

هوشمندسازی ساخت تایر با هوش مصنوعی و الگوریتم‌های پیشرفته یادگیری ماشین

نعمت محمدی^{۱*} و برهان رضایی^۲

۱- کارشناس مهندسی فرایند، کارخانه لاستیک بارز کردستان

۲- مدیر ارشد مهندسی فرایند، کارخانه لاستیک بارز کردستان

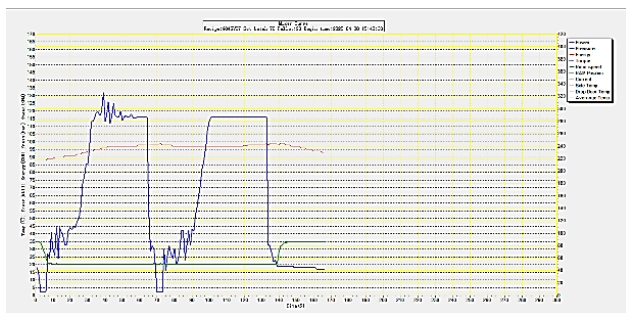
Mohammadi_n@barez.org

چکیده: باتوجه به پیچیدگی‌های خطوط تولید تایر و تقاضای رو به رشد بازار برای محصولات باکیفیت و کاهش ضایعات، ادغام فناوری‌های هوشمند محور مانند یادگیری ماشین، بینایی ماشین و مدل‌های مولدی می‌تواند کارایی، دقت کنترل کیفیت و نوآوری در طراحی را به طرز چشم‌گیری بهبود بخشد. در این مقاله به استفاده از فناوری نوین هوش مصنوعی و پردازش تصویر در بخش‌های مختلف کارخانه مانند تولید آمیزه در سالن بنبوری (به‌منظور شناسایی موارد مشکوک و نامنطبق و همچنین کمک به تعیین تکلیف موارد مشکوک) و تولید محصول میانی لایه نخی (به‌منظور شناسایی عیوب احتمالی) و همچنین پردازش تصویر دیواره تایر بعد از انجام آزمون‌های یونیفرمیتی (به‌منظور تحلیل داده‌های نابالانسی محصول نهایی) پرداخته شده است. هدف از انجام این پروژه بهبود کیفیت، کاهش ضایعات و کاهش دخالت نیروی انسانی در فرایند کنترل کیفیت است.

واژه‌های کلیدی: هوش مصنوعی، پردازش تصویر، هوشمندسازی فرایند تولید تایر، کنترل کیفیت، کاهش ضایعات

مقدمه

مصرفی موتور میکسر و ... مقایسه آن‌ها با داده‌های پروسس می‌توان به‌صورت آنلاین موارد مشکوک و نامنطبق را شناسایی و با اعلام هشدار نسبت به انجام امور مربوطه اقدام کرد (در حالت عادی این امر باتوجه به تعداد بالای میکسر و حجم زیاد تولید عملاً توسط نیروی انسانی غیرممکن است). این امر باعث می‌شود که از تولید آمیزه‌های نامنطبق به میزان چشم‌گیری جلوگیری شود که تأثیر بسزایی در کاهش میزان هزینه و زمان خط تولید دارد.



شکل ۱- نمونه گراف مشکوک در تولید آمیزه

در عصر جاری، هوش مصنوعی (AI) و پردازش تصویر به‌عنوان دو نیروی محرکه اصلی تحول در صنایع مدرن مطرح شده‌اند. با افزایش دسترسی به داده‌های صنعتی و رشد توان محاسباتی، امکان طراحی، تولید و بهره‌برداری با دقت و کارایی بالا به‌وجود آمده است. ترکیب مدل‌های یادگیری ماشین، بینایی ماشین و فناوری‌های مولد به شرکت‌ها این فرصت را می‌دهد تا کیفیت محصولات را بهبود بخشند، ضایعات را کاهش دهند و چرخه‌های تولید را به‌طور پیوسته بهینه کنند [۱].

باتوجه به پیچیدگی و گستردگی فرایند تولید تایر و هزینه‌های بالای آن استفاده از این فناوری نوین می‌تواند کمک بسزایی در بهینه‌سازی، کاهش ضایعات و افزایش کیفیت را به‌همراه داشته باشد. به‌عنوان نمونه استفاده از این فناوری در کارخانه بارز کردستان در مراحل تولید آمیزه در سالن بنبوری، مرحله تولید محصول میانی (نیم‌ساخته) لایه نخی و همچنین تحلیل پارامترهای کیفی محصول نهایی استفاده شده است که به‌اختصار به تشریح هرکدام از آن‌ها پرداخته می‌شود.

بخش تجربی

شناسایی موارد مشکوک و نامنطبق در سالن اختلاط و کمک به تعیین وضعیت آن‌ها

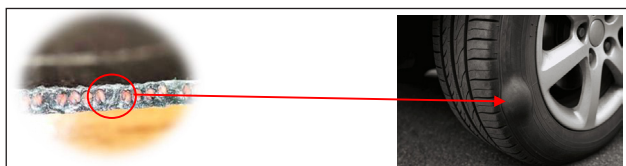
فرایند تولید آمیزه به‌دلیل تأثیر مستقیم بر پارامترهای کیفی و عملکردی و همچنین ایمنی محصول نهایی (تایر) از اهمیت بسزایی برخوردار است. روش‌های متداول کنترل کیفیت در تولید آمیزه متکی بر آزمایش‌های پس از تولید و تجربه اپراتور است که در حجم بالای تولید مستعد مشکلاتی مانند خطای انسانی، هزینه بالا و زمان‌بر بودن است که منجر به ایجاد ضایعات، مصرف انرژی و کاهش کیفیت می‌شود. در این پروژه با استفاده از فناوری نوین هوش مصنوعی (AI) و شبکه‌های عصبی و الگوریتم یادگیری شبه نظارتی با گسترش برچسب ابتدا برای تشخیص آنلاین بچ‌های مشکوک و نامنطبق و سپس کمک به تعیین تکلیف این موارد براساس استفاده از سوابق اطلاعاتی خواهد پرداخت [۲].

با استخراج و پردازش آنلاین داده‌ها و مقایسه شماتیک گراف‌های میکسر که شامل اطلاعاتی مانند دمای آمیزه، دور روتور میکسر، فشار رام، توان و انرژی

در محیط‌های تولیدی مدرن و رقابتی، مدیریت کیفیت محصول و فرایند تصمیم‌گیری در مورد اقلام نامنطبق از اهمیت حیاتی برخوردار است. این محصولات، که از استانداردهای تعیین‌شده انحراف دارند، مستلزم تصمیم‌گیری سریع و دقیق در مورد سرنوشت نهایی خود هستند اعم از دوباره‌کاری، تعمیر، استفاده مشروط یا تبدیل به ضایعات. تصمیمات ضعیف یا تأخیرآمیز در این حوزه می‌تواند منجر به افزایش شدید هزینه‌های عملیاتی، اتلاف منابع ارزشمند و به خطر افتادن شهرت برند و رضایت مشتری شود. فرایندهای سنتی که عمدتاً متکی بر قضاوت ذهنی مهندسان کیفیت یا دستورالعمل‌های سخت و غیرمنعطف هستند، اغلب فاقد سرعت و ثبات لازم برای پاسخ‌گویی به حجم بالای داده‌ها و پیچیدگی‌های فنی محصولات امروز هستند [۳]. از این‌رو روش‌های یادگیری شبه‌نظارتی به‌عنوان زیرمجموعه‌ای از یادگیری ماشین که به‌منظور به‌کارگیری در شرایطی که فقط بعضی از داده‌ها دارای برچسب باشند به‌وجود آمده‌اند و الگوریتم گسترش برچسب یکی از انواع این روش‌هاست. این

هوش مصنوعی و بینایی ماشین در فرایند کنترل کیفیت محصول میانی:

تولید محصول نهایی باکیفیت و متناسب با استانداردهای بین‌المللی منوط به تولید محصولات میانی بدون عیب و مطابق پارامترهای مدنظر است. از مهم‌ترین محصولات میانی در صنعت تولید تایر، لایه نخی پوشش داده‌شده با آمیزه (کوتد کورد) است که تولید این محصول حساس با چالش‌های اجتناب‌ناپذیر بسیاری همراه است. فرایندهای کنترلی در حین تولید و مصرف این نیم‌ساخته توسط نیروی انسانی و به‌صورت چشمی انجام می‌شود که دارای خطای بسیار زیادی بوده و امکان مصرف لایه نخی معیوب به‌دلیل عدم تشخیص عیب (مانند عیوب بی‌نخی، کچلی و گازگرفتگی) و خطای انسانی و به طبع آن تولید محصول نهایی باکیفیت پایین و ضایعات وجود دارد که این امر افزون‌بر عدم رضایت مشتریان می‌تواند زیان‌های مالی فراوانی به سازمان تحمیل کند. باتوجه به متدهای حل مسئله و پایش آمارهای ضایعات و تعداد برگشتی‌های بازار عیب بالچ (تورم سایدوال) (شکل ۴) که دلیل اصلی آن عیوب محصول میانی لایه نخی است به‌عنوان عیب اول شناسایی شد و نیاز به روش‌های نوین کنترل کیفیت احساس شد.



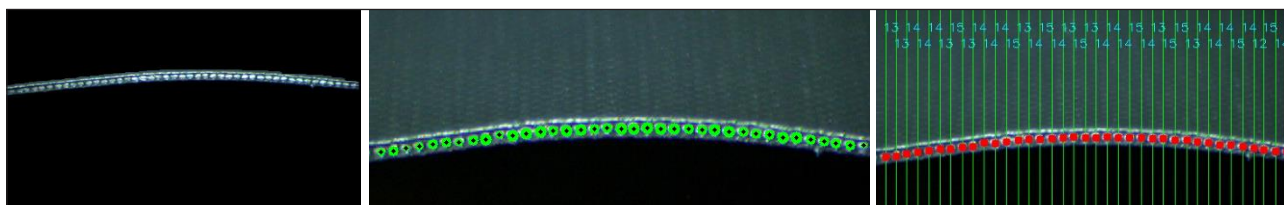
شکل ۴- عیب بالچ ناشی از بی‌نخی در لایه نخی

تشخیص لایه‌های نخی معیوب با استفاده از هوش مصنوعی و پردازش تصویر (تصویربرداری با سرعت بالا) در ایستگاه برش لایه (تصویربرداری با سرعت بالا از لبه برش خورده شده لایه نخی جهت شناسایی بی‌نخی (شکل ۵) و همچنین تصویربرداری از بالا و پایین لایه نخی جهت تشخیص عیب کچلی) در کنار فرایندهای کنترلی انسانی می‌تواند خطر استفاده از لایه نخی معیوب را بسیار کاهش داده و منجر به تولید محصول نهایی باکیفیت باشد. این روش می‌تواند با استفاده از دوربین‌های لاین اسکن (حداقل ۳ دوربین) با سرعت و دقت بالا و نورپردازی مناسب و سیستم ذخیره‌سازی و تکنیک‌های پردازش تصویر و شبکه عصبی (الگوریتم SVM) و انکودر و لیزر قابل انجام است.



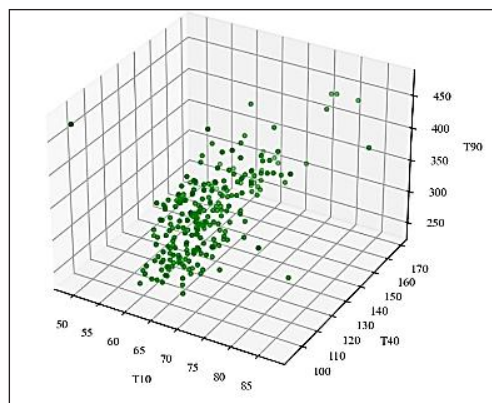
شکل ۵- استفاده از دوربین‌های صنعتی در تشخیص عیب بی‌نخی لایه نخی

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود ابتدا تصاویری از کل لبه لایه نخی مذکور گرفته‌شده و در مرحله بعد با استفاده از تحلیل‌های هوش مصنوعی فاصله بین نخ‌ها تشخیص و محاسبه می‌شود و در صورت مشاهده فاصله غیرعادی هشدارهای لازم و در صورت نیاز توقف خط اتفاق خواهد افتاد. با انجام این پروژه انتظار می‌رود افزون‌بر کاهش ضایعات در مرحله تولید گرین تایر و محصول نهایی و به طبع آن کاهش هزینه‌های تولید منجر به افزایش کیفیت و

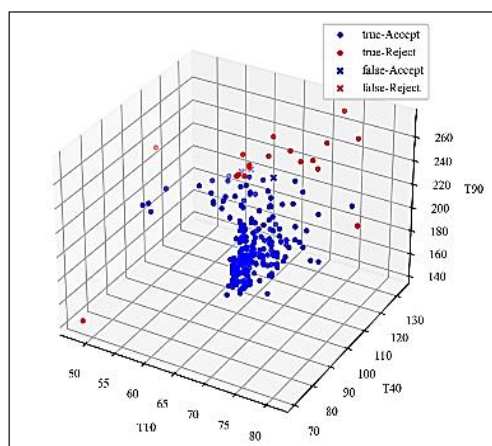


شکل ۶- مراحل تشخیص عیب بی‌نخی در لایه نخی با استفاده از پردازش تصویر

الگوریتم ابتدا داده‌های دارای برچسب را به دودسته آموزش و تست تقسیم کرده و فرایند یادگیری را براساس یکی از الگوریتم‌های یادگیری بانظارت به انجام می‌رساند. سپس، از آن‌جاکه نقاطی که نزدیک به هم هستند یا در یک ساختار یکسان قرار دارند باید دارای برچسب یکسانی باشند سایر داده‌ها را در یکی از دسته‌ها قرار داده و برچسب‌زنی می‌کند. درنتیجه امکان تعیین وضعیت هر داده‌ای فراهم می‌شود [۳]. به‌عنوان نمونه نتیجه‌های به‌دست آمده از آزمون‌های رنومتری آمیزه رویه تایر در دمای ۱۸۰ درجه به‌صورت زیر است:



شکل ۲- پراکندگی داده‌های آمیزه ترد

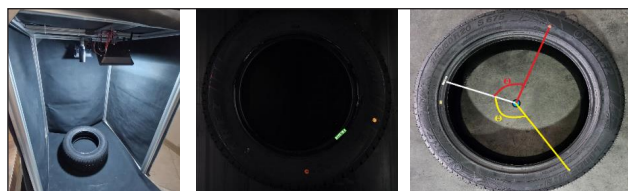


شکل ۳- نتیجه‌های به‌دست آمده از پیش‌بینی مدل برای آمیزه ترد

همان‌طور که قابل‌مشاهده است مدل در اکثریت موارد نتایج دقیقی به‌دست می‌دهد و در موارد محدودی در مرز داده‌ها دچار اشتباه می‌شود. از آن‌جاکه در اکثریت موارد اهمیت آزمون‌های T10 و T90 در تعیین وضعیت داده‌ها مؤثرتر بود، از این دو پارامتر به‌منظور بصری‌سازی بهتر داده‌ها استفاده شد. درمجموع پس از بررسی‌های انجام‌شده می‌توان ادعا کرد دقت مدل‌های آموزش‌دیده بسیار بالا بوده و می‌تواند به‌عنوان یک فناوری در راستای کاهش هزینه و زمان در فرایند تعیین وضعیت موارد نامنطبق اجرا شود.

جدول ۱- دقت مدل به ازای هر یک از حالت‌ها

آمیزه	زمان پخت	خواص مکانیکی	همه‌ی پارامترها
T938	۹۸/۸	۹۶/۶۶	۹۶/۶۶



شکل ۷- استفاده از دوربین‌های صنعتی در شناسایی موقعیت نابالانسی محصول نهایی

نتیجه‌گیری:

کارخانه بارز کردستان به‌عنوان پیشگام استفاده از فناوری‌های نوین هوشمندسازی فرایند تولید در صنعت تایر کشور در سه بخش مهم تولید آمیزه، کنترل محصول میانی و کنترل محصول نهایی در حال اجرای پروژه‌های مجزا به‌منظور خطاناپذیرسازی و بهینه‌سازی فرایند تولید و به طبع آن کاهش ضایعات و افزایش کیفیت است. در بخش تولید آمیزه با استفاده از دانش هوش مصنوعی و سوابق اطلاعاتی سعی بر شناسایی موارد مشکوک در کمترین زمان ممکن و سپس کمک از هوش مصنوعی به‌عنوان دستیار در تعیین وضعیت موارد نامنطبق دارد. در بخش محصولات میانی هم با توجه به حساسیت‌های موجود در بخش لایه نخی اقدام به انجام پروژه خطاناپذیرسازی نیم‌ساخته مذکور به‌منظور شناسایی عیوب موجود از جمله بی نخی و کچلی کرده است و در بخش نهایی نیز جهت افزایش رضایتمندی مشتری و افزایش کیفیت با استفاده از بینایی ماشین و هوش مصنوعی اقدام به تحلیل پارامترهای نابالانسی و یونیفرمیتی کرده است. این اقدامات به‌عنوان نخستین گام‌های استفاده از فناوری هوش مصنوعی و بینایی ماشین می‌تواند نویدبخش آینده‌ای باکیفیت و تولیدات هوشمند در صنعت تایر را داشته باشد.

رضایتمندی مشتری شود.

هوش مصنوعی و بینایی ماشین در فرایند کنترل کیفیت محصول نهایی: همراه شدن سیستم‌های بینایی ماشین به‌همراه الگوریتم‌های پیشرفته هوش مصنوعی و پردازشی توانایی و قابلیت‌های آن را چندین برابر کرده است. این موضوع تا آن‌جا پیشرفته که از روش‌های جدید برای هوشمندسازی صنایع و معادن استفاده می‌شود. صنعت لاستیک هم از این قاعده مستثنی نیست و همواره برای ارتقا کیفیت محصولات خود در تلاش است. از آن‌جاکه یکی از مهم‌ترین پارامترهای مدنظر مشتری نهایی میزان نابالانسی است و این پارامتر تأثیر بسزایی در رضایتمندی مشتری دارد، نابالانسی به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم صنعت تایر است، پس لازم است با پایش به‌موقع و تحلیل داده‌های خروجی ماشین‌های تست یونیفرمیتی علل ریشه‌ای افزایش نابالانسی پیدا شود و اقدامات واکنشی مناسب جهت کاهش آن تعریف و اجرا شود. به‌منظور پایش پارامترهای کیفی میزان نابالانسی و یونیفرمیتی محصولات و همچنین ردیابی در سالن پخت، پروژه پردازش تصویر محصولات (بعد از انجام آزمون‌های یونیفرمیتی و الصاق دات پوینت‌های رنگی توسط ماشین یونیفرمیتی) پروژه پردازش تصویر محصول نهایی تعریف و اجرا شد. در این پروژه از دوربین‌های صنعتی با سرعت بالا به‌منظور قرائت بارکد و همچنین ثبت موقعیت نقاط مربوط به نابالانسی و یونیفرمیتی (نقاط رنگی زرد و قرمز مربوط به ماشین‌های یونیفرمیتی) و سپس انجام تحلیل‌های مدنظر استفاده شد. با یافتن محل نسبی نابالانسی می‌توان اقدامات مناسب در مرحله ساخت گرین تایر را انجام داد و به نتایج مدنظر دست‌یافت.

مراجع

- [1] Scholz, O. and Koehler, T., "Reading DOT Codes on Passenger Car Tires," SAE Technical Paper 2012-01-0797, 2012, <https://doi.org/10.4271/2012-01-0797>.
- [2] R, Vijayalakshmi & Charany, A.T.N & Kumar, S. & D, Sajan & N, Deepika. (2025). Text Recognition on Curved Metal Surface: An Enhanced Approach using EasyOCR and OpenCV. 1738-1743. 10.1109/ICPCSN65854.2025.11035881.
- [3] Kazmi, W., Nabney, I., Vogiatzis, G., Codd, P., & Codd, A. (2021). An Efficient Industrial System for Vehicle Tyre (Tire) Detection and Text Recognition Using Deep Learning. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 22(2), 1264 - 1275. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.2967316>