

دوقلوی دیجیتال و نقش آن در تحول صنعت تایرسازی ایران در عصر انقلاب صنعتی چهارم

عباس حبیب‌اللهی

کارشناس تعمیر و نگهداری مجتمع صنعتی آرتاویل تایر

artawheel1401@gmail.com

چکیده: صنعت تایرسازی به‌عنوان یکی از صنایع مادر در بخش خودروسازی، نقش حیاتی در ایمنی، کارایی خودرو ایفا می‌کند. در سال‌های اخیر صنعت تایرسازی ایران با چالش‌هایی مانند افزایش هزینه‌های تولید، رقابت با برندهای جهانی، نیاز به بهبود کیفیت و کاهش هزینه‌ها مواجه است. در این راستا باید از آخرین تحولات فناوری در عصر انقلاب صنعتی چهارم به‌عنوان راه‌کارهای مؤثر برای غلبه بر این چالش‌ها استفاده کرد. یکی از پیشرفته‌ترین ابزارهای این تحول، فناوری دوقلوی دیجیتال (Digital Twin) است. دوقلوی دیجیتال (DT) یکی از نویدبخش‌ترین فناوری‌های توانمندساز برای تحقق تولید هوشمند و بهینه و تولید در کلاس جهانی است. دوقلوی دیجیتال یک مدل مجازی از یک شیء فیزیکی، فرایند یا سیستم است که ویژگی‌ها، رفتار و عملکرد همتای فیزیکی خود را شبیه‌سازی می‌کند. این فناوری می‌تواند تغییرات طراحی، شرایط بهره‌برداری و سناریوهای بهینه‌سازی را پیش از پیاده‌سازی واقعی ارزیابی کنند. در صنعت تایرسازی ایران، استفاده از دوقلوی دیجیتال می‌تواند نقش چشم‌گیری در کاهش زمان توسعه محصول، بهینه‌سازی عملکرد ماشین‌آلات، کاهش هزینه‌های آزمون و خطا، بهینه‌سازی مصرف انرژی و افزایش بهره‌وری ایفا کند. در این مقاله، ضمن معرفی اصول و قابلیت‌های دوقلوی دیجیتال، کاربردهای آن در فرایندهای طراحی تایر، ساخت و تست، بهینه‌سازی خطوط تولید و نگهداری پیشگیرانه ماشین‌آلات، بررسی شده و راه‌کارهای عملی برای پیاده‌سازی در صنعت تایرسازی ایران ارائه می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که به‌کارگیری این فناوری می‌تواند گامی مهم در جهت هوشمندسازی کارخانه‌ها و افزایش رقابت‌پذیری صنعت تایرسازی کشور در بازار جهانی باشد.

واژه‌های کلیدی: دوقلوی دیجیتال، انقلاب صنعتی چهارم، بهینه‌سازی صنعت تایر، هوشمندسازی فرایند

مقدمه

صنعت تایرسازی به‌عنوان یکی از صنایع استراتژیک و پیشرو در زنجیره تأمین خودروسازی، نقش محوری در ارتقای ایمنی، بهره‌وری انرژی و پایداری سیستم‌های حمل‌ونقل کشور ایفا می‌کند. در دهه اخیر، هم‌زمان با ظهور انقلاب صنعتی نسل چهارم و شتاب فزاینده تحولات دیجیتال، این صنعت با الزامات جدیدی همچون کاهش زمان عرضه به بازار، بهبود مستمر کیفیت و بهینه‌سازی مصرف انرژی مواجه شده است. در این میان، فناوری دوقلوی دیجیتال به‌عنوان یکی از پیشرفته‌ترین دستاوردهای انقلاب صنعتی چهارم، ظرفیت بی‌سابقه‌ای برای پاسخ‌گویی به این چالش‌ها ایجاد کرده است. دوقلوی دیجیتال نسخه‌ای مجازی و پویا از یک محصول، خط تولید یا ماشین‌آلات است که با استفاده از داده‌های بلادرنگ، الگوریتم‌های پیش‌بینی و شبیه‌سازی، امکان پایش، تحلیل و بهینه‌سازی فرایندها را فراهم می‌کند. این فناوری به تولیدکنندگان تایر اجازه می‌دهد پیش از صرف هزینه‌های سنگین ساخت نمونه‌های واقعی یا تغییرات در خطوط تولید، همه‌چیز را در محیط مجازی آزمایش کنند تا بهترین تصمیمات را اتخاذ کنند.

در شرایطی که صنعت تایرسازی ایران با چالش‌هایی مانند رقابت جهانی، محدودیت منابع، نیاز به بهبود بهره‌وری و ارتقاء کیفیت روبه‌رو است، دوقلوی دیجیتال می‌تواند یک راه‌کار تحول‌آفرین باشد. این فناوری نه تنها هزینه آزمون و خطا را کاهش می‌دهد، بلکه با پیش‌بینی خرابی‌ها، بهینه‌سازی عملکرد ماشین‌آلات و ارتقاء کیفیت محصولات، مسیر هوشمندسازی کامل کارخانه‌های تایرسازی کشور را هموار می‌کند.

مفهوم و تعریف دوقلوی دیجیتال

دوقلوی دیجیتال یک مدل مجازی دقیق از یک محصول، فرایند یا سیستم فیزیکی است که با داده‌های بلادرنگ تغذیه شده و به‌طور پویا وضعیت، رفتار و عملکرد نمونه واقعی را شبیه‌سازی می‌کند. این فناوری امکان پایش، پیش‌بینی و بهینه‌سازی را فراهم کرده و تصمیم‌گیری مهندسان و مدیران را بر پایه شبیه‌سازی‌های دقیق تسهیل می‌کند. نخستین جرقه‌های ایده دوقلوی دیجیتال در برنامه فضایی آپولو ناسا دیده شد و در طول سال‌های بعد تکامل یافت و در سال ۲۰۰۲ توسط مایکل گریوز در دانشگاه میشیگان آمریکا فناوری نوین

"دوقلوی دیجیتال" به‌طور رسمی معرفی شد. در سال ۲۰۱۷ دوقلوی دیجیتال توسط گارتنر در فهرست ۱۰ فناوری استراتژیک برتر قرار گرفت. با پیشرفت فناوری‌های اینترنت اشیا (IoT)، شبیه‌سازی پیشرفته (Simulation)، هوش مصنوعی (AI) و کلان‌داده (Big Data)، فناوری دوقلوی دیجیتال با قدرت و دقت در خدمت پیشروان صنایع جهان قرار گرفت. استفاده عملی از آن در صنایع مختلف به‌ویژه صنعت هوافضا، خودروسازی و تایرسازی به‌عنوان یکی از ارکان اصلی انقلاب صنعتی نسل چهارم گسترش یافت.

انواع دوقلوی دیجیتال

براساس رویکرد کاربردی در صنعت، و به‌ویژه صنعت تایرسازی جهان که چشم‌انداز این مقاله است، دوقلوهایی دیجیتال به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

۱. دوقلوی دیجیتال محصول (Product Digital Twin):

مدل مجازی از یک محصول مانند تایر خودرو که رفتار آن در شرایط مختلف (خشک، بارانی، برفی، ناهموار) شبیه‌سازی می‌شود. هم‌چنین پیش‌بینی عمر مفید و سایش آج تایر و بهینه‌سازی طراحی الگوی آج برای کاهش مصرف سوخت را می‌توان شبیه‌سازی و پیش‌بینی کرد.

۲. دوقلوی دیجیتال فرایند (Process Digital Twin):

مدل مجازی از فرایند تولید تایر که شامل تمام مراحل از آماده‌سازی مواد اولیه تا پخت و کنترل کیفیت است. با این فناوری می‌توان ترکیبات مواد اولیه، پروسه‌های ساخت و یا پارامترهای پخت را شبیه‌سازی کرد. هم‌چنین از خرابی‌های احتمالی ماشین‌آلات مطلع شد.

۳. دوقلوی دیجیتال سیستم (System Digital Twin):

مدل مجازی از کل کارخانه برای بهینه‌سازی جریان مواد و انرژی در کارخانه و مدیریت چرخه کامل عمر محصول از طراحی تا باز یافت را شبیه‌سازی به‌کار می‌رود. هر یک از این انواع دوقلوی دیجیتال می‌توانند به‌صورت مستقل یا ترکیبی در صنعت تایرسازی پیاده‌سازی شوند. انتخاب نوع مناسب به اهداف خاص هر شرکت و سطح بلوغ دیجیتالی آن بستگی دارد.

پیاده‌سازی دوقلوی دیجیتال نیازمند به‌کارگیری چند فناوری کلیدی است:

- اینترنت اشیا (IoT): نصب سنسورها روی ماشین آلات و خطوط تولید جهت جمع آوری داده‌های بلادرنگ.
- شبیه‌سازی پیشرفته (Simulation): استفاده از نرم‌افزارهایی مانند Ansys، Siemens NX و Altair برای مدل‌سازی رفتار محصول و فرایند.
- هوش مصنوعی و یادگیری ماشین (AI/ML): تحلیل داده‌ها برای پیش‌بینی خرابی‌ها و بهینه‌سازی عملکرد.
- تحلیل کلان‌داده (Big Data Analytics): پردازش حجم بالای داده‌های تولیدی کارخانه برای استخراج الگوهای مفید.

پیشینه پژوهش در جهان

در سال‌های اخیر و با پیشرفت تکنولوژی‌های تولید در صنعت تائیر، شرکت‌های بزرگ تائیرسازی از قبیل میشلن، بریجستون، کومهو، پیرلی و گودیر از آخرین فناوری‌های جهان و دوقلوی دیجیتال برای طراحی و ساخت تائیرهای هوشمند استفاده می‌کنند. دستاورد این فناوری نوین در این صنعت، کاهش زمان توسعه محصولات جدید، بهینه‌سازی ترکیبات لاستیک با دقت بالا و پیش‌بینی دقیق عمر تائیرها بوده و نتایج مثبتی در زمینه کاهش ضایعات و افزایش بهره‌وری انرژی و سیستم‌های پیش‌بینی خرابی تجهیزات کسب کردند. پروژه‌های شاخص این صنایع در زمینه دوقلوی دیجیتال، شبیه‌سازی تائیرها در خودروهای خودران و توسعه پلتفرم‌های اختصاصی صنعت تائیرسازی و ساخت تائیرهای هوشمند است. با استفاده از این تکنولوژی، هزینه‌های تحقیق و توسعه خود را به طرز چشم‌گیری کاهش دادند.

اهمیت و کاربرد دوقلوی دیجیتال در صنعت تائیرسازی ایران

در ایران، تحقیقات علمی و پروژه‌های صنعتی مرتبط با دوقلوی دیجیتال در تائیرسازی و حتی سایر صنایع هنوز در مراحل ابتدایی قرار دارد. در سال‌های اخیر صنعت تائیرسازی ایران با چالش‌های فراوانی روبرو شده که پیاده‌سازی دوقلوی دیجیتال می‌تواند راه‌کار مناسبی برای آن‌ها باشد. بنابراین در این‌جا از اهمیت این فناوری به‌عنوان یک ضرورت استراتژیک برای پیشرفت این صنعت و داشتن توانایی رقابت در بازارهای جهانی گفته می‌شود. از دستاوردهای این تکنولوژی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

بهبود کیفیت و استانداردهای تولید برای رسیدن به کلاس جهانی

با استفاده از این فناوری می‌توان با پایش لحظه‌ای کلیه پارامترهای تولید، از قبیل ترکیبات و اختلاط مواد اولیه در میکسرها تا فرایند پخت را شبیه‌سازی و کنترل کرد و حجم ضایعات و محصولات نامرغوب را کاهش داد. با شبیه‌سازی دیجیتال می‌توان به بهترین فرمولاسیون ترکیب لاستیک با کمترین مقدار سعی و خطا، دست‌یافت.

بهینه‌سازی هزینه‌ها و منابع انرژی

در این تکنولوژی با پیش‌بینی دقیق فرایندها ضایعات مواد اولیه و حتی محصولات نهایی هزینه‌ها کاهش یافته و با بهینه‌سازی فرایند مصرف انرژی هم کاهش یافته و با سیستم پیش‌بینی خرابی تجهیزات می‌توان هزینه‌های تعمیر و نگهداری و توقف خط تولید را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش داد.

توسعه پایدار و کمک به حفظ محیط‌زیست

در نتیجه کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش راندمان تولید و استفاده بهینه از مواد اولیه و کاهش ضایعات و آلاینده‌ها، می‌توان به حفظ محیط‌زیست کمک کرد و یا حتی می‌توان تأثیرات زیست‌محیطی فرایندها را قبل از اجرا شبیه‌سازی و اصلاح کرد.

مراجع

آماده‌سازی زیرساخت‌ها برای آینده
تکنولوژی دوقلوی دیجیتال به‌عنوان یکی از زیرساخت‌های مهم برای تولید تائیرهای هوشمند بوده و قابلیت صنعت کشور را برای ورود به بازارهای جهانی و تولید خودروهای الکتریکی و خودران، افزایش می‌دهد. هم‌چنین می‌توان برخلاف انقلاب‌های صنعتی پیشین، نقش بیشتر و پررنگ‌تری، در انقلاب صنعتی نسل چهارم داشت. باید توجه داشت که پیاده‌سازی این فناوری در ایران چالش‌هایی دارد که در این‌جا با ارائه راه‌کار به آن‌ها پرداخته می‌شود:

- محدودیت زیرساخت دیجیتال و امنیت سایبری که با سرمایه‌گذاری و استفاده از پلتفرم‌های بومی و رمزنگاری داده‌ها و آموزش سایبری کارکنان، می‌توان تا حدودی آن را رفع کرد.
- هزینه بالای پیاده‌سازی و نگهداری که نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه زیاد برای خرید تجهیزات، حسگرها، نرم‌افزارها و زیرساخت‌های پردازش داده و به‌روزرسانی مداوم سخت‌افزار و نرم‌افزار دارد.
- کمبود نیروی متخصص که با همکاری دانشگاه و مراکز پژوهشی با صنعت و برگزاری دوره‌های آموزشی تخصصی می‌توان بر این چالش غلبه کرد.
- مقاومت در برابر تغییر مدیران و کارکنان، که به‌وسیله آموزش و اطلاع‌رسانی و مشارکت آن‌ها در طراحی و اجرای پروژه می‌توان از همکاری آن‌ها استفاده کرد.

پیشنهادهای

برای هوشمندسازی صنعت تائیرسازی ایران در آستانه انقلاب صنعتی نسل چهارم می‌توان پیشنهادهای زیر را ارائه کرد:

۱. سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های دیجیتال: فراهم‌سازی بسترهای سخت‌افزاری

و نرم‌افزاری پیشرفته برای اجرای دوقلوی دیجیتال در خطوط تولید.

۲. آموزش نیروی انسانی: برگزاری دوره‌های تخصصی برای مهندسان، کارشناسان و اپراتورهای تولید به‌منظور تسلط بر ابزارها و پلتفرم‌های دوقلوی دیجیتال.

۳. توسعه همکاری‌های فناورانه: ایجاد مشارکت بین شرکت‌های تائیرسازی، دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی برای توسعه مدل‌های شبیه‌سازی بومی.

۴. اجرای پروژه‌های پایلوت: آغاز پیاده‌سازی این فناوری در یک یا چند خط تولید به‌عنوان پروژه آزمایشی برای ارزیابی عملکرد و رفع ایرادات پیش از تعمیم سراسری.

۵. حمایت دولتی و مشوق‌های مالی: ارائه تسهیلات، معافیت‌های مالیاتی و یارانه‌های تحقیق و توسعه برای کاهش هزینه‌های اولیه سرمایه‌گذاری در این حوزه.

۶. تمرکز بر اینترنت اشیا (IoT) و هوش مصنوعی: بهره‌گیری از حسگرهای هوشمند و الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای افزایش دقت مدل‌ها و بهبود پیش‌بینی‌ها.

نتیجه‌گیری

صنعت تائیرسازی ایران در آستانه یک تحول دیجیتال بی‌سابقه قرار دارد. به‌کارگیری فناوری دوقلوی دیجیتال در صنعت تائیرسازی ایران، افق‌های جدیدی را در حوزه هوشمندسازی فرایند تولید، افزایش بهره‌وری ماشین‌آلات، کاهش هزینه‌ها و ارتقاء کیفیت محصول گشوده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که دوقلوی دیجیتال نه تنها یک ابزار فناورانه، بلکه یک رویکرد مدیریتی نوین برای هدایت صنعت تائیرسازی ایران به سمت تولید هوشمند و رقابت‌پذیر جهانی است. آینده این صنعت به توانایی مدیران و مهندسان در ترکیب دانش تخصصی تائیرسازی با فناوری‌های نوین داده‌محور بستگی دارد. موفقیت در این مسیر نیازمند عزم ملی، سرمایه‌گذاری هدفمند و همکاری همه‌جانبه بین بخش‌های صنعت، دانشگاه و دولت است. با برنامه‌ریزی دقیق، ایران می‌تواند در افق ۱۴۱۰ به یکی از پیشگامان منطقه در حوزه تائیرهای هوشمند تبدیل شود^{۱۱}

[1] F. Tao, H. Zhang, A. Liu, and A. Y. C. Nee, "Digital twin in industry: State-of-the-art,"

[2] Q. Qi and F. Tao, "Digital Twin and big data towards smart manufacturing and Industry 4.0: 360 degree comparison,"

[3] P. Haan, "The role of digital twins in the tire industry," Siemens Industry Report, 2021.

[4] M.. Oppelt, "Simulation-driven design in manufacturing: The digital twin approach," Siemens AG, 2021.