

ارزیابی استفاده از روغن‌های زیست‌پایه (Bio-oils) در آمیزه تایرهای سنگین برای کاهش اتلاف انرژی و افزایش پایداری حرارتی

پریسا مربی^{۱*}، سمراء نیک بخت سرداری^۲ و رضا عابدی^۳

۱- کارشناس تکنولوژی، شرکت لاستیک سیلان رازی

۲- کارشناس تضمین کیفیت، شرکت لاستیک سیلان رازی

۳- رئیس مهندسی آمیزه، شرکت لاستیک سبلان رازی

parisamorabbi@gmail.com

چکیده: کاهش اتلاف انرژی (Rolling Resistance) و بهبود پایداری حرارتی از چالش‌های کلیدی در طراحی تایرهای سنگین پایدار است. در این پژوهش، تأثیر جای‌گزینی روغن‌های معدنی رایج با روغن‌های زیست‌پایه مشتق‌شده از روغن سویا و روغن کلزا در آمیزه‌های لاستیکی SBR/BR مورد ارزیابی قرار گرفت. سه فرمولاسیون آمیزه با جای‌گزینی ۳۰٪ (شاهد)، ۶۰٪ و ۱۰۰٪ روغن معدنی با روغن زیست‌پایه تهیه شد. نتایج آزمون‌های دینامیکی-مکانیکی نشان داد که آمیزه حاوی ۶۰٪ روغن زیست‌پایه، ضریب اتلاف انرژی ($\tan \delta$) را در دمای 60°C تا 20°C کاهش داده است. هم‌چنین، آزمون TGA نشان داد که دمای تخریب اولیه در این آمیزه 18°C بالاتر از نمونه شاهد است که بیانگر پایداری حرارتی بهبودیافته است. افزون‌بر این، آزمون‌های سایش و کشش تأیید کردند که خواص مکانیکی در محدوده قابل‌قبول باقی‌مانده‌اند. نمودار مقایسه $\tan \delta$ در دماهای مختلف، برتری عملکرد پویایی آمیزه‌های زیست‌پایه را به‌وضوح نشان می‌دهد. این یافته‌ها گویای پتانسیل بالای روغن‌های زیست‌پایه در توسعه تایرهای سبز، کارآمد و پایدار برای کاربردهای صنعتی است.

واژه‌های کلیدی: روغن زیست‌پایه، تابر سنگین، اتلاف انرژی، پایداری حرارتی، آمیزه لاستیکی، پایداری زیست‌محیطی

فرمولاسیون آمیزه‌ها

سه آمیزه طبق جدول ۱ تهیه شد:

جدول ۱- فرمولاسیون آمیزه‌ها (phr)

ت ترکیبات	شاهد (%)	BIO-OIL (30%)	BIO-OIL (60%)
SBR	۶۰	۶۰	۶۰
BR	۴۰	۴۰	۴۰
کربن پلک N234	۵۰	۵۰	۵۰
روغن معدنی	۱۰	۷	۴
روغن زیست پایه	۰	۳	۶
سایر افزودنی ها	ثابت	ثابت	ثابت

فرایند اختلاط و ولکانش

آمیزه‌ها در مخلوط‌کن داخلی (Brabender) در دو مرحله تهیه شدند. مرحله اول در 150°C و مرحله دوم (ولکانش) در 150°C با زمان t_{90} طبق استاندارد ASTM D2084 انجام شد [۵].

بخش آزمایشگاهی

آزمون DMA تحلیل دینامیکی-مکانیکی

آزمون DMA با دستگاه TA Instruments Q800 در محدوده دمایی ۱۰۰ °C تا ۶۰ °C ثبت شد [۶].
و فرکانس ۱۰ Hz انجام شد. پارامتر $\tan \delta$ به عنوان شاخص اتلاف انرژی در دمای

آزمون TGA تحلیل گرماوزنی

پایداری حرارتی با دستگاه TGA (Perkinelmer) در جو نیتروژن و با نرخ گرمایش $10^\circ\text{C}/\text{min}$ از 30°C تا 600°C بررسی شد. دمای تخریب اولیه ($T_5\%$) به عنوان معیار پایداری در نظر گرفته شد [۷].

مقدمه

تایرهای خودروهای سنگین سهم قابل توجهی در مصرف سوخت جهانی دارند؛ به‌طوری‌که تا ۳۰٪ مقاومت حرکتی یک کامیون ناشی از اتلاف انرژی تایر است [۱]. این اتلاف انرژی نه‌تنها منجر به افزایش مصرف سوخت و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود، بلکه باعث گرمایش داخلی لاستیک و کاهش عمر آن نیز می‌شود [۲]. یکی از راه‌کارهای مؤثر برای کاهش اتلاف انرژی، بهینه‌سازی فاز نرم‌کننده (plasticizer/oil) در آمیزه لاستیکی است.

روغن‌های معدنی رایج که عمدتاً از فرایندهای نفتی تولید می‌شوند افزون‌بر وابستگی به سوخت‌های فسیلی، تمایل بالایی به مهاجرت و تبخیر در دماهای بالا دارند که پایداری حرارتی را کاهش می‌دهد [۳]. در مقابل، روغن‌های زیست‌پایه Bio-oils که از چربی‌های گیاهی مانند سویا، کلزا یا آفتابگردان استخراج می‌شوند دارای ساختار شیمیایی غنی از اسیدهای چرب غیراشباع هستند که می‌توانند با زنجیره‌های پلیمری لاستیک تعامل مؤثرتری داشته باشند [۴].

در این پژوهش، تأثیر جای‌گزینی تدریجی روغن معدنی با مخلوطی از روغن سویا و روغن کلزا (با نسبت ۱:۱) در آمیزه SBR/BR موردبررسی قرار گرفت. هدف اصلی، دستیابی به ترکیبی است که هم‌زمان اتلاف انرژی را کاهش دهد، پایداری حرارتی را افزایش دهد و خواص مکانیکی را حفظ کند.

بخش تجربی

مواد اوليه

- پلیمر: SBR 1502 و BR (Nd-polybutadiene)
- پرکننده: کربن بلک N234
- روغن معدنی: TDAE (Treated Distillate Aromatic Extract)
- روغن زیست‌پایه: مخلوط ۵۰/۵۰ روغن سویا و کلزای صنعتی (درجه صنعتی، بدون هیدروژناسیون)
- سایر افزودنی‌ها: سولفور، 6PPD، CBS

آزمون های مکانیکی

- کشش: طبق ASTM D412
- سایش: طبق ISO 4649
- سختی: طبق ASTM D2240

• Bio-oil 60%: پایین ترین مقدار در تمام دماها

• نکته کلیدی: هر سه آمیزه در دمای پایین (۰ تا ۲۰ °C) تفاوت جزئی دارند. این نتیجه به وضوح نشان می دهد که روغن زیست پایه بدون تأثیر منفی بر چسبندگی در دماهای پایین، اتلاف انرژی را در دماهای کاری (۶۰ °C) کاهش می دهد ویژگی ای که برای "تایرهای سبز" بسیار ارزشمند است [۱۱].

نتیجه ها و بحث

کاهش اتلاف انرژی

نتایج DMA نشان داد که با افزایش درصد روغن زیست پایه، مقدار $\tan \delta$ در دمای ۶۰ °C کاهش می یابد:

• شاهد: $\tan \delta = 0.128$

• Bio-oil 30%: $\tan \delta = 0.115$ (کاهش ۱۰٪)

• Bio-oil 60%: $\tan \delta = 0.101$ (کاهش ۲۱٪)

این کاهش نشان دهنده کاهش چشمگیر اتلاف انرژی و در نتیجه مقاومت غلتشی پایین تر است [۸].

پایداری حرارتی

آزمون TGA نشان داد که دمای تخریب اولیه ($T_s\%$) در نمونه Bio-oil 60% به ۳۶۸ °C رسید، در حالی که در نمونه شاهد این مقدار ۳۵۰ °C بود یعنی افزایش ۱۸ °C در پایداری حرارتی [۹].

خواص مکانیکی

سختی آمیزه ها کاهش جزئی نشان داد از ۶۵ Shore A به ۶۸ Shore A، اما استحکام کششی و ازدیاد طول در نقطه پارگی در محدوده قابل قبول باقی ماند. حجم سایش نیز تنها ۸٪ افزایش یافت که در شرایط تایر سنگین قابل چشم پوشی است [۱۰].

مقایسه $\tan \delta$

$\tan \delta$ در برابر دما برای سه آمیزه.

• شاهد: بالاترین مقدار در ۶۰ °C

بخش مقایسه ای

جدول ۲- مقایسه عملکرد آمیزه های زیست پایه با روش های جایگزین

روش	کاهش ΔTAN (60°C)	افزایش T5% (°C)	هزینه اضافی	تأثیر بر سایش
سیلیکا + سیلان	۲۵	+۵	بسیار بالا	کاهش
روغن های آروماتیک	۵	-۳	پایین	افزایش جزئی
روغن زیست پایه (۶۰٪)	۲۱	+۱۸	متوسط	افزایش جزئی (قابل قبول)

همان طور که مشاهده می شود، روغن زیست پایه نه تنها از نظر کاهش اتلاف انرژی رقابت پذیر است، بلکه پایداری حرارتی را به طور چشم گیری بهبود می بخشد—مزیتی که روش های سنتی فاقد آن هستند [۱۲].

نتیجه گیری

این پژوهش نشان داد که جایگزینی تا ۶۰ روغن معدنی با روغن های زیست پایه گیاهی در آمیزه های تایر سنگین، می تواند به طور هم زمان اتلاف انرژی را کاهش دهد و پایداری حرارتی را افزایش دهد. این دو ویژگی، کلید دستیابی به تایرهایی با مصرف سوخت پایین تر، عمر بالاتر و رد پای کربنی کمتر هستند. افزون بر این، خواص مکانیکی در سطحی قابل قبول باقی ماند که امکان استفاده صنعتی این فناوری را فراهم می کند. باتوجه به روند جهانی گرایش به مواد زیست پایه، روغن های زیست پایه می توانند جایگزین پایدار و کارآمدی برای روغن های نفتی در صنعت لاستیک باشند.

مراجع

- [1] ISO 28580:2018. Passenger car, truck and bus tyre rolling resistance measurement method.
- [2] Gent, A. N. (2012). Engineering with Rubber: How to Design Rubber Components. Hanser Publishers.
- [3] Wang, M. J., & Wolff, S. (1996). Filler-elastomer interactions and reinforcement. Rubber Chemistry and Technology, 69(3), 325–341.
- [4] Zhang, S., et al. (2020). Bio-based plasticizers for sustainable rubber compounds. Polymer Degradation and Stability, 178, 109192.
- [5] ASTM D2084-21. Standard Test Method for Rubber Property—Vulcanization Using Oscillating Disk Cure Meter.
- [6] Heinrich, G., & Klüppel, M. (2002). Rubber friction and tire dynamics. Rubber Chemistry and Technology, 75(3), 355–372.
- [7] Liu, Y., et al. (2019). Thermal stability of bio-oil modified rubber composites. Journal of Applied Polymer Science, 136(24), 47652.
- [8] Schaefer, D. W., & Justice, R. S. (2007). How nano are nanocomposites? Macromolecules, 40(24), 8503–8517.
- [9] Ismail, H., & Sam, S. T. (2011). Thermal properties of epoxidized natural rubber bio-composites. Polymer Testing, 30(1), 33–39.
- [10] ISO 4649:2017. Rubber, vulcanized or thermoplastic — Determination of abrasion resistance.
- [11] Bhowmick, A. K., & Stephens, H. L. (2001). Handbook of Elastomers. CRC Press.
- [12] Gupta, A., et al. (2022). Sustainable tire materials: A review of bio-based alternatives. Progress in Rubber Plastics and Recycling, 38(2), 89–107.