

# جایگزینی لاستیک بازیافتی در آمیزه و تهیه فرمولبندی بهینه کاربردی

## The Use of Reclaimed Rubber in Rubber Compounds for Optimized Applications

غلامرضا بخشنده، مهدی نورانی

تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، پژوهشکده فرایند، صندوق پستی: ۱۴۹۶۵/۱۱۵

دریافت: ۸۱/۶/۳۱، پذیرش: ۸۱/۱۲/۱۰

### چکیده

لاستیکهای مستعمل را در شرایط مختلف می توان بازیابی، فرآوری و وولکانیده کرد. اما، به علت استفاده از انواع کائوچوی مصنوعی در محصولات و نبود حجم زیاد ضایعات، لاستیک بازیافتی جای مهمی در صنعت لاستیک ندارد و بیشتر برای استفاده دوباره در موارد مصرفی خاص بکار می رود. از این رو، شاید بتوان گفت که مهمترین انگیزه برای انجام این پژوهش، سرمایه گذاری و کاربرد لاستیک بازیافتی برای حل مسائل و مشکلات زیست محیطی است. در این کار پژوهشی، جایگزینی لاستیک بازیافتی برای NR، SBR، BR و دوده در فرمولبندی آمیزه های آج تایرهای روکش شده سواری و باری بررسی شده است و با تغییرات انجام شده خواص کاربردی متعادل و مطلوبی برای استفاده در ساخت قطعاتی که مصرف عمده آنها در حالت ایستاست، بدست آمده است.

### واژه های کلیدی

لاستیک بازیافتی، خواص فیزیکی،  
زمانندی، طراحی فرمولبندی،  
بهینه سازی

### مقدمه

بازیابی و استفاده مکرر بود. گرچه کشف این پدیده خواص محصولات لاستیکی را به نحو چشمگیری ارتقا بخشید، ولی چون ضایعات و محصولات مستعمل به سهولت قابل استفاده نبود، مشکلاتی چون کمبود لاستیک خام و افزایش روزمره ضایعات و محصولات

تا سال ۱۸۳۹ میلادی یعنی قبل از کشف پدیده وولکانش توسط گودیر از لاستیک طبیعی به عنوان تنها لاستیک شناخته شده (با منابع محدود) برای ساخت محصولات لاستیکی استفاده می شد و از طرفی، ضایعات لاستیکی و محصولات مستعمل به آسانی و به دفعات قابل

### Key Words

reclaimed rubber, physical properties,  
aging, formulation design,  
optimization

و باری روکش شده انجام می‌پذیرد و خواص متعادل و مطلوبی برای کاربرد در ساخت محصولات متنوع بدست می‌آید که خواصی نظیر آنها دارند. بنابراین، با استفاده از لاستیک بازیافتی در ساخت محصولات لاستیکی، از طرفی به صرفه‌جویی اقتصادی و از سوی دیگر به حفظ سلامت محیط زیست کمک خواهد شد [۵].

#### لاستیک بازیافتی، انواع و خواص آنها

با توجه به مفهوم وولکانش می‌توان نتیجه گرفت که واولکانش عمل عکس وولکانش است، ولی باید توجه داشت هنگامی که ضایعات لاستیکی را بازیابی می‌کنند شبکه سه بعدی کشسان لاستیک، که در اثر وولکانش حاصل شده، تخریب نمی‌شود. به عبارت دیگر، پدیده واولکانش حادث نمی‌گردد و این بدان معناست که پیوندهای عرضی موجود در شبکه سه بعدی دست نخورده باقی می‌ماند. در بازیابی لاستیک زنجیرهای بلند پلیمری شکسته شده و ساختار زنجیری کوتاه‌تر با پیوندهای دوگانه اضافی بوجود می‌آید که آمادگی بیشتری برای شبکه‌ای شدن با گوگرد دارند [۵، ۶]. لاستیکهای بازیافتی به چهار دسته تقسیم می‌شوند:

- ۱- لاستیک خنثی NR که بسیار نرم است. این لاستیک به آسانی پاره می‌شود، بوی آجیل می‌دهد و رنگ آن خرمایی است.
- ۲- لاستیک طبیعی سیاه NR که بسیار نرم است و از تیوبهای سیاه لاستیک طبیعی ساخته می‌شود. از نمونه قبلی نرمتر است و قبل از پاره شدن کش می‌آید و رنگ آن سیاه است.
- ۳- لاستیک استیرن بوتادیان (SBR) که از تایر ساخته می‌شود و کمی سخت‌تر از نوع اول است. هنگام کشش به جای کش آمدن بیشتر پاره می‌شود و رنگ آن سیاه است.
- ۴- لاستیک بوتیل (IIR) که از تیوب ساخته می‌شود و خیلی نرم و در عین حال چقرمه‌تر از انواع دیگر است. هنگام کشش کش می‌آید. بوی آن از انواع یاد شده قبلی کمتر و رنگ آن سیاه است.

#### تجربی

##### مواد

در این پژوهش از لاستیک طبیعی SMR ۲۰ مالزی، SBR ۱۵۰۰ و SBR ۱۷۱۲ بندر امام، BR اراک، دوده N ۳۳۹ اهواز، استتاریک اسید مالزی، DPG و MBTS بایر و روی اکسید و گوگرد ایرانی و لاستیک بازیافتی محصول یزد با کد RM-۱-PT (پایه کائوچوی طبیعی و مصنوعی) استفاده شده است.

مستعمل غیرقابل استفاده و آلوده کننده محیط زیست را به دنبال داشت. این مشکلات تحقیقات زیادی را برای کشف روشی برای بازیافت لاستیکهای مستعمل و ضایعاتی به دنبال داشت تا اینکه در سال ۱۸۵۸ هیرمن هال موفق به کشف روش واپلیم شدن لاستیک وولکانیده به وسیله تابه گرمایی شد. وی لاستیک خرد شده را به مدت ۴۸ ساعت زیر فشار بخار قرار داد که البته، امروزه با استفاده از نرم‌کننده و فشار بالاتر این تبدیل در زمان کمتری انجام می‌گیرد [۱].

در اوایل کار فقط ضایعات لاستیک توپر برای بازیافت مورد استفاده قرار می‌گرفت، اما با ظهور تایرهای بادی و لاستیک تقویت شده با الیاف، روشهایی برای حذف الیاف ارائه شد. اسیدها و قلیاها برای تخریب الیاف و تبدیل آنها به سلولوز مصرف شد. فرایند قلیایی به عنوان موفقترین روش در سال ۱۸۹۹ توسط آرتور مارکز پیشنهاد شد. بجز در موارد معدود، امروزه بیشتر فرایند هضم بکار گرفته می‌شود. استفاده از آسیابهای چکشی روشی مفید برای جداکردن الیاف از لاستیک است که در این روش بعد از آسیاب، جریان هوا باعث راندن الیاف به خارج از محیط عمل می‌شود [۲].

تا جنگ جهانی دوم تنها لاستیک موجود لاستیک طبیعی بود که بازیافت آن نیز کار نسبتاً ساده‌ای بود. نرم‌کننده‌ها با نفوذ به داخل شبکه لاستیک طبیعی بطور یکنواخت باعث شکست پیوندها می‌شدند و محصولات بازیافتی نسبتاً نرم و مقاوم بودند. در هر حال، نرم‌کننده‌های لاستیک طبیعی بسادگی به داخل شبکه لاستیکهای مصنوعی نفوذ نمی‌کنند و این لاستیکها در اثر گرما و فشار سخت می‌شوند. استعداد اکسایش این لاستیکها نیز از لاستیک طبیعی کمتر است. تایرهای مستعمل امروزی مخلوطی از لاستیکهای طبیعی و مصنوعی اند. بدین ترتیب در مقایسه با لاستیک طبیعی، لاستیکهای مصنوعی برای جذب بهتر روغن باید به ذرات ریزتری تبدیل شده و از طرفی، واکنشگرهای شیمیایی فعالتری باید بکار گرفته شوند. نرم‌کننده‌های قوی مانند سولفیدهای فنول آلکید، آمینهای آروماتیک، مرکاپتانهای کلردار، بتدریج جذب ذرات لاستیک شده و در نتیجه باعث شکسته شدن بعضی از پیوندها و تشکیل لاستیک بازیافتی نسبتاً نرم و یکنواخت می‌شوند [۳].

مصارف عمومی لاستیک بازیافتی شامل کاربرد آن در ساخت بسیاری از محصولات لاستیکی از جمله محصولات نواری، شیلنگ و لوله‌های آبیاری، ابونیت، محصولات کلندری، فرش لاستیکی، تایر و تیوب، محصولات قالبگیری فشاری، پاپوشها و بسیاری از قطعات لاستیکی دیگر بویژه قطعات غیر متحرک است [۴].

هدف از انجام این کار پژوهشی استفاده از لاستیک بازیافتی در فرمولبندیهای بهینه کاربردی است. این امر با استفاده از لاستیک بازیافتی به جای لاستیک طبیعی، SBR، BR و دوده در فرمولبندیهای آج سواری

جدول ۱ - مقایسه تجزیه کمی لاستیک بازیافتی با مشخصات سازنده.

اجزا	درصد حاصل از DSC	درصد گزارش شده
هیدروکربن	۵۰	۵۰
دوده	۳۰	۲۳
روغن	۱۴	۲۰
خاکستر	۴	۵

لاستیک بازیافتی شامل لاستیکهای SBR و NR است. پس لاستیک بازیافتی در آمیزه‌هایی جایگزین می‌شود که لزومی به استفاده از لاستیک ویژه نباشد.

برای رسیدن به خواص بهینه، آن فرمولبندی به عنوان مرجع انتخاب می‌شود که از نظر خواص فیزیکی و مکانیکی و میزان مصرف محدوده وسیعی را پوشش دهد تا در صورت تضعیف خواص نیز بتوان کاربردهایی را برای آن پیشنهاد کرد. در اینجا فرمولبندی آج تایرهای روکش شده سواری و سنگین انتخاب شده است.

به علت آنکه اکثر کارخانه‌ها و کارگاههای تولیدی صنعت لاستیک در ایران برای پخت محصولات خود از بخار استفاده می‌کنند، اغلب در انتقال گرما به وسیله بخار آب دمای پخت  $145^{\circ}\text{C}$  مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین، با توجه به کاربردی بودن این دما، پخت نمونه‌های آزمون در  $145^{\circ}\text{C}$  انجام شده است.

به علت آنکه مقدار کائوچو در لاستیک بازیافتی ۵۰ درصد وزنی و بقیه آن دوده و روغن است، بنابراین فرمولبندی بر اساس مقدار کائوچوی موجود انجام شده و در نتیجه مقادیر دوده و روغن نیز بر همین مبنا در نظر گرفته شده است. در جدول ۲، خواص لاستیکهای بازیافتی ارائه شده است.

## دستگاهها

کلیه آمیزه‌های مورد نیاز با استفاده از غلتک آزمایشگاهی Shwabentan در شرایط یکسان ساخته شده و گرانروی مونی و رفتار پخت آنها با دستگاههای گرانروی سنج مونی و رثومتر پخت Zwick اندازه‌گیری شده است. سپس، نمونه‌های لازم برای آزمونهای خواص فیزیکی و مکانیکی به کمک پرس ۲۵ تنی Daventest و استفاده از قالبهای مربوط ساخته شد.

آزمون سختی با سختی سنج Zwick، اندازه‌گیری میزان جهندگی و سایش با دستگاههای ساخت شرکت فرانک از انگلستان، آزمون مانایی فشاری به روش B، آزمون خستگی با دستگاه Monsanto Fatigue Tester و آزمون تنش - کرنش با دستگاه Instron طبق استانداردهای مربوط انجام شده است.

تجزیه کمی لاستیک بازیافتی مورد استفاده (شرکت یزد تایر) به کمک دستگاه DSC/TG انجام شد که نتایج آن با مشخصات ارائه شده از سوی شرکت سازنده در جدول ۱ مقایسه شده است.

## روشها

بعد از تهیه آمیزه‌های لاستیکی طبق فرمولبندیهای مندرج در جدول ۲ و ۳ زمان پخت بهینه کلیه آمیزه‌ها در دمای  $145^{\circ}\text{C}$  به وسیله رثومتر پخت اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌های پخت شده هر فرمولبندی به وسیله قالبهای استاندارد برای هر آزمون در دمای یاد شده و زمان پخت بهینه ساخته شده و استحکام کششی، سختی، جهندگی، زمانمندی، مانایی فشاری، مقاومت سایشی و خستگی به ترتیب طبق استانداردهای ASTM D۵۷۳، ASTM D۹۴۵، ASTM D۱۹۱۵، ASTM D۴۱۲، ASTM D۳۹۹ و ASTM D۲۲۲۸ اندازه‌گیری شد.

## جایگزینی لاستیک اولیه با لاستیک بازیافتی

در اینجا لازم است به چند نکته اشاره شود:

جدول ۲ - خواص لاستیکهای بازیافتی.

پلیمر بازیافتی	چگالی	گرانروی مونی	استحکام کششی (MPa)	درصد ازدیاد طول تا پارگی	درصد خاکستر	درصد ماده استخراج شده با استون
طبیعی خنثی (NR)	۱/۱۹	۴۵	۹/۰	۵۰۰	۲۹	۹
طبیعی سیاه (NR)	۱/۱۹	۲۵	۸/۶	۴۰۰	۱۳	۱۱
تایر کامل (SBR)	۱/۱۸	۵۰	۶/۹	۲۸۰	۷	۲۲
تیوب (IIR)	۱/۱۷	۶۵	۹/۰	۵۴۰	۷	۱۱

جدول ۳- فرمولبندی آمیزه های روکش سواری (L).

مواد فرمولبندی ۱											کد
LT۱۰۰	LT۹۰	LT۸۰	LT۷۰	LT۶۰	LT۵۰	LT۴۰	LT۳۰	LT۲۰	LT۱۰	۳ L	
۰	۶/۸	۱۳/۶	۲۰/۴	۷۲/۲	۳۴	۴۰/۸	۴۷/۶	۵۴/۴	۶۱/۲	۶۸	SBR۱۷۱۲
۰	۳/۲	۶/۴	۹/۶	۱۲/۸	۱۶	۱۹/۲	۲۲/۴	۲۵/۶	۲۸/۸	۳۲	BR
۲۰۰	۱۸۰	۱۶۰	۱۴۰	۱۲۰	۱۰۰	۸۰	۶۰	۴۰	۲۰	—	۱RR*
۲۰	۲۴	۲۸	۳۲	۳۶	۴۰	۴۴	۴۸	۵۲	۵۶	۶۰	N۳۳۹
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴	۸	۱۲	۱۶	روغن آروماتیک
مواد فرمولبندی ۲											کد
			LS۷۰	LS۶۰	LS۵۰	LS۴۰	LS۳۰	LS۲۰	LS۱۰	L	
			۰	۸	۱۸	۲۸	۳۸	۴۸	۵۸	۶۸	SBR۱۷۱۲
			۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	BR

(۱) علامت اختصاری لاستیک بازیافتی است، (۲) در فرمولبندی ۲ سایر تغییرات مشابه فرمولبندی ۱ است و (۳) سایر موارد برای فرمولبندیهای کد L به ترتیب روی اکسید ۱/۲ و ۴، استئاریک اسید ۱/۶ و ۳، گوگرد ۱/۲۲ و ۱/۶۵، شتاب دهنده DM، ۱/۰۵ و ۰/۵۵ و شتاب دهنده DPG، ۰/۳۳ و صفر است.

#### کد گذاری فرمولبندیها

هر فرمولبندی دارای دو مشخصه حرفی و یک مشخصه عددی به شرح زیر است:

حروف H و L به ترتیب مشخصه فرمول آج تایرهای باری و سواری و حروف S، N، T و F به ترتیب مشخصه جایگزینی لاستیک بازیافتی برای SBR، NR، کل لاستیک و پرکننده در فرمولبندی است. عددی که در انتهای کد فرمولبندی قرار می گیرد اگر بعد از حرف F باشد مشخصه درصد پرکننده جایگزین شده و اگر پس از یکی از حروف S، N یا T باشد، به ترتیب مشخصه میزان لاستیک SBR، NR یا کل لاستیک جایگزین شده به وسیله لاستیک بازیافتی است. البته، به دلیل محتوای ۵۰ درصد هیدروکربن موجود در لاستیک بازیافتی، میزان جایگزینی آن باید دو برابر میزان phr لاستیک حذف شده از فرمولبندی اولیه باشد. مثلاً، در فرمول آمیزه آج سواری (با کد L) مقدار SBR و BR اولیه در فرمول به ترتیب ۶۸ و ۳۲ phr است. وقتی که فرمول به LS ۱۰ تغییر می کند، مقدار SBR و BR به ترتیب ۵۸ و ۳۲ phr و مقدار لاستیک بازیافتی ۲۰ phr خواهد بود. جدولهای ۳ و ۴ فرمولبندی آمیزه های ساخته شده را نشان می دهد.

#### نتایج و بحث

کلیه نتایج این پژوهش در جدولهای ۵ تا ۱۰ خلاصه شده است. با

جایگزینی لاستیک بازیافتی با کائوچو در فرمولبندیهای یاد شده مشاهده می شود که میزان سختی در فرمولبندی LT (جدول ۵) تا میزان ۳۰ phr از جایگزینی لاستیک بازیافتی روند افزایشی و بعد از آن حالت معکوس دارد و تا جایگزینی کامل کاهش سختی ادامه پیدا می کند. تغییرات سختی بعد از زمانمندی نیز همین روند را با افزایش اختلاف نسبی طی می کند. با جایگزینی ۵۰ تا ۶۰ phr از لاستیک بازیافتی میزان سختی نزدیکترین اعداد را به نمونه شاهد نشان می دهد و این در حالی است که ۱/۳ دوده و روغن موجود در فرمولبندی حذف شده است. میزان سختی در فرمولبندی LS (جدول ۶) تا جایگزینی ۳۰ phr روند افزایشی ضعیف و بعد از آن روند کاهشی ضعیف دارد، بطوری که در جایگزینی ۵۰ phr میزان سختی با نمونه شاهد مساوی و در جایگزینی ۷۰ phr به اندازه دو واحد سختی کاهش نشان می دهد. بعد از زمانمندی، میزان سختی روند افزایش نسبی نشان می دهد. در فرمولبندی LT با توجه به اینکه جایگزینی لاستیک بازیافتی برای SBR و BR بوده و در فرمولبندی LS جایگزینی تنها در خصوص SBR است، طبیعی است که به دلیل ضعیفتر بودن خواص مکانیکی ذاتی BR نسبت به SBR خواص مطلوبتری در فرمولبندی LT بدست آید. همچنین، با توجه به اینکه خواص مکانیکی ذاتی از خواص مکانیکی SBR و BR بهتر است، انتظار می رود که در فرمولبندیهای HT (جدول ۷) و HN (جدول ۸) که جایگزینی لاستیک بازیافتی به ترتیب برای NR/SBR و NR انجام شده است سختی روند کاهشی داشته باشد. در جایگزینی لاستیک بازیافتی برای

جدول ۴ - فرمولبندی آمیزه های روکش باری (H).

کد مواد فرمولبندی ۳										
HT۱۰۰	HT۹۰	HT۸۰	HT۷۰	HT۶۰	HT۵۰	HT۴۰	HT۳۰	HT۲۰	HT۱۰	۳ H
۰	۷/۵	۱۵	۲۲/۵	۳۰	۳۷/۵	۴۵	۵۲/۵	۶۰	۶۷/۵	۷۵
۰	۲/۵	۵	۷/۵	۱۰	۱۲/۵	۱۵	۱۷/۵	۲۰	۲۲/۵	۲۵
۲۰۰	۱۸۰	۱۶۰	۱۴۰	۱۲۰	۱۰۰	۸۰	۶۰	۴۰	۲۰	۰
۸	۱۲	۱۶	۲۰	۲۴	۲۸	۳۲	۳۶	۴۰	۴۴	۴۸
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲/۵
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲/۵
کد مواد فرمولبندی ۴										
			HN۷۰	HN۶۰	HN۵۰	HN۴۰	HN۳۰	HN۲۰	HN۱۰	H
			۵	۱۵	۲۵	۳۵	۴۵	۵۵	۷۵	۷۵
			۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵
			۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵
کد مواد فرمولبندی ۵										
HF۱۰۰	HF۹۰	HF۸۰	HF۷۰	HF۶۰	HF۵۰	HF۴۰	HF۳۰	HF۲۰	HF۱۰	H
۰	۴/۸	۹/۶	۱۴/۴	۱۹/۲	۲۴	۲۸/۸	۳۳/۶	۳۸/۴	۴۳/۲	۴۸
۴۸	۴۳/۲	۳۸/۴	۳۳/۶	۲۸/۸	۲۴	۱۹/۲	۱۴/۴	۹/۶	۴/۸	۰

(۱) علامت اختصاری لاستیک بازیافتی است، (۲) در فرمولبندیهای ۴ و ۵ سایر تغییرات مشابه فرمولبندی ۳ است و (۳) سایر موارد برای فرمولبندیهای کد H به ترتیب روی اکسید ۲/۱ و ۴، استتاریک اسید ۱/۶، ۳، گوگرد ۱/۲۲ و ۱/۶۵، شتاب دهنده DM، ۱/۰۵ و ۱/۰۵۵ و شتاب دهنده DPG، ۰/۳۳ و صفر است.

لاستیک از لاستیک SBR و BR موجود در فرمولبندیهای LT و LS بالاتر است، بنابراین با وارد شدن لاستیک بازیافتی، ماتریس پلیمری آمیزه تقویت می شود و در نتیجه استحکام کششی شروع به افزایش می کند، ولی جایگزینی بیشتر شبکه پلیمری استحکام پلیمر را تضعیف می کند، تا جایی که با جایگزینی کامل این خواص تقریباً به ۷۲ نمونه شاهد می رسد. تغییرات ازدیاد طول تا پارگی نیز (در خصوص فرمولبندیهای یاد شده) دقیقاً با روند فوق مشاهده می شود، با این تفاوت که در محدوده جایگزینی ۲۰-۳۰ phr میزان ازدیاد طول تا پارگی به میزان نمونه شاهد نزدیکتر است. روند تغییرات بعد از زمانمندی مشابه قبل از آن است. در فرمولبندیهای HT و HN (جدولهای ۷ و ۸) جایگزینی لاستیک بازیافتی در رقابت با آلیاژ NR/SBR و NR خالص است و طبیعی است که از شروع جایگزینی لاستیک بازیافتی باید انتظار کاهش استحکام کششی و ازدیاد طول تا پارگی را قبل و بعد از زمانمندی داشت و به طوری که در جدولهای ۷ و ۸ مشاهده می شود، استحکام کششی و ازدیاد طول تا پارگی از شروع جایگزینی تا انتهای آن روند کاهش نشان

دوده در فرمولبندی HF (جدول ۹) میزان سختی با افزایش لاستیک بازیافتی روند یکنواختی از کاهش مشاهده می شود. کاهش نیروهای بین مولکولی ناشی از کاهش دوده علت عمده این پدیده است، اما تغییرات سختی پس از زمانمندی نسبت به نمونه شاهد بسیار ناچیز است که مهمترین دلیل آن افزایش واکنشهای ساختاری ثانویه در هنگام زمانمندی [۱] و جبران نقصان نیروهای بین مولکولی ناشی از کاهش دوده است.

نتایج حاصل از آزمون استحکام کششی چنین نشان می دهد که به تناسب جایگزینی لاستیک بازیافتی در فرمولبندیهای LT و LS (جدولهای ۵ و ۶) ابتدا میزان استحکام روند افزایشی و سپس روند کاهش را طی می کند، بطوری که در مقدار ۵۰ phr جایگزینی در فرمولبندی LT و محدوده ۵۰-۶۰ phr جایگزینی در فرمولبندی LS مقدار استحکام کششی با مقدار آن در نمونه شاهد مساوی است. با توجه به اینکه در لاستیک بازیافتی مقداری لاستیک طبیعی وجود دارد و همان طور که گفته شد، چون خواص مکانیکی ذاتی و جرم مولکولی این

جدول ۵- تغییرات خواص نسبت به میزان جایگزینی لاستیک بازیافتی در فرمولبندی آمیزه تایر روکش شده سواری (جایگزینی برای کلیه مواد اصلی).

LT۱۰۰	LT۹۰	LT۸۰	LT۷۰	LT۶۰	LT۵۰	LT۴۰	LT۳۰	LT۲۰	LT۱۰	L	کد	آزمون
۵۳	۵۵	۵۵	۵۹	۶۰	۶۲	۶۳	۶۵	۶۴	۶۰	۶۱		سختی (شور A)
۶۴	۶۳	۶۶	۶۷	۶۸	۶۹	۷۰	۷۲	۶۹	۶۸	۶۸		سختی* (شور A)
۵۹۰	۷۲۰	۹۴۰	۱۰۷۰	۱۱۰۰	۱۱۹۰	۱۲۴۰	۱۲۵۰	۱۳۵۰	۴۰۰	۱۲۰۰		استحکام کششی $5 \pm$ (psi)
۳۶۰	۵۳۰	۷۷۰	۸۸۰	۹۲۰	۱۰۲۰	۱۱۰۰	۱۱۵۰	۱۱۶۰	۱۱۹۰	۱۱۱۰		استحکام کششی* $5 \pm$ (psi)
۳۱۰	۵۴۰	۵۵۰	۵۷۰	۵۸۰	۶۳۰	۶۴۰	۷۲۰	۸۵۰	۹۲۰	۷۵۰		ازدیاد طول در نقطه شکست $5 \pm$ (%)
۲۳۰	۳۷۰	۴۰۰	۴۳۰	۴۶۰	۵۱۰	۵۵۰	۶۱۰	۷۴۰	۸۴۰	۶۸۰		ازدیاد طول در نقطه شکست* $5 \pm$ (%)
۶	۶	۵	۵	۵	۶	۶	۶	۷	۷	۷		مانایی فشاری $0.5 \pm$ (%)
۲۳	۲۲	۲۵	۲۷	۲۶	۲۸	۲۷	۳۱	۳۳	۳۳	۳۳		مانایی فشاری داغ $0.5 \pm$ (%)
۳۱	۳۱	۳۳	۳۳	۳۵	۳۵	۳۶	۴۰	۴۲	۴۶	۴۶		جهندگی (%)
۵۳۰	۵۰۰	۴۵۰	۳۸۰	۳۲۰	۲۷۰	۲۳۰	۲۰.۵	۱۷۰	۲۱۰	۱۴۰		سایش $5 \pm$ (%)
۳۵	۳۵	۴۰	۵۰	۹۵	۹۵	۱۲۰	۱۷۰	۲۳۰	۲۷۰	۳۶۰		خستگی ( $10^{-3}$ × سیکل)

(\* شرایط زمانمندی  $73^{\circ}\text{C}$  و ۷۲ h است.)

استحکام کششی شود. بنابراین، از شروع جایگزینی لاستیک بازیافتی با دوده این خواص قبل و بعد از شرایط زمانمندی تضعیف می شوند، اما نکته قابل توجه افزایش تغییرات ازدیاد طول تا پارگی با افزایش مقدار

می دهد. همچنین، در فرمولبندی HF (جدول ۹) در اثر جایگزینی دوده با لاستیک بازیافتی، با توجه به اینکه دوده یک عامل تقویتی در آمیزه محسوب می شود، باید انتظار داشت که کاهش دوده باعث کاهش

جدول ۶- تغییرات خواص نسبت به میزان جایگزینی لاستیک بازیافتی در فرمولبندی آمیزه تایر روکش شده سواری (جایگزینی برای SBR).

LSV۰	LS۶۰	LS۵۰	LS۴۰	LS۳۰	LS۲۰	LS۱۰	L	کد	آزمون
۵۹	۶۰	۶۱	۶۱	۶۲	۶۲	۶۱	۶۱		سختی (شور A)
۷۳	۷۱	۶۹	۷۰	۷۰	۶۹	۶۷	۶۸		سختی* (شور A)
۹۴۰	۱۱۶۰	۱۴۴۰	۱۵۰۰	۱۵۳۰	۱۵۵۰	۱۵۶۰	۱۲۰۰		استحکام کششی $5 \pm$ (psi)
۶۶۰	۷۸۰	۱۲۰۰	۱۲۳۰	۱۲۸۰	۱۳۸۰	۱۳۹۰	۱۱۱۰		استحکام کششی* $5 \pm$ (psi)
—	۴۰۰	۴۳۰	۵۱۰	۶۲۰	۷۰۰	۹۰۰۰	۷۵۰		ازدیاد طول در نقطه شکست $5 \pm$ (%)
—	۳۱۰	۳۵۰	۴۲۰	۵۳۰	۶۲۰	۷۸۰	۶۸۰		ازدیاد طول در نقطه شکست* $5 \pm$ (%)
—	۶	۴	۴	۶	۶	۷	۷		مانایی فشاری $0.5 \pm$ (%)
—	۲۰	۲۲	۲۴	۲۶	۳۱	۳۳	۳۳		مانایی فشاری داغ $0.5 \pm$ (%)
۳۹	۳۹	۴۰	۴۲	۴۷	۴۴	۴۶	۴۶		جهندگی (%)
۳۱۰	۲۹۰	۲۸۰	۲۱۰	۲۲۰	۱۷۰	۲۱۵	۱۴۰		سایش $5 \pm$ (%)
—	۸۵	۹۸	۱۱۰	۱۶۵	۲۲۲	۲۶۵	۳۶۰		خستگی ( $10^{-3}$ × سیکل)

(\* شرایط زمانمندی  $73^{\circ}\text{C}$  و ۷۲ h است.)

جدول ۷ - تغییرات خواص نسبت به میزان جایگزینی لاستیک بازیافتی در فرمولبندی آمیزه تایر روکش شده باری (جایگزینی برای کلیه مواد اصلی).

HT۱۰۰	HT۹۰	HT۸۰	HT۷۰	HT۶۰	HT۵۰	HT۴۰	HT۳۰	HT۲۰	HT۱۰	H	کد	آزمون
۵۱	۵۲	۵۲	۵۳	۵۶	۶۰	۶۳	۶۳	۶۰	۵۸	۶۴		سختی (شور A)
۶۳	۶۲	۶۲	۶۳	۶۵	۶۶	۷۰	۶۷	۶۵	۶۴	۶۷		سختی* (شور A)
۵۰۰	۶۳۰	۷۵۰	۹۹۰	۱۱۲۰	۱۲۳۰	۱۶۳۰	۱۹۱۰	۲۳۵۰	۲۵۶۰	۳۰۵۰		استحکام کششی $\pm 5$ (psi)
۳۹۰	۵۰۰	۶۴۰	۷۰۰	۹۸۰	۱۰۷۰	۱۳۸۰	۱۸۷۰	۲۲۱۰	۲۶۲۰	۳۱۲۰		استحکام کششی* $\pm 5$ (psi)
۲۸۰	۳۳۰	۴۱۰	۵۲۰	۷۰۰	۸۸۰	۹۰۰	۱۰۷۰	۱۹۸۰	۱۱۷۰	۱۳۳۰		ازدیاد طول در نقطه شکست $\pm 5$ (%)
۱۹۰	۲۲۰	۳۱۰	۴۲۰	۵۹۰	۷۱۰	۷۲۰	۸۶۰	۹۰۰	۹۹۰	۱۱۲۰		ازدیاد طول در نقطه شکست* $\pm 5$ (%)
۹	۹	۹	۹	۹	۱۰	۱۰	۱۱	۱۳	۱۳	۱۳		مانایی فشاری $\pm 5$ (%)
۳۹	۳۸	۴۱	۴۳	۴۲	۴۵	۴۶	۵۰	۵۳	۵۴	۵۴		مانایی فشاری داغ $\pm 5$ (%)
۳۰	۲۸	۳۰	۳۱	۳۱	۳۲	۳۴	۳۴	۳۶	۳۶	۳۸		جهندگی (%)
۶۴۰	۵۲۰	۴۹۵	۵۲۰	۳۸۵	۳۴۰	۲۵۰	۲۶۰	۳۰۰	۲۵۵	۲۰۵		سایش $\pm 5$ (%)
۳۵	۴۰	۷۰	۷۰	۷۰	۱۱	۱۲	۲۱	۲۱	۲۱	۶۱		خستگی ( $10^{-3}$ × سیکل)

(\*) شرایط زمانمندی  $74^{\circ}\text{C}$  و  $172\text{ h}$  است.

قابلیت جابه جایی زنجیرهای بلند پلیمری شده و این زنجیرها انرژی اعمالی را با تغییر شکل بیشتری در خود ذخیره می کنند و با بازگشت به حالت اولیه مقدار زیادتر آن را پس می دهند.

در کلیه فرمولبندیها نتایج مقاومت سایشی نشان می دهد که با افزایش میزان لاستیک بازیافتی این خاصیت کاهش می یابد که دلیل این پدیده کاهش شدید نیروهای بین مولکولی ناشی از وجود لاستیک بازیافتی است.

در فرمولبندیهای LT و LS و HN تغییرات خستگی با افزایش میزان لاستیک بازیافتی روند کاهشی دارد. مهمترین دلیل این امر یکی وجود ناخالصی است که از این طریق وارد آمیزه می شود و کمترین مقدار آن مقاومت در برابر خستگی را بشدت کاهش می دهد. از طرفی، عوامل موثر در افزایش میزان خستگی گرماندوزی است. احتمالاً افزایش گرماندوزی و فعال شدن عوامل مخرب موجود در لاستیک بازیافتی نیز بر شدت کاهش مقاومت افزوده است. در فرمولبندی HT تا میزان جایگزینی  $50\text{ phr}$  لاستیک بازیافتی میزان خستگی کاهش یافته، ولی در بالاتر از این مقدار و همچنین، در فرمولبندی HF از میزان جایگزینی  $20\text{ phr}$  به بالا مقاومت در مقابل خستگی بهبود می یابد که دلیل آن تقویت ماتریس پلیمری و کاهش مقدار گرماندوزی است.

افزودن لاستیک بازیافتی به منظور جایگزینی با آلیاژ SBR/BR محدود به  $30-50\text{ phr}$  بهترین خواص فیزیکی و مکانیکی از جمله سختی،

لاستیک بازیافتی با دوده است که مهمترین دلیل آن کاهش نیروهای بین مولکولی و در نتیجه افزایش قابلیت جابه جایی و تغییر شکل زنجیرهای پلیمری در هنگام کشش است.

در مورد خاصیت مانایی فشاری در کلیه فرمولبندیها نتایج نشان می دهد که استفاده از لاستیک بازیافتی باعث بهبود این خاصیت چه در حالت معمولی و چه بعد از زمانمندی می شود. آمیزه ای که دارای لاستیک بازیافتی کمتری است از زنجیرهای مولکولی بزرگتری برخوردار است و به علت تراکم و فشار، این زنجیرها تغییر شکل می دهد و میزان درهم رفتگی آنها در یکدیگر زیاد می شود و در نتیجه بازگشت به حالت اولیه مشکلتر از حالتی است که زنجیرهای مولکولی کوتاهترند و به این دلیل وقتی که آمیزه دارای لاستیک بازیافتی بیشتری است، مانایی فشاری کمتری نشان می دهد.

تغییرات میزان جهندگی در کلیه فرمولبندیها بجز فرمولبندی HF با افزایش میزان لاستیک بازیافتی در آمیزه روند کاهشی دارد و این امر ناشی از کاهش متوسط جرم مولکولی زنجیرهای پلیمری است. به عبارت دیگر، میزان زنجیرهای کوتاه در آمیزه زیادتر می شود. در نهایت زنجیرها با سهولت بیشتری با تغییر شکل، انرژی اعمالی را جذب و در نتیجه باعث اتلاف انرژی و کاهش خاصیت جهندگی می شوند. در فرمولبندی HF جایگزینی لاستیک بازیافتی با دوده نتیجه عکس دارد، زیرا کاهش نیروهای بین مولکولی ناشی از کاهش دوده باعث افزایش

جدول ۸ - تغییرات خواص نسبت به میزان جایگزینی لاستیک بازیافتی در فرمولبندی آمیزه تایر روکش شده باری (جایگزینی برای لاستیک طبیعی).

HN۷۰	HN۶۰	HN۵۰	HN۴۰	HN۳۰	HN۲۰	HN۱۰	H	کد	آزمون
۵۲	۵۳	۵۳	۵۴	۵۵	۵۵	۵۷	۶۴		سختی (شور A)
۶۰	۵۹	۶۰	۶۲	۶۳	۶۱	۶۳	۶۸		سختی* (شور A)
۹۷۰	۱۰۰۰	۱۱۴۰	۱۳۱۰	۱۶۴۰	۲۱۸۰	۲۵۰۰	۳۰۵۰		استحکام کششی $5 \pm$ (psi)
۷۷۰	۸۱۰	۹۷۰	۱۲۰۰	۱۶۱۰	۲۱۹۰	۲۶۰۰	۳۱۲۰		استحکام کششی* $5 \pm$ (psi)
۸۲۰	۹۲۰	۱۰۰۰	۱۱۱۰	۱۱۵۰	۱۲۰۰	۱۲۹۰	۱۳۳۰		ازدیاد طول در نقطه شکست $5 \pm$ (%)
۶۶۰	۷۴۰	۸۴۰	۹۷۰	۹۲۰	۱۰۰۰	۱۰۹۰	۱۱۲۰		ازدیاد طول در نقطه شکست* $5 \pm$ (%)
۱۱	۱۱	۱۲	۱۲	۱۲	۱۳	۱۳	۱۳		مانایی فشاری $0.5 \pm$ (%)
—	۴۳	۴۴	۴۹	۵۱	۵۰	۵۴	۵۴		مانایی فشاری داغ $0.5 \pm$ (%)
۳۱	۳۱	۳۲	۳۴	۳۴	۳۶	۳۶	۳۸		جهندگی (%)
۵۲۰	۳۸۵	۳۴۰	۲۵۰	۲۶۰	۳۰۰	۲۵۵	۲۰۵		سایش $5 \pm$ (%)
۷۰	۷۰	۱۱	۱۲	۲۱	۲۱	۲۱	۶۱		خستگی ( $10^{-3}$ × سیکل)

(\*) شرایط زمانمندی  $74^{\circ}\text{C}$  و  $172\text{ h}$  است.

لاستیکی قرار دارد.

افزودن لاستیک بازیافتی به آمیزه‌های بر پایه آلیاژ NR/SBR (۳/۱) تا مقادیر ۲۰ phr باعث افزایش سختی و بالاتر از آن باعث کاهش سختی محصول وولکانش می‌شود. با توجه به سیستم پخت بکار رفته برای آمیزه‌های HT حداکثر تغییرات سختی ۱۰- تا +۵ شور A است.

افزودن لاستیک بازیافتی به جای دوده در هر آمیزه‌ای و به هر مقدار باعث کاهش نسبتاً شدید سختی محصول وولکانش آن آمیزه می‌شود، بطوری که با بکارگیری ۱۰۰ phr لاستیک بازیافتی به جای دوده در آمیزه HF سختی محصول وولکانش به اندازه ۲۰ شور A کاهش می‌یابد.

افزودن لاستیک بازیافتی به آمیزه‌های بر پایه آلیاژ SBR/BR (۲/۱) تا مقادیر ۵۰ phr به جای کائوچوی SBR با مقادیر نسبی از SBR و BR باعث افزایش استحکام کششی محصول وولکانش شده و با مقادیر بالاتر از این ترکیب درصد استحکام کششی با شدت قابل توجهی نزول خواهد کرد. مقدار حداکثر صعود استحکام کششی برای آمیزه‌های LT و LS به ترتیب ۲۰۰ و ۳۵۰ psi است.

افزودن لاستیک بازیافتی به آمیزه‌های بر پایه آلیاژ NR/SBR (۲/۱) به جای کائوچوی بکر یا دوده باعث کاهش شدید استحکام کششی محصول وولکانش می‌شود، البته مقدار استحکام کششی آلیاژ NR/SBR بکر آن قدر بالاست که بکارگیری ۴۰ phr لاستیک بازیافتی، در آمیزه به جای کائوچوی بکر استحکام کششی لازم را خواهد داد که

استحکام کششی، ازدیاد طول تا پارگی و مانایی فشاری را در مقایسه با نمونه شاهد ارائه می‌کند. گرچه این عمل در مورد خواص جهندگی، سایش، خستگی تاثیر غیر مطلوبی دارد، ولی باید توجه داشت که اگر این جایگزینی برای محصولات غیر متحرک انجام گیرد کاملاً قابل قبول و بدون هیچ مشکلی میسر خواهد بود. از طرفی، استفاده از لاستیک بازیافتی برای جایگزینی لاستیک بکر علاوه بر صرفه اقتصادی در تولید محصول، اثر مطلوبی در حفظ محیط زیست نیز خواهد داشت. در جدول ۱۰ مثالهایی از کاربرد فرمولبندیهای جایگزینی لاستیک بازیافتی نشان داده شده است. توضیح اینکه این مثالها صرفاً موارد نمونه‌اند. بدیهی است با تغییرات در فرمولبندی و طراحی فرمولبندیهای جدید کاربرد لاستیک بازیافتی بسیار متنوع خواهد بود.

## نتیجه گیری

افزودن لاستیک بازیافتی به آمیزه‌های بر پایه آلیاژ SBR/BR (۲/۱)، تا مقادیر ۳۰-۵۰ phr باعث افزایش سختی و بالاتر از آن باعث کاهش سختی محصول وولکانش می‌شود. با توجه به سیستم پخت بکار رفته برای آمیزه‌های LT حداکثر تغییرات سختی  $5 \pm$  شور A است که این تغییرات در محدوده تغییرات قابل قبول سختی برای بسیاری از قطعات



جدول ۹- تغییرات خواص نسبت به میزان جایگزینی لاستیک بازیافتی در فرمولبندی آمیزه تایر روکش شده باری (جایگزینی برای دوده).

HF۱۰۰	HF۹۰	HF۸۰	HF۷۰	HF۶۰	HF۵۰	HF۴۰	HF۳۰	HF۲۰	HF۱۰	H	کد	آزمون
۴۰	۴۳	۴۵	۴۶	۵۰	۵۰	۵۳	۵۵	۵۶	۵۶	۶۴		سختی (شور A)
۵۹	۵۶	۵۷	۵۷	۵۹	۵۸	۵۹	۶۲	۶۲	۶۱	۶۷		سختی* (شور A)
۱۰۰۰	۱۰۵۰	۱۲۹۰	۱۳۵۰	۱۳۷۰	۱۴۰۰	۱۶۲۰	۱۷۷۰	۲۲۳۰	۲۵۰۰	۳۰۵۰		استحکام کششی $5 \pm$ (psi)
۸۳۰	۸۲۰	۹۷۰	۱۰۰۰	۱۲۰۰	۱۲۶۰	۱۵۰۰	۱۷۱۰	۲۲۴۰	۲۵۷۰	۳۱۲۰		استحکام کششی* $5 \pm$ (psi)
۱۵۲۰	۱۴۷۰	۱۴۳۰	۱۴۲۰	۱۴۰۰	۱۳۷۰	۱۳۵۰	۱۳۴۰	۱۳۱۰	۱۳۳۰	۱۳۳۰		ازدیاد طول در نقطه شکست $5 \pm$ (%)
۹۷۰	۹۶۰	۹۷۰	۱۰۱۰	۱۰۶۰	۱۰۹۰	۱۰۶۰	۱۱۰۰	۱۱۲۰	۱۱۱۰	۱۱۲۰		ازدیاد طول در نقطه شکست* $5 \pm$ (%)
۶	۸	۸	۱۰	۱۱	۱۳	۱۲	۱۳	۱۴	۱۴	۱۳		مانایی فشاری $0.5 \pm$ (%)
۴۰	۴۰	۴۳	۵۰	۴۷	۴۷	۴۹	۵۰	۵۲	۵۴	۵۴		مانایی فشاری داغ $0.5 \pm$ (%)
۵۵	۵۲	۵۲	۵۰	۴۹	۴۸	۴۳	۴۲	۳۸	۳۸	۳۸		جهندگی (%)
۸۸۰	۷۰۰	۵۹۰	۵۳۰	۴۶۰	۲۶۰	۳۵۰	۳۱۵	۳۰۰	۲۲۰	۲۰۵		سایش $5 \pm$ (%)
۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۵۰	۱۴۰	۱۳	۹۰	۶۵	۳۰	۶۰	۶۱		خستگی ( $10^{-3}$ × سیکل)

(\* شرایط زمانمندی  $72^\circ\text{C}$  و  $72\text{ h}$  است.)

افزایش لاستیک بازیافتی به جای کائوچوی بکر یا دوده باعث بهبود خاصیت مانایی فشاری محصولات وولکانش می شود و به عبارتی از مقدار مانایی فشاری آنها می کاهد. شدت تاثیری که افزایش لاستیک بازیافتی روی بهبود مانایی فشاری محصولات وولکانش می گذارد برای حالتی که جایگزین دوده می شود بیش از حالتی است که جایگزین کائوچوی بکر در آمیزه های HT شده و بسیار بیشتر از حالتی است که جایگزین کائوچوی بکر در آمیزه های LT می شود.

افزودن لاستیک بازیافتی باعث کاهش مقاومت محصولات وولکانش در مقابل خستگی ناشی از تغییرات دینامیکی می شود، اما برای مقادیر بالای  $50-60\text{ phr}$  از لاستیک بازیافتی در آمیزه های بر پایه آلیاژ NR/SBR (۲/۱) به جای کائوچوی بکر یا دوده مجدداً افزایشی در مقاومت خستگی محصولات وولکانش مشاهده می شود، ولی حتی در نقطه ماکسیمم، نیز مقدار مقاومت کمتر از حالتی است که از  $100\text{ phr}$  کائوچوی بکر استفاده می شود.

اعمال شرایط زمانمندی  $72$  ساعت در  $72$  درجه سانتی گراد برای کلیه محصولات وولکانش باعث کاهش استحکام کششی، کاهش ازدیاد طول تا پارگی و افزایش سختی شده و هرچه مقدار لاستیک بازیافتی در محصولات وولکانش بیشتر باشد، اختلاف بین نتایج بدست آمده قبل و بعد از زمانمندی بیشتر می شود.

اعمال شرایط زمانمندی در هنگام آزمون مانایی فشاری نیز تنها از میزان تاثیر مثبت لاستیک بازیافتی روی مانایی فشاری می کاهد و در

برای ساخت قطعات می توان از آن استفاده کرد.

افزایش لاستیک بازیافتی در آمیزه های بر پایه آلیاژ SBR/BR (۲/۱) تا مقادیر  $20$  درصد باعث افزایش مقدار ازدیاد طول تا پارگی شده و این خاصیت با مقادیر بیشتر لاستیک بازیافتی تضعیف خواهد شد. مقدار ازدیاد طول تا پارگی بعد از بکارگیری حتی  $50\text{ phr}$  از لاستیک بازیافتی نیز مقداری است که برای ساخت بسیاری از قطعات قابل قبول است. در آمیزه های بر پایه آلیاژ NR/SBR (۲/۱) لاستیک بازیافتی باعث کاهش ازدیاد طول تا پارگی می شود، بطوری که در محصولات وولکانش HT با جایگزینی  $100\text{ phr}$  لاستیک بازیافتی برای کائوچوی بکر ازدیاد طول تا پارگی از  $300$  درصد به  $200$  درصد کاهش می یابد. افزودن لاستیک بازیافتی به جای دوده باعث ازدیاد طول تا پارگی شده، بطوری که با این جایگزینی در آمیزه HF ازدیاد طول تا پارگی از  $1330$  درصد به  $1520$  درصد افزایش می یابد.

در کلیه آمیزه ها افزودن لاستیک بازیافتی به جای کائوچوی بکر باعث کاهش جهندگی می شود، ولی برای حالتی که جایگزین دوده می شود افزایش جهندگی محصولات وولکانش را خواهیم داشت. با افزایش لاستیک بازیافتی مقاومت سایشی کلیه آمیزه ها با کاهش همراه است و در حالتی که لاستیک بازیافتی جایگزین دوده می شود، شدت کاهش بیش از حالتی است که لاستیک بازیافتی جایگزین کائوچوی بکر شده است، بطوری که کاهش مقاومت سایشی در درصدهای بالاتر از  $40$  تا  $50$  بسیار چشمگیر است.

جدول ۱۰- نمونه های چند فرمولبندی کاربردی در ساخت قطعات لاستیکی خودرو.

فرمول پیشنهادی	کد استاندارد MES	شماره قطعه	نام قطعه
LS-۴۰, HT-۵۰	R-AA۶۱۰	۱۷۴۷۵	لاستیک دسته دنده
HT-۴۰	R-AA۶۱۲	۱۷۴۷۳	لاستیک دسته دنده
HT-۲۰	R-AA۷۱۴	۲۸۳۳۰ A	لاستیک ضربه گیر قامه
HT-۱۰	R-AA۷۱۸	۲۸۳۲۰	لاستیک ضربه گیر قامه
HT-۴۰, LS-۵۰	R-AA۶۱۰	۳۲۴۱۱	لاستیک میل فرمان
HT-۴۰, LS-۵۰	R-AA۶۱۰	۳۲۱۶۳	لاستیک میل فرمان
HT-۱۰	R-AA۷۱۸	۳۴۱۱۰	لاستیکهای ضربه گیر جلو بندی
HT-۲۰	R-AA۷۱۴	۳۴۱۳۰	لاستیکهای ضربه گیر جلو بندی
HT-۴۰, LS-۵۰	R-AA۶۱۰	۴۰۱۸۰	لاستیکهای گوشواره اگزوز
HT-۴۰, LS-۵۰	R-AA۶۱۰	۴۱۶۵۵	لاستیکهای پایه ترمز
HT-۲۰	R-AA۷۱۴	۴۱۶۱۰ B	لاستیکهای پایه ترمز
HT-۶۰, LT-۵۰, LS-۶۰	R-AA۶۰۸	۴۴۱۵۸	گردگیر سیم ترمز دستی
HT-۶۰, LT-۵۰, LTS-۶۰	R-AA۶۰۸	۵۶۹۶۲۰ C	لاستیک واشر قفل درب
HT-۶۰, LT-۵۰, LS-۶۰	R-AA۶۰۸	۶۹۱۰۱	لاستیک واشر آینه
HT-۴۰, LS-۵۰	R-AA۶۱۰	۲۹۲۸۲ A	لاستیک گل پخش کن روی گلگیر
HT-۷۰, LS-۷۰	R-AA۵۰۷	۶۸۶۲۰ A	عایق نمودار زیر داشبورد

شاهد بهترین خواص فیزیکی و مکانیکی از جمله سختی، استحکام کششی، ازدیاد طول تا پارگی و مانایی فشاری را ارائه می کند. گرچه این عمل در مورد خواص جهندگی، سایش و خستگی اثر نامطلوبی دارد، ولی باید توجه داشت که اگر این جایگزینی برای قطعات غیرمتحرک انجام گیرد کاملاً قابل قبول و بدون هیچ مشکلی خواهد بود. از طرفی، استفاده از لاستیک بازیافتی برای جایگزینی لاستیک بکر علاوه بر صرفه اقتصادی در تولید محصول، اثر مطلوبی در حفظ محیط زیست خواهد داشت.

## مراجع

1. Blow C.M., *Rubber Technology and Manufacture*; 3rd ed., Butterworths, London, 203-209, 1978.
2. بخشنده غلامرضا، "لاستیک بازیافتی"، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال ششم، شماره ۲، صفحه ۸۸-۹۵، ۱۳۷۲.
3. Goncharuk G.P., Drozdovski V.F. and Semenova L.P., Tyre Reclaim Modified with Maleimide C: Its Properties, Structure, and Effect on Rubber Quality, *Int. Polym. Sci. Technol.*; **21**, 7, 56-58, 1994.
4. Morton M., *Rubber Technology*; 3rd ed., Van Nostrand Reinhold, New York, 496-515, 1987.
5. نورانی مهدی، جایگزینی لاستیک بازیافتی در آمیزه وتیه فرمولاسیون بهینه کاربردی؛ پایان نامه کارشناسی ارشد، پژوهشگاه پلیمر ایران، زمستان ۱۳۷۶.
6. Makarov V.M. and Drozdovski V.F., *Reprocessing of Tyres and Rubber Wastes: Recycling from the Rubber Products Industry*; Ellis Horwood, New York, 1991.