

بررسی اثر ترکیب پلیمرهای پایه بر خواص مکانیکی کامپاندهای لاستیکی NR/PBR/RSS-1

امین حیدرنسب^۱، مجید هاشم زاده^{۱،۲*}

^۱ گروه مهندسی مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران،

^۲ مرکز تحقیقات فناوریهای نوین ساخت و تولید، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

*majid.hashemzadeh@iau.ac.ir

چکیده

در این پژوهش، اثر نوع و ترکیب پایه‌های پلیمری بر خواص مکانیکی کامپاندهای لاستیکی مورد بررسی قرار گرفت. سه فرمولاسیون مختلف شامل ترکیبات متفاوتی از SMR-20، PBR و RSS-1 با اجزای ثابت از نظر دوده، روغن، آنتی‌اکسیدانت‌ها و سیستم پخت طراحی و مورد آزمایش قرار گرفتند. آزمون‌هایی از جمله سختی، استحکام کششی، ازدیاد طول، مقاومت سایشی و نیرو در نقطه پارگی بر اساس استانداردهای ASTM انجام شد. نتایج نشان داد کامپاندی که شامل ترکیب مساوی از PBR و RSS-1 است (کامپاند ۳)، عملکرد مکانیکی بهتری نسبت به سایر کامپاندها دارد. این یافته‌ها می‌تواند در طراحی کامپاندهای مقاوم‌تر برای کاربردهای مهندسی مفید باشد.

واژه‌های کلیدی

کامپاند لاستیکی، پلیمر پایه، SMR-20، PBR، RSS-1، خواص مکانیکی

۱- مقدمه

پلیمرهای پایه نقش محوری در تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی لاستیک‌ها دارند. در میان آن‌ها، (SMR-20) لاستیک طبیعی استاندارد، (PBR پلی بوتادین) و (RSS-1 لاستیک دودی) سه ماده پرکاربرد در صنایع لاستیک‌سازی هستند [1-3]. SMR-20 از نظر کشسانی و برگشت‌پذیری بالا شناخته شده است [1]، در حالی که PBR مقاومت سایشی خوبی دارد و برای افزایش عمر قطعه مفید است [2]. RSS-1 نیز انعطاف‌پذیری بالا و چسبندگی مناسبی ارائه می‌دهد [3].

مطالعات متعددی به بررسی تأثیر نوع فیلر [4]، سیستم پخت [5] و افزودنی‌های زیستی [6] پرداخته‌اند. هایماسه و همکاران [7] روابط بین ساختار و عملکرد را در انواع NR بررسی کرده‌اند [6]. فورملا استفاده از بیوفیلرها را پیشنهاد داده است [12]. کانادو پدیده بلورینگی ناشی از کرنش در NR را بررسی کرده [13] و سوری‌ا به نقش عوامل جفت‌کننده در خواص ترکیب‌های پر شده اشاره داشته‌اند. تحقیقات دیگری نیز اثر ترکیب [10] NR/BR و تراکم شبکه پخت [11] را بررسی کرده‌اند.

۲- مواد و روش‌ها

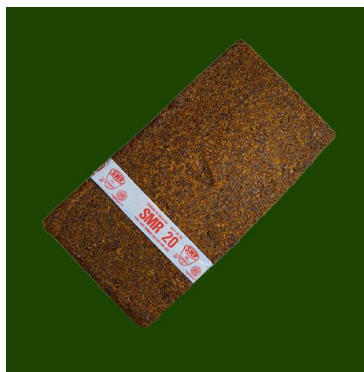
سه کامپاند لاستیکی طراحی شد که تنها تفاوت آن‌ها در ترکیب پایه پلیمری بود. سایر مواد اولیه در همه فرمول‌ها یکسان بودند.

جدول ۱. بررسی تفاوت کامپاندها از نظر ترکیب پلیمری

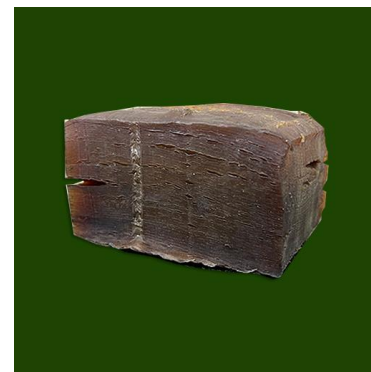
مواد اولیه	کامپاند ۱	کامپاند ۲	کامپاند ۳
SMR-20	40	50	—
PBR	60	50	50
RSS-1	—	—	50
N-330	60	60	60
OIL-290	12	12	12
ZNO	5	5	5
STEARIC ACID	2.5	2.5	2.5
TMQ	1	1	1
4010	1	1	1
COLOPHONY	3	3	3
SULFUR	0.9	0.9	0.9
CZ	1.8	1.8	1.8



شکل ۳. لاستیک PBR



شکل ۲. لاستیک SMR



شکل ۱. لاستیک RSS1



شکل ۶. تست سختی



شکل ۵. دستگاه رنومتر



شکل ۴. تست استحکام کششی

۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از آزمون‌های مکانیکی در جدول زیر آمده است:

جدول ۲. بررسی نتیجه آزمون های مکانیکی

شرح آزمون	استاندارد	واحد	کامپاند ۱	کامپاند ۲	کامپاند ۳
سختی	ASTM-D2240	Shore A	60	62	60
مقاومت سایشی	ASTM-D5963	mm ³	61	64	59
استحکام کششی	ASTM-D412	MPa	12.36	15.58	17.29
درصد ازدیاد طول	ASTM-D412	%	372.44	539.93	505.09
نیرو در نقطه پارگی	ASTM-D412	N	239.36	267.86	314.96
مقاومت پارگی	ASTM-D624	—	—	—	—

با بررسی داده‌های جدول ۲ می‌توان نتایج زیر را استخراج کرد:

- سختی:** کامپاندهای ۱ و ۳ سختی یکسانی برابر با ۶۰ دارند، در حالی که کامپاند ۲ با افزایش سهم SMR-20 به PHR50، سختی را به ۶۲ افزایش داده است. این نشان می‌دهد SMR-20 در ساختار کریستالی خود تأثیر گذارتر از RSS-1 بوده و سختی نهایی را بالا می‌برد.
- مقاومت سایشی (mm³):** بهترین عملکرد سایشی متعلق به کامپاند ۳ است (59 mm³)، که به دلیل وجود هم‌زمان RSS-1 و PBR می‌تواند ناشی از تشکیل شبکه‌ای نرم‌تر اما مقاوم در برابر پارگی‌های سطحی باشد. بیشترین سایش در کامپاند ۲ (64 mm³) مشاهده شد که احتمالاً به علت افزایش سختی و کاهش انعطاف‌پذیری سطحی است.
- استحکام کششی (MPa):** روند صعودی استحکام کششی از کامپاند ۱ به ۳ مشاهده می‌شود (از 12.36 MPa به 17.29 MPa) ترکیب PBR با RSS-1 در کامپاند ۳ ساختاری هم‌افزا ایجاد کرده که باعث انتقال یکنواخت تنش در کل ماتریس می‌شود.
- ازدیاد طول (%):** کامپاند ۲ با نسبت مساوی SMR-20/PBR بالاترین میزان ازدیاد طول را دارد (539.93%) که به واسطه افزایش زنجیره‌های طبیعی بلند SMR-20 قابل توجیه است. اما در کامپاند ۳، وجود RSS-1 باعث حفظ انعطاف‌پذیری بالا در کنار افزایش استحکام شده که ویژگی قابل توجهی است.
- نیرو در نقطه پارگی (N):** کامپاند ۳ با بیشترین مقدار نیرو در پارگی (314.96 N) نشان می‌دهد که این ترکیب نه تنها مقاوم بلکه کشسان است، و این ویژگی در کاربردهایی مانند ضربه‌گیر، لرزه‌گیر و قطعات دینامیکی بسیار مهم است.

به طور کلی، ترکیب (PBR با RSS-1 کامپاند ۳) عملکردی متعادل و برتر از نظر مقاومت سایشی، کششی و پارگی دارد و گزینه‌ای ایده‌آل برای کاربردهای مهندسی پرتنش به شمار می‌رود. کامپاند ۲ نیز به دلیل درصد کشیدگی بالا می‌تواند برای قطعات انعطاف‌پذیر انتخاب شود. کامپاند ۱ ضعیف‌ترین عملکرد را داشته و احتمالاً فقط برای قطعات ثانویه یا کم‌تنش مناسب خواهد بود.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، سه فرمولاسیون کامپاند لاستیکی با ترکیب متفاوتی از پایه‌های پلیمری مورد بررسی قرار گرفتند. کلیه اجزای فرمول به جز پلیمر پایه ثابت نگه داشته شد تا تأثیر دقیق نوع پلیمرها ارزیابی گردد.

نتایج آزمون‌ها به وضوح نشان دادند که انتخاب و نسبت‌دهی صحیح بین PBR و RSS-1 می‌تواند خواص مکانیکی را به طرز قابل‌توجهی تغییر دهد. کامپاند حاوی نسبت مساوی (PBR و RSS-1 کامپاند ۳) عملکردی برتر از نظر استحکام، نیرو در پارگی و مقاومت سایشی داشت. همچنین، انعطاف‌پذیری قابل‌قبولی نیز حفظ شده بود که آن را برای کاربردهای صنعتی تحت بار دینامیک یا نوسانی مناسب می‌سازد.

در مقابل، کامپاند ۲ که ترکیب مساوی PBR و SMR-20 داشت، بالاترین درصد ازدیاد طول را نشان داد و گزینه‌ای مناسب برای قطعات با نیاز به انعطاف بالا خواهد بود. کامپاند ۱ به‌رغم سادگی، نسبت به سایرین خواص ضعیف‌تری داشت و پیشنهاد می‌شود فقط در کاربردهای استاتیک سبک استفاده گردد.

به طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که اضافه‌کردن RSS-1 به ترکیب می‌تواند یک راهبرد مؤثر برای افزایش مقاومت بدون کاهش انعطاف‌پذیری باشد. این نتیجه برای طراحی آینده‌ی کامپاندهای صنعتی با خواص چندمنظوره بسیار کاربردی است.

۵- مراجع

- [1] Ismail, H., Shuhelmy, S., & Edyham, M. (2002). The effects of a silane coupling agent on curing characteristics and mechanical properties of EPDM/PP blends. *European Polymer Journal*, 38(1), 39–47. doi:10.1016/S0014-3057(01)00127-5.
- [2] Leblanc, J. L. (2002). Rubber-filler interactions and rheological properties in filled compounds. *Progress in Polymer Science*, 27(4), 627–687. doi:10.1016/S0079-6700(01)00042-5.
- [3] John, R., & Jacob, M. (2005). Properties of natural rubber modified with synthetic rubbers. *Journal of Applied Polymer Science*, 98(4), 1520–1526. doi:10.1002/app.22291.
- [4] Nakason, C., et al. (2005). Curing characteristics, mechanical properties, and oil resistance of rubber blends based on natural rubber and acrylonitrile–butadiene rubber. *Polymer Testing*, 24(3), 363–370. doi:10.1016/j.polymertesting.2004.11.006.
- [5] Rivaton, A., et al. (2000). Influence of thermal oxidation on the ageing of EPDM. *Polymer Degradation and Stability*, 67(3), 463–469. doi:10.1016/S0141-3910(99)00124-5.

- [6] Formela, K., et al. (2014). Curing behavior and mechanical properties of natural rubber compounds filled with lignocellulosic biomass. *Industrial Crops and Products*, 55, 34–42. doi:10.1016/j.indcrop.2014.01.033.
- [7] Hayeemasae, N., Soontaranon, S., & Masa, A. (2024). Structure–property relationships of different natural rubber grades. *Journal of Rubber Research*. doi:10.1177/14777606241243113.
- [8] Saiwari, S., et al. (2022). Structure–property relationships in natural rubber representing several clonal varieties of *Hevea brasiliensis*. *Journal of Rubber Research*. doi:10.1177/14777606221127372.
- [9] Bakare, I. O. (2025). Evaluation of physicochemical properties, drying process and drying conditions of natural rubber latex and ribbed smoked sheets. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 29(2).
- [10] Amry, A., et al. (2021). Aging and mechanical properties of NR/BR blends. ResearchGate Publication.
- [11] Kasi, E., et al. (2021). Effect of crosslink density on cut and chip resistance of 100% SBR based tire tread compound. ResearchGate Publication.
- [12] Candau, N., et al. (2021). Strain induced crystallization in vulcanized natural rubber containing ground tire rubber particles with reinforcement and nucleation abilities. *Polymer Testing*, 101, 107313.
- [13] Surya, I., Ismail, H., & Azura, A. R. (2014). The comparison of alkanolamide and silane coupling agent on the properties of silica-filled natural rubber (SMR-L) compounds. *Polymer Testing*, 40, 24–32.
- [14] Priyo, S. H., et al. (2021). Mechanical and dynamic properties of composite rubber (RSS and SBR) with waste rubber crumb and copper fiber. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1858(1), 012072.
- [15] Candau, N., et al. (2021). Strain induced crystallization in vulcanized natural rubber containing ground tire rubber particles with reinforcement and nucleation abilities. *Polymer Testing*, 101, 107313.
- [16] Ismail, H., et al. (2014). The comparison of alkanolamide and silane coupling agent on the properties of silica-filled natural rubber (SMR-L) compounds. *Polymer Testing*, 40, 24–32.
- [17] Hayeemasae, N., et al. (2022). Structure–property relationships in natural rubber representing several clonal varieties of *Hevea brasiliensis*. *Journal of Rubber Research*. doi:10.1177/14777606221127372.
- [18] Bakare, I. O. (2025). Evaluation of physicochemical properties, drying process and drying conditions of natural rubber latex and ribbed smoked sheets. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 29(2).



اولین کنفرانس بین المللی

مهندسی ساخت و تولید قطعات صنعتی

۷ و ۸ خرداد ماه ۱۴۰۴ - دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد



دانشگاه آزاد اسلامی
واحد نجف آباد

[19] Amry, A., et al. (2021). Aging and mechanical properties of NR/BR blends. ResearchGate Publication.

[20] Kasi, E., et al. (2021). Effect of crosslink density on cut and chip resistance of 100% SBR based tire tread compound. ResearchGate Publication.