

Optimization of Mechanical, Dynamical and Thermal Properties of a High Performance Tread Compound for Radial Tires

Mir Hamid Reza Ghoreishy*, Ghasem Naderi, and Ali Keshavarz

Rubber Processing and Engineering Department, Faculty of Processing, Iran Polymer and Petrochemical Institute, P.O. Box: 14975-112, Tehran, Iran

Received 14 November 2012, accepted 22 April 2013

ABSTRACT

A high performance passenger tire tread compound was optimized for its mechanical, dynamical and thermal properties. A reference compound was based on a blend of SBR and BR, sulfur and other ingredients without accelerator, carbon black and aromatic oil. The effects of CBS/TMTD and TBBS/TMTD as accelerator systems were studied with different quantities and the best accelerator system was chosen. Then, the blends of N330 and N550 carbon blacks were added in different quantities and the properties of these samples were studied to determine the best carbon black blend. Finally, the effect of different quantities of aromatic oil was investigated and the optimized quantity of aromatic oil and the final properties of tire tread compound were defined. The mechanical and dynamical tests were carried out on appropriate samples to determine tensile strength, elongation-at-break, fatigue-to-failure, abrasion resistance, hardness, resilience, dynamical-mechanical properties and temperature rise due to the heat build-up. The results showed that the compound containing 0.8 phr CBS, 0.7 phr TMTD, 40 phr N330, 20 phr N550 and 15 phr aromatic oils demonstrated the best properties.

Keywords:

tire,
tread,
rolling resistance,
carbon black blend,
aromatic oil

(*)To whom correspondence should be addressed.

E-mail: m.h.r.ghoreishy@ippi.ac.ir

بهینه‌سازی خواص مکانیکی، دینامیکی و گرمایی آمیزه رویه تایر رادیال سواری کارآمد

میرحمیدرضا قریشی*، قاسم نادری، علی کشاورز

تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، پژوهشکده فرایند، گروه فرایند و مهندسی لاستیک، صندوق پستی ۱۱۲-۱۴۹۷۵

دریافت: ۹۱/۸/۲۴، پذیرش: ۹۲/۲/۲

چکیده

در پژوهش حاضر، بهینه‌سازی خواص مکانیکی، دینامیکی و گرمایی آمیزه رویه تایر رادیال سواری با تأکید بر نقش و اثر سه جزء شتاب‌دهنده، دوده و روغن آروماتیک انجام شد. بدین منظور، ابتدا فرمول‌بندی مبنا بر پایه دو کائوچوی SBR/BR و گوگرد و سایر اجزای آمیزه‌کاری و بدون سه بخش یادشده در نظر گرفته شد. اثر دو سامانه شتاب‌دهنده CBS/TMTD و TBBS/TMTD در مقادیر و نسبت‌های مختلف و به شکل نیمه‌کارا روی خواص آمیزه مبنا بررسی شده و بر این اساس سامانه شتاب‌دهنده مناسب انتخاب شد. سپس، آمیخته دوده‌های N330 و N550 در مقادیر و نسبت‌های مختلف به آمیزه اضافه شد و خواص آن بررسی و مقایسه شد تا مقدار بهینه آمیخته دوده‌ای N330/N550 مشخص شود. سرانجام، با مطالعه اثر مقادیر مختلف روغن آروماتیک روی خواص آمیزه رویه تایر، مقدار بهینه آن و نیز خواص بهینه نهایی مشخص شد. برای تعیین خواص بهینه نهایی آزمون‌های مکانیکی (استحکام کششی، درصد ازدیاد طول تا پارگی، خستگی، سایش، سختی و جهندگی)، آزمون‌های دینامیکی شامل DMTA در حالت کششی و همچنین آزمون گرماندوژی انجام شد. نتایج نشان داد، خواص بهینه آمیزه در سامانه شتاب‌دهنده CBS به مقدار ۰/۸ قسمت وزنی و TMTD به مقدار ۰/۷ قسمت وزنی، آمیخته دوده‌های N330/N550 به نسبت ۴۰/۲۰ و روغن آروماتیک به مقدار ۱۵ قسمت وزنی حاصل می‌شود.

واژه‌های کلیدی

تایر،
رویه،
مقاومت غلتشی،
آمیخته دوده،
روغن آروماتیک

مقدمه

تایر از مهم‌ترین اجزای خودرو سواری است که نقش بسیار مهمی در فرمان‌پذیری، ایمنی و راحتی سرنشینان آن ایفا می‌کند. بنابراین، طراحی آمیزه اجزای تشکیل‌دهنده آن بسیار پیچیده است. به عنوان مثال، حفظ استحکام و ایمنی از یک سو و راحتی، نرمی حرکت و نیز کاهش مقدار اتلاف انرژی از سوی دیگر همواره از چالش‌های پیش‌رو بوده است. در این میان، رویه تایر به عنوان عامل واسط بین سایر اجزای تایر و جاده نقش کلیدی را بر عهده دارد. طراحی آمیزه رویه تایر از جمله مواردی است که مورد توجه پژوهشگران است. آنها به نوعی همواره در صدد هستند تا بین سه خاصیت کاهش مقاومت غلتشی، افزایش قدرت چنگ‌زنی یا کشانش (traction) و افزایش مقاومت سایشی توازن و بهبود ایجاد کنند. این سه خاصیت دارای ویژگی منحصر به فردی هستند، به طوری که همواره بهبود یک خاصیت، موجب افت خاصیت دیگر می‌شود.

عوامل مختلفی روی خواص آمیزه‌های رویه تایر اثر می‌گذارد که انتخاب اجزای آمیزه یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای ایجاد توازن بین سه خاصیت مزبور است. درحالی‌که سیلیکا به همراه عامل جفت‌کننده سیلانی باعث بهبود قابل توجهی در مقاومت غلتشی و قدرت چنگ‌زنی رویه تایر می‌شود، به علت گران‌قیمت بودن آنها، دوده همچنان مهم‌ترین و اصلی‌ترین پرکننده برای آمیزه رویه تایر سواری به‌شمار می‌رود. انتخاب دوده مناسب از میان انواع دوده‌ها و آمیختن آنها برای دستیابی به خواص بهتر، امکان بهبود سه خاصیت مزبور را هم‌تراز با سیلیکا و سیلان برآورده می‌سازد. با توجه به مقادیر قابل توجه دوده به‌کار رفته در آمیزه‌های تایر، لزوم استفاده از کمک‌فراایندهای مناسب اهمیت ویژه‌ای دارد. کمک‌فراایندها با کاهش گرانی روی پایه لاستیکی آمیزه، امکان پخش ذرات دوده را در ماتریس لاستیکی فراهم می‌سازند. در نهایت، برای تثبیت خواص آمیزه مسئله پخت مطرح می‌شود. انتخاب نوع سامانه پخت علاوه بر تثبیت خواص، روی خواص نهایی نمونه نیز اثرگذار است که در حالت انتخاب صحیح سامانه، این خواص همسو با خواص مدنظر از سایر اجزای آمیزه خواهد بود.

مهم‌ترین جزء آمیزه لاستیکی، کائوچوها و مقادیر آنهاست. Marzocca و همکاران [۱] رفتار دینامیکی مکانیکی آمیزه SBR/BR را با نسبت‌های مختلف بررسی کرده‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، آمیزه SBR/BR با نسبت ۸۰/۲۰ بهترین خواص مکانیکی دینامیکی را برآورده می‌کند. پس از کائوچو، پرکننده مهم‌ترین جزء است که مطالعات بسیار زیادی در این زمینه، به‌ویژه اثر دوده روی مقاومت غلتشی،

قدرت چنگ‌زنی و مقاومت سایشی لاستیک‌ها [۴-۲] انجام شده است. Lin و همکاران [۵] اثر مقادیر مختلف دوده N330 را با روغن آروماتیک و بدون آن روی خواص آمیزه SBR بررسی کرده‌اند. Hess و Klamp [۶] خواص دینامیکی رویه تایر سواری را با تغییر در مقادیر و نوع دوده بررسی کردند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، با افزایش مساحت سطح دوده مقاومت غلتشی و قدرت چنگ‌زنی یا کشانش افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، افزایش ساختار دوده قدرت چنگ‌زنی را کاهش می‌دهد، درحالی‌که اثر قابل توجهی بر مقاومت غلتشی ندارد. افزایش مقدار روغن به آمیزه موجب افزایش مقدار اتلاف انرژی و قدرت چنگ‌زنی می‌شود. همچنین، افزایش مقدار گوگرد و شتاب‌دهنده به دلیل افزایش مقدار اتصالات عرضی و در پی آن کاهش جابه‌جایی زنجیرهای پلیمری سبب کاهش مقدار اتلاف انرژی می‌شود.

Kandemirli و همکاران [۷] خواص آمیزه SBR/BR پر شده با انواع مختلف دوده‌ها را بررسی کردند. نتایج نشان داد، با کاهش اندازه دوده استحکام کششی و مدول افزایش می‌یابد. Takino و همکاران [۸]، اثر افزودن انواع کمک‌فراایندها را روی خواص دینامیکی - مکانیکی آمیزه SBR بررسی کرده‌اند. آنها ابتدا اثر افزودن کمک‌فرایند را روی پخش دوده مطالعه کرده و سپس از کمک‌فراایندهای مختلف برای بهبود پخش دوده بهره جستند. کارایی تایر نه تنها به طراحی آمیزه و ساختار آن بستگی دارد، بلکه به روش اختلاط اجزا با هم و فراورش آن نیز وابسته است.

Raepenbusch و همکاران [۹] اثر شرایط اختلاط، شامل زمان و دمای اختلاط و انرژی ورودی را روی خواص گرانیروکشسانی تایر، از جمله مقاومت غلتشی و قدرت چنگ‌زنی بررسی کرده‌اند. شیوا و آتشی [۱۰] اثر نوع و مقدار چگالی اتصالات عرضی سامانه پخت گوگردی را با تغییر مقدار و نسبت گوگرد و شتاب‌دهنده مطالعه کرده‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهد، مقادیر رشد ترک و مقاومت پارگی با کاهش نسبت گوگرد به شتاب‌دهنده در مقدار مساوی چگالی اتصالات عرضی به مقدار قابل توجهی بهبود می‌یابد. ضمن اینکه مقدار گرماندوژی و سایر خواص فیزیکی - مکانیکی نیز حفظ می‌شود.

Karak و همکاران [۱۱] اثر پارامترهای پخت مثل زمان و دمای پخت را روی خواص مکانیکی آمیزه SBR/BR بررسی کرده‌اند. Basfar و همکاران [۱۲] مقایسه کلی بین سه روش پخت گوگردی، پراکسیدی و با پرتودهی را روی خواص آمیزه SBR و آمیزه NR انجام داده‌اند.

در این کار پژوهشی، بهینه‌سازی خواص مکانیکی، دینامیکی و

آمیزه نهایی رویه تایر سواری نیز گزارش و با دو نمونه صنعتی مقایسه شد. بر این مبنا نوآوری ویژه این کار را می‌توان طراحی و ارائه فرمول‌بندی برای آمیزه رویه تایر سواری دانست که در آن سه هدف پیش‌تر گفته شده (کاهش مقاومت غلتشی در کنار افزایش قدرت چنگ‌زنی و مقاومت سایشی) با آمیختن دوده‌ها و بدون استفاده از سیلیکا به همراه ترکیب شتاب‌دهنده‌ها مدنظر قرار گرفت. دست‌یابی به این مهم و تأیید کار نیز با مقایسه خواص فیزیکی و مکانیکی آمیزه نهایی با داده‌های دو نمونه صنعتی انجام شد. شایان ذکر است، پژوهش اخیر به مراحل بهینه‌سازی آزمایشگاهی طرح اختصاص دارد و در مرحله بعد، ساخت تایر و بررسی عملکرد آن در سرویس مورد توجه قرار می‌گیرد.

تجربی

مواد و دستگاه‌ها

لاستیک‌های خام استفاده شده در این پژوهش، کائوچوی مصنوعی استیرن- بوتادیان (SBR 1502 پتروشیمی بندر امام با گرانروی مونی ۵۳) و کائوچوی مصنوعی بوتادیان (BR 1220 پتروشیمی اراک با گرانروی مونی ۴۶) بود. سایر اجزای استفاده شده در فرمول‌بندی آمیزه‌های لاستیکی به همراه نقش و اثر و شرکت سازنده هر یک در جدول ۱ آمده است. فرمول‌بندی آمیزه‌ها با توجه به فرمول پایه آمیزه در حال ساخت یک واحد صنعتی و نیز تجربیات پیشین معین شد. در جدول ۲ فرمول‌بندی آمیزه مینا (بدون شتاب‌دهنده، دوده و روغن) آمده است. سایر فرمول‌بندی‌ها در بخش بحث و نتایج داده شده‌اند. برای مشخص کردن اطلاعات لازم برای پخت نمونه‌ها از رتومتر ساخت شرکت Zwick آلمان طبق استاندارد ASTM D2084 در

جدول ۲- فرمول‌بندی آمیزه مینا (قسمت به ازای صد قسمت کائوچو).

مقدار	اجزای آمیزه
۸۰	SBR
۲۰	BR
۱	IPPD
۱	موم پارافین
۵	روی اکسید
۱	استتاریک اسید
۱/۵	گوگرد

گرمایی رویه تایر رادیال سواری که بر پایه آمیزه SBR/BR قرار دارد، مورد توجه واقع شده است. بدین منظور، آمیزه پایه که در حال تولید بوده و از آن در ساخت تایر استفاده می‌شود، انتخاب شد. هدف اصلی از بهبود خواص این آمیزه، قابل استفاده شدن آن در تایر رادیال سواری کارآمد است. منظور از کارآمدی در پژوهش حاضر این است که سه پارامتر پیش‌گفته مقاومت غلتشی، کشانش یا چنگ‌زنی و فرسایش تایر به‌طور نسبی بهبود یابند. برای دست‌یابی به این هدف و یافتن فرمول‌بندی آمیزه بهینه، اثر سه جزء آمیزه شامل شتاب‌دهنده، دوده و روغن آروماتیک به‌طور جداگانه بررسی شد. بدین ترتیب که ابتدا نوع و مقدار شتاب‌دهنده به عنوان عاملی مهم در سامانه پخت گوگردی و تثبیت خواص نهایی آمیزه، بررسی شد. برای این کار از دو سامانه شتاب‌دهنده CBS/TMTD و TBBS/TMTD در مقادیر و نسبت‌های مختلف استفاده و خواص آمیزه‌های آنها بررسی و مقایسه شد تا نوع و نسبت بهینه شتاب‌دهنده در آمیزه مینا مشخص شود. در مرحله دوم، اثر دوده مطالعه شد.

در این بخش، برای بهبود خواص دینامیکی و گرمایی آمیزه رویه تایر از آمیخته دوده‌های N330 و N550 در مقادیر و نسبت‌های مختلف بهره گرفته شد. با بررسی و مقایسه خواص حاصل از آمیزه‌های حاوی این دو نوع دوده، بهترین مقدار و نسبت آمیخته دوده N330/N550 که خواص بهینه را ارائه می‌دهد، معین شد. در پایان، اثر مقادیر مختلف روغن آروماتیک روی خواص آمیزه رویه تایر بررسی شد. پس از تهیه آمیزه‌های مزبور با بررسی خواص آنها، ضمن مشخص کردن بهترین مقدار روغن آروماتیک، خواص بهینه جدول ۱- مشخصات مواد اولیه استفاده شده در ساخت آمیزه‌ها.

مواد	نوع افزودنی	شرکت سازنده
دوده N330	پرکننده و تقویت‌کننده	شرکت کربن ایران
دوده N550	پرکننده و تقویت‌کننده	شرکت کربن ایران
روی اکسید	فعال‌کننده	پارس اکسید
استتاریک اسید	فعال‌کننده	Rheinchemie
IPPD	ضداکسنده	Duslo اسلوواکی
موم پارافین	ضداوزون	Sasol wax
روغن آروماتیک	نرم‌کننده و روان‌کننده	نفت بهران
CBS	شتاب‌دهنده	Bayer آلمان
TBBS	شتاب‌دهنده	Bayer آلمان
TMTD	شتاب‌دهنده	Bayer آلمان
گوگرد	عامل اتصال عرضی	Bayer آلمان

جدول ۳- فرمول‌بندی آمیزه‌های ساخته شده با سامانه شتاب‌دهنده (قسمت به ازای صد قسمت کائوچو).

کد آمیزه						اجزای آمیزه
TT3	TT2	TT1	CT3	CT2	CT1	
۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	SBR
۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	BR
۱	۱	۱	۱	۱	۱	IPPD
۱	۱	۱	۱	۱	۱	موم پارافین
۵	۵	۵	۵	۵	۵	روی اکسید
۱	۱	۱	۱	۱	۱	استتاریک‌اسید
-	-	-	۱/۲	۱	۰/۸	CBS
۱/۲	۱	۰/۸	-	-	-	TBBS
۰/۳	۰/۵	۰/۷	۰/۳	۰/۵	۰/۷	TMTD
۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	گوگرد

با معادله فلوری - رنر محاسبه کرد [۱۴]:

$$-\ln(1-\phi_r) - \phi_r - X\phi_r^2 = 2V_0\rho_r n_{\text{phys}} \phi_r^{1/3} \quad (۳)$$

در معادله فلوری - رنر، V_0 حجم مولی حلال، n_{phys} درجه فیزیکی اتصالات (چگالی اتصالات عرضی) که برابر با $1/2M_c$ است، M_c وزن مولکولی میانگین عددی بین دو اتصال شبکه و X نیز ضریب برهم‌کنش بین نمونه و حلال است که از معادله (۴) محاسبه می‌شود:

$$X = \frac{(\delta_s - \delta_r)^2 V_0}{RT} \quad (۴)$$

جدول ۴- داده‌های آزمون رئومترهای نمونه‌های آمیزه مینا حاوی شتاب‌دهنده.

TT3	TT2	TT1	CT3	CT2	CT1	مشخصه
۴/۹	۳/۵	۳	۳/۹	۳/۲	۲/۷	زمان برشتگی (min)
۸/۶	۷/۶	۶/۴	۶/۹	۵/۵	۶/۲	زمان پخت (min)
۸۹۵	۹۳۵	۹۳۵	۸۲۵	۸۶۹	۸/۸	گشتاور بیشینه (N.m)
۱/۷۶	۱/۸۷	۱/۷۶	۱/۸۷	۱/۸۷	۱/۸۷	گشتاور کمینه (N.m)
۷/۱۹	۷/۴۸	۷/۵۹	۶/۳۸	۶/۸۲	۶/۹۳	اختلاف گشتاور (N.m)

دمای 160°C استفاده شد. برای سنجش خواص کششی نمونه‌های ساخته شده، از آزمون کشش مطابق استاندارد ASTM D 412-C و دستگاه آزمون مکانیکی هیوا استفاده شد. سختی نمونه‌ها به کمک سختی‌سنج در مقیاس Shore A ساخت شرکت Zwick آلمان مطابق با استاندارد ASTM D2240 معین شد.

مقدار جهندگی طبق استاندارد ASTM D1054 با دستگاه Frank ساخت آلمان مشخص شد. مقاومت سایشی نمونه‌ها نیز طبق استاندارد ASTM D5963 روی نمونه‌های قرصی شکل با استفاده از دستگاه Abrasion Meter ساخت شرکت Frank آلمان اندازه‌گیری شد. برای انجام آزمون خستگی از دستگاه Monsanto ساخت آمریکا مطابق با استاندارد ASTM D4482 استفاده شد. خواص دینامیکی نمونه‌ها به وسیله آزمون تجزیه گرمایی دینامیکی مکانیکی (DMTA) به کمک دستگاه Tritec 2000 ساخت کشور انگلستان و آزمون گرماندوژی نمونه‌ها نیز با استفاده از دستگاه Goodrich Flexometers طبق استاندارد ASTM D623 اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

اثر شتاب‌دهنده

برای بررسی اثر شتاب‌دهنده شش فرمول‌بندی حاوی دو نوع شتاب‌دهنده تهیه شد که در جدول ۳ فرمول‌بندی این آمیزه‌ها مشخص شده است. نتایج آزمون رئومتري شتاب‌دهنده‌ها در جدول ۴ آمده است. بهینه‌سازی و مقایسه خواص در این قسمت بر مبنای اندازه‌گیری چگالی اتصالات عرضی به کمک آزمون تورم و معادله فلوری - رنر انجام شد. مقدار تورم به شکل درصد جذب حلال (Q_t) به کمک نمونه‌ها از معادله (۱) محاسبه می‌شود [۱۳]:

$$Q_t = \frac{w_s - w_i}{w_i} \times 100 \quad (۱)$$

در این معادله، w_i وزن اولیه نمونه‌ها و w_s وزن نمونه‌های متورم شده پس از قرار گرفتن در حلال تولوئن به مدت ۷۲ h است. کسر حجمی نمونه‌ها (ϕ_r) از معادله (۲) به دست می‌آید:

$$\frac{1}{\phi_r} = 1 + \frac{w_s \times \rho_r}{w_i \times \rho_s} \quad (۲)$$

در این معادله، ρ_r و ρ_s به ترتیب چگالی نمونه و حلال است. با استفاده از معادله‌های (۱) و (۲) می‌توان چگالی اتصالات عرضی را

جدول ۷- فرمول‌بندی آمیزه‌های حاوی دوده.

کد آمیزه					اجزای آمیزه
CB5	CB4	CB3	CB2	CB1	
۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	SBR
۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	BR
۶۰	۵۰	۵۰	۴۵	۴۰	N330
۲۰	۳۰	۲۰	۲۵	۲۰	N550
۱	۱	۱	۱	۱	IPPD
۱	۱	۱	۱	۱	موم پارافین
۵	۵	۵	۵	۵	روی اکسید
۱	۱	۱	۱	۱	استتاریک اسید
۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	CBS
۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷	TMTD
۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	گوگرد

به دو هدف اصلی استحکام مکانیکی مناسب و در عین حال کاهش گرماندوژی است. با در نظر گرفتن N330 به عنوان دوده اصلی و N550 به عنوان دوده فرعی می‌توان با حفظ نسبی خواص مکانیکی، رفتار دینامیکی - گرمایی را بهبود بخشید. نتایج آزمون رئومتر آمیزه‌های حاوی دوده در جدول ۸ آمده است. مشاهده می‌شود، دوده اثر چندانی روی زمان برشتگی و زمان پخت آمیزه ندارد.

استحکام کششی

نتایج آزمون‌های استحکام کششی، مدول در ۱۰۰ درصد کشش و ازدیاد طول تا پارگی به ترتیب در شکل‌های ۱ تا ۳ نشان داده شده‌اند. افزایش مقدار کلی دوده باعث افزایش استحکام کششی می‌شود. این

جدول ۵- داده‌های حاصل از آزمون تورم و معادله فلوری - رنر - نمونه‌های آمیزه مینا حاوی شتاب‌دهنده.

مشخصه	CT1	CT2	CT3	TT1	TT2	TT3
چگالی (g/cm ³)	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۸	۰/۹۲
Q _۰	۲/۶۵	۲/۸۸	۳/۱	۲/۹۳	۲/۸۱	۳/۱۸
φ _r	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۱۸
M _c (g/mol)	۳۰۲۲	۳۳۰۶	۳۳۹۲	۳۰۳۰	۳۳۷۸	۳۳۹۸

در این معادله، δ_p و δ_p به ترتیب پارامتر انحلال‌پذیری حلال و نمونه، R ثابت جهانی گازها و T دمای مطلق است.

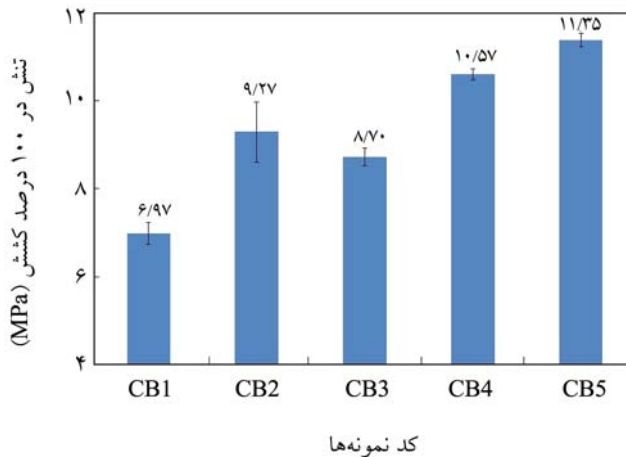
نتایج حاصل از آزمون تورم و اطلاعات لازم برای محاسبه چگالی اتصالات عرضی و نیز نتایج حاصل از معادله فلوری - رنر در جدول ۵ آمده است. نتایج نشان می‌دهد، اثر هم‌افزایی سامانه شتاب‌دهنده CBS/TMTD مؤثرتر از سامانه TBBS/TMTD است. در نتیجه نمونه‌های حاوی CBS، چگالی اتصالات عرضی بیشتری نسبت به نمونه‌های حاوی TBBS دارند. بنابراین انتظار می‌رود، CBS خواص بهتری نسبت به TBBS نشان دهد. نتایج خواص مکانیکی در جدول ۶ آمده است. نمونه CT1 که کمترین M_c را دارد، بیشترین سختی، استحکام کششی و بیشترین جهندگی را نشان می‌دهد. بنابراین، می‌توان این نمونه را به عنوان سامانه برتر شتاب‌دهنده برای اضافه‌کردن به فرمول مینا انتخاب کرد.

اثر دوده

برای مطالعه اثر دوده، دو نوع دوده N330 و N550 به شکل آمیخته در نظر گرفته شد. پنج فرمول‌بندی آماده شد که مشخصات آنها در جدول ۷ آمده است. استفاده از آمیخته دو نوع دوده برای دستیابی

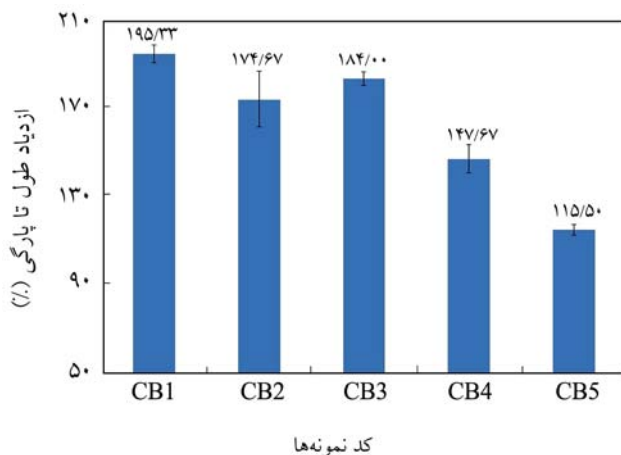
جدول ۶- خواص مکانیکی نمونه‌های آمیزه مینا حاوی شتاب‌دهنده.

کد آمیزه						خواص
TT3	TT2	TT1	CT3	CT2	CT1	
۴۸ ± ۱/۲	۵۰ ± ۰/۶	۵۱ ± ۱/۳	۴۹ ± ۰/۸	۵۰ ± ۱/۱	۵۱ ± ۰/۷	سختی
۱/۴ ± ۰/۰۹	۱/۳ ± ۰/۰۴	۱/۴ ± ۰/۰۵	۱/۷ ± ۰/۰۹	۱/۵ ± ۰/۱۳	۱/۶ ± ۰/۰۴	استحکام کششی (MPa)
۱/۲ ± ۰/۰۴	۱/۳ ± ۰/۰۳	۱/۳ ± ۰/۱۲	۱ ± ۰/۰۴	۱/۱ ± ۰/۰۴	۱/۲ ± ۰/۰۶	مدول ۱۰۰٪ (MPa)
۱۹۶ ± ۱۰/۷	۱۱۶ ± ۶/۹	۱۱۸ ± ۴/۹	۱۵۹ ± ۲/۶	۱۲۰ ± ۱۱/۶	۱۲۶ ± ۱۴/۶	ازدیاد طول تا پارگی (%)
۶۹ ± ۰/۷	۷۵ ± ۰/۸	۷۵ ± ۰/۵	۸۰ ± ۰/۴	۸۱ ± ۰/۵	۸۳ ± ۰/۴	جهندگی (%)



شکل ۲- تنش در ۱۰۰ درصد کشش (مدول ۱۰۰ درصد) نمونه‌های حاوی دوده بدون روغن آروماتیک.

CB3 دوده N330 بیشتری دارد و انتظار می‌رود که استحکام کششی زیادتری داشته باشد، ولی استحکام کششی تقریباً یکسانی دارند. نتایج مزبور این حقیقت را بیان می‌کند که حد نهایی دوده N330 در آمیخته N330/N550، ۴۵ قسمت وزنی است. ازدیاد طول تا پارگی با افزایش دوده روند نزولی دارد. بدین ترتیب، مدول با افزایش دوده روند صعودی پیدا می‌کند. در این باره نیز وجود دوده ریز بیشتر موجب افزایش ازدیاد طول تا پارگی و کاهش مدول می‌شود. البته این روند تا ۷۰ قسمت وزنی دوده صادق است. پس از این مقدار به دلیل پخش کمتر دوده ریزتر نسبت به دوده درشت‌تر، ازدیاد طول تا پارگی در آمیزه CB5 دارای دوده ریز بیشتر از آمیزه CB4 کمتر شده است.



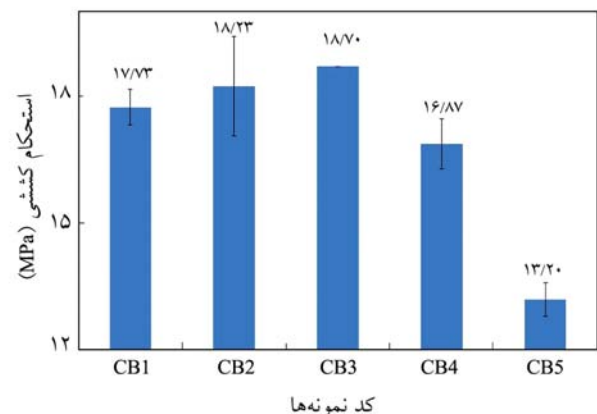
شکل ۳- درصد ازدیاد طول تا پارگی نمونه‌های حاوی دوده بدون روغن آروماتیک.

جدول ۸- داده‌های آزمون رئومتر نمونه‌های حاوی دوده.

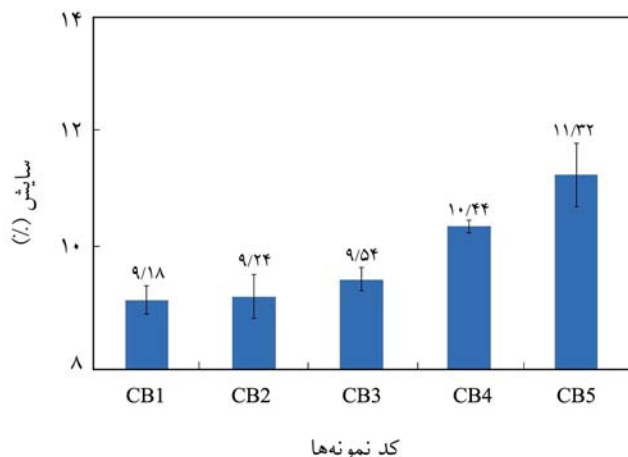
مشخصه	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5
زمان برشتگی (min)	۲/۵	۲/۵	۲/۴	۲/۳	۲/۳
زمان پخت (min)	۶/۲	۶/۷	۶/۳	۶/۵	۶/۹
گشتاور بیشینه (N.m)	۲۲/۲	۲۶/۳	۲۴/۵	۲۸/۲	۳۰/۷
گشتاور کمینه (N.m)	۳/۸	۵/۵	۵/۴	۶/۶	۷/۶
اختلاف گشتاور (N.m)	۱۸/۴	۲۰/۸	۱۹/۱	۲۱/۶	۲۳/۱

افزایش تا مقدار بیشینه می‌رسد و پس از آن کاهش می‌یابد [۱۵، ۱۶]. مشاهده می‌شود، آمیخته دوده‌ای N330/N550 تا مقدار ۷۰ قسمت وزنی افزایش استحکام کششی را نشان می‌دهد. این خاصیت در مقدار دوده ۸۰ قسمت وزنی به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. نکته تأمل‌برانگیز دیگر درباره نتایج استحکام کششی، نسبت دو دوده به‌کار رفته در آمیزه است. دوده ریزتر به دلیل قابلیت تشکیل برهم‌کنش‌های بیشتر با زنجیرهای پلیمری و سایر ذرات دوده و همچنین فاصله کمتر بین خوشه‌های پرکننده استحکام کششی بیشتری نشان می‌دهد [۱۷]. بنابراین، وجود مقدار بیشتر دوده ریز N330 نسبت به دوده درشت N550 خاصیت تقویت‌کنندگی را بیشتر افزایش می‌دهد. البته شایان ذکر است، هر چه دوده ریزتر باشد، استحکام کششی زودتر به نقطه بیشینه می‌رسد و سپس کاهش می‌یابد [۱۵].

مقایسه نمونه‌های CB1، CB3 و CB5 دارای ۲۰ قسمت وزنی دوده N550 نشان می‌دهد، با افزایش مقدار دوده N330 تا ۵۰ قسمت وزنی افزایش استحکام کششی و پس از ۶۰ قسمت وزنی افت آن اتفاق می‌افتد. مقایسه نمونه‌های CB2 و CB3 که هر دو دارای ۷۰ قسمت وزنی دوده هستند، گویای این موضوع است. با وجود اینکه نمونه



شکل ۱- استحکام کششی نمونه‌های حاوی دوده بدون روغن آروماتیک.

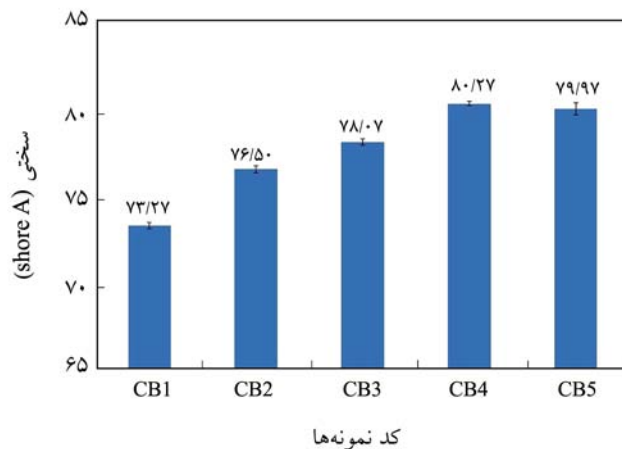


شکل ۶- درصد سایش نمونه‌های حاوی دوده بدون روغن آروماتیک (به دلیل نزدیک بودن چگالی نمونه‌ها، درصد اتلاف گزارش شد که عدد کمتر نشان‌دهنده مقاومت سایشی بیشتر است).

خستگی و سایشی بهبود می‌یابد [۱۸]. ولی مقاومت خستگی با افزایش بیش از حد دوده و سازوکارهای اتلاف گرمایی و در نتیجه تشدید تخریب گرمایی نمونه، روند معکوسی را در پی می‌گیرد. مقاومت سایشی تابع دو سازوکار افزایش اتلاف انرژی و ضریب اصطکاک است. ابتدا با افزایش اتلاف انرژی مقاومت سایشی بهبود می‌یابد. ولی، ضریب اصطکاک نیز با افزایش دمای نمونه حاصل از افزایش اتلاف انرژی به شکل گرما افزایش می‌یابد و در نهایت بر سازوکار اتلاف انرژی غلبه کرده و موجب کاهش مقاومت سایشی می‌شود [۱۹،۲۰].

نتایج آزمون خستگی و درصد مقدار سایش نشان می‌دهد، افزایش مقدار دوده باعث افت مقاومت‌های خستگی و سایشی شده است. این موضوع بدان معنی است که دوده در آمیزه لاستیکی به مقدار ۶۰ قسمت وزنی نیز مقدار زیادی است و با افزایش بیشتر آن خستگی و مقاومت سایشی کاهش می‌یابد، به طوری که این رفتار در مقادیر ۸۰ قسمت وزنی کاملاً مشهود است.

درباره نسبت مقادیر دوده رفتار بدین شکل است که هر چه دوده ریزتر باشد، اتلاف گرمایی یا گرماندوژی نیز در نمونه افزایش می‌یابد، در نتیجه ضریب اصطکاک نیز با وجود دوده ریزتر بیشتر افزایش می‌یابد. روند افزایش خستگی و مقاومت سایشی بیشتر می‌شود و نقطه بیشینه آنها نیز زودتر از دوده‌های با اندازه بزرگتر فرا می‌رسد و پس از آن افت این خواص پدیدار می‌شود [۲۰]. به سبب اینکه مقاومت خستگی و مقاومت سایشی نمونه‌ها پس از نقطه بیشینه قرار گرفته است، بنابراین وجود دوده با اندازه بزرگتر N550، به دلیل کاهش مقدار اتلاف انرژی و در پی آن کاهش سرعت افزایش ضریب



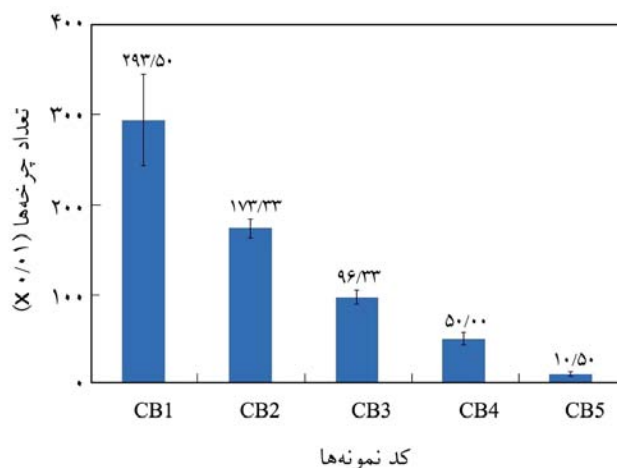
شکل ۴- سختی نمونه‌های حاوی دوده بدون روغن آروماتیک.

سختی آمیزه‌ها

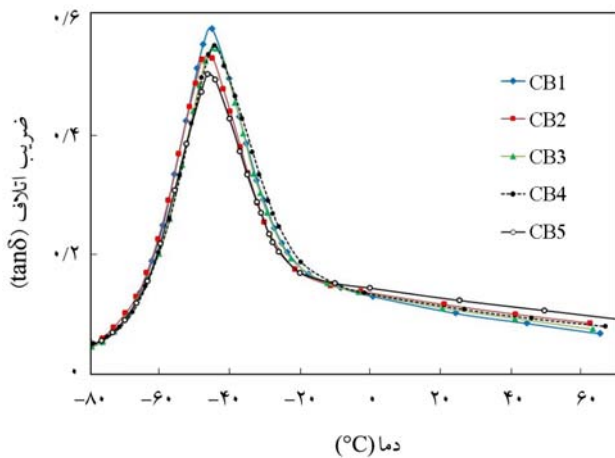
در شکل ۴ نتایج آزمون سختی نشان داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رود، مشاهده می‌شود با افزایش مقدار دوده سختی نمونه‌ها نیز افزایش می‌یابد. همچنین، سیر صعودی مزبور در مقادیر بیشتر دوده سرعت کمتری دارد.

مقاومت در برابر خستگی و مقاومت سایشی

نتایج آزمون مقاومت خستگی در شکل ۵ و نتایج مقدار سایش در شکل ۶ نشان داده شده است. از آنجا که مهم‌ترین سازوکار در آزمون‌های خستگی و مقاومت سایشی براساس مقدار اتلاف گرماست، بنابراین هر چه مقدار گرمای تولید شده در نمونه لاستیکی بیشتر باشد، انرژی کمتری صرف رشد ترک می‌شود و مقاومت‌های



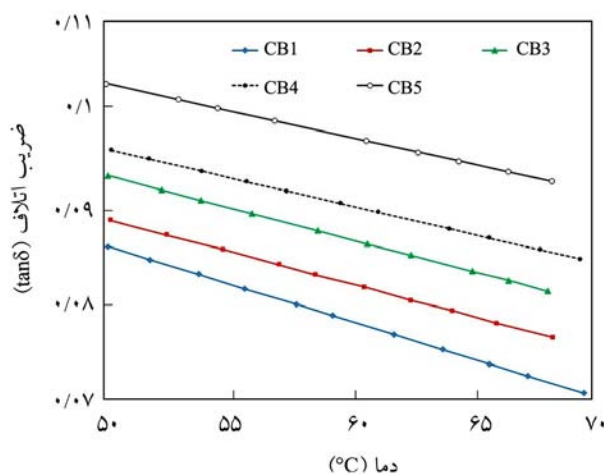
شکل ۵- مقاومت در برابر خستگی نمونه‌های حاوی دوده بدون روغن آروماتیک.



شکل ۸ - نمودار تغییرات ضریب اتلاف بر حسب دما برای نمونه‌های حاوی دوده بدون روغن آروماتیک.

رفتار دینامیکی - مکانیکی - گرمایی آمیزه‌ها

در شکل ۸، نتایج آزمون DMTA نمونه‌های CB1 تا CB5 در بسامد ۱ Hz و محدوده دمایی -80°C تا 80°C نشان داده شده است. برای سنجش تقریبی مقاومت غلتشی، منحنی DMTA در محدوده دمایی 50°C تا 70°C به شکل بزرگ‌نمایی شده در شکل ۹ آمده است [۲۲]. با افزایش مقدار کلی دوده، مقدار اتلاف انرژی نیز افزایش می‌یابد که می‌تواند بیانگر افزایش مقاومت غلتشی باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمونه CB5 با ۸۰ قسمت وزنی دوده بیشترین مقدار اتلاف انرژی را نسبت به سایر نمونه‌ها دارد. هر چه مقدار دوده ریز در نمونه

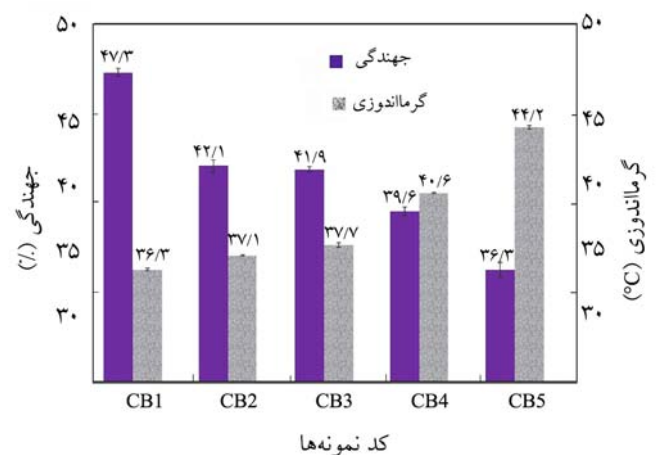


شکل ۹ - نمودار تغییرات ضریب اتلاف در محدوده 50°C تا 70°C بر حسب دما برای نمونه‌های حاوی دوده بدون روغن آروماتیک (محدوده دمایی سنجش مقاومت غلتشی).

اصطکاک، موجب افت کمتر مقاومت‌های خستگی و سایشی می‌شود. این مطلب در نمونه‌های CB4 و CB5 که هر دو ۸۰ قسمت وزنی دوده دارند، کاملاً مشهود است. نمونه CB4 به دلیل داشتن دوده N550 بیشتر و در نتیجه اتلاف انرژی و افزایش ضریب اصطکاک کمتر، مقاومت خستگی بهتر و درصد سایش کمتری نسبت به نمونه CB5 دارد. بنابراین، نمونه CB1 که کمترین مقدار اتلاف انرژی و مقدار افزایش ضریب اصطکاک را دارد، بهترین مقاومت خستگی و مقاومت سایشی را نشان داده است.

گرماندوزی و جهندگی

نتایج آزمون‌های گرماندوزی و جهندگی آمیزه‌های تهیه شده در شکل ۷ نشان داده شده است. گرمای تولید شده ناشی از شکست انبوهه‌های بزرگ دوده‌ای، اصطکاک ناشی از لغزش و سرخوردن زنجیرهای پلیمری روی ذرات دوده از جمله سازوکارهای اتلاف انرژی و تولید گرما در آمیزه‌های دوده است [۲۱]. بنابراین، مقدار دوده و شکل‌شناسی آن نقش مهمی را در مقدار اتلاف گرما ایفا می‌کند. با افزایش مقدار دوده و در نتیجه افزایش سازوکارهای اتلاف انرژی ذکر شده در اثر اعمال تنش، گرماندوزی در آمیزه‌های دوده‌ای افزایش می‌یابد. با ازدیاد مقدار دوده ریز در مقادیر یکسان آمیخته‌های دوده‌ای و در نتیجه افزایش برهم‌کنش‌های دوده - دوده و پلیمر - دوده، کاهش فاصله بین انبوهه‌ها و افزایش احتمال تشکیل شبکه دوده‌ای در اثر اعمال تنش، مقدار اتلاف انرژی یا گرماندوزی افزایش می‌یابد. در مقابل، مقدار کشسانی و قابلیت ذخیره انرژی آمیزه‌ها که معیاری از مقدار جهندگی است، کاهش می‌یابد. بنابراین، نمونه CB1 بیشترین مقدار جهندگی و کمترین مقدار گرماندوزی را دارد.



شکل ۷- گرماندوزی و جهندگی نمونه‌های حاوی دوده بدون روغن آروماتیک.

جدول ۱۰- داده‌های آزمون رئومترهای نمونه‌های حاوی دوده و روغن آروماتیک.

O30	O25	O20	O15	مشخصه
۳/۳	۳/۳	۳	۳/۱	زمان برستگی (min)
۶	۶/۱	۵/۷	۵/۷	زمان پخت (min)
۹/۲	۱۰/۲	۱۱/۶	۱۱/۷	گشتاور بیشینه (N.m)
۲/۲	۲/۳	۲/۶	۲/۶	گشتاور کمینه (N.m)
۷	۷/۹	۹	۹/۱	اختلاف گشتاور (N.m)

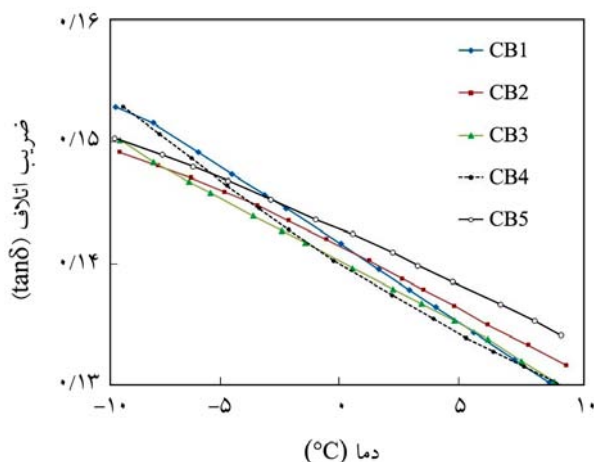
می‌توان گفت، هر چه مقدار ضریب اتلاف انرژی در این ناحیه بیشتر باشد، قدرت چنگ‌زنی نیز بیشتر است. نتایج نشان می‌دهد، تغییر مقدار دوده و نسبت آنها اثر زیادی روی مقدار اتلاف انرژی نمونه‌ها در این ناحیه دمایی ندارد و نمونه‌ها قدرت چنگ‌زنی تقریباً مشابهی را بروز می‌دهند.

بدین ترتیب، نمونه CB1 با ۴۰ قسمت وزنی دوده N330 و ۲۰ قسمت وزنی دوده N550 نسبت به سایر نمونه‌ها با دارا بودن بهترین مقاومت خستگی و مقاومت سایشی، کمترین مقدار گرماندوژی و به‌طور تقریبی کمترین مقاومت غلتشی و قدرت چنگ‌زنی مناسب، به عنوان آمیزه بهینه انتخاب شد.

اثر روغن آروماتیک

برای بررسی اثر افزودن روغن آروماتیک چهار آمیزه با مقادیر مختلف روغن آروماتیک تهیه شد. فرمول‌بندی آمیزه‌ها در جدول ۹ و نتایج حاصل از آزمون رئومتر در جدول ۱۰ آمده است. با افزودن روغن به آمیزه حاوی دوده تغییر قابل توجهی مشاهده نمی‌شود، هر چند افزایش زمان برستگی و کاهش زمان پخت مشاهده می‌شود. همچنین، افزایش مقدار روغن نیز اثر محسوسی بر زمان برستگی و پخت آمیزه‌ها ندارد.

خواص آمیزه‌های حاوی ۴۰ قسمت وزنی دوده N330 و ۲۰ قسمت وزنی دوده N550 با درصد‌های مختلف روغن آروماتیک در جدول ۱۱ آمده است. روغن آروماتیک با کاهش گرانیروی لاستیک و افزایش قابلیت ترشوندگی و پخش دوده، موجب بهبود قابل توجه خواص نسبت به آمیزه بدون روغن می‌شود. افزایش بیشتر روغن آروماتیک موجب کاهش غلظت گره‌خوردگی‌های زنجیر در واحد حجم و در نتیجه کاهش چگالی اتصالات عرضی و ضعیف شدن نیروهای همدوسی بین مولکولی می‌شود. بنابراین سختی، استحکام کششی و مدول آمیزه لاستیکی با افزایش روغن کم می‌شود، درحالی‌که ازدیاد



شکل ۱۰- نمودار تغییرات ضریب اتلاف در محدوده -10°C تا 10°C بر حسب دما برای نمونه‌های حاوی دوده بدون روغن آروماتیک (محدوده دمایی سنجش قدرت چنگ‌زنی تایر).

بیشتر باشد، شکست برهم‌کنش‌های دوده - پلیمر و دوده - دوده نیز بیشتر است، در نتیجه اتلاف انرژی نیز بیشتر می‌شود. بنابراین، اتلاف انرژی نمونه CB5 بیشتر از CB4 و اتلاف انرژی نمونه CB3 بیشتر از CB2 است. شکل ۱۰ نشان‌دهنده تغییرات ضریب اتلاف انرژی در محدوده دمایی -10°C تا 10°C است که می‌تواند معیاری برای سنجش قدرت چنگ‌زنی در سطوح خیس باشد. به‌طور تقریبی

جدول ۹- فرمول‌بندی آمیزه‌های حاوی روغن آروماتیک.

کد آمیزه				اجزای آمیزه
O30	O25	O20	O15	
۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	SBR
۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	BR
۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	N330
۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	N550
۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	روغن آروماتیک
۱	۱	۱	۱	IPPD
۱	۱	۱	۱	موم پارافین
۵	۵	۵	۵	روی اکسید
۱	۱	۱	۱	استئاریک اسید
۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	CBS
۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷	TMTD
۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	گوگرد

جدول ۱۱- خواص نمونه‌های حاوی دوده و روغن آروماتیک.

کد آمیزه				خواص
O30	O25	O20	O15	
58 ± 0.2	$60 \pm 1/17$	$61/4 \pm 0.37$	$61/8 \pm 0.46$	سختی
$14/8 \pm 0.28$	$15/2 \pm 1/01$	$15/4 \pm 0.16$	$15/6 \pm 0.47$	استحکام کششی (MPa)
$10/3 \pm 0.24$	12 ± 0.26	$13/4 \pm 0.2$	14 ± 0.32	مدول ۱۰۰٪ (MPa)
$40.5 \pm 12/03$	$370 \pm 29/1$	339 ± 0.47	329 ± 14	ازدیاد طول تا پارگی (%)
۱۰۲۱	۱۱۷۰	۱۳۲۳	۱۱۸۶	مقاومت در برابر خستگی (تعداد چرخه‌ها $\times 0.01$)
$10/54 \pm 0.19$	$9/94 \pm 1/49$	$9/56 \pm 0.18$	$9/24 \pm 0.37$	مقدار سایش (%)
39 ± 0.65	43 ± 0.05	43 ± 0.12	46 ± 0.12	جهندگی (%)
$38/4 \pm 0.14$	37 ± 0.16	$35/3 \pm 0.08$	$33/5 \pm 0.09$	گرماندوزی ($^{\circ}\text{C}$)

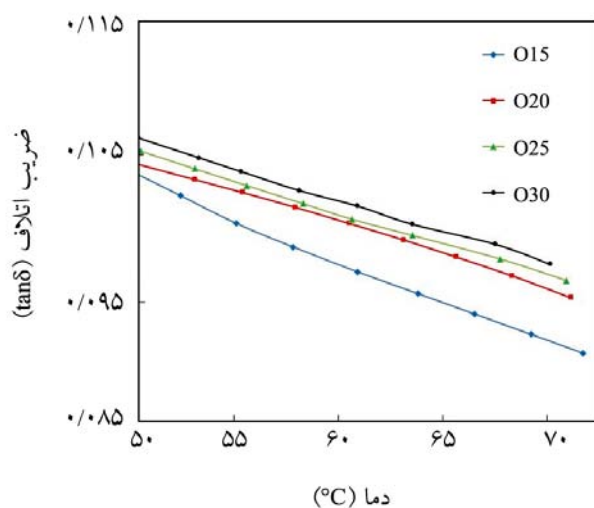
داده شده است. از آنجا که روغن باعث افزایش قدرت چنگ‌زنی می‌شود [۶]، مشاهده می‌شود که ضریب اتلاف انرژی نمونه‌ها با ازدیاد مقدار روغن افزایش یافته است. در این بین نمونه O15 با کمترین مقدار گرماندوزی، بیشترین مقاومت سایشی و استحکام کششی به عنوان نمونه بهینه انتخاب شد.

مقایسه با نمونه‌های صنعتی

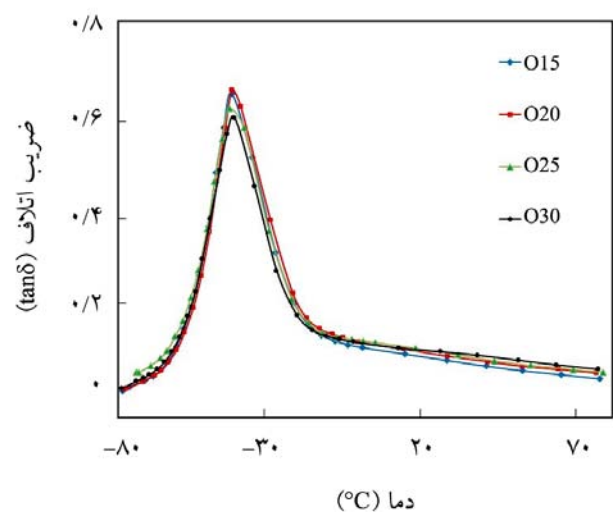
پس از مشخص شدن فرمول‌بندی آمیزه بهینه و همچنین بهبود خواص رویه تاپر، برای اثبات این ادعا، دو نمونه تولید داخل کشور از رویه

طول تا پارگی افزایش می‌یابد. همچنین، با افزایش روغن مقدار گرماندوزی [۶] و درصد سایش افزایش می‌یابد.

در شکل ۱۱، منحنی DMTA آمیزه‌های حاوی روغن در بسامد ۱ Hz و محدوده دمایی -80°C تا 80°C نشان داده شده است. برای بررسی تقریبی مقاومت غلظتی منحنی DMTA در محدوده دمایی 50°C تا 70°C در شکل ۱۲ بزرگ‌نمایی شده است. همان‌طور که انتظار می‌رود، نمونه O15 با ۱۵ قسمت وزنی روغن، که کمترین مقدار گرماندوزی را داشت، کمترین مقدار اتلاف انرژی را نیز دارد. برای مقایسه قدرت چنگ‌زنی نمونه‌ها در سطوح خیس تغییرات ضریب اتلاف انرژی در محدوده دمایی 10°C تا 10°C در شکل ۱۳ نشان



شکل ۱۲ - نمودار تغییرات ضریب اتلاف در محدوده 50°C تا 70°C بر حسب دما برای نمونه‌های حاوی دوده و روغن آروماتیک (محدوده دمایی سنجش مقاومت غلظتی).



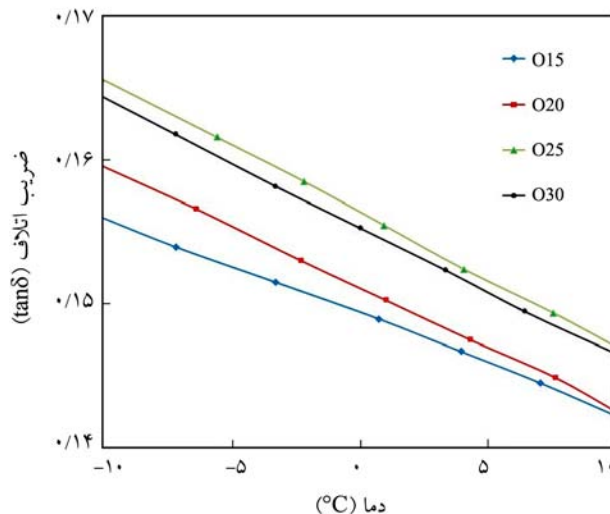
شکل ۱۱ - نمودار تغییرات ضریب اتلاف بر حسب دما برای نمونه‌های حاوی دوده و روغن آروماتیک.

جدول ۱۲- داده‌های آزمون رئومترى نمونه بهبودیافته و نمونه‌های صنعتی.

نمونه	نمونه	نمونه	مشخصه
صنعتی ۲	صنعتی ۱	بهبودیافته	
۳/۲	۴/۵	۳/۱	زمان برشتگی (min)
۶/۹	۱۰/۴	۵/۷	زمان پخت (min)
۶/۴	۶/۸	۱۱/۷	گشتاور پیشینه (N.m)
۲	۲/۱	۲/۶	گشتاور کمینه (N.m)
۴/۴	۴/۷	۹/۱	اختلاف گشتاور (N.m)

می‌شود، نمونه بهبود یافته تقریباً در تمام خواص بهتر یا مشابه با نمونه‌های صنعتی عمل کرده است. تنها، درصد ازدیاد طول تا پارگی نمونه بهبود یافته با نمونه‌های صنعتی اختلاف قابل توجهی دارد که با توجه به کاربرد این آمیزه در رویه تایر، این اختلاف اهمیت چندانی ندارد. مهم‌ترین خاصیت قابل توجه مقدار گرماندوزی است. نمونه بهبود یافته در کنار داشتن خواص مکانیکی بهتر یا مشابه با نمونه‌های صنعتی، کمترین مقدار گرماندوزی را دارد که این اختلاف با نمونه‌های صنعتی بسیار زیاد است. این امر موجب کمترین اتلاف انرژی در نمونه بهبود یافته و در نتیجه کمترین مقدار مصرف سوخت می‌شود.

در شکل ۱۴ منحنی DMTA نمونه‌ها در محدوده دمایی 80°C تا 70°C نشان داده شده است. می‌توان در نظر گرفت، نمونه بهبود یافته که کمترین مقدار اتلاف انرژی را در محدوده دمایی 50°C تا 80°C



شکل ۱۳ - نمودار تغییرات ضریب اتلاف در محدوده 10°C تا 10°C بر حسب دما برای نمونه‌های حاوی دوده و روغن آروماتیک (محدوده دمای سنجش قدرت چنگ‌زنی تایر).

تایرهای رادیال سواری از یکی از کارخانه‌های سازنده تایر، تهیه و خواص آنها با نمونه بهبود یافته این پژوهش مقایسه شد. نتایج حاصل از آزمون رئومترى در جدول ۱۲ آمده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمونه بهبود یافته دارای زمان برشتگی مشابه با نمونه‌های صنعتی و زمان پخت کوتاه‌تری در مقایسه با آنهاست. این در حالی است که اختلاف گشتاور بسیار بیشتری نسبت به نمونه‌های صنعتی دارد. خواص مکانیکی و گرمایی نمونه بهبود یافته و نمونه‌های صنعتی در جدول ۱۳ آمده است. همان‌طور که دیده

جدول ۱۳- خواص مکانیکی نمونه بهبود یافته و نمونه‌های صنعتی.

کد آمیزه			خواص
نمونه صنعتی ۲	نمونه صنعتی ۱	نمونه بهبود یافته	
۶۴	۶۸/۴	۶۱/۸	سختی
۱۶	۱۴/۲	۱۵/۶	استحکام کششی (MPa)
۱۳/۴	۱۱/۶	۱۴	مدول ۳۰٪ (MPa)
۴۵۰	۳۳۲	۳۲۹	ازدیاد طول تا پارگی (%)
۱۲۲۰	۸۱۸	۱۱۸۶	مقاومت در برابر خستگی (تعداد چرخه‌ها $\times 0.1$)
۹/۱۶	۱۳/۹۵	۹/۲۴	مقدار سایش (%)
۲۴/۴	۳۱/۵	۴۶	جهنگی (%)
۵۸/۳	۵۵/۷	۳۳/۵	گرماندوزی ($^{\circ}\text{C}$)

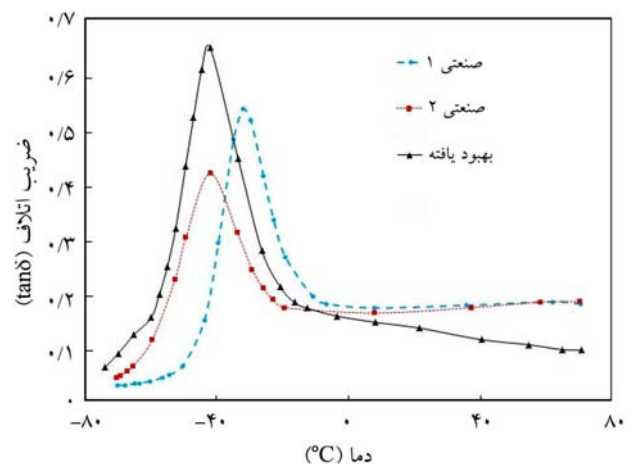
کرد، نمونه بهبود یافته همانند نمونه‌های صنعتی از قدرت چنگ‌زنی مناسبی برخوردار است.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، بهبود خواص مکانیکی - دینامیکی و گرمایی رویه یک تایر سواری با بهینه‌کردن آمیزه آن بررسی شد. نتایج آزمون‌های مختلف نشان داد، می‌توان افت خواص ناشی از کاهش مقدار دوده و همچنین استفاده از آمیخته دو نوع دوده N550 و N330 را با به‌کار بردن نسبت مناسبی از آمیخته شتاب‌دهنده‌های CBS و TMTD و نیز استفاده بهینه از روغن آروماتیک جبران کرد. مقایسه خواص نمونه بهینه شده با نمونه‌های صنعتی نیز نشان داد، نمونه بهینه شده هیچ افت خواص مکانیکی نداشته است، درحالی که با تحلیل نتایج آزمون‌های دینامیکی و گرمایی می‌توان گفت که نمونه بهینه شده گرماندوژی و حتی مقاومت غلتشی کمتر و نیز مقاومت سایشی و قدرت چنگ‌زنی مشابه با نمونه‌های صنعتی دارد.

مراجع

- Marzocca A.J., Cervený S., and Mendez J.M., Some Considerations Concerning the Dynamic Mechanical Properties of Cured Styrene-Butadiene Rubber/Polybutadiene Blends, *Polym. Int.*, **49**, 216-222, 2000.
- Wang M.J., Effect of Filler-Elastomer Interaction on Tire Tread Performance Part I. Hysteresis of Filled Vulcanizates, *Kautschuk Gummi Kunststoffe*, **60**, 438-443, 2007.
- Wang M.J., Effect of Filler-Elastomer Interaction on Tire Tread Performance Part II. Effects on Wet Friction of Filled Vulcanizates, *Kautschuk Gummi Kunststoffe*, **61**, 33-42, 2008.
- Wang M.J., Effect of Filler-Elastomer Interaction on Tire Tread Performance Part III. Effects on Abrasion, *Kautschuk Gummi Kunststoffe*, **61**, 159-165, 2008.
- Lin Y., Wang L., Zhang A., Hu H., and Zhou Y., Particle Size Distribution, Mixing Behavior, and Mechanical Properties of Carbon Black (High-Abrasion Furnace)-Filled Powdered Styrene Butadiene Rubber, *J. Appl. Polym. Sci.*, **94**, 2494-2508, 2004.
- Hess W.M. and Klamp W.K., The Effect of Carbon Black and Other Compounding Variables on Tire Rolling Resistance and Traction, *Rubber Chem. Technol.*, **56**, 390-417, 1983.
- Kandemirli F., Demirhan E., and Kandemirli M., Behavior of Furnace Black Types in Cis-Polybutadiene Rubber (CBR) Compounds and Changes in the Rheological Properties of SBR-1502/CBR-1203 Types of Rubber Compounds, *Polym. Test.*, **21**, 367-371, 2002.
- Takino H., Iwama S., Yamada Y., and Kohjiya S., Effect of Processing Additives on Carbon Black Dispersion and Grip Property of High-Performance Tire Tread Compound, *Rubber Chem. Technol.*, **70**, 15-24, 1997.
- Raepenbusch P., Pessina R., and Nichetti D., On the Depending of Tire Performance and the Degree of Mixing, *Kautschuk Gummi Kunststoffe*, **56**, 110-113, 2003.
- Shiva M. and Atashi H., Improvement in Tear Resistance and Crack Growth of Tire Tread Compound with Effective Cure Systems and Use of Semi-Reinforcement Fillers, *Iran. J. Polym.*



شکل ۱۴- نمودار تغییرات ضریب اتلاف بر حسب دما برای نمونه بهبود یافته و نمونه‌های صنعتی.

دارد، کمترین مقاومت غلتشی را نیز خواهد داشت. این اختلاف معنی‌دار در نتایج آزمون گرماندوژی نیز مشاهده شد. با مقایسه مقدار اتلاف انرژی در محدوده دمایی 10°C تا -10°C می‌توان نتیجه‌گیری

- Sci. Technol. (In Persian)*, **21**, 285-295, 2008.
11. Karak N. and Gupta B.R., Effects of Different Ingredients and Cure Parameters on Physical Properties of a Tyre Tread Compound, *Kautschuk Gummi Kunststoffe*, **53**, 30-34, 2000.
 12. Basfar A.A., Abdel-Aziz M.M., and Mofti S., Influence of Different Curing Systems on the Physico-Mechanical Properties and Stability of SBR and NR Rubbers, *Radiat. Phys. Chem.*, **63**, 81-87, 2002.
 13. Mousa A. and Karger-Kocsis J., Rheological and Thermodynamical Behavior of Styrene/Butadiene Rubber-Organoclay Nanocomposites, *Macromol. Mater. Eng.*, **286**, 260-266, 2001.
 14. Flory P.J. and Rehner J., Statistical Mechanics of Cross-Linked Polymer Networks II. Swelling, *J. Chem. Phys.*, **11**, 521-526, 1943.
 15. Goldberg A., Lesuer D.R., and Patt J., Fracture Morphologies of Carbon-Black-Loaded SBR Subjected to Low-Cycle High-Stress Fatigue, *Rubber Chem. Technol.*, **62**, 272-278, 1989.
 16. Goldberg A., Lesuer D.R., and Patt J., Observations Made During Stretching, Tearing, and Failure of NR and SBR Loaded with Various Amounts of Carbon Black, *Rubber Chem. Technol.*, **62**, 288-304, 1989.
 17. Gent A.N. and Pulford C.T.R., Micromechanics of Fracture in Elastomers, *J. Mater. Sci.*, **19**, 3612-3619, 1984.
 18. Veith A.G. and Chirico V.E., A Quantitative Study of the Carbon Black Reinforcement System for Tire Tread Compounds, *Rubber Chem. Technol.*, **52**, 748-763, 1979.
 19. Kim J.H. and Jeong H.Y., A Study on the Material Properties and Fatigue Life of Natural Rubber with Different Carbon Blacks, *Int. J. Fatigue*, **27**, 263-272, 2005.
 20. Zhao J. and Ghebremeskel G.N., A Review of Some of the Factors Affecting Fracture and Fatigue in SBR and BR Vulcanizates, *Rubber Chem. Technol.*, **74**, 409-427, 2001.
 21. Ulmer J.D., Hess W.M., and Chirico V.E., The Effects of Carbon Black on Rubber Hysteresis, *Rubber Chem. Technol.*, **47**, 729-757, 1974.
 22. Rattanasom N., Saowapark T., and Deeprasertkul C., Reinforcement of Natural Rubber with Silica/Carbon Black Hybrid Filler, *Polym. Test.*, **26**, 369-377, 2007.