



کوپر تایر

اولین تولیدکننده تایر در ایران

پیش بینی عیوب تایر در خط تولید با استفاده از تحلیل روند داده های روزانه ثبت شده توسط اپراتورها

سید محمدرضا جلالیان شهری^۱ - سید هاشم محتشمی^۲ - ضیا احراری^۳

کارشناس واحد سیستم‌های هوشمند^۱ - مدیر واحد سیستم‌های هوشمند^۲ ، کوپرتایر

۰۹۳۶۶۹۳۰۱۲۴ سید محمدرضا جلالیان شهری - Mr.jalalian.ieee@gmail.com



شکل ۱- سه نمونه از عیوب تایر به ترتیب از سمت راست به چپ ۱-خمش بید ۲-تجمع اسپالایس ۳- اشکال پرس

پس از جمع‌آوری، داده‌ها پاکسازی و دسته‌بندی می‌شوند. در این مرحله، عیوب بر اساس منشأ احتمالی آن‌ها گروه‌بندی می‌شوند: گروهی ناشی از خطای انسانی (مثل اسپالایس نامناسب یا خطای اپراتور)، گروهی ناشی از تنظیمات ماشین یا پرس (مثل اشکال پرس یا کشش لایه)، و گروهی ناشی از فرایند یا مواد (مثل حبس هوا یا جریان یافتن آمیزه). این طبقه‌بندی به تحلیل دقیق‌تر و اقدام هدفمند کمک می‌کند.

در مرحله بعد، برای هر نوع عیب، یک سری زمانی روزانه تشکیل می‌شود که تعداد وقوع آن عیب را در طول زمان نشان می‌دهد. سپس، با استفاده از یک شاخص ترکیبی، افزایش احتمال وقوع عیب در روزهای آینده پیش‌بینی می‌شود. این شاخص که ما آن را "شاخص احتمال وقوع آینده (FPI)" می‌نامیم، دو مؤلفه اصلی دارد: اول، نسبت میانگین وقوع عیب در یک دوره کوتاه‌مدت (مثلاً ۷ روز اخیر) به میانگین بلندمدت (مثلاً ۹۰ روز گذشته)، و دوم، جهت و میزان روند تغییرات اخیر. به این ترتیب، تنها مقدار فعلی عیب مهم است، بلکه روند افزایشی یا کاهش آن نیز در پیش‌بینی نقش دارد.

این شاخص به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$FPI = \frac{A}{B} + \alpha \times \left(\frac{C}{D}\right)$$

در این رابطه A: میانگین عیوب در هفت روز گذشته

B: میانگین بلند مدت (مثلاً ۹۰ روز)

C: شیب روند هفت روز اخیر

D: معیار انحراف

α: برای تنظیم اهمیت روند زمانی

مؤلفه اول نشان‌دهنده نسبت فعالیت اخیر به عملکرد عادی سیستم است و مؤلفه دوم، جهت و شدت تغییرات اخیر را منعکس می‌کند. ضریب α در این پیاده‌سازی برابر با ۰/۵ در نظر گرفته شده است. این مقدار از طریق آزمایش‌های عملیاتی در خط تولید تنظیم شده تا تعادل مناسبی بین حساسیت و خطای هشدار کاذب ایجاد کند.

پس از محاسبه شاخص FPI برای هر نوع عیب، سیستم به‌صورت خودکار هر ۲۴ ساعت یکبار بررسی می‌کند که آیا این شاخص از آستانه‌های از پیش تعیین‌شده عبور کرده است یا خیر. در صورتی که مقدار FPI بیشتر از ۱/۳ باشد، سیستم یک هشدار زرد "احتمال افزایش عیب" ارسال می‌کند. اگر این مقدار از ۱/۸ عبور کند، هشدار قرمز "احتمال شدید افزایش عیب" فعال می‌شود و به مدیریت خط تولید و واحد کیفیت اطلاع داده می‌شود. این هشدارها از طریق سیستم داخلی یا پیامک به اپراتورها و مهندسین ارسال می‌شوند.

در نهایت، این هشدارها منجر به اقدامات پیشگیرانه می‌شوند. برای مثال، افزایش مکرر عیب "حبس هوا بین بلادر و کوشین" ممکن است نشان‌دهنده نقص در سیستم هواگیری یا تنظیمات نادرست پرس باشد که با بازبینی سریع، از تولید انبوه محصول معیوب جلوگیری می‌شود. این چرخه بسته، سیستم کنترل کیفیت را از یک فرآیند واکنشی به یک سیستم پیش‌گیرانه تبدیل می‌کند.

نتایج و بحث:

پیاده‌سازی سیستم پیشنهادی در یکی از خطوط تولید تایر انجام شده است. داده‌های عیوب روزانه طی یک دوره زمانی مشخص جمع‌آوری و مورد تحلیل قرار گرفتند. در این دوره، انواع عیوب شایع مانند حبس هوا بین بلادر و کوشین، اسپالایس نامناسب کوشین و خطای اپراتور به‌طور منظم ثبت می‌شدند. پس از فعال‌سازی سیستم پیش‌بینی، شاخص FPI به‌صورت روزانه برای هر نوع عیب محاسبه شد و هشدارهای مربوطه به واحدهای کیفیت و مدیریت خط تولید ارسال گردید.

یکی از دستاوردهای کلیدی سیستم، شناسایی به‌موقع افزایش احتمال وقوع عیب "حبس هوا بین بلادر و کوشین" بود. هشدار صادرشده منجر به بازبینی تنظیمات پرس و سیستم هواگیری شد که در نهایت به کاهش مشهود این نوع عیب انجامید. بررسی‌های

چکیده

در خطوط تولید تایر، ثبت عیوب به صورت دستی و پس از تکمیل محصول، اغلب منجر به تأخیر در شناسایی نقص‌های مکرر یا سیستماتیک می‌شود. این تأخیر موجب افزایش ضایعات و کاهش کیفیت محصول نهایی می‌گردد. در این مقاله، یک روش عملیاتی و ساده برای پیش‌بینی عیوب آینده تایر با استفاده از داده‌های تاریخی عیوب ثبت‌شده توسط اپراتورها ارائه می‌شود. داده‌های روزانه شامل انواع عیوبی مانند "حبس هوا بین بلادر و کوشین"، "اسپالایس نامناسب کوشین"، "خطای اپراتور" و "فاصله افتادن بین نخ‌های لایه" مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. با استفاده از تحلیل روند زمانی و یک مدل قانون‌محور هوشمند، سیستم قادر است افزایش احتمال وقوع هر عیب خاص را در روزهای آینده پیش‌بینی کند. نتایج اولیه در یک خط تولید تایر نشان می‌دهد که این رویکردی می‌تواند با ارائه هشدار زودهنگام، به مدیران و اپراتورها امکان اقدام پیشگیرانه را بدهد. این روش بدون نیاز به سخت‌افزار پیچیده و تنها با بهره‌گیری از داده‌های موجود، قابلیت اجرا در کارخانجات تایر داخلی را دارد و به‌عنوان گامی کاربردی در هوشمندسازی خط تولید معرفی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی عیوب تایر، کنترل کیفیت، تحلیل داده‌های تولید، سری زمانی، هوشمندسازی خط تولید

محور مقاله: مدیریت بهره‌وری/ رهبری در راستای توسعه فناوری و نوآوری-راهکارهای افزایش بهره‌وری

مقدمه:

کنترل کیفیت در صنعت تایر، به‌ویژه در مراحل نهایی تولید، همواره چالشی پیچیده و حیاتی بوده است. هر گونه نقص در فرآیند ساخت — چه ناشی از خطای انسانی، چه ناشی از تنظیمات نادرست ماشین‌آلات — می‌تواند منجر به تولید محصول معیوب و در نهایت افزایش ضایعات، کاهش بهره‌وری و آسیب به اعتبار برند شود. در بسیاری از کارخانجات تایر، از جمله واحدهای داخلی، شناسایی عیوب عمدتاً در پایان خط تولید و توسط اپراتورهای کیفیت انجام می‌شود. این روش دستی، اگرچه ضروری است، اما ذاتاً واکنشی است و اغلب زمانی عیب شناسایی می‌شود که تعداد قابل توجهی تایر با همان نقص تولید شده‌اند.

در سال‌های اخیر، تمایل به سمت هوشمندسازی خطوط تولید و استفاده از داده‌های عملیاتی برای پیش‌بینی مشکلات، رو به افزایش است. با این حال، بسیاری از راه‌حل‌های پیشنهادی در مقالات علمی به دلیل پیچیدگی الگوریتمی، نیاز به زیرساخت‌های گران‌قیمت یا عدم انطباق با شرایط واقعی کارخانه، از سوی دیگر، داده‌های ارزشمندی همچون ثبت روزانه عیوب توسط اپراتورها، اغلب تنها به‌عنوان آمار تاریخی ذخیره شده و کمتر مورد تحلیل عمیق قرار می‌گیرند.

در این پژوهش، یک رویکرد عملیاتی و ساده برای پیش‌بینی عیوب آتی تایر بر اساس تحلیل داده‌های تاریخی عیوب روزانه ارائه می‌شود. سیستم پیشنهادی علاوه بر ثبت ساختار یافته عیوب — از جمله حبس‌هوا بین بلادر و کوشین، اسپالایس باز لایه، خطای اپراتور و زبری داخل — از یک مدل تحلیل روند مبتنی بر زمان و قوانین آستانه‌ای هوشمند استفاده می‌کند تا افزایش احتمال وقوع هر عیب خاص را پیش از وقوع واقعی پیش‌بینی کند. این روش بدون نیاز به سخت‌افزارهای پیشرفته و تنها با بهره‌گیری از داده‌های موجود، قابلیت اجرا در کارخانجات تایر کشور را دارد و می‌تواند به‌عنوان یک سیستم هشدار زودهنگام عمل کند.

هدف نهایی این کار، ارائه یک ابزار کاربردی برای مدیران و کارشناسان خط تولید است تا بتوانند قبل از تبدیل یک نقص جزئی به یک مشکل سیستماتیک، اقدام اصلاحی انجام دهند .

مرور مختصر کارهای پیشین

در سال‌های اخیر، استفاده از روش‌های داده‌محور و هوش مصنوعی برای کنترل کیفیت و پیش‌بینی عیوب در صنعت تایر رشد چشمگیری داشته است. Saleh و همکاران با بهره‌گیری از انتقال یادگیری و تصاویر X-Ray، دقت بالایی در شناسایی عیوب تایر به دست آوردند. Majewski و همکاران نشان دادند که شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) می‌توانند در پیش‌بینی روابط پیچیده فرایند تولید و کاهش عیوب موثر باشند Tamborski و همکاران به نقش کلیدی هوش مصنوعی در کشف زودهنگام عیوب و نگهداری پیش‌بینانه در صنعت تایر پرداخته‌اند. [۳،۲،۱]

از سوی دیگر، Mignot و همکاران با رویکرد چندمثالی (Multiple Instance Learning) ، سامانه‌ای برای تولید بدون عیب ارائه دادند که دقت قابل توجهی در پیش‌بینی کیفیت تایر ثبت کرده است. Nueasri و همکاران با استفاده از SVM و Random Forest ، خرابی دستگاه میکسر را پیش‌بینی کردند و کاهش ۱۵٪ در ضایعات را به همراه داشتند. همچنین Karkaria و همکاران چارچوبی مبتنی بر Digital Twin و مدل‌های Transformer برای پایش سلامت تایر و پیش‌بینی طول عمر آن ارائه کرده‌اند. [۴،۵،۶]

با این حال، بسیاری از این رویکردها نیازمند داده‌های تصویری، زیرساخت‌های پیشرفته یا الگوریتم‌های پیچیده هستند. تمایز پژوهش حاضر در آن است که، فقط با استفاده از داده‌های ساده و روزانه ثبت‌شده توسط اپراتورها و با روشی قابل اجرا، عملی و قانون‌محور، الگویی برای پیش‌بینی عیوب آینده ارائه می‌دهد — بدون نیاز به سخت‌افزار گران یا ابزارهای پیچیده.

بخش تجربی:

در صنایع تولیدی، داده‌های کیفیتی که روزانه تولید می‌شوند، اغلب تنها به‌عنوان آمار گذشته ثبت می‌شوند و کمتر مورد تحلیل عمیق برای پیش‌بینی آینده قرار می‌گیرند. در این پژوهش، یک رویکرد ساده اما مؤثر ارائه می‌شود که از داده‌های عیوب ثبت‌شده در انتهای خط تولید تایر برای پیش‌بینی افزایش احتمال وقوع عیوب در روزهای آینده استفاده می‌کند. این روش بدون نیاز به سخت‌افزار پیچیده یا الگوریتم‌های یادگیری ماشین سنگین، تنها بر پایه تحلیل روند زمانی داده‌های موجود عمل می‌کند و قابلیت اجرا در محیط‌های صنعتی واقعی را دارد.

17 Conference And 9 Exhibition Rubber And Related Industries

Iranmall
January 6-7
2026

ایران مال
۱۸ تا ۱۹ دی ماه
۱۴۰۴

فنی نشان داد که تغییرات جزئی در فشار هیدرولیک و دمای پرس، اگر به‌موقع تشخیص داده نشوند، می‌توانند به تولید متوالی تایرهای معیوب منجر شوند. سیستم پیشنهادی توانست این الگوی نگران‌کننده را قبل از تبدیل به یک مشکل گسترده شناسایی کند.

در مورد عیب "اسپالایس نامناسب کوشین" نیز سیستم عملکرد مطلوبی داشت. افزایش تعداد این عیب در یک شیفت خاص، با فعال‌شدن هشدار سیستم همراه شد. بررسی نشان داد که این افزایش با تغییر در اپراتور مرتبط است. این یافته منجر به تقویت برنامه آموزشی عملیاتی و نظارت بیشتر در شیفت‌های جدید شد. پس از اقدامات اصلاحی، مشاهده گردید که وقوع این عیب به سطح عادی خود بازگشته است.

در مجموع، سیستم توانست الگوهای تکرار شونده و روندهای نگران‌کننده در عیوب تولیدی را شناسایی کند و با ارسال هشدارهای زودهنگام، امکان اقدام پیشگیرانه را فراهم آورد. این چرخه بسته از "پیش‌بینی تا اقدام" باعث شد تا به جای واکنش پس از تولید انبوه محصول معیوب، اقدامات اصلاحی در مراحل اولیه انجام شوند.

مقایسه عملکرد سیستم قبل و بعد از پیاده‌سازی نشان داد که زمان لازم برای شناسایی یک روند نگران‌کننده به‌طور قابل توجهی کاهش یافته است. این بهبود در سرعت پاسخگویی، نقش مهمی در جلوگیری از تشدید عیوب و کاهش ضایعات ایفا کرده است. علاوه بر این، سیستم بدون نیاز به سرمایه‌گذاری اضافه در زیرساخت، تنها با استفاده از داده‌های موجود در سیستم کنترل کیفیت، قابلیت پیش‌بینی را به فرآیند تولید اضافه کرد.

این رویکرد ساده و کاربردی، نشان می‌دهد که حتی بدون استفاده از الگوریتم‌های پیچیده یا سخت‌افزارهای گران‌قیمت، می‌توان با تحلیل هوشمند داده‌های روزانه، بهبود قابل توجهی در کیفیت تولید ایجاد کرد. این نتایج برای کارخانجات تایر کشور که در حال گام‌های اولیه هوشمندسازی هستند، بسیار امیدوارکننده است.

جمع‌بندی و کارهای آینده

در این پژوهش، نشان داده شد که داده‌های عیوب تایر که به‌صورت روزانه و توسط اپراتورها در انتهای خط تولید ثبت می‌شوند، می‌توانند فراتر از یک سیستم گزارش‌گیری پس‌ازوقوع عمل کنند. با استفاده از یک رویکرد ساده و قابل اجرا مبتنی بر تحلیل روند زمانی و شاخص پیش‌بینی (FPI) ، این داده‌ها به ابزاری هوشمند برای هشدار زودهنگام و اقدام پیشگیرانه تبدیل شدند.

سیستم پیشنهادی بدون نیاز به سرمایه‌گذاری اضافه در زیرساخت یا استفاده از الگوریتم‌های پیچیده، توانست روندهای نگران‌کننده در وقوع عیوبی مانند حبس هوا بین بلادر و کوشین و اسپالایس نامناسب کوشین را شناسایی کند و با ارسال هشدار، امکان اقدام به‌موقع را فراهم آورد. این چرخه بسته از "تحلیل داده تا اقدام عملیاتی" گامی مؤثر در جهت هوشمندسازی خط تولید محسوب می‌شود.

نتایج نشان داد که حتی بدون پردازش تصویر یا حسگرهای پیشرفته، می‌توان با بهره‌گیری از داده‌های موجود و تحلیل هوشمند آن‌ها، بهبود قابل توجهی در کیفیت تولید ایجاد کرد. این رویکرد به‌ویژه برای کارخانجات تایر کشور که در حال گذر از فازهای اولیه دیجیتال‌سازی هستند، قابلیت اجرا و تأثیرگذاری بالایی دارد.

در نهایت، این پژوهش تأکید می‌کند که هوشمندسازی لزوماً به معنای پیچیده‌سازی نیست؛ بلکه می‌تواند به سادگی آغاز شود: با داده‌ای که داریم، روشی که می‌فهمیم، و اقدامی که نتیجه می‌دهد.

مراجع:

- [1] H. Saleh et al., "End-to-end defect detection in tire manufacturing using transfer learning," Neural Computing and Applications, 2024.
- [2] P. Majewski et al., "Application of Artificial Neural Networks in Tire Manufacturing for Defect Prediction," Applied Sciences, 2024.
- [3] M. Tamborski et al., "Artificial Intelligence in Tire Industry: Enhancing Defect Detection and Predictive Maintenance," Applied Sciences, vol. 13, no. 14, article 8406, 2023.
- [4] T. Mignot et al., "Towards zero-defect tire manufacturing with Multiple Instance Learning," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2025.
- [5] T. Nueasri et al., "Predictive Maintenance of Banbury Mixer Using Machine Learning: A Case Study of Tire Manufacturing," Engineering Transactions on Humanities, 2025.
- [6] V. Karkaria et al., "A Digital Twin Framework Utilizing Machine Learning for Robust Predictive Maintenance: Enhancing Tire Health Monitoring," in Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference (CIE), vol. 2A-2024, 2024.