

پلتفرم‌های آنلاین مانیتورینگ فرایند و هشداردهی لحظه‌ای

عرفان ناصری^{۱*} و فرید عطایی^۲

۱- کارشناس واحد برنامه‌نویسی اداره فاوا شرکت لاستیک بارز کردستان

۲- مدیر اداره فاوا شرکت لاستیک بارز کردستان

erfan.nas3ri@gmail.com

چکیده: یکی از چالش‌های موجود در هر کارخانه‌ای مانیتورینگ لحظه‌ای داده‌ها و پایش این داده‌ها و همچنین اقدامات لازم در صورت نیاز در لحظه مبنی بر این داده است در نتیجه همین موضوع باعث می‌شود که در کارخانجات صنعتی نیاز حیاتی به استقرار چنین سیستمی حس شود. چراکه به‌عنوان مثال در کارخانه تایرسازی افزون‌بر این که حجم داده آن‌ها زیاد است و نیازمند وجود سیستمی هستند که به‌صورت آنی و لحظه‌ای داده‌ها را پایش و آنالیز کند، همچنین براساس نتایج حاصل از این پایش تصمیم‌گیری کند که نیاز به فعال شدن سیستم آلام وجود دارد یا خیر. در کارخانه‌های جدید با پیاده‌سازی صنعت ۴ نیازمند پایش آنلاین و رصد داده‌ها با سیستم‌های هوشمند است. با ظهور سیستم‌های هوش مصنوعی این قابلیت به‌صورت دقیق‌تر در کارخانه‌های صنعتی با حجم زیاد داده قابل‌لمس‌تر خواهد بود. در کارخانه لاستیک بارز کردستان باتوجه به حجم زیاد داده‌ها سیستم کاغذی خیلی زمان‌بر بود که با راه‌اندازی سیستم کنترل ورودی و خروجی هر دستگاه به‌صورت آنلاین در پایش داده‌ها و جلوگیری از بروز خطای اپراتوری کمک شایانی در رفع این موانع کرده است. با جمع‌آوری داده‌های هر ایستگاه روندهای که در بازه زمانی بیشتر از یک ماه اتفاق می‌افتاد و از نظر دید انسانی قابل‌ردیابی نبود با سیستم‌های آنلاین قابل تشخیص بوده و ردیابی به‌مراتب راحت‌تر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: مانیتورینگ صنعتی، پایش لحظه‌ای، پردازش داده، تحلیل بلادرنگ، سیستم هشداردهی، بهینه‌سازی فرایند

مقدمه

باتوجه به پیچیدگی فرایند تولید تایر که شامل مراحل متعددی مانند مخلوط‌سازی مواد خام، اکستروژن، ساخت لایه‌ها، ولکانیزاسیون و کنترل کیفیت می‌شود، این صنعت با چالش‌های فراوانی روبرو است. در سال‌های اخیر، با رشد تقاضای جهانی برای تایرهای باکیفیت بالا و سازگار با محیط‌زیست، کارخانه‌های تایرسازی نیاز به افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و بهبود ایمنی فرایندها دارند. طبق آمارهای جهانی، صنعت تایرسازی بیش از ۲ میلیارد تایر در سال تولید می‌کند و هرگونه اختلال در فرایند تولید می‌تواند منجر به خسارات مالی هنگفت و مشکلات ایمنی شود. در این میان، پلتفرم‌های آنلاین مانیتورینگ فرایند و هشداردهی لحظه‌ای به‌عنوان ابزارهای نوین فناوری، تحولاتی اساسی در این حوزه ایجاد کرده‌اند [۱ و ۲].

فرایند تولید تایر، فرایندی پیچیده و حساس به عوامل خارجی مانند دما، فشار، رطوبت و کیفیت مواد است. در کارخانه‌های سنتی، مانیتورینگ اغلب به‌صورت دستی یا با سیستم‌های محلی انجام می‌شود که محدودیت‌هایی مانند تأخیر در تشخیص مشکلات، عدم دسترسی به داده‌های واقعی زمان و ناتوانی در پیش‌بینی خرابی‌ها را به‌همراه دارد. برای مثال، در مرحله ولکانیزاسیون، تغییرات جزئی در دما می‌تواند منجر به نقص در ساختار تایر شود و درنهایت ایمنی جاده را تهدید کند [۳].

به همین دلیل، نیاز به سامانه‌های هوشمند نظارت لحظه‌ای و هشداردهی فوری در کارخانجات تایرسازی به یک ضرورت بدل شده است. این پلتفرم‌ها با اتصال به تجهیزات تولیدی و بهره‌گیری از تحلیل داده‌های لحظه‌ای، این امکان را فراهم می‌آورند که وضعیت تمامی بخش‌های خط تولید به‌صورت برخط پایش شود. در صورت بروز هرگونه اختلال یا انحراف از شرایط بهینه، سیستم به شکل خودکار هشدارهای لازم را صادر کرده و اپراتورها یا مدیران می‌توانند پیش از وقوع مشکل جدی اقدام اصلاحی انجام دهند. [۴ و ۵]

مانیتورینگ صنعتی ابتدا در دهه ۱۹۶۰ و با ظهور سیستم‌های SCADA آغاز شد. این سیستم‌ها با استفاده از سخت‌افزارهای محلی داده‌ها را جمع‌آوری کرده و در یک مرکز کنترل نمایش می‌دادند. هم‌زمان، DCS نیز معرفی شد که بیشتر برای فرایندهای تولیدی با پیشرفت فناوری اطلاعات در دهه ۱۹۹۰ و گسترش اینترنت،

مسیر جدیدی برای مانیتورینگ باز شد. شرکت‌ها شروع به طراحی سیستم‌های وب‌محور کردند که امکان مشاهده داده‌ها را از طریق مرورگرهای ساده فراهم می‌کردند. در دهه ۲۰۱۰، با ظهور رایانش ابری و اینترنت اشیا (IoT)، مانیتورینگ از یک ابزار صرفاً نظارتی به یک پلتفرم هوشمند و تحلیلی تبدیل شد [۶].

ضرورت استفاده از مانیتورینگ آنلاین

۱. افزایش ایمنی: در صنایع حساس مانند انرژی، داروسازی و شیمیایی، کوچک‌ترین خطا می‌تواند منجر به حوادث فاجعه‌بار شود. سیستم‌های هشدار لحظه‌ای با شناسایی ناهنجاری‌ها از وقوع این حوادث جلوگیری می‌کنند.
۲. کاهش هزینه‌های نگهداری: به‌جای تعمیر واکنشی (بعد از وقوع خرابی)، پلتفرم‌های مانیتورینگ امکان نگهداری پیش‌بینانه را فراهم می‌کنند. این کار عمر تجهیزات را افزایش داده و هزینه‌ها را کاهش می‌دهد.
۳. بهبود بهره‌وری: داده‌های لحظه‌ای به مدیران اجازه می‌دهد فرایندهای ناکارآمد شناسایی و اصلاح شوند. این موضوع منجر به بهینه‌سازی منابع و افزایش بازده تولید می‌شود.
۴. پشتیبانی از تصمیم‌گیری هوشمند: داده‌های جمع‌آوری شده می‌توانند با الگوریتم‌های تحلیلی ترکیب شوند و بینش‌های ارزشمندی برای تصمیمات استراتژیک فراهم کنند.

باتوجه به این که در خطوط تولید مدرن سیستمی در نظر گرفته شده است که براساس رخدادهای و شرایط، کلیه فرایندها و رویدادها را مانیتور و اعلام می‌کند، می‌توان گفت که رویکرد رخدادمحور یکی از مهم‌ترین دستاوردهای تحول دیجیتال در صنعت به‌شمار می‌رود. در گذشته، سیستم‌های مانیتورینگ تنها قادر بودند در بازه‌های زمانی مشخص داده‌ها را جمع‌آوری کنند و سپس به اپراتورها نمایش دهند. اما این روش سنتی محدودیت‌های زیادی داشت؛ زیرا بسیاری از اختلالات و تغییرات مهم تنها در چند لحظه رخ می‌دادند و قبل یا بعد از زمان نمونه‌برداری از دست می‌رفتند. همین موضوع باعث شد نسل جدیدی از پلتفرم‌های مانیتورینگ با تمرکز بر رخدادها و شرایط لحظه‌ای به‌وجود آید.

در سیستم‌های رخدادمحور، هر تغییر در وضعیت تجهیزات یا شرایط محیطی به‌عنوان یک رخداد تعریف می‌شود. این رخدادها می‌توانند شامل افزایش ناگهانی دما، کاهش فشار، توقف یک ماشین، اختلال در تأمین مواد اولیه، یا حتی کاهش کیفیت یک محصول در خط تولید باشند. سیستم مانیتورینگ آنلاین این رخدادها را به‌صورت لحظه‌ای شناسایی کرده، ثبت می‌کند و بلافاصله هشدار لازم را به مدیران و اپراتورها ارسال می‌کند. به‌این‌ترتیب، زمان واکنش به مشکلات به حداقل می‌رسد و از بروز توقف‌های طولانی، خسارت‌های مالی و حتی حوادث ایمنی جلوگیری می‌شود.

یکی از مزایای اصلی چنین رویکردی، یکپارچگی با سیستم‌های تحلیل داده و هوش مصنوعی است. زمانی که رخدادها به‌صورت مستمر ثبت می‌شوند، امکان تحلیل الگوها و پیش‌بینی مشکلات احتمالی فراهم می‌شود. به‌عنوان مثال، اگر در یک خط تولید مشخص شود که یک دستگاه در بازه‌های زمانی خاص یا تحت شرایط ویژه دچار نوسان دمایی می‌شود، سیستم می‌تواند پیش‌بینی کند که این دستگاه به‌زودی دچار خرابی خواهد شد. این نوع نگهداری پیش‌بینانه نه تنها هزینه‌های تعمیرات را کاهش می‌دهد بلکه بهره‌وری و طول عمر تجهیزات را نیز افزایش می‌دهد. از منظر مدیریتی، مانیتورینگ رخدادمحور این امکان را فراهم می‌کند که مدیران در هر لحظه تصویری شفاف از وضعیت کل خط تولید داشته باشند. درواقع، سیستم به‌صورت خودکار گزارشی از وضعیت هر بخش ارائه می‌دهد و در صورت وقوع شرایط بحرانی، هشدار را از طریق پیامک، ایمیل یا داشبورد مدیریتی ارسال می‌کند. این موضوع باعث می‌شود تصمیم‌گیری سریع‌تر، دقیق‌تر و مؤثرتر انجام گیرد.

نحوه عملکرد سیستم مانیتورینگ در کارخانه لاستیک بارز کردستان

در کارخانه لاستیک بارز کردستان، با توجه به اینکه تقریباً تمامی بخش‌های خط تولید اعم از ایستگاه‌ها، ماشین‌آلات و تجهیزات جانبی به سامانه‌های کنترلی و ابزارهای ثبت داده مجهز شده‌اند، امکان جمع‌آوری، پردازش و ذخیره‌سازی داده‌ها به‌صورت آنلاین و لحظه‌ای فراهم آمده است. این موضوع به کارخانه اجازه می‌دهد تا ضمن کنترل دقیق فرایندها، از بروز خطاهای انسانی جلوگیری کرده و کیفیت نهایی محصول را در بالاترین سطح حفظ کند.

این چرخه مانیتورینگ از اولین نقطه زنجیره تأمین یعنی انبار مواد اولیه آغاز می‌شود و تا آخرین مرحله، یعنی انبار محصول نهایی و آماده‌سازی برای ارسال به بازار ادامه می‌یابد. با توجه به قابلیت نصب بارکد در تایرهای تولیدی در بارز کردستان این مزیت ایجاد شده است که یک شناسنامه کامل هر تایر در کارخانه وجود داشته باشد که در صورت بروز هرگونه عیب در سرویس نتایج تایر و همچنین مراحل تولید و مواد اولیه استفاده شده کامل در دسترس نفرات مرتبط باشد تا به‌صورت کامل و با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی نتایج بررسی شود.

درواقع، تمامی ایستگاه‌ها و ماشین‌آلات در مسیر تولید تایر تحت پایش مداوم قرار دارند. این ایستگاه‌ها شامل بخش‌های زیر هستند:

انبار مواد اولیه

سیستم‌های توزین (مستر و فاینال) در سالن اختلاط

میکسرها (دو عدد مستر و دو عدد فاینال)
ماشین اکسترودر در سالن آماده‌سازی
ماشین کلندر
ماشین رولرهد
ماشین برش لایه
ماشین برش بلت
ماشین‌های بید و بیداپس
ماشین‌های تایرسازی
گرین‌های تعمیری
سالن بازرسی (فینیشینگ)
بخش بارکدها در گریدر

ضرورت وجود سیستم یکپارچه مانیتورینگ

باتوجه به حجم بالای داده‌های تولیدی و حساسیت بالای فرایند تولید تایر، استفاده از یک سیستم مانیتورینگ یکپارچه امری حیاتی است. چنین سیستمی باید بتواند:

- داده‌ها را به‌صورت آنی جمع‌آوری کند،
- آن‌ها را تحلیل و پردازش کند،
- براساس الگوریتم‌ها و قواعد از پیش تعریف‌شده، تصمیم‌گیری‌های لازم را انجام دهد،
- و در مواقع ضروری، هشدارهای فوری برای کارشناسان و مدیران صادر کند.

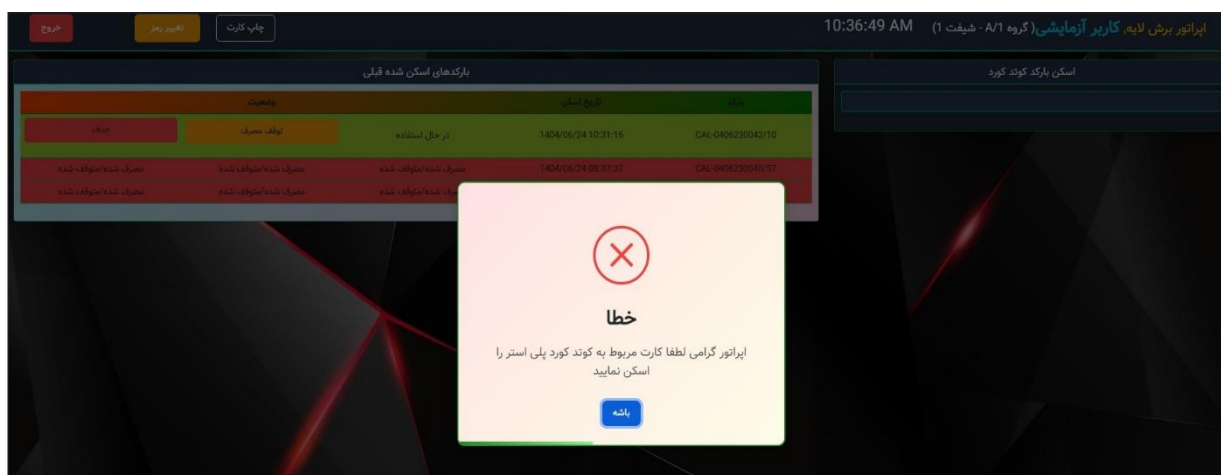
دسته‌بندی داده‌ها

در این سیستم، داده‌های مربوط به هر ایستگاه به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: داده‌های ورودی) مانند نوع مواد اولیه یا قطعات وارد شده به خط تولید (داده‌های خروجی) نتایج به‌دست آمده از عملیات ماشین‌آلات یا وضعیت نهایی قطعه تولیدی (این داده‌ها به‌طور خودکار توسط سیستم ثبت و تحلیل می‌شوند. سپس براساس نتایج تحلیل، اقدامات لازم از قبیل کنترل کیفیت، تغییر در تنظیمات ماشین یا توقف خط تولید (در مواقع بحرانی) اعمال می‌شود.

مکانیسم عملکرد سیستم

عملکرد سیستم به‌گونه‌ای طراحی شده که نیازی به دخالت مستقیم و لحظه‌ای اپراتور وجود ندارد. درواقع، نقش اپراتور بیشتر نظارتی است و تصمیم‌گیری‌های اصلی توسط سیستم انجام می‌شود.

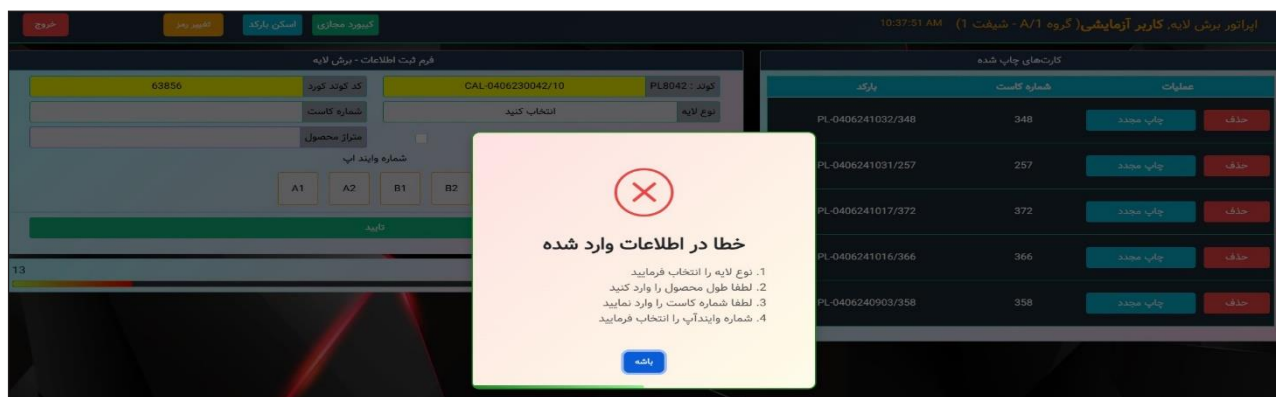
به‌عنوان نمونه، در ایستگاه برش لایه داده‌های ورودی تنها شامل یک مؤلفه «کودت کورد پلی‌استر» است. سیستم فقط این نوع ورودی را می‌پذیرد و هر نوع ورودی خارج از این نوع داده‌های ورودی مورد انتظار، به‌عنوان داده نامعتبر شناسایی می‌شود (شکل ۱). در چنین شرایطی، سیستم افزون‌بر عدم پذیرش ورودی، یک لاگ هشدار در پایگاه داده ثبت کرده و به کارشناسان یا سرگروه مربوطه ارسال می‌کند. این اقدام هم مانع از اختلال در روند تولید می‌شود و هم فرایند عیب‌یابی را ساده‌تر می‌سازد. همچنین در قسمت چاپ کارت نیز باز از خطاهای اپراتوری جلوگیری می‌شود



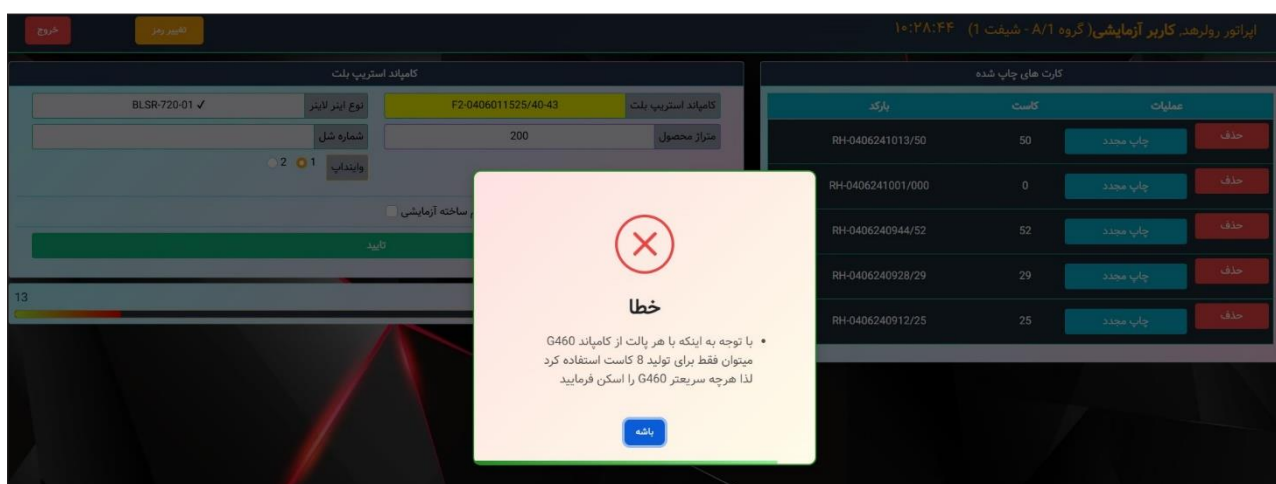
شکل ۱- هشدار ورودی اشتباه

آخرین ورودی بیشتر از تعداد تعریف استاندارد تعریف شده باشد هشدار در لحظه برای اپراتور نمایش داده شود که فوراً بارکد کودت کورد جدید را اسکن کند (شکل ۳) با راهاندازی این سیستم در همه ایستگاه‌های مربوطه خطای اپراتوری به حداقل کاهش پیدا کرده است و مانع از استفاده از مواد ورودی نامنطبق در ایستگاه مربوطه است. در ایستگاه‌های مثل دستگاه تایرسازی که تعداد ورودی بالا بوده و در بازه زمانی مختلف می‌تواند تغییر کند اسپیک ورودی دستگاه پس از تغییر روی اسندهای اعمال و خارج از اسپیک ورودی دیگری قابل قبول نخواهد بود (شکل ۴).

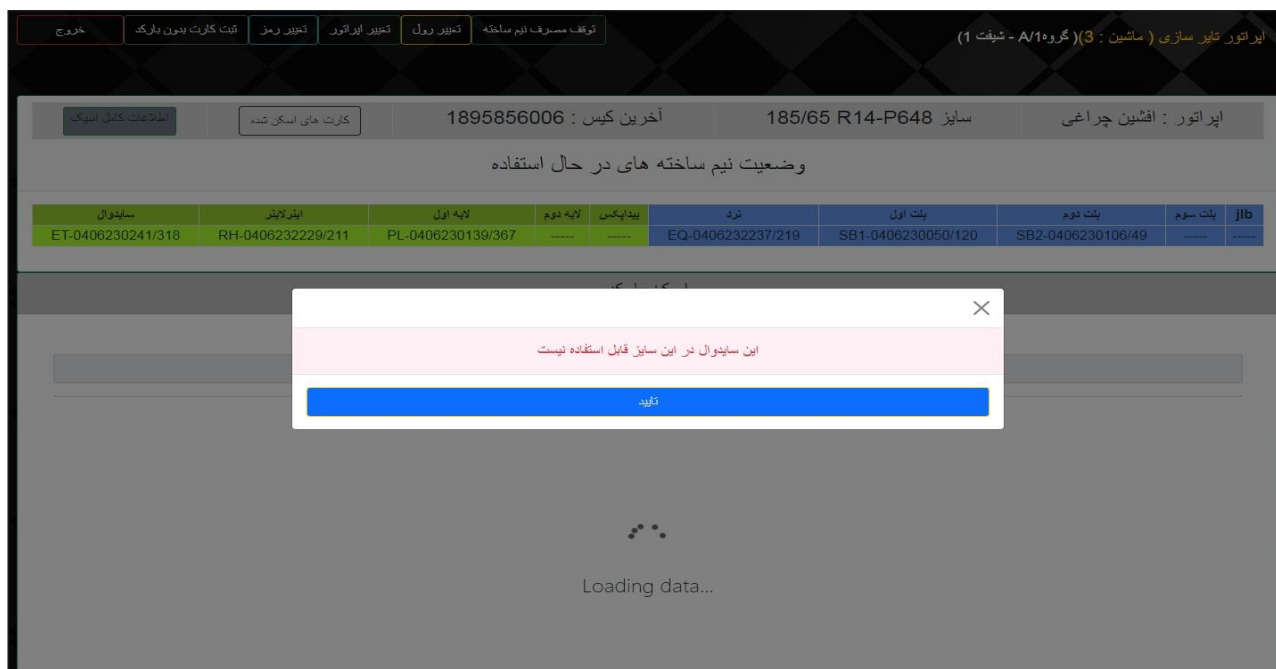
چراکه مکانیسمی تعریف شده که نوع داده‌های ورودی از طرف اپراتور را اعتبار سنجی می‌کند و در صورت عدم رعایت وارد کردن نوع داده مدنظر فوراً به صورت آنلاین و لحظه‌ای هشدار نمایش داده می‌شود که اپراتور باید نوع داده موردنظر را صحیح وارد کند (شکل ۲) یا همچنین باتوجه به حساسیت بالا در مورد شمارش تعداد کاست‌های تولیدی از کودت کوردهای ورودی، سیستم آنلاین لحظه‌ای نیز برنامه‌نویسی شده است که بتواند در هر بار چاپ کارت، تعداد کارت‌های چاپ شده از آخرین کودت کورد ورودی را شمارش کند در صورتی که تعداد کارت چاپ شده از



شکل ۲- ورودی نادرست



شکل ۳- محدودیت استفاده بیش از حد از کودت کورد



شکل ۴- خطای کنترل ورودی غیر منطبق در تایرسازی

نتیجه‌ها و بحث

چنانچه داده‌های ورودی معتبر باشند، سیستم آن‌ها را ثبت کرده و فرایندهای بعدی را براساس این ورودی‌ها ادامه می‌دهد. ثبت لحظه‌ای داده‌ها این امکان را به کارشناسان می‌دهد که در هر لحظه به وضعیت ماشین‌آلات و مواد ورودی دسترسی داشته باشند و در صورت لزوم، تغییرات یا اصلاحات موردنیاز را اعمال کنند. به‌این‌ترتیب، فرایند تولید به سمت یک الگوی آرمانی و پایدار هدایت می‌شود.

مزایای سیستم مانیتورینگ یکپارچه

سیستم مانیتورینگ کارخانه بارز کردستان با ایجاد یک چرخه کامل از جمع‌آوری داده، تحلیل، تصمیم‌گیری و هشدار، مزایای زیر را به‌همراه دارد:

- تضمین پایداری و کنترل‌پذیری در تمامی بخش‌های خط تولید
- ارتقای کیفیت نهایی محصول و کاهش محصولات معیوب
- افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های ناشی از توقف خط تولید
- شفافیت در عملکرد ایستگاه‌ها و امکان گزارش‌گیری دقیق
- تقویت مدیریت کلان فرایندهای تولید با اتکا به داده‌های دقیق و لحظه‌ای

نتیجه‌گیری

پیاده‌سازی پلتفرم‌های آنلاین مانیتورینگ فرایند و هشداردهی لحظه‌ای، به‌ویژه در صنایع پیچیده و حساس مانند تایرسازی، گامی راهبردی در راستای تحقق تحول دیجیتال تلقی می‌شود. این سامانه‌ها با ایجاد یک زنجیره یکپارچه از جمع‌آوری داده، تحلیل بلادرنگ، پیش‌بینی رخدادهای احتمالی و صدور هشدارهای فوری، نقش قابل‌توجهی در ارتقای کیفیت محصولات، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری، و افزایش بهره‌وری ایفا می‌کنند. اتصال این پلتفرم‌ها

به تجهیزات خط تولید از طریق اینترنت اشیا (IoT) و ذخیره‌سازی و پردازش اطلاعات در بستر رایانش ابری، امکان دسترسی‌پذیری بالا و مقیاس‌پذیری انعطاف‌پذیر را فراهم می‌آورد.

افزون بر مزایای عملیاتی، بهره‌گیری از الگوریتم‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در این سیستم‌ها، قابلیت شناسایی الگوها و پیش‌بینی خرابی‌های آتی را تقویت کرده و زمینه را برای اجرای سیاست‌های نگهداری پیش‌بینانه (Predictive Maintenance) فراهم می‌سازد. این رویکرد نه تنها زمان توقف خطوط تولید را به حداقل می‌رساند، بلکه طول عمر تجهیزات و پایداری فرایند را نیز به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهد.

مطالعه موردی انجام‌شده در کارخانه لاستیک بارز کردستان نشان داد که پیاده‌سازی چنین سامانه‌ای می‌تواند رصد کامل کلیه ایستگاه‌ها و ماشین‌آلات را در زنجیره تولید ممکن ساخته و با کاهش خطاهای انسانی، کیفیت و ثبات محصول نهایی را ارتقا بخشد. این نتایج بیانگر آن است که سیستم‌های مانیتورینگ یکپارچه، از مرحله تأمین مواد اولیه تا تحویل محصول نهایی، نه تنها به‌عنوان یک ابزار کنترلی، بلکه به‌عنوان یک راهکار مدیریتی و راهبردی عمل کرده و در بهبود تصمیم‌گیری عملیاتی و کلان نقش محوری دارند.

درنهایت، ضرورت سرمایه‌گذاری در توسعه و استقرار چنین پلتفرم‌هایی اجتناب‌ناپذیر است، چراکه در آینده نزدیک، رقابت در صنایع تولیدی نه صرفاً بر مبنای کیفیت محصول، بلکه براساس توانایی مدیریت هوشمندانه فرایندها و واکنش سریع به تغییرات محیطی و عملیاتی تعیین خواهد شد. تجربیات موفق و بهبودهای مشاهده‌شده در این مطالعه، می‌تواند الگویی برای سایر واحدهای صنعتی و تولیدی فراهم کرده و زمینه‌ساز گسترش کاربرد این فناوری‌ها در مقیاس ملی و بین‌المللی باشد.

مراجع

- [1] Rodgers, P. (2019). Manufacturing Processes for Rubber Products. Springer.
- [2] Smith, J., & Allen, R. (2020). "Sustainability Trends in Tire Manufacturing". Journal of Cleaner Production, 256, 120456.
- [3] International Rubber Study Group (IRSG). (2021). World Rubber Industry Outlook. IRSG Publications.
- [4] Nguyen, T., & Lee, H. (2018). "Real-time Process Monitoring in Rubber Industry". IEEE Access, 6, 40123–40135.
- [5] Mortimer, D., & Clark, R. (2017). Materials Science of Rubber Compounding. Elsevier.