کند. در مجموع وجود پلی استیرن و بوتادی ان در تابستان به نقطه نرمی و در زمستان به مقاومت در مقابل شکنندگی کمک می کند.

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

- پلیمر SBS با افزایش نقطه نرمی و کاهش درجه نفوذ باعث بهبود خواص قیر در دمای بالا می شود.
- با افزایش پلیمر SBS به قیر، نقطه شکست فراس قیر کاهش می یابد که این امر باعث کارایی بسیار خوب قیر در دمای پایین می شود.
- اضافه کردن پلیمر SBS به قیر، شاخص نفوذپذیری قیر را افزایش می دهد که نشان دهنده حساسیت گرمایی کم قیر است.
- اصلاح قیر با پلیمر استیرن - بوتادی ان - استیرن (SBS) به علت این که زنجیرهای استیرن رفتار گرم نرم و زنجیرهای بوتادی ان حالت کشسانی در مخلوط ایجاد می کنند، موجب کارایی بسیار خوب قیر در محدوده دمایی بالا و پایین، مقاومت بهتر در مقابل تغییر شکل در دمای بالا و هم چنین انعطاف پذیری بیشتر در دمای پایین می شود. از این رو، این پلیمر یکی از بهترین مواد اصلاح کننده قیرها به شمار می رود.

مراجع

1. Ajour A.M., Several Projects, Several Types of Surfaces, *Bull LCPC*, **III**, 9-21, 1981.
2. Brule B.B. and Tanguy Y., Paving Asphalt Polymer Blends: Rela-

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

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

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

هدف نهایی تحقیقات SHRP روی قیر، محدود کردن خرابی های عمده رویه های 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 می دهد و عدد سمت راست (TBRR) که منفی است، حداقل دمای قابل تحمل قیر را نشان می دهد. مقدار PG را می توان به طور تقریبی از معادلات زیر برآورد کرد [۱۸]:

$$\text{PG} = \text{H}, -\text{L} \quad (4)$$

$$\text{H} = T_{\text{R\&B}} + 20^{\circ}\text{C} \quad (5)$$

$$\text{L} = 2 T_{\text{Frass}} \quad (6)$$

شایان ذکر است که در PG، تغییرات شش درجه ای است، یعنی این که هر شش درجه تغییر در H و L یک درجه تغییر را در PG سبب می شود. با توجه به این که انجام آزمایش های SHRP بسیار گران قیمت است، از روش معادل برای دسته بندی قیرها با توجه به درجه کارایی استفاده شده است. نتایج این محاسبات در جدول ۶ آمده است.

tionship between Composition, Structure and Properties, *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, **57**, 41-64, 1988.

3. Lu. X. and Isacson 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 Isacson 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 Transportation 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,