Available in: http://jips.ippi.ac.ir

Iranian Journal of Polymer Science and Technology
Vol. 24, No. 4, 329-337
October-November 2011
ISSN: 1016-3255

The Effect of Silica/Carbon Black Filler Systems on the Fatigue Properties of the Tread Compound in Passenger Tires

Mir Hamid Reza Ghoreishy[1*], Saeed Taghvaei[2], and Ramin Zafar Mehrabian[3]

1. Iran Polymer and Petrochemical Institute, P.O. Box: 14965-115, Tehran, Iran
2. Department of Chemistry, Tehran North Branch, Islamic Azad University, P.O. Box: 15875-5981, Tehran, Iran
3. Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Gorgan Branch, Islamic Azad University, P.O. Box: 717,Gorgan, Iran

Received 22 June 2011, accepted 5 October 2011

ABSTRACT

This research work is devoted to the investigation on the use of silica on the fatigue-to-failure property of a tire tread compound. A reference compound was first designed in which 60 phr carbon black was used as the reinforcing filler. While keeping the total of filler content to be constant as 60 phr, three additional compounds with 5, 10 and 20 phr silica were then manufactured. The classical static and dynamic tests were carried out on appropriate samples made from these compounds to determine tensile strength, hardness, abrasion resistance, fatigue-to-failure, dynamical-mechanical properties and temperature rise due to heat build-up. The results showed that by replacing part of carbon black with equivalent amount of silica, a major increase in fatigue resistance is obtained to the point that 20 phr silica has the most significant effect when subsituting 5 and 10 phr silica. The DMTA analyses revealed that the best compromise between fatigue properties, rolling resistance and wet/ice traction can be achieved at 5 to 10 phr silica substitution.

Key Words:
tire tread,
fatigue resistance,
silica,
carbon black,
SBR

(*)To whom correspondence should be addressed.
E-mail: m.h.r.ghoreishy@ippi.ac.ir

قابل دسترس در نشانی: http://jips.ippi.ac.ir

بررسی اثر استفاده از پرکننده سیلیکا همراه با دوده بر مقاومت در برابر خستگی آمیزه رویه تایرهای سواری

مجله علوم و تکنولوژی پلیمر،
سال بیست و چهارم، شماره ۴،
صفحه ۳۳۷-۳۲۹، ۱۳۹۰
ISSN: 1016-3255

میرحمیدرضا قریشی*[۱]، سعید تقوایی[۲]، رامین ظفر مهرابیان[۳]

۱ـ تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، صندوق پستی ۱۱۵-۱۴۹۶۵
۲ـ تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، گروه شیمی، صندوق پستی ۵۹۸۱-۱۵۸۷۵
۳ـ گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان، دانشکده علوم پایه، گروه شیمی، صندوق پستی ۷۱۷

دریافت: ۹۰/۴/۱، پذیرش: ۹۰/۷/۱۳

چکیده

در این پژوهش، اثر استفاده از پرکننده سیلیکا به همراه دوده بر مقاومت در برابر خستگی آمیزه لاستیکی رویه تایر سواری رادیال بررسی شد. بدین منظور، ابتدا یک آمیزه شاهد بر مبنای آمیخته دو کائوچوی SBR و BR و ۶۰ قسمت دوده به همراه سایر اجزای آمیزه‌کاری در نظر گرفته شد. سپس، با توجه به نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده در زمینه استفاده از سیلیکا سه آمیزه جدید طراحی شد که در آنها به ترتیب از ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد پرکننده سیلیکا به عنوان جای‌گزین دوده استفاده شد. آمیزه‌های مزبور تهیه و آزمون‌های لازم پس از پخت روی آنها انجام شد. این آزمون‌ها شامل آزمون‌های کلاسیک فناوری لاستیک (استحکام کششی، درصد ازدیاد طول، سایش و سختی) و هم‌چنین آزمون‌های پویا شامل DMTA و مقاومت در برابر خستگی بودند. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که بیشترین مقاومت در برابر خستگی با ۲۰ قسمت سیلیکا به دست می‌آید. از سوی دیگر، بهترین نتیجه با در نظر گرفتن نتایج آزمون DMTA در حالت استفاده از ۵ تا ۱۰ قسمت سیلیکا حاصل می‌شود که در آن علاوه بر افزایش مقاومت در برابر خستگی عملکرد تایر نیز با کاهش مقاومت غلتشی و افزایش چنگ‌زنی بهبود می‌یابد.

واژه‌های کلیدی

رویه تایر،
مقاومت خستگی،
دوده، سیلیکا،
کائوچوی استیرن ـ بوتادی‌ان

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:
m.h.r.ghoreishy@ippi.ac.ir

مقدمه

تایر یکی از مهم‌ترین سازه‌های لاستیکی است که فناوری طراحی و ساخت آن به لحاظ خواص مختلف و در عین حال متناقضی که از آن انتظار می‌رود، همواره در حال تحول است. تایر با قرار گرفتن بین خودرو و جاده از کلیدی‌ترین عوامل اثرگذار روی فرمان‌گیری، ایمنی، راحتی سرنشین و پایداری حرکتی آن به شمار می‌آید. در این میان رویه تایر، به عنوان عامل واسط بین تایر و جاده، نقش بسیار مهمی در چگونگی عملکرد تایر ایفا می‌کند. طراحی آمیزه و هم‌چنین انتخاب نقش رویه در این بخش از تایر بر مبنای سه ویژگی عمده انجام می‌شود که عبارتند از:

۱- به حداقل رساندن مقاومت غلتشی و اتلاف انرژی که موجب کاهش مصرف سوخت در خودروهای با سوخت فسیلی یا افزایش زمان کارکرد در خودروهای برقی می‌شود.

۲- افزایش قدرت چنگ‌زنی یا کشش به ویژه در جاده‌های خیس و یخ‌زده (برفی) که باعث افزایش ایمنی می‌شود.

۳- سایش‌پذیری کم که موجب افزایش دوام و طول عمر تایر می‌شود و هزینه‌های نگه‌داری خودرو را کاهش می‌دهد.

طراحی آمیزه که شامل انتخاب کائوچوهای مناسب به همراه سایر اجزای آمیزه‌کاری است، نقش بسیار اساسی در دست‌یابی به این اهداف دارد. البته در این میان باید به نقش رویه تایر (tread pattern) و نیز طراحی سایر اجزا به ویژه از لحاظ ساختاری نیز اشاره داشت.

در پژوهش حاضر، اثر پرکننده سیلیکایی بر مقاومت در برابر خستگی رویه تایرهای سواری به طور خاص بررسی می‌شود. استفاده از این نوع پرکننده به همراه دوده به عنوان پرکننده‌ای سنتی و تقریباً غیرقابل جای‌گزین بسیار مورد توجه قرار گرفته و پژوهش‌های بسیار فراوانی به آن اختصاص داده شده است.

در سال‌های اخیر، استفاده از سیلیکای رسوبی نیز به عنوان عامل کاهنده اصطکاک و پدیده گرمازایی در آمیزه‌های لاستیکی به ویژه در کائوچوی SBR مسیر رو به رشدی را داشته است [۳-۱].

Wang و همکاران نشان دادند، وجود گروه‌های قطبی و فعالیت ویژه سطحی سیلیکا اثر متفاوتی روی لاستیک‌های قطبی و غیرقطبی دارد [٤]. بر اساس پژوهش‌های Brinke [٥] سیلیکا به عنوان پرکننده تقویتی در رویه تایر، با حفظ مقاومت فرسایشی و لغزشی یکسان موجب کاهش مقاومت غلتشی می‌شود، نسبت به هنگامی که تنها از دوده به عنوان تقویت‌کننده استفاده شود.

در کار دیگری Wang [٦] نشان داد، استفاده از ترکیب دوده و سیلیکا موجب بهبود در مقاومت پارگی و مقاومت سایشی شده است. Rattanasom و همکاران [۷] با استفاده از ترکیب دوتایی دوده ـ سیلیکا در کائوچوی طبیعی مشاهده کردند، خواص مکانیکی و دینامیکی لاستیک نظیر مقاومت سایشی، استحکام کششی و مقاومت در برابر رشد ترک، افزایش قابل قبولی داشته است. در زمینه استفاده از سیلیکا به عنوان پرکننده در کائوچو، آتشی و همکاران تغییرات خواص استحکام کششی و مقاومت پارگی لاستیک بوتادی‌ان را با وجود ترکیب دوتایی دوده و سیلیکا بررسی کرده‌اند [۸،۹]. ابطحی و بخشنده نیز اثر برخی عوامل بهبوددهنده خواص سطحی سیلیکا را در کائوچوی EPDM مطالعه کرده‌اند [۱۰].

در این پژوهش، اثر استفاده از سیلیکا به شکل جای‌گزین حجمی از دوده بر خواص ایستا و پویای آمیزه رویه تایر سواری که بر پایه آمیخته دو کائوچوی BR و SBR قرار دارد، ارزیابی شده است.

تجربی

مواد

فهرست مواد اولیه آمیزه‌کاری مورد استفاده در این پژوهش به همراه نام تجاری و شرکت سازنده هریک به طور جداگانه در جدول ۱ آورده شده است.

دستگاه‌ها و روش‌ها

چهار آمیزه لاستیکی با استفاده از مواد اولیه اشاره شده در جدول ۱ طراحی و به شکل معمول شامل اختلاط اولیه در بنبوری و تکمیل آن روی غلتک، تهیه شدند. فرمول‌بندی هریک از این آمیزه‌ها به همراه کد مربوط در جدول ۲ آمده است. همان طور که مشخص است، در آمیزه SB60 به عنوان آمیزه شاهد تنها پرکننده دوده به عنوان تقویت‌کننده به کار گرفته شده و در سه آمیزه دیگر (یعنی SB605، SB61 و SB62) به ترتیب از ۵ ، ۱۰ و ۲۰ قسمت سیلیکا به عنوان جای‌گزین دوده استفاده شد به نحوی که مجموع کل پرکننده تقویتی در همه آمیزه‌ها برابر ٦۰ قسمت بود. شایان ذکر است، این آمیزه‌ها بر مبنای تجربیات قبلی نویسندگان و نیز داده‌های ارایه شده در مقالات طراحی شدند. خواص ریومتری نمونه‌ها با استفاده از ریومتر مدل MDR 900 ساخت شرکت Hiwa مطابق با استاندارد ASTM D5289 در دمای ۱٦۰°C اندازه‌گیری شد.

آزمون اندازه‌گیری گرانروی مونی نیز به کمک گرانروی‌سنج مونی Hiwa 400 مطابق استاندارد ISO5289 انجام شد. برای آزمون‌های کششی صفحات لاستیکی با ضخامت ۲ mm به وسیله پرس پخت تهیه شد و از آن نمونه‌های دمبلی شکل تهیه شدند.

جدول ۱- مشخصات مواد اولیه مورد استفاده در ساخت آمیزه‌ها.

مواد	نوع افزودنی	نام تجاری	شرکت سازنده
SBR	کائوچو	SBR-1500	مجتمع پتروشیمی بندر امام
BR	کائوچو	1210S	مجتمع پتروشیمی اراک
دوده N375 [1]	پرکننده و تقویت‌کننده	N375	شرکت کربن ایران
سیلیکا [2]	پرکننده و تقویت‌کننده	CS180	Anhui Huishang
سیلان	عامل جفت‌کننده	Si69	Degussa (آلمان)
گوگرد	عامل اتصال عرضی	-	تسداک ایران
روغن آروماتیک	نرم کننده و روان‌کننده	290	نفت بهران
CBS	شتاب‌دهنده	CZ/EG-C	Lanxess
6PPD	ضداکسنده و ضد اوزون	Dusantox	Duslo (اسلوواکی)
TMQ	ضداکسنده	Flectol	Flexys
موم	روان کننده و محافظت‌کننده	Antilux 654	Rheinchemie
استئاریک اسید	فعال‌کننده	RGA	G&N SDN. BHD.
روی اکسید (ZnO)	فعال‌کننده	-	پارس اکسید

۱- مساحت سطح ویژه g/m^2 ۱۰۵ – ۹۵ و ۲- با مساحت سطح ویژه g/m^2 ۱۳٤/۲٦۳ و متوسط اندازه ذرات nm ٤٤۰.

آزمون کشش مطابق با استاندارد ASTM D 412 با استفاده از دستگاه آزمون مکانیکی Hiwa انجام شد و مقادیر تنش، کرنش، مدول و استحکام کششی نمونه‌ها به دست آمد. از نمونه‌های دمبلی شکل برای آزمون خستگی استفاده شد. برای انجام آزمون خستگی، دستگاه مدل HIWA 600 ساخت شرکت ایرانی هیوا و تا حداکثر ۳۵۰۰۰۰ چرخه طبق استاندارد ISO 6943 به کار گرفته شد. سختی نمونه‌ها با دستگاه سختی‌سنج مدل Shore A 49038 ساخت شرکت Bareiss روی نمونه‌هایی به شکل قرص و مطابق با استاندارد ASTM D2240 معین شد. مقاومت سایشی نمونه‌ها نیز طبق استاندارد ASTM D5963 روی نمونه‌های قرصی شکل با استفاده از دستگاه Abrasion Meter ساخت شرکت Bareiss اندازه‌گیری شده است.

آزمون DMTA به وسیله دستگاه Tritec 2000 ساخت کشور انگلستان و اندازه‌گیری خواص پویایی نمونه‌ها با آزمون گرمازایی به وسیله دستگاه انعطاف‌سنج گودریچ مطابق استاندارد ISO 4666 انجام شد. تمام آزمون‌ها با رعایت حداقل سه نمونه انجام و محاسبات آماری نیز نشان‌دهنده دقت بیش از ۹۵ درصد بودند.

نتایج و بحث

آزمون ریومتری

نتایج آزمون‌های اندازه‌گیری گرانروی مونی و ریومتری پخت در جدول ۳ آمده است. نتایج آزمون گرانروی مونی نشان‌دهنده افزایش گرانروی آمیزه با افزایش مقدار استفاده از سیلیکا به عنوان جای‌گزین دوده است. این افزایش گرانروی با افزایش درصد سیلیکای جای‌گزین شده افزایش می‌یابد. علت اصلی این افزایش نیز در اثر پراکنش‌پذیری ضعیف سیلیکا نسبت به دوده در آمیزه کائوچویی به

جدول ۲- فرمول‌بندی آمیزه‌های ساخته شده به همراه سامانه کدگذاری (قسمت به ازای صد قسمت کائوچو).

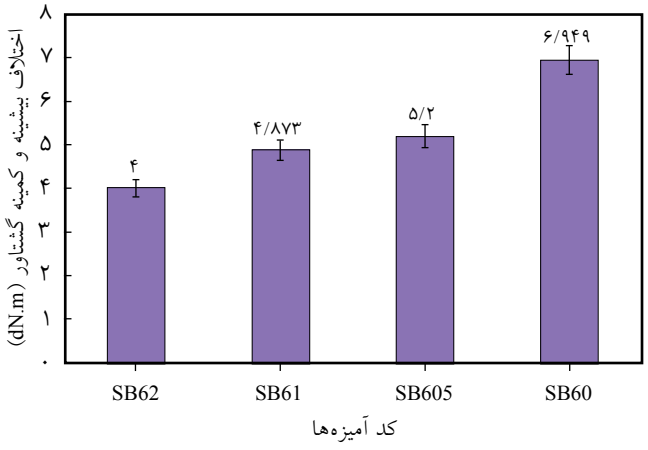
اجزای آمیزه‌کاری	نام آمیزه			
	SB60	SB605	SB61	SB62
SBR	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵
BR	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵
دوده (N375)	٦۰	۵۵	۵۰	٤۰
سیلیکا	۰	۵	۱۰	۲۰
سیلان	۰	۰/٤	۰/۸	۱/٦
گوگرد	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵
روغن آروماتیک	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
CBS	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵
6PPD	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵
TMQ	۱	۱	۱	۱
موم	۲	۲	۲	۲
استئاریک اسید	۲	۲	۲	۲
روی اکسید	٤	٤	٤	٤

جدول ۳- داده‌های آزمون ریومتری نمونه‌ها.

کد آمیزه	گرانروی مونی	زمان برشتگی (min)	زمان پخت (min)	گشتاور کمینه (dN.m)	گشتاور بیشینه (dN.m)
SB60	۷۵/۱۲	۳/۵	۱٤/۷۵	۳/۳۱	۱۰/۲٦
SB605	۷٦/۱	۳/۹	۱۳/۵	۲/۸	۸
SB61	۷٦/٦۰۹	٤/۱٦	۱۲/٦۱	۲/٤٤	۷/۳۱
SB62	۷۷/۸۲۵	۵/۰٤	۱۳/۱۸	۲/۷٦	٦/۷٦

دلیل وجود جاذبه‌های قوی ذرات سیلیکا با یک‌دیگر است. به عبارت بهتر، پراکنش دوده در آمیزه به مراتب ساده‌تر از پراکنش سیلیکا در آمیزه است. هم‌چنین، درباره نتایج مربوط به گشتاور کمینه و بیشینه دیده می‌شود که افزایش گشتاور کمینه در اثر افزایش گرانروی آمیزه به وجود می‌آید.

اختلاف بین گشتاور بیشینه و کمینه به عنوان معیاری برای چگالی اتصالات عرضی قابل بررسی است [۱۱،۱۲] که در شکل ۱ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، کاهش این پارامتر نشان‌دهنده کاهش چگالی اتصالات عرضی با افزایش جای‌گزینی سیلیکا با دوده است که می‌تواند در خواص استحکامی نهایی نمونه‌ها بسیار اثرگذار باشد. زمان برشتگی (زمان افزایش گشتاور به اندازه ۲ واحد) و زمان پخت (زمان رسیدن به ۹۰ درصد گشتاور نهایی) که با استفاده از داده‌های ریومتری به دست می‌آیند، به ترتیب نشان‌دهنده زمان آغاز واکنش‌های منجر به ایجاد اتصالات عرضی و رسیدن به مراحل تکمیل واکنش اتصالات عرضی است که در جدول ۳ آمده است. این نتایج نشان‌دهنده افزایش زمان برشتگی و افزایش نسبی زمان پخت با افزایش سیلیکای جای‌گزین شده است. چگالی



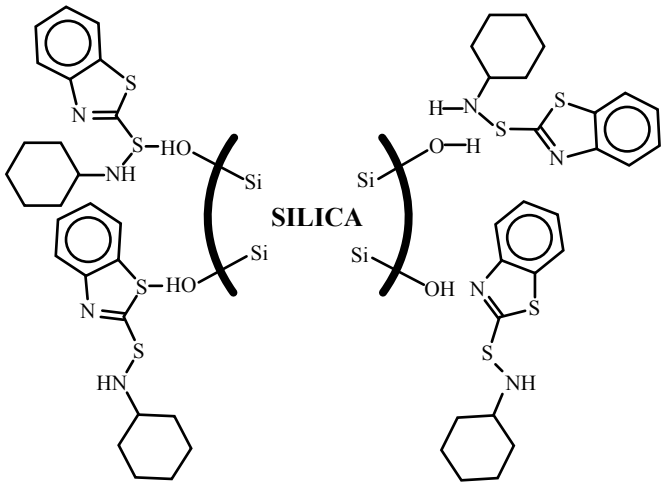
شکل ۱ - اختلاف گشتاور بیشینه و کمینه به عنوان معیار چگالی اتصالات عرضی.

اتصالات عرضی کمتر و سرعت پخت آرام‌تر می‌تواند به دلیل افزایش سطح فعال سیلیکا که به عنوان جاذب شتاب‌دهنده (CBS) عمل می‌کند، با افزایش مقدار سیلیکا در آمیزه باشد. از آن جا که سطح سیلیکا دارای گروه‌های هیدروکسی مستعد ایجاد پیوند هیدروژنی با مواد قطبی است، جذب CBS که دارای گروه‌های آمینی و گوگرد است، مطابق با شکل ۲ به راحتی اتفاق افتاده و در نتیجه این مواد به جای شرکت در واکنش ایجاد اتصالات عرضی جذب سطح فعال سیلیکا می‌شوند [۱۳].

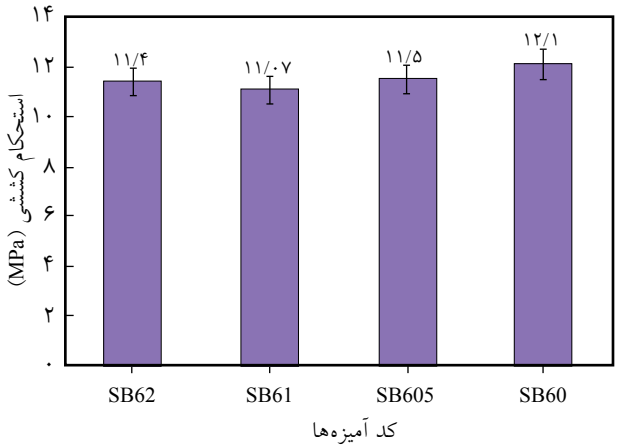
Rattanasom و همکاران نیز با بررسی تقویت‌کنندگی کائوچوی طبیعی با مخلوط دوتایی دوده و سیلیکا دریافتند، برای کاهش اثر جذب شتاب‌دهنده به وسیله سطح فعال سیلیکا می‌توان از مقادیر بیشتری از عامل جفت‌کننده استفاده کرد تا با وجود عامل شتاب‌دهنده در محیط واکنش ایجاد اتصالات عرضی، کاهش در چگالی این اتصالات و نیز افزایش زمان برشتگی بهبود یابند [۷].

استحکام کششی

نتایج استحکام کششی و ازدیاد طول تا پارگی در شکل‌های ۳ و ٤



شکل ۲ - پیوندهای هیدروژنی محتمل بین سیلیکا و شتاب‌دهنده [۱۳].



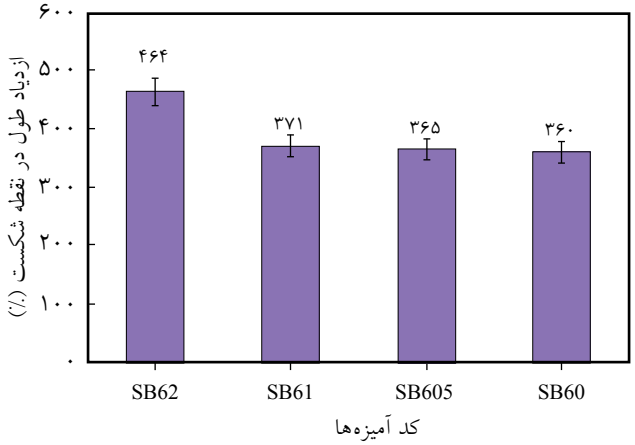
شکل ۳- استحکام کششی نمونه‌ها.

نشان داده شده‌اند. با توجه به ثابت بودن مقدار کلی پرکننده انتظار می‌رود، تغییر محسوسی در خواص کششی نمونه‌ها به وجود نیاید. این امر با نوسان کم استحکام کششی در حدود ۰/٦ MPa همراه است. اما همان‌طور که در شکل ٤ مشاهده می‌شود، افزایش درصد سیلیکای جای‌گزین دوده باعث افزایش ازدیاد طول در نمونه‌ها شده است. این رفتار ناشی از دو دلیل است:

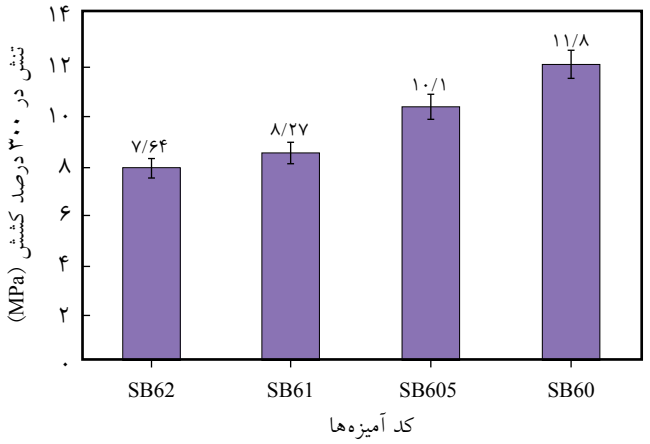
۱- کاهش چگالی اتصالات عرضی در اثر افزایش سطح فعال سیلیکا با افزایش مقدار سیلیکای جای‌گزین در آمیزه و

۲- عدم پراکنش یکنواخت سیلیکا به دلیل ایجاد پیوندهای هیدروژنی قوی بین ذرات سیلیکا که منجر به کاهش تقویت‌کنندگی پرکننده می‌شود [۱٤،۱۵].

با افزایش سطح فعال، گروه‌های ممانعت‌کننده از ایجاد اتصالات عرضی زیاد شده و در نتیجه کاهش استحکام و افزایش ازدیاد طول را به وجود می‌آورد. نوسان اولیه در استحکام کششی با توجه به ثابت بودن مقدار پرکننده به دلیل تغییرات جزیی در چگالی اتصالات



شکل ٤ – درصد ازدیاد طول در نقطه شکست نمونه‌ها.

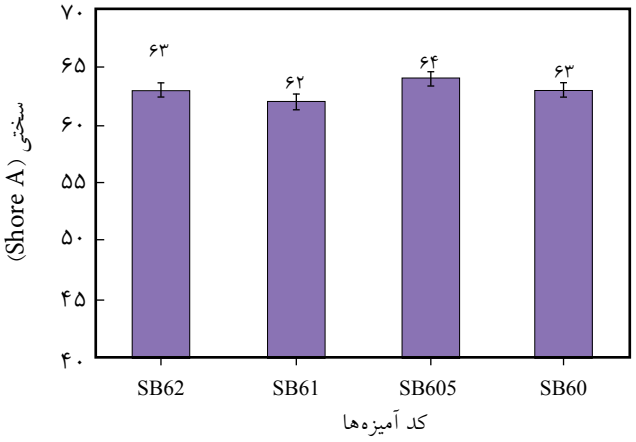


شکل ۵- تنش در ۳۰۰ درصد کشش (مدول ۳۰۰ درصد).

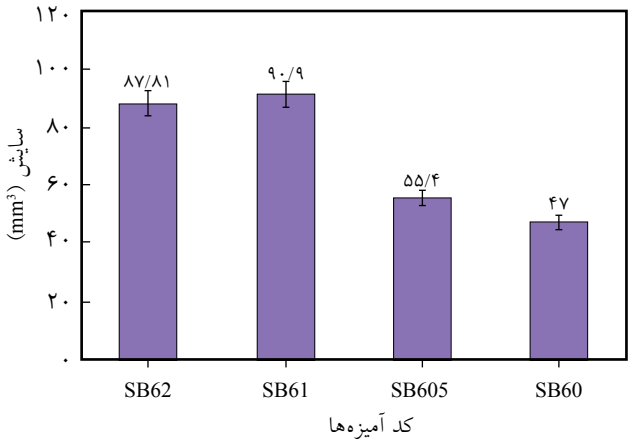
عرضی است که با افزایش مقدار سیلیکای جای‌گزین، تغییرات کاهشی آن به دلیل افزایش سطح فعال سیلیکا نمایان‌تر می‌شود. از سوی دیگر، تغییرات رو به کاهش در مقدار اتصالات عرضی و نیز پراکنش یکنواخت ضعیف‌تر در درصدهای بیشتر سیلیکا باعث افت خواص استحکامی و هم‌چنین مدول لاستیک شده که این امر در شکل ۵ نشان داده شده است.

سختی

با توجه به عدم تغییر در مجموع مقدار پرکننده‌ها در آمیزه انتظار می‌رود، سختی نمونه‌ها پس از پخت تغییر چندانی نداشته باشد. نتایج آزمون سختی، که در شکل ٦ مشاهده می‌شود، بیانگر همین انتظار اولیه است و با افزایش درصد سیلیکا در نمونه‌ها تغییرات اندکی در سختی نمونه‌ها مشاهده می‌شود. مهم‌ترین عامل این نوسانات تغییر در چگالی اتصالات عرضی نمونه‌ها (افزایش سطح فعال جذب‌کننده عوامل ایجاد اتصالات عرضی) و تفاوت در مقدار پراکنش سیلیکا با دوده در آمیزه است.



شکل ٦- سختی نمونه‌ها.

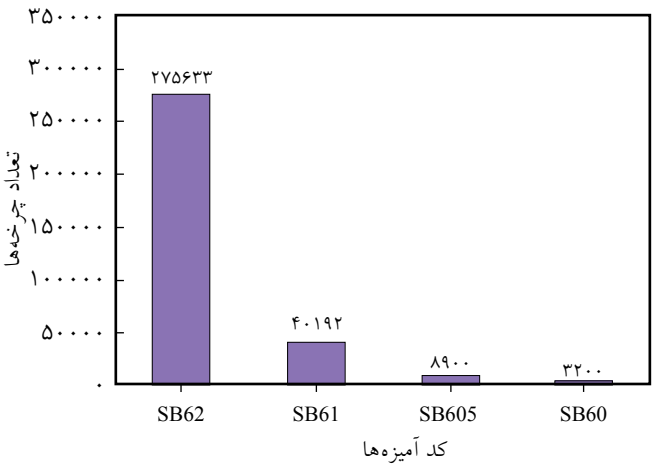


شکل ۷- سایش نمونه‌ها.

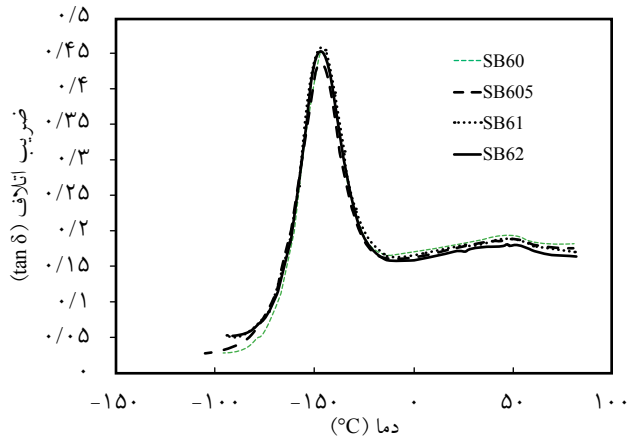
مقاومت سایشی

آمیزه‌های تهیه شده با مخلوط دوفازی دوده و سیلیکا در مجموع دارای ٦٠ قسمت پرکننده است که در آن درصدی از سیلیکا جای‌گزین دوده می‌شود.

شکل ۷ نشان‌دهنده تغییرات خواص سایشی نمونه‌ها با افزایش درصد سیلیکاست. بر اساس پژوهش‌های انجام شده [7] چگالی اتصالات عرضی، مدول و ضریب اصطکاک از جمله عوامل مهم در بررسی رفتار سایشی قطعات لاستیکی است. مدول و چگالی اتصالات عرضی زیاد و ضریب اصطکاک کم باعث بهبود خواص مقاومت سایشی قطعات لاستیکی می‌شوند. در این پژوهش، ضریب اصطکاک بررسی نشده است، اما کاهش چگالی اتصالات عرضی و مدول نمونه‌ها با افزایش سیلیکای جای‌گزین شده با دوده، نشان از تأیید نتایج حاصل از آزمون مقاومت سایشی دارد.



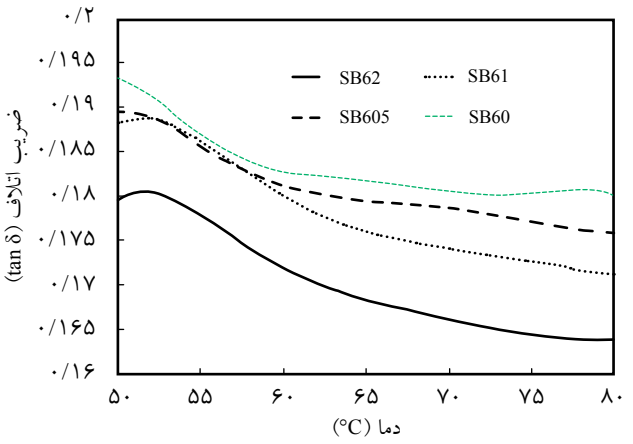
شکل ۸- مقاومت در برابر خستگی نمونه‌ها.



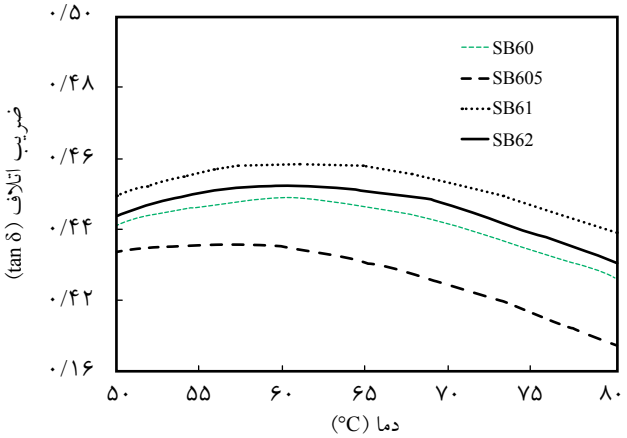
شکل ۹ – نمودار تغییرات ضریب اتلاف برحسب دما برای نمونه‌ها.

خستگی

نتایج آزمون خستگی (شکل ۸)، نشان‌دهنده بهبود چشم‌گیر مقاومت خستگی با افزایش درصد سیلیکا در نمونه‌هاست. این نتیجه بیان‌گر بهبود خواص مقاومت نمونه‌های لاستیکی در برابر تنش‌های پویای ایجاد شده در نمونه‌ها به هنگام عملکرد در برابر این دسته از نیروهاست. کاهش مدول آمیزه که می‌تواند در اثر کاهش چگالی اتصالات عرضی باشد، از جمله عوامل اثرگذار بر اتلاف انرژی پیش از تمرکز آن روی نوک ترک‌های ایجاد شده در اثر بار پویاست. Rattanasom و همکاران [١٦] نیز نشان داده‌اند، با افزایش مقدار استفاده از سیلیکا در حالت عدم دست‌یابی به پراکنش یکنواخت، وجود سیلیکای تجمع یافته در لاستیک باعث افزایش مدول و در نهایت افزایش تمرکز تنش در نوک ترک‌های در حال رشد می‌شود. مشاهده نتایج حاصل در شکل ۸ تأیید کننده دست‌یابی به یک پراکنش یکنواخت در نمونه‌هاست.



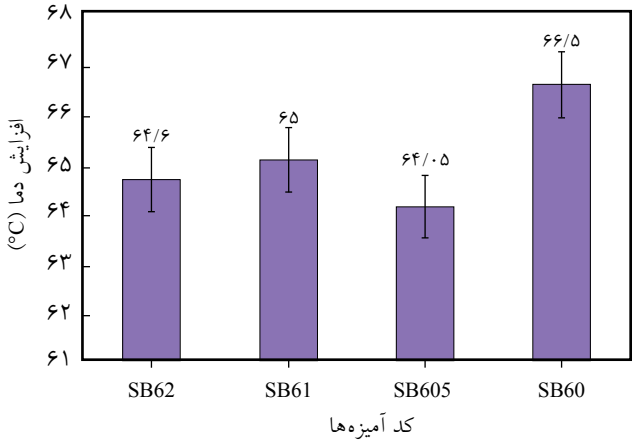
شکل ۱۰- نمودار تغییرات ضریب اتلاف برحسب دما در محدوده ۵۰ تا ۸۰°C (محدوده دمایی سنجش مقاومت غلتشی).



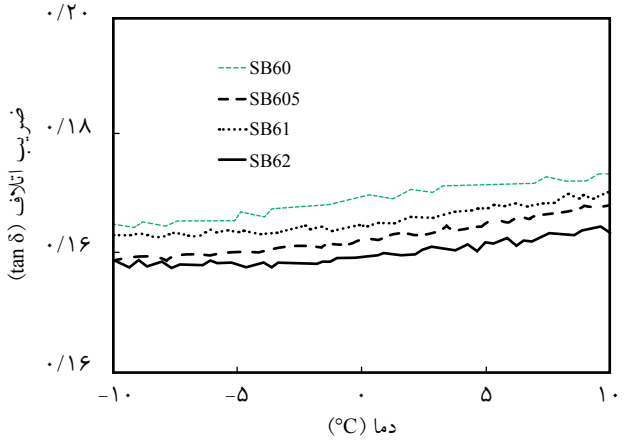
شکل ۱۱- نمودار تغییرات ضریب اتلاف برحسب دما و Tg بر حسب مقادیر سیلیکای جای‌گزین شده.

آزمون پویایی DMTA

نتایج آزمون پویایی DMTA روی نمونه‌های یادشده در شکل ۹ نشان داده شده‌اند. در این نمودارها تغییرات ضریب اتلاف یا tanδ در محدوده دمایی ۱۰۰°C-۸۰ و بسامد ۱ Hz آورده شده‌اند. برای بررسی دقیق‌تر این نمودارها آنها را به چند ناحیه تقسیم می‌کنند. ابتدا محدوده دمایی ۵۰ تا ۸۰°C در نظر گرفته شده که معیاری از مقاومت غلتشی است [۱۷] و در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همان طور که انتظار می‌رود [٦]، با افزایش سیلیکا مقدار ضریب اتلاف کاهش می‌یابد که بیان‌گر کاهش مقاومت غلتشی در نمونه‌ها با افزایش سیلیکای جای‌گزین است. از سوی دیگر، کاهش Tg در آمیزه باعث کاهش مقاومت غلتشی شده که این موضوع در شکل ۱۱ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود، بیشترین کاهش با استفاده از ۵ درصد سیلیکای جای‌گزین در نمونه به دست آمده است. هم‌چنین، نتایج



شکل ۱۲- گرمازایی (افزایش دما) در نمونه‌ها مطابق آزمون انعطاف‌سنجی گودریچ.



شکل ۱۳- نمودار تغییرات ضریب اتلاف برحسب دما در محدوده ۱۰- تا ۱۰°C (محدوده دمایی سنجش قدرت چنگ‌زنی و کشش تایر).

حاصل از آزمون گرمازایی نیز در شکل ۱۲ نشان داده شده که بیان‌گر کاهش گرمازایی نمونه‌ها نسبت به نمونه پرشده با دوده است. شکل ۱۳ نشان‌دهنده تغییرات ضریب اتلاف در ناحیه دمایی ۱۰- تا ۱۰°C است که به عنوان معیاری برای سنجش خاصیت چنگ‌زنی (grip) و کشش در سطوح خیس و یخ‌زده استفاده می‌شود. در این ناحیه هر چه مقدار ضریب اتلاف بیشتر باشد، تایر دارای قدرت چنگ‌زنی بیشتر یا به عبارت دیگر ایمنی بیشتر خواهد بود. نتایج نشان‌دهنده آن هستند که این خاصیت در حالت بدون استفاده از سیلیکا کاهش می‌یابد و افزایش ۱۰ درصد سیلیکای جای‌گزین بهترین حالت را نسبت به سایر مقادیر نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثر جای‌گزینی بخشی از پرکننده سیاه یا دوده در آمیزه رویه تایر سواری با سیلیکا روی رفتار مکانیکی ایستا و پویای آن مطالعه شده است. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که پرکننده سیلیکا نه تنها نقش سنتی خود یعنی کاهش مقاومت غلتشی و افزایش قدرت چنگ‌زنی را در جاده‌های خیس و یخ زده ایفا می‌کند، بلکه قابلیت افزایش چشمگیر مقاومت در برابر خستگی را نیز دارد. هم‌چنین مشخص شد، اگرچه افزایش بیشتر درصد سیلیکا منجر به بهبود بیشتر مقاومت در برابر خستگی می‌شود، ولی بیشترین بازدهی در کاهش مقاومت غلتشی و افزایش قدرت چنگ‌زنی در محدده ۵ تا ۱۰ قسمت جای‌گزینی به دست می‌آید.

مراجع

1. Shuyan Y., Lan L., Zhixin J., Demin J., and Yuanfang L., Structure and Mechanical Properties of Rare-Earth Complex La-GDTC Modified Silica/SBR, *Compos. Polym*., **52**, 2701-2710, 2011.
2. Shuyan Y., Lan L., Zhixin J., Demin J., and Yuanfang L., Study on the Curing Properties of SBR/La-GDTC/SiO_2, *Compos. J. Rare Earths*, **29**, 444-453, 2011.
3. Suphadon N. and Busfield J.J.C., The Dynamic Properties of Fumed Silica Filled SBR as Function of Pre-strain, *Polym. Test*., **30**, 779-783, 2011.
4. Wang M.J., Wolf S., and Donnet J.B., Filler Elastomer Interactions. Part 1: Silica Surfaces Energies and Interactions with Model Compounds, *Rubber Chem. Technol*., **64**, 559-576, 1991.
5. Brinke J.W.T., Debnath S.C., Reuvekamp L.A.E.M., and Noorermeer J.W.M., Mechanistic Aspects of the Role of Coupling Agents in Silica–Rubber Composites, *Compos. Sci. Technol*., **63**, 1165-1174, 2003.
6. Wang M.J., Kutsovsky Y., Zhang P., Murphy L.J., Laube S., and Mahmud K., New Generation Carbon-Silica Dual Phase Filler Part I. Characterization and Application to Passenger Tire, *Rubber Chem. Technol*., **75**, 247-263, 2002.
7. Rattanasom N., Saowapark T., and Deeprasertkul C., Reinforcement of Natural Rubber with Silica/Carbon Black Hybrid Filler, *Polym. Test.*, **26**, 369–377, 2007.
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. Atashi H., Sobhanmanesh K., and Shiva M., Assessments on the Tear Resistance Improvement Mechanisms in the Carbon Black/Silica/Silane Reinforcement Systems, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (In Persian)*, **18**, 75-80, 2005.
10. Abtahi M. and Bakhshandeh G.R., Effect of Different Coupling Agent on Mechanical Properties of Silica Filled Reinforced EPDM Rubber Compounds, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (In Persian)*, **16**, 349-355,2004
11. Chen C.H., Koenig J.L., Shelton J.R., and Collins E.A., Influence of Carbon Black on the Reversion Process in Sulfur-Accelerated Vulcanization of Natural Rubber, *Rubber Chem. Technol*., **55**, 103- 115 ,1981.
12. Skinner T.D. and Watson A.A., EV Systems for NR. I. The Purpose of Efficient Vulcanization and Development of Curing System, *Rubber Chem. Technol*., **42**, 404- 417, 1969.
13. Chois., Park B., and 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*., **15**, 122–127, 2004.
14. Choi S.S., Influence of Storage Time and Temperature and Silane Coupling Agent on Bound Rubber Formation in Filled Styrene–Butadiene Rubber Compounds, *Polym. Test*., **21**, 201-208, 2002.
15. Morrison N.J. and Porter M., Temperature Effects on the Stability of Intermediates and Crosslinks in Sulfur Vulcanization, *Rubber Chem. Technol*., **57**, 63-85, 1984.
16. Rattanasom N. and Chaikumpollert O., Crack Growth and Abrasion Resistance of Carbon Black-Filled Purified Natural Rubber Vulcanizates, *J. Appl. Polym. Sci*., **90**, 1793-1796, 2003.
17. Wang M.J., Effect of Polymer-Filler and Filler-Filler Interactions on Dynamic Properties of Filled Vulcanizates, *Rubber Chem. Technol*., **71**, 520-589 , 1998.