علمی- فنی

بررسی روغن پالم اپوکسید شده به عنوان کمک فرایند و فعال‌کننده‌ی سبز در آمیزه‌های لاستیکی

Investigation of Epoxidized Palm Oils as Green Processing Aids and Activators in Rubber Composites

چکیده:

روغن پالم اپوکسید شده (EPO) کمک فرایندی سازگار با محیط‌زیست، زیست تخریب‌پذیر و به‌نسبت مقرون به‌صرفه است. در این مطالعه، جایگزینی EPO با روغن آروماتیک (AO)، روغن استخراج شده‌ی آروماتیک تقطیر شده‌ی اصلاح شده (TDAE) و روغن پالم اصلاح‌نشده (PO) در کائوچوی استایرن بوتادی‌ان (SBR) بررسی‌شده است. مشخصات پخت، خواص مکانیکی، مقاومت سایشی و خواص گرمازایی آمیزه حاوی EPO با نمونه‌های استاندارد حاوی روغن‌های آروماتیک مقایسه شد. آمیزه‌های لاستیکی حاوی EPO، بهبود خواص مکانیکی شامل مدول، استحکام کششی و ازدیاد طول در نقطه پارگی از خود نشان دادند. این اتفاق به بهبود پراکنش پرکننده‌ها در بستر کائوچو و برهم‌کنش بین پرکننده و کائوچو برمی‌گردد. افزون‌بر این، استفاده از EPO در مقادیر کم باعث مقاومت سایشی، جهندگی و گرمازایی قابل‌توجهی می‌شود. EPO در آمیزه‌های لاستیکی به‌عنوان یک ماده اولیه تجدیدپذیر است که می‌تواند جایگزین روغن‌های نفتی در کاربردهای مختلف شود. این پژوهش، مسیر جدیدی را برای آمیزه‌های لاستیکی با عملکرد عالی در مصارف مهندسی گوناگون باز می‌کند.

واژه‌های کلیدی: روغن پالم اپوکسید شده، کائوچوی استایرن بوتادی‌ان، روغن‌های فرایندی.

نوع مقاله: پژوهشی

امین ایران‌پوری[1و*]، حامد بروستان[2]

۱- کارشناسی ارشد مهندسی پلیمر- دانشگاه تهران، شرکت ایران یاسا، تهران، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی مهندسی شیمی- دانشگاه صنعتی شاهرود، شرکت ایران یاسا، تهران، ایران

*** عهده‌دار مکاتبات:**

iranpoory@gmail.com

مقدمه

روغن‌های نفتی که از مشتقات صنعت پتروشیمی به‌دست می‌آیند، به عنوان نرم‌کننده برای کائوچوهای طبیعی و مصنوعی در صنعت تایر استفاده می‌شوند [۲ تا ۱]. از بین این روغن‌های نفتی، روغن‌های آروماتیک، نفتینیک و پارافینیک غالباً به عنوان کمک فرایند، همراه با سیستم‌های پخت پراکسیدی به‌کار می‌روند [۴]. با این حال این موضوع قابل توجه است که روغن‌های نفتی رو به اتمام هستند و اثرات نامطلوبی بر سلامت انسان می‌گذارند. از این رو، تقاضای رو به رشدی برای

یافتن روغن‌های جایگزینی که تجدیدپذیر، ایمن، ماندگار[1] و سازگار با محیط‌زیست باشند، به وجود آمده است [۵].

روغن‌های گیاهی به دلیل پایداری، قیمت ارزان و سازگاری با محیط‌زیست، یک منبع طبیعی قابل توجه برای سنتز بسپارهای پایه‌زیستی[2] هستند [۷ تا ۶] . کاربرد این روغن‌ها به عنوان نرم‌کننده، به علت قابلیت آن‌ها در جایگزینی با مشتقات پتروشیمی در صنعت پلاستیک و لاستیک موردتوجه محققان قرارگرفته است. Dasgupta و همکاران گزارش کرده‌اند که روغن پالم (PO) در بستر لاستیکی به عنوان یک کمک فرایند دوستدار محیط‌زیست، با بهبود خواص پراکنش و برهم‌کنش بین کائوچو و پرکننده، فرایندپذیری بهتری را از خود نشان می‌دهد [۸]. Kuriakose و Varghese دریافتند که در مقدار ثابت (phr 1) روغن گیاهی، آمیزه دارای خواص مکانیکی بهتری نسبت به روغن پارافینیک است. روغن سبوس برنج عاری از اسیدهای چرب باعث افزایش خواص فیزیکی آمیزه کائوچوی طبیعی پرشده با دوده و آمیخته‌های پلی‌کلروپرن می‌شود [۹].

در سال‌های اخیر، از روغن‌های گیاهی اصلاح شده برای اصلاح بسپارهای گرماسخت و سنتز بسپارهای جدید به منظور افزایش بازده تولید کف‌پوش مشمع کف اتاق[3] استفاده‌شده است [۱۱ تا ۱۰]. به‌طورکلی، در نظر گرفته می‌شود که روغن پالم اپوکسید شده (EPO) به‌طور شیمیایی اصلاح و از طریق اپوکسی‌دار شدن و آکریل‌دار شدن واکنش اپوکسید با مالئیک انیدرید، تری‌گلیسیرید را به یک گروه واکنش‌پذیر تبدیل می‌کند [۱۶ تا ۱۳]. اپوکسی‌دار شدن روغن پالم با واردکردن آن در یک فرایند اکسایش انجام می‌شود. فرایند اپوکسی‌دار شدن، یک واکنش شیمیایی به منظور تبدیل پیوند دوگانه کربن-کربن به گروه عاملی اپوکسی در روغن گیاهی بوده که یک اتر حلقوی با سه‌اتم است. امروزه این فرایند بسیار مهم است، زیرا اپوکسیدهای به دست آمده از روغن گیاهی می‌توانند به‌عنوان مواد اولیه در دمای زیاد برای الکل یا گیلکول‌ها مورداستفاده قرار گیرند. EPO نه‌تنها پایداری روغن را افزایش می‌دهد، بلکه باعث ایجاد واکنش‌پذیری مناسبی برای تشکیل پیوندهای شیمیایی با بسپارهای دیگر نیز می‌شود. Rosli و همکاران، پخت یک سیستم EPO-دی‌اپوکسید سیکلوآلیفاتیک با یک حلقه‌ی اکسیران[4] به عنوان عامل پخت را برای تولید چندسازه‌های بسپاری با استفاده از تابش UV مطالعه کردند [۱۷]. همچنین، Jayewardhana و همکاران از روغن سویا اپوکسید شده در رزین اپوکسی به عنوان عامل چقرمگی به منظور افزایش استحکام ضربه استفاده کردند [۱۸]. بنابراین، پژوهشگران می‌توانند سیستم شبکه اپوکسی را به عنوان کمک فرایند ترکیب کنند. با وجود این‌که تقویت بسپارهای پلاستیکی با بهره‌گیری از اثرات EPO موردتوجه قرارگرفته است، پژوهش‌های کمی، استفاده از همین اثر را در بستر لاستیکی بررسی کرده است. در این پژوهش، لازم است به منظور بررسی مناسب بودن EPO به عنوان یک ماده‌ی کمک فرایند و فعال‌کننده، برهم‌کنش‌های فیزیکی و شیمیایی آن با کائوچوی استایرن بوتادی‌ان بررسی شود.

در این مقاله، SBR به عنوان بستر لاستیکی انتخاب و به‌طور موفقی آمیزه‌های لاستیکی چندمنظوره‌ای بر پایه SBR/EPO تهیه شدند. EPO یک افزودنی کشسان نویدبخش است، زیرا مدول، استحکام کششی و ازدیاد طول در نقطه پارگی را افزایش میدهد. همچنین، بهبود پراکنش پرکننده‌ها در بستر لاستیکی، اثر هم‌افزایی چشم‌گیری بر بهبود مقاومت سایشی، گرمازایی و خواص جهندگی دارد. بر اساس این نتایج می‌توان تأیید کرد که روغن‌های ترکیبی بر پایه‌ی روغن پالم می‌تواند به عنوان افزودنی‌های چندمنظوره

1. Sustainable
2. Bio-based
3. Linoleum floor cloth
4. Oxirane

در آمیزه‌های لاستیکی استفاده شود.

بخش تجربی

۱- مواد و آمیزه‌سازی

مواد و فرمول‌های مختلف آمیزه‌ی روغن/SBR در جدول ۱ خلاصه‌شده است. آمیزه‌ها با مخلوطکن داخلی با روغن پالم اپوکسید شده (EPO) تولیدشده تا با آمیزه‌های حاوی روغن‌های مختلف مانند روغن آروماتیک (AO)، روغن استخراج شده‌ی آروماتیک تقطیر شده‌ی اصلاح شده (TDAE) و روغن پالم اصلاح‌نشده (PO) مقایسه شوند. در ابتدا SBR (۱۰۰ phr) با ۵۰ phr دوده و ۳ phr از روغن‌های مختلف در مخلوطکن بنبوری با سرعت ۶۰ rpm مخلوط و سپس، عوامل پخت و مواد افزودنی به منظور شروع فرایند پخت به آن افزوده شود. آمیزه‌ها در یک قالب آلومینیومی قرار گرفتند و تحت فشار (۰٫۴۵ MPa) و در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت t_{90} (زمان بهینه‌ی پخت به‌دست آمده از رئومتر) پخت شد [۱۹].

۲- روش تخریب گرمایی

نمونه‌های دمبلی شکل با ضخامت ۰٫۵ mm از آمیزه‌های لاستیک حاوی روغن‌های مختلف تهیه شد. تمامی نمونه‌ها (EPO/SBR،AO/SBR، PO/SBR، TDAE/SBR) در یک گرم خانه با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۶۸ ساعت قرار گرفتند تا واکنش تخریب گرمایی انجام شود.

۳- تعیین مشخصات

بررسی مشخصات پخت با استفاده از رئومتر MDR (DRM-100(LP-171) در مدت ۳۰ دقیقه و در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. همچنین، سختی با استفاده از سختی‌سنج دستی بر اساس TECLOCK اندازه‌گیری شد. آزمون کشش با سرعت ۵۰۰ mm/min توسط دستگاه Instron (Instron Co., UK) اندازه‌گیری شد. نمونه‌های دمبلی شکل به طول ۱۰۰ mm و عرض ۵ mm بودند. برای هر نمونه حداقل ۴ آزمون انجام‌شده است. آزمون‌های دینامیکی با استفاده از یک دستگاه آنالیز دینامیکی- مکانیکی (model DMA 50N01Db; Metravib, France) در حالت کشش انجام گرفت. وابستگی دمایی (روبش دمایی[1]) برای مدول ذخیره و ضریب اتلاف (که با $\tan\delta$ نشان داده می‌شود و برابر با نسبت مدول اتلاف به مدول ذخیره است) از ۵۰- تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و با آهنگ گرمایش ۳

جدول ۱- فرمول‌بندی آمیزه‌های روغن/SBR مختلف

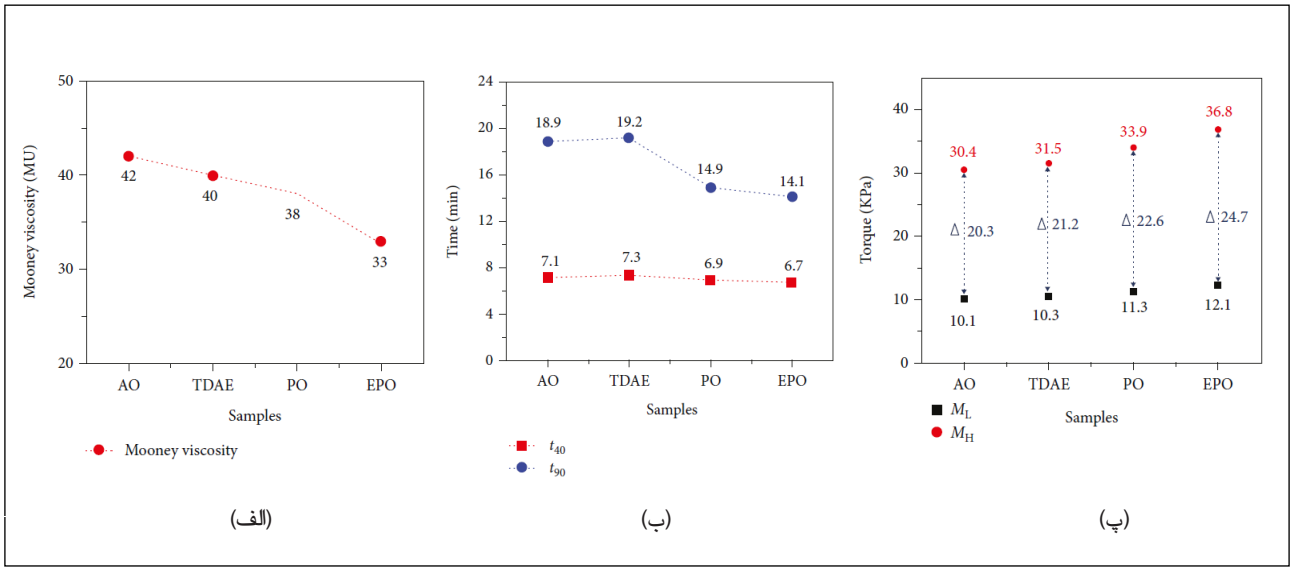
مواد	شرکت تأمین‌کننده	EPO	PO	TDAE	AO
SBR	Kumho Petrochemical Co. Ltd., Korea	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
دوده N330	OCI Co. Ltd., Korea	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰
اسید	Sigma-Aldrich	۱	۱	۱	۱
AO	Kumho Petrochemical Co. Ltd., Korea	–	–	–	۳
TDAE	Kumho Petrochemical Co. Ltd., Korea	–	–	۳	–
PO	Kumho Petrochemical Co. Ltd., Korea	–	۳	–	–
EPO	Kumho Petrochemical Co. Ltd., Korea	۳		–	–
گوگرد	Sigma-Aldrich	۱/۷۵	۱/۷۵	۱/۷۵	۱/۷۵
اکسیدروی	Sigma-Aldrich	۲	۲	۲	۲
TBBS	Shandong Shanxian Co. Ltd., China	۱	۱	۱	۱

1. Temperature sweep

درجه سانتی‌گراد بر دقیقه و بسامد ۱۰ هرتز اندازه‌گیری شد. خواص خستگی آمیزه‌ها با استفاده از دی‌متیا ((Ueshima, D430-06(ASTM)) به‌دست آمد. مقاومت سایشی و جهندگی آمیزه‌های لاستیکی به ترتیب با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری مقاومت سایشی DIN (GT-KB02, ASTM D3389-19) و دستگاه آزمون جهندگی (RB 3000) انجام شد.

نتایج و بحث

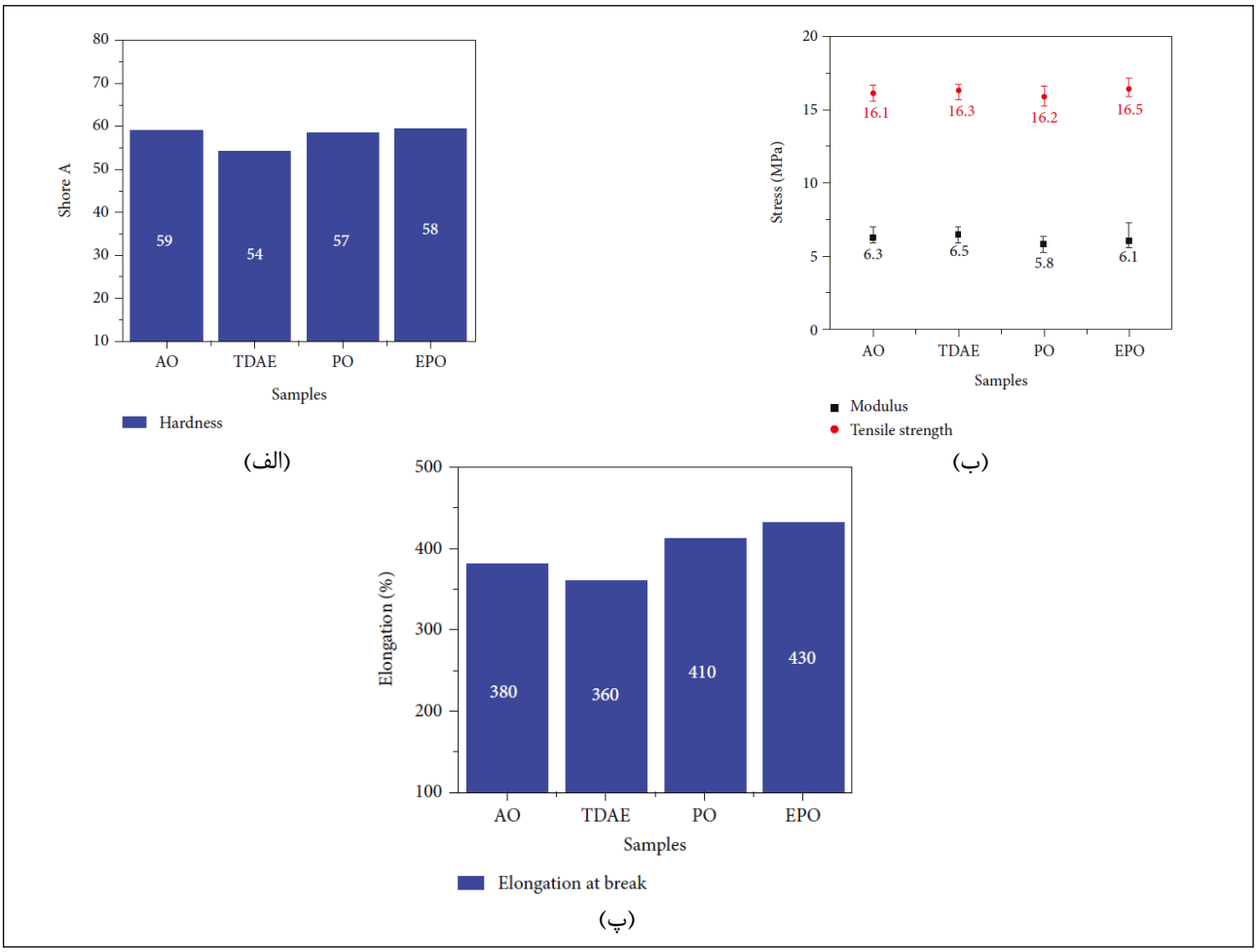
فرایندپذیری آمیزه‌ها با روغن‌های متفاوتی مانند TDAE، AO و PO مهم است و با کمک ارزیابی مشخصات پخت مانند زمان پخت، گرانروی مونی و حداکثر و حداقل گشتاور پخت به‌دست آمد. به‌طورکلی، گرانروی مونی به عنوان شاخص فرایندپذیری آمیزه‌های لاستیکی مورداستفاده قرار می‌گیرد. همان‌طور که در شکل ۱-الف نشان داده‌شده است، EPO، گرانروی مونی و گرانروی برشی ظاهری آمیزه‌های لاستیکی را کاهش می‌دهد و باعث بهبود فرایند تولید می‌شود. مشخصات پخت بر اساس t_{40} (زمان برشتگی) و t_{90} (زمان پخت) برای لاستیک‌ها با روغن‌های مختلف در شکل ۱-ب نشان داده‌شده است. زمان برشتگی و زمان پخت برای لاستیک حاوی PO و EPO کوتاه‌تر از سایر آمیزه‌های لاستیکی است. زیرا گروه اپوکسی می‌تواند عامل پخت فعال تشکیل دهد [۲۰] که در شکل ۱-ب نشان داده‌شده است. مقایسه‌ای از گشتاور آمیزه‌های لاستیکی با روغن‌های متفاوت در شکل ۱-پ به نمایش در آمده است. مقدار $M_H - ML$(اختلاف گشتاور که معیاری از چگالی اتصالات عرضی است) در آمیزه‌های لاستیکی EPO (۲۴/۷ مگاپاسکال)، نسبت به دیگر آمیزه‌های لاستیکی، افزایش‌یافته است [۲۴-۲۱]. EPO به دلیل خاصیت قطبی و برقراری اتصالات عرضی قوی‌تر با کائوچو از طریق گروه‌های اپوکسید EPO در حین پخت، سازگاری بیشتری با SBR دارد و پراکنش پرکننده‌ها را در بستر لاستیکی بهبود می‌بخشد. این مسئله علت بهبود خواص مکانیکی آمیزه‌ی لاستیکی نشان داده‌شده در شکل ۲ است.



شکل ۱- خواص پخت آمیزه‌های لاستیکی. (الف) خواص پخت آمیزه‌های لاستیکی با روغن‌های مختلف. (ب) گرانروی مونی آمیزه‌های لاستیکی با روغن‌های مختلف. (پ) گشتاور آمیزه‌های لاستیکی با روغن‌های مختلف

خواص مکانیکی آمیزه‌های لاستیکی حاوی EPO با سایر روغن‌ها در شکل ۲ بررسی‌شده است. در شکل ۲-الف سختی نمونه‌های مختلف تفاوت چندانی ندارد. مدول و استحکام کششی آمیزه‌های لاستیکی حاوی روغن‌های متفاوت در شکل ۲-ب نشان داده‌شده است. استحکام کششی (T/S) آمیزه EPO به ترتیب ۳ و ۲ درصد نسبت به آمیزه‌های AO و PO افزایش داشته است. این پدیده به دلیل بهبود پراکنش و اتصالات بین سطحی قوی پرکننده‌ها در داخل بستر لاستیکی با گروه اپوکسی EPO است. افزون‌بر این، مطابق شکل ۲-پ افزایش طول در نقطه‌ی پارگی آمیزه‌ی لاستیکی حاوی EPO (۴۳۰ درصد) نسبت به آمیزه‌ی AO (۳۳۰ درصد) افزایش‌یافته است. تقویت‌کنندگی بیشتر به محدودیت حرکت زنجیرهای کائوچو و افزایش چسبندگی بین سطحی پرکننده‌ها و کائوچو از طریق بهبود پراکنش پرکننده‌های درون بستر لاستیکی با EPO مربوط می‌شود. استحکام کششی آمیزه‌ی لاستیکی حاوی EPO (۳ phr) بسیار بیشتر از سایر آمیزه‌ها است. این موضوع نشان می‌دهد که بار مکانیکی اعمال‌شده به دلیل برهم‌کنش بین‌سطحی و پراکنش یکنواخت به پرکننده‌ها منتقل می‌شود [۱۷].

در طیف FTIR روغن‌های پالم اپوکسید شده (EPO)، چهار

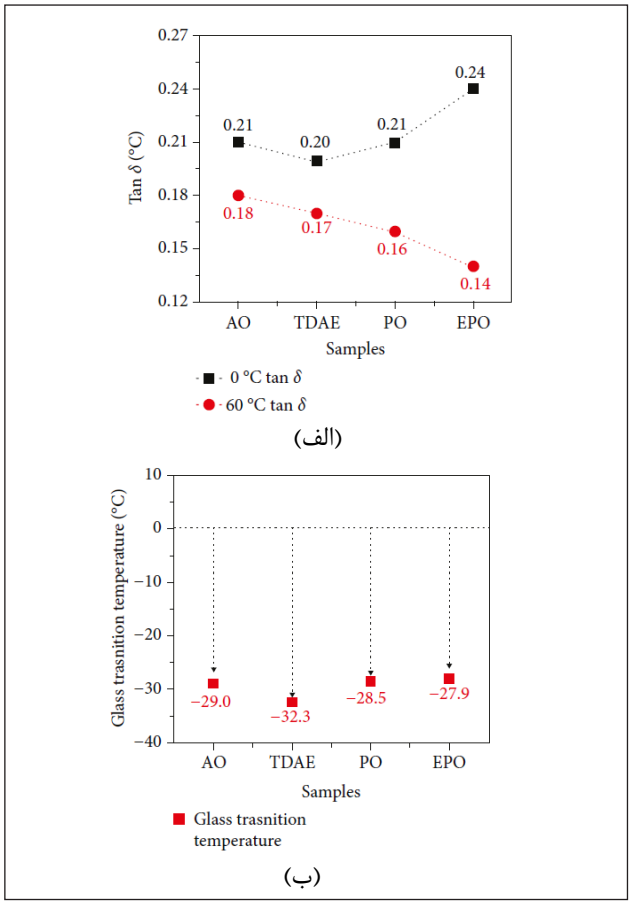


شکل ۲- خواص مکانیکی آمیزه‌های لاستیکی. (الف) سختی آمیزه‌های لاستیکی با روغن‌های مختلف. (ب) مدول کشسان و استحکام کششی آمیزه‌های لاستیکی با روغن‌های مختلف. (پ) ازدیاد طول آمیزه‌های لاستیکی با روغن‌های مختلف.

پیک مشخصه مربوط به کشش C-O-C، C=C، CH_2- و CH_3- در دیده می‌شود. در آمیزه‌ی لاستیکی بدون روغن، پرکننده‌های دوده به صورت انبوهه‌های کروی شکل در اندازه‌های مختلف (از خوشه‌های چند میکرونی تا کوچکتر از یک میکرون) مشاهده شد. اما در آمیزه‌های لاستیکی حاوی EPO انبوهه‌های بزرگی مشاهده نشد و دوده به صورت خوشه‌های یک میکرونی و حتی کوچکتر به خوبی در سراسر بستر لاستیکی توزیع‌شده بود.

از آن‌جایی‌که، بسیاری از لاستیک‌های مهندسی تحت بارگذاری دینامیکی قرار می‌گیرند، خواص دینامیکی مکانیکی (DMA) آن‌ها مهم است. خواص DMA مانند tan δ (نسبت مدول اتلاف به ذخیره) برای آمیزه‌های لاستیکی SBR حاوی روغن‌های مختلف در شکل ۳-الف نشان داده‌شده است [۲۵]. از نتایج DMA آمیزه‌های لاستیکی برای پیش‌بینی خواص چنگ‌زنی خیس و مقاومت غلتشی آن‌ها استفاده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۳-الف مشاهده می‌شود، با افزودن EPO مقدار tan δ در دمای ۰ درجه سانتی‌گراد حدود ۱۴ درصد بیشتر از AO است که نشان‌دهنده عملکرد چنگ‌زنی تایر است. همچنین، در شکل ۳-الف، tan δ SBR حاوی EPO، در دمای ۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد کمتر از SBR حاوی AO است که به بهبود مقاومت غلتشی تایر ناشی از استفاده‌ی EPO مربوط می‌شود. افزون‌بر این، افزودن EPO به بستر لاستیکی باعث افزایش T_g از ۲۹- درجه سانتی‌گراد برای SBR حاوی AO به ۲۷٫۹- درجه سانتی‌گراد می‌شود که با T_g حدود ۲۸٫۵- برای آمیزه‌ی PO/SBR قابل‌مقایسه است. این مسئله، چسبندگی بین سطحی را بهبود می‌بخشد و حرکت زنجیرهای SBR را محدود می‌سازد (شکل ۳-ب) [۲۶]. همچنین، این نتایج با خواص مکانیکی آمیزه‌های نشان داده‌شده در شکل ۲ مطابقت دارد.

خواص سایش آمیزه‌های لاستیکی حاوی روغن‌های مختلف در شکل ۴-الف آورده شده است. برای آمیزه‌های SBR حاوی EPO خاصیت سایش، با بهبود پراکنش پرکننده‌ها در بستر لاستیکی افزایش‌یافته است. افزون‌بر این، سایش آمیزه‌های حاوی EPO بسیار کمتر از آمیزه‌های حاوی AO است که نشان‌دهنده کاهش مؤثر گرمازایی و ظرفیت اتلاف سامانه‌های لاستیکی است. در شکل ۴-ب، آمیزه‌ی SBR حاوی EPO دارای کمترین گرمازایی (۴۱٫۱ درجه سانتی‌گراد) و آمیزه SBR حاوی TDAE دارای بیشترین گرمازایی (۴۳٫۴ درجه سانتی‌گراد) هستند. درحالی‌که، خواص جهندگی آن‌ها روند معکوسی را از خود نشان می‌دهد. همچنین، نتایج گرمازایی، نتایج سایش آمیزه‌های لاستیکی را تأیید می‌کند. به‌طور جالبی آمیزه‌های لاستیکی حاوی EPO در برابر تخریب گرمایی



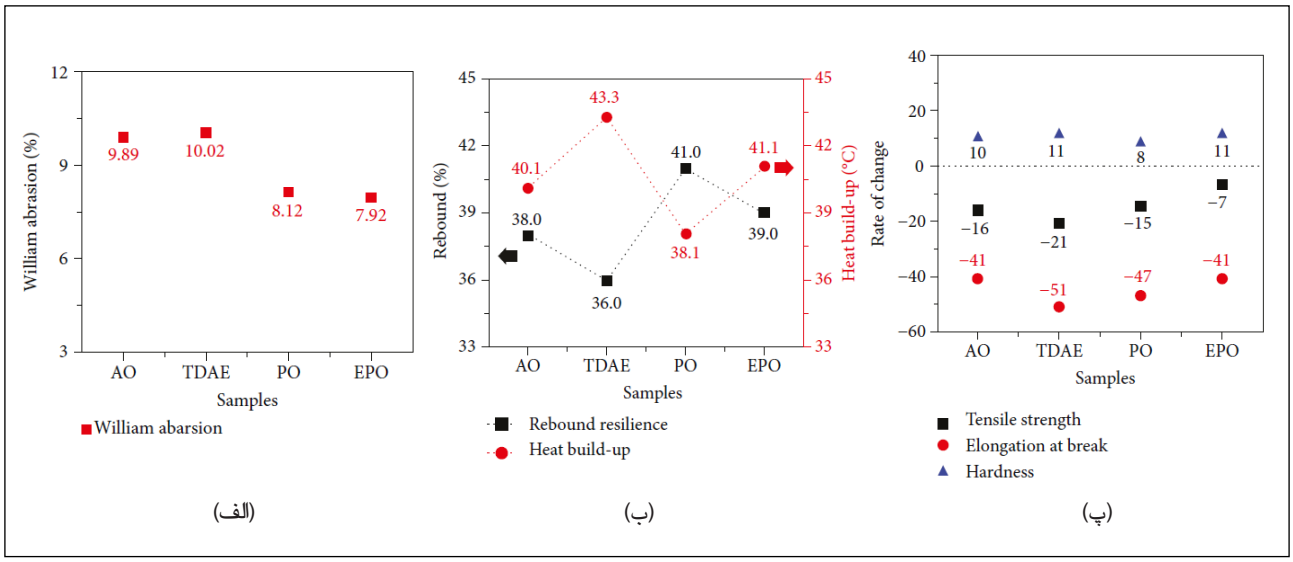
شکل ۳- خواص دینامیکی آمیزه‌های لاستیکی. (الف) tan δ آمیزه‌های لاستیکی با روغن‌های مختلف. (ب) دمای گذار شیشه‌ای (Tg) آمیزه‌های لاستیکی با روغن‌های مختلف.

مقاوم‌تر است. تخریب گرمایی بسپارهای حاوی گروه‌های پلی بوتادی‌ان مانند کائوچوی بوتادی‌ان (BR) [۲۷]، کائوچوی نیتریل (NBR) [۲۸]، اکریلونیتریل بوتادی‌ان استایرن (ABS) [۲۷ و ۲۹] و کائوچوی استایرن بوتادی‌ان (SBR) [۲۹و۳۰]، توسط چندین گروه موردمطالعه قرارگرفته است. پیشنهادشده است که تخریب گرمایی بیشتر با واکنش‌پذیری ایزومرهای سیس ۱،۲ بوتادی‌ان و ترانس ۱،۴ بوتادی‌ان کنترل می‌شود. پس از تخریب گرمایی، از آن‌جایی که زنجیرها توانایی حرکت به صورت زنجیرهای کائوچوی مستقل را از دست می‌دهند. حرکت مولکولی، برهم‌کنش ممان‌های دوقطبی را کاهش می‌دهد و در نتیجه قطبش متقابل[1] به آهستگی رخ می‌دهد [۲۹]. در آمیزه‌های SBR حاوی EPO برهم‌کنش بین زنجیر کائوچو و گروه عاملی اپوکسی EPO در حین عملیات حرارتی شدیدتر می‌شود. در نتیجه سختی، استحکام کششی و ازدیاد طول در نقطه پارگی آمیزه‌های لاستیکی حاوی EPO کمتر از سایر آمیزه‌های لاستیکی کاهش می‌یابد.

آمیزه‌های SBR حاوی EPO حتی در مقادیر کم، بهبود قابل‌توجهی در خواص مکانیکی مانند استحکام کششی و ازدیاد طول داشته است که ناشی از بهبود پیوندهای بین سطحی و پراکنش همگن پرکننده در بستر لاستیکی است. علاوه‌بر این، ترکیب EPO در بستر SBR به‌طور قابل‌توجهی سایش، گرمازایی و جهندگی را بهبود می‌دهد. بنابراین، می‌توان تأیید کرد که این روش پتانسیل زیادی را برای مهندسی بسپارها در مقیاس تجاری دارد.

نتیجه‌گیری

در مجموع، روش جدیدی برای تهیه‌ی آمیزه‌های لاستیکی حاوی EPO با یک گروه اپوکسی ارائه شد. نانوچندسازه‌های لاستیکی که با EPO تهیه شدند، به دلیل افزایش برهم‌کنش بین‌سطحی، بهبود خواص مکانیکی، سایش، گرمازایی و خواص دینامیکی را نشان دادند. همچنین نتایج به‌دست آمده نشان داد که EPO در مقادیر



شکل ۴- خواص سایش، جهندگی، گرمازایی و پیرشدگی آمیزه‌های لاستیکی. (الف) سایش آمیزه‌های لاستیکی با روغن‌های مختلف. (ب) جهندگی و گرمازایی آمیزه‌های لاستیکی با روغن‌های مختلف. (پ) سختی، استحکام کششی و ازدیاد طول در نقطه پارگی آمیزه‌های لاستیکی با روغن‌های مختلف بعد از گذشت ۱۶۸ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد.

1. Cross-polarization

کم برای تولید آمیزه‌های لاستیکی از TDAE، AO و PO مؤثرتر عمل می‌کند. افزون‌بر این، آمیزه‌های لاستیکی حاوی EPO دارای بیشترین مقاومت در برابر تخریب گرمایی در بین آمیزه‌های موردبررسی بود. این پژوهش، مسیر جدیدی را برای آمیزه‌های لاستیکی با عملکرد عالی در مصارف مهندسی گوناگون باز می‌کند*IRM*

مراجع

1. M. J. Wang, H. Y. Gong, and G. Z. Xue, Handbook of Rubber Industry, Chemical Industry Press, 2nd edition, 1989.
2. R. Faez and M.-A. de Paoli, "Elastic polyaniline with EPDM and dodecylbenzenesulfonic acid as plasticizers," Journal of Applied Polymer Science, vol. 82, no. 7, pp. 1768–1775, 2001.
3. G. Wypych, Handbook of Plasticizers, Chem Tec Publishing, Canada, 2004.
4. J. W. ten Brinke, S. C. Debnath, L. A. E. M. Reuvekamp, and J. W. M. Noordermeer, "Mechanistic aspects of the role of coupling agents in silica-rubber composites," Composites Science and Technology, vol. 63, no. 8, pp. 1165–1174, 2003.
5. S. Dasgupta, S. L. Agrawal, S. Bandyopadhyay et al., "Characterization of eco-friendly processing aids for rubber compound," Polymer Testing, vol. 26, no. 4, pp. 489–500, 2007.
6. L. G. Parks, J. S. Ostby, C. R. Lambright et al., "The plasticizer diethylhexyl phthalate induces malformations by decreasing fetal testosterone synthesis during sexual differentiation in the male rat," Toxicological Sciences, vol. 58, no. 2, pp. 339–349, 2000.
7. M. Rahman and C. S. Brazel, "Review: an assessment of traditional plasticizers and research trends for development of novel plasticizers," Progress in Polymer Science, vol. 29, no. 12, pp. 1223–1248, 2004.
8. S. Dasgupta, S. L. Agrawal, S. Bandyopadhyay, R. Mukhopadhyay, R. K. Malkani, and S. C. Ameta, "Improved polymer–filler interaction with an ecofriendly processing aid. Part 1," Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology, vol. 25, no. 3, pp. 141–164, 2009.
9. A. P. Kuriakose and M. Varghese, "Use of rice bran oil and epoxidized rice bran oil in carbon black-filled natural rubber polychloroprene blends," Journal of Applied Polymer Science, vol. 90, no. 14, pp. 4084–4092, 2003.
10. J. Xu, Z. Liu, S. Z. Erhan, and C. J. Carriere, "A potential biodegradable rubber—viscoelastic properties of a soybean oil-based composite," Journal of the American Oil Chemists' Society, vol. 79, no. 6, pp. 593–596, 2002.
11. H. Miyagawa, R. J. Jurek, A. K. Mohanty, M. Misra, and L. T. Drzal, "Biobased epoxy/clay nanocomposites as a new matrix for CFRP," Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, vol. 37, no. 1, pp. 54–62, 2006.
12. I. Hilker, D. Bothe, J. Prüss, and H. J. Warnecke, "Chemo-enzymatic epoxidation of unsaturated plant oils," Chemical Engineering Science, vol. 56, no. 2, pp. 427–432, 2001.
13. B. Lin, L. Yang, H. Dai, and A. Yi, "Kinetic studies on oxirane cleavage of epoxidized soybean oil by methanol and characterization of polyols," Journal of the American Oil Chemists' Society, vol. 85, no. 2, pp. 113–117, 2008.
14. W. He, Z. Fang, D. Ji et al., "Epoxidation of soybean oil by continuous micro-flow system with continuous separation," Organic Process Research & Development, vol. 17, no. 9, pp. 1137–1141, 2013.
15. M. Jacob, S. Thomas, and K. T. Varughese, "Mechanical properties of sisal/oil palm hybrid fiber reinforced natural

rubber composites," Composites Science and Technology, vol. 64, no. 7-8, pp. 955–965, 2004.
16. M. Rüsch gen. Klaas and S. Warwel, "Complete and partial epoxidation of plant oils by lipase-catalyzed perhydrolysis," Industrial Crops and Products, vol. 9, no. 2, pp. 125–132, 1999.
17. W. D. W. Rosli, R. N. Kumar, S. M. Zah, and M. M. Hilmi, "UV radiation curing of epoxidized palm oil-cycloaliphatic diepoxide system induced by cationic photoinitiators for surface coatings," European Polymer Journal, vol. 39, no. 3, pp. 593–600, 2003.
18. W. G. D. Jayewardhana, G. M. Perera, D. G. Edirisinghe, and L. Karunanayake, "Study on natural oils as alternative processing aids and activators in carbon black filled natural rubber," Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka, vol. 37, no. 3, pp. 187–193, 2009.
19. S. H. Song, "The effect of palm oil-based hybrid oils as green multifunctional oils on the properties of elastomer composites," Polymers, vol. 10, no. 9, pp. 1045–1054, 2018.
20. G. Chandrasekara, M. K. Mahanama, D. G. Edirisinghe, and L. Karunanayake, "Epoxidized vegetable oils as processing aids and activators in carbon-black filled natural rubber compounds," Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka, vol. 39, no. 3, pp. 243–250, 2011.
21. S. H. Song, "Synergistic effect of clay platelets and carbon nanotubes in styrene–butadiene rubber nanocomposites," Macromolecular Chemistry and Physics, vol. 217, no. 23, pp. 2617–2625, 2017.
22. O.-S. Kwon, D. Lee, S. P. Lee, Y. G. Kang, N. C. Kim, and S. H. Song, "Enhancing the mechanical and thermal properties of boron nitride nanoplatelets/elastomer nanocomposites by latex mixing," RSC Advances, vol. 6, no. 65, pp. 59970–59975, 2016.
23. S. H. Song, J. M. Kim, K. H. Park et al., "High performance graphene embedded rubber composites," RSC Advances, vol. 5, no. 99, pp. 81707–81712, 2015.
24. S. H. Song, H. K. Jeong, and Y. G. Kang, "Preparation and characterization of exfoliated graphite and Its styrene butadiene rubber nanocomposites," Journal of Industrial and Engineering Chemistry, vol. 16, no. 6, pp. 1059–1065, 2010.
25. K. P. Menard and N. R. Menard, "Dynamic mechanical analysis in the analysis of polymers and rubbers," Encyclopedia of Polymer Science and Technology, no. 42, pp. 1–33, 2015.
26. S. H. Song, K. H. Park, B. H. Kim et al., "Enhanced thermal conductivity of epoxy–graphene composites by using non-oxidized graphene flakes with non-covalent functionalization," Advanced Materials, vol. 25, no. 5, pp. 732–737, 2013.
27. M. Piton and A. Rivaton, "Photo-oxidation of ABS at long wavelengths ($\lambda > 300$ nm)," Polymer Degradation and Stability, vol. 55, no. 2, pp. 147–157, 1997.
28. F. Delor, J. Lacoste, J. Lemaire, N. Barrois-Oudin, and C. Cardinet, "Photo- and thermal ageing of polychloroprene: effect of carbon black and crosslinking," Polymer Degradation and Stability, vol. 53, no. 3, pp. 361–369, 1996.
29. J. A. Bousquet and J. P. Fouassier, "Photo-oxidation of a random styrene-butadiene copolymer: role of hydroperoxides and behaviour of butenyl segments," European Polymer Journal, vol. 23, no. 5, pp. 367–376, 1987.
30. C. Adam, J. Lacoste, and J. Lemaire, "Photo-oxidation of elastomeric materials: part II–photo-oxidation of styrene-butadiene copolymer," Polymer Degradation and Stability, vol. 26, no. 3, pp. 269–284, 1989.
31. T. M. Arantes, K. V. Leao, M. I. B. Tavares, A. G. Ferreira, E. Longo, and E. R. Camargo, "NMR study of styrene-butadiene rubber (SBR) and TiO2 nanocomposites," Polymer Testing, vol. 28, no. 5, pp. 490–494, 2009.

Investigation of Epoxidized Palm Oils as Green Processing Aids and Activators in Rubber Composites

H. Boroustan[2], A. Iran-Poori[1]

1. B.Sc. Student of Chemical Engineering- Shahroud University of Technology, Iran Yasa Tire Rubber
2. Company, Tehran, Iran Master of Polymer Engineering - University of Tehran, Iran Yasa Tire Rubber Company, Tehran, Iran

∗**Corresponding author Email:** iranpoory@gmail.com

Abstract: Epoxidized palm oil (EPO) is an environmentally friendly, biodegradable, and cost-effective process aid. In this study, the replacement of EPO with aromatic oil (AO), modified distilled aromatic oil (TDAE) and unmodified palm oil (PO) in styrene butadiene rubber (SBR) was investigated. The volcanized properties, mechanical properties, abrasion resistance and thermogenic properties of the EPO blend were compared with standard samples containing aromatic oils. The rubber composites with EPO showed enhanced mechanical properties including modulus, tensile strength, and elongation at break. This is ascribed to the improved dispersion of fillers in the rubber matrix and interaction between the filler and the polymer. Furthermore, EPO in the rubber matrix showed remarkable abrasion resistance, rebound resilience, and heat buildup at low loadings. EPO in a rubber composite presents feasibility as a renewable raw material that can serve as an alternative to petrochemical oils in various applications. This study opens a new avenue for high-performance elastomer composites for various engineering applications.

Keywords: Epoxidized palm oil, Styrene butadiene rubber, Processing aids oil.