



## اثر پلیمر SBS بر خواص دینامیکی آسفالت

حسن زیاری<sup>۱</sup>، سید مهدی ابطیحی<sup>۲\*</sup>، احمد گلی<sup>۲</sup>

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

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

دریافت: ۸۷/۴/۱۹، پذیرش: ۸۷/۱۰/۲

### چکیده

کاربرد پلیمر برای اصلاح خواص قیرهای مورد استفاده در روسازی راه، در دهه‌های اخیر رویه گسترش است، به طوری که متصدیان راه‌سازی با به کارگیری قیر اصلاح شده در آسفالت باعث افزایش قابل ملاحظه عمر راه‌ها و در نتیجه موجب افزایش عمر بهره‌برداری از آنها شده‌اند. 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. بیشترین پلیمرهایی که در اصلاح خواص قیرها کاربرد دارند، معمولاً اصلاح‌کننده‌های پلیمری شامل استیرن - بوتادی‌ان - استیرن (SBS) و پلیمرهای مشابه مانند لاستیک استیرن - بوتادی‌ان (SBR)، اتیلن - وینیل استات (EVA) و پلی اتیلن (PE) هستند. پلیمرها به عنوان مهم‌ترین خانواده اصلاح‌کننده قیر، به منظور بهبود و افزایش کارایی به آن اضافه می‌شوند. در میان انواع پلیمرهای موجود، پلیمر استیرن- بوتادی‌ان- استیرن (SBS) از جمله بهترین مواد اصلاح‌کننده قیر به شمار می‌رود. در این پژوهش، پلیمر SBS به عنوان یکی از اصلاح‌کننده‌های الاستومر گرمانرم با درصدهای وزنی مختلف (۲ تا ۵ درصد) با قیر ۶۰/۷۰ پالایشگاه اصفهان مخلوط شد و اثر آن بر خواص آسفالت بررسی شده است. افزایش این پلیمر به قیر باعث بهبود مقاومت مارشال نمونه‌های آسفالتی، روانی، مدول گسیختگی و درصد فضای خالی آسفالت می‌شود، اما اثر قابل توجهی بر چگالی آسفالت ندارد. هم‌چنین، افزودن پلیمر SBS باعث افزایش عمر خستگی آسفالت می‌شود.

### واژه‌های کلیدی

استیرن - بوتادی‌ان - استیرن،  
مقاومت مارشال،  
اصلاح‌کننده پلیمری،  
مدول گسیختگی، عمر خستگی

\*مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:

mabtahi@cc.iut.ac.ir

## The Effect of SBS Polymer on the Dynamic Properties of Asphalt

H. Ziari<sup>1</sup>, S.M. Abtahi<sup>2\*</sup>, and A. Goli<sup>2</sup>

(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: 84156-8311, Isfahan, Iran

Received 9 July 2008, accepted 22 December 2008

### Abstract

Polymer application for the improvement and modification of the bitumen used in roads surfaces has expanded in recent decades. The roads engineers and constructors, therefore, have used the modified bitumen in asphalts helping in this way to increase roads and pavements service life and improving the durability of the roads and asphalts. The bitumen used in asphalt mixture constitutes only a low percentage of the weight of this mixture (between 4% and 6%), but even this small amount has a significant effect on asphalt performance. The polymers that are mostly used in promoting the bitumen specifications are polymer modifiers including: styrene-butadiene-styrene (SBS), as well as similar polymers such as styrene-butadiene-rubber (SBR), ethylene-vinyl-acetate (EVA) and polyethylene (PE). Polymers as the most important family of bitumen modifiers are added to bitumen to improve bitumen performance and to increase its effectiveness. Among the existing polymers, SBS is considered as the best bitumen modifier. In this research, SBS as one of the elastomer-thermoplast modifiers was added in different weights (2%-5%) to bitumen 60/70 in Isfahan Refinery and its effect on asphalt properties were investigated. Adding this polymer to bitumen improves the Marshall stability of sample asphalt, flow, module of rupture and asphalt content voids. However, it has a minor effect on asphalt special weight. Adding SBS would also lead to asphalt fatigue life.

### Key Words

styrene- butadiene- styrene,  
Marshall stability,  
polymer modifier,  
module of rupture, fatigue life

(\* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: mabtahi@cc.iut.ac.ir

## مقدمه

امروزه استفاده از پلیمر برای اصلاح خواص قیرها، کاربردی رو به گسترش دارد [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 الاستومریند، شامل استیرن- بوتادی ان- استیرن (SBS) و پلیمرهای مشابه مانند لاستیک استیرن- بوتادی ان (SBR)، اتیلن- وینیل استات (EVA) و پلی اتیلن (PE) هستند [۳، ۲]. کوپلیمر SBS کوپلیمر سه قطعه ای است که در آن قطعه های استیرن به وسیله قطعه بوتادی ان از یک دیگر جدا شده اند. این کوپلیمر می تواند خطی یا شعاعی باشد و در قیر یک شبکه کشسان سه بعدی از فاز پلی استیرن را تشکیل می دهد که به وسیله فاز پلی بوتادی ان به یک دیگر متصل شده اند [۴-۶]. در پلیمرهای SBS که در قیرهای راه سازی به کار می رود، معمولاً استیرن بین ۲۰ تا ۳۰ درصد وزن کل این پلیمرها را تشکیل می دهد. درصد بیشتر استیرن می تواند باعث ناسازگاری پلیمر با قیر و اشکالاتی در پخش و ناپایداری انبارداری قیر، به ویژه در دماهای زیاد شود [۱۰-۱۵]. یکی از دلایل استفاده از الاستومرهای گرمانرم در قیر صنعتی، دارا بودن هر دو خاصیت گرمانرمی و الاستومری است [۱۴-۹]. به دلیل داشتن شبکه پلی استیرن در این پلیمر می توان آن را به عنوان ماده ای گرمانرم دانست که دارای دمای انتقال شیشه ای زیاد است [۱۳-۱۱]. هم چنین به علت وجود پلی بوتادی ان در SBS، این ماده به عنوان الاستومر محسوب شده و به دلیل واسطه دمای انتقال شیشه ای کم پلی بوتادی ان، مقاومت در برابر شکنندگی در فصل زمستان را افزایش می دهد (دمای انتقال شیشه ای  $90^{\circ}\text{C}$ ). به طور خلاصه می توان گفت، وجود پلی استیرن و بوتادی ان به ترتیب در تابستان به نقطه نرمی و در زمستان به مقاومت در برابر شکنندگی قیر کمک می کند [۱۵].

در پژوهش های گذشته، چگونگی شرایط اختلاط قیر و پلیمر [۱۶، ۲] و هم چنین اثر این پلیمر بر خواص قیرها بررسی شده است [۱۷، ۱۳-۹]. در این پژوهش، پلیمر SBS به عنوان یکی از اصلاح کننده های الاستومری گرمانرم با درصدهای وزنی مختلف (۲ تا ۵ درصد) با قیر ۶۰/۷۰ پالایشگاه اصفهان مخلوط شده و اثر آن بر خواص آسفالت مانند مقاومت مارشال و روانی و نیز خواص دینامیکی آسفالت مانند عمر خستگی بررسی شده است.

جدول ۱ - مشخصات قیر ۶۰/۷۰ مصرفی.

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

مشخصات ارائه شده در جدول ۱ استفاده شد. هم چنین، مشخصات SBS و مصالح سنگی مصرفی به ترتیب در جدول های ۲ و ۳ ارائه شده است.

## دستگاه ها

مخلوط کن Silverson مدل L4R ساخت ایتالیا با برش زیاد برای اختلاط قیر و پلیمر و دستگاه Universal Testing Machine مدل 14P ساخت شرکت ELE انگلستان برای تعیین مدول گسیختگی نمونه های آسفالتی به کار گرفته شد.

## روش ها

## اختلاط قیر و پلیمر

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، محدوده دمایی اختلاط قیر و پلیمر را محدود به  $200^{\circ}\text{C} > T_{\text{mix}} > 180^{\circ}\text{C}$  کرده است [۱۶].

برای اختلاط قیر و پلیمر از مخلوط کن با برش زیاد استفاده شد. روش اختلاط بدین ترتیب بود که ابتدا قیر تا دمای  $150^{\circ}\text{C}$  گرم شد و پلیمر SBS به مدت ۱۰ min با دور کم (۲۰۰ rpm) با قیر 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  $180^{\circ}\text{C}$  افزایش یافت و پلیمر SBS و قیر با سرعت زیاد (۳۰۰۰ rpm) به مدت ۳۰ min با هم ترکیب شدند.

## آزمایش های آسفالت

برای انجام آزمایش های آسفالت، نمونه های مارشال در دو مرحله اصلی

جدول ۲ - مشخصات SBS مصرفی.

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

## تجربی

## مواد

در این پژوهش، از قیر ۶۰/۷۰ پالایشگاه اصفهان به عنوان قیر پایه با

## جدول ۳ - مشخصات مصالح سنگی.

مشخصه	شماره استاندارد	حدود استاندارد برای رویه آسفالتی	مقدار
سایش (%)	ASTM C131	<30	۲۳
تمیزی (هم ارز ماسه) (%)	ASTM D2419	>50	۶۳/۲
جذب آب (%)	ASTM C127	<۲/۵	۰/۹۶
چگالی مصالح (g/cm <sup>3</sup> )	ASTM C127	-	۲/۵۸
مقاومت فشاری (kg/cm <sup>2</sup> )	ASTM D692	-	۴۰۰

ساخته و آزمایش های مورد نظر روی آنها انجام شد. در مرحله اول با استفاده از مصالح سنگی و قیر خالص ۶۰-۷۰، درصد قیر بهینه مخلوط های آسفالتی به دست آمد. سپس، با توجه به درصد قیر بهینه برای قیر خالص نمونه های دیگری با قیرهای پلیمری با درصد های مختلف پلیمر SBS ولی با همان درصد قیر بهینه اولیه قیر خالص ساخته شد تا به ازای درصد قیر بهینه اولیه خواص آسفالت با همان درصد قیر ولی با درصد های مختلف پلیمر را بتوان مقایسه کرد.

نمونه های آسفالتی مطابق استاندارد ASTM D1559 ساخته شد. هم چنین، برای ساخت نمونه های آسفالتی از دانه بندی پیوست شماره ۴ نشریه ۲۳۴ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور استفاده شد که در جدول ۴ مشخصات آن بیان شده است.

برای ساخت نمونه های آسفالتی، نمونه های ۱۲۰۰ گرمی دانه بندی شده که همگی دارای دانه بندی میانگین حد مجاز معین شده بودند، به مدت ۲۴ h در دمای ۱۶۰-۱۷۰°C در گرم خانه قرار گرفتند تا آب موجود در میان دانه های مصالح سنگی تبخیر شود. نمونه ها به گروه ۴ تایی

دسته بندی می شوند و برای هر گروه یک درصد قیر در نظر گرفته می شود.

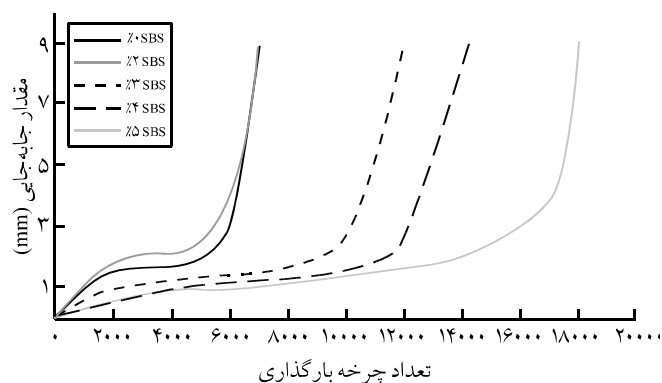
در مرحله بعد، کل قیر مورد نیاز تا دمای ۱۳۷°C گرم و یک نمونه مصالح سنگی از گرم خانه خارج و کنترل شد. مقدار قیر به وزن معین که دارای دمای مطلوب بود به مصالح سنگی اضافه شد. با قرار دادن ظرف در زیر مخلوط کن که دارای دستگاه گرم کن است، عمل اختلاط قیر و مصالح سنگی انجام شد. پس از ۵ min و بازدید نمونه با اطمینان از آغشته شدن کامل مصالح سنگی با قیر، آسفالت داخل قالب های مارشال ریخته شده و سپس در زیر چکش تراکم قرار گرفت و با برخورد ۷۵ ضربه به هر طرف نمونه، متراکم شد. پس از آن نمونه ها در محیط قرار گرفتند تا در دمای محیط به آرامی سرد شوند. برای تعیین مقاومت فشاری و روانی، نمونه ها به مدت ۳۰ تا ۴۰ min در حمام آب گرم مجهز به دمای ۶۰±۱°C قرار گرفتند. در پایان، نمونه ها تک تک از آب خارج و با پارچه خشک شدند و بلافاصله در زیر فک دستگاه قرار گرفتند. در دستگاه های الکترونیکی، چون دستگاه به طور خودکار اعداد نمایشی را ثبت می کند، عمل بارگذاری تا زمانی ادامه می یابد که درجه بارگذاری افزایش مقاومتی را نشان ندهد و بلافاصله عدد مربوط به مقاومت فشاری و روانی ثبت می شود.

## آزمایش تعیین نسبت مدول گسیختگی

برای تعیین مدول گسیختگی نمونه های آسفالتی از یک آزمایش غیرمخرب و دستگاه UTM (Universal Testing Machine) استفاده شد. به طوری که نمونه های آسفالتی برای مدت حداقل ۲۴ h در محفظه دستگاه در دمای ۲۰°C نگه داری و با وارد کردن مشخصات نمونه ها (طول و ارتفاع) و تنظیم دستگاه، آزمایش انجام شد. تعداد پالس ها روی ۵، مدت پالس ها برابر ۳s، مدت پالس آزمایش

## جدول ۴ - مشخصات دانه بندی مورد استفاده در تهیه نمونه های آسفالتی.

اندازه سوراخ الک	درصد عبوری	میانگین درصد عبوری	میانگین درصد مانده	وزن مورد نیاز برای نمونه ۱۲۰۰ گرمی
۱۹ mm (۳/۴ inch)	۱۰۰	۱۰۰	۰	۰
۱۲/۵ mm (۷/۲ inch)	۹۰-۱۰۰	۹۵	۵	۶۰
۴/۷۵ mm (شماره ۴)	۴۴-۷۴	۵۹	۳۶	۲۳۲
۲/۳۶ mm (شماره ۸)	۲۸-۵۸	۴۳	۱۶	۱۹۲
۰/۳ mm (شماره ۵۰)	۵-۲۱	۱۳	۳۰	۳۶۰
۰/۰۷۵ mm (شماره ۲۰۰)	۲-۱۰	۶	۷	۸۴
عبوری از الک شماره ۲۰۰	-	-	۶	۷۲



شکل ۱- نتایج حاصل از آزمایش کشش غیرمستقیم با دستگاه UTM.

## نتایج و بحث

نمودارهای مختلف برای مقاومت آسفالت، روانی و درصد فضای خالی رسم شد. مشاهده شد، به ازای قیر ۴/۵ درصد بیشترین مقاومت مارشال و مقدار روانی در حد استاندارد (۴-۲/۵) و هم چنین درصد فضای خالی در محدوده استاندارد (۳ تا ۵ درصد) به دست آمد. بنابراین، درصد قیر بهینه برای نمونه‌های تهیه شده با قیر خالص، برابر ۴/۵ درصد است (جدول ۵).

برای بررسی اثر پلیمر SBS روی مخلوط‌های آسفالتی، درصد قیر مصرفی در نمونه‌های مارشال ثابت در نظر گرفته شد (برابر ۴/۵ درصد که مساوی درصد قیر بهینه برای قیر خالص است) و نوع قیر استفاده شده در مخلوط‌های آسفالتی پارامتر متغیر فرض شد. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها در جدول ۶ ارائه شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، چگالی آسفالت با تغییر درصد پلیمر تغییر چندانی نکرده است، علت آن را می‌توان این‌طور توجیه کرد که وزن پلیمر اضافه شده نسبت به وزن آسفالت بسیار ناچیز است. همان

جدول ۶- نتایج حاصل از آزمایش‌های مختلف در مقدار بهینه ۴/۵ درصد قیر.

درصد پلیمر	چگالی (g/cm <sup>3</sup> )	فضای خالی (%)	روانی (mm)	مقاومت فشاری (kN)
۰	۲/۳۸	۳/۵۱	۲/۱۸	۸/۶۲
۲	۲/۳۸	۳/۳۱	۲/۲۹	۷/۶۸
۳	۲/۳۸	۳/۳۵	۲/۶۱	۹/۱۶
۴	۲/۳۹	۴/۰۶	۳/۱۲	۱۰/۱۶
۵	۲/۴۲	۴/۲۳	۳/۴۱	۱۰/۶۴

جدول ۵- نتایج حاصل از آزمایش‌های مختلف برای تعیین درصد قیر بهینه (قیر خالص).

درصد قیر	چگالی (g/cm <sup>3</sup> )	فضای خالی (%)	روانی (mm)	مقاومت فشاری (kN)
۳/۵	۲/۳۴	۳/۴۱	۷/۷۳	۶/۰۲
۴/۰	۲/۳۶	۳/۳۵	۲/۵۱	۷/۸۱
۴/۵	۲/۳۸	۳/۲۲	۲/۵۳	۸/۹۱
۵/۰	۲/۳۸	۳/۱۲	۲/۶۰	۷/۶۴

برابر ۲s و عرض پالس برابر ۱۰۰ ms تنظیم شد. حداکثر نیروی بارگذاری برابر ۱۰۰۰N و ضریب پواسون برابر ۰/۴ برای دستگاه تعریف شد. برای این منظور، به ازای هر قیر که با درصد مشخصی پلیمر مخلوط شده بود، ۳ نمونه آسفالتی تهیه و روی هر نمونه ۵ پالس تکرار شد. پس از انجام آزمایش روی نمونه‌های آسفالتی، میانگین نتایج به وسیله دستگاه نمایش داده شد.

### آزمایش کشش غیرمستقیم

آزمایش کشش غیرمستقیم نوعی آزمایش برای تعیین مقدار خستگی آسفالت است. بارگذاری به شکل تکراری بر یک نمونه استوانه‌ای اعمال می‌شود، به طوری که بار فشاری بر وجه استوانه‌ای و به شکل موازی و قائم اعمال می‌شود. شکل بارگذاری سبب ایجاد تنش کششی یکنواختی در نمونه شده که عمود بر جهت بارگذاری و در طول نمونه استوانه‌ای است. آزمایش از نظر اجرایی ساده و برای بیان ویژگی آسفالت روشی مؤثر است. نمودار خستگی به شکل تعداد چرخه بارگذاری در برابر مقدار تغییر شکل قائم نمونه آسفالتی تا زمان شکست نمونه گزارش می‌شود.

### آزمایش شکست خستگی

در این آزمایش، که استاندارد DDABF(BS DRAFT) مد نظر بود، هدف اندازه‌گیری پاسخ خستگی مخلوط آسفالتی نمونه‌های استوانه‌ای به شکل کشش غیرمستقیم است. در این آزمایش، روش بارگذاری با کنترل تنش انجام شد و شکل بار از نوع نیمه سینوسی با طول پالس ۱۵۰۰ ms و زمان بارگذاری ۱۲۵ ms و در مجموع با بسامد ۰/۶۶ Hz اجرا شد. آزمایش روی نمونه‌های قیر استاندارد و قیرهای اصلاح شده در سطح تنش ۳۰۰ kPa انجام شد. دمای محفظه آزمایش ۲۵°C و معیار نهایی شکست نمونه آسفالتی رسیدن به جابه‌جایی ۹ mm تنظیم شد. خروجی دستگاه در شکل ۱ ارائه شده است.

این جدول مشاهده می‌شود، افزایش پلیمر باعث افزایش مدول گسیختگی آسفالت شده که این موضوع می‌تواند به این علت باشد که پلیمر با ایجاد شبکه‌ای سه بعدی در قیر و در واقع مسلح کردن آن باعث افزایش سفتی قیر و در نتیجه سختی آسفالت می‌شود. این خاصیت می‌تواند مانع از شیارشدهگی در شرایط سخت آب و هوایی و ترافیکی آسفالت شود، زیرا شیارشدهگی آسفالت در واقع تغییر شکل دائمی آسفالت است که ناشی از کم بودن کشسانی مخلوط آسفالتی است.

### مراحل شکست خستگی

ساز و کار خستگی نمونه‌های آسفالتی شامل سه مرحله است. در مرحله ۱، ترک‌های ریز در پوشش نازک قیری بین سنگ‌دانه‌ها پدید می‌آید که انحنای آغازی نمودار این فرایند را نشان می‌دهد. این تغییرات سریع در مرحله انتقالی پدیده ترمودینامیکی، که ناشی از کاهش ویسکوالاستیک در مخلوط‌های آسفالتی است، رخ می‌دهد. در مرحله ۲، این تغییرات گرمایی پایان یافته و ترک‌های اولیه ایجاد می‌شوند، که یک الگوی ترک بزرگ به شکل تدریجی می‌شود. در مرحله ۳، ترک بزرگی تا شکست نمونه با رشدی سریع گسترش می‌یابد [۱۸،۱۹].

### کشش غیرمستقیم و شکست خستگی

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، افزایش پلیمر SBS به علت محصور شدن مولکول‌های قیر به وسیله ذرات پلیمر و ایجاد فیلم در اطراف ذرات قیر، باعث بهبود خواص و در نتیجه ایجاد انسجام و چسبندگی بهتر قیر و استحکام پایدار مخلوط آسفالتی و در نتیجه باعث افزایش عمر خستگی مخلوط‌های آسفالتی می‌شود (با تنش  $300 \text{ kPa}$  و ۵ درصد پلیمر، حدود ۳ برابر می‌شود). نکته قابل توجه در این نمودار این است که اضافه کردن پلیمر تا مقدار ۲ درصد، نه تنها اثری بر بهبود آسفالت ندارد، بلکه باعث ایجاد سریع‌تر ترک‌های ریز می‌شود و علت آن را می‌توان این‌طور توجیه کرد که به علت کم بودن مقدار پلیمر در قیر، پلیمر نه تنها نمی‌تواند شبکه پیوسته‌ای در قیر ایجاد کند، بلکه باعث به هم ریختگی فضای پیوسته و همگن قیر نیز می‌شود (البته در این آزمایش از هیچ نوع روغن روان‌کننده‌ای استفاده نشده است).

جدول ۷ - نتایج آزمایش‌های نسبت مدول گسیختگی در نمونه‌های دارای مقادیر مختلف پلیمر SBS.

مقدار SBS (%)	۰	۲	۳	۴	۵
مدول گسیختگی (MPa)	۴۵۳۳/۳۳	۴۶۷۴/۳۳	۴۹۱۹	۵۱۵۸	۶۳۶۱/۳۳

طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، درصد فضای خالی آسفالت افزایش می‌یابد. افزایش درصد فضای خالی آسفالت پلیمری نسبت به آسفالت معمولی می‌تواند به این علت باشد که با افزایش پلیمر به قیر، گرانیروی آن افزایش یافته و در نتیجه تراکم آسفالت به خوبی انجام نمی‌شود. هم‌چنین مشاهده می‌شود، مقاومت مارشال نمونه‌های آسفالت پلیمری نسبت به آسفالت با قیر خالص افزایش می‌یابد. علت این موضوع را می‌توان این‌طور توجیه کرد که پلیمر SBS با ایجاد شبکه‌ای سه بعدی در قیر و به دلیل خاصیت کشسانی مولکول‌های پلی‌بوتادی‌ان و خاصیت پلاستیکی مولکول‌های پلی‌استیرن تشکیل دهنده پلیمر SBS، باعث مسلح کردن قیر و افزایش مقاومت و کشش پذیری آن و در نتیجه افزایش مقاومت مارشال نمونه‌ها (تا حدود ۲۴ درصد) می‌شود.

این پلیمر باعث افزایش خاصیت چسبندگی قیر به مصالح نیز می‌شود، به طوری که در سه نمونه از مخلوط‌های آسفالتی با مقدار ۵ درصد پلیمر SBS، که فراموش شده بود بخش زیری چکش مارشال چرب شود، نمونه آسفالتی به کف چکش چسبیده و باعث خرابی نمونه آسفالتی شد. این در حالی است که در تهیه آسفالت با قیر خالص یا درصد کم پلیمر SBS مشکل مزبور مشاهده نشد. از این رو، عامل چسبندگی قیر به مصالح نقش مؤثری در افزایش مقاومت مارشال دارد. در انتها مشاهده می‌شود که با افزایش پلیمر SBS به قیر مقدار روانی آسفالت افزایش می‌یابد.

در نگاه اول شاید این پدیده به عنوان یک عیب برای پلیمر SBS به نظر برسد، ولی با دقت بیشتر در اعداد و در نظر گرفتن آن به طور هم‌زمان با مقاومت مارشال نتیجه می‌شود، این موضوع نه تنها یک ضعف به شمار نمی‌رود، بلکه به عنوان عاملی مؤثر و مثبت عمل می‌کند. دلیل این گفته را می‌توان این‌طور توضیح داد که پلیمر SBS با افزایش مقاومت مارشال به تنهایی، آسفالت را به دماهای با مقاومت زیاد و شکننده تبدیل نمی‌کند، بلکه علاوه بر مقاومت، باعث افزایش انعطاف پذیری آسفالت می‌شود. این امر می‌تواند باعث جذب انرژی بیشتر آسفالت و در نتیجه کارایی مناسب آن در شرایط آب و هوایی و ترافیکی سخت شود که نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم نیز این مطلب را تأیید می‌کند.

نکته قابل توجه در استفاده از SBS این است که تا مقدار ۳ درصد آن اثر قابل توجهی بر خواص آسفالت ندارد، اما، اثر این پلیمر از مقدار ۳ درصد و بیشتر ظاهر می‌شود. معمولاً در تهیه قیرهای پلیمری روغن نرم‌کننده نیز به کار می‌رود که دلیل عدم کارایی SBS در درصد‌های کم می‌تواند به دلیل عدم استفاده از این ترکیبات در پژوهش حاضر باشد.

### نسبت مدول گسیختگی

جدول ۷ نتایج حاصل از این آزمایش را نشان می‌دهد. همان‌طور که در

## نتیجه گیری

- این پلیمر باعث افزایش روانی مارشال می شود، اما در هیچ یک از آزمایش ها باعث نمی شود که این روانی از حدود استاندارد تجاوز کند و مانع از سخت یا نرم شدن بیش از اندازه آسفالت شود.

- SBS باعث افزایش فضای خالی (به علت تورم پلیمر در ترکیب با قیر) مخلوط های آسفالتی نسبت به حالت پایه می شود. اما، این افزایش فضای خالی باعث ایجاد فضای خالی بیش از حد استاندارد (۳ تا ۵ درصد) نمی شود.

- استفاده از پلیمر SBS باعث افزایش مدول گسیختگی و نیز افزایش عمر خستگی می شود که از عوامل مهم در بیان ویژگی های مخلوط های آسفالتی است.

اگرچه قیر در صد وزنی کمی از مخلوط های آسفالتی را تشکیل می دهد، اما، اثر بسیار زیادی بر خواص آسفالت دارد. از این رو، امروزه پژوهش های زیادی در باره بهبود این جزء از مخلوط های آسفالتی انجام شده است. در این پژوهش، از پلیمر SBS به عنوان ماده اصلاح کننده قیر برای بهبود خواص آسفالت استفاده شده است. در نهایت، از این ماده برای تهیه آسفالت استفاده شده که به طور خلاصه می توان به نتایج زیر اشاره کرد:

- پلیمر SBS با ایجاد شبکه ای سه بعدی داخل قیر و مسلح کردن آن باعث افزایش مقاومت مارشال مخلوط های آسفالتی می شود.

## مراجع

1. Ajour A.M., Several Projects, Several Types of Surfaces, *Bull. LCPC*, **113**, 9-21, 1981.
2. Brule B., Brion Y., and Tanguy A., Paving Asphalt Polymer Blends: Relationship 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. Yildirim Y., Polymer Modified Asphalt Binders, Resources, *Construct. Build. Mater.*, **21**, 66-72, 2007.
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. Airey G.D., 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, 181-203, 1990.
15. Jenq Y.S., Liaw C.J., and Liu P., Analysis of Crack Resistance of Asphalt Concrete Overlays: A Fracture Mechanics Approach, *Transportation Research Record*, 160-166, 1993.
16. Serfass J.P. and Samanos J., Fiber-Modified Asphalt Concrete Characteristics, Applications and Behavior, *J. Associat. Asphalt Paving Technol.*, **65**, 193-230, 1996.
17. Yousefi A.A., Polyethylene Dispersions in Bitumen: Polymer Structural Parameter Effect, *J. Appl. Polym. Sci.*, **90**, 3183-3190, 2003.
18. Tangella S.C.S.R., Craus J., Deacon J.A., and Monismith C.L., Summary Report on Fatigue Response of Asphalt Mixtures, Prepared for Strategic Highway Research Program, Berkeley, California, 147, 1990.
19. Khodadadi Darban A., *The Effect of Asphalt Compaction on Fatigue Life and Elasto-Plastic Behavior of Asphalt Pavement*, MSc Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Carleton University, Ottawa, Canada, 1993.