علمی- فنی

مطالعه‌ی اثر انواع کائوچوهای SBR پرشده با سیلیکا بر ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی و پیش‌بینی مقاومت غلتشی به کمک ویژگی‌های رئولوژیکی

Study of the effect of different types of SBR-filled silica rubber on physical-mechanical properties and prediction of rolling resistance by rheological properties

چکیده:

در این پژوهش، ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی و رئولوژیکی آمیزه‌های به‌دست آمده از کائوچوهای SBR1502، SBR1712، SBR1763 و SBR72612 پرشده با ۵۵ پارت سیلیکا موردبررسی و مقایسه قرار گرفت. همچنین، با توجه به این‌که رفتار رئولوژیکی آمیزه‌های لاستیکی می‌تواند بیانگر بسیاری از ویژگی‌های عملکردی تایر باشد و دانش شناخت ویژگی‌های رئولوژیکی موادلاستیکی به ما این توانایی را می‌دهد که پیش‌بینی مناسبی از مقاومت غلتشی داشته باشیم، در این پژوهش ویژگی‌های رئولوژیکی نمونه‌ها با دستگاه RPA3000 موردسنجش قرار گرفت. بدین منظور، چهار نمونه با کدهای E1SBR/Silica[1]، E2SBR/Silica[2]، E3SBR/Silica[3] و SSBR/Silica[4] تهیه شد. نتیجه‌های بررسی و مقایسه‌ی توزیع وزن موکولی نشان داد که SSBR دارای باریک‌ترین توزیع وزن موکولی و بیشترین وزن مولکولی است. همچنین، بررسی ویژگی‌های مکانیکی نشان از آن بود که نمونه‌ی E1SBR/Silica دارای بیشترین مقدار ازدیاد طول و کمترین مدول یانگ است که به ترتیب و با تغییر توزیع وزن موکولی و وزن موکولی، مدول یانگ بیشتر شده و درصد ازدیاد طول کمتر می‌شود. همچنین، بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی نشان داد که نمونه‌ی SSBR/Silica کمترین مقدار عامل اتلاف را دارد که انتظار می‌رود تایر ساخته‌شده با این نمونه دارای کمترین مقاومت غلتشی نیز باشد. با بررسی مقدار ویژگی‌های رئولوژیکی در بررسی جاروب کرنش در نمونه‌ها می‌توان یافت که هرچه مدول ذخیره بیشتر باشد، مقدار نیرو در یک درصد کشش ثابت، بیشتر خواهد بود که با نتیجه‌های ویژگی‌های مکانیکی به‌طور کامل مطابقت دارد.

واژه‌های کلیدی: استایرن بوتادین رابر، سیلیکا، ویژگی‌های رئولوژیکی، مقاومت غلتشی، ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی.

نوع مقاله: پژوهشی

ماجد امینی

کارشناس اداره مهندسی فرایند لاستیک بارز کردستان، تهران،ایران

* عهده‌دار مکاتبات:

majed_amini_90@yahoo.com

مقدمه

رفتار مکانیکی مواد الاستومری پرشده، وابسته به زمان یا ویژگی‌های ویسکوالاستیک است [۱]. این رفتار پیچیده‌ی موادلاستیکی نیاز به درک بیشتری دارد و برای دست‌یابی به یک مدل‌سازمانی مناسب برای طراحی بهتر اجزای لاستیک، نیاز به دانش قوی است. این کار متمرکز بر مطالعه‌ی اثر نوع پرکننده، نوع بسپار و برهم‌کنش این دو بر ویژگی‌های مکانیکی، رئولوژیکی و ویژگی‌های موادلاستیکی است. برای

1. Emulsion SBR (1502)
2. Emulsion SBR (1712)
3. Emulsion SBR (1763)
4. Solution SBR (72612)

رقابت بیشتر در بازار تایر لازم است که عملکرد تایر، بهبود داده شود که این بهبود عملکرد در سه پارامترِ مقاومت غلتشی، مقدار نویز و چنگزنی در محیط خیس، تحت عنوان برچسب انرژی تعریف می‌شود [۱ و ۲]. در این میان، رفتار رئولوژیکی آمیزه‌های لاستیکی می‌تواند بیانگر بسیاری از ویژگی‌های عملکردی تایر باشد. انتخاب مناسب مواد، نحوه‌ی آمیزه‌کاری، نحوه‌ی شکل‌دهی و فرایندهای اصلاحی انجام‌شده بر آمیزه‌ها به توانایی علمی و تجربه‌ی بالایی نیازمند است [۳]. دست‌یابی به ویژگی‌های بهینه‌ی سه‌گانه‌ی مقاومت غلتشی کم، کشانش یا چنگزنی مناسب و فرسایش کم را می‌توان جزء اصلی‌ترین و کلیدی‌ترین بخش بهینه‌سازی ویژگی‌های آمیزه‌ی تایر به‌شمار آورد. از آن‌جا که این سه ویژگی‌ها همواره به‌نوعی رفتار می‌کنند که بهبود در یکی منجر به افت سایر ویژگی‌ها می‌شود، بنابراین بهینه‌سازی همزمان این سه پارامتر چالش‌برانگیزترین بخش طراحی آمیزه‌ی تایر برای رسیدن به سایر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی را تشکیل می‌دهد. کائوچوی SBR به روش‌های امولسیونی و محلولی تولید می‌شود [۴]. ساختار این دو نوع SBR، متفاوت از یکدیگر است به‌نحوی‌که در SBR محلولی توزیع جرم مولکولی باریک‌تر، تعداد شاخه‌ها کمتر و طول شاخه‌ها کوتاه‌تر است، درنتیجه، انتظار می‌رود که ویژگی‌های مناسب‌تری را در آمیزه ایجاد کند و در صنعت تایرسازی دنیا موردتوجه قرارگرفته است [۲، ۴ ، ۷]. در پژوهشی، قریشی و همکارانش [۸] به بررسی اثر ساختار مولکولی SBR و نوع پرکننده بر رفتار ابرگرانروکشسان آمیزه‌های SBR/BR رویه‌ی تایرسواری به کمک روش ترکیبی عددی-تجربی پرداختند. نشان داده شد که کائوچوی SBR محلولی نسبت به نوع امولسیونی ۵۰ درصد عملکرد بهتری دارد و نیز افزودن سیلیکا موجب کاهش ۲۵ تا ۳۵ درصد اتلاف انرژی می‌شود. همچنین، مطالعه‌ها نشان داده که چگالی پیوندهای عرضی در SBR محلولی به‌تقریب دو برابر SBR امولسیونی است [۸]. با توجه به این‌که نوع کائوچوی مصرفی به‌عنوان اصلی‌ترین جزء آمیزه، اثر ویژه‌ای بر عملکرد گرانروکشسانی و اتلاف انرژی آن دارد. بنابراین، در پژوهش حاضر، نقش دو نوع کائوچو بر ویژگی‌های مکانیکی، فیزیکی و رئولوژیکی یک آمیزه بررسی شد. هدف از این پژوهش، بررسی استفاده از استایرن بوتادین رابرهای متفاوت و رایج در صنعت تایر کشور برای دست‌یابی به ویژگی‌های مکانیکی و رئولوژیکی بهینه است. برای این منظور، از آزمون‌های ویژگی‌های مکانیکی وRPA [1] استفاده شده است.

بخش تجربی

۱- مواد

انواع گوناگون استایرن بوتادین رابر مورداستفاده در این پژوهش در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱ مشخصات استایرن بوتادین رابر

روش تولید SBR	نوع SBR	باند استایرن	درصد مواد فرار
محلولی	۷۲۶۱۲	۲۵٪	۰.۷۵
امولسیونی	۱۷۶۳	۲۲.۵-۲۴.۵٪	۰.۵
امولسیونی	۱۷۱۲	۲۲.۵-۲۴.۵٪	۰.۷۵
امولسیونی	۱۵۰۲	۲۲.۵-۲۴.۵٪	۰.۷۵

در این پژوهش، سایر مواد شیمیایی مورداستفاده از گرید صنعتی و موجود در بازار است.

۲- آماده‌سازی نمونه‌ها

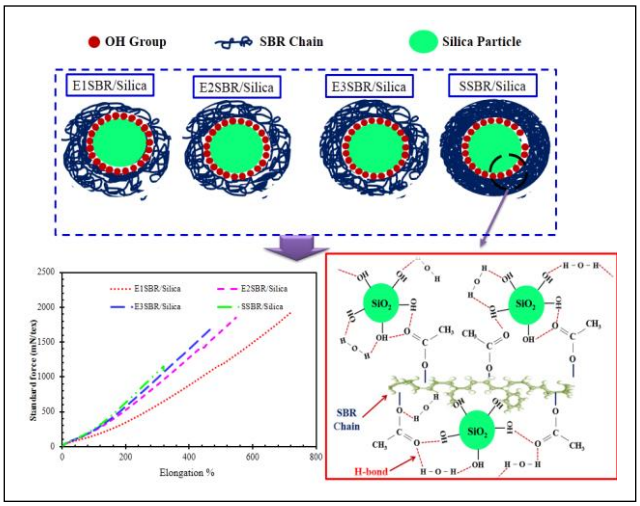
در جدول ۲ فرمولاسیون نمونه‌ها آمده است. منبع تأمین‌کننده‌ی تمامی مواد از گرید صنعتی موجود در بازار است. برای ساخت نمونه‌ها از بنبوری یکونیم لیتری

1. Rubber Process Analyzer

آزمایشگاهی استفاده شد؛ بدین ترتیب که نخست استایرن بوتادین رابر و مواد شیمیایی به میکسر افزوده و به مدت ۲ دقیقه میکس انجام شد. سپس، سیلیکا و در نمونه‌ی اول، روغن افزوده و به مدت سه دقیقه تا رسیدن به دمای ۱۴۵ درجه سانتی‌گراد عمل میکس شدن ادامه پیدا کرد. سپس، آمیزه‌ی مستر تخلیه و پس از ۲۴ ساعت برای آماده‌سازی نهایی، آمیزه‌ی مستر با مواد شیمیایی نهایی که تشکیل‌شده از سیستم پخت است، به مدت ۲ دقیقه و تا رسیدن به دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد میکس شدند. سپس، آمیزه‌ی نهایی تخلیه و به‌مدت سه دقیقه عمل رول‌کاری برای اختلاط بهتر بر نمونه‌ها انجام شد. لازم به ذکر است که تمامی نمونه‌ها در شرایط به‌طورکامل یکسان ساخته شدند. همچنین، طرحواره‌ای از خلاصه‌ی پژوهش و نتیجه‌ی مهم آن در شکل (۱) آمده است.

جدول ۲- فرمولاسیون نمونه‌ها (مقدارها برحسب phr است)

مواد	SSBR/Silica	E3SBR/Silica	E2SBR/Silica	E1SBR/Silica
استایرن بوتادین رابر	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
سیلیکا	۵۵	۵۵	۵۵	۵۵
اسید استئاریک	۲	۲	۲	۲
عامل سیلان	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
واکس	۱	۱	۱	۱
اکسید روی	۱	۱	۱	۱
6PPD	۲	۲	۲	۲
روغن آروماتیک	-	-	-	۳۷.۵
TBBS	۲.۱۲	۲.۱۲	۲.۱۲	۲.۱۲
MBTS	۱.۵۹	۱.۵۹	۱.۵۹	۱.۵۹
گوگرد OT	۰.۹	۰.۹	۰.۹	۰.۹



شکل ۱- طرحواره کلی پژوهش

۳- آزمون بررسی ویژگی‌های مکانیکی

برای انجام آزمون بررسی ویژگی‌های مکانیکی از دستگاه کشش نوع Zwick/Roell Z050 ساخت کشور آلمان استفاده شد. در این پژوهش، نمونه‌های دمبلی از آمیزه پخت شده (در دمای ۱۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و به مدت ۲۰ دقیقه) با استاندارد ASTM D412 موردبررسی قرار گرفت تا اثر نوع SBR بر ویژگی‌های مکانیکی مشخص شود. لازم به ذکر است که ضخامت نمونه‌ها ۲ میلی‌متر بود.

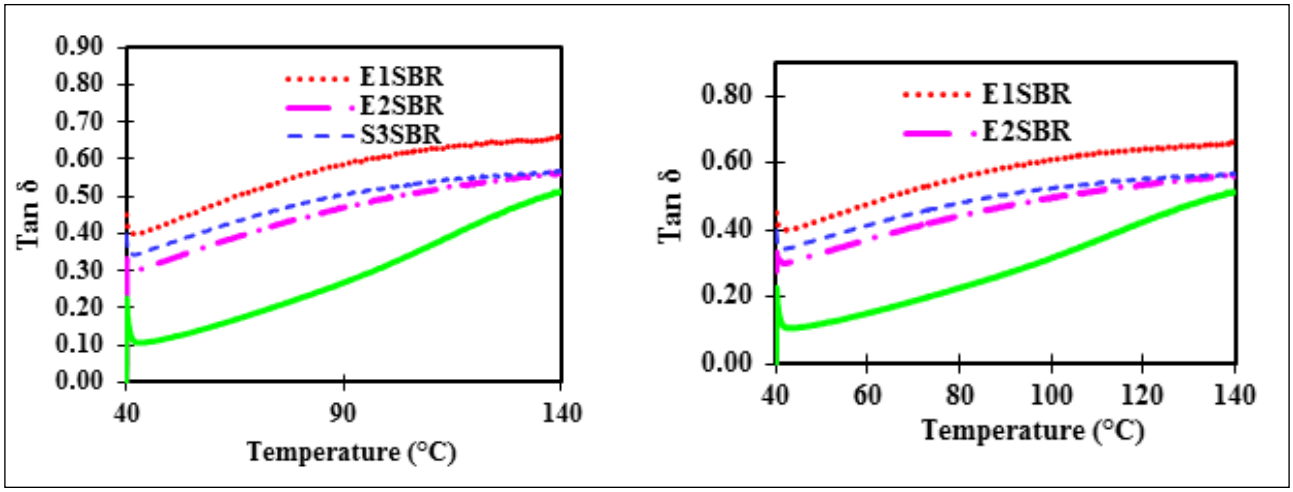
۴- آزمون بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی

برای تعیین ویژگی‌های رئولوژیکی و اندازه‌گیری مقدار اتلاف به‌منظور پیش‌بینی مقاومت غلتشی تایر ساخته‌شده با آمیزه‌ها، از دستگاه RPA مدل ۳۰۰۰ ساخت شرکت MonTech استفاده شد. RPA قادر به اندازه‌گیری و کنترل دما به‌دقت ۰٫۱ درجه سانتی‌گراد است و می‌توان آن را با شبیه‌سازی‌های فشار و فرکانس در گستره‌های وسیعی از دامنه‌ی کرنش و دما به‌کار برد. در این پژوهش، دو نوع آزمون گوناگون، جاروب کرنش و جاروب دمایی، هم برای آمیزه و هم کائوچو انجام شد. آزمون جاروب کرنش، در فرکانس ۱٫۶۷ هرتز و دو دمای ۶۰ و ۱۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد انجام شد. مدول ذخیره (G')، مدول اتلاف (G") و گرانروی (η*) ثبت شد. آنالیز جاروب دمایی برای کائوچو از گستره‌ی ۴۰ تا ۱۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و در شرایط فرکانسی ۱٫۶۷ هرتز و دامنه ۷٪ انجام شد. همچنین، برای بررسی ویژگی‌های پختی نمونه‌ها در دمای ۱۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و زمان ۲۰ دقیقه نیز از این دستگاه استفاده شد.

نتیجه‌ها و بحث

۱- بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی کائوچوها

در شکل ۲، مقدار tanδ در مقابل دما را برای کائوچوهای SBR1502، SBR1712، SBR7263 و SBR72612 آمده است. همان‌طور که مشخص است، مقدار اتلاف برای کائوچوهای امولسیونی بیشتر از محلولی است. هرچه توزیع وزن موکولی پهن‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی وجود زنجیره‌هایی با طول متفاوت است. به این معنی که در ساختار هم زنجیره با طول کم و هم زنجیره با طول بلندتر وجود دارد. در این صورت زنجیره‌های کوچکتر می‌تواند عامل سرخوردگی برای زنجیره‌های بزرگتر باشد و به‌طور اصطلاح به‌عنوان یک



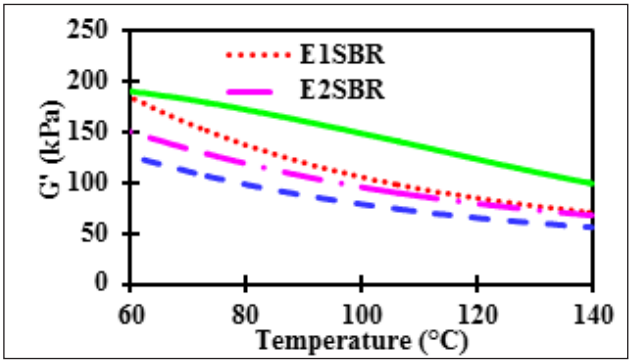
شکل ۲- نتیجه‌های مقایسه توزیع وزن موکولی کائوچوها

روانکار عمل کند، همین امر، موجب افزایش‌ترم اتلاف خواهد شد پس می‌توان گفت هرچه tanδ بیشتر باشد، توزیع وزن مولکولی پهن‌تر است [۹ تا ۱۱]. بنابراین، ترتیب افزایش توزیع وزن مولکولی کائوچوها بدین‌صورت است:

SBR1502 > SBR7263 > SBR1712 > SBR72612

همچنین، شکل ۳ مدول برشی ذخیره (G') در مقابل دما را نشان می‌دهد. مدول برشی ذخیره می‌تواند نشانگر وزن مولکولی کائوچو باشد. بدین‌صورت که هرچه طول زنجیره‌ها بلندتر و وزن موکولی بیشتر باشد، ترم ذخیره بیشتر می‌شود [۹ تا ۱۲]. افزایش وزن مولکولی برای انواع گوناگون کائوچوهای SBR استفاده‌شده در این پژوهش به‌صورت زیر است.

SBR72612 > SBR1502 > SBR1712 > SBR7263



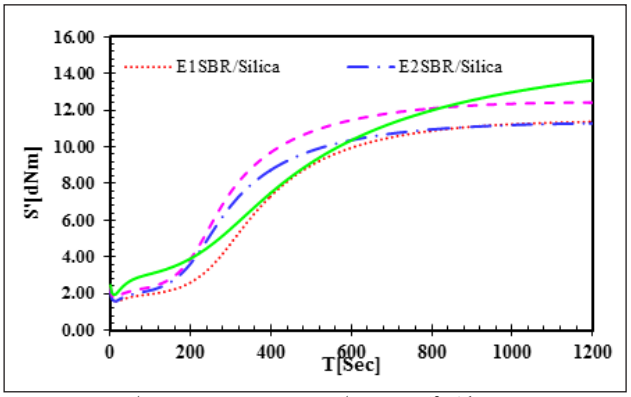
شکل ۳- نتیجه‌های مقایسه وزن موکولی کائوچوها

۲- ویژگی‌های پخت

نمودار مربوط به پخت نمونه‌ها در دمای 160 °C در شکل ۴ آورده شده است. مقادیر بیشینه (T_{max}) و کمینه‌ی (T_{min}) گشتاور پخت، اختلاف بین آن‌ها ($\Delta T = T_{max} - T_{min}$)، مقدار ۹۰٪ پخت (t90)، مونی گرانروی و سرعت پخت در جدول ۱ آورده شده است. با دقت درنتیجه‌های پخت می‌توان یافت که گشتاور بیشینه در نمونه SSBR/Silica بیشتر از سایر نمونه‌ها است. با توجه به اینکه میزان گشتاور بیشینه از چگالی اتصالات عرضی و میزان پخش فیلر در بستر آمیزه تأثیر می‌گیرد، می‌توان نتیجه گرفت که در نمونه SBR محلولی، پخش بهتری از سیلیکا در آمیزه بسپاری را شاهد هستیم که این پخش بهتر می‌تواند باعث افزایش استحکام پیوندی فیلر-بسپار نیز شود [۱۳ تا ۱۵]. از طرفی افزایش ΔT نیز به چگالی اتصالات عرضی برمی‌گردد و هرچه این میزان بیشتر باشد، انتظار می‌رود برهم‌کنش فیلر-بسپار به‌خوبی انجام شود. نتیجه‌های پخت همخوانی مناسبی با نتیجه‌های ویژگی‌های مکانیکی دارد چراکه نمونه محلولی دارای بیشترین سختی و بیشترین مدول یانگ است. این بدین معنی است که فیلر پراکندگی بسیار مناسبی در بستر بسپار دارد. همچنین، برهم‌کنش باندهای دوگانه SSBR با سیلیکا به‌مراتب بیشتر از ESBR است [۱۶ و ۱۷].

جدول ۳- نتیجه‌های به‌دست آمده از رئومتر پخت نمونه‌ها

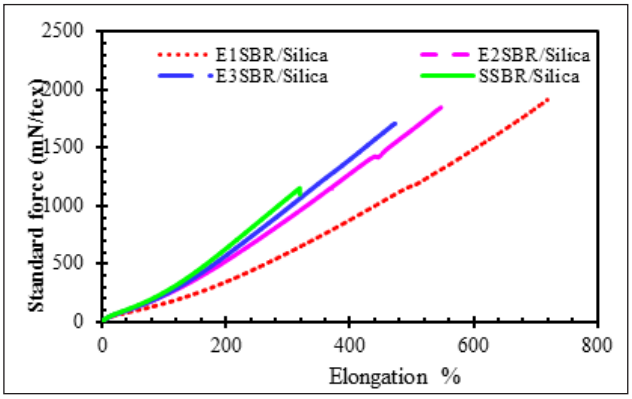
ردیف	کد نمونه	T_{min}	T_{max}	$\Delta T = T_{max} - T_{min}$	t_{90}	Cure rate
۱	E1SBR/Silica	۱٫۵۹	۱۱٫۳۷	۹٫۷۸	۶۷۰	۰٫۰۱۷
۲	E2SBR/Silica	۱٫۵۸	۱٫۲۸	۹٫۷۰	۵۸۸	۰٫۰۱۷
۳	E3SBR/Silica	۱٫۷۹	۱۲٫۴۳	۱۰٫۶۴	۵۸۲	۰٫۰۲۰
۴	SSBR/Silica	۱٫۹۴	۱۳٫۶۳	۱۱٫۶۹	۸۸۴	۰٫۰۱۲



شکل ۴- نتیجه‌های بررسی پخت نمونه‌ها

۳- بررسی ویژگی‌های مکانیکی

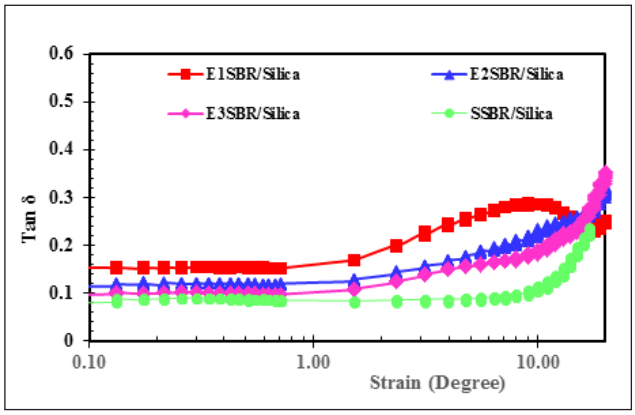
با انجام آزمون‌های ویژگی‌های مکانیکی که برای هر نمونه سه مرتبه تکرار شدند. نمونه‌ها رفتار تنش -کرنش مطابق با شکل ۵ را از خود نشان دادند. آزمون کشش نشان می‌دهد که مقادیر درصد ازدیاد طول و استحکام کششی به ترتیب برای نمونه‌های SSBR/Silica، E3SBR/Silica، E2SBR/Silica و E1SBR/Silica افزایش پیدا می‌کند. با دقت درنتیجه‌ها می‌توان به این نتیجه رسید که در نمونه‌های حاوی SBR امولسیونی مقاومت شکست و میزان کشش افزایش می‌یابد. دلیل افزایش در میزان کشش در این آمیزه‌ها می‌تواند به حرکت راحت‌تر زنجیرها برگردد به‌نحوی‌که وجود زنجیرهای کوتاه‌تر باعث سرخوردگی زنجیرها شده و افزون‌بر افزایش عامل اتلاف، میزان تحرک‌پذیری و کش آمدن نمونه را هم افزایش می‌دهد [۱۸ و ۱۹]. اما در نمونه حاوی SBR محلولی به‌دلیل پیوند مناسب فیلر و بسپار، تحرک زنجیرها کمتر شده و ازدیاد طول به مقدار قابل‌توجهی نسبت به نمونه‌های امولسیونی کاهش می‌یابد اما مدول یانگ بیشتر شده است. شکل‌گیری پیوندهای هیدروژنی میان گروه‌های سیلیکا با سطح SBR، می‌تواند سبب افزایش مدول یانگ شود. همچنین، نتیجه‌های پژوهش‌های پیشین به‌وضوح نشان داده شده است که SBR محلولی سبب بهبود ویژگی‌های آمیزه به نسبت امولسیونی می‌شود. از طرفی استحکام کششی بهتر در نمونه‌های امولسیونی می‌تواند به فاصله کمتر بین ذرات سیلیکا به‌دلیل وجود زنجیرهای کوتاه‌تر برگردد.



شکل ۵- نتیجه‌های آزمون ویژگی‌های مکانیکی

۴- پیش‌بینی مقاومت غلتشی به کمک RPA

به‌منظور پیش‌بینی مقاومت غلتشی آمیزه‌ها، آزمون بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی با استفاده از دستگاه RPA انجام شد. شرایط آزمون بدین‌صورت بود که ابتدا نمونه‌ها در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد پخت شدند. در مرحله پس دما به ۶۰ درجه کاهش پیدا کرد و در فرکانس ۱٫۶۷ هرتز، آزمون جاروب کرنش از ۰٫۱ تا ۲۰ درجه انجام شد که نتیجه‌ها در شکل ۶ آمده است. با دقت در نمودارها می‌توان یافت که از کرنش بالای ۳ درجه با افزایش کرنش، عامل اتلاف برای همه نمونه‌ها زیاد می‌شود که دلیل آن تخریب شبکه پرکننده به همراه افزایش لغزش مولکولی است [۲۰ و ۲۱]. همچنین، در نمونه E1SBR/Silica با افزایش بیشتر کرنش در بالای ۱۵ درجه عامل اتلاف کاهش می‌یابد که احتمالاً به‌دلیل کاهش اتلاف انرژی ناشی از شکست و اصلاح شبکه پرکننده باشد زیرا اصلاحات شبکه پرکننده بسیار دیرتر (در کرنش‌های بالاتر) از تخریب شبکه پرکننده رخ می‌دهد. Tanδ برای آمیزه‌ی حاوی SBR امولسیونی کمتر از سایر نمونه‌ها است. که طبق نتیجه‌های پژوهش، هرچه عامل اتلاف کمتر باشد، میزان مقاومت غلتشی بهبود می‌یابد و مصرف سوخت کمتر است. دلیل پدیده نکرشده به تعامل و برهمکنش مناسب فیلر-بسپار برمی‌گردد [۱ و ۲۱].



شکل ۶- نتیجه‌های بررسی عامل اتلاف و پیش‌بینی مقاومت غلتشی

نتیجه‌گیری

نوع کائوچوی مصرفی در آمیزه‌های لاستیکی و ساختار آن اثر زیادی روی ویژگی‌های نهایی آمیزه دارد به‌نحوی‌که حتی بدون تغییر نوع کائوچو و تنها با تغییر ساختار و وزن موکولی، این اثرات به‌خوبی نمایان خواهد شد، به همین منظور در این پژوهش، نوع SBR روی ویژگی‌های مکانیکی، فیزیکی و رئولوژیکی آمیزه لاستیکی بررسی شد. نتیجه‌های آزمون‌های انجام‌شده به‌شرح زیر است:

- مقدار اتلاف برای کائوچوهای امولسیونی بیشتر از محلولی است.
- ترتیب افزایش توزیع وزن موکولی به شکل زیر است:

SBR1502 > SBR7263 > SBR1712 > SBR72612

- در این پژوهش، افزایش وزن مولکولی برای انواع گوناگون کائوچوهای SBR استفاده‌شده به‌صورت زیر است:

SBR72612 > SBR1502 > SBR1712 > SBR7263

- در نمونه SBR محلولی، پخش بهتری از سیلیکا در آمیزه بسپاری را شاهد هستیم که این پخش بهتر می‌تواند باعث افزایش استحکام پیوندی فیلر-بسپار نیز شود.
- نمونه E1SBR/Silica دارای بیشترین میزان ازدیاد طول و کمترین مدول یانگ است که به ترتیب و با تغییر توزیع وزن موکولی و وزن موکولی، مدول یانگ بیشتر شده و درصد ازدیاد طول کمتر می‌شود.
- نمونه SSBR/Silica کمترین میزان عامل اتلاف را دارد که انتظار می‌رود تایر ساخته‌شده با این نمونه دارای کمترین مقاومت غلتشی نیز باشد IRM

مراجع

1. Honorato L, Dias ML, Azuma C, Nunes RCR. Rheological properties and curing features of natural rubber compositions filled with fluoromica ME 100. Polímeros 2016;26:249–53. doi:10.1590/0104-1428.2352.
2. Choi SS. Improvement of properties of silica-filled natural rubber compounds using polychloroprene. J Appl Polym Sci 2002;83:2609–16. doi:10.1002/app.10201.
3. Sadhu S, Bhowmick AK. Preparation and Properties of Styrene-Butadiene Rubber Based Nanocomposites: The Influence of the Structural and Processing Parameters. J Appl Polym Sci 2004;92:698–709. doi:10.1002/app.13673.
4. Tian M, Qu C, Feng Y, Zhang L. Structure and properties of fibrillar silicate / SBR. Structure 2003;8:4917–24. doi:10.1023/B:JMSC.0000004414.27574.93.
5. Li Y, Han B, Liu L, Zhang F, Zhang L, Wen S, et al. Surface modification of silica by two-step method and properties of solution styrene butadiene rubber (SSBR) nanocomposites filled with modified silica. Compos Sci Technol 2013;88:69–75. doi:10.1016/j.compscitech.2013.08.029.
6. Liu X, Zhao S, Zhang X, Li X, Bai Y. Preparation, structure, and properties of solution-polymerized styrene-butadiene rubber with functionalized end-groups and its silica-filled composites. Polymer (Guildf) 2014;55:1964–76. doi:10.1016/j.polymer.2014.02.067.
7. Choi SS, Park BH, Song H. Influence of filler type and content on properties of styrene-butadiene rubber (SBR) compound reinforced with carbon black or silica. Polym Adv Technol 2004;15:122–7. doi:10.1002/pat.421.

۸- میرحمیدرضا ق, فرود عس. اثر ساختار مولکولی SBR و نوع پرکننده بر ضریب نفوذ گرمایی آمیزه‌های SBR/BR استفاده شده در رویه تایرهای سواری n.d.

9. Mahata D, Prabhavale O, Samantarai S, Maity H, Nag A, Nando GB. Functionalization of styrene–butadiene rubber with meta-pentadecenyl phenol for better processing: A multifunctional additive and renewable resource. J Appl Polym Sci 2017;134. doi:10.1002/app.45150.
10. Ponnamma D, Thomas S, Scales DL. Non-Linear Viscoelasticity of Rubber Composites and Nanocomposites. n.d.
11. Indian Academy of Sciences. Polymer Molecular Weight 2004:43–56.
12. Dinsmore RP. Rubber Chemistry. Ind Eng Chem 2005;43:795–803. doi:10.1021/ie50496a014.
13. Hosseini SM, Razzaghi-Kashani M. On the role of nano-silica in the kinetics of peroxide vulcanization of ethylene propylene diene rubber. Polymer (Guildf) 2017;133:8–19. doi:10.1016/j.polymer.2017.10.061.
14. Hosseini SM, Razzaghi-Kashani M. Catalytic and networking effects of carbon black on the kinetics and conversion of sulfur vulcanization in styrene butadiene rubber. Soft Matter 2018;14:9194–208. doi:10.1039/C8SM01953C.
15. Hosseini SM, Razzaghi-Kashani M. Vulcanization kinetics of nano-silica filled styrene butadiene rubber. Polymer (Guildf) 2014;55:6426–34. doi:10.1016/j.polymer.2014.09.073.
16. Luo Y, Qu L, Su H, Chan TW, Wu S. Effect of chemical structure of elastomer on filler dispersion and interactions in silica/solution-polymerized styrene butadiene rubber composites through molecular dynamics simulation. RSC Adv 2016;6:14643–50. doi:10.1039/c5ra24965a.
17. Kadum Abd-Ali N, Al-Fattal DS. AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF THE TYPE OF CARBON BLACK IN THE DESIGN OF TRUCK TIRE SIDEWALL RECIPE Effect of Fiber Orientation Angles on Mechanical Behavior of Car Bumper Composite 2017.
18. Zhang L, Wang Y, Wang Y, Sui Y, Yu D. Morphology and Mechanical Properties of Clay / Styrene-. Polymer (Guildf) 2000:1873–8.
19. Yang Z, Peng H, Wang W, Liu T. Crystallization behavior of poly(ε-caprolactone)/layered double hydroxide nanocomposites. J Appl Polym Sci 2010;116:2658–67. doi:10.1002/app.
20. Kieff FS. Emulsion Styrene-Butadiene Rubber from U. S. International Trade Commission 2016;1337.
21. Wang Z, Li S, Wei D, Zhao J. Mechanical properties, Payne effect, and Mullins effect of thermoplastic vulcanizates based on high-impact polystyrene and styrene-butadiene rubber compatibilized by styrene-butadiene-styrene block copolymer. J Thermoplast Compos Mater 2015;28:1154–72. doi:10.1177/0892705713503672.

Study of the effect of different types of SBR-filled silica rubber on physical-mechanical properties and prediction of rolling resistance by rheological properties

M. Amini

Expert of Barez Kordestan Rubber Process Engineering Department, Tehran, Iran

*Corresponding author Email: majed_amini_90@yahoo.com

Abstract: In this research, the physical-mechanical and rheological properties of the composites obtained from SBR1502, SBR1712, SBR1763 and SBR72612 filled with 55 silica Particles were investigated and compared. Also, given that the rheological behavior of rubber compounds can reflect many of the tire's functional properties, and knowledge of the rheological properties of the rubber materials enables us to predict the rolling resistance properly. In this study, the rheological properties of the samples were measured by RPA 3000. For this purpose, four samples were prepared with E1SBR / Silica, E2SBR / Silica, E3SBR / Silica and SSBR / Silica codes. The results of molecular weight distribution analysis showed that SSBR has the thinnest molecular weight distribution and the highest molecular weight. Also, examination of the mechanical properties showed that the E1SBR / Silica sample had the highest amount of elongation and the lowest Young's modulus, which increased the modulus of Young's modulus and molecular weight, respectively, and decreased the elongation percentage. Also, rheological properties analysis showed that SSBR / Silica sample had the lowest dissipation factor which is expected to have the lowest rolling resistance of the tire made with this sample. By examining the amount of rheological properties of the strain broom in the specimens, it can be found that the greater the storage modulus, the greater the amount of force at a constant percentage of elongation, which is fully consistent with the mechanical properties results.

Keywords: Styrene butadiene rubber, silica, rheological properties, rolling resistance, mechanical and physical properties.