

اثر اندازه نانودوده بر مقاومت غلتشی آمیزه رویه تایر

فرزانه خسروجردی^۱، هژیر کورکی^{۱*} و محمدعلی باقرزاده کوهبنانی^۲

۱- دانشکده شیمی و مهندسی شیمی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

hajir.kourki@kgut.ac.ir

چکیده: در این پژوهش، اثر اندازه نانوذرات پرکننده بر رفتار رئولوژیکی و مقاومت غلتشی نانوکامپوزیت‌های لاستیکی مورد استفاده در تایرهای خودرو بررسی شد. برای این منظور، آمیزه‌هایی شامل لاستیک‌های استایرن-بوتادیان محلولی (S-SBR) و بوتادیان (BR) با سه نوع دوده به‌عنوان پرکننده N234، N339 و N550 تهیه شدند که اختلاف آن‌ها در اندازه ذره و سطح ویژه قابل توجه بود. نمونه‌ها با دستگاه‌های بنبوری و دوغلتکه مخلوط و پس از پخت در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد تحت آزمون‌های ریومتری و مقاومت غلتشی قرار گرفتند. نتایج ریومتری نشان داد که با کاهش اندازه دوده، گرانشی و گشتاور پخت افزایش می‌یابد که ناشی از افزایش برهم‌کنش پرکننده-پلیمر و تشکیل شبکه‌های متراکم‌تر است. آزمون مقاومت غلتشی با دستگاه طراحی شده در این پژوهش نشان داد که با افزایش اندازه ذره دوده، زمان غلتش افزایش و انرژی اتلافی کاهش می‌یابد؛ به عبارتی مقاومت غلتشی کاهش می‌یابد. بهترین عملکرد مربوط به نمونه‌های حاوی دوده درشت‌تر (N550) بود. در مجموع، نتایج نشان می‌دهد که انتخاب بهینه اندازه نانوذرات می‌تواند منجر به بهبود خواص دینامیکی و کاهش مقاومت غلتشی تایرهای نسل جدید شود.

واژه‌های کلیدی: مقاومت غلتشی، نانودوده، نانوکامپوزیت، اندازه ذرات

مقدمه

مواد پلیمری، به‌ویژه آن‌هایی که در کاربردهای فنی سنگین مانند تایر خودرو استفاده می‌شوند، معمولاً نیاز به تقویت با افزودن پرکننده‌ها دارند تا عملکرد آن‌ها به‌طور چشم‌گیری بهبود یابد، زیرا خواص پلیمرهای خالص اغلب ناکافی است [۱]. نانوکامپوزیت‌ها و کامپوزیت‌های لاستیکی حاصل، به‌دلیل خواص مکانیکی و حرارتی مناسب، در صنایع مختلف از جمله خودروسازی بسیار مورد توجه هستند [۲]. در تایرها، دوده اصلی‌ترین مواد تقویت‌کننده محسوب می‌شوند. نانوذراتی مانند دوده نقش مهمی در دستیابی به تایرهایی با مقاومت سایشی بالا و مقاومت غلتشی پایین دارند که از ویژگی‌های اساسی تایرهای دوستدار محیط‌زیست به‌شمار می‌روند [۳].

اثر تقویتی پرکننده‌ها وابسته به توانایی آن‌ها در ایجاد برهم‌کنش با زمینه پلیمری و تأثیرگذاری بر دینامیک زنجیره‌های پلیمر است. از جمله متغیرهای مهمی که خواص مکانیکی و ساختار شبکه‌ای کامپوزیت را تعیین می‌کنند، اندازه ذره، سطح ویژه، مقدار پرکننده و اصلاح سطحی آن‌ها است. برای مثال، افزایش سطح ویژه منجر به برهم‌کنش قوی‌تر پرکننده-پلیمر و افزایش میزان لاستیک پیوندی می‌شود [۴، ۵]. همچنین اندازه و ساختار ذرات دوده بر خواص مانند مقاومت سایشی و رفتار مکانیکی آمیزه اثرگذار است. بنابراین، درک تأثیر تغییرات اندازه نانوذرات دوده بر برهم‌کنش‌های پرکننده-پرکننده و پرکننده-پلیمر، برای طراحی آمیزه‌های بهینه ضروری است.

مقاومت غلتشی تایر به انرژی مصرفی هنگام غلتیدن تایر در واحد مسافت گفته می‌شود و حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد از انرژی کل مصرفی خودرو را شامل می‌شود. در وسایل نقلیه سنگین، تا ۷۰ درصد از توان موتور صرف غلبه بر این مقاومت می‌شود. منشأ اصلی اتلاف انرژی در مقاومت غلتشی رفتار ویسکوالاستیک و پدیده هیستریزس مواد لاستیکی است، که طی تغییر شکل‌های چرخه‌ای، بخشی از انرژی مکانیکی به گرما تبدیل می‌شود. از دیدگاه زیست‌محیطی، افزایش مقاومت غلتشی به افزایش مصرف سوخت و در نتیجه انتشار بیشتر در اکسید کربن منجر می‌شود؛ درحالی‌که کاهش ۱۰ درصدی ضریب مقاومت غلتشی می‌تواند حدود ۱ درصد کاهش در مصرف سوخت ایجاد کند.

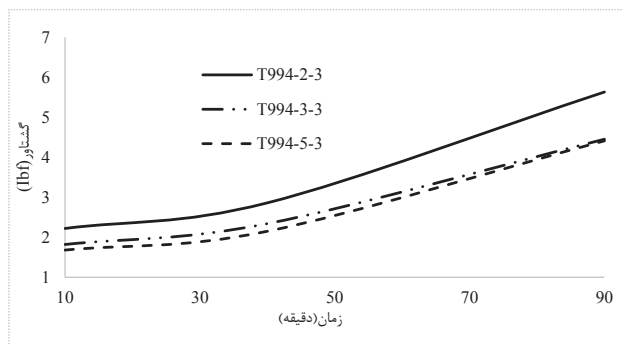
لاستیکی را فراهم ساخت.

نتیجه‌ها و بحث

آزمون مقاومت غلتشی

نتایج نشان داد که اندازه دوده تأثیر قابل توجهی بر مقاومت غلتشی دارد. در آمیزه حاوی دوده درشت‌تر (N550)، زمان غلتش بیشترین مقدار را داشت (حدود ۴۸ ثانیه) که به معنی اتلاف انرژی کمتر و مقاومت غلتشی پایین‌تر است. با کوچک‌تر شدن اندازه ذره، زمان غلتش کاهش یافت و مقاومت غلتشی افزایش پیدا کرد. علت این رفتار به افزایش سطح تماس و برهم‌کنش پرکننده-پرکننده در ذرات ریزتر مربوط می‌شود که موجب تشکیل شبکه‌های متراکم‌تر و افزایش اتلاف انرژی در حین تغییر شکل می‌شود.

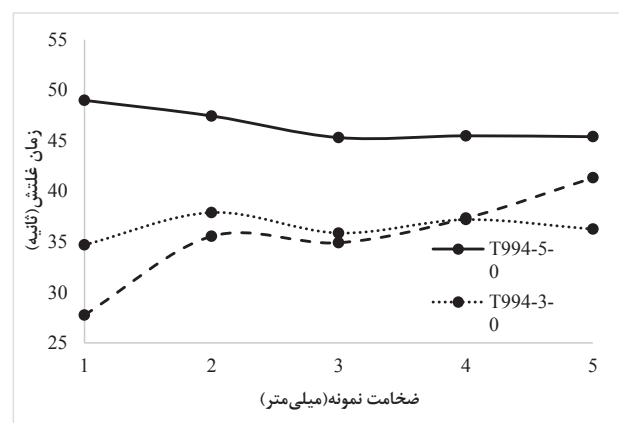
همچنین در نمونه‌های دارای دوده بسیار ریز، تجمع و کلوخه‌شدن ذرات مشاهده شد که در ضخامت‌های کم، موجب شکست موضعی شبکه و افزایش اتلاف انرژی شد. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که افزایش اندازه ذرات دوده موجب کاهش مقاومت غلتشی شده و پخش مناسب پرکننده نقش مهمی در بهبود رفتار دینامیکی لاستیک دارد.



شکل ۲- اثر اندازه سه دوده متفاوت بر گرانشی آمیزه‌ها

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان دادند که اندازه نانوذرات دوده عامل کلیدی در تعیین رفتار دینامیکی و رئولوژیکی آمیزه‌های لاستیکی است. ذرات ریزتر (مانند N234) به دلیل سطح ویژه بالا، شبکه‌های فشرده‌تری ایجاد می‌کنند که موجب افزایش گرانشی و اتلاف انرژی می‌شود؛ درحالی‌که ذرات درشت‌تر (N550) با پراکندگی یکنواخت‌تر، موجب کاهش گرانشی و مقاومت غلتشی می‌شوند. تحلیل ریومتری پخت نشان داد که افزایش اندازه ذرات با کاهش گشتاور پخت و بهبود فرایندپذیری همراه است. داده‌های مقاومت غلتشی نیز تأیید کردند که آمیزه‌های حاوی دوده درشت‌تر انرژی کمتری در اثر تغییر شکل از دست می‌دهند و بنابراین پتانسیل بالایی برای تولید تایرهای کم‌مصرف دارند. در نتیجه، کنترل دقیق اندازه و توزیع نانوذرات پرکننده می‌تواند تعادلی بهینه بین مقاومت غلتشی، فرایندپذیری و خواص مکانیکی ایجاد کند. یافته‌های این پژوهش می‌تواند به عنوان مبنایی برای طراحی تایرهای نسل جدید با راندمان سوخت بالا و انتشار کمتر CO₂ مورد استفاده قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده تأثیر ترکیب هیبریدی دوده-سیلیکا و اصلاح سطحی پرکننده‌ها نیز برای بهبود بیشتر عملکرد تایر بررسی شود.



شکل ۱- بررسی اثر اندازه دوده بر مقاومت غلتشی

آزمون ریومتری

در این پژوهش، آزمون ریومتری به منظور بررسی رفتار رئولوژیکی و فرایند پخت آمیزه‌های لاستیکی انجام شد. رئومتر ابزاری است که با اعمال تنش یا کرنش به نمونه، پاسخ آن را در قالب گشتاور ثبت می‌کند و از این طریق ویژگی‌های ویسکوالاستیک ماده را تعیین می‌کند. بررسی رفتار رئولوژیکی در لاستیک‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا جریان‌پذیری، پخت و خواص مکانیکی نهایی

مراجع

- [1] Klein, T., et al., Effect of nano-silica and carbon nanotubes on the rheology and flammability behavior of epoxy. Nano-Structures & Nano-Objects, 2024. 39.
- [2] Kalantari, M., R. Abdi, and A.A. Katbab, Investigating the viscoelastic and hysteresis behavior of nano silica/carbon black hybrid reinforced styrene-butadiene rubber vulcanizates via surface silanization. Polymer Engineering & Science, 2023. 63(7): p. 2309-2320.
- [3] Kourki, H., F. Khosrojerdi, and M.A. Bagherzadeh, The Impact of Adding Nanosilica to Tire Formulation on Rolling Resistance and Air Pollution. Journal of Urban Management and Environmental Engineering, 2023. 1(3): p. 1-13.
- [4] Khosrojerdi, F., H. Kourki, and M.A. Bagherzadeh, The evaluation of the relationship between the microstructure and properties of the tire tread containing carbon black/silica hybrid nanoparticles. Journal of Composite Materials, 2023. 57(25): p. 3953-3964.
- [5] Farsangi, S.M., H. Kourki, and H.M. Shahrbabaki, Application of rheology as a tool to estimate the mixing quality of elastomeric nanocomposites and comparing with small-angle X-ray scattering microstructural study. Journal of Elastomers & Plastics, 2023.
- [6] Kourki, H., M.A. Bagherzadeh, and M.R. Karamooz-Ravari, Development of a portable pendulum rolling resistance device for characterizing the properties of elastomeric nanocomposites. Journal of Composite Materials, 2025.