

مهندسی معکوس تایر با استفاده از تکنولوژی های دیجیتال، مطالعه موردی: بازطراحی قالب تایر

حمید گروسی^{*}، برهان رضایی و اسعد میره کی
 کارشناس مهندسی مکانیک، کارخانه لاستیک بارز کردستان
 garusi_h@barez.org

چکیده: با رشد روزافزون فناوری های دیجیتال، تحول فرایندهای صنعتی به ویژه در صنایع راهبردی مانند صنعت تایر، به یکی از ارکان اصلی ارتقاء بهره وری، کیفیت محصول و توسعه دانش فنی تبدیل شده است. این مقاله به بررسی یک فرایند عملی مهندسی معکوس بر روی یک تایر نمونه می پردازد که با بهره گیری از اسکن سه بعدی، تولید ابر نقاط، مدل سازی هندسی در نرم افزارهای CAD و تحلیل های دیجیتال انجام شده است. بعد از تهیه فایل اسکن شده یا ابر نقاط، نقشه پترن تایر و همچنین توالی گام های تایر استخراج شده و متعاقباً نقشه قالب تایر تهیه شد. هدف از این رویکرد، بازآفرینی دقیق تایر و استخراج داده های قابل تحلیل برای بهینه سازی طراحی و تولید است. نتایج حاصل نشان می دهد که استفاده از ابزارهای دیجیتال در مهندسی معکوس، نه تنها موجب تسریع چرخه توسعه محصول و کاهش هزینه های نمونه سازی می شود، بلکه امکان پیاده سازی سیستم های مدیریت دانش، کنترل کیفیت پیشرفته، و طراحی هدفمند را فراهم می سازد. هم چنین، این روش زمینه ساز بومی سازی دانش فنی و ارتقاء توانمندی های داخلی در حوزه طراحی و تولید تایر بوده و می تواند به عنوان الگویی برای سایر صنایع مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

واژه های کلیدی: مهندسی معکوس، ابر نقاط، قالب تایر، پترن تایر

مقدمه

صنعت تایر، به عنوان یکی از ارکان حیاتی زنجیره تأمین صنعت خودرو، نقش تعیین کننده ای در بهبود عملکرد، ایمنی و بهره وری وسایل نقلیه ایفا می کند. با توجه به رقابت فزاینده در بازار جهانی و نیاز به پاسخ گویی به استانداردهای زیست محیطی و عملکردی، توسعه فناوری های نوین در طراحی، ساخت و ارزیابی تایرها به یک ضرورت راهبردی تبدیل شده است. پرواضح است که تعدد تولیدکنندگان تایر در عرصه بین المللی و بهره گیری آن ها از دانش روز باعث پیشرفت روزافزون آن ها شده است. در این میان تولیدکنندگان تایر در کشور به منظور ایجاد توانایی رقابت و بهبود کیفیت و ایجاد تنوع در محصولات خود ملزم به استفاده از تکنولوژی های بروز و دانش نوین هستند تا جایگاه خود را در میان رقبا حفظ کنند.

یکی از رویکردهای مؤثر در این مسیر، بهره گیری از مهندسی معکوس با تکیه بر ابزارهای دیجیتال و مدل سازی پیشرفته است. این روش نه تنها امکان تحلیل دقیق ساختار و عملکرد تایرهای موجود را فراهم می آورد، بلکه زمینه ساز تولید دانش بومی، بهینه سازی فرایندهای طراحی و ساخت، و کاهش وابستگی به فناوری های خارجی نیز خواهد بود. مهندسی معکوس تایر با استفاده از فناوری های نظیر اسکن سه بعدی، تحلیل اجزای محدود، و شبیه سازی دیجیتال، می تواند به عنوان پلی میان دانش تجربی و راهبردهای نوآورانه در صنعت لاستیک عمل کند.

در این مقاله، تجربیات عملی حاصل از اجرای یک پروژه مهندسی معکوس تایر مورد بررسی قرار گرفته و ارتباط آن با راهبردهای ارتقاء کیفیت و تنوع در صنعت لاستیک تحلیل می شود. هدف اصلی، ارائه چارچوبی کاربردی برای استفاده از فناوری های روز در توسعه محصولات لاستیکی با تمرکز بر افزایش کیفیت، کاهش هزینه و تسریع فرایندهای تولید است [۱ تا ۳].

مراحل اجرایی پروژه

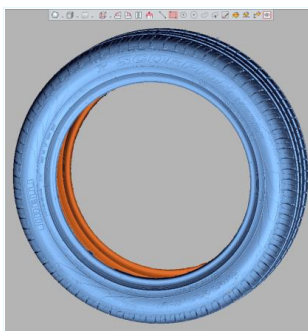
اسکن سه بعدی و تهیه ابر نقاط

در نخستین گام، تایر فیزیکی نو با شرایط مساعد و بدون دفرمگی با دستگاه اسکنر سه بعدی با دقت بالا (حداقل ۰/۰۲ mm) اسکن می شود. نتیجه این اسکن فایل ابر نقاط است که شامل میلیون ها نقطه با مختصات دقیق فضای سه بعدی است. این روند مهم ترین تفاوت با روش های سنتی برداشت ابعاد دستی است و آغاز ورود به فاز مدل سازی تایر است [۴].

مزاها:

- برداشت کامل جزئیات هندسی سطحی شامل تمامی شیارها، پترن ها و مارکینگ تایر
- سرعت فوق العاده بالاتر نسبت به روش های سنتی
- ثبت دیجیتال اطلاعات برای آرشیو و استفاده های آتی مانند بازطراحی، مقایسه کیفی و کنترل فرایند تولید [۵].

بازسازی هندسی سطح تایر در جئومجیک



شکل ۱- ابر نقاط تایر اسکن شده

نقاط ابری اسکن شده به محیط نرم افزار تخصصی جئومجیک وارد می شود. این نرم افزار قابلیت بازسازی ابر نقاط به شبکه سطحی تمیز و دقیق را داراست. در این مرحله:

- نویزهای اسکن حذف می شود
- نقاط زائد یا تکراری پالایش می شود
- تایر به صورت سطح گسترده روی یک صفحه مجازی قرار داده می شود تا موقعیت هندسی بخش های مختلف (شیارها، بلوک ها، لبه ها و ...) قابل تشخیص و اندازه گیری باشد.

تعریف صفحات و محورها بسیار اهمیت دارد، چون نقطه مبنا و مرجع برای تمامی اندازه گیری های بعدی تعیین می شود.

تهیه اسکچ و الگوی سیکونس یا دنباله پترن

در این فاز:

- با تعریف خطوط و صفحات مرجع روی سطح تایر گسترده شده، از هر

- نقشه فنی تمامی اجزای قالب تایر با جزئیات دقیق شیارها، پترن، لبه اجزای قالب و نحوه جفت شدن سگمنت‌های قالب تهیه می‌شود. البته باید در نظر گرفته شود که قالب تایر مناسب چه سایز کانتینری است و ضخامت اجزای قالب در محدوده قابل قبول قرار گیرد و بیش از حد نازک یا ضخیم نباشد.
- این نقشه‌ها می‌توانند مستقیماً وارد فرایند ساخت قالب شوند یا برای بازطراحی و بهینه‌سازی‌های آینده مورد استفاده قرار بگیرند.
- در عین حال، امکان شبیه‌سازی و ارزیابی کیفی تایرهای رقبا با تکنیک‌های CAE ایجاد می‌شود.

جهت صحت‌گذاری فرایند ابتدا از تایرهای موجود تائیری انتخاب شد و بعد از تهیه ابر نقاط نقشه پترن تایر و آرایش گل تایر استخراج شده و سپس با نقشه‌های اصلی ارسال جهت ساخت قالب مقایسه شد. میزان اختلاف نقشه برداشت شده با نقشه اصلی در محدوده صفر تا یک میلی‌متر بوده که این امر نشان‌دهنده دقت فرایند است. البته شایان ذکر است که تهیه نقشه دقیق وابسته به میزان بردباری کاربر نیز بود و می‌توان دقت را تا حد زیادی تحت تأثیر قرار دهد. با ثبت کل مشخصات یک تایر در پایگاه داده دیجیتال قابلیت دسترسی و مقایسه فنی برای واحدهای توسعه و تحقیق، تضمین کیفیت، و تعمیرات فراهم می‌شود. سنجش دقیق، مستندسازی جزئیات پیچیده و چندبعدی پترن تایر از نمونه فیزیکی براساس مدل‌های دیجیتال را به ارمغان می‌آورد و همچنین قابلیت بازبینی، تحلیل و حتی شبیه‌سازی پیشرفته توسط نرم‌افزارهای CAE از جمله بررسی عملکرد حرارتی، سایشی و آکوستیک طرح پترن بدون نیاز به ساخت فیزیکی قطعه را ایجاد می‌کند. به علاوه جای‌گزینی شیوه‌های سنتی الگوبرداری و قالب‌سازی با فرایندی بروز که موجب کاهش زمان و هزینه ساخت نمونه اولیه، دقت بالاتر در تولید قالب و تایر، انتقال سریع‌تر دانش فنی از نمونه (حتی بدون نقشه) به مرحله تولید و ارزیابی و الگو آماده محصولات رقبا می‌شود.

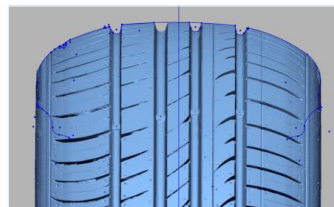
چالش‌ها و نکات اجرایی

- انتخاب دستگاه اسکنر و فیلتر نویز: دقت و کالیبراسیون اسکنر، نقش کلیدی در کیفیت ابر نقاط و داده‌های بعدی دارد.
- آماده‌سازی و اصلاح سطح تایر: تمیزکاری سطح تایر و حذف مارکینگ‌های خارجی پیش از اسکن، خطا را کاهش می‌دهد.
- کالیبراسیون نرم‌افزارها: تنظیم دقیق صفحات مرجع و محورهای مختصات، کل ساختار داده را بر مبنای هماهنگ و قابل اتکا قرار می‌دهد.
- مستندسازی فرایندها: تهیه گزارش‌های دقیق از هر مرحله برای اطمینان از ردیابی کامل اطلاعات در زنجیره هوشمند تولید.

نتیجه‌گیری

در نهایت، نمونه عملی انجام شده نشان داد مهندسی معکوس دیجیتال، چه در بازطراحی قالب تایر و چه در پایش کیفیت، شاهره هوشمندسازی واقعی صنایع لاستیک است. این روش نه تنها شاخص‌های اقتصادی (هزینه، زمان تولید، کیفیت) را بهبود می‌بخشد، بلکه با تبدیل دانش فنی به دارایی دیجیتال، زیرساخت مطمئن برای حرکت به سوی آینده‌ای صنعتی مبتنی بر تحلیل داده و هوشمندی فراهم می‌سازد.

- الگوی آج یا بلوک مشخص، اسکچ‌های دوبعدی تهیه می‌شود (شکل ۲).
- فاصله هر تکرار طرح، عرض بلوک‌ها، عمق شیارها، زاویه آج‌ها و تعداد سیکل‌های پترن به دقت برداشت می‌شود.
- این مرحله از اهمیت بالایی برخوردار است چون دقیق‌ترین اطلاعات هندسی برای تولید مجدد قالب تایر، یا حتی تحلیل دینامیک پیمایش تایر روی جاده، از این اسکچ‌ها استخراج می‌شود [۵].



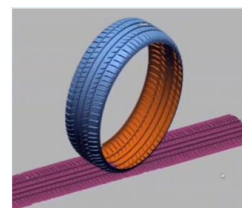
شکل ۲- استخراج پروفایل تایر

تهیه سطح مقطع (Section/Profile Extraction)

در قدم بعدی، یک یا چند سطح مقطع از نقاط مهم عرضی تایر استخراج می‌شود (شکل ۳). برای هر مقطع:

- عمق و شکل شیارها
- ضخامت بخش‌های مختلف
- زاویه و انحنای دیواره‌ها
- موقعیت شانه و بید تایر

به دقت تعیین و مستند می‌شود. این داده‌ها مخصوصاً برای بررسی عملکرد چسبندگی، مقاومت سایشی و ویژگی‌های دینامیکی تایر حیاتی هستند [۶].



شکل ۳- تایر گسترده شده

انتقال داده‌ها به نرم‌افزار اتوکد

پس از استخراج اسکچ‌ها و پروفایل‌ها در نرم‌افزار جئومتریک، این داده‌ها به فرمت CAD برده شده و در نرم‌افزار اتوکد بارگذاری می‌شوند.

- تمامی ابعاد شیارها در نقاط مختلف دورتادور تایر به صورت دقیق اندازه‌گیری می‌شود.
- به کمک ابزارهای دقیق اتوکد اندازه سطح مقطع هر شیار، زاویه دیواره‌ها و ارتباط هندسی بین اجزا مستندسازی می‌شود.
- منبع اطلاعاتی جامعی از ابعاد کلیدی تایر ایجاد می‌شود که در ادامه برای طراحی اجزای قالب، شبیه‌سازی المان محدود و تحلیل دینامیکی قابل‌بازیابی است.

ایجاد نقشه قالب و طراحی مهندسی معکوس

در این مرحله با استفاده از داده‌های بالا:

مراجع

- [1] Luo, X., and Hang, S., 2009. "Reverse Engineering in Tire Design Process." Advanced Materials Research, 69-70, May, pp. 231-234.
- [2] Vemerrsson, T., and Höglund, T., 2003. "Tread pattern reconstruction and reverse engineering of a car tire." Tire Science and Technology, 31(2), April, pp. 84-101.
- [3] Chenn, J. G., and Chiang, H. L., 2013. "Tire modeling by reverse engineering method and finite element analysis." Applied Mechanics and Materials, 284-287, July, pp. 1742-1747.
- [4] Zhang, H., and Xu, G., 2007. "Reverse design and virtual prototyping technology of the tire mold." MATEC Web of Conferences, 46, pp. 01033.
- [5] Lee, J., and Kim, H., 2005. "A reverse engineering methodology for tire tread design." International Journal of Automotive Technology, 6(3), Aug, pp. 245-251.

[۶] عابدی، ا. و رحیمی، م.، ۱۳۹۴. «کاربرد مهندسی معکوس در بازطراحی تایر و شبیه‌سازی سازه‌ای آن». دومین کنفرانس ملی مهندسی مواد و متالورژی ایران، تهران، صص. ۱۹۱-۱۸۴.

[۷] رستمی، س.، ۱۳۹۲. «مدل‌سازی لاستیک خودرو با استفاده از اسکن سه‌بعدی و مهندسی معکوس». نشریه علوم و فناوری پلیمر، ۲۶(۴)، زمستان، صص. ۳۳۲-۳۲۳.