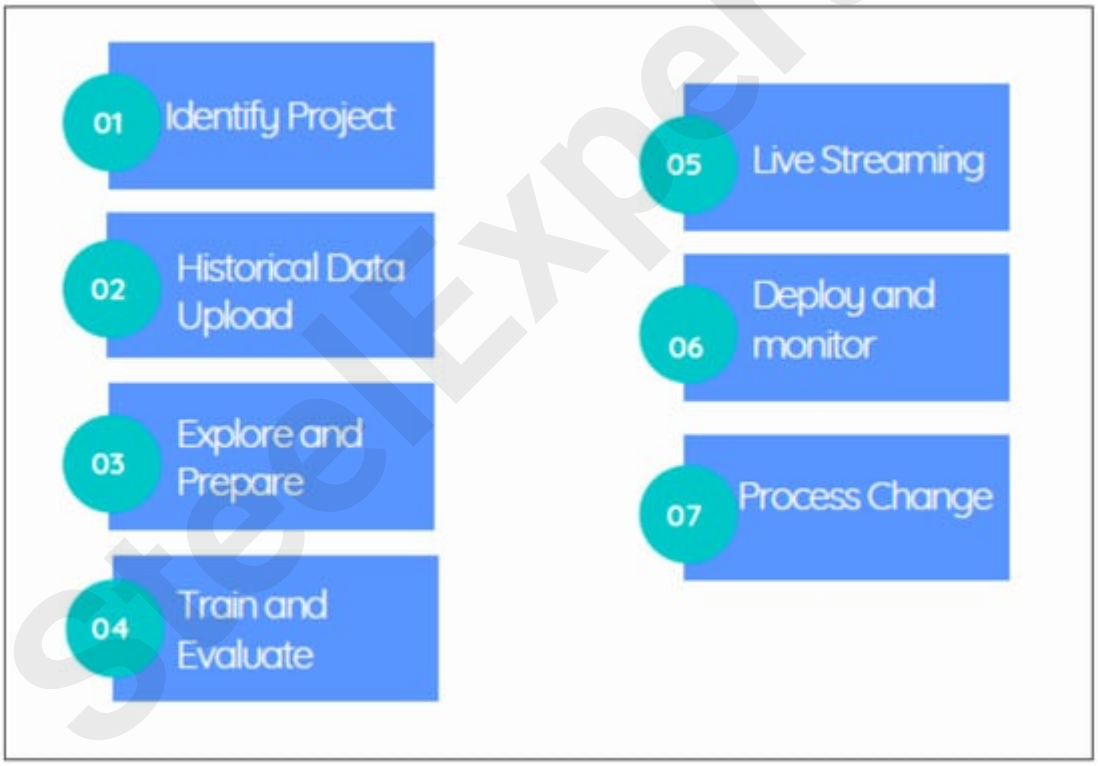
مرکز دانش شبکه خبرگان صنعت فولاد

مدل‌های نوین کسب‌وکار مبتنی بر هوش مصنوعی؛ مطالعه موردی بهینه‌سازی کوره بلند در صنعت فولاد با یادگیری ماشین

مقالات تخصصی | علی ارجمندی اصل | ۱۴۰۵/۰۸/۰۴

مطالعه موردی پیاده‌سازی پلتفرم Canvass Analytics در کوره بلند یک فولادساز آمریکای شمالی؛ از تحلیل داده‌های یک‌سالهٔ OSI PI و پیش‌بینی کیفیت و سیلیسیم تا استقرار طی دو ماه با رویکرد بی‌کد و کم‌کد.



چکیده

این مقاله تجربه به‌کارگیری یک راهکار یادگیری ماشین (Machine Learning یا ML) را در فرایند تولید فولاد بررسی می‌کند؛ راهکاری که شرکت نوپای کانادایی Canvass Analytics از طریق پلتفرم خود در اختیار یک کارخانه فولادسازی قرار داده است. نویسندگان، ضمن مرور وضعیت کاربرد هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در

بهینه‌سازی فرایندهای فولادسازی، می‌کوشند نشان دهند مدل‌های کسب‌وکار تازه مبتنی بر این فناوری‌ها چه فرصت‌هایی برای بهبود عملیات صنایع سنتی ایجاد می‌کنند.

روش پژوهش از مرور منابع علمی در پایگاه Scopus برای تدوین چارچوب مفهومی و شناخت وضعیت فناوری در صنعت فولاد آغاز می‌شود؛ سپس مطالعه موردی معرفی و تحلیل می‌گردد و در پایان، تأثیر مدل کسب‌وکار جدید بر عملکرد کارخانه ارزیابی می‌شود. نتیجه مطالعه نشان می‌دهد راهکار مبتنی بر توسعه بی‌کد یا کم‌کد (No-Code/Low-Code) می‌تواند در مقایسه با شیوه‌های متعارف اجرای پروژه‌های تحلیل داده، زودتر به نتیجه برسد و دسترسی کاربران عملیاتی صنایع سنتی را به قابلیت‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین آسان‌تر کند.

محور اصلی پژوهش، فرصت‌های ناشی از مدل‌های نوین کسب‌وکار هوش مصنوعی و چگونگی پذیرش این فناوری در محیط‌های صنعتی سنتی، در مسیر حرکت به‌سوی تولید هوشمند است. سهم مقاله، معرفی رویکردی است که ابزارهای هوش مصنوعی و یادگیری ماشین را مستقیماً در اختیار اپراتورهای فرایند می‌گذارد و با کاستن از پیچیدگی و زمان استقرار، دستیابی به نتایج بهتر را امکان‌پذیر می‌سازد. نویسندگان همچنین تأکید می‌کنند اجرای چنین راهکاری به حجم قابل‌توجهی از داده‌های فرایندی وابسته است.

واژگان کلیدی: هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، تولید هوشمند، صنعت ۴٫۰، مدل کسب‌وکار، راهکار بی‌کد/کم‌کد.

۱. مقدمه

این مقاله بررسی می‌کند که مدل‌های کسب‌وکار مبتنی بر هوش مصنوعی [۱] چگونه می‌توانند کارخانه‌های سنتی را به محیط‌هایی هوشمندتر و کارآمدتر تبدیل کنند و چگونه اطلاعات حاصل از این راهکارها، قدرت تصمیم‌گیری کارکنان خط تولید را افزایش می‌دهد. نمونه مورد بررسی، کارخانه‌ای در صنعت فولاد است که قصد داشت عملکرد کوره بلند خود را از نظر مصرف انرژی، یکنواختی کیفیت و کاهش مصرف سیلیسیم بهبود دهد. پژوهش [۲] به ظرفیت تحول‌آفرین هوش مصنوعی و، در سال‌های اخیر، یادگیری ماشین برای ایجاد مدل‌های جدید کسب‌وکار و فرصت‌های کارآفرینی اشاره می‌کند. نویسندگان آن پژوهش، با استناد به نمونه‌های عملی متعدد، نتیجه گرفته‌اند که ظرفیت نوآورانه این مدل‌ها می‌تواند به شیوه‌های عملیاتی کاملاً متفاوت و حتی انواع تازه‌ای از بنگاه‌های اقتصادی منجر شود.

در پژوهش [۳] نیز فرصت‌های توسعه صنایع هوشمند و گسترش و تکامل فرایندهای تولید مطرح شده است. این تحول از تقاضا برای فناوری‌ها و روش‌های کارآمدتر، رعایت استانداردهای کیفیت، کاهش هزینه و پیشرفت

فناوری ناشی می‌شود. در بحث صنعت ۴٫۰، هدف اصلی الگوی نوین تولید آن است که فرایندهای موجود هوشمندتر و سازگارپذیرتر شوند و منابع تولید با بهره‌وری بیشتری مصرف گردند. آن مقاله رویکردی قابل‌توجه برای بهینه‌سازی فرایندهای صنعتی و تولید هوشمند ارائه می‌کند.

در تکمیل این دیدگاه، پژوهش [۴] یادآور می‌شود که حجم عظیمی از داده‌های سامانه‌های قدیمی، سازمانی و عملیاتی بلااستفاده مانده است. کارخانه‌ها بر گنجینه‌ای از داده‌های تاریخی و عملیاتی، از جمله اطلاعات سامانه‌های اجرای تولید (MES) و برنامه‌ریزی منابع سازمان (ERP)، نشسته‌اند؛ گنجینه‌ای که نادیده‌گرفتن ظرفیت آن برایشان پرهزینه است. بنا بر همان منبع، در زمان مطالعه تنها ۲۰ تا ۳۰ درصد از ارزش بالقوه داده‌های ذخیره‌شده و راکد به دست آمده بود.

مقاله حاضر بر همین فرصت ارزش‌آفرینی از داده‌ها تکیه دارد: با شکل‌گیری مدل‌های کسب‌وکار جدید، می‌توان کارخانه‌های سنتی را هوشمندتر و کارآمدتر کرد و از طریق اطلاعات کاربردیِ حاصل از تحلیل داده، توان کارکنان خط تولید را افزایش داد.

نویسندگان قصد دارند بررسی پیشین خود [۵] را عمیق‌تر کنند و نشان دهند که چگونه یک پلتفرم هوش مصنوعی/یادگیری ماشین با رویکرد بی‌کد یا کم‌کد می‌تواند یک فرایند تولید سنتی را متحول سازد. ارزش پیشنهادی این مدل کسب‌وکار، ساده‌کردن استقرار در محیط صنعتی و تقویت دانش اپراتورهاست. مقاله ابتدا مروری کوتاه بر پژوهش‌های پایگاه علمی Scopus انجام می‌دهد و وضعیت استفاده از تحلیل داده و هوش مصنوعی در فولادسازی را بیان می‌کند؛ سپس شرکت ارائه‌دهنده پلتفرم و مدل کسب‌وکار آن معرفی می‌شود و در نهایت، مطالعه موردی کارخانه، راهکار انتخاب‌شده و نتایج حاصل تشریح می‌گردد.

۲. پژوهش‌های مرتبط در صنعت فولادسازی

برای ترسیم تصویری از وضعیت کاربرد هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در صنعت فولاد، نویسندگان در ۲۷ اوت ۲۰۲۱ جست‌وجویی با دو کلیدواژه «یادگیری ماشین» و «صنعت فولاد» در پایگاه Scopus انجام دادند و ۹۹ اثر مرتبط یافتند. از میان آن‌ها، پژوهش‌های [۶] تا [۱۱] به دلیل ارتباط بیشتر با مطالعه موردی انتخاب شدند.

پژوهش [۶] برای موضوع حاضر اهمیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا روشی محاسباتی مبتنی بر یادگیری ماشین را برای افزایش بهره‌وری کوره بلند شرکت Jindal Steel & Power Limited (JSPL) در هند بررسی می‌کند. دستیابی به بهبودها حدود ۱۸ ماه زمان برد و یکی از عوامل مؤثر در آن، استفاده هم‌زمان از روش‌های یادگیری ماشین و دانش تخصصی کارشناسان کوره بلند بود. آن پژوهش بر نقش این روش‌ها در ارتقای بهره‌وری و کیفیت فرایندهای پیوسته مواد، از جمله کوره بلندی که خوراک معدنی دریافت می‌کند و چدن مذاب تولید می‌کند،

تأکید داشت.

بر پایه مباحث مطرح‌شده در همین مجموعه مطالعات، وجود بستری ساخت‌یافته برای هوش تجاری، زمینه استفاده از تحلیل آماری داده را فراهم می‌کند؛ تحلیلی که به کمک فناوری‌های نوظهور هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، دانش پنهان و سودمند برای بهینه‌سازی تولید، هزینه و کیفیت را استخراج می‌کند. در صنعت فولاد، فراوانی داده‌های عملیاتی و لزوم کنترل فرایندهای پیچیده و چندفیزیکی، شرایط مناسبی برای اجرای رویکردهای داده‌محور فراهم می‌آورد. نویسندگان به تجربه شرکت ایتالیایی ABS (Acciaierie Bertoli Safau) اشاره می‌کنند که با همکاری شرکای صنعتی، تحلیل‌های پیش‌بینانه را به کار گرفت [۷].

پژوهش [۸] روشی برای پاسخ‌گویی به دشواری‌های پردازش و نمایش داده‌ها و طراحی مدل‌های پیش‌بینی ارائه می‌دهد که در یکی از کارخانه‌های ACERINOX Europa S.A.U. به کار گرفته شده است.

در مطالعه [۹] در شرکت برزیلی Gerdau Aços Longos S.A. از یادگیری ماشین برای تشخیص شمشی استفاده شد که گرید فولاد آن با گرید مورد انتظار تفاوت داشت و ممکن بود به اشتباه در خط بارگذاری شود. روش پیشنهادی با بهره‌گیری از داده‌های موتورهای قفسه نورد، گرید فولادِ میلگرد در حال نورد را شناسایی می‌کرد. به کمک تشخیص داده‌های پرت، الگوهای ویژه هر گرید استخراج می‌شد و در داده‌های شبیه‌سازی‌شده می‌توانستند عدم انطباق با گرید مورد انتظار را تشخیص دهند. هنگام انتشار پژوهش، مدل به‌صورت آفلاین کار می‌کرد و قرار بود در مراحل بعدی، کارایی آن در محیط تولید واقعی آزموده شود.

پژوهش [۱۰] راهکار Operational AI شرکت Falkonry را به‌عنوان روشی برای پاسخ به چالش گسترش مقیاس هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در تولید معرفی می‌کند. نقطه آغاز این راهکار، طبقه‌بندی منسجم و تکرارپذیر سری‌های زمانی است؛ روشی که در برابر داده‌های ناقص یا با فاصله زمانی نامنظم تاب‌آوری دارد، دانش متخصصان را ثبت می‌کند و زمینه اقدام بلادرنگ در خط تولید را فراهم می‌سازد. در این مقاله، ضمن بررسی موانع اجرای بلادرنگ هوش مصنوعی عملیاتی، نمونه‌ای واقعی از به‌کارگیری آن در مقیاس تولید فولاد برای پیش‌بینی خرابی تجهیزات و کاهش توقف‌های پیش‌بینی‌نشده ارائه شده است.

پژوهش [۱۱] به دشواری‌های استقرار هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در صنایع سنتی اشاره می‌کند و دو دلیل اصلی را مطرح می‌سازد: نخست آنکه با وجود ثبت هفتگی چندین مگابایت داده از هزاران حسگر، این داده‌ها لزوماً مشخصات «کلان‌داده» مورد نیاز را ندارند؛ دوم آنکه مدل‌های صرفاً داده‌محور، بنا بر برآورد مطرح‌شده در آن پژوهش، ممکن است فقط در حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد موارد پاسخ یا پیشنهاد درستی ارائه دهند. چنین احتمالی برای تضمین بهترین شیوه کنترل تولید یا کیفیت کافی نیست و در محیط کسب‌وکار صنعتیِ بنگاه‌به‌بنگاه (B2B) نیز عموماً پذیرفتنی به شمار نمی‌رود.

دو پژوهش پایانی از این جهت برای مقاله حاضر اهمیت ویژه‌ای دارند که هر دو به مدل‌های کسب‌وکاری می‌پردازند که با تکیه بر هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، پذیرش تحلیل داده را در صنایع سنتی، از جمله فولادسازی، آسان‌تر می‌کنند.

۳. هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و ویژگی‌های فرایند کوره بلند

پژوهش [۱۲] تأکید می‌کند که سامانه‌های فرایندی فولادسازی مجموعه‌هایی پیچیده‌اند که مواد اولیه، محصولات، انرژی، فرایندها، سامانه‌های خودکار و نیروی انسانی را در بر می‌گیرند. بهره‌برداری کارآمد از این مجموعه‌ها مستلزم انجام وظایف و فعالیت‌های متعدد است که معمولاً در چهار گروه برنامه‌ریزی، زمان‌بندی، بهینه‌سازی بلادرنگ و کنترل طبقه‌بندی می‌شوند.

به‌طور مشخص، پژوهش [۶] نشان می‌دهد عملکرد کوره بلندهای امروزی از عوامل بسیار زیادی تأثیر می‌پذیرد و بسیاری از این عوامل با یکدیگر برهم‌کنش دارند. فرایند کوره بلند به‌شدت پیچیده است. هرچند پیچیدگی فناوری کوره‌های پیشرفته می‌تواند سقف نظری بهره‌وری و کیفیت را افزایش دهد، همین پیچیدگی زمینه بروز الگوهای نامطلوب و مزمن رفتاری را نیز فراهم می‌کند؛ الگوهایی که اصلاحشان دشوار است و به افت بهره‌وری و کیفیت می‌انجامند. در چنین شرایطی، روش‌های یادگیری ماشین ابزاری سودمند برای شناخت و کشف روابط پنهان فرایند محسوب می‌شوند.

نمونه دیگری از پیچیدگی فرایند کوره بلند در پژوهش [۱۳] دیده می‌شود که یک مدل ریاضی برای این تجهیز ارائه کرده است. در آن پژوهش، مدل سه‌بعدیِ ناپایا برای توصیف رفتار عملیاتی کوره بلند توسعه یافت.

مدل یادگیری ماشین می‌تواند پویایی فرایند را از داده‌ها بیاموزد و با پیش‌بینی رفتار آینده، وقوع شرایط غیرعادی یا حوادثی را که بهینه‌سازی تولید را مختل می‌کنند، زودتر تشخیص دهد. پژوهش [۱۴] نشان داده است که یادگیری ماشین در برابر تغییر شرایط فرایندی سازگاری بیشتری دارد و تصمیم‌گیری پیش‌دستانه را تسهیل می‌کند. این مدل‌ها با یادگیری از داده‌ها، سریع‌تر با تغییر شرایط منطبق می‌شوند و پیش‌بینی‌هایی نسبتاً پایدار و سازگار ارائه می‌دهند؛ درحالی‌که راهکارهای سنتی معمولاً به اصلاح‌های مکرر یا افزودن قواعد تازه نیاز دارند و اغلب پس از وقوع مسئله واکنش نشان می‌دهند.

یادگیری ماشین توانایی ساخت مدل‌های دقیق برای طیف وسیعی از مسائل پیچیده را دارد [۱۵]. این توانایی در کوره بلند، به دلیل درهم‌تنیدگی پدیده‌های شیمیایی و ترمودینامیکی، اهمیت خاصی پیدا می‌کند. الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند مسائل گوناگون را مدل‌سازی کنند و با تنظیم و آموزش مناسب، دقت پیش‌بینی را افزایش دهند.

۴. رویکرد پلتفرم Canvass Analytics

پژوهش [۵] به مدل کسب‌وکار شرکت Canvass Analytics (CA) اشاره می‌کند [۱۶]. Gradient Ventures، صندوق سرمایه‌گذاری خطرپذیر متمرکز بر هوش مصنوعیِ گوگل [۱۷]، در استارتاپ‌های نوپا سرمایه‌گذاری می‌کند و آن‌ها را به منابع تخصصی هوش مصنوعی متصل می‌سازد. در میان شرکت‌های حاضر در سبد این صندوق، Canvass Analytics توجه پژوهشگران را جلب کرده بود. این شرکت نوپا مدل کسب‌وکار خود را بر پلتفرم تحلیل پیش‌بینانه فرایندهای صنعتی، مبتنی بر هوش مصنوعی، بنا کرده است و در زمان تهیه مقاله شرکت‌های بزرگ تولیدی و انرژی در نقاط مختلف جهان از مشتریان آن بودند.

به گزارش [۵]، Canvass Analytics از ارائه‌دهندگان نرم‌افزار هوش مصنوعی صنعتی است. فناوری آن که در زمان تدوین مقاله در فرایند ثبت اختراع قرار داشت، با قرار دادن ابزارهای هوش مصنوعی مستقیماً در دسترس اپراتورهای کارخانه، به شرکت‌های صنعتی کمک می‌کند راهبرد دیجیتالی‌شدن را سریع‌تر پیش ببرند. اپراتورها نیز با استفاده از اطلاعات استخراج‌شده از داده‌ها می‌توانند فرایند تولید را بهبود دهند و بهره‌برداری از دارایی‌ها را بهینه سازند.

ویژگی متمایز این راهکار آن است که مهندسان فرایند بدون نیاز به مهارت برنامه‌نویسی می‌توانند کاربردهای هوش مصنوعی را نسبتاً سریع به کار گیرند. پلتفرم برای کاهش نیاز به کدنویسی، قالب‌هایی ازپیش‌ساخته در اختیار مهندسان قرار می‌دهد و از رویکرد توسعه کم‌کد یا بی‌کد بهره می‌برد [۱۸].

بنابراین، ارزش پیشنهادی مدل کسب‌وکار CA کاهش زمان پذیرش و استقرار هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در محیط‌های صنعتی از طریق استفاده از قالب‌های آماده برای فرایندهای تولید است. مقاله از وجود هفت قالب در پلتفرم یاد می‌کند و این کاربردها را نام می‌برد: **پیش‌بینی** (Forecasting)، **تشخیص ناهنجاری** (Anomaly Detection)، **بهینه‌سازی** (Optimization)، **شبیه‌سازی** (Simulation)، **پیش‌بینی خرابی** (Failure Prediction) و **پیش‌بینی قطعات معیوب** (Defective Part Prediction). انتخاب قالب به ماهیت فرایند و فرصتی که قرار است به آن پرداخته شود، بستگی دارد.

این کاربردهای ازپیش‌پیکربندی‌شده به کاربران امکان می‌دهند مدل را بسازند و نتایج آن را زودتر ارزیابی کنند. فرایند پذیرش ابتدا به‌صورت آفلاین و با داده‌های ذخیره‌شده در پایگاه تاریخچه‌نگار صنعتی (Historian) آغاز می‌شود. اپراتورها با اجرای آزمایش‌های پیاپی و بررسی نتایج، به مدل اعتماد پیدا می‌کنند. در مرحله نهایی، مدل وارد محیط عملیاتی می‌شود و داده‌های بلادرنگ را دریافت می‌کند.

CA راهکار خود را به شکل نرم‌افزار به‌عنوان خدمت (SaaS) عرضه می‌کند. پلتفرم بر بستر ابر میزبانی می‌شود و

داده‌های سری زمانی را از سامانه‌های اجرای تولید (MES) یا راهکارهای اینترنت اشیای صنعتی (IIoT) دریافت می‌کند. سامانه هوش مصنوعی/یادگیری ماشین با تجهیزات و نرم‌افزارهای خط تولید یکپارچه می‌شود و با پردازش داده‌های لحظه‌ای، پیش‌بینی‌های مورد نیاز اپراتور را ارائه می‌دهد. از آنجا که امنیت سایبری یکی از دغدغه‌های جدی محیط‌های صنعتی است [۱۹]، این پلتفرم در زیرساخت ابری Microsoft Azure میزبانی شده است. این بستر علاوه بر امکانات امنیتی، توان محاسباتی لازم برای اجرای مدل‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین را نیز فراهم می‌کند.

بر اساس [۴]، این استارتاپ راهکاری ارائه می‌دهد که کل فرایند علم داده را خودکار می‌کند و نیاز به اجرای پروژه‌های مشاوره‌ای متعارف علم داده را کاهش می‌دهد. در مقاله ادعا شده است که مدل کسب‌وکار CA، زمان دستیابی به بینش‌های عملیاتی را نسبت به روش‌ها و راهکارهای دیگر تا **۱۲ برابر** کاهش می‌دهد. این محصول به‌طور خاص برای نیازهای بخش صنعت توسعه داده شده است.

پلتفرم CA در بخش‌های مختلف زنجیره تولید، از آماده‌سازی مواد اولیه و فولادسازی و ریخته‌گری تا نورد گرم، برای بهبود کیفیت، کاهش مصرف انرژی و کاهش اتلاف مواد استفاده شده است. گزارش مقاله، پیامد این کاربردها را پایداری بیشتر فرایندهای پایین‌دستی نورد، افزایش ظرفیت تولید قابل‌تحقق، کوتاه‌ترشدن چرخه فروش و کاهش فرسایش مواد نسوز بیان می‌کند. علاوه بر این، از Canvass AI برای کنترل دیگ‌های بخار تولید هم‌زمان برق و حرارت، بهینه‌کردن نوع و مقدار سوخت مصرفی، تنظیم عرضه انرژی با تقاضای کارخانه و کاهش اتلاف انرژی و هزینه سوخت استفاده شده است [۲۰].

۵. مطالعه موردی استقرار در صنعت فولاد

مطالعه موردی به کوره بلند یک شرکت فولادسازی در آمریکای شمالی مربوط است؛ شرکتی که می‌خواست با بهبود عملکرد کوره، هم کیفیت و هم مقدار تولید را افزایش دهد. همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، فرایند کوره بلند پیچیده و پویاست و صدها نوع داده با تغییرپذیری زیاد تولید می‌کند. این پیچیدگی، حفظ یکنواختی کیفیت، کاهش مصرف انرژی و کنترل یا کاهش میزان سیلیسیم را برای مدیران و اپراتورها دشوار می‌سازد.

باید توجه داشت که نوسان کیفیت در فرایند ریخته‌گری می‌تواند به افزایش قراضه، دوباره‌کاری و تأخیر تولید منجر شود. در روش کنترل کیفیت سنتی، نمونه‌ها برای آزمایش به آزمایشگاه فرستاده می‌شدند. مشکل این روش آن بود که ناهماهنگی کیفیت تنها پس از وقوع آشکار می‌شد و اقدام اصلاحی ماهیتی واکنشی داشت.

از سوی دیگر، خط تولید در سه شیفت هشت‌ساعته فعالیت می‌کرد و هر شیفت اپراتورهای متفاوتی با تجربه و معیارهای تصمیم‌گیری خاص خود داشت؛ در نتیجه شیوه کنترل فرایند با تغییر افراد متفاوت می‌شد. افزون بر

این، فرایند ذوب مجموعه بزرگی از متغیرهای شیمیایی و ترمودینامیکی را در بر می‌گرفت که پایش و کنترل هم‌زمان آن‌ها بسیار دشوار بود.

این شرکت داده‌های بلادرنگ فرایندهای تولید را با استفاده از سامانه OSI PI شرکت [۲۱ OSIsoft] گردآوری می‌کرد. داده‌ها در پایگاه‌های نوع تاریخچه‌نگار (Historian) ذخیره می‌شدند و مبنای اجرای راهکار یادگیری ماشین قرار گرفتند.

۵.۱. راهکار انتخابی و نتایج

شرکت فولادسازی برای بهبود فرایند، راهکار پیشنهادی Canvass AI را با هدف‌های زیر انتخاب کرد:

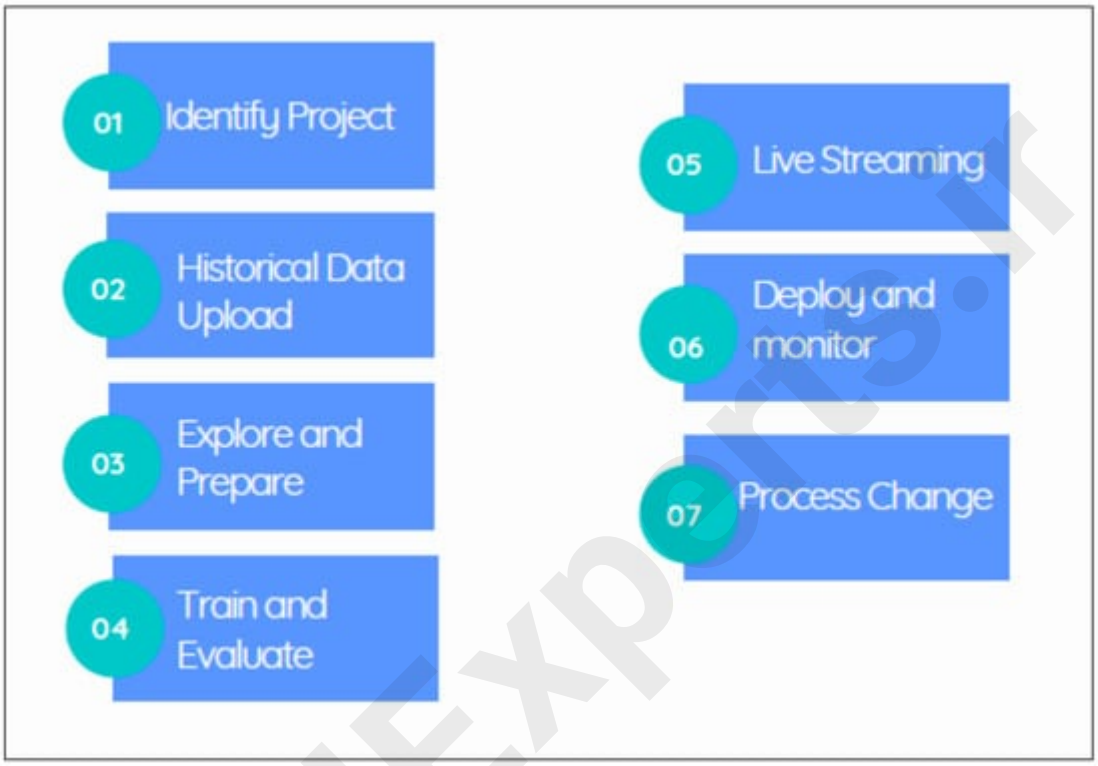
1. شناسایی پارامترهایی که بر بیشینه‌کردن عملکرد تولید اثر می‌گذارند، با استفاده از داده‌های فرایندی ثبت‌شده در پلتفرم OSI PI.
2. پیش‌بینی کیفیت و عملکرد محصول در بازه‌های زمانی مختلف و استفاده از این پیش‌بینی‌ها برای اصلاح بلادرنگ پارامترهای کنترلی و در نتیجه بهبود کیفیت و عملکرد تولید.
3. در پیش گرفتن رویکردی پیش‌دستانه برای رسیدگی به مسائل و ناهنجاری‌های فرایند، بر پایه اطلاعاتی که پیش از وقوع رویدادهای نامطلوب در بخش ریخته‌گری به دست می‌آید.
4. نهادینه‌کردن بهترین تجربه‌های اپراتورها و ارائه اطلاعات مورد نیاز به مسئولان فرایند، به‌گونه‌ای که تصمیم‌گیری آسان‌تر و منسجم‌تر شود.

پس از تعیین هدف‌های پروژه، برای پیش‌بینی رفتار فرایند از قالب آماده «پیش‌بینی» (Forecasting) در پلتفرم CA استفاده شد. این قالب بر مبنای داده‌های موجود، مقادیر آینده را برآورد می‌کرد تا اثر متغیرهای فعلی فرایند روشن شود. انتخاب همین پیکربندی آماده، نمونه‌ای عملی از رویکرد بی‌کد/کم‌کد در مدل کسب‌وکار Canvass Analytics بود.

در ادامه، داده‌های تاریخی از نظر حجم و کیفیت بررسی شدند تا برای آموزش مدل مناسب باشند. سپس مرحله اکتشاف، آماده‌سازی و شناخت داده‌ها انجام گرفت و داده‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی آماده شدند. آخرین گام در کار با داده‌های تاریخی، آموزش مدل و اعتبارسنجی نتایج بود.

در مرحله بعد، پایگاه تاریخچه‌نگار داخلی OSI PI از طریق رابط برنامه‌نویسی کاربردی (API) به سامانه متصل شد. داده‌های تولید به‌صورت جریانی و بلادرنگ وارد پلتفرم Canvass AI می‌شدند که در ابر Azure میزبانی شده بود. پس از استقرار عملیاتی مدل، پیش‌بینی‌های لحظه‌ای در دسترس قرار گرفتند؛ خروجی‌ها پایش و

تنظیم‌های لازم انجام شد. در نهایت، مدل پیش‌بینی‌هایی ارائه می‌کرد که به اپراتورها برای انتخاب تغییرات مناسب در فرایند و بهبود عملکرد کمک می‌کرد. شکل ۱ فرایند هفت‌مرحله‌ای اجرای این راهکار در کارخانه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. فرایند هفت‌مرحله‌ای که کارخانه فولادسازی برای دستیابی به نتایج با پلتفرم CA طی کرد. منبع: Redchuk و Walas Mateo، مجله Applied System Innovation، ۲۰۲۲، شکل ۱، تحت مجوز CC BY 4.0.

طبق گزارش مقاله، فرایند پذیرش و راه‌اندازی راهکار، از آغاز پروژه تا برخط‌شدن مدل، دریافت داده‌های لحظه‌ای و ارائه پیش‌بینی‌های پیشنهادی به اپراتورهای کوره، **دو ماه** طول کشید. در این مدت، کارکنان فرایند آموزش دیدند که چگونه از سامانه استفاده کنند و خروجی آن را تفسیر کنند؛ هم‌زمان، کارشناسان شرکت ارائه‌دهنده مدل را تنظیم کردند. اعتبارسنجی نیز با همکاری مهندسان نرم‌افزار و اپراتورهای کارخانه انجام شد.

پلتفرم CA کمک کرد روابط میان متغیرهای مؤثر بر نتیجه تولید، مانند مقدار سیلیسیم افزوده‌شده و مصرف سوخت، آسان‌تر مشخص شوند. مدل‌های هوش مصنوعی نشان می‌دادند کدام متغیرهای کنترلی بر کیفیت محصول اثر مثبت یا منفی دارند. با به‌کارگیری یادگیری ماشین در قالب پیش‌بینی، نتیجه تولید در بازه‌های زمانی مشخص از پیش برآورد می‌شد.

مدل از **داده‌های تاریخی یک سال** استفاده کرد. متغیرهایی مانند مصرف انرژی، دما و مقدار سیلیسیم برای ساخت مدلی تحلیل شدند که بتواند زمان مناسب اصلاح وضعیت آلیاژ دارای سیلیسیم بالا و زمان افزایش یا

کاهش دمای کوره را پیش‌بینی کند. به این ترتیب، اپراتور به‌جای واکنش پس از وقوع مشکل، اطلاعات لازم را زودتر دریافت می‌کرد و فرصت تصمیم‌گیری پیش‌دستانه داشت.

بر اساس نتایج کیفی گزارش‌شده، استفاده از داده‌های سامانه MES و روش‌های یادگیری ماشین به کارخانه امکان داد فرایندها را بهبود دهد و به یکنواختی بیشتر کیفیت دست پیدا کند؛ به‌گونه‌ای که میزان سیلیسیم در محدوده معمول باقی بماند. همچنین تعیین لحظه‌ای نقاط تنظیم (Setpoint) مصرف سوخت، صرفه‌جویی انرژی را تسهیل کرد. سهم قراضه نیز کاهش یافت و در نتیجه هزینه‌ها پایین آمد و فولاد با کیفیت بهتری تولید شد. نویسندگان این پیامد را نوعی بهینه‌سازی سه‌گانه توصیف می‌کنند: **کاهش هزینه، بهبود خدمت‌رسانی به مشتری و افزایش درآمد.**

به‌کارگیری یادگیری ماشین در کنار دانش تخصصی کارشناسان کوره بلند، شناخت کارکنان از رفتار فرایند را به‌تدریج افزایش داد. این امر زمینه بهبود مستمر، ارتقای شاخص‌های کلیدی عملکرد (KPI) و حرکت به سوی نظام‌های مدیریتی بالغ‌تر را فراهم ساخت.

۶. بحث

مطالعه حاضر پذیرش مدل کسب‌وکاری تازه مبتنی بر هوش مصنوعی و یادگیری ماشین را در یک محیط صنعتی سنتی و در یکی از پیچیده‌ترین فرایندهای تولید فولاد، یعنی کوره بلند، بررسی کرده است. راهکار از سوی یک شرکت نوپا ارائه شد و مزیت آن در مقایسه با رویکردهای متعارف، کوتاه‌کردن زمان و ساده‌سازی ورود تحلیل داده به صنعت بود. مهم‌ترین وجه تمایز این روش، توسعه بی‌کد/کم‌کد است: رویکردی که استفاده از ابزارهای هوش مصنوعی و یادگیری ماشین را برای اپراتورهایی با دانش محدود ریاضی و آمار آسان می‌کند و زمان پذیرش فناوری را به‌طور محسوسی کاهش می‌دهد.

در همین راستا، مدیریت تغییر نیز ساده‌تر و چابک‌تر شد و مدل کسب‌وکار جدید با پیچیدگی کمتر و سرعت بیشتر از راهکارهای تحلیل داده متعارف به نتیجه رسید. دلیل اصلی آن، کاربرمحوربودن پلتفرم CA و قرار گرفتن اپراتور فرایند در مرکز طراحی بود. رویکرد بی‌کد/کم‌کد بخشی از فعالیت‌های زمان‌بر و پرریسک توسعه نرم‌افزار و الگوریتم را حذف یا ساده می‌کرد. در نتیجه، این مدل به فراگیرترشدن دسترسی به هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در صنایع سنتی کمک می‌کند و استفاده از آن را برای گروه وسیع‌تری از کارکنان امکان‌پذیر می‌سازد.

بهبود فرایند در این مطالعه بر تحلیل پیش‌بینانه متکی بود؛ تحلیلی که می‌کوشد از ذخیره عظیم داده‌های عملیاتی و قدیمی استفاده کند و بر بخشی از دشواری‌های تحلیل بلادرنگ غلبه یابد. ظرفیت این رویکرد برای صنایع سنتی، که هنوز از بسیاری از دستاوردهای صنعت ۴٫۰ بهره‌مند نشده‌اند و در موارد زیادی تازه بررسی

ارزش تحلیل داده و یادگیری ماشین را آغاز کرده‌اند، قابل‌توجه است.

با این حال، **نیاز به حجم زیادی از داده‌های عملیاتی** یکی از محدودیت‌های مهم این روش است. بسیاری از صنایع سنتی هنوز در دیجیتالی‌سازی عقب‌ماندگی دارند و همین مسئله توان استفاده از مدل‌های داده‌محور را برای برآورد عمر مفید باقی‌مانده تجهیزات سنگین (RUL)، کاهش ردپای کربن، حذف فعالیت‌های فاقد ارزش افزوده و سایر فرصت‌های بهبود محدود می‌کند.

موضوع دیگر، فرصت‌هایی است که تولید هوشمند برای استارتاپ‌ها و مدل‌های کسب‌وکار نوآورانه آن‌ها پدید می‌آورد. این شرکت‌ها می‌توانند پذیرش هوش مصنوعی و یادگیری ماشین را در صنعت آسان کنند. مطالعه موردی نشان داد مدل کسب‌وکار متکی بر راهبرد بی‌کد/کم‌کد می‌تواند چرخه استقرار را از چندین ماه ــ برای نمونه ۱۸ ماه در تجربه شرکت Jindal Steel & Power Limited ــ به حدود دو ماه در کارخانه مورد بررسی کاهش دهد.

در ادامه این بحث، راهکار Operational AI شرکت Falkonry که در بخش دوم مقاله برای بهبود تعمیرات و نگهداری تجهیزات معرفی شد، نیز نمونه‌ای مرتبط است. نویسندگان بررسی عمیق‌تر این مورد را به‌عنوان یکی از مسیرهای احتمالی پژوهش‌های بعدی در نظر دارند.

پژوهش‌های آینده همچنین می‌توانند به نمونه‌های دیگر مدل‌های کسب‌وکار هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در صنایع سنتی بپردازند؛ به‌ویژه صنایعی که برای حرکت به‌سوی هدف انتشار خالص صفر، به استفاده بهینه از منابع نیاز دارند، مانند بخش انرژی و نفت و گاز.

اطلاعات تکمیلی مقاله

مشارکت نویسندگان

مفهوم‌پردازی، روش‌شناسی، تحلیل رسمی، تحقیق و بازبینی و ویرایش نوشته بر عهده F.W.M. بوده است. تأمین منابع، تصویرسازی، نظارت، مدیریت پروژه و جذب منابع مالی را A.R. انجام داده است. هر دو نویسنده نسخه منتشرشده مقاله را خوانده و تأیید کرده‌اند.

تأمین مالی

اطلاعات مربوط به تأمین مالی در بخش سپاسگزاری مقاله آمده است.

بیانیه هیئت بازبینی اخلاقی

موضوعیت ندارد.

بیانیه رضایت آگاهانه

موضوعیت ندارد.

دسترس‌پذیری داده‌ها

موضوعیت ندارد.

سپاسگزاری

نویسندگان از دو طرح پژوهشی که محتوای مقاله با حمایت آن‌ها شکل گرفت سپاسگزاری کرده‌اند: طرح «روش‌های پرداختن به الگوی صنعت ۴٫۰ در بنگاه‌های کوچک و متوسط؛ نقش شرکت‌های فناوربنیان، منابع انسانی و زیست‌بوم نوآوری» که در برنامه UNAJ INVESTIGA با مصوبه شماره 183-21 تأیید شده است، و طرح «بهبود فرایند، بهینه‌سازی و تحلیل داده: کاربرد در فرایندها و صنایع دارای اهمیت منطقه‌ای با استفاده از مطالعات موردی واقعی» که با مصوبه دانشکده مهندسی UNLZ تصویب شده است. نام رسمی اسپانیایی طرح‌ها در نسخه اصلی مقاله درج شده است.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام کرده‌اند تعارض منافعی ندارند.

منابع علمی

مشخصات کتاب‌شناختی منابع به زبان اصلی حفظ شده‌اند تا امکان بازیابی دقیق آن‌ها وجود داشته باشد. شماره‌های داخل متن به فهرست زیر ارجاع دارند.

1. Osterwalder, A.; Pigneur, Y.; Tucci, C.L. Clarifying Business Models: Origins, Present, and Future of the Concept. *Communications of the Association for Information Systems*, 2005, 16, 1–40.

2. Pfau, W.; Rimpp, P. AI-Enhanced Business Models. In *Digital Entrepreneurship*, Future of Business and Finance; Springer International Publishing, 2021.

3. Da Silva, V.L.; Kovaleski, J.L.; Negri Pagani, R.; De Matos Silva, J.; Corsi, A. Implementation of Industry 4.0 concept in companies: Empirical evidences. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2019, 33, 325–342.

4. Lepenioti, K.; Pertselakis, M.; Bousdekis, A.; Fenareti Lampathaki, A.L.; Apostolou, D.; Mentzas, G.; Anastasiou, S. Machine Learning for Predictive and Prescriptive Analytics of Operational Data in Smart Manufacturing. In *Advanced Information Systems Engineering Workshops*, CAiSE 2020; Springer, Cham, 2020, Vol. 382.

5. Walas Mateo, F.; Redchuk, A. The Emergence of New Business and Operating Models under the Industrial Digital Paradigm. Industrial Internet of Things, Platforms, and Artificial Intelligence/Machine Learning. *Journal of Mechanical Engineering and Automation*, 2021, 11, 54–60.

6. Mishra, R.; Gandhi, A.; Jaiswal, R.; Mishra, S.; Fadnis, A. Machine Learning to Improve Blast Furnace Productivity at Jindal Steel & Power. In *AISTech 2020, Iron & Steel Technology Conference*, Cleveland, OH, USA, 31 August–3 September 2020.

7. Spadaccini, A.; Di Pierro, M.; Nadalutti, P.; Cestari, L.; Pellegrini, G. Data-driven prediction models at Acciaierie Bertoli Safau meltshop. In *ICS 2018, 7th International Congress on Science and Technology of Steelmaking*, Venice, Italy, 13–15 June 2018.

8. Ruiz-Sarmiento, J.R.; Monroy, J.; Moreno, F.A.; Galindo, C.; Bonelo, J.M.; Gonzalez-Jimenez, J. A predictive model for the maintenance of industrial machinery in the context of Industry 4.0. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2020, 87, 103289.

9. Gazola, P.E.; dos Santos, H.S.O.; Daroit, M.; Locatelli, A. A Machine Learning Approach for Steel Grade Detection in Hot Rolling Mills. In *AISTech 2021, Iron & Steel Technology Conference*, Nashville, TN, USA. (تاریخ رویداد در ارجاع اصلی: 29

.(June–1 July 2020

10. Waters, C.; Klemme, B.; Talla, R.; Jain, P.; Mehta, N. Transforming Metal Production by Maximizing Revenue Generation With Operational AI. In *AISTech 2021, Iron & Steel Technology Conference*, Nashville, TN, USA, 29 June–1 July 2021.

11. Strasser, S.; Hohenbichler, G.; Sattler, M.; Krahwinkler, P.; Reidetschlaeger, J. Artificial Intelligence Services in Steel Production—On Premises and in the Cloud. In *AISTech 2020, Iron & Steel Technology Conference*, Nashville, TN, USA, 29 June–1 July 2020.

12. Daoutidis, P.; Lee, J.H.; Harjunkoski, I.; Skogestad, S.; Baldea, M.; Georgakis, C. Integrating operations and control: A perspective and roadmap for future research. *Computers & Chemical Engineering*, 2018, 115, 179–184.

13. Nishioka, K.; Ujisawa, Y.; Akatani, K. Development of Mathematical Models for Blast Furnaces. *Nippon Steel & Sumitomo Metal Technical Report*, 2018, 120, 69–75.

14. Azeem, M.; Haleem, A.; Javaid, M. Symbiotic Relationship between Machine Learning and Industry 4.0: A Review. *Journal of Industrial Integration and Management*, 2021, 6, 2130002.

15. Jamwal, A.; Agrawal, R.; Sharma, M.; Kumar, A.; Kumar, V.; Garza-Reyes, J.A. Machine learning applications for sustainable manufacturing: A bibliometric-based review for future research. *Journal of Enterprise Information Management*, 2021, ahead-of-print.

16. .(Canvass Analytics Website. 2021. www.canvass.ai (accessed 26 July 2021

17. .(Gradient Ventures Website. 2021. www.gradient.com (accessed 26 July 2021

18. Cabot, J. Positioning of the low-code movement within the field of model-driven engineering. In *MODELS'20: ACM/IEEE 23rd International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems*, Virtual Event, 18–23 October 2020.

19. .Davenport, T.H. Is AI Getting Easier? *Forbes Media LLC*, New York, 2020

20. .(*Steel Market Magazine*, May 2020 edition. Source (accessed 26 July 2021

.(OSIsoft Website. 2021. www.osisoft.com (accessed 26 July 2021 .21

مشخصات منبع و حقوق انتشار

عنوان اصلی: New Business Models on Artificial Intelligence—The Case of the Optimization of a Blast Furnace in the Steel Industry by a Machine Learning Solution

نویسندگان: Andrés Redchuk; Federico Walas Mateo

نشریه: Applied System Innovation، جلد ۵، شماره ۱، مقاله شماره ۶ (۲۰۲۲). تاریخ انتشار آنلاین: ۲۹ دسامبر ۲۰۲۱.

متن اصلی: وب‌سایت ناشر (MDPI) | **DOI:** 10.3390/asi5010006

مجوز اثر و شکل ۱: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). این نسخه ترجمه فارسی مقاله اصلی است و تغییر زبان و قالب‌بندی برای نمایش در مرکز دانش «شبکه خبرگان صنعت فولاد ایران» نسبت به اثر اصلی انجام شده است. نام نویسندگان، منبع و لینک مجوز اصلی حفظ شده‌اند. حقوق مادی و معنوی اثر اصلی متعلق به صاحبان آن است.

نسخه آنلاین مقاله: https://landing.steelexperts.ir/2026/10/26/sx-r006-ai-blast-furnace-optimization/