

تأثیر نسبت اختلاط و نوع کائوچوی مصنوعی بر ویژگی‌های آمیزه‌های ترد تایر SBR/BR پُر شده با دوده و سیلیکا

Effects of Blend Ratio and SBR Type on Properties of Carbon Black- Filled and Silica- Filled SBR/BR Tire Tread Compounds

چکیده:

در این مقاله تأثیر اختلاط آمیزه‌ی بین استایرن‌بوتادی‌ان رابر (SBR) و بوتادی‌ان رابر (BR) و نوع (E-SBR, S-SBR) SBR بر ویژگی‌های آمیزه‌ی SBR/BR ترد تایر بررسی شده است. تأثیر این پارامترها بر ویژگی‌های آمیزه‌ی ترد تقویت‌شده با ۸۰ phr دوده و سیلیکا مقایسه شده است. نتیجه‌ها نشان داد سختی، مقاومت و بازدهی چنگزنی در شرایط خیس با افزایش سهم BR ضعیف شده است، ولی مقاومت غلتشی بهبود پیدا می‌کند. در تمام آمیزه‌ها حضور BR باعث کاهش مقاومت سایشی شده است، اما به‌طور شگفت‌آوری در سیستم E-SBR پُر شده با دوده، افزایش BR منجر به بهبود مقاومت سایشی شد. نتیجه‌ها به‌روشنی نشان دادند S-SBR ویژگی‌های برتر و مناسب‌تری از نظر کاربری تایر، به‌ویژه در سیستم‌های پُر شده با سیلیکا، نسبت به E-SBR ارائه می‌دهد. در مقایسه با دوده، سیلیکا مقاومت قابل‌مقایسه، چنگزنی در شرایط خیس بهتر و مقاومت غلتشی پایین نشان می‌دهد. از طرفی بر اساس نتیجه‌ها آمیزه‌های تقویت‌شده با دوده، مقاومت سایشی بالاتری نسبت به سیلیکا دارند.

واژه‌های کلیدی: SBR، BR، دوده، سیلیکا، تایر.

| | | |
|---|---|--|
| جهانی اکنون به‌سوی حمل‌ونقل سبز معطوف شده است. حفظ امنیت رانندگی و قابلیت فرمان‌پذیری تایر در جاده‌های مرطوب، با چنگزنی ارتباط مستقیمی دارد. مقاومت سایشی، پارامتر اساسی تعیین‌کننده‌ی میزان استقامت تایر است و برای بهبود مقاومت غلتشی و چنگزنی، تلاش‌های موفقیت‌آمیز بسیاری انجام شده | مقدمه کارایی تایر به‌طور وسیعی با سه ویژگی اساسی تعیین می‌شود: مقاومت غلتشی، چنگزنی در شرایط مرطوب و مقاومت سایشی تایر که در طول دو دهه‌ی گذشته بسیار مورد توجه بوده است. از آنجایی‌که تایرها مسئول مصرف ۲۰ الی ۳۰ درصد سوخت خودرو هستند، تقاضای | نوع مقاله: ترجمه جمال موثق مدیر تولید شرکت آرتاویل تایر، اردبیل، ایران * عهده دار مکاتبات: movassaghj@yahoo.com تاریخ دریافت: ۹۶/۸/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۱۹ |
|---|---|--|

سیستم تقویت‌کننده‌ی پُر شده با دوده و سیلیکالی اصلاح‌شده، مقایسه شده است.

بخش تجربی

مواد مصرفی:

دو نوع SBR پایه‌روغنی (S-SBR 6450SL) و (E-SBR 1723) از شرکت پتروشیمی کومپوی کره‌ی جنوبی تهیه شده‌اند که ویژگی‌های معمول این دو نوع SBR در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱- ویژگی‌های عمومی E-SBR و S-SBR استفاده‌شده در این پژوهش

| | S-SBR (6450SL) | E-SBR (1723) |
|------------------------|----------------|--------------|
| Styrene content, % | 34.6 | 23.4 |
| Vinyl content, % | 40.1 | N/A |
| TDAE oil content, phr* | 37.5 | 37.5 |
| Mooney viscosity, MU** | 53.2 | 49.1 |

*Parts per hundred rubber. ** Mooney unit.

بوتادی‌ن‌رابر (BR 01, ML1 + 4 @ 100 °C = 45) از شرکت BST الاستومری تایلد، TBBS، 6PPD، TMQ از شرکت مونفلکس PTE سنگاپور، TESPT از شرکت In Nova تیان‌جین چین، سایر افزودنی‌ها از کشور تایلد، دوده‌ی N-234 با سطح ویژه $126 \text{ m}^2/\text{g}$ و سیلیکالی توکوسیل ۲۵۵ با سطح ویژه $166 \text{ m}^2/\text{g}$ ، به ترتیب از شرکت‌های Thai Carbon Black Public و OSC Siam Silica، روغن TDAE از شرکت PSP، استئاریک‌اسید از شرکت Kij Paiboon Chemical، اکسیدروی از شرکت Thai-Petch Thai Chemical، پارافین واکس از شرکت Lysaght و تترا‌بنزیل‌تیورام دی‌سولفید (TBzTD) و گوگرد به ترتیب از شرکت‌های Behn Meyer Chemicals و Siam Chemicals Public تهیه شده‌اند. تمام مواد مصرفی به‌محض دریافت استفاده شدند.

نحوه‌ی تولید و آزمون آمیزه‌ها

آمیزه‌ها بر اساس فرمولاسیون جدول (۲) با استفاده از

است [۱ تا ۱۲]. کارهای پژوهش‌گران نشان می‌دهد که مقاومت غلتشی و چنگ‌زنی با رفتار ویسکوالاستیکی-دینامیکی آمیزه‌ی ترد ارتباط بسیار تنگاتنگی دارد. این دو پارامتر با نسبت مدول اتلاف و مدول نخیره ($\tan \delta$)، به ترتیب در دمای بالا (60°C) و دمای پایین (0°C) متناسب است [۸، ۹ و ۱۳ تا ۱۷]. دوده به‌طور گسترده به‌عنوان اصلی‌ترین پُرکننده‌ی تقویتی در آمیزه‌ی ترد تایلر استفاده می‌شود، زیرا فرایندپذیری بیشتری در کنار استقامت بالاتر تایلر در مقایسه با سیلیکالی اصلاح‌نشده از خود نشان می‌دهد.

از آنجایی‌که استفاده از عامل سازگارکننده‌ی سیلانی می‌تواند به‌طرز چشم‌گیری پراکنش سیلیکا و برهم‌کنش‌های تایلر سیلیکالی را بهبود ببخشد، این روزها استفاده از فناوری سیلیکا در تایلرهای با کارایی بالا متداول شده است. در صورتی‌که دوده مصرفی تماماً یا کسری از آن با سیلیکالی اصلاح‌شده با سیلان جای‌گزین شود، کاهش چشم‌گیری در مقاومت غلتشی ایجاد می‌شود [۱۶ و ۱۸]. علاوه بر فناوری سیلیکا، فناوری نحوه‌ی اختلاط آمیزه‌ی BR، SBR و NR، بسیار مورد توجه پژوهش‌گران این صنعت است [۳ تا ۵، ۸، ۱۰، ۱۱ و ۱۸]. سایش ترد با افزودن BR به آمیزه‌ی آن بهبود پیدا می‌کند [۱۱]. این یافته‌ی علمی بر اساس آزمایش بر روی سیستم آمیزه‌ی SBR امولسیون‌ی (E-SBR) پُر شده با دوده گزارش شده است. به‌دلیل پیشرفت‌های سریع در سنتز SBR، گریدهای گوناگون SBR محلولی (S-SBR)، به‌صورت تجاری هم‌اکنون در دسترس هستند. از آنجایی‌که S-SBR طوری طراحی شده است که کنترل بهتری بر ساختار انتهای زنجیره‌ی توزیع وزن مولکولی و ریزساختار بوتادی‌ن داشته باشد، استفاده از آن برای پژوهش‌گران تایلر، گزینه‌ی مناسبی برای رسیدن به کارایی بالای تایلر است؛ بنابراین علاقه‌مندی بسیاری برای پژوهش در زمینه‌ی نسبت اختلاط SBR/BR و همچنین نوع SBR بر ویژگی‌های آمیزه‌ی ترد تایلر وجود دارد. در این مقاله دو

تحت محدودی کرنش متغیر از ۰/۵۶ درصد تا ۱۰۰ درصد، در دمای °C ۱۰۰ و فرکانس ۱/۷ Hz اندازه‌گیری شد. مدول نخیره () آمیزه‌ی کائوچوی پخت نشده در کرنش‌های پایین (۰/۵۶ درصد) و بالا (۱۰۰ درصد) اندازه‌گیری شد و به‌عنوان معیاری از برهم‌کنش پُرکننده- پُرکننده استفاده شد. سختی با استفاده از دو رثومتر Shore A (Wallace, UK) بر اساس استاندارد ISO 7619-1 سنجیده شد. آزمایش‌های کشش و پارگی با استفاده از دستگاه عمومی (Instron 3366, USA) بر اساس استاندارد ISO 37 و ISO 34 به ترتیب انجام شد.

مقاومت سایشی نمونه‌ها با مفهوم حجم از دست‌رفته، با استفاده از دستگاه سایش از نوع آکرون با استفاده از استاندارد GotechModel GT-(7012- A, Taiwan) بر اساس استاندارد BS903 Part A9 اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های دینامیکی آمیزه‌های ولکانش شده در حالت کشش، توسط دستگاه آنالیز دینامیکی- مکانیکی (Gabo, Eplexor 25N, Germany) سنجیده شد. آزمون جاروب دمایی از دمای °C ۶۰- تا °C ۸۰، با سرعت °C/min ۲ تحت کرنش استاتیک- دینامیک، با فرکانس‌های ۱ درصد، ۰/۱۵ درصد و ۱۰ درصد به‌ترتیب انجام شد. نسبت تورم (Q) به‌عنوان معیاری از دانسیته‌ی پیوندهای عرضی اندازه‌گیری شد. نمونه‌ی مورد آزمایش در دمای اتاق به مدت ۷ روز داخل تولوئن قرار داده شد. نمونه‌ی متورم شده توزین و نسبت تورم از راه رابطه‌ی زیر محاسبه شد:

$$Q = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1} \quad (2)$$

در رابطه‌ی ۲، W_1 و W_2 به‌ترتیب وزن نمونه‌ی متورم‌نشده و نمونه‌ی متورم‌شده هستند.

نتیجه‌ها و بحث

گرانروی مونی آمیزه‌های گوناگون رابری در شکل (۱) نشان داده شدند. به‌طور آشکار گرانروی آمیزه‌ها با افزایش محتوای BR، کاهش پیدا می‌کند، زیرا BR استفاده‌شده در این پژوهش، گرانروی

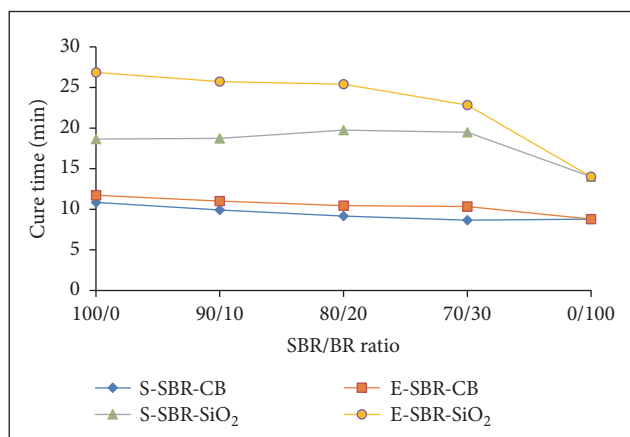
مخلوطکن (BRa bender- Plastic order 350E, Germany) با روش اختلاط سه مرحله‌ای تهیه شده‌اند. در مرحله‌ی اول آمیزه با تمام اجزا، بجز مواد پختی تحت مشخصات $F.F=0.75$ ، دمای محفظه‌ی داخلی °C ۶۰، سرعت روتور rpm ۶۰ و زمان اختلاط ۱۰ دقیقه میکس شده و در مرحله‌ی دوم آمیزه‌های تهیه شده‌ی حاوی سیلیکا برای سیلانیزه شدن با TESPT در دمای بالای °C ۱۴۰ مخلوط شدند. در مرحله‌ی سوم آمیزه‌ها با عامل‌های پخت به مدت ۳ دقیقه، در شرایط اختلاط مشابه با مرحله‌ی ۱، مخلوط و پس از اختلاط بلافاصله با استفاده از غلتک (Labtech LRM150, Thailand)، ورقه‌ورقه و پیش از آزمایش یک شب نگهداری شدند.

گرانروی مونی ($ML1 + 4 @ 100^\circ C$) توسط دستگاه مونی‌ویسکومتر (TechPro viscTECH+, USA) بر اساس استاندارد ISO 289-1 اندازه‌گیری شد. زمان پخت بهینه‌ی آمیزه‌ها (tc_{90}) توسط رثومتر (TechPro MD+, USA) در دمای °C ۱۶۰، بر اساس استاندارد ISO 6502 اندازه‌گیری شد. مقدار کائوچوی پیوندیافته (BRC)، به‌عنوان معیار برهم‌کنش کائوچو- پُرکننده، با استخراج کائوچو از آمیزه‌ها توسط تولوئن در دمای اتاق به مدت ۷ روز اندازه‌گیری شد. پس از فیلتراسیون، ژل رابری پُرکننده به‌دست‌آمده، به‌طور کامل در آون در دمای °C ۷۰، به مدت ۲۴ ساعت خشک‌شده و توزین شد. مقدار BRC با استفاده از رابطه‌ی (۱) به‌دست آمد:

$$\% BRC = \frac{W_{fg} - W_{Ff}}{W_{Fp}} \times 100 \quad (1)$$

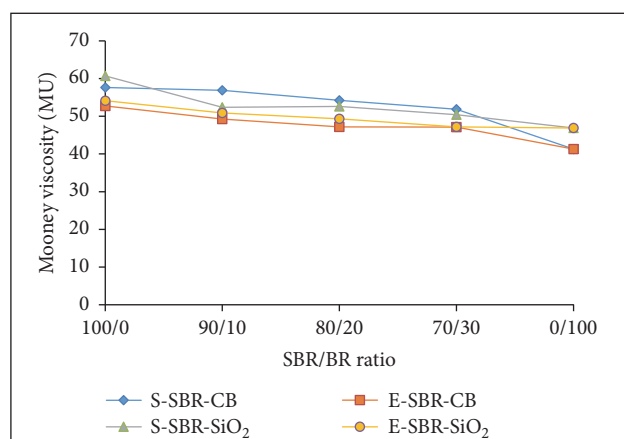
در این رابطه W_{fg} وزن ژل کائوچو- پُرکننده، W وزن نمونه‌ی مورد آزمایش، F_f کسر وزنی پُرکننده و F_p کسر وزنی پلیمر در آمیزه‌ی لاستیکی است. میزان برهم‌کنش پُرکننده- پُرکننده که به‌عنوان اثر پین نیز شناخته می‌شود، توسط دستگاه آنالیزور فرایند آمیزه‌کاری (RPA 2000; Alpha Technologies, USA)،

پخت کمتری نسبت به E-SBR نشان می‌دهد که احتمالاً به دلیل میزان ساختار ۱ و ۲- وینیل بالاتر در S-SBR است.



شکل ۲- زمان پخت آمیزه‌های گوناگون

کمتری نسبت به E-SBR و S-SBR دارد. آمیزه‌های S-SBR/BR در هر نسبتی از اختلاط، گرانیروی بالاتری نسبت به آمیزی E-SBR/BR دارند، چون گرانیروی ناتای S-SBR بالاتر است.



شکل ۱- گرانیروی مونی آمیزه‌های گوناگون

ثابت شده است که پیکربندی وینیلی بوتادیان نسبت به سایر پیکربندی‌ها فعال‌تر است [۵]. نتیجه‌ها همچنین نشان می‌دهد که آمیزه‌های پُر شده با سیلیکا، زمان پخت طولانی‌تری نسبت به آمیزه‌های پُر شده با دوده دارند. دلیل به تأخیر انداختن زمان پخت در آمیزه‌های دارای سیلیکا، رسانش دمایی بسیار پایین سیلیکا و حضور گروه‌های سیلانول بر روی سطح سیلیکا است

نتیجه‌های به دست آمده از آزمون رئومتر (شکل ۲) در جدول (۲) نشان می‌دهد با افزایش مقدار BR در آمیزه‌ها، زمان پخت بهینه کاهش پیدا می‌کند، دلیل این امر حجم عظیم باندهای لوگانه‌ی موجود در BR است، نتیجه‌های مشابهی توسط پژوهش‌گران دیگری نیز گزارش شده است [۱۱]. S-SBR زمان

جدول ۲- فرمولاسیون آمیزه‌های گوناگون

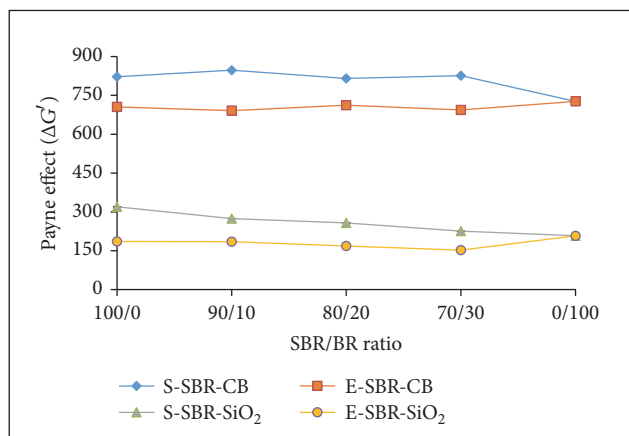
| Ingredient | SBR/BR blend ratio | | | | |
|-----------------------|--------------------|--------|-------|-------|-------|
| | 100/0 | 90/10 | 80/20 | 70/30 | 0/100 |
| SBR (6450SL or 1723) | 137.5 | 123.75 | 110 | 96.25 | 0 |
| BR | 0 | 10 | 20 | 30 | 100 |
| ZnO | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Stearic acid | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 6PPD | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| TMQ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Paraffin wax | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Filler (CB or Silica) | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 |
| TESPT* | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| TDAE oil** | 10 | 13.75 | 17.5 | 21.25 | 47.5 |
| TBBS | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| TBzTD | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| Sulfur | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.2 |

*TESPT was added only in silica-filled system. **Total oil content was kept constant at 47.5 phr for all compounds.

در دماهای نسبتاً بالای اختلاط، گروه‌های الکوکی TESPT می‌توانند با گروه‌های هیدروکسیل سطح سیلیکا پیوند شیمیایی داده و از طرفی گروه‌های ارگانیکی TESPT نیز از راه گروه‌های ۱ و ۲-وینیل، S-SBR واکنش دهند که این عمل افزایش برهم‌کنش پُرکننده-کائوچو را به دنبال دارد.

BR با وجود حجم زیاد باندهای دوگانه، برهم‌کنش سیلیکا کائوچوی ضعیف‌تری (~۴۵ درصد BRC) نسبت به S-SBR دارد، چون بیش از ۹۷ درصد مونومر بوتادی‌ان در ساختار سیس به هم پیوند داده شده‌اند که فعالیت کمتری نسبت به فرم ۱ و ۲-وینیل دارند. کمبود ساختار ۱ و ۲-وینیل در E-SBR برهم‌کنش بین این کائوچو و سیلیکا را ضعیف‌تر کرده است. در آمیزه‌های S-SBR/BR با افزایش محتوای BR، مقدار BRC کاهش پیدا می‌کند، زیرا BR نقش رقیق‌کننده دارد که این روال در آمیزه‌های E-SBR/BR معکوس است.

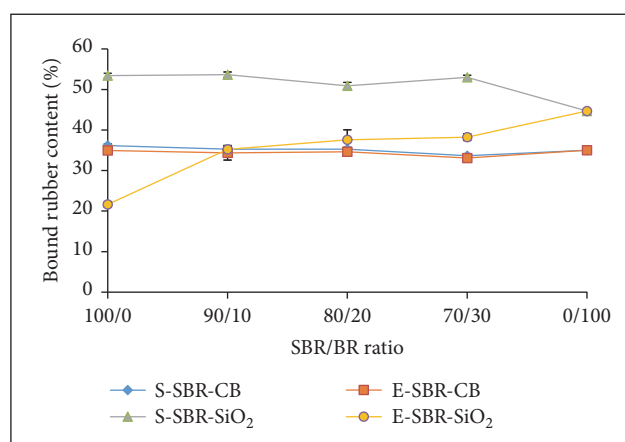
شکل (۴) برهم‌کنش پُرکننده- پُرکننده یا اثر پین ($\Delta G'$) را به‌عنوان تابعی از نسبت اختلاط در آمیزه‌های گوناگون لاستیکی نشان می‌دهد. اثر پین در آمیزه‌های BR و E-SBR در حالت پُرشده با دوده و سیلیکا به‌طور مؤثری تغییر نمی‌کند، بنابراین بر اساس انتظار در آمیزه‌های E-SBR/BR، با افزایش محتوای BR در هر دو نوع سیستم پُرکننده نیز تغییر نکرد.



شکل ۴- اثر پین در آمیزه‌های گوناگون

که توانایی جذب ترکیب‌های روی و عامل‌های پخت‌کننده لازم در پخت گوگردی را دارند.

در شکل (۳) ارتباط بین BRC و نسبت اختلاط در آمیزه‌های رابری پُرشده با دوده و سیلیکا نمایش داده شده است، در سیستم‌های پُرشده با دوده، BRC به‌طور محسوسی با افزایش محتوای BR تغییر نمی‌کند. هم‌چنین نوع SBR تأثیر کمی بر روی BRC در سیستم یادشده دارد.



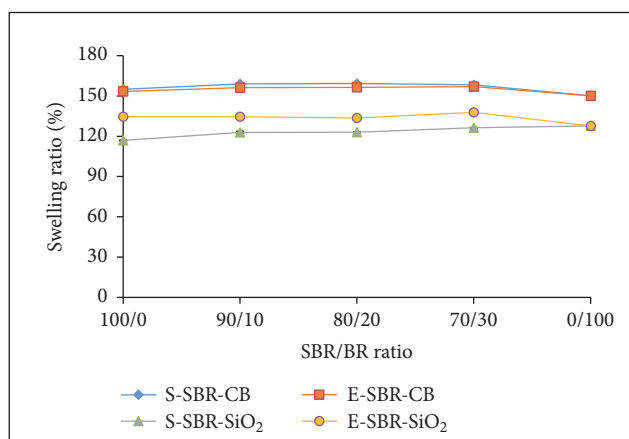
شکل ۳- محتوای کائوچوی پیوندیافته در آمیزه‌های گوناگون

از آنجایی که BRC به‌طور مستقیم مرتبط با اندازه‌ی برهم‌کنش پُرکننده- کائوچو است، نتیجه‌ها هم نشان داد که تمامی کائوچوهای مورد استفاده (BR, S-SBR, E-SBR)، به‌نسب برهم‌کنش خوبی با آمیزه دارند که احتمالاً به‌للیل تطابق قطبیت در آن‌هاست.

در سیستم‌های پُرشده با سیلیکا نکته‌های زیر به‌دست آمد:
 - S-SBR اندازه‌ی برهم‌کنش سیلیکا- کائوچوی بیشتری دارد (۵۲ درصد BRC)، درحالی‌که E-SBR کمترین میزان برهم‌کنش (~۲۲ درصد BRC) را از خود نشان می‌دهد.
 - دلیل افزایش اندازه‌ی برهم‌کنش سیلیکا- کائوچو در S-SBR، فعالیت زیاد گروه‌های ۱ و ۲- وینیل است که منجر به واکنش سیلانیزاسیون می‌شود.

کششی و پارگی آمیزه‌ی E-SBR/BR پُر شده با سیلیکا و آمیزه‌ی S-SBR/BR پُر شده با همین پُرکننده، تفاوت چشمگیری در نسبت‌های اختلاط برابر نشان نمی‌دهد.

نتیجه‌ها نشان می‌دهد اندازه‌ی برهم‌کنش پُرکننده-کائوچو قویاً بر روی مدول و سختی تأثیر می‌گذارد، ولی تأثیر بسیار ضعیفی بر روی مقاومت آمیزه‌ی پخت‌شده دارد. هم‌چنین آشکار شد سیستم‌های پُر شده با سیلیکا، مدول بالاتری نسبت به سیستم‌های پُر شده با دوده دارند. از کنار هم قرار دادن دو دلیل برهم‌کنش پُرکننده-کائوچو و دانسیته‌ی پیوندهای عرضی بالاتر در اثر ره‌ایش گوگرد از TESPT، برای توجیه نتیجه‌های کاهش نسبت تورم در شکل (۵) استفاده شد.



شکل ۵- تأثیر نسبت اختلاط آمیزه‌ی SBR/BR بر نسبت تورم

به‌طور مشخص در S-SBR/BR پُر شده با سیلیکا، اثر بین $(\Delta G')$ با افزایش محتوای BR کاهش پیدا می‌کند، زیرا S-SBR اثر بین بیشتری نسبت به BR دارد.

نتیجه‌ها به‌روشنی نشان داده‌اند که اصلاح مناسب سطح سیلیکا با TESPT، باعث کاهش برهم‌کنش پُرکننده- پُرکننده نسبت به دوده می‌شود، ویژگی‌های مکانیکی مانند سختی، مدول ۱۰۰ درصد (M_{100})، مقاومت کششی و مقاومت پارگی آمیزه‌های پخت شده در جدول (۳) آمده است.

بدون استفاده از سیستم‌های تقویت‌کننده، BR ویژگی‌های مکانیکی ضعیف‌تری نسبت به E-SBR و S-SBR دارد. بنابراین با افزایش محتوای BR به‌طور کلی ویژگی‌های مکانیکی کاهش پیدا می‌کند، این موضوع پیش‌تر نیز توسط پژوهش‌گران گزارش شده بود [۱۱].

به‌روشنی ویژگی‌های مکانیکی در هر نسبت از اختلاط هر دو آمیزه‌ی E-SBR/BR و S-SBR/BR، از نظر سختی، مدول، مقاومت کششی و مقاومت پارگی در سیستم‌های پُر شده با دوده به هم نزدیک هستند. این موضوع به‌دلیل تفاوت ناچیز برهم‌کنش پُرکننده-کائوچو در این سیستم‌هاست (شکل ۳).

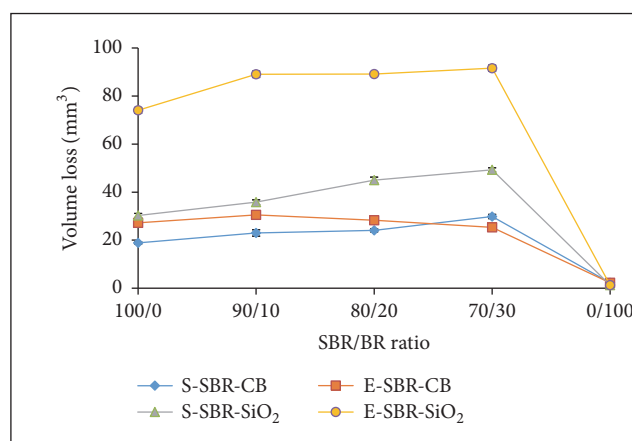
با توجه به این‌که S-SBR پُر شده با سیلیکا، برهم‌کنش پُرکننده-کائوچوی بالاتری نسبت به E-SBR نشان می‌دهد، S-SBR و آمیزه‌های آن سختی و مدول بالاتر چشم‌گیری نسبت به آمیزه‌های E-SBR دارند، جالب این است که مقاومت

جدول ۳- سختی، مدول، مقاومت کششی و مقاومت پارگی نمونه‌های گوناگون پخت‌شده

| Blend ratio | CB-filled system | | | | Silica-filled system | | | |
|-----------------|--------------------|------------------------|-----------------|----------------------|----------------------|------------------------|-----------------|----------------------|
| | Hardness (Shore A) | Tensile strength (MPa) | M_{100} (MPa) | Tear strength (N/mm) | Hardness (Shore A) | Tensile strength (MPa) | M_{100} (MPa) | Tear strength (N/mm) |
| S-SBR/BR | | | | | | | | |
| 100/0 | 61.2 ± 1.1 | 16.9 ± 0.6 | 2.09 ± 0.04 | 103.5 ± 1.3 | 64.9 ± 0.5 | 18.7 ± 1.3 | 3.36 ± 0.01 | 115.5 ± 4.7 |
| 90/10 | 59.9 ± 0.4 | 16.6 ± 0.6 | 1.78 ± 0.04 | 101.8 ± 1.2 | 62.4 ± 0.4 | 17.4 ± 0.9 | 2.63 ± 0.09 | 113.8 ± 3.1 |
| 80/20 | 60.0 ± 0.4 | 15.7 ± 0.3 | 1.77 ± 0.02 | 99.4 ± 1.6 | 60.9 ± 0.4 | 17.0 ± 0.8 | 2.46 ± 0.04 | 109.9 ± 2.9 |
| 70/30 | 59.9 ± 0.2 | 15.9 ± 0.4 | 1.80 ± 0.02 | 94.8 ± 1.9 | 61.1 ± 0.4 | 16.1 ± 0.6 | 2.38 ± 0.03 | 108.4 ± 4.6 |
| E-SBR/BR | | | | | | | | |
| 100/0 | 62.1 ± 0.2 | 18.6 ± 0.4 | 1.87 ± 0.03 | 106.2 ± 3.1 | 60.6 ± 0.2 | 19.8 ± 0.8 | 2.31 ± 0.06 | 122.3 ± 2.2 |
| 90/10 | 60.0 ± 0.4 | 17.5 ± 0.8 | 1.76 ± 0.03 | 103.9 ± 4.1 | 58.1 ± 0.5 | 18.8 ± 0.6 | 2.42 ± 0.06 | 115.6 ± 3.7 |
| 80/20 | 60.7 ± 0.7 | 17.5 ± 0.5 | 1.72 ± 0.03 | 99.9 ± 1.3 | 59.3 ± 0.6 | 17.0 ± 0.6 | 2.45 ± 0.04 | 112.2 ± 3.8 |
| 70/30 | 60.5 ± 0.4 | 16.5 ± 0.3 | 1.70 ± 0.03 | 90.3 ± 2.9 | 58.1 ± 0.7 | 16.8 ± 0.7 | 2.17 ± 0.02 | 99.0 ± 4.5 |
| Pure BR | | | | | | | | |
| 0/100 | 58.7 ± 0.8 | 12.3 ± 0.4 | 1.50 ± 0.04 | 52.6 ± 2.2 | 57.6 ± 0.7 | 13.2 ± 0.2 | 1.73 ± 0.03 | 78.8 ± 3.2 |

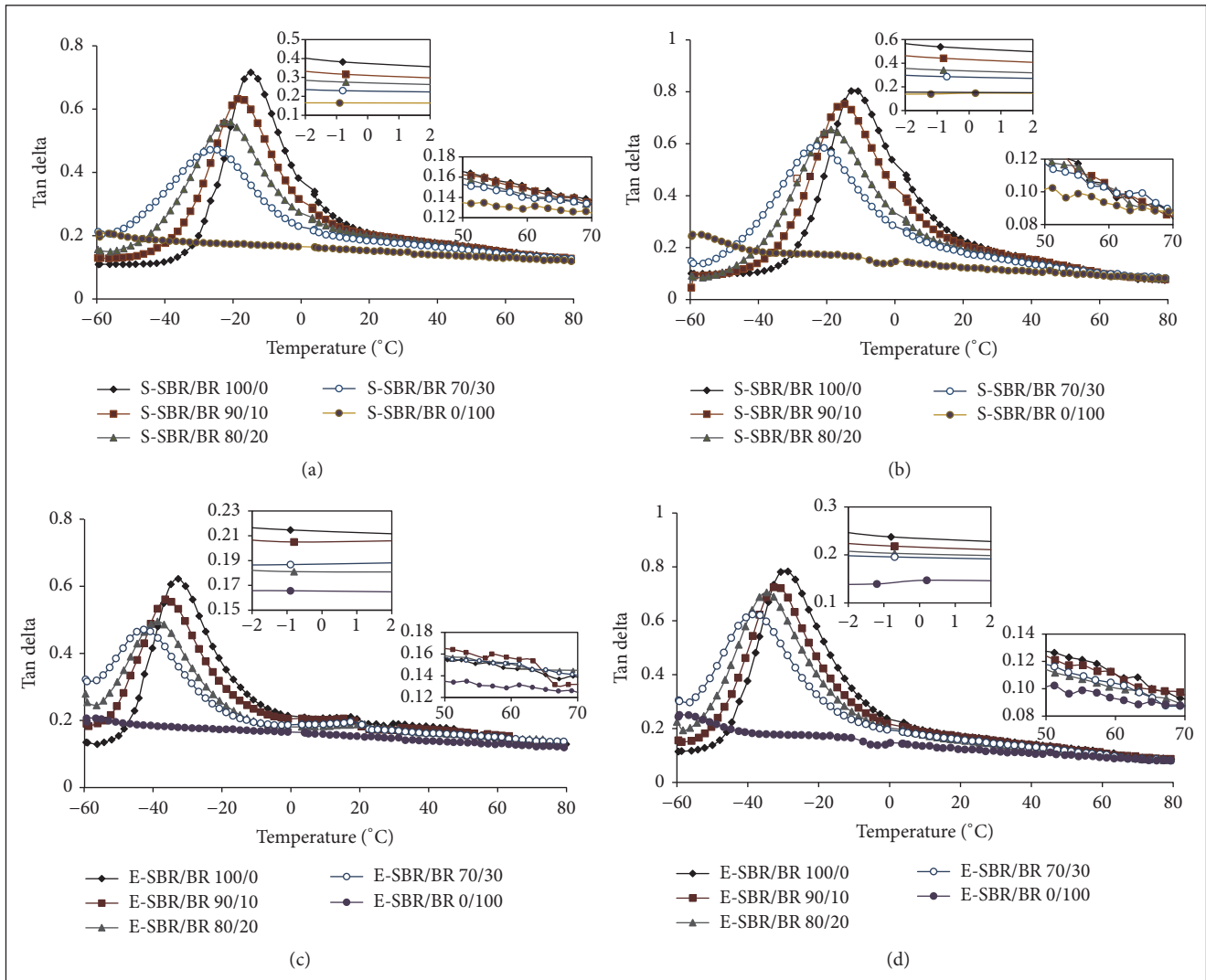
دلیل چنین یافته‌ای باشد. نمودار $\tan \delta$ در برابر زمان برای کائوچوهای ولکانیزه شده در شکل (۷) نشان داده شده است. به‌طور کلی دمای انتقال شیشه‌ای (T_g) دمایی است که نمودار $\tan \delta$ در آنجا پیک دارد. نمودارها نشان می‌دهند دمای T_g کائوچوهای E-SBR، BR، و S-SBR، به ترتیب در 60°C ، 32.7°C و 15°C اتفاق می‌افتد. دلیل افزایش دمای T_g در S-SBR محتوای بالای استایرن و ۱ و ۲ وینیل، در کنار دانسیته‌ی بالای پیوندهای عرضی S-SBR است. در ظاهر در دمای T_g آمیزه‌های E-SBR/BR و S-SBR/BR، با افزایش محتوای BR پیوسته کاهش پیدا می‌کند که از طرفی نشان‌دهنده‌ی سازگاری خوب BR و SBR است. به دلیل تأثیر رقیق‌کنندگی، بزرگی پیک $\tan \delta$ در SBR، با افزایش میزان محتوای BR کاهش پیدا می‌کند. در صنعت تأیر مقدارهای $\tan \delta$ در دمای 0°C و 60°C ، به ترتیب برای مشخص کردن بازدهی چنگزنی در شرایط خیس و مقاومت غلتشی آمیزه‌ی ترد تأیر استفاده می‌شود. از آنجایی‌که دمای استفاده شده در این آزمایش با دمای BR خیلی فاصله دارد، مولکول‌های BR در محدوده‌ی رابری خود قرار می‌گیرند که این امر منجر به مقدارهای $\tan \delta$ کمتر در هر دو دمای 0°C و 60°C می‌شود؛ بنابراین آمیزه‌های BR بازدهی چنگزنی در شرایط خیس ضعیف‌تر، در کنار مقاومت غلتشی پایین از خود نشان می‌دهند (و در نتیجه منجر به بهترین بازدهی مصرف سوخت می‌شود). از آنجایی‌که S-SBR در دمای T_g بالاتری نسبت به E-SBR دارد. در دمای 0°C مقدار $\tan \delta$ برای S-SBR بر روی شانه‌ی پیک واقع شده است، در حالی‌که در این دما مقدار $\tan \delta$ برای E-SBR بر روی خط پایه واقع شده است. بنابراین S-SBR بازدهی چنگزنی در شرایط خیس بالاتری نسبت به E-SBR نشان می‌دهد. در جدول (۴) مقدارهای $\tan \delta$ را در دماهای 0°C و 60°C برای آمیزه‌های گوناگون نمایش داده شده است. همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد، افزایش محتوای BR فارغ از نوع SBR یا نوع پُرکننده‌ی مصرفی، باعث کاهش

وابستگی مقاومت سایشی، به نسبت اختلاط آمیزه و نوع SBR در شکل (۶) نمایش داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رود BR بالاترین مقاومت سایشی را نشان می‌دهد و کمترین کاهش حجم را در هر دو سیستم پُر شده با دوده و سیلیکا دارد.



شکل ۶- تأثیر نسبت اختلاط آمیزه‌ی SBR/BR بر مقاومت سایشی

همچنین دیده شد S-SBR مقاومت سایشی بسیار بالاتری در مقایسه با E-SBR دارد. این موضوع به‌ویژه در صورتی‌که این دو کائوچو با سیلیکا پُر شده باشند، به دلیل برهم‌کنش بالاتر پُرکننده-کائوچو و دانسیته‌ی پیوندهای عرضی بالاتر، روشن‌تر می‌شود. به‌طور شگفت‌آوری بهبود مقاومت سایشی، با افزایش مقدار BR در سیستم E-SBR پُر شده با دوده دیده شد که تطابق خوبی با گزارش پیشین آقایان Karak و Gupta دارد [۱۱]؛ اگرچه در سایر سیستم‌ها مقاومت سایشی با افزایش میزان BR، کاهش غیرمنتظره‌ای نشان می‌دهد. این کاهش می‌تواند با کاهش سختی و کاهش مقاومت پارگی که در اثر افزایش BR و ایجاد اثر رقیق‌کنندگی پدید می‌آید، در ارتباط باشد. به‌روشنی در هر نسبت اختلاط سیستم‌های پُر شده با دوده، مقاومت سایشی بالاتری نسبت به سیستم‌های پُر شده با سیلیکا نشان می‌دهند. شبکه‌ی پیوندی قوی پُرکننده- پُرکننده می‌تواند



شکل ۷- تأثیر نسبت اختلاط آمیزه SBR/BR بر مقاومت سایشی برده tan آمیزه‌های پخت شده؛

(a) آمیزه S-SBR/BR پُر شده با دوده؛ (b) آمیزه S-SBR/BR پُر شده با سیلیکا؛ (c) آمیزه E-SBR/BR پُر شده با دوده و (d) آمیزه E-SBR/BR پُر شده با سیلیکا

پُرکننده- رابر بزرگتر و دانسیته‌ی پیوندهای عرضی بیشتر، مقاومت غلتشی نشان می‌دهد. به‌طور مشخص سیلیکا مقاومت غلتشی کمتری نسبت به دوده از خود نشان می‌دهد. دلیل این موضوع را می‌توان برهم‌کنش بزرگتر پُرکننده- کائوچو، دانسیته‌ی پیوندهای عرضی بیشتر و برهم‌کنش ضعیف‌تر پُرکننده- پُرکننده دانست.

بازدهی چنگزنی در شرایط خیس (مقدار $\tan \delta$ در دمای $^{\circ}\text{C}$ می‌شود. همچنین سیلیکا نسبت به دوده، بازدهی چنگزنی بهتری در شرایط خیس دارد؛ که این امر پیش‌تر نیز توسط پژوهش‌گران گزارش شده بود [۸، ۱۸ و ۱۹].

نتیجه‌های جدول (۴) نشان می‌دهد مقاومت غلتشی آمیزه‌های SBR/BR با افزایش محتوای BR، در هر دو سیستم پُر شده با سیلیکا و دوده کاهش پیدا می‌کند. در هر نسبت اختلاط مشخص

جدول ۴- مقادیرهای $\tan \delta$ در دماهای ۰ و ۶۰ °C برای آمیزه‌های گوناگون پخت شده

| Blend ratio | $\tan \delta$ | | | |
|-------------|---------------|-------|--------|-------|
| | Carbon black | | Silica | |
| | 0°C | 60°C | 0°C | 60°C |
| S-SBR/BR | | | | |
| 100/0 | 0.381 | 0.153 | 0.538 | 0.105 |
| 90/10 | 0.316 | 0.149 | 0.441 | 0.105 |
| 80/20 | 0.275 | 0.143 | 0.341 | 0.103 |
| 70/30 | 0.230 | 0.140 | 0.286 | 0.103 |
| E-SBR/BR | | | | |
| 100/0 | 0.206 | 0.160 | 0.237 | 0.112 |
| 90/10 | 0.205 | 0.157 | 0.218 | 0.110 |
| 80/20 | 0.187 | 0.151 | 0.203 | 0.106 |
| 70/30 | 0.181 | 0.151 | 0.196 | 0.105 |
| Pure BR | | | | |
| 0/100 | 0.165 | 0.130 | 0.147 | 0.093 |

تایر، باعث بهبود مقاومت غلتشی و افزایش بازدهی مصرف سوخت می‌شود. به‌طور شگفت‌آوری افزایش BR تنها در آمیزه‌ی E-SBR پُر شده با دوده باعث بهبود مقاومت سایشی می‌شود و در سایر آمیزه‌ها عکس این قضیه اتفاق می‌افتد. در مقایسه با E-SBR، آمیزه‌های S-SBR باعث بهبود مقاومت کششی و مقاومت پارگی تایر شده و تاحدودی کارایی تایر را افزایش می‌دهد و منجر به افزایش بازدهی چنگزنی در شرایط خیس و کاهش مقاومت غلتشی و مقاومت در برابر سایش بیشتر می‌شود. استفاده از سیلیکا بجای دوده، نه‌تنها مدول را به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهد، بلکه باعث افزایش بازدهی چنگزنی در شرایط خیس و کاهش مقاومت غلتشی می‌شود. این اتفاق در آمیزه‌های S-SBR شدیدتر است، زیرا S-SBR می‌تواند از راه TESPT، برهم‌کنش‌های شدیدتری با سیلیکا، در مقایسه با E-SBR داشته باشد. باین‌وجود استفاده از دوده باعث افزایش طول مدت سرویس ترد تایر می‌شود، زیرا دوده مقاومت سایشی بالاتری نسبت به سیلیکا ارائه می‌دهد. برای رسیدن به کارایی متعادل تایر، S-SBR تقویت‌شده با دوده و سیلیکا هم‌زمان باید انتخاب شود *IRM*

نتیجه‌گیری

افزایش محتوای BR در آلیاژهای SBR/BR، نه‌تنها منجر به اختلال‌های ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی، مانند مقاومت، مدول و سختی می‌شود، بلکه منجر به کاهش بازدهی چنگزنی در شرایط خیس نیز می‌شود. از طرفی افزایش محتوای BR ترد

مراجع

1. S. S. Choi, J. C. Kim, J. E. Ko, Y. S. Cho, and W. G. Shin, "Influence of coupling agent on properties of carbon black reinforced SBR and NR/BR vulcanizations", Journal Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 13, No. 6, p. 1017, 2007.
2. L. Gonz'alez, A. Rodr'iguez, J. L. De Benito, and A. Marcos, "A new Carbon black-rubber coupling agent to improve wet grip and rolling resistance of tires," Rubber Chemistry and Technology, Vol. 69, No. 2, pp. 266- 272, 1996.
3. L. A. E. M. Reuvekamp, J. W. Ten Brinke, P. J. Van Swaaij, and J. W. M. Noordermeer, "Reaction of TESPT Silane coupling agent during mixing with silica filler and tire rubber; Effects of mixing conditions," Kautsch Gummi Kunstst, Vol. 55, p. 41, 2002.
4. E. Cichomski, W. K. Dierkes, J. W. M. Noordermeer, T. V. Tolpekina, and S. Schultz, Influence of Physical and Chemical Polymer-Filler Bonds on Wet Skid Resistance and Related Properties of Passenger Car Tire Treads, Deutsche Kautschuk-Tagung DKT, Nurnberg, Germany, 2012.
5. H. G. Lee, H. S. Kim, S. T. Cho, I. T. Jung, and C. T. Cho, "Characterization of solution styrene butadiene rubber (SBR) through the evaluation of static and dynamic mechanical properties and fatigue in silica-filled compound," Asian Journal of Chemistry, Vol. 25, No. 9, pp. 5251- 5256, 2013.

6. K. Inagaki, M. Hayashi, and A. Imai, "Development of the solution SBRs for high-performance tire," R & D report of Sumitomo Kagaku, 2004.
7. X. Liu, S. Zhao, X. Zhang, X. Li, and Y. Bai, "Preparation, structure, and properties of solution-polymerized styrene-butadiene rubber with functionalized end- groups and its Silica-filled composites," *Polymer (United Kingdom)*, Vol. 55, No. 8, pp. 1964-1976, 2014.
8. Y. X. Wang, Y. P. Wu, W. J. Li, and L.Q. Zhang, "Influence of filler type on wet skid resistance of SSB/BR composites: Effects from roughness and micro- hardness of rubber surface," *Applied Surface Science*, Vol. 257, No. 6, pp. 2058- 2065, 2011.
9. Y. X. Wang, J. H. Ma, L. Q. Zhang, and Y.P. Wu, "Revisiting the correlations between wet skid resistance and viscoelasticity of rubber composites via comparing carbon black and Silica fillers," *Polymer Testing*, Vol. 30, No. 5, pp. 557- 562, 2011.
10. M. Shiva and H. Atashi, "Failure optimization and curing properties of passenger tire tread compound," *Iranian Journal of Science and Technology*, Vol. 23, p. 187, 2010
11. N. Karak and B. R. Gupta, "Effects of different ingredients and cure parameters on physical properties of a tyre tread compound," *Kautsch Gummi Kunstst*, Vol. 53, No. 30, pp. 30- 34, 2000.
12. F. Saeed, A. Ansarifar, R. J. Ellis, Y. HailE- Meskel, and M. S. Irfan, "Two advanced styrene E-butadiene/polybutadiene rubber blends filled with a Silanized Silica nanofiller for potential use in passenger car tire tread compound," *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 123, No. 3, pp. 1518- 1529, 2012.
13. Y. Saito, "New polymer development for low rolling resistance tires," *Kautsch Gummi Kunstst*, Vol. 30, No. 1, p. 39, 1986.
14. G. Heinrich, "The dynamics of tire tread compounds and their relationship to wet skid behavior," *Progress in Colloid & Polymer Science*, Vol. 90, p. 16, 1992.
15. H. Taki No, R. Nakayama, Y. Yamada, S. Kohjiya, and T. Matsuo, "Viscoelastic properties of elastomers and tire wet skid resistance," *Rubber Chemistry and Technology*, Vol. 70, No. 4, pp. 584- 594, 1997.
16. R. Zafarmehrabian, S. T. Gangali, M. H. R. Ghoreishy, and M. Davallu, "The effects of silica/carbon black ratio on the dynamic properties of the tread compounds in truck tires," *E-Journal of Chemistry*, Vol. 9, No. 3, pp. 1102- 1112, 2012.
17. J. Y. Ko, K. Prakashan, and J. K. Kim, "New Silane coupling agents for Silica tire tread compounds," *Journal of Elastomers and Plastics*, Vol. 44, No. 6, pp. 549- 562, 2012.
18. C.M. Flanigan, L. Beyer, D. Klekamp, D. Rohweder, B. Stuck, and E. R. Terrill, "Comparative study of Silica, Carbon black and Novel fillers in tread compounds," *Rubber's World*, Vol. 245, No. 5, pp. 18- 31, 2012.
19. A. Le Gal, L. Guy, G. Orange, Y. Bomal, and M. Kluppel, "Modelling of sliding friction for Carbon black and Silica filled Elastomers on road tracks," *Wear*, Vol. 264, No. 7- 8, pp. 606- 615, 2008.

E

ffects of Blend Ratio and SBR Type on Properties of Carbon Black- Filled and Silica- Filled SBR/BR Tire Tread Compounds

Translated by: J. Movasagh*

Product Manager of Artavil Tire Co., Ardabil, Iran

*Corresponding author Email: movassaghj@yahoo.com

Source: <https://www.hindawi.com/journals/amse/2017/2476101/>

Received: April 2017, Accepted: October 2017

Abstract: This work aimed at investigating the effects of blend ratio between styrene butadiene rubber (SBR) and butadiene rubber (BR) and SBR type (E-SBR and S-SBR) on properties of SBR/BR tire tread compounds. Influences of these parameters on properties of the tread compounds reinforced by 80 parts per hundred rubber (phr) of carbon black (CB) and silica were also compared. Results reveal that hardness, strengths, and wet grip efficiency were impaired whereas rolling resistance was improved with increasing BR proportion. Surprisingly, the presence of BR imparted poorer abrasion resistance in most systems, except for the CB-filled E-SBR system in which an enhanced abrasion resistance was observed. Obviously, S-SBR gave superior properties (tire performance) compared to E-SBR, particularly obvious in the silica-filled system. Compared with CB, silica gave comparable strengths, better wet grip efficiency, and lower rolling resistance. Carbon black, however, offered greater abrasion resistance than silica.

Keywords: SBR, BR, Carbon black (CB), Silica, Tire.