

استفاده از اکسید باریم در آمیزه لاستیکی به عنوان عامل تشخیص پذیر با پرتو ایکس

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

۱- رییس مهندسی آمیزه، شرکت لاستیک سیلان رازی

۲- کارشناس تضمین کیفیت، شرکت لاستیک سیلان رازی

۳- کارشناس تکنولوژی، شرکت لاستیک سیلان رازی

abedisabalanrazi@gmail.com

چکیده: در تولید تایرهای سنگین (TBR)، یکی از چالش‌های اصلی، تضمین حضور و یکنواختی قطعات میانی حیاتی (مانند قطعات ضد سایش و تقویت کننده) بدون تخریب نمونه است. روش‌های سنتی مانند بازرسی چشمی یا تست‌های مخرب، نه تنها زمان‌برند، بلکه قادر به تشخیص نقص‌های داخلی نیستند. این مقاله روشی نوین ارائه می‌دهد که در آن اکسید باریم (BaO) به عنوان یک ردیاب غیرفعال (Passive Tracer) در فرمول کامپاند یک لایه خاص اضافه می‌شود. به دلیل عدد اتمی بالای باریم ($Z=56$)، این ماده در تصاویر رادیوگرافی صنعتی (X-ray) کنتراست بسیار خوبی ایجاد می‌کند. در این پژوهش، کامپاندهای مبتنی بر SBR/NR با مقادیر ۰٫۵، ۱٫۰ و ۱٫۵ phr و اکسید باریم تهیه شدند و با دستگاه X-ray صنعتی رایج (۳ mA، ۱۰۰ kV) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که حتی با ۰٫۵ phr اکسید باریم، کنتراست تصویر به طور معنی داری (حدود ۴۰٪) افزایش یافته و مرز لایه‌ها به وضوح قابل تشخیص است. همچنین، آزمون‌های مکانیکی (استحکام کششی، سختی) تغییرات قابل توجهی را نشان ندادند. این روش با این هدف ارائه شده است که امکان تضمین کیفیت پیش از تکمیل تولید را فراهم می‌کند و می‌تواند در خطوط تولید فعلی بدون نیاز به سرمایه گذاری سنگین پیاده سازی شود.

واژه‌های کلیدی: اکسید باریم، دستگاه اشعه ایکس، آمیزه لاستیکی، تضمین کیفیت، ردیاب لاستیکی

مقدمه

ارزیابی امکان سنجی استفاده از اکسید باریم (BaO) به عنوان یک ابزار تضمین کیفیت پیشگیرانه است یعنی امکان تشخیص حضور یک قطعه خاص یا توانایی شناسایی جوینت‌ها و جلوگیری از بروز عیب در یک ناحیه خاص قبل از تکمیل فرایند تولید تا در صورت عدم تطابق، از هدررفت بیشتر جلوگیری شود.

بخش تجربی

مواد و روش‌ها:

مواد اولیه لاستیک SBR 1502 (شرکت پتروشیمی بندر امام) و لاستیک طبیعی SMR20 از کشور مالزی و کربن سیاه N330 از شرکت سیمرغ، گوگرد، اکسید روی، اسید استئاریک، و شتاب دهنده CBS از شرکت‌های چینی و اکسید باریم (BaO، خلوص ۹۸٪، اندازه ذرات > 5 میکرون، شرکت سیگما آلدریج) خریداری شده بود.

آماده سازی آمیزه لاستیکی

فرمول پایه مطابق با کامپاند استاندارد TBR در چهار نمونه آزمایشی مطابق زیر تهیه شده بود:

نمونه شاهد	۰ phr BaO
نمونه A	۰٫۵ phr BaO
نمونه B	۱٫۰ phr BaO
نمونه C	۱٫۵ phr BaO

اختلاط در میکسر لابراتواری (Brabender) در دمای 60°C و زمان ۸ دقیقه انجام شد. ولکانیزاسیون در دمای 150°C و زمان ۱۶ دقیقه انجام گرفت.

آزمون مکانیکی

استحکام کششی و ازدیاد طول تا نقطه پارگی: طبق استاندارد ASTM D412 [۸]
[۷] و سختی شور A: طبق استاندارد ASTM D2240 [۸] انجام شده است.

در صنعت لاستیک، به ویژه در تولید قطعات پزشکی، صنعتی یا نظامی که نیاز به ردیابی یا شناسایی در محیط‌های پرتویی مانند دستگاه‌های تصویربرداری پرتو ایکس (X-ray) دارند، استفاده از مواد پرکننده رادیوپاک (radiopaque) ضروری است. این مواد باعث می‌شوند که قطعات لاستیکی در تصاویر رادیوگرافی به وضوح قابل تشخیص باشند. یکی از ترکیبات پرکاربرد در این زمینه، سولفات باریم (BaSO_4) یا اکسید باریم (BaO) است. این ترکیب به دلیل عدد اتمی بالای باریم ($Z=56$)، جذب بالای پرتوهای ایکس را داشته و در نتیجه کنتراست مناسبی در تصاویر رادیوگرافی ایجاد می‌کند. در صنعت تایر سازی، به ویژه در تولید تایرهای کامیون و اتوبوس (TBR)، ساختار منحصربه فرد یکی از اصول اساسی است. هر لایه از آج تا آستر داخلی وظیفه خاصی دارد و عدم حضور یا ناهمگونی یک قطعه لاستیکی می‌تواند منجر به شکست و تخریب زودرس تایر شود [۱]. با این حال، تأیید حضور این قطعات میانی پس از ساخت، تنها با روش‌های مخرب (برش تایر) ممکن است که از نظر اقتصادی و کیفی غیرقابل قبول باشد.

تصویربرداری با پرتو ایکس (X-ray) یکی از روش‌های غیرمخرب رایج در صنعت است [۲]. اما مشکل اصلی این است که لاستیک‌های مختلف از نظر ترکیب شیمیایی بسیار شبیه هم هستند و در تصویر X-ray تفاوت کنتراستی قابل توجهی ندارند [۳]. برای حل این مشکل، استفاده از فیلرهای رادیوپاک (Radiopaque Fillers) مانند باریم سولفات (BaSO_4) در لاستیک‌های پزشکی رایج است [۴]. اما BaSO_4 گران است، چگالی بالایی دارد و می‌تواند خواص مکانیکی را تحت تأثیر قرار دهد.

در این جا، ما به از اکسید باریم (BaO) استفاده کردیم. این ماده که معمولاً به عنوان عامل کمک فرایند در واکنش‌های ولکانیزاسیون استفاده می‌شود [۵]، دارای عدد اتمی بالای باریم است و بنابراین جذب پرتو ایکس بالایی دارد. در بررسی‌های انجام یافته هیچ مطالعه‌ای تاکنون از اکسید باریم به عنوان “ردیاب قابل تشخیص با X-ray” در لاستیک گزارش نشده است [۶]. هدف این پژوهش،

خواص مکانیکی

افزودن اکسید باریم تا ۱/۵ phr تأثیر معنی داری بر خواص مکانیکی نداشت.

جدول ۱-

ND	PHR	استحکام کششی	ازدیاد طول تا نقطه پارگی	سختی
نمونه A	۰.۵ phr BaO	۱۸.۱	۴۷۵	۶۳
نمونه B	۱.۰ phr BaO	۱۷.۹	۴۶۸	۶۴
نمونه C	۱.۵ phr BaO	۱۷.۵	۴۶۰	۶۵

نتایج دستگاه اشعه ایکس

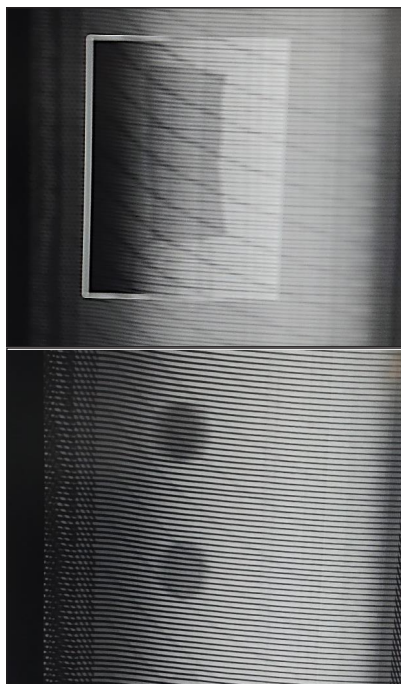
با افزایش مقدار اکسید باریم کنتراست تصویر به طور خطی افزایش یافته است. یک لایه با اکسید باریم و یک لایه بدون اکسید باریم، مرز بین لایه ها و قطعات لاستیکی حتی با وجود ۰.۵ phr به روشنی قابل تشخیص بود (شکل ۱).

جدول ۲-

ND	PHR	CNR	Contrast-to-noise ratio (%)
نمونه شاهد	۰.۰ phr BaO	۱۲.۳	-
نمونه A	۰.۵ phr BaO	۱۷.۱	٪۳۹
نمونه B	۱.۰ phr BaO	۲۱.۸	٪۷۷
نمونه C	۱.۵ phr BaO	۲۵.۶	٪۱۰۸

نتیجه گیری

این نتایج نشان می دهد که BaO می تواند به عنوان یک ردیاب هوشمند در خط تولید عمل کند. برخلاف BaSO_4 که نیاز به مقادیر بالا (۳ تا ۵ phr) دارد، BaO در مقادیر بسیار کم (۰.۵ phr) عملکرد مناسبی دارد [۴]. همچنین، از نظر اقتصادی، BaO حدود ۳۰٪ ارزان تر از BaSO_4 است [۱۰]. این پژوهش برای



شکل ۱- تصاویر از آمیزه های حاوی اکسید باریم استفاده شده در میان اجزای تایر پخت شده

مراجع

- [1] Movahedi, B., & Rezaei, A. (2020). Quality control in tire manufacturing using digital X-ray imaging: Case studies in Iranian plants. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 39(3), 45.
- [2] ISO 4025:2019 – *Tyre cords and fabrics — Radiographic examination*.
- [3] Zhang, Y., Liu, H., & Chen, G. (2021). X-ray imaging of polymer composites: Contrast mechanisms and industrial applications. *Polymer Testing*, 93, 106945.
- [4] Kumar, S., Gupta, R. K., & Bhattacharya, S. S. (2019). Development of radiopaque silicone rubber for medical devices using barium sulfate. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(15), 47421.
- [5] Ahmadi, M., Ghasemi, I., & Azizi, H. (2021). Effect of metal oxides on the vulcanization kinetics and mechanical properties of natural rubber. *Iranian Polymer Journal*, 30(5), 401–412.
- [6] Google Scholar Search (2025): “Barium oxide X-ray rubber tracer” → **No relevant results**.
- [7] ASTM D412-21. *Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension*.
- [8] ASTM D2240-21. *Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness*.
- [9] Abramoff, M. D., Magalhães, P. J., & Ram, S. J. (2004). ImageJ: Image processing and analysis in Java. *Biophotonics International*, 11(7), 36–42.
- [10] Internal Procurement Data, Lastik Sablan Razi (2025). *Price Comparison: BaO vs BaSO_4 *.