



بررسی اثر لاستیک بازیافتی و پودر لاستیک بر خواص فیزیکی، دینامیکی و فرایندی آمیزه NR/BR

مهدیه احمدی*، راحله یزدانی

بیرجند، واحد تحقیق و توسعه کارخانه کویر تایر، صندوق پستی ۵۱۸

دریافت: ۸۶/۱۰/۳۰، پذیرش: ۸۷/۳/۲۷

چکیده

با توجه به این که استفاده مجدد از تایرهای ضایعاتی به عنوان پرکننده ای ارزان قیمت مورد توجه است، در این پژوهش، لاستیک بازیافتی حداکثر تا ۱۵phr جایگزین آمیزه NR/BR شد و آثار مثبت و منفی وجود پودر لاستیک و لاستیک بازیافتی در تغییر خواص فیزیکی، دینامیکی و فرایندی آمیزه بررسی شد. نتایج نشان می دهد که وجود لاستیک بازیافتی موجب بهبود سرعت پخت، مقاومت در برابر رشد ترک، مقاومت پارگی و فرایندپذیری آمیزه می شود و استحکام کششی و جهندگی اندکی کاهش می یابد. از طرفی وجود لاستیک بازیافتی تا ۱۰ phr، اثر قابل توجهی روی میزان اتصالات عرضی و مدول آمیزه ندارد. نکته مهم این است که استفاده از لاستیک بازیافتی، باعث بهبود قابل توجه سرعت پخت شده است که این مسئله به دلیل کاهش نیاز به مواد گران قیمت پخت مانند شتاب دهنده یا روی اکسید، قابل توجه است.

واژه های کلیدی

آمیزه NR/BR،
پودر لاستیک،
لاستیک بازیافتی، سرعت پخت،
فرایندپذیری

*مسئول مکاتبات، پیام نگار:

ahmadi_m14@yahoo.com

Surveying the Influence of Reclaimed Rubber and Rubber Powder on Physical, Dynamical and Processing Properties of NR/BR Compound

M. Ahmadi* and R. Yazdani

Research Center of Kavir Tire Factory, P.O. Box: 518, Birjand, Iran

Received 20 January 2008; accepted 16 Jun 2008

Abstract

Since reusing waste tire as a cheap filler is considerably high, in this study, recycled rubber to replace NR/BR is used up to 15 phr and the positive and negative aspects of the rubber powder and reclaimed rubber in the physical, dynamical and processing properties are evaluated. The results showed that in the presence of recycled rubber, the cure rate, crack growth resistance, tear strength and processability of compound are improved and the tensile strength and resilience are slightly decreased. Moreover, the presence of recycled rubber up to 10 phr has no notable effect on crosslink content and modulus. The use of recycled rubber (specially reclaimed rubber), makes noticeable improvement on cure rate which because of the necessity to lower expenses there is no need to use cure ingredients such as accelerators or ZnO.

Key Words

NR/BR compound,
rubber powder,
reclaimed rubber, cure rate,
processability

(*) To whom correspondence should be addressed.

E-mail: ahmadi_m14@yahoo.com

مقدمه

با توجه به گرانی لاستیک پایه در آمیزه‌های لاستیکی، جای‌گزینی لاستیک بازیافتی با حفظ خواص مورد انتظار از آمیزه یا کاهش جزئی در آن حائز اهمیت است [۱]. پودر لاستیک، ذرات لاستیک با اندازه‌های مختلف (از ۱۰ تا ۸۰) است که به طور مکانیکی خرد شده‌اند. پودر لاستیک تهیه شده از بازیافت تایر، به عنوان خوراک فرایند تولید لاستیک بازیافتی استفاده می‌شود. در تولید لاستیک بازیافتی یا لاستیک احیا شده، طی فرایندی به کمک مواد شیمیایی و فشار بخار ایجاد شده، پیوندهای عرضی سولفوری لاستیک شکسته می‌شود و محصولی شامل شبکه پلیمری باز و سایر اجزا نظیر روغن و باقی مانده‌های واکنش پخت به دست می‌آید [۱].

پژوهش‌های انجام شده توسط دیرکز نشان می‌دهد، در نمونه‌هایی که لاستیک بازیافتی جای‌گزین لاستیک شده کاهش استحکام کششی رخ داده است [۲]. فاک و همکاران پس از مطالعه روی آمیزه‌های با پایه لاستیک طبیعی دریافتند که وجود لاستیک بازیافتی تا ۳۰ phr، باعث کاهش زمان برشتگی، افزایش سرعت پخت و کاهش بیشینه گشتاور شده است. گیبالا و همکاران نیز نتایج مشابهی را برای آمیزه با پایه SBR گزارش دادند [۲].

در پژوهش انجام شده روی طراحی رویه تایرهای باری و کشاورزی، پودر لاستیک به مقدار ۵۰ درصد جای‌گزین لاستیک بازیافتی موجود در فرمول بندی شد. نتایج، بهبود خواص فیزیکی - مکانیکی را نشان می‌دهد که بیان‌گر وجود پیوندهای دوگانه فعال در پودرهای لاستیک است. از طرفی، در این پودرها پیوندهای پلی سولفیدی (S_x) و شتاب دهنده‌های واکنش نداده وجود دارد که پس از مصرف این پودرها و انجام واکنش پخت، باعث تغییر استحکام کششی، مدول ۳۰۰ درصد و ازدیاد طول تا پارگی می‌شود [۱].

نتایج tan δ نشان می‌دهد که افزایش لاستیک بازیافتی یا پودر بسیار ریز لاستیک به فرمول بندی، خواص چنگ زنی بهتر و به طور ناچیزی مقاومت غلشی بیشتری را در آمیزه رویه تایر ایجاد می‌کند [۳].

با توجه به این که استفاده مجدد از تایرهای ضایعاتی به عنوان پرکننده‌ای ارزان قیمت مورد توجه است، در این مقاله پودر لاستیک و لاستیک بازیافتی تا ۱۵ phr جای‌گزین آمیزه NR/BR شده است و نقش آنها در تغییر خواص فیزیکی، دینامیکی و فرایندپذیری آمیزه بررسی شده است.

تجربی

مواد

مواد به کار رفته در آمیزه‌ها و شرکت تولیدکننده آنها در جدول آورده شده است.

دستگاه‌ها

برای اختلاط آمیزه‌ها آسیاب دوغلتکی ساخت شرکت برگاموی ایتالیا، برای بررسی خواص پخت رئومتر ODR 2000E، برای اندازه‌گیری خواص کششی و مقاومت پارگی دستگاه Dynamometer مدل V-10-K-5، برای اندازه‌گیری مقاومت در برابر رشد ترک دستگاه Demattia ساخت شرکت Hounsfield انگلیس، برای بررسی جهندگی از دستگاه Tripsometer Dunlop ساخت شرکت Wallace انگلیس و برای بررسی خواص فرایندی گرانروی سنج مونی و اکسترودر آزمایشگاهی به کار گرفته شد. این اکسترودر از نوع تغذیه سرد با $L/D=15$ بود. دمای پوسته به کمک سامانه کنترل گرمایی TCU و ناحیه سر اکسترودر به وسیله گرم‌کن الکتریکی گرم می‌شد. برای تعیین پارامتر تورم پس از حدیده (%، از قالب مستطیل شکل به ابعاد $11 \times 22 \text{ mm}$ ، استفاده شد و دمای پوسته 85°C ، دمای سر اکسترودر 100°C و سرعت پیچ 83 rpm تنظیم شد.

روش‌ها

برای تهیه نمونه‌ها روی آسیاب دوغلتکی، پس از فروشکنی لاستیک، پودر لاستیک یا لاستیک بازیافتی اضافه و سپس سایر مواد، افزوده شد. در نهایت، پس از گذشت ۲۴ h از تهیه آمیزه خام، گوگرد و شتاب دهنده اضافه شدند. زمان پخت نمونه‌ها بر اساس نتایج آزمون رئومتری و دمای پخت، 155°C بود. فرمول بندی آمیزه‌های مورد مطالعه در جدول ۲ آمده است. آزمون پخت بر اساس استاندارد ASTM D2084، مقاومت پارگی بر اساس استاندارد ASTM D624 و جهندگی بر اساس استاندارد ASTM D2240 انجام شده است.

جدول ۱ - مواد اولیه موجود در آمیزه‌ها.

| نام شرکت و سازنده | مواد اولیه |
|-------------------|-------------------------------|
| Marub مالزی | کائوچوی طبیعی (SMR-20) |
| کومهوی کره | کائوچوی بوتادیان (BR-cis) |
| ایساتیس یزد | پودر لاستیک و لاستیک بازیافتی |
| کربن ایران | دوده N330 |
| نفت بهران | روغن |
| تابان پودر | گوگرد معمولی |
| Neocil هند | OBTS |
| پارس اکسید | روی اکسید |
| ACID CHEM مالزی | استتاریک اسید |
| NANGING چین | مواد افزودنی |

جدول ۲ - فرمول بندی آمیزه ساییدوال.

| اجزا | E0 (phr) | E1(phr) | E2(phr) | E3(phr) | E4(phr) | E5(phr) |
|-------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| لاستیک بازیافتی | ۰ | ۵ | ۰ | ۱۰ | ۱۵ | ۰ |
| پودر لاستیک | ۰ | ۵ | ۱۰ | ۰ | ۰ | ۱۵ |
| NR (SMR-20) | ۴۵ | ۴۰ | ۴۰ | ۴۰ | ۴۰ | ۴۰ |
| BR-Cis | ۵۵ | ۵۰ | ۵۰ | ۵۰ | ۴۵ | ۴۵ |
| N330 | ۵۰/۰۲ | ۵۰/۰۲ | ۵۰/۰۲ | ۵۰/۰۲ | ۵۰/۰۲ | ۵۰/۰۲ |
| روغن آروماتیک | ۷/۰۴ | ۷/۰۴ | ۷/۰۴ | ۷/۰۴ | ۷/۰۴ | ۷/۰۴ |
| استئاریک اسید | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ |
| ZnO | ۴ | ۴ | ۴ | ۴ | ۴ | ۴ |
| سایر مواد شیمیایی | ۸۵۳ | ۸۵۳ | ۸۵۳ | ۸۵۳ | ۸۵۳ | ۸۵۳ |
| گوگرد | ۷۱۸ | ۷۱۸ | ۷۱۸ | ۷۱۸ | ۷۱۸ | ۷۱۸ |
| OBTS | ۰/۸ | ۰/۸ | ۰/۸ | ۰/۸ | ۰/۸ | ۰/۸ |
| مجموع | ۱۷۳/۵۷ | ۱۷۳/۵۷ | ۱۷۳/۵۷ | ۱۷۳/۵۷ | ۱۷۳/۵۷ | ۱۷۳/۵۷ |

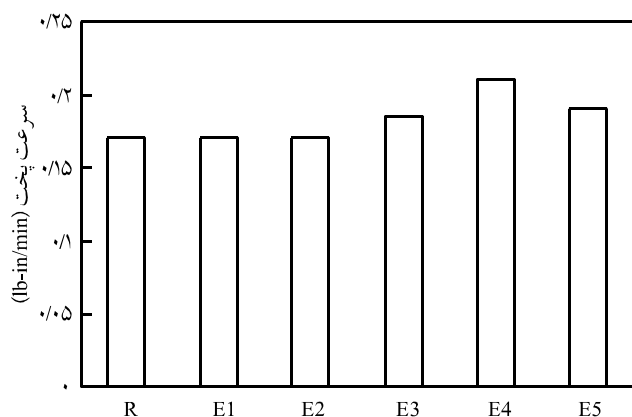
نتایج و بحث

خواص پخت

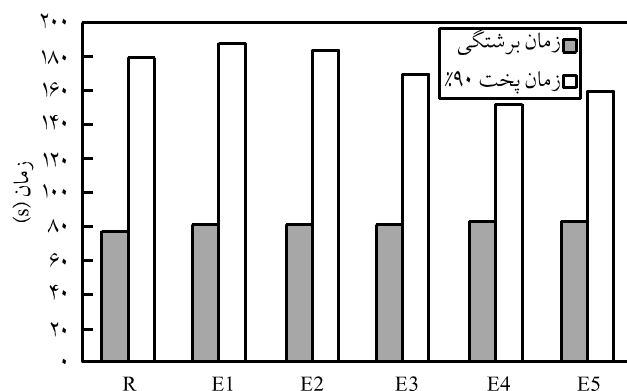
تغییرات زمان برشتگی، زمان پخت ۹۰ درصد (زمان پخت بهینه) و سرعت پخت با توجه به معادله زیر در شکل های ۱ و ۲ نشان داده شده است [۴]:

$$CR = \frac{MH - ML}{t_{90} - t_S} \quad (1)$$

که در این معادله t_{90} زمان پخت ۹۰ درصد و t_S زمان برشتگی پخت است. همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود، زمان برشتگی در حضور لاستیک بازیافتی به مقدار اندک (۴-۵ s) افزایش یافته است و با افزایش مقدار لاستیک بازیافتی از ۱۰ تا ۱۵ phr، تغییر محسوسی در آن دیده نمی شود. سرعت پخت با توجه به افزایش زمان برشتگی در دو نمونه اول تقریباً ثابت مانده و در نمونه های حاوی لاستیک بازیافتی از ۱۰ تا ۱۵ phr، ۹-۲۴ درصد افزایش و در نمونه های حاوی پودر در ۱۵ phr، حدود ۲۴ درصد بهبود یافته است (شکل ۲). از طرفی، اندازه گیری بیشینه



شکل ۲- تغییرات سرعت پخت آمیزه های دارای پودر لاستیک و لاستیک بازیافتی (دمای ۱۸۵°C به مدت ۶ min).



شکل ۱- تغییرات زمان برشتگی آمیزه های دارای پودر لاستیک و لاستیک بازیافتی (دمای ۱۸۵°C به مدت ۶ min).

کاهش یافته است و مقدار آن در دو نمونه دارای ۱۰ phr پودر و ۱۰ phr کاهش لاستیک بازیافتی کمتر است. به نظر می‌رسد، یکی از دلایل کاهش استحکام کششی در جای‌گزینی کائوچو با لاستیک بازیافتی، کاهش درصد کائوچو در کل آمیزه است (لاستیک بازیافتی، شامل شبکه پلیمری و سایر اجزا نظیر روغن و باقی مانده‌های واکنش پخت است). با توجه به این که در کامپوزیت‌ها طی آزمون کشش، ترک‌ها از داخل ذرات پراکنده در ماتریس به وجود می‌آیند و از آن جا که ثابت شده مقدار کرنش در منطقه شروع ترک‌ها حدود ۷۵٪ کرنش شکست نهایی است، بنابراین در کامپوزیت‌های پر شده با پودر یا لاستیک بازیافتی، می‌توان فرض کرد که به دلیل اضافه شدن یک جزء پراکنده در ماتریس، پارگی در اثر کشش از ایجاد ترک در داخل ذرات لاستیک بازیافتی شروع می‌شود و با توجه به تمرکز زیاد کرنش‌های داخلی در اطراف ترک‌ها، مجموع این کرنش‌ها سریع‌تر به کرنش بحرانی اعمال شده به کل ماتریس می‌رسند [۷] (شکل ۴).

شکل خاص نمونه مورد استفاده در آزمون پارگی، باعث ایجاد تمرکز تنش به گونه‌ای متفاوت از نمونه‌های دمبلی شکل در آزمون کشش می‌شود. به همین دلیل با ایجاد ناپیوستگی در کامپوزیت، ممکن است، مقاومت پارگی افزایش یا کاهش یابد، یا این که بدون تغییر بماند. در واقع تغییر مقاومت پارگی وابسته به مقدار کندی ایجاد شده در نوک ترک (انحراف مسیر ترک) است (به عنوان مثال اگر شعاع ذرات بیشتر از شعاع نوک ترک باشد، نیروی بیشتری برای شروع دوباره ترک مورد نیاز است) [۷]. در واقع فاز ناپیوسته در کامپوزیت با توجه به شکل و اندازه آن نسبت به ترک ایجاد شده، می‌تواند روی مقدار تمرکز و تغییرات نیروهای داخلی اثر بگذارد که درباره لاستیک بازیافتی و به ویژه پودر لاستیک، این اثر، تا حدودی مثبت بوده است. به طوری که مقاومت پارگی در نمونه دارای ۱۰ phr پودر لاستیک تا حدود ۱۰/۵ درصد افزایش یافته

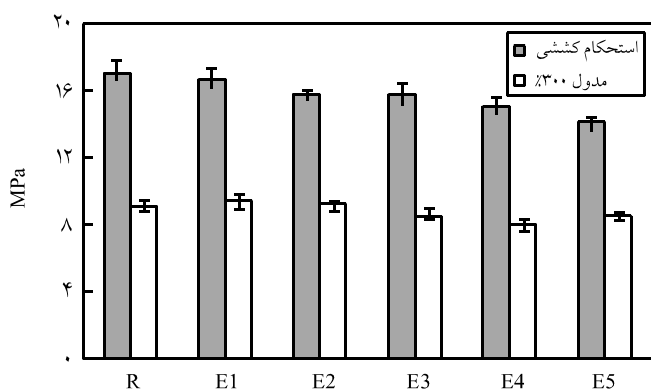
گشتاور و اختلاف گشتاور (MH-ML)، تفاضل گشتاور بیشینه و کمینه) به وسیله رئومتر در دو نمونه اول تقریباً تغییری نشان نمی‌دهد و در نمونه‌های دارای ۱۰ phr لاستیک بازیافتی تا ۷/۵ درصد و در نمونه‌های حاوی ۱۵ phr پودر و لاستیک بازیافتی، تا حدود ۱۴ درصد کاهش دیده می‌شود (شکل ۳). نتایج اختلاف گشتاور، کاهش اندک اتصالات عرضی آمیزه پخت شده را در حضور لاستیک بازیافتی به ویژه در مقادیر بیشتر از ۱۰ phr نشان می‌دهد.

با توجه به کاهش اندک اختلاف گشتاور در رئومتر هنگام استفاده از پودر و لاستیک بازیافتی در مقادیر بیشتر از ۱۰ phr، به نظر می‌رسد که مهاجرت گوگرد از ماتریس به داخل لاستیک بازیافتی، باعث کاهش بیشینه گشتاور شده و از طرفی مهاجرت شتاب‌دهنده از لاستیک بازیافتی به ماتریس باعث افزایش سرعت پخت شده است [۵، ۶].

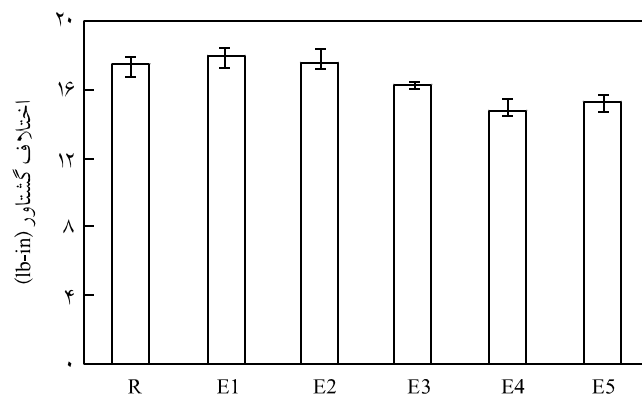
خواص مکانیکی

روند تغییرات مدول ۳۰۰٪ آمیزه‌های پخت شده مشابه تغییرات اختلاف گشتاور (MH-ML) در رئومتر است. در مقدار ۱۰ phr در نمونه‌های حاوی پودر، مدول ثابت و در نمونه حاوی لاستیک بازیافتی، مدول به مقدار اندکی کاهش یافته است. با افزایش مقدار لاستیک بازیافتی (پودر یا لاستیک بازیافتی)، باز هم کمی کاهش دیده می‌شود (شکل ۴). کاهش بیشتر مدول در آمیزه‌های دارای لاستیک بازیافتی به دلیل فرایند تولید آن است. در فرایند تولید لاستیک بازیافتی با انجام عملیات شیمیایی و گرمایی، عملاً مقداری از پیوندهای دوگانه پلیمر از بین رفته و با تشکیل رادیکال و واکنش‌های غیر مفید مصرف می‌شوند. اما، در فرایند تولید پودر لاستیک تنها عملیات مکانیکی وجود دارد [۱].

استحکام کششی با وجود پودر و لاستیک بازیافتی بین ۲/۵ تا ۷ درصد



شکل ۴- تغییرات مدول و استحکام کششی آمیزه‌های دارای پودر لاستیک و لاستیک بازیافتی.



شکل ۳- تغییرات اختلاف گشتاور آمیزه‌های دارای پودر لاستیک و لاستیک بازیافتی (دمای ۱۸۵°C به مدت ۶ min).

پارگی بیشینه و از معادله زیر محاسبه شود [۹]:

$$\frac{dc}{dn} = f(T) \quad (3)$$

c طول ترک، n تعداد چرخه ها و T شدت بیشینه انرژی رها شده است. تعداد چرخه هایی که ترک از c_1 تا c_2 رشد می کند، از معادله زیر محاسبه می شود [۹]:

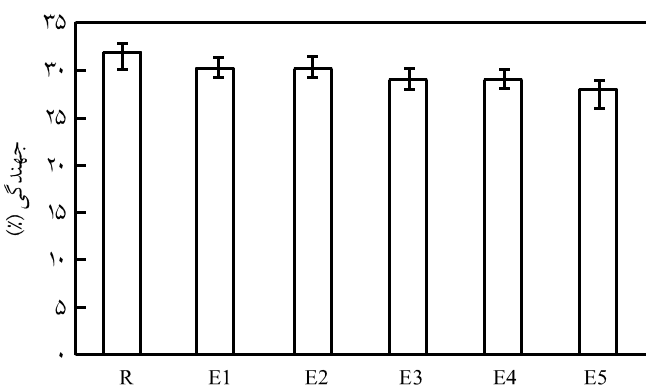
$$N = \int_{c_1}^{c_2} \frac{dc}{[f(T)]} \quad (4)$$

وجود لاستیک بازیافتی موجب افزایش انرژی لازم برای رشد ترک در آمیزه شده است، که نتیجه آن افزایش مقاومت در برابر رشد ترک و افزایش تعداد چرخه های لازم (N) برای پارگی کامل (در این آزمایش $c = 24 \text{ mm}$) است.

با توجه به نتایج جهندگی، ماهیت کشسانی آمیزه کاهش یافته است. بنابراین، انتظار می رود که بخش بیشتری از انرژی پارگی زیر تنش های متناوب، به جای شکستن پیوندهای شیمیایی در سراسر سطح شکست، از راه اتلاف پس ماند گرمایی فرایندهای برگشت ناپذیر، مصرف شود. در واقع با کاهش کشسانی آمیزه، مقدار رشد ترک کاهش یافته است (شکل ۷). از طرفی در نمونه دارای لاستیک بازیافتی این بهبود احتمالاً به سطح سیرنشده کمتر زنجیرها در ساختار لاستیک احیا شده مربوط می شود [۳].

خواص فرایندی

در این پژوهش، برای بررسی خواص فرایندی آمیزه، دو پارامتر تورم پس از حدیده و شیب منحنی آسایش محاسبه شده است. پارامتر تورم پس از حدیده به کمک معادله (۵) محاسبه شده است:



شکل ۶ - تغییرات درصد جهندگی آمیزه های دارای پودر لاستیک و لاستیک بازیافتی.

است و در سایر نمونه ها مقدار افزایش بسیار اندک است (شکل ۵).

خواص دینامیکی

جهندگی

در این پژوهش، مقدار جهندگی آمیزه پخت شده به شکل درصد جهندگی (R) از معادله (۲) محاسبه شده است [۸]:

$$R(\%) = \frac{1 - \cos \theta_2}{1 - \cos \theta_1} \times 100 \quad (2)$$

که در این معادله، θ_1 زاویه تغییر مکان پاندول دستگاه Tripsometer (۴۵ درجه) و θ_2 زاویه برگشت است.

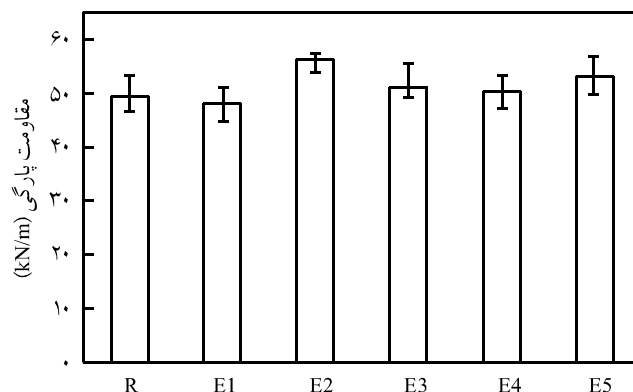
از آنجا که کشسانی الاستومر به کمک رابطه زیر به اتصالات عرضی وابسته است [۹]:

(جگالی اتصالات عرضی) $f =$ کشسانی

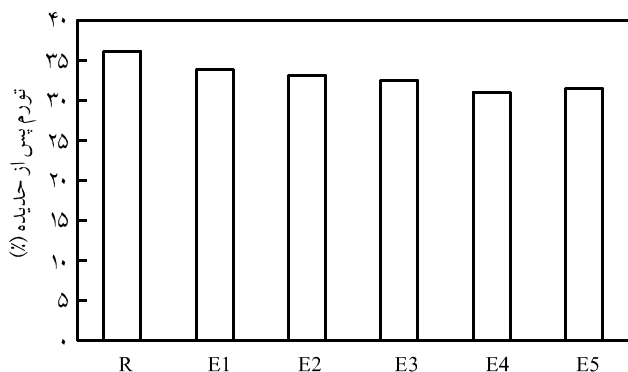
بنابراین، کشسانی یک آمیزه تحت تأثیر بخش لاستیکی پخت شده است. وجود پودر لاستیک و لاستیک بازیافتی تا ۱۵ phr، مقدار جهندگی را کمی کاهش داده و بیشترین کاهش آن در نمونه های دارای ۱۵ phr پودر و لاستیک بازیافتی دیده شده است (از ۳۲٪ در نمونه شاهد به ۲۸٪ در نمونه دارای ۱۵ phr لاستیک بازیافتی) (شکل ۶). کاهش اندک اتصالات عرضی و کاهش درصد کائوچو در آمیزه می تواند مهم ترین عوامل کاهش مقدار جهندگی در آمیزه های آزمایشی باشند.

مقاومت در برابر رشد ترک

مقدار رشد ترک به وسیله دستگاه Demattia معین شد که می تواند از



شکل ۵ - تغییرات مقاومت پارگی آمیزه های دارای پودر لاستیک و لاستیک بازیافتی.



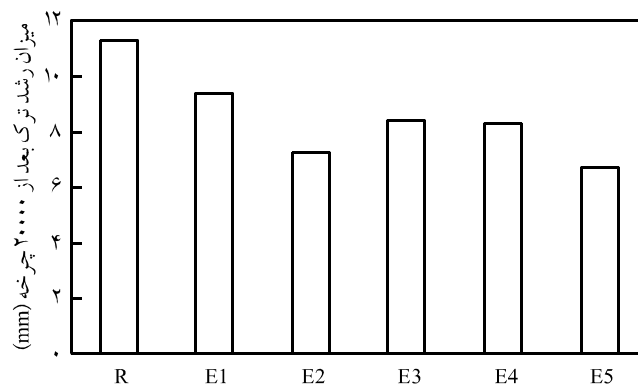
شکل ۸ - تغییرات مقدار تورم پس از حدیده آمیزه‌های دارای پودر لاستیک و لاستیک بازیافتی (در اکسترودر آزمایشگاهی با حدیده مستطیل شکل).

درصد کاهش یافته است. مقدار این کاهش برای نمونه دارای لاستیک بازیافتی نسبت به پودر، کمی بیشتر است (شکل ۸).

نتیجه گیری

با جای‌گزینی مقدار مناسبی از آمیزه NR/BR با لاستیک بازیافتی (تا حداکثر ۱۰ phr پودر یا لاستیک بازیافتی)، می‌توان با حفظ خواص فیزیکی، سایر خواص از جمله سرعت پخت، مقاومت در برابر رشد ترک، مقاومت پارگی و فرایندپذیری را بهبود بخشید. با توجه به نتایج حاصل، استفاده از لاستیک بازیافتی، باعث بهبود قابل توجه در سرعت پخت می‌شود که انتظار می‌رود، با استفاده از این ویژگی، بتوان با تغییر سامانه پخت (به عنوان مثال کم کردن شتاب‌دهنده یا روی اکسید)، قیمت آمیزه را باز هم کاهش داد.

از طرفی با وجود لاستیک بازیافتی، مقاومت پارگی اندکی افزایش یافته و مقاومت در برابر رشد ترک نیز بهبود قابل توجهی می‌یابد. در نمونه دارای ۵ phr پودر لاستیک و ۵ phr لاستیک بازیافتی، استحکام کششی تقریباً ثابت مانده و در سایر نمونه‌ها روند کاهشی داشته است. وجود لاستیک بازیافتی باعث کاهش تورم پس از حدیده در اکسترودر آزمایشگاهی شده است. نکته قابل توجه این است که وجود لاستیک بازیافتی (پودر لاستیک یا لاستیک بازیافتی) تا ۱۰ phr، اثر قابل توجهی بر مقدار اتصالات عرضی و مدول آمیزه بر پایه NR/BR نگذاشته است.



شکل ۷ - تغییرات مقدار رشد ترک در آمیزه‌های دارای پودر لاستیک و لاستیک بازیافتی.

$$\% B = [(W / LpS_0)^{1/2} - 1] \times 100 \quad (5)$$

که در این معادله B تورم پس از حدیده، P چگالی آمیزه، S_0 سطح مقطع قالب اکسترودر ($2/42 \text{ cm}^2$) و W/L وزن یک متر آمیزه است.

نتایج تورم پس از حدیده در شکل ۸، کاهش آن را در اثر افزایش لاستیک بازیافتی نشان می‌دهد.

پایداری ابعادی محصولات اکسترودر به پدیده تورم پس از حدیده وابسته است و در بین مواد مختلف موجود در فرمول‌بندی آمیزه الاستومری، خواص پلیمر و پرکننده، بیشترین اثر را بر فرایند اکستروژن و خواص نهایی محصول اکستروود شده دارد. بدیهی است، پلیمر نقشی کلیدی در تعیین خواص کشسانی آمیزه الاستومری دارد. تورم پس از حدیده تابع پیچیده‌ای از وزن مولکولی و توزیع آن است. از طرفی، پرکننده‌های تقویت‌کننده و به ویژه دوده، تورم پس از حدیده را کاهش می‌دهند. برای دوده با ساختار ساده، تورم پس از حدیده به دلیل کاهش کسر حجمی پلیمر، کاهش می‌یابد (ساز و کار رقت). اما برای دوده‌ای با مساحت سطح زیاد، علاوه بر ساز و کار رقت، ساز و کار لاستیک محبوس (occluded rubber) نیز مطابق مدل مدالیا به دلیل برهم‌کنش پرکننده با لاستیک و هم‌چنین حبس زنجیرهای لاستیکی در بین انبوه‌های پرکننده، حاکم است [۸].

درباره نمونه‌های پر شده با پودر و لاستیک بازیافتی، می‌توان گفت که به دلیل کاهش سهم کائوچو و هم‌چنین افزایش سهم دوده (به دلیل وجود دوده در پودر و لاستیک بازیافتی)، تورم پس از حدیده تا حدود ۱۴

مراجع

1. Nikzad Farokhi M., Tread Compound Design with Waste Rubber Powder for Truck and Agricultural Tyres, *Iran. Rubber Magazine*, **11**, 146-149, 2006.
2. Dick J.S., *Basic Rubber Testing: Selecting for a Rubber Test Program*, ASTM International, USA, Chap. 9, 169-177, 2003.
3. Eugenia M. and Antonio M., The Use of Reclaimed Rubber and Fine Powder in Several Tire Compounds, *Tire Technol. Int.*, 142-144, 2005.
4. Menon A.R.R, Pillai C.K.S., and Nando G.B., Effect of Grafted Carbon Black on Properties of Vulcanized Natural Rubber, *Polymer*, **39**, 4033-4037, 1998.
5. Bilgili E., Dybek A., Arastpour H., Bernstein B., A New Recycling Technology: Compression Molding of Pulverized Rubber Waste in the Absence of Virgin Rubber, *J. Elast. Plast.*, **35**, 235-256, 2003.
6. Weber T., Zanchet A., Brandalise R.N., Crespo J.S., and Nunes R.C.R., Grinding and Characterization of Scrap Rubbers Powders, *J. Elast. Plast.*, **40**, 147-156, 2008.
7. Gibala D., Thomas D., and Hamed G.R., Cure and Mechanical Behavior of Rubber Compounds Containing Ground Vulcanizates: Part III. Tensile and Tear Strength, *Rubber Chem. Technol.*, **72**, 357-360, 1998.
8. Gerard Kraus, *Reinforcement of Elastomers*, John Wiley and Sons, New York, 70-123, 1965.
9. Cho K., Jang W.J., Lee D., Chun H., and Chang Y.-W., Fatigue Crack Growth of Elastomers in the Swollen State, *Polymer*, **41**, 179-183, 2000.