مقاله

شناسایی ترکیبات الاستومری پودر تایر فرسوده خودرو و بررسی تأثیر آن بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌های پلی‌پروپیلن/ پودر تایر فرسوده خودرو

مهدی رحمانی
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک
دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
mahdi.rahmani.83@gmail.com

فرامرز آشنای قاسمی
استادیار دانشکدهٔ مهندسی مکانیک
دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
f.a.ghasemi@srttu.edu

غلامحسن پایگانه
استادیار دانشکدهٔ مهندسی مکانیک
دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
g.payganeh@srttu.edu

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۵/۰۴

چکیده

امروزه با افزایش روزافزون تعداد خودروها، دفع تایرهای لاستیکی فرسوده به معضلی بزرگ در مبدل شده است. این در حالی است که امکان استفاده از پودر لاستیک ضایعاتی به‌عنوان یک پرکننده در بسیاری از کاربردهای صنعتی و تجاری مسجل شده است. برای این منظور لازم است تا ترکیب درصد مواد موجود در پودر تایرهای فرسوده تعیین شود. در این مقاله، از آنالیز TGA [1] برای تعیین ترکیب درصد مواد موجود در فرمولاسیون تایرهای فرسوده استفاده شده است. اما تعیین مقدار نسبی Styrene و Butadiene در لاستیک SBR با این شیوه امکان‌پذیر نیست. لذا، برای رفع این مشکل از آنالیز Pyrolysis-FTIR استفاده و نتایج با نتایج آنالیز TGA مقایسه و مشاهده شد که نتایج هر دو روش رضایت‌بخش‌اند. همچنین اثر حضور پودر تایر فرسوده بر خواص مکانیکی پلی‌پروپیلن به‌صورت تجربی بررسی شد. تمامی نمونه‌ها در یک اکسترودر دوپیچهٔ همسوگرد مخلوط شدند و به‌وسیلهٔ قالب‌ریزی تزریقی به‌شکل نمونه‌های استاندارد آزمون‌های کشش و ضربه درآمدند. نتایج آزمایش‌های مکانیکی نشان داد که افزودن پودر تایر فرسوده به ماتریس پلی‌پروپیلن سبب افزایش استحکام ضربه و کاهش مدول یانگ، تنش تسلیم، استحکام کششی و ازدیاد طول نسبی در شکست ماتریس پلی‌پروپیلن خواهد شد.

واژگان کلیدی: بازیافت، پودر تایر فرسودهٔ خودرو، پلی‌پروپیلن، الاستومر، آنالیز TGA، آنالیز Pyrolysis-FTIR، خواص مکانیکی

مقدمه

امروزه دفع لاستیک‌های ضایعاتی به معضلی مهم و گسترده تبدیل شده است. افزودن لاستیک ضایعاتی به‌شکل پودر یا ضایعات ولکانیزه‌شده در ترکیب‌های پلیمری به‌ویژه ترموپلاستیک‌های اولفینی علاوه بر مزایای فرایندی مزایای اقتصادی نیز به‌همراه دارد [۱ – ۲].

در تحقیقات بسیاری که از پودر تایر فرسوده به‌عنوان پرکننده استفاده شده، ترکیب درصد مواد موجود در پودر تایر معین شده است [۱ ، ۳ و ۴]. اساساً لاستیک تایرها مخلوطی از چند پلیمر، دوده[۲]، ترکیبات معدنی (کربنات کلسیم، سیلیس و جز این‌ها) و تعداد نسبتاً زیادی از مواد آلی همچون مواد نرم‌کننده، مواد روغنی، آنتی‌اکسیدان‌ها، عامل‌های ولکانیزاسیون و جز این‌هاست که در ماتریس پلیمر حل شده‌اند [۵]. تغییرات ترکیب تایرها وابسته به استفاده از آنهاست. لاستیک طبیعی[۳] و لاستیک مصنوعی[۴] و دوده به اضافهٔ تثبیت‌کننده‌هایی از قبیل گوگرد اجزای اصلی تایرها هستند. بخش در تماس با زمین تایر معمولاً از SBR[۵] یا مخلوط SBR/BR[۶] ساخته می‌شود. دیواره‌های کناری در مقایسه با بخش در تماس با زمین تایر به‌طور کلی شامل مقدار بالای لاستیک طبیعی است. در تایرهای کامیون، لاستیک طبیعی به‌طور متداول‌تر استفاده می‌شوند و بخش در تماس با زمین در تایرهای کامیون اغلب ۱۰۰ درصد از جنس لاستیک طبیعی است[۶].

خواص فیزیکی و مکانیکی ترکیب‌های SBR، BR و NR نسبت به تغییر در مقدار پلیمرهای منفرد استفاده‌شده حساس‌اند. بنابراین لازم است برای نمایش ساختار ترکیب از ابزارهای تحلیلی متنوعی استفاده شود. آنالیز TGA، به‌دلیل سرعت بالا و نیاز کمتر به دستکاری نمونه، یکی از پرکاربردترین روش‌هاست. به‌ویژه آنالیز DTG برای تخمین ترکیب پایه بسیار ارزشمند است. منحنی‌های DTG الاستومرها به‌عنوان اثر انگشت‌ها در شناسایی بسیاری از الاستومرها و ترکیب‌های منفرد، با این یافته که ارتفاع نقطهٔ حداکثر مشتق TGA (DTG) وابسته به مقدار هر الاستومر در نمونه است، استفاده می‌شود. بنابراین، تعیین کمی از ارتفاع نقطه‌های حداکثر DTG انجام شده است. با این‌حال، این رویکرد فقط هنگامی درست عمل می‌کند که منحنی‌های DTG هر الاستومر مجزا می‌شوند؛ که نیازمند جلوگیری از هر هم‌پوشانی نقطه‌های حداکثرمختلف می‌باشد. تعیین مقدار نسبی Styrene و Butadiene در لاستیک SBR با این شیوه غیرممکن است. این اشکال به‌دلیل امکان ناپذیری افتراق گام‌های کاهش وزن هر دوی پلیمرها در طول فرایند تخریب تحت شرایط آزمایش است. یک راه‌حل برای این مشکل استفاده از FTIR است؛ به‌صورتی‌که این شیوه با استفاده از پیوندهای جذبی، که برای هر یک از پلیمرها از قبل انتخاب شده است، کمی‌کردن نسبی هر دوی مؤلفه‌ها را ممکن می‌سازد. با این‌حال، در مورد رزین‌های انحلال‌ناپذیر و لاستیک‌های دارای اتصال عرضی، به‌ویژه مواردی که به میزان زیاد از لاستیک پر شده، چون طیف‌های مطلوبی با استفاده از این شیوه حاصل نمی‌شود، لازم است ترکیب‌ها از طیف‌های به‌دست آمده از محصولات مایع پیرولیز ترکیب و نه از خود پلیمرها شناسایی شوند[۵]. تحقیقات پیشین به تعیین ترکیبات پودر تایر فرسوده خودرو با استفاده از آنالیز FTIR و آنالیز TGA پرداخته‌اند[۵ – ۸].

بهبود استحکام ضربه و سفتی پلی‌پروپیلن مفهوم مهمی برای گسترش محدودهٔ کاربردهای آن دارد [۴]. استحکام ضربه‌ای کم، به‌ویژه در دماهای پائین، از جمله ضعف‌های پلی‌پروپیلن است که به محدودیت استفاده از آن در بسیاری کاربردها انجامیده است [۴ و ۹]. استفاده از موادی با استحکام ضربهٔ بالا در ترکیبات بر پایهٔ پلی‌پروپیلن از جمله راه‌کارهای مقابله با این ضعف به‌شمار می‌رود. در این میان، بهره‌برداری از لاستیک‌ها و از آن جمله ضایعات تایر خودروها، به‌دلائل ارزانی و مسائل زیست محیطی، در محصولات با بستر پلی‌پروپیلن بسیار حائز اهمیت و جذاب است [۱۰]. تایر ضایعاتی خودرو ماده‌ای ترموستی است که شامل زنجیرهای پلیمری با پیوندهای عرضی غیرقابل

برگشت است و مانند ترموپلاستیک‌ها قابلیت شکل‌گیری دوباره و استفادهٔ مجدد را دارا نمی‌باشند. امکان فنی و تجاری استفاده از پودر لاستیک ضایعاتی به‌عنوان پرکننده در بسیاری از کاربردها، همچون سقف و کف‌پوش، نشان داده شده است. متأسفانه با افزودن مواد لاستیکی به پلی‌پروپیلن مدول و سفتی آن کاهش می‌یابد.

در این مقاله با استناد به تحقیقات پیشین و جمع‌بندی نتایج آنها، به‌منظور تعیین ترکیب الاستومر SBR/NR در فرمولاسیون تایر، همچنین تعیین درصد وزنی ترکیبات موجود در تایر فرسوده از آنالیز Pyrolysis-FTIR و آنالیز TGA استفاده شده است. آنالیز Pyrolysis-FTIR ترکیبات موجود در ساختار تایر را شناسایی می‌کند، اما در مورد درصد وزنی ترکیبات اطلاعاتی به‌دست نمی‌دهد. به‌منظور تأیید شناسایی آنالیز Pyrolysis-FTIR، همچنین تعیین درصد وزنی ترکیبات موجود در پودر تایر فرسوده، آنالیز TGA نیز روی پودر تایر انجام شده است. همچنین تأثیر حضور پودر تایر فرسوده بر خواص مکانیکی پلی‌پروپیلن در دستور کار بوده است. تمامی کامپوزیت‌ها و حتی حالت‌های خالص پلی‌پروپیلن و پودر تایر فرسوده به‌روش اختلاط مذاب در یک دستگاه اکسترودر دوپیچهٔ همسوگرد مخلوط شدند و سپس از طریق دستگاه قالب‌ریزی تزریقی به شکل نمونه‌های استاندارد کشش و ضربه درآمدند. خواص مکانیکی با استفاده ازآزمون‌های مکانیکی استاندارد، مانند آزمون کشش و آزمون ضربهٔ آیزود شیاردار، اندازه‌گیری و به‌صورت قیاسی بررسی شدند و نتایج حاصل از مقایسه استخراج گردید.

معرفی آزمایش‌های تجربی

مواد

در این مقاله هموپلیمر پلی‌پروپیلن با نام تجاری Moplen HP 550 J، محصول شرکت پتروشیمی اراک، با نرخ جریان مذاب ۳ گرم بر ۱۰ دقیقه[۷] استفاده شده است. پودر تایر فرسوده خودرو با ذرات در اندازهٔ شبکهٔ ۵۰ (≈300μm) از شرکت تأمین‌آوران لاستیک غدیر ایرانیان تهیه شد. این پودر از تمام قسمت‌های تایر فرسوده تهیه شده بود و بنا به گزارش شرکت تولیدکننده ترکیبی از ۷۰ درصد تایر فرسودهٔ کامیون به‌همراه ۳۰ درصد تایر فرسودهٔ خودرو سواری می‌باشد که طی آسیاب چندمرحله‌ای در ابتدا سیم و الیاف درون تایرها استخراج می‌گردد و سپس در مراحل بعدی به اندازهٔ شبکهٔ مورد نظر دست یافته می‌شود.

آماده‌سازی نمونه‌ها

پلی‌پروپیلن، پودر تایر فرسودهٔ خودرو هر یک به‌تنهایی و همچنین تمامی کامپوزیت‌های دوتایی پس از اختلاط مؤلفه‌ها به‌صورت فیزیکی با شرایط ساخت یکسانی تهیه شدند. مواد تشکیل‌دهندهٔ کامپوزیت در هر حالت براساس درصد وزنی با هم مخلوط شدند. ابتدا تمامی آنها در اکسترودر دوپیچهٔ همسوگرد اکسترود و سپس گرانول حاصل به‌مدت ۵ ساعت در کوره در دمای ۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد خشک شدند. گرانول خشک‌شده در دستگاه قالب‌ریزی تزریقی به‌شکل نمونه‌های استاندارد کشش و ضربه برای انجام آزمون‌های مکانیکی در آمد. در حین ساخت پروفیل دمایی اکسترودر با توجه به دمای ذوب پلی‌پروپیلن به‌ترتیب از قسمت ورود مواد ۱۹۰، ۱۸۰، ۱۷۵، ۱۷۰، ۱۶۵ و ۱۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شد و سرعت حرکت پیچه‌ها ۲۵۰ دور بر دقیقه تنظیم گردید. پروفیل دمایی دستگاه قالب‌ریزی تزریقی در حین قالب‌ریزی به‌ترتیب ۲۱۰، ۲۰۰ و ۱۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد تنظیم شد. برای آزمون کشش از دستگاه Zwick/Roell مدل Z100 استفاده شد. سرعت حرکت فک متحرک حین انجام آزمایش ۵ میلی‌متر بر دقیقه تنظیم شد. آزمون ضربه به‌روش آیزود شیاردار توسط دستگاه RESIL IMPACTOR با وزنهٔ J ۱ و در دمای ۲۶ درجهٔ سانتی‌گراد برای تمامی نمونه‌ها انجام شد. نمونه‌های کشش مطابق استاندارد TypeASTM D638 I با ابعاد ۳/۲ × ۱۹ × ۱۶۵ میلی‌متر و نمونه‌های ضربهٔ آیزود

شیاردار مطابق استاندارد ASTM D256 با ابعاد ۶/۳۵ × ۱۲/۷× ۶۳/۵ میلی‌متر تهیه شد. دست‌کم پنج نمونهٔ استاندارد کشش و ضربه از دستگاه قالب‌ریزی تزریقی تهیه و برای انجام آزمون آماده شدند. جدول۱ علائم اختصاری ترکیب‌های تولید شده را نشان می‌دهد.

جدول۱. علائم اختصاری ترکیب‌ها

ردیف	ترکیب	ردیف	ترکیب
۱	PP	۵	80/20W
۲	W	۶	70/30W
۳	95/5W	۷	40/60W
۴	90/10W		

آنالیز TGA

برای تعیین درصد وزنی ترکیبات الاستومر موجود در پودر تایر فرسوده خودرو از آزمون TGA استفاده شد. آزمون‌ها با استفاده از دستگاه TGA مدل PL-1500 ساخت شرکت Polymer Laboratoreis کشور انگلستان انجام شد. تقریباً ۱۰ میلی‌گرم از نمونه از دمای محیط تا دمای ۷۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد با نرخ دمای ۱۰ درجهٔ سانتی‌گراد بر دقیقه حرارت داده شد. وزن نمونه و نرخ کاهش وزن آن به‌طور پیوسته به‌صورت تابعی از دما اندازه‌گیری شد. ابتدا نمونه از دمای محیط تا دمای ۵۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد تحت جریان گاز نیتروژن حرارت داده شد، سپس جریان نیتروژن قطع و نمونه تحت جریان هوا تا دمای ۷۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد حرارت داده شد. پس از رسیدن به دمای ۷۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد، نمونه برای نیم ساعت در آن دما نگاه داشته شد.

آنالیز طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریهٔ تجزیه حرارتی[8]

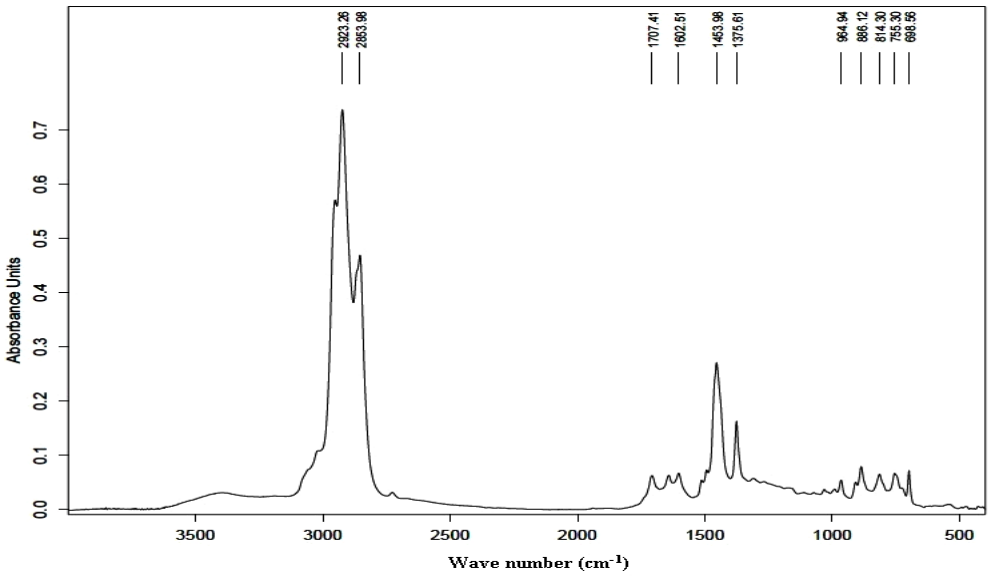
با توجه به استاندارد ASTM D3677-00 [۱۱]، مقدار کمی از پودر تایر فرسودهٔ خودرو در یک لوله آزمایش ریخته شد و در تماس با شعله چراغ بونزن قرار داده شد. فرآورده‌های بخارشدنی که در دمای محیط چگالیده می‌شوند، در هنگام فرایند تبخیر روی دیواره‌های لولهٔ آزمایش جمع می‌شود. مایع چگالیده‌شده در طول مدت زمانی‌که تمام جرم پودر تایر فرسوده به باقیمانده‌های معدنی تبدیل می‌شود جمع‌آوری می‌گردد. یک گرم از برمید پتاسیم با استفاده از یک پرس هیدرولیک در فشار ۱۰ کیلوپاسکال به‌صورت قرص در آمد و حدود ۰/۰۱ گرم از مایع چگالیده به‌دقت روی روزنه‌های قرص برمید پتاسیم به‌منظور دستیابی به همگنی قابل‌قبول نشانده شد. نمونهٔ تحت شناسایی IR در محدودهٔ $4000–400 Cm^{-1}$ با استفاده از یک طیف نورسنج FTIR Equinox55 مدل LS101 ساخت شرکت BRUKER آلمان قرار گرفت. طیف‌ها در یک وضوح $2 Cm^{-1}$ در شیوهٔ عبوری جمع‌آوری شدند.

نتایج و بحث

شناسایی ترکیبات الاستومر پودر تایر فرسوده

آزمایش Pyrolysis براساس شیوهٔ استاندارد ASTM D3677-00 انجام و طیف‌های FTIR محصولات حاصل از آزمایش Pyrolysis که در دمای اتاق چگالیده شده بودند تهیه شد. شکل ۱ طیف‌های FTIR پودر تایر فرسوده خودرو را نشان می‌دهد. با توجه به استاندارد ASTM D3677-00، همچنین گزارش تحقیقات پیشین [۵]، چندین پیوند وجود دارد که باید به‌منظور شناسایی مؤلفه‌های حاصل از آزمایش Pyrolysis استفاده شوند. پیوندهایی که برای تشخیص محصولات NR و SBR حاصل از آزمایش Pyrolysis استفاده می‌شوند در شکل ۱ در محدودهٔ عدد موج $500 Cm^{-1}$ تا $1000 Cm^{-1}$ مشاهده می‌گردند. ناحیهٔ طیفی نشان داده شده در این محدوده متناظر با ارتعاشات خمشی خارج از صفحهٔ گروه‌های آروماتیک =C–H و C=C پلی استایرن[9] به‌ترتیب در $755/30 Cm^{-1}$ و $698/56 Cm^{-1}$ ، ارتعاشات خمشی خارج از صفحهٔ =C–H گروه‌های وینیل[10] ($990 Cm^{-1}$ و $910 Cm^{-1}$) و –CH=CH– ترانس در $964/94 Cm^{-1}$ بوتادین[11] است. پیوند متمرکزشده در $814/30 Cm^{-1}$

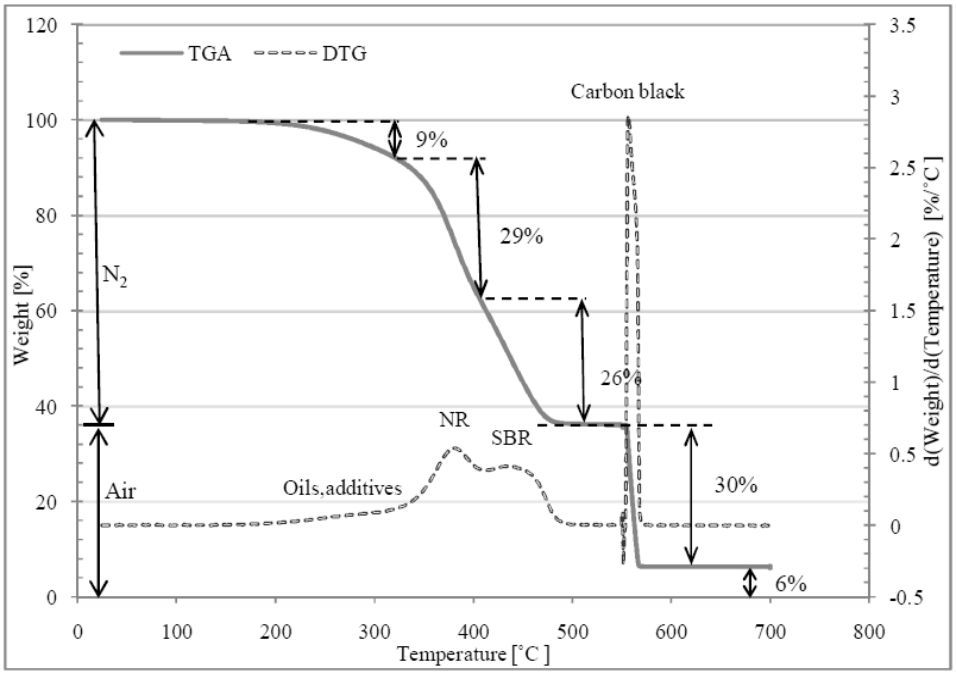
می‌تواند به ارتعاشات خمشی خارج از صفحه NR منسوب شود. انتخاب این ناحیه طیفی به‌دلیل این حقیقت است که محصولات تخریب هر مؤلفه ترکیب، به‌وضوح پیوندهای مجزا شده معلوم در هر مؤلفه را نشان می‌دهد. نقطهٔ حداکثری در $۲۹۲۳/۲۶Cm^{-1}$ متناظر با ارتعاش کششی نامتقارن پیوند C–H آلیفاتیک[۱۲] گروه‌های CH_3– و نقطهٔ حداکثری در Cm^{-1} ۲۸۵۳/۹۸ به‌دلیل ارتعاش کششی متقارن C–H آلیفاتیک گروه‌های CH_2– می‌باشد که اشاره می‌کند که لاستیک فرسوده ممکن است شامل NR باشد [۷ – ۸]. نقطهٔ حداکثری در $۱۳۷۵/۶۱Cm^{-1}$ نیز متناظر با CH_3– و نشان‌دهندهٔ حضور بخش‌های آلکان می‌باشد [۶]. حضور بخش‌های غیراشباع واحدهای Isoprene از نقطه حداکثری $۱۶۰۲/۵۱Cm^{-1}$ محرز شده است که به‌دلیل گروه‌های C=C می‌باشد.



شکل ۱. طیف‌های FTIR پودر تایر فرسودهٔ خودرو

حضور دوده در لاستیک از نقطه‌های حداکثری $۱۷۰۷/۴۱Cm^{-1}$ و $۱۴۵۳/۹۸Cm^{-1}$ محرزمی‌شود که ممکن است به‌دلیل C=O کششی و C=C کششی موجود در حلقه لاکتون[۱۳] دوده باشد[۷]. نقطهٔ حداکثری در $۱۴۵۳/۹۸Cm^{-1}$ متناظر با ارتعاش قیچی‌وار CH_2– تحت تأثیر واقع شده توسط اتم‌های سولفور در گروه CH_2– S CH_2– در NR می‌باشد. بنابراین این نقطه نیز حضور NR در لاستیک ضایعاتی را تأیید می‌کند[۸]. منحنی‌های TGA و DTG بدست آمده از پودر تایر فرسوده خودرو در شکل ۲ مشاهده می‌گردد. به‌منظور نمایش واضح‌تر منحنی DTG در تصویر، اعداد مشتق منحنی TGA در عدد۱۰۰– ضرب شده‌اند. اولین کاهش وزن تحت جریان گاز N_2، بین ۱۸۰و۳۲۰ درجه سانتی‌گراد متناظر با ۹ درصد وزن کل نمونه پودر تایر است و منسوب به تبخیر روغن‌ها یا هر مؤلفه با دمای جوش پایین است. کاهش جرم بعدی تحت جریان گاز N_2، ۲۹ درصد است که یک نرخ ماکزیمم در ۳۷۰ درجهٔ سانتیگراد دارد و به‌دلیل تجزیهٔ لاستیک طبیعی است. کاهش وزن ۲۶ درصد تحت جریان گاز N_2 با یک نقطه حداکثری منحنی DTG در۴۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد متناظر با تجزیه SBR است. این دماها با توجه به نتایج بدست آمده از TGA مؤلفه‌های خالص مشخص شده است [۵]. نهایتاً وقتی جریان هوا فعال می‌شود، اکسیژن با دوده واکنش می‌دهد و منجر به کاهش وزن چهارم معادل با ۳۰ درصد در۵۵۶ درجهٔ سانتی‌گراد می‌شود. باقیماندهٔ غیرفرار که متناظر با پرکننده‌های معدنی است تقریباً ۶ درصد نمونه پودر تایر را تشکیل می‌دهد. منحنی TGA نشان می‌دهد

که به وضوح دو ناحیه کاهش وزن بین ۳۲۰ و ۵۰۰ درجه سانتیگراد وجود دارد که دو نقطه حداکثری بر روی منحنی DTG ایجاد می‌کند. نقطه حداکثری اول در ۳۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌دلیل تجزیه NR و نقطهٔ حداکثری دوم در یک دمای بالاتر، ۴۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد، مفسر SBR می‌باشد. نتیجه اینکه NR اساساً در دماهای پایین‌تر از SBR تجزیه می‌شود و این مسئله امکان تمیزدادن NR از SBR را ممکن می‌سازد. با توجه به تجزیه حرارتی SBR در دمای بالاتر که گویای پایداری حرارتی بالاتر آن نسبت به NR است، هرچه درصد وزنی SBR در فرمولاسیون پودر تایر بیشتر از درصد وزنی NR باشد پایداری حرارتی پودر تایر بالاتر می‌رود.



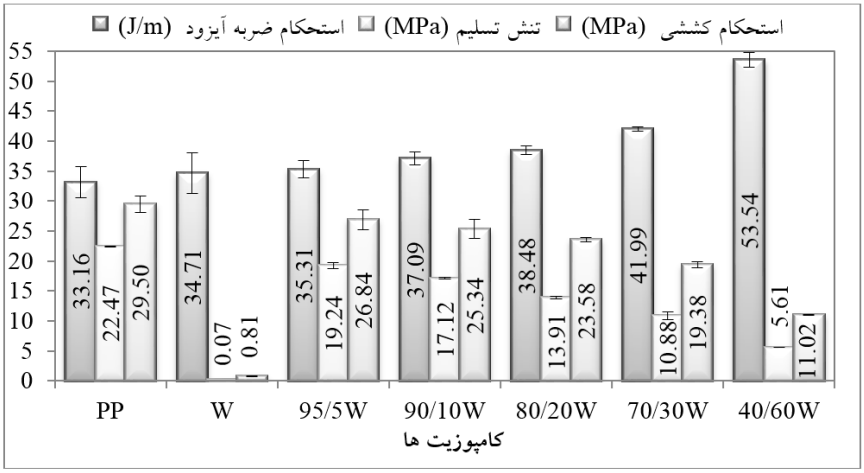
شکل ۲. منحنی‌های TGA-DTG پودر تایر فرسوده خودرو

تخریب NR در دماهای بین ۳۲۰ و ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل الیگومرهای[۱۴] (چندپارها) با طول متغیر را به‌عنوان یک نتیجه بریدگی تصادفی زنجیره‌های پلیمری می‌دهد. در دماهای بالاتر تحول Isoprene و محصولات فرار غیر اشباع مختلف اتفاق می‌افتد. تخریب حرارتی Polybutadiene در دماهای نزدیک به ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد تولید مونومر و ساختارهای الیگومر با وزن مولکولی کم می‌کند. بنابراین، در تخریب SBR در محدوده دمای مطالعه شده، یک مخلوط از الیگومرهای Polybutadiene و Polystyrene و همچنین مونومرهای Styrene و Butadiene جمع‌آوری می‌شود[۵].

تأثیر پودر تایر فرسوده خودرو بر خواص مکانیکی پلی‌پروپیلن

شکل ۳ استحکام ضربه آیزود شیاردار، تنش تسلیم و استحکام نهایی ترکیب‌های دوتاییپلی‌پروپیلن و پودر تایر فرسوده و همچنین حالت‌های PP و لاستیک خالص را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، افزودن پودر تایر فرسوده به ماتریس پلی‌پروپیلن افزایش استحکام ضربه را به‌همراه دارد. نرخ افزایش در درصدهای بالاتر پرکننده افزایش بیشتری دارد که حاکی از تأثیر مثبت پودر تایر در بالا بردن استحکام ضربه پلی‌پروپیلن می‌باشد. ماهیت الاستیک ذرات لاستیک افزایش استحکام ضربه

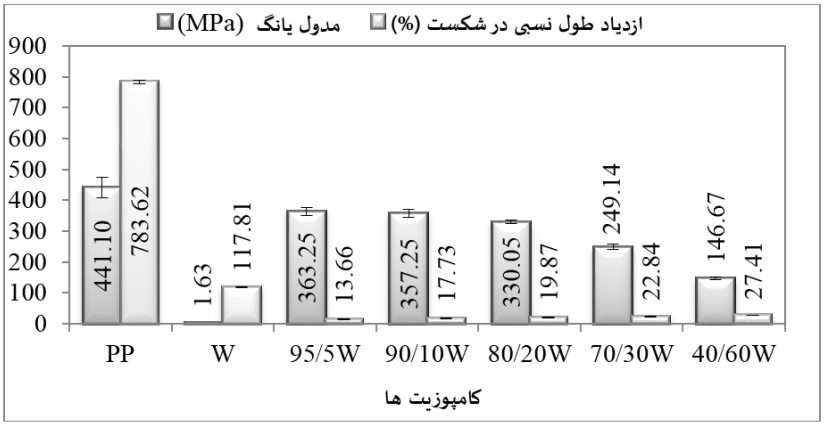
پلی‌پروپیلن را در مقایسه با حالت خالص آن به همراه دارد. ذرات لاستیک علاوه بر ماهیت الاستیک می‌توانند از طریق مکانیزم حفره‌زایی پس از جدایش ذرات از ماتریس نیز منجر به افزایش استحکام ضربه ماتریس شوند. بدین ترتیب که جدایش ذرات حجم آزاد در مرتبه اندازه ذره ایجاد می‌کند و بنابراین حالت تنش در اطراف ذرات تغییر می‌کند که منجر به تسلیم شدن پلاستیک پیوندهای اطراف ذرات از طریق تسلیم شدن برشی پلیمر ماتریس می‌شود و ظرفیت جذب انرژی ماده را بالا می‌برد [۱۲]. به طور کلی در ترکیب‌های شامل پودر تایر فرسوده، چسبندگی ضعیف به ماتریس و پراکندگی ناکافی ذرات به همراه اندازه بزرگ ذرات می‌تواند دلایلی برای کاهش استحکام ضربه باشد [۳]. افزایش استحکام ضربه حتی در درصدهای بالاپیودر تایر حاکی از پراکندگی خوبذرات در ماتریس می‌باشد که نبود کلوخه‌های بزرگ را نشانمی‌دهد.با توجه به خاصیت الاستیک پودر تایر که عاملی برایافزایش انرژی ضربه ماتریس است، احتمالاً ایجاد پیوند مناسب بین ذرات و ماتریس می‌تواند فصل مشترک مناسبی برای انتقال تنش از ماتریس به پرکننده ایجاد کند و تأثیر گذاری بیشتر خاصیت الاستیک ذرات لاستیک بر بالا بردن استحکام ضربه ماتریس را به همراه داشته باشد. به طور کلی اندازه ذره، توزیع و پراکندگی مناسب ذره در ماتریس، چسبندگی بین وجهی مناسب بین ذره و ماتریس در بالا بردن انرژی ضربه ترکیب‌های پرشده با ذرات مؤثر است.



شکل ۳. استحکام ضربه آیزود شیاردار، تنش تسلیم و استحکام کششی ترکیب‌های دوتایی پلی‌پروپیلن و پودر تایر فرسوده خودرو در درصدهای وزنی مختلفپودر تایر فرسوده

تنش تسلیم و استحکام نهایی ترکیب‌های دوتایی پلی‌پروپیلن و پودر تایر در شکل ۳ مشاهده می‌شود. در هر دو حالت، خواص با افزایش درصد وزنی لاستیک روند کاهش را نشان می‌دهند. کاهش تنش تسلیم و استحکام نهایی PP پرشده با لاستیک نسبت به حالت PP خالص می‌تواند ناشی از جدایش ذرات لاستیک پیش از تسلیم شدن و خاصیت نرم کنندگی لاستیک باشد. همچنین چسبندگی ضعیف بین ذرات تایر و ماتریس می‌تواند کاهش هر دوی تنش تسلیم و استحکام نهایی را به دلیل جدایش ذرات از ماتریس به همراهداشته باشد. هرچند که مکانیزم حاکم همان خاصیت نرم‌کنندگی لاستیک است. شکل ۴ مدول یانگ و ازدیاد طول نسبی در شکست ترکیب‌های دوتایی پلی‌پروپیلن و پودر تایر فرسوده خودرو را نشان می‌دهد. کم بودن مقدار مدول یانگ پودر تایر خالص حاکی از نرم بودن بسیار زیاد این ماده است؛ از این رو افزودن این ماده نرم به ماتریس پلی‌پروپیلن کاهش مدول یانگ

ماتریس را به همراه دارد. با افزودن درصد وزنی بیشتر پودر تایر به ماتریس نرمی ماتریس هم افزایش بیشتری می‌یابد که کاهش تدریجی مدول یانگ را به همراه دارد. البته چسبندگی ضعیف بین ماتریس و ذرات لاستیک نیز می‌تواند دلیلی برای کاهش مدول یانگ باشد. چون جدایش زودتر ذرات را ممکن می‌سازد. همانگونه که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد، ترکیب‌های دوتایی در مقایسه با حالت PP خالص کاهش بسیار شدید ازدیاد طول نسبی در شکست را دارند که از ساختار اتصال جانبی لاستیک و ناسازگاری و چسبندگی ضعیف آن با ماتریس پلی‌پروپیلن و همچنین تمرکز تنش اطراف ذرات لاستیک منشأ می‌گیرد. موارد فوق باعث می‌شود لاستیک فرسوده ظرفیت ضعیفی برای انتقال تنش از ماتریس PP به ذرات پرکننده از خود نشان دهد. در واقع لاستیک دارای اتصال جانبی به دیگر ترکیبات موجود در ذرات دیگر لاستیک مانند کربن سیاه و اکسید زینک[۱۵] متصل می‌شود و از جریان و حرکت ترکیب‌های دوتایی در مقایسه با PP خالص جلوگیری می‌کند که مانعی برای ازدیاد طول نسبی محسوب می‌شود[۱۳].



شکل ۴. مدول یانگ و ازدیاد طول نسبی در شکست ترکیب‌های دوتایی پلی‌پروپیلن و پودر تایر فرسوده خودرو در درصدهای وزنی مختلف پودر تایر فرسوده

استحکام کششی و درصد ازدیاد طول نسبیدر شکست به طور معکوس وابسته می‌شود. با افزایش در استحکام کششی کاهش ازدیاد طول نسبیمشاهده می‌گردد. در ترکیب‌های دوتایی با افزایش درصد وزنی لاستیک ازدیاد طول نسبیدر شکست افزایش می‌یابد که می‌تواند به خاصیت ارتجاعی لاستیک (الاستومر) و افزایش نرمی ماتریس که ناشی از حضور پودر تایر نرم است منسوب شود. ظاهراً خاصیت نرم کنندگی بالاتر ناشی از حضور مقدار بیشتر پرکننده در ماتریس بر خاصیت تمرکز تنش بزرگتر اطراف ذرات بزرگ و جدایش ناشی از آن برتری دارد که باعث افزایش ازدیاد طول نسبیدر شکست در درصدهای بالاتر پرکننده می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده از آنالیزهای TGA و Pyrolysis-FTIR نشان داد که هر دو شیوه برای شناسایی ترکیبات موجود در ساختار پودر تایر فرسوده خودرو معتبر هستند و انطباق خوبی بین نتایج حاصل از هر دو آنالیز وجود داشت. هرچند که آنالیز TGA به دلیل سرعت بالا و احتیاج کمتر به دستکاری نمونه، ابزاری کارآمد جهت شناسایی ترکیب‌های SBR و NR در ساختار پودر تایر فرسوده خودرو می‌باشد.

اما تعیین مقدار نسبی Styrene و Butadiene در لاستیک SBR با این شیوه غیر ممکن است. یک راه حل برای این مشکل استفاده از FTIR است. با این حال، در مورد رزین‌های انحلال ناپذیر و لاستیک‌های دارای اتصال عرضی به ویژه مواردی که به میزان زیاد از لاستیک پر شده، به دلیل آنکه طیف‌های رضایتبخشی با استفاده از این شیوه حاصل نمی‌شود، لازم است که ترکیب‌ها از طیف‌های بدست آمده از محصولات مایع پیرولیز ترکیب و نه از خود پلیمرها شناسایی شوند.

افزودن پودر تایر فرسوده خودرو به ماتریس PP افزایش استحکام ضربه را به همراه داشت. نرخ این افزایش در درصدهای بالاتر پرکننده بیشتری بود. افزایش استحکام ضربه حتی در درصدهای بالای پودر تایر حاکی از پراکندگی خوب ذرات و نبود کلوخه‌های بزرگ است.تنش تسلیم و استحکام کششی با افزایش درصد وزنی لاستیک روند کاهشی دارند که ناشی از جدایش ذرات و ماهیت نرم لاستیک است. کم بودن مدول یانگ پودر تایر حاکی از نرم بودن بسیار زیاد این ماده است که افزودن این ماده نرم به ماتریس پلی‌پروپیلن کاهش مدول یانگ ماتریس را به همراه دارد. افزایش درصد وزنی پودر تایر کاهش بیشتر مدول یانگ را ناشی می‌شود. البته چسبندگی ضعیف ذرات با ماتریس هم دلیلی برای کاهش مدول یانگ است. در حالت کلی افزودن ذرات لاستیک به ماتریس PP کاهش ازدیاد طول نسبیدر شکست ماتریس را به همراه دارد اما افزودن بیشتر این ذرات به ماتریس روند افزایش ازدیاد طول نسبیدر شکست ترکیب دوتایی را نتیجه می‌دهد که اتصالات عرضی لاستیک و چسبندگی ضعیف آن با ماتریس دلیل این امر است.

مآخذ

[1] daCosta H. M., V. D.Ramos, W. S.daSilva. A. S. Sirqueira. "Analysisand optimization of polypropylene (PP)/ethylene–propylene–diene monomer (EPDM)/ scraprubbertire (SRT) mixtures using RSM methodology." *Polymer Testing*, 29(2010):572–578.

[2] da Silva L. P., L. Luetkmeyer, R.G. Furtado, M. B. Tavares, B. A. Pachec. "Characterization of pp/regenerated tire rubber blends using proton spin-lattice relaxation time." *Polymer Testing*, 28 (2009):53–56.

[3] Shu LingZhang, Xiang XinZhen, Xiu ZhangZhen, Kuk KimJin. "Haracterization of the properties of thermoplastic elastomers containing wasterubber tire powder." *Waste Management*, 29 (2009):1480–1485.

[4] da Costa H. M., Ramos V. D., Rocha C.G. "Analysis of thermal properties and impact strength of PP/SRT, PP/EPDM and PP/SRT/EPDM mixtures in single screw extruder." *Polymer Testing*, 25 (2006):498–503.

[5] Fernandez Berridi, Maria Jose, Nekane Gonzalez, Agurtzane Mugica, Caroline Bernicot. "Pyrolysis-FTIR and TGA techniques as tools in the characterization of blends of natural rubber and SBR." *ThermochimicaActa*, 444 (2006):65–70.

[6] Elife SultanGiray, Sonmez Ozgur, "Supercritical extraction of scrap tire with different solvents and the effect of tire oil on the supercritical extraction of coal." *Fuel Processing Technology*, 85 (2004):251– 265.

[7] Shanmugharaj A. M., Jin Kuk Kim, Sung Hun Ryu. “UV surface modification of waste tire powder: Characterization and its influence on the properties of polypropylene/waste powder composites.” *Polymer Testing*, 24 (2005)”739–745.

[8] Wu B., Zhou M.H. “Recycling of waste tyre rubber into oil absorbent.” *Waste Management*, 29 (2009):355–359.

[9] Zebarjad S.M., Sajjadi S.A., Tahani M. “Modification of fracture toughness of isotactic polypropylene with a combination of EPR and CaCO3 particles.” J*ournal of Materials Processing Technology*, 175 (2006):446–451.

[10] Liang J.Z, Li R.K.,"Rubber toughening in polypropylene: A review",Journal of Applied Polymer Science,77 (2000)409–417.

[11] ASTM D3677-00: Standard Test Methods forRubber Identification by Infrared Spectrophotometry (Reapproved 2004).

[12] Ismail H., Awang M., Hazizan M.A. “Effect of waste tire dust (WTD) size on the mechanical and morphological properties of polypropylene/waste tire dust (PP/WTD) blends.” *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 45 (2006):463–468.

[13] Awang M., Ismail H., Hazizan M.A. “Polypropylene-based blends containing waste tire dust: Effects of trans-polyoctylene rubber (TOR) and dynamic vulcanization.” *Polymer Testing*, 26 (2007):779–787.

پی‌نوشت

1. Thermo gravimetric analyzer
2. Carbon black
3. Natural rubber
4. Synthetic rubber
5. Styrene-butadiene copolymer
6. Styrene–butadiene copolymer/polybutadiene
7. ASTM D1238/L @ 230˚C, 2.16 kg
8. Pyrolysis-FTIR
9. Polystyrene
10. Vinylgroups
11. Butadiene
12. Aliphatic
13. Lactone
14. Oligomers
15. zinc oxide