

توسعه میراگرهای ویسکوالاستیک با استفاده از دانش فنی و تجهیزات صنعت تایر: مطالعه موردی آمیزه‌های طبیعی و بوتیل

محمدامین رعنائی^{۱*}، سید مرتضی عابدی^۲ و حسین دعاگویان^۳

۱- مدیر مکانیک، شرکت کویر تایر

۲- رئیس برنامه‌ریزی نت، شرکت کویر تایر

۳- مدیر برنامه‌ریزی نت، شرکت کویر تایر

Amin.ranaei@gmail.com

چکیده: این پژوهش با اتخاذ یک رویکرد بین‌رشته‌ای، به بررسی قابلیت به‌کارگیری دانش فنی و تجهیزات صنعت تایرسازی به‌منظور تنوع‌بخشی به محصولات و ورود به عرصه صنعت ساختمان می‌پردازد. هدف نهایی، تولید میراگرهای ویسکوالاستیک به‌عنوان بازاری نوین با ارزش‌افزوده قابل‌توجه برای این صنعت است. در این راستا، تغییرات هدف‌مندی در دو آمیزه مورد استفاده در صنعت تایرسازی بر پایه لاستیک طبیعی (NR) و لاستیک بوتیل (IIR) به‌منظور استفاده در میراگرهای ویسکوالاستیک صورت گرفت و خواص مکانیکی و دینامیکی آن مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که مقاومت کششی الاستومرها بر پایه لاستیک طبیعی و بوتیل به‌ترتیب برابر ۱۵/۳۴ و ۱۰/۶۲ مگاپاسکال است. در بررسی رفتار دینامیکی، میراگر مبتنی بر لاستیک طبیعی با افزایش جابه‌جایی و فرکانس، رفتار غیرخطی شدیدتر و میرایی در محدوده ۱۰ تا ۲۰ درصد از خود نشان می‌دهد. در مقابل، میراگر ساخته‌شده بر پایه بوتیل رفتار خطی‌تر و وابستگی کم‌تری به فرکانس نشان داد، اما با میرایی بالاتری در حدود ۱۳ تا ۲۳ درصد در بازه فرکانسی ۰/۱ تا ۱/۵ هرتز عمل کرد. در نتیجه، میراگر IIR قابلیت اتلاف انرژی بالاتری را فراهم می‌کند، در حالی که میراگر NR نیروی بازگرداننده بزرگ‌تری ایجاد می‌کند. نتایج هم‌چنین افزایش مدول ذخیره و ضریب اتلاف میراگرهای ویسکوالاستیک را با افزایش فرکانس و کاهش آن‌ها را با افزایش کرنش نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آمیزه‌های الاستومری، لاستیک طبیعی، لاستیک بوتیل، خواص مکانیکی، خواص دینامیکی

مقدمه

مواد الاستومری به‌عنوان اجزای حیاتی در صنایع مختلف، از جمله تایرسازی و سیستم‌های میراسازی ارتعاشات، شناخته می‌شوند. صنعت لاستیک همواره متکی بر بازارهای سنتی مانند تایرسازی بوده است. با این حال، تغییرات بازار و نیاز به ایجاد ارزش‌افزوده، لزوم توسعه کاربردهای جدید و بین‌رشته‌ای برای محصولات این صنعت را بیش‌ازپیش نمایان ساخته است. یکی از این زمینه‌های پرمخاطره و درعین‌حال پرسود، صنعت ساخت‌وساز و به‌ویژه سیستم‌های مدرن میراگرهای ویسکوالاستیک برای کنترل ارتعاشات است. عملکرد این تجهیزات مستقیماً به نوع الاستومر پایه و فرمولاسیون آمیزه آن بستگی دارد. الاستومرهای پایه‌ای مانند لاستیک طبیعی (NR) و بوتیل (IIR) که ستون فقرات صنعت تایر هستند، به‌دلیل خواص مکانیکی و دینامیکی منحصر به فرد، کاندیداهایی ایده‌آل برای استفاده در میراگرهای ویسکوالاستیک محسوب می‌شوند. این پژوهش با نگاهی راهبردی، نشان می‌دهد که چگونه می‌توان با استفاده از همان دانش فنی، دستگاه‌ها و مواد اولیه موجود در خط تولید تایر، محصولی کاملاً متفاوت و با ارزش‌افزوده بالا برای صنعت ساختمان تولید کرد. این رویکرد نه تنها باعث گسترش دامنه محصولات واحدهای تولیدی می‌شود، بلکه آن‌ها را در برابر نوسانات بازار تایر نیز مقاوم‌تر می‌سازد. در صنعت تایرسازی، از NR به‌دلیل خواص مکانیکی برتر در دیواره کناری و آج تایرهای سنگین استفاده می‌شود، در حالی که IIR به‌دلیل نفوذناپذیری بالا،

برای لایه‌های داخلی تایر کاربرد دارد. خواص نهایی این الاستومرها را می‌توان با افزودنی‌هایی مانند فیلرها (مثل دوده سیاه) [۱ و ۲]، نرم‌کننده‌ها و سیستم‌های پخت [۳ و ۴] به‌طور چشم‌گیری اصلاح کرد به‌طوری‌که برای ساخت میراگرهای ویسکوالاستیک مورد استفاده قرار گیرد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که این افزودنی‌ها بر روی خواصی مانند میرایی، سختی و مدول برشی تأثیر مستقیم می‌گذارند؛ به‌طوری‌که استفاده بیش‌ازحد از دوده سیاه اگرچه میرایی را افزایش می‌دهد، اما می‌تواند باعث کاهش درازشدگی و افزایش سختی شود [۵ تا ۷]. در این پژوهش، از دو آمیزه بهینه‌شده بر پایه لاستیک طبیعی (NR) و لاستیک بوتیل (IIR) برای ساخت میراگرهای ویسکوالاستیک استفاده شد. پس از انجام فرایند پخت و ساخت میراگرهای ویسکوالاستیک، خواص مکانیکی و رفتار دینامیکی این میراگرها در محدوده فرکانسی ۰/۱ تا ۱/۵ هرتز و تحت کرنش برشی ۱۰ تا ۱۵۰ درصد مورد ارزیابی جامع قرار گرفت. این آزمایش‌ها به‌منظور سنجش عملکرد هر یک از میراگرها در شرایط مختلف و تعیین پتانسیل استفاده از دانش فنی و تجهیزات تایرسازی برای استفاده در صنعت کنترل ارتعاشات سازه انجام شد.

بخش تجربی

آماده‌سازی آمیزه‌ها

در این پژوهش، دو فرمولاسیون با ترکیبات مشخص (مطابق جدول ۱) طراحی شد. کلیه مراحل اختلاط و پخت با استفاده از دستگاه‌های متداول در صنعت

جدول ۱- آمیزه‌های الاستومری

Sulphur	Stearic Acid	Zinc Oxide	Accelerator				Protective agent		Phenolic Resin	MC Wax	Naphthenic Oil	Carbon Black	Butyl (IIR)	NR	Ingredients (phr)
			DPTH	TMETD	ZBDC	TBBS	TQM	4010			Oil 290Behran	N330Pars Co			Grade
۲	۱/۵	۵	۰	۰	۰/۵	۲	۲	۴	۴	۲	۱۵	۳۵	۰	۱۰۰	Compound1
۱	۱	۵	۱	۲	۰	۰	۲	۴	۴	۲	۱۵	۳۵	۱۰۰	۰	Compound2

با افزایش جابه‌جایی، رفتار غیرخطی شدیدی نشان می‌دهد و منحنی هیستریزس آن در کرنش‌های بالای ۱۰٪ از شکل بیضوی خارج می‌شود (شکل ۳-الف). با افزایش فرکانس، اتلاف انرژی به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته و میرایی آن به ۱۰ تا ۲۰٪ می‌رسد. همچنین مدول ذخیره‌ای آن با افزایش فرکانس افزایش ولی با افزایش جابه‌جایی کاهش می‌یابد (شکل ۴-الف). در مقابل، میراگرهای ویسکوالاستیک بر پایه لاستیک بوتیل (IIR) رفتار خطی‌تری داشته (شکل ۳-ب) و اتلاف انرژی آن با افزایش فرکانس بهبود می‌یابد. میرایی این میراگر در محدوده ۱۳ تا ۲۳٪ قرار دارد و وابستگی کمی به فرکانس‌های بالای ۱ هرتز نشان می‌دهد. مدول الاستیک آن نیز تقریباً مستقل از فرکانس بوده ولی با افزایش جابه‌جایی کاهش می‌یابد (شکل ۴-ب).

نتیجه‌گیری

این مطالعه به‌وضوح نشان می‌دهد که توانمندی‌های فعلی صنعت لاستیک تنها محدود به تولید تایر نیست. دانش فنی در حوزه فرمولاسیون، اختلاط و پخت الاستومرها، یک دارایی استراتژیک برای ورود به بازارهای جدید و پرچالش است. کامپاندهای بر پایه NR و IIR، که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفتند، پتانسیل فوق‌العاده‌ای برای استفاده در میراگرهای ویسکوالاستیک دارند. بر پایه بررسی‌های این پژوهش، کامپاندهای مبتنی بر لاستیک طبیعی (NR) و لاستیک بوتیل (IIR)، پتانسیل قابل‌توجهی برای کاربرد در میراگرهای ویسکوالاستیک از خود نشان می‌دهند. به‌طوری‌که میراگرهای ساخته‌شده از بوتیل قادرند میرایی بین ۱۳ تا ۲۳ درصدی در سازه‌ها ایجاد کنند و وابستگی کمتری به فرکانس بارگذاری دارند؛ در مقابل، میراگرهای مبتنی بر لاستیک طبیعی از نیروی بازگرداننده قوی‌تری برخوردارند. بنابراین، به مدیران و تصمیم‌گیرندگان صنعت لاستیک پیشنهاد می‌شود با نگاهی فراتر از بازارهای مرسوم، راهبرد تنوع‌بخشی محصولات را در دستور کار قرار دهند و با همکاری با صنایع دیگر (مانند ساختمان، جریان‌های درآمدی جدید و پایدار برای خود ایجاد کنند. این پژوهش می‌تواند به‌عنوان سکوی پرتابی برای همکاری‌های بین‌صنعتی و توسعه محصولات نوآورانه مبتنی بر لاستیک در نظر گرفته شود.

لاستیک مانند میل‌های دوغلتکی و پرس پخت و مطابق با استانداردهای رایج انجام پذیرفت. این موضوع نشان می‌دهد که تولید انبوه این کامپاندهای جدید برای کاربردهای نوین، بدون نیاز به سرمایه‌گذاری بر روی تجهیزات خاص، کاملاً امکان‌پذیر و مقرون‌به‌صرفه است.

برنامه انجام آزمایش‌ها

۱- تست‌های فیزیکی و مکانیکی

برای ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آمیزه‌های لاستیک طبیعی (NR) و بوتیل (IIR)، آزمون‌های استاندارد انجام شد. ابتدا با استفاده از رومتر (ASTMD5289) [۸]، ویژگی‌های پخت و زمان بهینه آن با ثبت منحنی گشتاور برحسب زمان تعیین شد (شکل ۱-الف). سپس سختی نمونه‌های پخت‌شده با دورومتر (ASTMD2240) [۹] اندازه‌گیری شد که نتایج نزدیک به ۵۸ برای NR و ۵۶ برای IIR را نشان داد. در نهایت، رفتار مکانیکی با آزمون کشش (ASTM D412) [۱۰] روی دستگاه UTM و با نرخ کشش ۵۰۰ میلی‌متر بر دقیقه بررسی شد (شکل ۱-ب). به‌طور کلی خلاصه خواص مکانیکی در جدول ۲ آورده شده است.

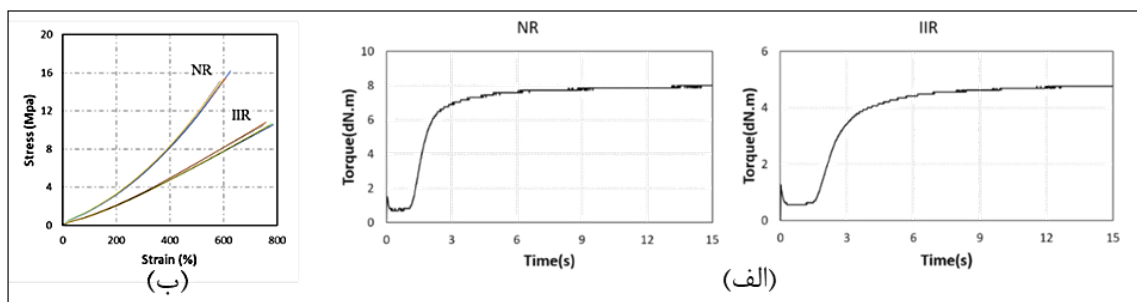
جدول ۲- مشخصات فیزیکی آمیزه‌های NR

و (Rheometer (ODR) at 160°C, 150 Kg/cm²) IIR

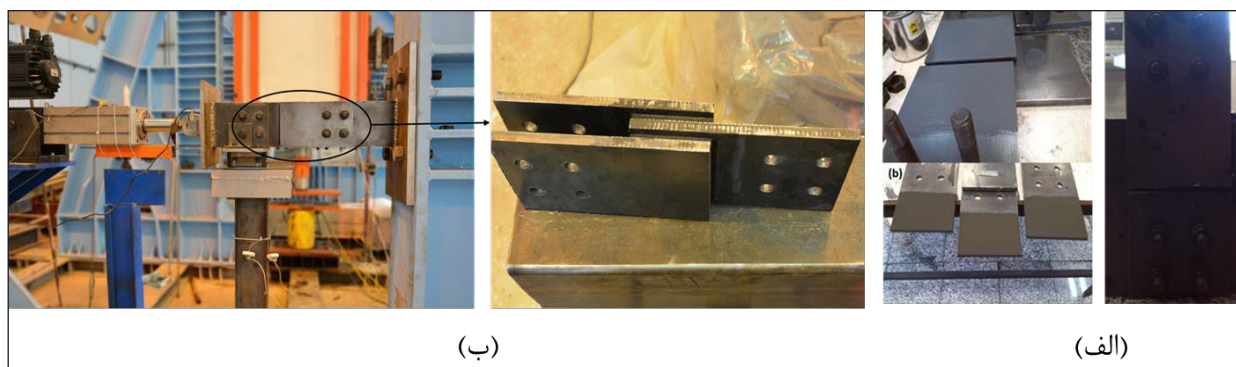
Elongation at break (%)	Tensile Strength (MPa)	Hardness, ShoreA	Optimum cure time t _{c90} , min	Typical properties
۶۰۴	۱۵/۴۳	۵۸	۳/۵۹	Compound1 (NR)
۷۷۰	۱۰/۶۲	۵۶	۵/۵۴	Compound2 (IIR)

۲- تست‌های دینامیکی

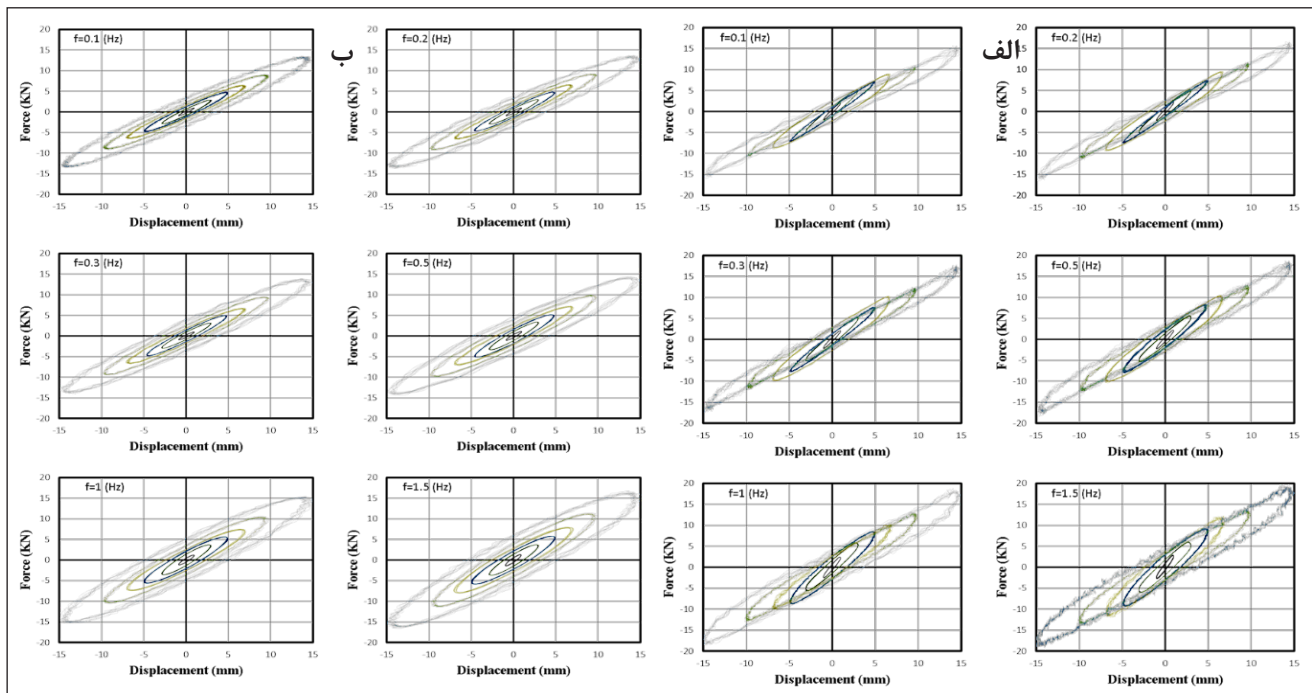
برای ارزیابی عملکرد دینامیکی میراگرهای ویسکوالاستیک، نمونه‌های ساخته‌شده متشکل از لایه‌های الاستومری به ضخامت ۱۰ میلی‌متر که بین ورق‌های فولادی ساندویچ شده بودند، مورد آزمایش قرار گرفتند (شکل ۲). نتایج آزمون‌های دینامیکی نشان داد که میراگرهای ویسکوالاستیک بر پایه لاستیک طبیعی (NR)



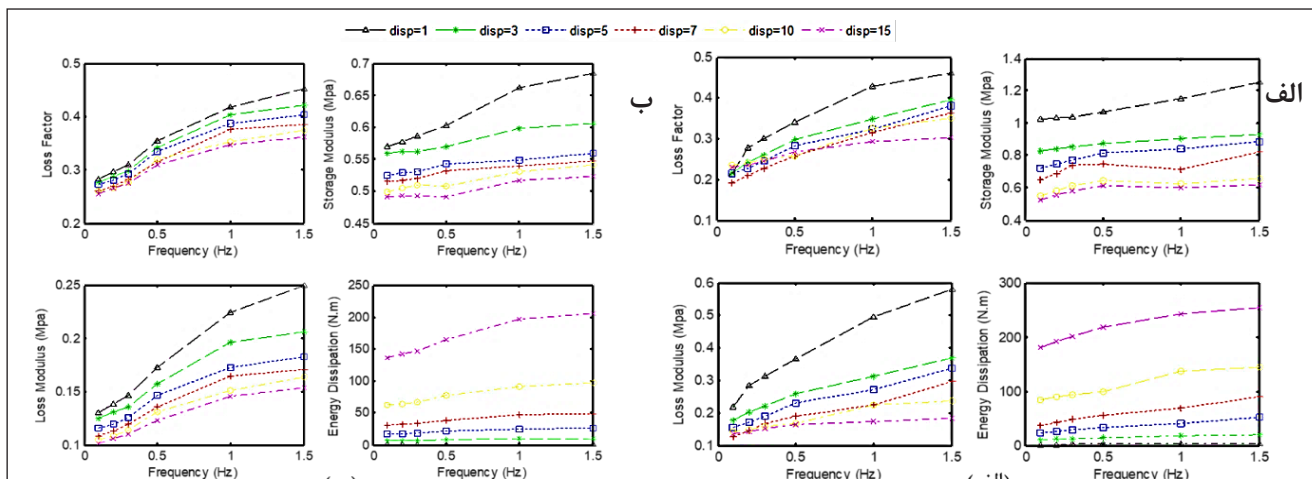
شکل ۱- رفتار فیزیکی و مکانیکی آمیزه‌های NR و IIR (الف) منحنی پخت آمیزه‌ها (ب) رفتار کششی آمیزه‌ها



شکل ۲- پارامترهای دینامیکی (الف) ساخت میراگر ویسکوالاستیک (ب) پیکربندی آزمایش رفتار دینامیکی میراگر ویسکوالاستیک



شکل ۳- رفتار چرخه‌ای میراگر ویسکوالاستیک (الف) بر پایه لاستیک طبیعی (NR) (ب) بر پایه لاستیک بوتیل (IIR)



شکل ۴- پارامترهای دینامیکی میراگر ویسکوالاستیک (الف) بر پایه لاستیک طبیعی (NR) (ب) بر پایه لاستیک بوتیل (IIR)

مراجع

- [1] P. A. Ciullo and N. Hewitt, The rubber formulary: William Andrew, 1999.
- [2] A. D1765-17, "Standard Classification System for Carbon Blacks Used in Rubber Products," ASTM International, 2017.
- [3] S. A. Koupai, A. Bakhshi, and V. V. Tabrizi, "Experimental investigation on effects of elastomer components on dynamic and mechanical properties in seismic isolator compounds," Construction and Building Materials, vol. 135, pp. 267-278, 2017.
- [4] S. Rabiei and A. Shojaei, "Vulcanization kinetics and reversion behavior of natural rubber/styrene-butadiene rubber blend filled with nanodiamond—the role of sulfur curing system," European Polymer Journal, vol. 81, pp. 98-113, 2016.
- [5] J. Leopoldes, C. Barres, J. Leblanc, and P. Georget, "Influence of filler–rubber interactions on the viscoelastic properties of carbon-black-filled rubber compounds," Journal of applied polymer science, vol. 91, pp. 577-588, 2004.
- [6] Z. Tadmor and C. G. Gogos, Principles of polymer processing: John Wiley & Sons, 2013.
- [7] A. Muhr, "Properties of rubber compounds for engineering applications," J. Nat. Rubber Res, vol. 7, pp. 14-37, 1992.
- [8] A. D5289-17, "Standard Test Method for Rubber Property—Vulcanization Using Rotorless Cure Meters," ASTM International, 2017.
- [9] A. D2240-15e1, "Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness," ASTM International, 2015.
- [10] A. D412-16, "Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension," ASTM International, 2016.