



کاویر تایر

اولین تولیدکننده تایر در ایران

طراحی و ساخت دستگاه اندازه گیری هوشمند محیط و وزن یید تایر

مجید هادی، سجاد عباسی، سیداحسان فاطمی، امیر حسین نخعی، میثم گرامی پور، حسین وارسته

شرکت کویر تایر

ایمیل: am.hadi@kavirtire.ir شماره تماس: ۰۹۱۵۷۲۱۲۶۵۷

چکیده: در صنعت تایر، اندازه‌گیری دقیق محیط داخلی و وزن بید تایر نقش حیاتی در کنترل کیفیت و تضمین عملکرد ایمن محصول نهایی ایفا می‌کند. روش‌های سنتی اندازه‌گیری محیط و وزن بید، اغلب مبتنی بر ابزارهای دستی و قضاوت اپراتور بوده که با چالش‌هایی نظیر خطای انسانی، سرعت پایین و عدم قابلیت ردیابی داده‌ها مواجه هستند. این مقاله به معرفی یک سیستم یکپارچه و خودکار برای اندازه‌گیری دقیق، سریع، مقرون‌به‌صرفه و غیرتماسی محیط، میزان دایره‌ای بودن و وزن بید تایر می‌پردازد. الگوریتم پردازش تصویر توسعه‌یافته، ابتدا با استفاده از کالیبراسیون دوربین، اعوجاج لنز را حذف کرده و سپس با شناسایی نشانگرهای موجود بر صفحه اندازه‌گیری، یک ماتریس هموگرافی برای تصحیح کامل خطای پرسپکتیو و ایجاد یک تصویر دید قائم از صفحه اندازه‌گیری تولید می‌کند. در ادامه، با اعمال تکنیک‌های پیشرفته پردازش تصویر نظیر بهبود کنتراست تطبیقی، استانداردسازی باینری و تحلیل کانتور، لبه داخلی بید با دقت بالا استخراج می‌شود. در نهایت، محیط و میزان دایره‌ای بودن بید تایر محاسبه می‌گردد. داده‌های وزن نیز به صورت همزمان از طریق سریال دریافت و با نتایج ابعادی یکپارچه می‌شوند. کل فرآیند توسط یک نرم‌افزار جامع با رابط کاربری صنعتی و قابلیت‌های مدیریت کاربران، تنظیمات تکنولوژی، قابلیت ذخیره‌سازی داده‌ها و داشبورد تحلیل سیستم اندازه‌گیری مدیریت می‌شود. این سیستم به شکل مؤثری خطاهای انسانی را حذف کرده، سرعت بازرسی را به شکل چشمگیری افزایش داده و قابلیت اطمینان و ردیابی داده‌های کیفی را تضمین می‌کند.

واژه‌های کلیدی: بید تایر، پردازش تصویر، محیط و وزن بید، اعوجاج لنز، خطای پرسپکتیو

محرور مقاله: فناوری ماشین‌آلات و قطعات تولیدی

۱. مقدمه

صنعت تایرسازی به‌عنوان یکی از صنایع کلیدی در حوزه حمل‌ونقل، همواره با الزامات سخت‌گیرانه کیفی و ایمنی روبه‌رو بوده است. تایر یک محصول مهندسی پیچیده است که از اجزای مختلفی تشکیل شده و عملکرد صحیح هر جزء، بر کارایی کلی تایر تأثیر مستقیم دارد. بید تایر، یک حلقه فولادی با روکش کامپانندی است که به عنوان نقطه اتصال تایر به رینگ عمل کرده و وظیفه تحمل بارهای استاتیکی و دینامیکی و همچنین حفظ فشار داخلی تایر را بر عهده دارد [۱]. هرگونه انحراف در مشخصات ابعادی و وزنی بید می‌تواند منجر به مشکلاتی جدی از جمله عدم بالانس تایر، سایش نامنظم و در موارد حاد، جدایش تایر از رینگ شود. بنابراین، کنترل کیفیت دقیق این پارامترها در خط تولید امری ضروری است. روش‌های سنتی کنترل کیفی بید، عموماً شامل استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری تماسی مانند مترهای نواری، کولیس‌های دیجیتال، شابلون‌های پروانزو و ترازوهای دیجیتال است [۲]. این روش‌ها علی‌رغم سادگی، دارای معایب ذاتی متعددی هستند. اولاً، به‌شدت به مهارت و دقت اپراتور وابسته‌اند و مستعد خطاهای انسانی و عدم تکرارپذیری هستند. ثانیاً، فرآیندی زمان‌بر بوده و با سرعت بالای خطوط تولید مدرن همخوانی ندارند. ثالثاً، ثبت داده‌ها به صورت دستی انجام می‌شود که امکان خطا در ورود اطلاعات و دشواری در تحلیل‌های آماری و ردیابی بلندمدت را به همراه دارد. برخی سیستم‌های نیمه‌خودکار از حسگرهای تماسی (مانند پروپ‌های مکانیکی) برای اندازه‌گیری ابعاد بید استفاده می‌کنند. این حسگرها در نقاط خاصی از بید تماس برقرار کرده و داده‌ها را ثبت می‌کنند [۳]. سیستم‌های پیشرفته‌تر مبتنی بر اسکنرهای لیزری، برای بازسازی پروفایل دقیق مقطع بید به کار می‌روند. این روش‌ها می‌توانند مدل سه‌بعدی کاملی از قطعه را با دقت بسیار بالا ایجاد کنند اما هزینه بسیار بالاتری نسبت به سایر سیستم‌های موجود دارند [۲]، [۴].

با پیشرفت فناوری‌های بنیایی ماشین، استفاده از سیستم‌های بازرسی غیرتماسی به عنوان جایگزینی کارآمد برای روش‌های سنتی در صنایع مختلف رواج یافته است [۵]. این سیستم‌ها با حذف تماس فیزیکی، دقت، سرعت و تکرارپذیری فرآیندهای اندازه‌گیری را به شکل قابل توجهی بهبود می‌بخشند. این مقاله، طراحی و پیاده‌سازی یک سیستم کامل را تشریح می‌کند که با بهره‌گیری از پردازش تصویر و لودسل‌های صنعتی، یک راهکار جامع، دقیق، مقرون‌به‌صرفه و صنعتی برای کنترل کیفی بید تایر فراهم می‌آورد. این سیستم نه تنها ابعاد و وزن را اندازه‌گیری می‌کند، بلکه با ارائه یک رابط کاربری پیشرفته و سیستم مدیریت داده پیشرفته، فرایند کنترل کیفی را به طور کامل مکانیزه و قابل ردیابی می‌نماید.

۲. روش تجربی

در این بخش، روش و ساختار پیشنهادی برای اندازه‌گیری همزمان محیط و وزن بید تایر تشریح می‌شود. سیستم پیشنهادی برای اندازه‌گیری دقیق و خودکار پارامترهای کیفی بید تایر، بر پایه ترکیبی از فناوری‌های پردازش تصویر دیجیتال و یکپارچه‌سازی با لودسل‌های صنعتی استوار است. این سیستم شامل پنج مرحله اصلی است: (۱) معماری سیستم (۲) کالیبراسیون سیستم، (۳) پردازش تصویر و استخراج ویژگی، (۴) اندازه‌گیری وزن و تجمع نتایج و (۵) رابط کاربری پیشرفته. در ادامه، هر یک از این مراحل تشریح می‌شوند.

(۱) معماری سیستم: این سیستم از یک باکس فلزی جهت اندازه‌گیری، یک دوربین در بالای دستگاه و عمود بر صفحه اندازه‌گیری، یک لودسل به همراه مدارات موردنیاز جهت اندازه‌گیری وزن در قسمت زیر صفحه اندازه‌گیری، سیستم نورپردازی یکنواخت و یک مینی‌کامپیوتر جهت پردازش تشکیل شده است.

(۲) کالیبراسیون سیستم: پیش از آغاز فرآیند اندازه‌گیری، دو مرحله کالیبراسیون جهت تضمین دقت سیستم اجرا می‌شود. در مرحله اول، اعوجاج‌های ذاتی لنز دوربین با استفاده از تکنیک‌های استاندارد بینایی ماشین برطرف می‌گردد. علاوه بر این، یک ضریب مقیاس متریک برای تبدیل ابعاد از فضای پیکسلی تصویر به واحد میلی‌متر در دنیای واقعی، از طریق یک شیء مرجع با محیط مشخص، محاسبه و در سیستم تعریف می‌شود.

(۳) پردازش تصویر و استخراج ویژگی: پس از تصویربرداری از نمونه، ابتدا با استفاده از پارامترهای به‌دست‌آمده از کالیبراسیون دوربین، اعوجاج لنز از تصویر ورودی حذف می‌شود. سپس، یک تبدیل هندسی بر روی تصویر اعمال می‌شود تا هرگونه خطای پرسپکتیو ناشی از زاویه دوربین و حساسیت به موقعیت قرارگیری بید روی صفحه حذف گردد. این فرآیند با کمک نشانگرهای کنترلی تعبیه‌شده بر روی

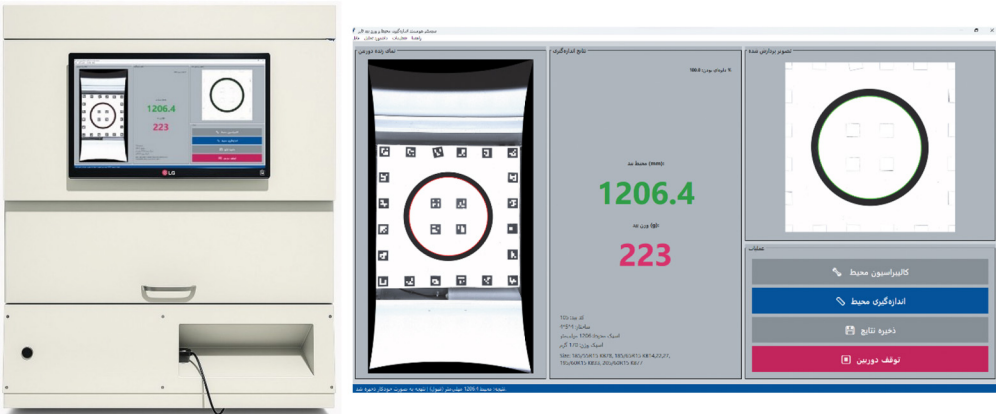
صفحه اندازه‌گیری، یک نمای دقیق و کاملاً عمود از جسم ایجاد می‌کند. سپس، یک خط پردازشی چندمرحله‌ای شامل بهبود کنتراست تطبیقی، استانداردسازی باینری و تحلیل کانتور، لبه داخلی بید را از پس‌زمینه جداسازی می‌کند. در نهایت، ویژگی‌های هندسی مورد نظر، نظیر محیط و میزان دایره‌ای بودن، از کانتور استخراج‌شده محاسبه می‌شوند.

(۴) اندازه‌گیری وزن و تجمع نتایج: سیستم به‌طور همزمان با سیستم اندازه‌گیری وزن (شامل یک لودسل و مدارات موردنیاز) از طریق سریال در ارتباط است و وزن را به‌صورت بلادرنگ می‌خواند و در رابط کاربری سیستم نمایش می‌دهد.

(۵) رابط کاربری پیشرفته: این سیستم به یک رابط کاربری گرافیکی مجهز شده است که برای استفاده در محیط‌های صنعتی طراحی شده و قابلیت‌های مدیریتی گسترده‌ای را ارائه می‌دهد. این رابط دارای ویژگی‌های کلیدی زیر است:

- مدیریت مبتنی بر نقش: سیستم دارای سطوح دسترسی متفاوت برای کاربران (اپراتور، تکنولوژیست، مدیر) است که امنیت و یکپارچگی داده‌ها را تضمین می‌کند.
- کالیبراسیون آسان: سیستم به‌راحتی با استفاده از قطعات مرجع و کمتر از چند ثانیه کالیبره می‌شود.
- بازخورد آنی: نتایج اندازه‌گیری به صورت لحظه‌ای و با کدگذاری رنگی (سبز/نارنجی/قرمز) نمایش داده می‌شوند تا اپراتور بتواند به سرعت وضعیت کیفی محصول را تشخیص دهد.
- ذخیره‌سازی: هر رکورد ذخیره‌شده شامل مجموعه‌ای کامل از اطلاعات است: نتایج عددی اندازه‌گیری، مشخصات فنی کامل محصول، تترانس‌های مجاز، اطلاعات اپراتور و برچسب زمانی.
- پیکربندی دینامیک: تمام مشخصات فنی بیدهای تولیدی، تترانس‌ها و پارامترهای سیستمی از طریق منوهای مختلف قابل اضافه و ویرایش هستند و سیستم به راحتی برای اندازه‌گیری محصولات جدید تطبیق می‌یابد.
- داشبورد تحلیلی: یک ماژول اختصاصی برای تحلیل سیستم اندازه‌گیری (MSA) در نظر گرفته شده است که امکان اجرای اندازه‌گیری‌های تکرارشونده بر روی قطعات مختلف را فراهم کرده و داده‌ها را برای تحلیل‌های آماری آماده می‌سازد.

در شکل ۱، تصویری از ظاهر دستگاه ساخته‌شده و رابط کاربری این سیستم آورده شده است.



شکل ۱: دستگاه ساخته‌شده و رابط کاربری طراحی‌شده

۳. نتایج عددی

برای ارزیابی عملکرد و تعیین عدم قطعیت سیستم اندازه‌گیری مورد مطالعه، تحلیل سیستم اندازه‌گیری (MSA) بر پایه مطالعه تکرارپذیری و تجدیدپذیری (Gage R&R) اجرا گردید. این مطالعه با مشارکت سه اپراتور و با استفاده از پنج قطعه نمونه با مقادیر مرجع متفاوت طراحی شد. مقادیر اسمی محیط قطعات نمونه (به ترتیب برابر با ۱۰۴۸/۸، ۱۲۰۶/۴، ۱۳۹۰/۲، ۱۴۶۶/۴ و ۱۵۵۱/۵ میلی‌متر)، که توسط یک دستگاه اندازه‌گیری مختصات (CMM) کالیبره شده تعیین گردیده بود، به عنوان مقدار واقعی در نظر گرفته شد. داده‌های خام حاصل از اندازه‌گیری‌های هر اپراتور در جدول ۱ گردآوری شده است.

جدول ۱: نتایج اندازه‌گیری برای تحلیل تکرارپذیری و تجدیدپذیری

میانگین (میلی‌متر)	دامنه (میلی‌متر)	اندازه‌گیری ۳ (میلی‌متر)	اندازه‌گیری ۲ (میلی‌متر)	اندازه‌گیری ۱ (میلی‌متر)	اپراتور
1048.767	۰/۱	1048.7	1048.8	1048.8	اپراتور ۱
1206.367	۰/۱	1206.4	1206.4	1206.3	
1390.267	۰/۱	1390.2	1390.3	1390.3	
1466.367	۰/۱	1466.3	1466.4	1466.4	
1551.533	۰/۱	1551.5	1551.6	1551.5	
1048.8	0	1048.8	1048.8	1048.8	اپراتور ۲
1206.433	۰/۱	1206.5	1206.4	1206.4	
1390.333	۰/۱	1390.3	1390.4	1390.4	
1466.467	۰/۱	1466.5	1466.5	1466.4	
1551.567	۰/۱	1551.5	1551.6	1551.6	
1048.833	۰/۱	1048.8	1048.8	1048.9	اپراتور ۳
1206.467	۰/۱	1206.5	1206.4	1206.5	
1390.267	۰/۱	1390.2	1390.3	1390.3	
1466.433	۰/۱	1466.4	1466.4	1466.5	
1551.533	۰/۱	1551.6	1551.5	1551.5	

بر اساس داده‌های مندرج در جدول ۱، پارامترهای آماری اولیه محاسبه گردید. میانگین دامنه‌ها برای هر اپراتور به‌صورت $\bar{R}_1 = 0.1$ ، $\bar{R}_2 = 0.1$ و $\bar{R}_3 = 0.1$ و میانگین کل دامنه‌ها به‌صورت $\bar{R} = \frac{\bar{R}_1 + \bar{R}_2 + \bar{R}_3}{3} = 0.093$ به‌دست می‌آید. به‌طور مشابه، میانگین اندازه‌گیری‌ها برای هر اپراتور را می‌توان به‌صورت $\bar{X}_1 = 1332.66$ ، $\bar{X}_2 = 1332.72$ و $\bar{X}_3 = 1332.707$ و میانگین کل اندازه‌گیری‌ها را به‌صورت $\bar{X} = 1332.696 = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \bar{X}_3}{3}$ به‌دست آورد. سپس، براساس روابط زیر می‌توان تحلیل‌های تکرارپذیری، تجدیدپذیری و ارزیابی دستگاه اندازه‌گیری را انجام داد:

17th Conference And 9th Exhibition Rubber And Related Industries
Iranmall January 6-7 2026
۱۷th Conference And 9th Exhibition Rubber And Related Industries
ایران مال January ۶-۷ ۱۴۰۶

همایش
نمایشگاه
لاستیک
و صنایع وابسته

مقدار عددی براساس جدول ۱	رابطه ریاضی	تعریف پارامتر
۰/۲۱۷۴	$EV = \bar{R} \times K_1$	تکرارپذیری (تحلیل پراکندگی اندازه‌گیری)
۰/۱۲۸۰	$AV = \sqrt{\left(X_{diff} \times K_2\right)^2 - \frac{EV^2}{n \times r}}$	تجدیدپذیری (پراکندگی اپراتور)
۰/۲۵۲۳	$Gage\ R\&\ R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$	پراکندگی کل سیستم اندازه‌گیری
۱۰۴۵/۷۰۸	$PV = R_p \times K_3$	محاسبه پراکندگی قطعه به قطعه
۱۰۴۵/۷۰۸	$TV = \sqrt{Gage\ R\&\ R^2 + PV^2}$	محاسبه پراکندگی کل سیستم

حال، براساس مقادیر به‌دست آمده، می‌بایست درصد Gage R&R از کل پراکندگی (TV) را براساس رابطه $\%GRR = 100 \times \left(\frac{Gage\ R\&\ R}{TV}\right)$ محاسبه نمود. مقدار این شاخص برای دستگاه تحت ارزیابی برابر با ۲.۴۱٪ حاصل شد. طبق استانداردهای تحلیل سیستم‌های اندازه‌گیری، مقادیر %GRR کمتر از ۱۰٪ نشان‌دهنده عملکرد مطلوب و قابل قبول برای یک سیستم اندازه‌گیری است. بنابراین، نتیجه حاصل، دقت دستگاه را اثبات می‌کند.

در ادامه، صحت دستگاه با استفاده از مقادیر مرجع CMM ارزیابی شد. برای این منظور، بایاس برای هر قطعه از طریق تفاضل میانگین اندازه‌گیری‌ها از مقدار واقعی آن برای ۲۵ بار اندازه‌گیری محاسبه گردید. مقادیر بایاس برای پنج قطعه مورد استفاده به ترتیب برابر با ۰/۱، ۰/۰/۸، ۰/۱، ۰/۱ و ۰/۱ میلی‌متر به دست آمد. از آنجایی که این مقادیر بایاس در سرتاسر بازه اندازه‌گیری، کوچک و فاقد روند سیستماتیک (مانند افزایش یا کاهش متناسب با اندازه قطعه) هستند، می‌توان نتیجه گرفت که سیستم از خطی بودن مطلوبی برخوردار است.

شاخص دیگر جهت ارزیابی تفکیک‌پذیری سیستم اندازه‌گیری، تعداد دسته‌های متمایز (NDC) است. این شاخص نشان می‌دهد که سیستم اندازه‌گیری قادر به تشخیص چند گروه متفاوت از قطعات است. این شاخص را می‌توان براساس رابطه $NDC = 1.41 \left(\frac{PV}{Gage\ R\&\ R}\right)$ محاسبه نمود. این شاخص، تعداد گروه‌هایی از قطعات را که سیستم می‌تواند به طور قابل اعتمادی از یکدیگر متمایز کند، تخمین می‌زند. مقدار NDC برای سیستم تحت ارزیابی، ۴۰۷۴ حاصل شد. مطابق با استانداردهای تحلیل سیستم‌های اندازه‌گیری، مقدار NDC برابر با بزرگتر از ۵ نشان‌دهنده تفکیک‌پذیری قابل قبول است. بنابراین، نتیجه به‌دست‌آمده، توانایی دستگاه در تمایز بین قطعات با ابعاد متفاوت را اثبات می‌کند. البته این نتیجه برای بیدهایی که محیط نزدیک به هم دارند تست گردیده و نتیجه مشابه به دست آمده است.

شاخص نهایی جهت ارزیابی سیستم اندازه‌گیری، محاسبه C_p (بررسی پراکندگی) و C_{pk} (بررسی صحت و دقت اندازه‌گیری) است که برای این سیستم و برای ۵۰ بار اندازه‌گیری و تترانس ۲ میلی‌متر به‌ترتیب برابر با ۱/۴۶ و ۱/۵۵ است که هر دو از عدد ۱/۲۳ بیشتر است.

برای وزن هم می‌توان این نتایج را به دست آورد که به دلیل محدودیت صفحه مقاله این هدف انجام نشده است.

۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک سیستم هوشمند و یکپارچه برای اندازه‌گیری خودکار محیط، میزان دایره‌ای بودن و وزن بید تایر ارائه گردید. این سیستم با تلفیق تکنیک‌های پیشرفته بینایی ماشین، الگوریتم‌های تصحیح هندسی و ارتباط با ابزارهای دیجیتال، موفق به حذف خطای انسانی و افزایش چشمگیر دقت، سرعت و تکرارپذیری در فرآیند کنترل کیفی شده است.

مراجع:

- [1] Zang, Liguo, et al. "A Comprehensive Review of Safety Tire Research." Lubricants 13.8 (2025): 357.
- [2] Lindenmuth, B. E. "An overview of tire technology." The pneumatic tire 1 (2006): 13136.
- [3] Pierce, Doug, et al. Tire bead. No. 10,562,355. Cooper Tire & Rubber Co., Findlay, OH (United States), 2020.
- [۴] Pastorius, Walt, and Mike Snow. "Smart laser vision sensors simplify inspection." IEEE instrumentation & measurement magazine 9.1 (2006): 33-38.
- [5] Bhamare, Mr Harshal, and Ajitkumar Khachane. "Quality inspection of tire using deep learning-based computer vision." Learning 6.11 (2019): 3555-3558.