

# مطالعه ساز و کارهای بهبود دهنده مقاومت در برابر پارگی در سامانه های تقویت کننده دوده/سیلیکا/سیلان

## Assessments on the Tear Resistance Improvement Mechanisms in the Carbon Black/Silica/Silane Reinforcement Systems

حسین آتشی<sup>۱</sup>، کاظم سبحان منش<sup>۲</sup>، مهدی شیوا<sup>۳\*</sup>

۱- زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده مهندسی شیمی، صندوق پستی ۹۸۱۶۴۱۶۱

۲- بیرجند، دانشگاه بیرجند، دانشکده علوم، صندوق پستی ۱۳۱

۳- بیرجند، واحد تحقیقات کارخانه کویر تایر، صندوق پستی ۵۱۸

دریافت: ۸۳/۳/۹، پذیرش: ۸۳/۱۲/۴

### چکیده

مقاومت پارگی لاستیک بوتادی ان(۴و۱ سیس) در دو سامانه تقویت کننده دوده / سیلیکا و دوده / سیلیکا / سیلان با ساز و کارهای متفاوتی بهبود می یابد. در این پژوهش، این ساز و کارها با مطالعه فرایندهای اتلافی و برهمکنشهای پرکننده - پلیمر و به کمک آزمونهای جهندگی، مدول و لاستیک پیوندی بررسی شده است. هر چند برهمکنش پلیمر - پرکننده بر پدیده القای تبلور در اثر تنش مؤثر است و می تواند اثر زیادی روی مقاومت این نوع لاستیک با مقدار درصد سیس زیاد در سامانه های دوده/سیلیکا/سیلان داشته باشد ولی نتایج نشان می دهد در مجاورت سیلیکا و در غیاب عامل پیوند سیلانی به دلیل کاهش جهندگی لاستیک بوتادی ان، ساز و کار مصرف انرژی پارگی از راه اتلاف انرژی به شکل گرما در فرایند های بازگشت ناپذیر ساز و کاری غالب در بهبود مقاومت در برابر پارگی است. همچنین، در مجاورت عامل پیوند سیلانی که با ورود پیوندهای شیمیایی سیلیکا/سیلان/لاستیک همراه است، ساز و کار اتلاف انرژی به روش شکستن پیوندهای شیمیایی در سراسر سطح شکست ساز و کاری غالب خواهد بود.

### واژه های کلیدی

مقاومت در برابر پارگی، جهندگی، برهمکنش پلیمر- پرکننده، لاستیک بوتادی ان، سیلیکای رسوبی

### مقدمه

بحرانی برسند، قادرند پیوندهای بین مولکولی را سست کرده، با گسستن آنها سطحی جدید به وجود آورند که اصطلاحاً به آن پدیده شکست اطلاق می شود [۱،۲]. اگر پدیده شکست در لاستیک بوتادی ان (BR) با دیگر لاستیکها مانند لاستیک استیرن بوتادی ان (SBR) و لاستیک

شکست مواد الاستومری معمولاً به روش آغاز و رشد ترک اتفاق می افتد، هنگامی که الاستومری در معرض تنش قرار می گیرد، تنش موضعی در اطراف محل پارگی زیادتر و در اغلب اوقات بیشتر از متوسط تنش اعمال شده است. هنگامی که تنشهای موضعی به حدی

### Key Words

tear resistance, resilience, polymer -filler interaction , butadiene rubber, precipitated silica

\* مسئول مکاتبات، پیام نگار : mshiva1358@yahoo.com

می توانند بهینه شوند تا لاستیکی با استحکام پارگی بهتر بدست آید [۷]. گرچه دوده تاکنون مهمترین و پرمصرفترین عامل تقویت کننده در اکثر آمیزه های پلی بوتادی ان است. به نظر می رسد چنانچه بخشی از این پرکننده با سیلیکای رسوبی جایگزین شود امکان دستیابی به مقاومت پارگی مطلوب فراهم آید [۸]. اینکه سیلیکاها با چه ساز و کاری باعث بهبود مقاومت پارگی می شوند موضوعی است که کمتر به آن توجه شده است. مسلماً برهمکنش پلیمر - پرکننده یکی از عوامل مهم به شمار می رود [۹]. همان طور که وانگ و همکارانش [۱۰] اظهار داشته اند در پلیمرهایی که قادر به تبلور در اثر تنش هستند برهمکنش ضعیفتر بین پلیمر و پرکننده برای مقاومت پارگی مناسبتر است، زیرا در این حالت با اعمال تنش، لغزش و جدایی سطح بین مولکولهای پلیمر و پرکننده به راحتی انجام می گیرد. این لغزش ضمن آنکه باعث اتلاف انرژی داخلی می شود تمرکز تنش در شبکه پلیمر را آزاد و آرایش (و یا بلورینگی) نزدیک ناحیه پارگی را آسان می کند. هرچه ساختار بلوری افزایش یابد انرژی پارگی بیشتری لازم است. همچنین، در کنار ساز و کار یاد شده، ساز و کارهای اتلافی نیز می توانند مطرح شوند زیرا ماهیت کشسانی لاستیک بوتادی ان با ورود سیلیکا دستخوش تغییراتی می شود.

در این پژوهش، در فرمولبندی مشابه با آمیزه های آج تایرهای سواری، ساز و کارهای بهبود دهنده مقاومت پارگی لاستیک بوتادی ان در سامانه تقویت کننده دوده / سیلیکا (در غیاب سیلان و در مجاورت آن) مطالعه شده است.

## تجربی

### مواد

در این پژوهش، از لاستیک بوتادی ان محصول مجتمع پتروشیمی اراک (با گراندروی مونی ۳۸/۹) باریز ساختار سیس ۴۰ (۹۶ درصد)، ترانس ۴۰ (۵/۷ درصد) و وینیل (۲ درصد)، دوده N۳۳۰ شرکت کربن اهواز (عدد جذب سطحی یدى ۱۱/۵ و جذب دی بوتیل ترفتالات ۱۱۶/۳)، سیلیکای Ultrasil VN۳ (مساحت سطح  $BET = 175 m^2/g$ ) و عامل جفت کننده سیلانی Si۶۹ بیس (۳ - تری اتوکسی سیلیس پروپیل از محصولات شرکت Degussa ساخت آلمان، روغن آروماتیک شرکت نفت بهران (نقطه آنیلین  $28^\circ C$ )، روی اکسید شرکت پارس اکسید، استتاریک اسید Minco ساخت مالزی، گوگرد معمولی شرکت تابان پودر اصفهان (Ground Sulphure با حلالیت کامل در تولوئن)، شتاب دهنده سولفونامیدی و با فرمول شیمیایی N - سیکلوهاگزیل ۲ - بنزو تیا زول بنزامید (CBS) ساخت شرکت Bayer، مواد محافظت کننده بطور عمده

طبیعی (NR) مقایسه شود، ملاحظه می شود که اگر این لاستیک در معرض تنش قرار گیرد، هر چند مقاومت خوبی در برابر پیدایش ترک دارد، ولی به محض پیدایش ترک، مقاومت ضعیفی در برابر پیشرفت آن دارد. جنت وهیندی [۳] نشان دادند لگاریتم سرعت رشد ترک در هوا برای ولکانیده های گوگردی مثل NR، SBR و BR ارتباطی خطی با انرژی پارگی آنها دارد، اما شیب خطوط برای این سه ولکانیده متفاوت بوده، برای لاستیک BR بیشترین است.

دلایل ضعف مقاومت پارگی لاستیک بوتادی ان را می توان از دو دیدگاه مورد مطالعه قرار داد:

- لاستیک بوتادی ان در مقایسه با لاستیکهای رایج (مانند SBR)، ماهیت به شدت کشسانی و غیر اتلافی دارد، زیرا در ساختار مولکولی آن هیچ گروه آویزانی برای ممانعت از چرخش آزاد قطعه ای وجود ندارد [۴،۵].

- لاستیک بوتادی ان برخلاف لاستیک طبیعی، توانایی القای تبلور در اثر تنش را ندارد، به استثنای لاستیک بوتادی ان با ریز ساختار دارای درصد سیس زیاد که قادر است به هنگام قرار گرفتن در معرض تنش ساختاری بلوری تشکیل دهد.

اگر الاستومر توانایی القای تبلور در اثر تنش را داشته باشد به دلیل آنکه تنشهای زیادی در اطراف محل پارگی ایجاد می شود، بلورها، ابتدا در این ناحیه شکل می گیرند و قادرند سرعت رشد پارگی را متوقف و یا کند کنند. همچنین، در این نوع لاستیکها، وقتی برش ابتدایی نمونه کوچک باشد، ناحیه بلوری این فرصت را دارد که در سراسر نمونه گسترش پیدا کند. بنابراین، مقاومت نسبتاً خوب در برابر رشد ترک در سراسر محور صف آراییی زنجیرها و مقاومت رشد ترک کمتر در بین زنجیرهای صف آراییی شده یعنی در جهت اعمال بار ایجاد می شود که باعث ترکزایی بعدی و پارگی غیر یکنواخت یا گره ای می شود [۶]. ترکهای بعدی انرژیهای پارگی را افزایش می دهند زیرا رشد ترک نیازمند به ترک سو می است که باید از سطح صاف ایجاد شده از ترک بعدی آغاز شود.

توانایی تبلور در اثر تنش و ترکزایی بعدی در اغلب الاستومرهای مصنوعی مثل BR و SBR کم است، اما از آنجا که این امکان در مورد لاستیک بوتادی ان با ریز ساختار دارای درصد سیس زیاد وجود دارد، انتظار می رود ماهیت به شدت کشسانی و غیر اتلافی این لاستیک دلیل عمده ضعف مقاومت پارگی آن باشد.

در عمل بهینه سازی مقاومت پارگی دشوار است، زیرا فرایند پارگی در لاستیک پدیده ای پیچیده است که نمی تواند به راحتی به روابط پایه ای تقسیم شود. در واقع ساختار مولکولی و متغیرهای فرمولبندی مثل نوع و مقدار پرکننده، مقدار نرم کننده و نوع چگالی پیوندها، همگی

است. قبل از انجام کار ضخامت نمونه در سه نقطه و در وسط آن نزدیک به مرکز با کولیس اندازه گیری و متوسط اندازه گیریها در محاسبات منظور شده است. نمونه مورد آزمایش در فکهای دستگاه آزمایش (کشش) قرار گرفته، و ردیف بودن آن با جهت حرکت فک متحرک کنترل شده، سپس، فکها با سرعت از هم جدا می شوند.

به منظور انجام آزمون جهندگی نمونه سوراخ شده در محل نگهدارنده قرار داده شد. پس از تنظیم دستگاه و انجام آزمون بدون اصطکاک، قطعه را در محل نگهدارنده قرار داده، با ضربه زدن پاندول به قطعه از زاویه  $45^\circ$  و اندازه گیری زاویه بازگشت درصد جهندگی به کمک معادله (۱) محاسبه شده است. این عمل ۶ مرتبه برای هر دو نمونه انجام شده و میانگین آن گزارش شده است.

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

در این معادله  $\theta_1$  برابر زاویه اولیه تغییر مکان ( $45^\circ$ ) و  $\theta_2$  برابر زاویه بازگشت است.

آزمون مدول ۳۰۰ درصد به وسیله دستگاه دینامومتر و مشابه آزمون پارگی انجام گرفته است، با این تفاوت که نمونه ها به شکل دمبلی برش خورده اند و در نهایت به منظور انجام آزمون لاستیک پیوندی، سه آمیزه با فرمولبندی جدول ۲ روی آسیاب تهیه شده، پس از دو هفته ۲۰g از هر آمیزه را در  $60^\circ\text{C}$  به مدت ۳۵-۴۵ min خشک کرده، سپس از هر نمونه در سه بشر جداگانه، دقیقاً مقدار ۲g را وزن کرده، ۱۵ cc بنزن به هر کدام اضافه شده است. پس از ۲۴h محتوی بشر به کمک قیف بوخنر صاف و ژل بدست آمده دردمای  $65^\circ\text{C}$  به مدت ۱h خشک و سپس به دقت توزین شده و محتوی لاستیک پیوندی از معادله (۲) محاسبه شده است.

$$R_B = \frac{W_{fg} - W[m_f / (m_f + m_p)]}{W[m_p / (m_f + m_p)]} \times 100 \quad (2)$$

جدول ۲ فرمولبندی مورد استفاده به منظور آزمون لاستیک پیوندی.

اجزا	S۲۰C۴۰	S۲۰C۴۰T۳
پلی بوتادی ان (Phr)	۱۰۰	۱۰۰
دوده	۴۰	۴۰
سیلیکا	۰	۲۰
سیلان	۰	۳
روغن آروماتیک	۸۹	۸۹
مواد شیمیایی*	۵/۵	۵/۵

\* شامل: روی اکسید، استئاریک اسید و مواد حفاظت کننده.

محصول شرکت Bayer و همچنین، از بنزن مرک برای آزمون لاستیک پیوندی استفاده شده است.

## دستگاهها

در این پژوهش، از آسیاب دو غلتکی مدل R-E ۱۵۲x۳۰۵ Mccin ساخت Bergamo ایتالیا برای اختلاط مواد و تهیه آمیزه ها، پرس پخت آزمایشگاهی ۱۰۰ ton ساخت ژاپن برای پخت آمیزه ها و رثومتر ساخت شرکت Alpha انگلیس برای تعیین زمان پخت آمیزه ها، دینامومتر ساخت شرکت Hounsfield در کنار ماشین برش نوع Sdap-۱۲۰۰ F Bat و تریسومتر دانلوپ ساخت شرکت Wallace استفاده شده است.

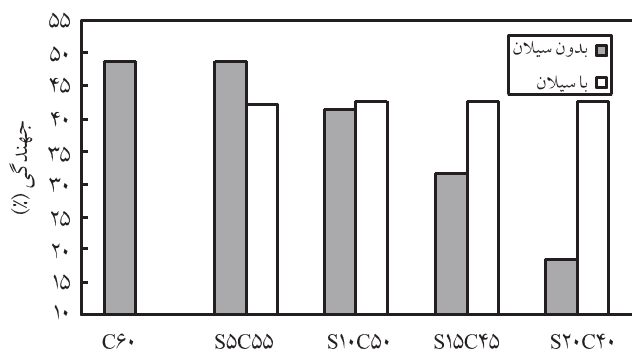
## روشها

فرمولبندی مورد استفاده برای مطالعه مقاومت پارگی، جهندگی و مدول در جدول ۱ و آزمون لاستیک پیوندی در جدول ۲ ارائه شده است. ابتدا سیلیکا مرحله به مرحله تا ۲۰ قسمت وزنی جایگزین دوده شده است و سپس همین جایگزینی در مجاورت عامل پیوند سیلانی به مقدار ۱۵ درصد وزنی سیلیکای مورد استفاده در فرمولبندی انجام گرفته است. آمیزه های اصلی روی آسیاب دو غلتکی با شرایط کاملاً یکسان تهیه شدند و پس از ۸h روی همان آسیاب با اضافه کردن عوامل پخت کامل شده، زمان پخت نمونه های حاصل پس از ۲۴h به کمک رثومتر معین و در همان روز به وسیله قالب مخصوص هر آزمایش در پرس پخت ۱۰۰ تتی پخت شدند. برای انجام آزمون مقاومت در برابر پارگی ابتدا به کمک دستگاه برش، نمونه هایی با زاویه  $90^\circ$  و گوشه خمیده (Die-C) تهیه شده و مقدار گزارش شده میانگین مقادیر بدست آمده برای ۳ مورد آزمایش

جدول ۱ فرمولبندی مورد استفاده به منظور آزمونهای پارگی، رشد ترک، جهندگی و مدول.

اجزا	C۶۰	S۵C۵۵	S۱۰C۵۰	S۱۵C۴۵	S۲۰C۴۰
پلی بوتادی ان (Phr)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
دوده	۶۰	۵۵	۵۰	۴۵	۴۰
سیلیکا	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰
سیلان	۰	۰/۷۵ یا ۰/۷۵	۱/۵ یا ۱/۵	۲/۲۵ یا ۲/۲۵	۳ یا ۳
روغن آروماتیک	۸۹	۸۹	۸۹	۸۹	۸۹
مواد شیمیایی*	۵/۵	۵/۵	۵/۵	۵/۵	۵/۵
شتاب دهنده	۷/۴	۷/۴	۷/۴	۷/۴	۷/۴
گوگرد معمولی	۷/۸	۷/۸	۷/۸	۷/۸	۷/۸

\* شامل: روی اکسید، استئاریک اسید و مواد حفاظت کننده.



شکل ۲ جهندگی لاستیک بوتادی ان در آلیاژهای دوده/سیلیکا در غیاب سیلان و در مجاورت آن.

- تمایل زیاد انبوهه های سیلیکایی به کلوخه شدن باعث حبس زنجیرهای پلیمری شده، از تحرک آنها به شدت می کاهد [۱۱].

کاهش تحرک و بازگشت ناپذیری زنجیرهای پلیمری به هنگام اعمال تنش در محل ترک باعث می شود بخش عمده ای از انرژی پارگی از راه فرایندهای اتلافی اصطکاکی مصرف شود. بنابراین، انرژی پارگی افزایش و مقاومت در برابر پارگی بهبود می یابد.

با توجه به شکل ۲ جایگزینی دوده با سیلیکا در مجاورت عامل پیوند سیلانی باعث کاهش جهندگی لاستیک بوتادی ان نمی شود، بنابراین، در مجاورت سیلان ساز و کار یاد شده (اتلاف انرژی به شکل گرما در فرایندهای بازگشت ناپذیر) نمی تواند عهده دار بهبود مقاومت در برابر پارگی باشد.

با آگاهی کافی در زمینه ماهیت برهمکنشهای فیزیکی و شیمیایی لاستیک - سیلیکا (در مجاورت سیلان و در غیاب آن) و لاستیک - دوده می توان اطلاعات مفیدی درباره ساز و کارهای حاکم بر مقاومت در برابر پارگی لاستیک بوتادی ان در مجاورت این سامانه های تقویت کننده بدست آورد. در این راستا و به منظور درک بهتر توان تقویت کنندگی از آزمونهای لاستیک پیوندی و مدول ۳۰۰ درصد استفاده شده است.

همان طور که در جدول ۳ مشاهده می شود، مقدار لاستیک پیوندی برای لاستیک بوتادی ان با جایگزینی ۲۰ قسمت وزنی دوده با سیلیکا کاهش می یابد که نشان دهنده توان ضعیف تقویت کنندگی سیلیکا در مقایسه با دوده است. ناسازگاری سیلیکا (که دارای سطحی به شدت

جدول ۳ نتایج آزمون لاستیک پیوندی.

آمیزه	C60	S20C40	S20C40T3
مقدار لاستیک پیوندی (%)	۵۱/۵	۴۳/۴۵	۵۵/۱۴

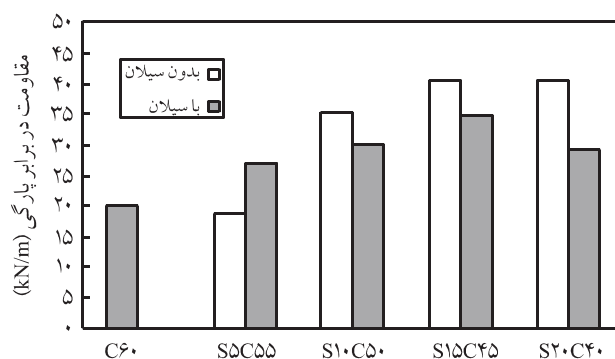
در این معادله  $W_{fg}$  وزن دوده و ژل،  $m_f$  وزن پرکننده در نمونه،  $m_p$  وزن پلیمر در نمونه و  $W$  وزن نمونه است.

## نتایج و بحث

نتایج مربوط به اثر جایگزینی مرحله به مرحله دوده با سیلیکا بر مقاومت در برابر پارگی لاستیک بوتادی ان در شکل ۱ ارائه شده است. همان طور که در شکل مشاهده می شود مقاومت در برابر پارگی با جایگزینی مرحله به مرحله دوده با سیلیکا در مجاورت سیلان و در غیاب آن بسیار بهبود می یابد. بنابراین، انرژی پارگی در آلیاژ سیلیکا/دوده در مقایسه با دوده افزایش یافته است. همان طور که در مقدمه به آن اشاره شد در خصوص لاستیک بوتادی ان که درصد سیس زیادی دارد اثرات برهمکنش سیلیکا - لاستیک (در مقایسه با دوده - لاستیک) بر پدیده القای تبلور در اثر تنش در محل پارگی نقش بسزایی در تغییرات انرژی پارگی و مقاومت در برابر پارگی دارد. اما، در راستای بهبود مقاومت در برابر پارگی این لاستیک در سامانه های یاد شده ساز و کارهای دیگری نیز مطرح می شوند که ممکن است در مجاورت سیلان و در غیاب آن متفاوت باشند.

همان طور که در شکل ۲ مشاهده می شود با افزایش مقدار سیلیکا و در غیاب سیلان، جهندگی لاستیک بوتادی ان کاهش چشمگیری یافته است، یعنی این جایگزینی باعث کاهش شدید خاصیت کشسانی لاستیک شده است که می توان لافل دو دلیل برای آن بیان کرد:

- سیلیکا با دخالت در ساز و کار پخت گوگردی، چگالی پیوندهای عرضی را کاهش می دهد، از آنجا که چگالی پیوندهای عرضی و کشسانی رابطه ای مستقیم با هم دارند، کاهش اولی باعث کاهش دومی می شود [۸].



شکل ۱ مقاومت در برابر پارگی لاستیک بوتادی ان در آلیاژهای دوده/سیلیکا در مجاورت سیلان و در غیاب آن.

دوده با سیلیکا تا ۲۰ قسمت وزنی، مدول لاستیک بوتادی ان به دلیل فقدان برهمکنشهای قوی شیمیایی سیلیکا - لاستیک کم شود. نتایج شکل ۳ این نظریه را تأیید می کند. اما، همان طور که در این شکل مشاهده می شود مقدار مدول ۳۰ درصد با ورود سیلان به فرمولبندی جایگزینی، افزایش چشمگیری می یابد. در کنار دلایلی که در بحث لاستیک پیوندی بیان شد موارد زیر قابل توجهند:

- بهبود چگالی پیوندهای عرضی لاستیک - لاستیک به دلیل کاهش غلظت گروههای سیلانول سطح سیلیکا به دلیل اصلاح سطح سیلیکا به کمک سیلان،

- ورود پیوندهای شیمیایی از نوع کووالانسی از روش پل سیلانی و یا پیوند سطحی لاستیک - سیلان - سیلیکا [۸].

با توجه به مباحث لاستیک پیوندی و مدول می توان نتیجه گرفت که با ورود سیلان به فرمولبندی جایگزینی دوده با سیلیکا، برهمکنش قوی سیلیکا - لاستیک از اهمیت ویژه ای برخوردار است و مهمترین عامل بهبود مقاومت در برابر پارگی لاستیک بوتادی ان در آلیاژ دوده/سیلیکا/سیلان به شمار می رود.

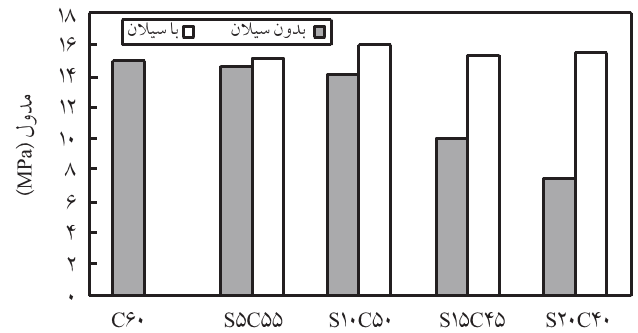
### نتیجه گیری

در سامانه های تقویت کننده دوده/سیلیکا، سازوکارهای زیر در مصرف انرژی پارگی در بهبود مقاومت در برابر پارگی لاستیک بوتادی ان اثر زیادی دارند:

- مصرف انرژی پارگی به دلیل ایجاد ساختار بلوری در محل ترک،  
- مصرف انرژی پارگی در شکستن پیوندهای شیمیایی سراسر سطح شکست.

در غیاب عامل پیوند سیلانی برهمکنش سیلیکا - لاستیک در مقایسه با دوده - لاستیک ضعیف است. بنابراین، به هنگام اعمال تنش در محل پارگی پیوند پلیمر - پرکننده شکسته شده، با آزاد سازی تنش متمرکز شده در شبکه پلیمر، آرایش و بلورینگی زنجیرها در جهت اعمال بار به راحتی انجام می گیرد و با توسعه شبکه بلوری مقاومت در برابر پارگی بهبود می یابد.

از طرف دیگر با ورود سیلیکا و در غیاب سیلان، جهندگی لاستیک بوتادی ان کاهش چشمگیری می یابد. با کاهش خاصیت کشسانی این لاستیک، بخش عمده ای از انرژی پارگی از راه فرایندهای اتلافی و اصطکاکی مصرف می شود. دو سازو کار یاد شده به طور موازی باعث بهبود چشمگیر مقاومت در برابر پارگی در سامانه دوده/سیلیکا می شوند.



شکل ۳ مدول ۳۰ درصد لاستیک بوتادی ان در غیاب سیلان و در مجاورت آن.

قطبی است) با شبکه غیر قطبی لاستیک و تمایل شدید انبوهه های سیلیکایی به کلوخه شدن از راه پیوندهای هیدروژنی گروههای سیلانولی سطح سیلیکا و پخش نامناسب این انبوهه ها در شبکه لاستیکی مهمترین دلایل ناتوانی سیلیکا در افزایش مقدار لاستیک پیوندی است. با این حال با ورود عامل پیوند سیلانی و اصلاح سطح سیلیکا از روش واکنش سیلان دار شدن و کاهش انرژیهای سطح سیلیکا، از یک طرف سازگاری و برهمکنش فیزیکی لاستیک - پرکننده بیشتر شده، از طرف دیگر تمایل انبوهه های سیلیکایی به کلوخه شدن به شدت کاهش می یابد. در این حالت وجود انبوهه های سیلیکا با ذرات ریزتر از دوده و برهمکنش مناسبتر آنها باعث افزایش چشمگیر مقدار لاستیک پیوندی شده است. همان طور که در جدول ۳ مشاهده می شود امکان دستیابی به مقدار ۵۵/۱۴ درصد وزنی لاستیک پیوندی در آلیاژ ۴۰ قسمت وزنی دوده و ۲۰ قسمت سیلیکا در مجاورت ۳ قسمت وزنی سیلان وجود دارد.

به علاوه بررسی تقویت کنندگی با تعیین اندازه مدول در ازدیاد طول زیاد وولکانیده های پر شده دوده ای و سیلیکایی می تواند دیدگاه مناسبی درباره برهمکنشهای شیمیایی لاستیک - پرکننده ارائه دهد. طی پخت گوگردی لاستیکهای پر شده دوده ای، در کنار پیوندهای عرضی گوگردی لاستیک - لاستیک، پیوندهای سطحی گوگردی دوده - لاستیک ایجاد می شود که این پیوندهای کووالانسی نقش مهمی در تقویت کنندگی شیمیایی بازی می کنند. در مقابل اگر سیلیکا به تنهایی مورد استفاده قرار گیرد به نظر نمی رسد چنین پیوندهای سطحی ایجاد شود و تنها برهمکنش قابل درک نیروهای فیزیکی نسبتاً ضعیف دوقطبی - دوقطبی القایی بین سیلیکا و لاستیک است زیرا، گروههای سیلانول سطح سیلیکا قادرند پیوندهای دوگانه در ساختار لاستیک بوتادی ان را قطبی کنند. همچنین، چگالی پیوندهای عرضی در مجاورت سیلیکا کاهش می یابد. بنابراین، انتظار می رود با جایگزینی

سوم (اتلاف انرژی از راه شکستن پیوندهای شیمیایی) سازو کاری غالب خواهد بود.

### قدر دانی

بدین وسیله از مسئولین محترم کارخانه کویرتایر بیرجند به دلیل فراهم آوردن شرایط استفاده از امکانات آزمایشگاهی تشکر و قدردانی می شود.

اما در مجاورت عامل پیوند سیلانی که انتظار می رود برهمکنش قوی سیلیکا - لاستیک بر سازو کار اول (ایجاد شبکه بلوری) اثر منفی بگذارد باز هم مقاومت در برابر پارگی (در مقایسه با دوده) بهبود می یابد. این بار به دلیل ورود پیوندهای کووالانسی سیلیکا - سیلان - لاستیک بخش عمده ای از انرژی پارگی صرف شکستن این پیوندهای قوی می شود. بنابراین، در سامانه تقویت کننده دوده/سیلیکا/سیلان سازوکار

### مراجع

1. Eirich F. R., *Science and Technology of Rubber*, Academic, London, . 10, 1978.
2. Hamed G. R. and Lee W. B., *Fracture and Failure of Elastomeric Materials*, Akron University, USA, Chap. 1 and 2, 1984.
3. Gent A. N. and Hindi M., Effect of Oxygen on the Tear Strength of Elastomers, *Rubber Chem. Technol.*, **63**, 123-134, 1990.
4. Hamed G.R., Kim H.J. and Gent A.N., Cut Growth in Vulcanizates of Natural Rubber, Cis- Polybutadiene and a 50/50 Blend during Single and Repeated Extension, *Rubber Chem. Technol.*, **69**, 807-818, 1996.
5. Cowei J.M.G., *Polymers: Chemistry and Physics of Modern Materials*, 1st ed., International Textbook Company, 1973, (Translated by Bakhshandeh G.R. and Sobhan Manesh K., Persian, 327-329, University Press Center, 1987).
6. Stacer R. G., Yanoyo L. G. and Kelley F. N., Observation on the Tearing of Elastomers, *Rubber Chem. Technol.*, **58**, 421-435, 1985.
7. Kraus G., *Reinforcement of Elastomers*, John Wiley, New York , Chap. 12, 1965.
8. Atashi H., Sobhanmanesh K. and Shiva M., Improvement of Physical and Mechanical Properties of Butadiene Rubber with Silica/Silane Reinforcement System, *Iran. J. Polym. Sci. Technol.* (in Persian), **17**, 281-290, 2004.
9. Wolf S., Chemical Aspects of Rubber Reinforcement by Fillers, *Rubber Chem. Technol.*, **69**, 325-346, 1996.
10. Wang M.J., Zhang P. and Mahmud K., Carbon-Silica Dual Phase Filler, a New Generation Reinforcing Agent for Rubber: Part 9, Application to Truck Tire Tread Compound, Presented at a Meeting of Rubber Division, *Am. Chem. Soc.*, Dallas, Texas, April 4-6, 2000.
11. Wang M. J., Effect of Polymer - Filler and Filler-Filler Interactions on Dynamic Properties of Filled Vulcanizates, *Rubber Chem. Technol.*, **71**, 520-589, 1998.