



کویرتایر

اولین تولیدکننده تایر در ایران

کنترل لحظه ای ضخامت لایه سیمی تایر با استفاده از حسگرهای لیزری

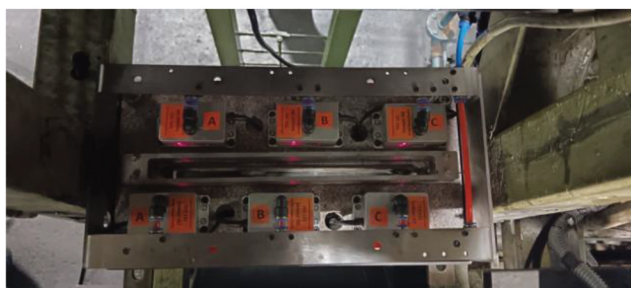
سید هاشم محتشمی^۱ - ضیا احراری^۲ - سید محمدرضا جلالیان شهری^۲

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

۰۹۱۵۵۲۰۵۶۴۶ - سید هاشم محتشمی - mohtashami.ai@gmail.com



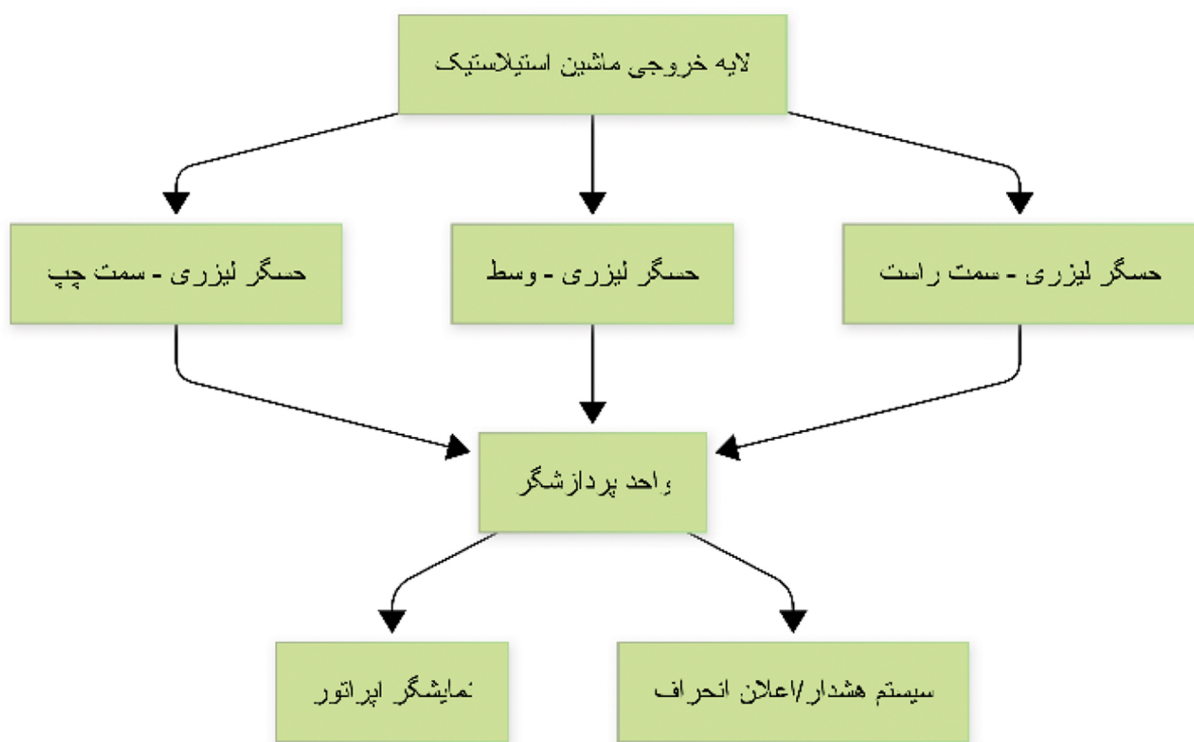
شکل ۱: تصاویری از سنسورهای لیزری و ساختار آنها در سامانه ضخامت‌سنج سه‌نقطه‌ای در حالت توقف ماشین (راست) و حالت در حال تولید (چپ)



ساختار عملکردی سیستم

- لایه سیمی از خروجی اکسترودر ماشین استیللاستیک عبور می‌کند.
- سه جفت حسگر لیزری به‌طور همزمان ضخامت لایه را در نقاط چپ، وسط و راست اندازه‌گیری می‌کنند.
- داده‌ها به واحد پردازشگر ارسال و در لحظه روی نمایشگر اپراتور ظاهر می‌شوند.
- در صورت انحراف ضخامت از مقدار استاندارد، اپراتور می‌تواند سریعاً اقدام اصلاحی (تنظیم دستگاه یا توقف خط) را انجام دهد.

در شکل ۲ بلوک دیاگرام عملکرد سامانه ضخامت‌سنج مشاهده می‌گردد.



شکل ۲: بلوک دیاگرام عملکرد سامانه ضخامت‌سنج لیزری در ماشین استیللاستیک

مقایسه روش جدید با روش قبلی (دستی):

(جدول ۱): مقایسه ویژگی‌های روش سنتی اندازه‌گیری دستی با سامانه ضخامت‌سنج لیزری سه‌نقطه‌ای در ماشین استیللاستیک.

ویژگی	روش دستی	سامانه لیزری سه‌نقطه‌ای (ریزنسج)
تعداد نقاط اندازه‌گیری	تک نقطه‌ای	سه‌نقطه‌ای (چپ، وسط، راست)
فاصله زمانی اندازه‌گیری	چند ساعت یک‌بار	لحظه‌ای (Real-time)
خطای انسانی	بالا	بسیار کم
نیاز به کارشناس	بله	خیر (اپراتور خط کافی است)
سرعت واکنش به انحراف	پایین	بالا (در همان لحظه)

نتایج و بحث:

پیاده‌سازی سامانه ضخامت‌سنج لیزری سه‌نقطه‌ای بر روی ماشین استیللاستیک نتایج قابل توجهی به همراه داشت. مقایسه میان روش سنتی (ریزنسج دستی) و روش جدید نشان می‌دهد که:

۱. **افزایش دقت و سرعت پایش:** اندازه‌گیری لحظه‌ای در سه نقطه اصلی (چپ، وسط، راست) باعث شد تا کوچک‌ترین انحراف از مقادیر استاندارد بلافاصله شناسایی شود. در حالی که در روش دستی، ممکن بود چندین ساعت پس از بروز مشکل متوجه انحراف شوند.

چکیده

کنترل دقیق ضخامت لایه‌های لاستیکی در ماشین استیللاستیک یکی از عوامل کلیدی در تضمین کیفیت تایر است. در روش‌های سنتی، اندازه‌گیری ضخامت با استفاده از ریزنسج و به‌صورت دستی انجام می‌شد که علاوه بر زمان‌بر بودن، امکان بروز خطای انسانی و تأخیر در شناسایی انحرافات را به همراه داشت. در این پژوهش، یک سامانه ضخامت‌سنج لیزری طراحی و بر روی ماشین استیللاستیک نصب گردید که قادر است ضخامت لایه را به صورت لحظه‌ای و همزمان در سه نقطه (چپ، راست و وسط) پایش نماید. داده‌های به‌دست‌آمده به‌طور مستقیم در معرض دید اپراتور قرار می‌گیرد و در صورت مشاهده انحراف از مقادیر استاندارد، امکان مداخله سریع و اصلاح فرآیند وجود دارد. نتایج اولیه نشان می‌دهد استفاده از این سیستم باعث افزایش دقت، کاهش ضایعات، بهبود بهره‌وری خط تولید و کاهش وابستگی به بازندهای دوره‌ای کارشناسان کنترل کیفیت می‌گردد. این راهکار در راستای هوشمندسازی فرایندهای تولید تایر، گامی مؤثر در ارتقاء کیفیت و کاهش هزینه‌های تولید به شمار می‌رود.

واژه‌های کلیدی: استیللاستیک، ضخامت‌سنج لیزری، پایش لحظه‌ای، هوشمندسازی، صنعت تایر

محور مقاله: فناوری ماشین آلات و قطعات تولیدی-بهره‌وری ماشین آلات و افزایش بازدهی تولید

مقدمه و مرور ادبیات:

کیفیت نهایی تایر به‌شدت وابسته به دقت در تولید اجزای میانی آن، از جمله لایه‌های سیمی تولیدشده در ماشین استیللاستیک است. یکی از مهم‌ترین پارامترهای کیفی در این بخش، ضخامت لایه می‌باشد که بر استحکام، یکپارختی و عملکرد تایر در شرایط مختلف جاده‌ای اثر مستقیم دارد [۱].

در شیوه‌های سنتی کنترل کیفیت، ضخامت لایه با استفاده از ریزنسج دستی و توسط کارشناسان کنترل کیفیت در فواصل زمانی چندساعته اندازه‌گیری می‌شد. این روش علاوه بر اتلاف زمان، مستعد خطای انسانی بوده و در بسیاری از مواقع، انحرافات تولید تنها پس از تولید حجم قابل توجهی از لایه‌ها شناسایی می‌گردید. پیامد این مسئله، افزایش ضایعات و هزینه‌های بازکاری یا اسقاط محصول بود [۲ و ۳].

با توسعه فناوری‌های اندازه‌گیری غیرتماسی طی دو دهه اخیر، روش‌های نوینی برای پایش ضخامت و ابعاد مواد در خطوط تولید مختلف ارائه شده است. در این میان، حسگرهای لیزری به دلیل دقت بالا، سرعت پاسخ سریع و عدم تماس فیزیکی با سطح، کاربرد گسترده‌ای در صنایع پیدا کرده‌اند. استفاده از این حسگرها در صنایعی مانند کاغذسازی، ورق‌های فلزی، فیلم‌های پلیمری و کامپوزیت‌ها منجر به بهبود کیفیت، کاهش خطا و ارتقاء بهره‌وری گردیده است [۴ و ۵].

در حوزه صنعت تایرسازی جهانی نیز مطالعات متعددی بر به‌کارگیری فناوری‌های نوین پایش ابعاد تمرکز داشته‌اند. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که سیستم‌های لیزری می‌توانند در پایش لایه‌های سیمی تایر دقت بالایی فراهم کنند و انحرافات ضخامت را به حداقل برسانند. همچنین، ترکیب حسگرهای لیزری با سامانه‌های بینایی ماشین و کنترل خودکار به‌عنوان یک مؤلفه اساسی در حرکت به سمت کارخانه هوشمند (Smart Factory) و تحقق انقلاب صنعتی چهارم شناخته می‌شود. نتایج برخی تحقیقات حتی نشان داده است که ادغام داده‌های حسگرهای لیزری با الگوریتم‌های پردازش تصویر، امکان پیش‌بینی نواقص را پیش از تکمیل محصول فراهم می‌سازد [۶، ۷ و ۸].

با وجود این پیشرفت‌ها، بررسی وضعیت موجود در کارخانه‌های تایرسازی ایران حاکی از آن است که هنوز کنترل ضخامت لایه‌ها به‌صورت دستی و دوره‌ای انجام می‌شود. این شکاف فناورانه نه‌تنها منجر به کاهش سرعت واکنش در برابر انحرافات تولید می‌شود، بلکه ضایعات و هزینه‌های تولید را نیز افزایش می‌دهد. در چنین شرایطی، طراحی و پیاده‌سازی یک سامانه پایش ضخامت لیزری سه‌نقطه‌ای در ماشین استیللاستیک می‌تواند به‌عنوان یک نوآوری بومی و کاربردی، گامی مؤثر در ارتقاء کیفیت تولید تایر در کشور باشد. این سامانه قادر است ضخامت لایه را در سه نقطه کلیدی (چپ، راست و وسط) به‌صورت لحظه‌ای اندازه‌گیری و مستقیماً در معرض دید اپراتور قرار دهد تا در صورت بروز انحراف، امکان مداخله سریع فراهم گردد [۹ و ۱۰].

بخش تجربی:

معرفی دستگاه استیللاستیک

ماشین استیللاستیک وظیفه تولید لایه سیمی (Steel Belt) در ساختار تایر را بر عهده دارد. دقت در یکپارختی و ضخامت این لایه، تأثیر مستقیمی بر عملکرد تایر در برابر نیروهای مکانیکی، اصطکاک جاده و دوام کلی محصول دارد. در روش سنتی کارخانه، ضخامت لایه با استفاده از ریزنسج دستی توسط کارشناس کنترل کیفیت در فواصل چندساعته سنجیده می‌شد که علاوه بر ایجاد تأخیر، امکان خطای انسانی را افزایش می‌داد.

طراحی و نصب سامانه ضخامت‌سنج لیزری

برای رفع این محدودیت، یک سامانه ضخامت‌سنج لیزری سه‌نقطه‌ای طراحی و روی خروجی ماشین استیللاستیک نصب گردید. این سامانه شامل سه جفت حسگر لیزری مستقل است که در سمت چپ، راست و وسط لایه قرار داده شده‌اند. این سنسورها از نوع فاصله‌سنج لیزری با دقت بسیار بالا هستند. خروجی حسگرها به یک واحد پردازشگر متصل است که پس از محاسبه مقادیر ضخامت، آن‌ها را به‌صورت لحظه‌ای روی نمایشگر نصب‌شده در کنار اپراتور نمایش می‌دهد.

۲. **کاهش ضایعات تولیدی:** با شناسایی سریع خطا، حجم لایه‌های معیوب تولیدشده به‌طور چشمگیری کاهش یافت. این موضوع مستقیماً منجر به صرفه‌جویی در مصرف مواد اولیه و کاهش هزینه‌های بازکاری شد.

۳. **توانمندسازی اپراتور:** در روش سنتی، اپراتور برای اصلاح فرآیند به گزارش کارشناسان کنترل کیفیت وابسته بود. در روش جدید، داده‌های دقیق در لحظه در اختیار اپراتور قرار گرفت و او می‌تواند بدون وقفه تصمیم‌گیری کند. این امر باعث افزایش اعتمادبه‌نفس و بهبود عملکرد پرسنل خط تولید گردید.

۴. **هم‌سویی با اهداف هوشمندسازی:** نصب و راه‌اندازی چنین سامانه‌ای یک گام عملی در مسیر انقلاب صنعتی چهارم محسوب می‌شود. این فناوری قابلیت اتصال به پایگاه داده‌های کارخانه و استفاده در تحلیل‌های پیش‌بینانه را نیز دارد.

به‌طور کلی، نتایج حاصل نشان می‌دهد که استفاده از ضخامت‌سنج لیزری سه‌نقطه‌ای نه‌تنها کیفیت محصول نهایی را ارتقا داده، بلکه بهره‌وری تولید و کارایی نیروی انسانی را نیز بهبود بخشیده است.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک سامانه نوآورانه برای پایش لحظه‌ای ضخامت لایه‌های سیمی در ماشین استیللاستیک معرفی شد. سیستم پیشنهادی که در کارخانه تایرسازی مورد مطالعه نصب شده و به بهره‌برداری رسیده است، با بهره‌گیری از سه جفت حسگر لیزری توانست محدودیت‌های روش سنتی مبتنی بر ریزنسج دستی را برطرف سازد.

مهم‌ترین دستاوردهای این پژوهش عبارت‌اند از:

- افزایش دقت اندازه‌گیری و پایش لحظه‌ای در سه نقطه کلیدی لایه
- کاهش قابل توجه ضایعات و هزینه‌های تولید
- کاهش وابستگی اپراتور به کارشناسان کنترل کیفیت و تسهیل تصمیم‌گیری فوری
- فراهم‌سازی بستر مناسب برای توسعه‌های بعدی در راستای هوشمندسازی خطوط تولید تایر

در آینده، می‌توان این سامانه را به شبکه پایش مرکزی کارخانه متصل کرد تا علاوه بر نمایش لحظه‌ای، داده‌ها در یک پایگاه داده ذخیره و برای تحلیل‌های آماری، شناسایی روندهای انحراف و حتی پیاده‌سازی الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی خطاها استفاده شود. همچنین یکی دیگر از کارهای آتی این است که سامانه‌ای مشابه با تعداد نقاط پایش ضخامت دلخواه برای ضخامت‌سنجی مداوم و آنلاین نیم‌ساخته‌های صنعت تایر استفاده گردد.

مراجع:

- [1] R. Kumar and A. Singh, "Quality control challenges in tire manufacturing," International Journal of Production Research, vol. 59, no. 12, pp. 3651–3663, 2021.
- [2] H. Brown and J. Clark, Manual Inspection in Industrial Processes: Limitations and Alternatives, Wiley, 2018.
- [3] D. Li, S. Wang, and Q. Chen, "Human error and variability in manual thickness measurement," Measurement, vol. 145, pp. 182–190, 2019.
- [4] J. Wegener, Laser Sensors and Their Applications in Industrial Manufacturing, Springer, 2019.
- [5] Y. Sun, L. Zhang, and P. Li, "Non-contact thickness measurement in polymer film production using laser triangulation," Measurement Science and Technology, vol. 32, no. 9, pp. 1–11, 2021.
- [6] M. R. Doman, "Laser-based monitoring of tire belt thickness in production lines," Tire Science and Technology, vol. 48, no. 3, pp. 155–168, 2020.
- [7] A. Müller and K. Hoffmann, "Smart factories and Industry 4.0 in tire manufacturing: sensor-based quality control," Journal of Manufacturing Systems, vol. 59, pp. 317–329, 2021.
- [8] L. Garcia, F. Torres, and E. Rojas, "Integration of laser sensors and machine vision for defect prediction in tire components," IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 17, no. 8, pp. 5534–5542, 2021.
- [9] M. Alizadeh and P. Hosseini, "Current challenges of quality assurance in Iranian tire factories," Iranian Journal of Polymer Science and Technology, vol. 34, no. 2, pp. 87–95, 2020.
- [10] S. Lee, H. Kim, and J. Park, "Application of laser scanning for real-time tire component inspection," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 68, no. 6, pp. 5321–5330, 2021.