یادداشت



تقویت مدیریت زیر فشار: تفویض اختیار، نظارت و ثبات در بحران

عزیزالله عصاری
کارشناس بخش معدن

بنگاه‌های صنعتی ایران با بحرانی بیرونی و جنگ‌گونه مواجه‌اند که به پاسخ‌های واقع‌گرایانه مدیریتی و حاکمیت شرکتی شفاف‌تر نیاز دارد. اولویت‌های فوری شامل توانمندسازی مدیران راه‌حل‌محور و برخوردار از توان فنی، سرمایه‌گذاری در داده و فناوری، و حمایت از کارکنان و تداوم فعالیت‌های عملیاتی است. هم‌زمان، اصلاح سازوکارهای نظارت و ارزیابی نیز اهمیت دارد: باید میان خطاهای صادقانه و تخلف عمدی تفاوت گذاشت، از فشارهای حقوقی غیرضروری کاست و با ایجاد پشتیبانی نهادی و نظام‌های شایسته‌محور برای انتصاب مدیران، زمینه را برای هدایت ثبات‌آفرین دوره احیای میان‌مدت فراهم کرد. یک بحران گسترده و تحمیلی، کار مدیریت را از رشد و بهینه‌سازی به سمت بقا و حل‌وفصل سریع مسائل سوق داده است. در چنین شرایطی، بنگاه‌هایی که بر راه‌حل‌های عملی تمرکز می‌کنند، ارتباطات داخلی و ظرفیت فنی خود را تقویت می‌سازند و پذیرش فناوری و استفاده از داده را شتاب می‌دهند، شانس بیشتری برای تداوم فعالیت خواهند داشت. در همین حال، چارچوب‌های نظارتی و حقوقی باید بازتنظیم شوند تا از مختل شدن تصمیم‌های ضروری جلوگیری شود، ارزیابی عملکرد شرکت دولتی و سایر بنگاه‌ها منصفانه باشد و مدیران از پشتیبانی نهادی لازم برای احیای باثبات و بلندمدت برخوردار شوند.

■ تفویض اختیار و مهارت‌های مدیریتی برای بقا

بنگاه‌ها در شرایطی فعالیت می‌کنند که به وضعیت جنگی شباهت دارد؛ شرایطی که مدیریت را ناگزیر می‌کند بقا را بر توسعه یا پروژه‌های بلندمدت مقدم بداند. در چنین محیط بحرانی، مدیران باید بی‌وقفه راه‌حل‌محور باشند و بر نتایج عملی و قابل اجرا تمرکز کنند؛ نتایجی که تداوم فعالیت‌ها را ممکن می‌سازد. حل‌وفصل عملی مسائل در این وضعیت، به‌شدت به تجربه عملیاتی حاصل از آزمون‌وخطا وابسته است. ازاین‌رو، حفظ مدیران باتجربه‌ای که می‌توانند در شرایط عدم‌قطعیت، سریع‌تر و دقیق‌تر تصمیم بگیرند، اهمیتی راهبردی دارد. در کنار تجربه، سواد داده و تسلط بر داده‌های داخلی و بیرونی نیز ضروری است. بنگاه‌هایی که در جمع‌آوری و تحلیل داده سرمایه‌گذاری می‌کنند، راه‌حل‌های عملی را سریع‌تر پیدا کرده و منابع کمیاب را بهینه‌تر تخصیص می‌دهند. پذیرش فناوری نیز نقشی مستقیم در تاب‌آوری دارد. به‌کارگیری سامانه‌های نوین، از جمله هوش مصنوعی و ابزارهای هوشمند، کیفیت را بهبود می‌دهد، قیمت تمام‌شده را کاهش می‌دهد و توان رقابتی را افزایش می‌دهد؛ عواملی که به بنگاه‌ها کمک می‌کنند در برابر شوک‌ها دوام بیاورند.

بنگاه‌های کوچک‌تری که ظرفیت یا حمایت بیرونی کافی نداشتند، ناچار به تعطیلی شده‌اند؛ روندی که به تسریع تجمیع بازار و کاهش تاب‌آوری در زنجیره‌های ارزش انجامیده است. برای مقابله با این وضعیت، مدیران باید متخصصان فنی و مدیران حرفه‌ای را بر مبنای اصول شایسته‌محور جذب کنند تا حل مسائل بر صلاحیت فنی استوار باشد، نه بر روابط. اعطای استقلال عملیاتی روشن به مدیران در چارچوب اساسنامه شرکت، در حالی که پاسخ‌گویی اصلی آنان به مجمع عمومی شرکت باشد، می‌تواند چابکی را افزایش دهد. خطوط روشن اختیار در داخل سازمان به مدیران اجازه می‌دهد زمانی که سرعت اهمیت دارد، قاطعانه عمل کنند؛ در عین حال، پاسخ‌گویی ساختاریافته نیز نظارت را حفظ می‌کند. هم‌زمان با این تغییرات، آموزش حین کار و توسعه مستمر کارکنان باید در اولویت بماند تا توانمندی‌های داخلی تقویت و وابستگی به نیروهای بیرونی در دوره‌های پرتنش کاهش یابد. تمرکز بر کارایی، از جمله صرفه‌جویی انرژی، افزایش بهره‌وری، نوسازی، کاهش انتشار کربن و پیوند با فناوری‌های جهانی، هزینه‌های تولید را پایین می‌آورد و رقابت‌پذیری بلندمدت را بهبود می‌بخشد. توجه به رفاه کارکنان، از جمله رسیدگی به بازنشستگان و همکاری با صندوق‌های بازنشستگی، به تقویت روحیه و وفاداری کمک می‌کند؛ عواملی که برای حفظ فعالیت‌ها در دوره‌های طولانی فشار، حیاتی هستند.

■ از نظارت تا پشتیبانی نهادی و ثبات

فشارهای نظارتی و حقوقی موجود، زمان و توجه مدیران را از فعالیت‌های عملیاتی منحرف کرده است. صرف زمان قابل توجه برای دفاع از تصمیم‌ها در دادگاه‌ها و بازرسی‌ها، ظرفیت مدیران برای حل فوری مسائل را کاهش می‌دهد؛ در حالی که فرهنگ نظارت تنبیهی بسیاری از مدیران را به تردید یا عقب‌نشینی از اقدامات ضروری وادار می‌کند. این فلج تصمیم‌گیری زمانی تشدید می‌شود که ناقص بودن داده‌ها و ترس از پیامدهای بیرونی، جسارت مدیریتی را تضعیف کند.

برای بازگرداندن چابکی سازمانی، نظام‌های نظارتی باید میان خطاهای صادقانه مدیریتی و تخلف عمدی تفاوت بیشتری قائل شوند و در چارچوب اساسنامه، امکان اغماض معقول را فراهم کنند. رویکردی متوازن‌تر در نظارت، مدیران را به پذیرش ریسک‌های ضروری وادار به اقدام سریع برای اصلاح مشکلات می‌کند، بی‌آنکه زمینه سوءاستفاده فراهم شود. بهبود ارتباطات مشورتی پیش از تصمیم‌گیری بخصوص برای معاملات با بار مالی کلان با نهادهای نظارتی بیرونی نیز اهمیت زیادی دارد. مدیران باید مهارت همراه کردن ناظران با خود، پیش از اجرای تصمیم‌ها، را داشته باشند تا از بازگشت تصمیم‌ها پس از اجرا و گرفتار شدن در پیچیدگی‌های حقوقی جلوگیری شود. کاهش بار اداری و حقوقی، زمان مدیریت را برای احیای فعالیت‌های عملیاتی آزاد می‌کند و امکان اجرای سریع‌تر راه‌حل‌ها را فراهم می‌سازد. نادیده گرفتن صلاحیت مدیریتی در سال‌های گذشته، یعنی دوره‌ای که سودهای اسمی و بسیار بالا انگیزه برای حاکمیت شرکتی قوی را کاهش داده بود، اکنون ضعف‌های نظام‌مند را آشکار کرده است. این وضعیت بر ضرورت بازنگری جامع در ساختارهای مدیریتی در دولت، بخش خصوصی و بنگاه‌های خصولتی برای افزایش کارایی و تاب‌آوری تاکید دارد. چنین اصلاحی به اقدام هماهنگ سیاستی و زمان‌بندی دقیق نیاز دارد؛ زیرا شرایط فعلی، طرح مباحث اصلاحی را برای مدیران و سازمان‌ها کم‌انگیزه کرده است. در طی اصلاحات و پس از آن، پشتیبانی نهادی و ثبات مدیریتی باید حفظ شود. مدیریت باثبات با پشتیبانی قابل پیش‌بینی، تداوم فعالیت، یادگیری سریع‌تر سازمانی و حل مؤثرتر مسائل در بلندمدت را امکان‌پذیر می‌کند. در نهایت، معیارهای انتخاب و ارزیابی پس از عبور از بحران باید فراتر از اولویت‌های دوره اضطراری تعریف شوند تا هر زمان فرصت اصلاح فراهم شد، بتوان نظام‌هایی پایدارتر و شایسته‌محور را اجرا کرد.

در گفت‌وگوی صمت با کارشناسان معدن مطرح شد

آینده هوشمند کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی

گروه معدن
editor@smtnews.ir



در سال‌های اخیر، هوش مصنوعی به یکی از موضوعات مهم در صنایع مختلف تبدیل شده است. از صنایع تولیدی و انرژی گرفته تا حمل‌ونقل و معدن، استفاده از فناوری‌های جدید برای تحلیل اطلاعات، پیش‌بینی شرایط عملیاتی و بهبود تصمیم‌گیری مورد توجه قرار گرفته است. در این میان، صنعت فرآوری مواد معدنی نیز به‌تدریج در حال تجربه این تحول است و زمینه‌های استفاده از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در کارخانه‌های فرآوری گسترش یافته است. امین رزم‌آرا، کارشناس معدن در این گفت و گو از فرصت‌ها و چالش‌های هوشمندسازی فرآوری مواد معدنی می‌گوید.

◉ اما پرسش اصلی این است که هوش مصنوعی دقیقاً چه کمکی به صنعت فرآوری می‌کند؟ آیا صرفاً با جمع‌آوری اطلاعات بیشتر و استفاده از الگوریتم‌های پیچیده می‌توان به یک کارخانه هوشمند دست یافت؟ یا اینکه برای استفاده مؤثر از این فناوری، باید نگاه متفاوتی به فرایندهای صنعتی و نحوه مدیریت اطلاعات در کارخانه‌ها داشته باشیم؟

واقعیت این است که کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی از مجموعه‌ای از عملیات به‌هم‌پیوسته تشکیل شده‌اند. خردایش، آسیاکنی، طبقه‌بندی، فلوتاسیون، جدایش و آبگیری، هرکدام تحت تأثیر متغیرهای متعددی قرار دارند. ویژگی‌های کانی‌شناسی و فیزیکی سنگ معدن، توزیع اندازه ذرات، سختی، شرایط تجهیزات، میزان آب مصرفی و پارامترهای عملیاتی، همگی بر عملکرد نهایی کارخانه تأثیرگذار هستند. علاوه بر این، تغییرات خوراک و ارتباط متقابل میان واحدهای مختلف باعث می‌شود رفتار یک کارخانه همیشه ساده و قابل پیش‌بینی نباشد.

مهندسان فرآوری سال‌هاست که با استفاده از مدل‌های ریاضی، روابط تجربی، اصول فیزیکی و تجربه عملیاتی، رفتار این فرایندها را بررسی و کنترل می‌کنند. این روش‌ها همچنان پایه اصلی مهندسی فرآوری هستند؛ اما در شرایطی که تعداد متغیرها زیاد است و روابط پیچیده‌ای میان آنها وجود دارد، ممکن است نتوانند تمام رفتار واقعی یک کارخانه را به‌خوبی توصیف کنند. در چنین شرایطی، یادگیری ماشین می‌تواند ابزار مکمل و مؤثری برای تحلیل اطلاعات و شناخت بهتر رفتار فرایند باشد. در همین راستا، روزنامه صمت با امین رزم‌آرا، کارشناس ارشد معدن و فعال در حوزه سنگ‌آهن، گفت‌وگویی انجام داده است. این گفت‌وگو با الهام از مؤسسه معدن پایدار دانشگاه کوئینزلند (UQ-SMI)، به بررسی فرصت‌ها، چالش‌ها و ضرورت پیوند دانش مهندسی با فناوری‌های هوشمند در کارخانه‌های فرآوری می‌پردازد.

◉ هوش مصنوعی چگونه می‌تواند در کارخانه‌های فرآوری، از جمع‌آوری داده‌ها فراتر برود و به شناخت واقعی فرایند و بهبود تصمیم‌گیری‌های مهندسی کمک کند؟

یکی از ویژگی‌های کارخانه‌های فرآوری مدرن، تولید حجم زیادی از اطلاعات است. سیستم‌های کنترل فرایند، حسگرهای آنلاین، تجهیزات ابزار دقیق، آزمایشگاه‌ها و سیستم‌های پایش تجهیزات، به‌صورت مستمر داده‌های مختلفی تولید می‌کنند. بااین‌حال، افزایش حجم داده‌ها الزاماً به معنای شناخت بهتر فرایند نیست. مسئله اصلی این است که چگونه می‌توان از این اطلاعات، دانش قابل استفاده استخراج کرد.

برای مثال، ممکن است اطلاعات تولید نشان دهند که ظرفیت یک مدار آسیاکنی در یک بازه زمانی کاهش یافته است، اما صرف مشاهده این کاهش، علت آن را مشخص نمی‌کند. آیا سختی خوراک افزایش یافته است؟ آیا توزیع دانه‌بندی تغییر کرده؟ آیا عملکرد تجهیزات دچار اختلال شده یا شرایط عملیاتی مناسبی انتخاب نشده است؟

تحلیل هم‌زمان اطلاعات مربوط به خوراک، انرژی مصرفی، عملکرد تجهیزات و نتایج آزمایشگاهی می‌تواند به شناخت بهتر علت این تغییرات کمک کند. الگوریتم‌های یادگیری ماشین نیز قادرند با بررسی حجم زیادی از داده‌های تاریخی و عملیاتی، روابط و الگوهایی را شناسایی کنند که تشخیص آنها با روش‌های معمول دشوار است. به این ترتیب، هوش مصنوعی می‌تواند از یک ابزار صرفاً محاسباتی به ابزاری برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری مهندسی تبدیل شود.

◉ هوش مصنوعی چه نقشی در توسعه سنگ‌جوری هوشمند، پردازش تصویر، نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه و کنترل تجهیزات و فرایندهای کارخانه‌های فرآوری دارد؟

یکی از زمینه‌های قابل توجه استفاده از هوش مصنوعی در صنعت معدن، سنگ‌جوری هوشمند است. در این روش، با استفاده از حسگرها، دوربین‌ها و فناوری‌های پردازش تصویر، ویژگی‌های مواد معدنی بررسی و ذرات ارزشمند از مواد باطله تفکیک می‌شوند.

سیستم‌های مبتنی بر یادگیری ماشین می‌توانند اطلاعات مربوط به رنگ، شکل، بافت و سایر ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری ذرات را تحلیل کنند و در شناسایی و طبقه‌بندی مواد نقش داشته باشند. هدف از این فناوری، کاهش ورود مواد باطله به مراحل بعدی فرآوری و استفاده مؤثرتر از ظرفیت تجهیزات است.

کاربرد دیگر، پردازش تصویر برای شناسایی و اندازه‌گیری ویژگی‌های ذرات است. اندازه و شکل ذرات از عوامل مؤثر بر عملکرد آسیاکنی، طبقه‌بندی و فلوتاسیون هستند. استفاده از سیستم‌های تصویری هوشمند می‌تواند امکان پایش پیوسته‌تر وضعیت مواد را فراهم کند و اطلاعات مفیدی برای تنظیم شرایط عملیاتی در اختیار مهندسان قرار دهد.

نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه نیز از دیگر حوزه‌های مهم کاربرد این فناوری است. تجهیزاتی مانند سنگ‌شکن‌ها، آسیاها، پمپ‌ها و نوار نقاله‌ها در شرایط کاری دشواری فعالیت می‌کنند و خرابی ناگهانی آنها می‌تواند موجب توقف تولید و افزایش هزینه‌های عملیاتی شود.

با تحلیل اطلاعاتی مانند ارتعاش، دما، فشار، مصرف انرژی و ساعات کارکرد تجهیزات، می‌توان الگوهای غیرعادی را شناسایی کرد و احتمال بروز برخی خرابی‌ها را پیش از وقوع آنها ارزیابی کرد. چنین رویکردی به جای اتکا به تعمیرات پس از خرابی یا صرفاً برنامه‌های زمانی ثابت، امکان برنامه‌ریزی دقیق‌تر برای تعمیر و نگهداری را فراهم می‌کند.

یکی از مهم‌ترین ظرفیت‌های هوش مصنوعی، کمک به پایش و کنترل بهتر فرایند است. در کارخانه‌های فرآوری، شرایط عملیاتی همواره ثابت نیست. تغییر ویژگی‌های خوراک، نوسانات دانه‌بندی، تغییر سختی سنگ معدن و تفاوت عملکرد تجهیزات می‌توانند باعث تغییر رفتار مدار شوند. برای مثال، شرایطی که در یک مقطع زمانی برای دستیابی به ظرفیت مناسب آسیاکنی مؤثر بوده، ممکن است با تغییر ویژگی‌های خوراک دیگر نتیجه مطلوبی نداشته باشد. همین مسئله در مدارهای فلوتاسیون، طبقه‌بندی و آبگیری نیز مشاهده می‌شود.

مدل‌های یادگیری ماشین می‌توانند با بررسی اطلاعات عملیاتی، تغییرات عملکرد فرایند را پیش‌بینی کنند و در انتخاب شرایط مناسب‌تر به اپراتورها و سیستم‌های کنترل کمک کنند. پیش‌بینی بازیابی، عیار کنسانتره، ظرفیت تولید و مصرف انرژی از جمله کاربردهای قابل بررسی در این زمینه است. موضوع مهم‌تر، امکان شناسایی رژیم‌های مختلف عملیاتی تجهیزات است. در واقع، یک تجهیز ممکن است در شرایط مختلف خوراک و بهره‌برداری، رفتار متفاوتی داشته باشد. بنابراین، استفاده از یک ضریب ثابت یا یک مدل کالیبره‌شده برای تمام شرایط، همیشه قابل اتکا نیست. هوش مصنوعی می‌تواند با تحلیل بلادرنگ اطلاعات، وضعیت فعلی تجهیزات را شناسایی کرده و به انتخاب ضرایب کالیبراسیون و تنظیمات مناسب برای مدل‌های پیش‌بینی کمک کند. این موضوع به‌ویژه در مدل‌سازی یکپارچه کارخانه اهمیت دارد؛ زیرا عملکرد هر واحد می‌تواند بر رفتار سایر بخش‌های مدار تأثیر بگذارد.

◉ داده‌های غیرساختاریافته کارخانه‌های فرآوری، مانند گزارش‌های تولید، سوابق تعمیرات و تجربیات کارکنان، چه ظرفیت‌هایی برای هوشمندسازی و بهبود تصمیم‌گیری دارند که تاکنون کمتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند؟

یکی از موضوعاتی که در بحث هوش مصنوعی صنعتی کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد، ارزش داده‌های غیرساختاریافته (Unstructured Data) است.

معمولاً وقتی از داده‌های کارخانه صحبت می‌کنیم، منظورمان اطلاعات عددی ثبت‌شده در سیستم‌های کنترل، حسگرها و آزمایشگاه‌هاست؛ درحالی‌که بخش مهمی از دانش عملیاتی کارخانه در گزارش‌های تولید، سوابق تعمیرات، گزارش‌های شیفت، مستندات فنی و تجربیات ثبت‌شده کارکنان وجود دارد. این اطلاعات ممکن است طی سال‌ها جمع‌آوری شده باشند، اما به دلیل اینکه در قالب فایل‌های متنی و گزارش‌های پراکنده قرار دارند، کمتر در تحلیل‌های متداول مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای مثال، ممکن است اطلاعات عددی نشان دهند که عملکرد یک پمپ در یک دوره مشخص کاهش یافته است، اما گزارش‌های تعمیراتی همان دوره حاوی توضیحاتی درباره مشکلات مکانیکی، تغییر شرایط بهره‌برداری یا تعمیرات انجام‌شده باشند. ارتباط دادن این اطلاعات با داده‌های عددی می‌تواند تصویر کامل‌تری از وضعیت تجهیز ارائه دهد.

فناوری‌های جدید هوش مصنوعی می‌توانند به استخراج اطلاعات از این اسناد و ارتباط دادن آنها با داده‌های ساختاریافته کمک کنند. به این ترتیب، بخشی از دانش تاریخی کارخانه که تاکنون در گزارش‌ها و مستندات باقی مانده است، می‌تواند وارد فرایند تحلیل و تصمیم‌گیری شود. این موضوع برای کارخانه‌هایی که سابقه طولانی فعالیت دارند، اهمیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا ممکن است اطلاعات ارزشمندی درباره مشکلات تکرارشونده، رفتار تجهیزات و تغییرات عملکرد فرایند در سوابق گذشته آنها وجود داشته باشد.

◉ مهم‌ترین چالش‌های استفاده از هوش مصنوعی در فرآوری مواد معدنی چیست؟ کیفیت داده‌ها، اعتبار مدل‌ها و تفسیرپذیری نتایج چگونه بر عملکرد این فناوری تأثیر می‌گذارند؟

با وجود تمام این ظرفیت‌ها، استفاده از هوش مصنوعی در فرآوری مواد معدنی بدون چالش نیست. یکی از مهم‌ترین مسائل، کیفیت داده‌هاست. داده‌های صنعتی ممکن است دارای خطای اندازه‌گیری، مقادیر گمشده، نوسانات غیرواقعی و ناسازگاری میان اطلاعات آنلاین و نتایج آزمایشگاهی باشند. همچنین اطلاعات ثبت‌شده از منابع مختلف ممکن است از نظر زمان نمونه‌برداری، واحد اندازه‌گیری و دقت با یکدیگر تفاوت داشته باشند. در چنین شرایطی، توسعه یک مدل دقیق صرفاً با استفاده از حجم زیادی از داده‌ها امکان‌پذیر نیست. پیش از هر اقدامی باید اطلاعات موجود بررسی، پاک‌سازی، هم‌زمان‌سازی و آماده‌سازی شوند.

موضوع دیگر، اعتبار مدل در شرایط عملیاتی جدید است. یک الگوریتم ممکن است بر اساس اطلاعات گذشته عملکرد بسیار خوبی داشته باشد، اما زمانی که ویژگی‌های خوراک یا شرایط بهره‌برداری تغییر می‌کند، پیش‌بینی‌های آن با خطا همراه شود. بنابراین، مدل باید به‌صورت مستمر ارزیابی و عملکرد آن در شرایط واقعی کارخانه بررسی شود. مسائلی مانند بیش‌برازش (Overfitting)، نشت داده (Data Leakage)، شناسایی همبستگی‌های غیرواقعی و دشواری تفسیر نتایج نیز از جمله محدودیت‌هایی هستند که در توسعه مدل‌های یادگیری ماشین باید مورد توجه قرار گیرند. از طرف دیگر، در محیط صنعتی صرفاً دانستن نتیجه یک پیش‌بینی کافی نیست، بلکه مهندس فرآوری باید بتواند تا حد امکان درک کند که چرا مدل به چنین نتیجه‌ای رسیده و کدام متغیرها در آن مؤثر بوده‌اند. به‌ویژه در تصمیم‌هایی که می‌توانند بر تولید، ایمنی و هزینه‌های کارخانه تأثیر بگذارند، قابلیت اعتماد و تفسیرپذیری مدل اهمیت زیادی دارد.

شاید مهم‌ترین نکته در استفاده از هوش مصنوعی در صنایع معدنی، توجه به جایگاه دانش تخصصی فرایند باشد. گاهی این تصور وجود دارد که با جمع‌آوری داده‌ها و در اختیار قرار دادن آنها به متخصصان علم داده، می‌توان یک مدل هوشمند توسعه داد و مشکلات کارخانه را حل کرد؛ اما در عمل، موضوع به این سادگی نیست.

شناخت رفتار سنگ معدن، کانی‌شناسی، سازوکار خردایش و آسیاکنی، اصول جدایش، محدودیت‌های تجهیزات و شرایط واقعی بهره‌برداری، همگی برای تحلیل درست اطلاعات ضروری هستند. یک الگوریتم ممکن است رابطه‌ای آماری میان دو متغیر را شناسایی کند، اما تشخیص اینکه این رابطه از نظر فیزیکی و مهندسی منطقی است یا خیر، به دانش تخصصی فرایند نیاز دارد.

به همین دلیل، به نظر می‌رسد مؤثرترین مسیر، ترکیب مدل‌های فیزیکی و روش‌های مهندسی با الگوریتم‌های داده‌محور باشد. مدل‌های سنتی، درک رفتار فیزیکی سیستم را فراهم می‌کنند و یادگیری ماشین می‌تواند با استفاده از اطلاعات عملیاتی، روابط پیچیده‌تر را شناسایی کرده و دقت پیش‌بینی را بهبود دهد. این مسیر به همکاری نزدیک مهندسان فرآوری، متخصصان علم داده، کارشناسان تجهیزات و اپراتورهای کارخانه نیاز دارد و هیچ‌یک از این گروه‌ها به‌تنهایی نمی‌توانند تمام ابعاد یک مسئله صنعتی را پوشش دهند.

◉ برای حرکت به سمت کارخانه‌های هوشمند فرآوری، از کجا باید آغاز کرد؟ آیا این تحول الزاماً به پروژه‌های بزرگ و پرهزینه نیاز دارد و موفقیت آن چگونه باید ارزیابی شود؟

برای حرکت به سمت فرآوری هوشمند، لزوماً نباید از پروژه‌های بزرگ و پرهزینه آغاز کرد. اتفاقاً منطقی‌تر است که ابتدا چند مسئله مشخص و قابل اندازه‌گیری در کارخانه انتخاب شوند.

برای مثال، پیش‌بینی تغییرات مصرف انرژی در مدار آسیاکنی، شناسایی نوسانات عملکرد هیدروسیکلون‌ها، پیش‌بینی خرابی پمپ‌های حساس، پایش وضعیت سلول‌های فلوتاسیون یا بررسی عوامل مؤثر بر کاهش بازیابی، می‌توانند موضوعات مناسبی برای شروع باشند.

در هر یک از این پروژه‌ها باید مشخص باشد که هدف چیست، چه اطلاعاتی در دسترس است، مدل قرار است چه چیزی را پیش‌بینی کند و نتیجه آن چگونه در تصمیم‌های عملیاتی استفاده خواهد شد.

همچنین ارزیابی موفقیت پروژه نباید صرفاً بر اساس دقت الگوریتم انجام شود، بلکه معیار اصلی باید تأثیر واقعی آن بر شاخص‌های صنعتی مانند ظرفیت تولید، بازیابی، عیار محصول، مصرف ویژه انرژی، دسترس‌پذیری تجهیزات و هزینه تمام‌شده تولید باشد.

در نهایت، هوش مصنوعی زمانی برای صنعت معدن ارزشمند خواهد بود که بتواند فاصله میان اطلاعات تولیدشده در کارخانه و تصمیم‌هایی را که هر روز برای بهره‌برداری بهتر گرفته می‌شوند، کاهش دهد.

◉ با توجه به اینکه هوش مصنوعی قرار نیست جایگزین مهندس فرآوری شود، مسیر حرکت کارخانه‌ها به سمت هوشمندسازی چگونه باید تعریف شود و این تحول چه زمانی می‌تواند به بهبود واقعی عملکرد تولید منجر شود؟

حرکت به سمت کارخانه‌های هوشمند فرآوری، صرفاً به معنای نصب نرم‌افزارهای جدید یا استفاده از الگوریتم‌های پیچیده نیست. این تحول به شناخت بهتر فرایند، ثبت و مدیریت صحیح اطلاعات، توسعه زیرساخت‌های داده‌ای و مهم‌تر از همه، پیوند دادن دانش مهندسی با فناوری‌های جدید نیاز دارد.

به نظر می‌رسد آینده فرآوری مواد معدنی متعلق به کارخانه‌هایی باشد که بتوانند علاوه بر اندازه‌گیری و ثبت اطلاعات، از آنها برای شناخت بهتر رفتار سیستم، پیش‌بینی تغییرات و اتخاذ تصمیم‌های دقیق‌تر استفاده کنند.

در پایان باید گفت هوش مصنوعی قرار نیست جای مهندس فرآوری را بگیرد؛ بلکه قرار است ابزارهای جدیدی در اختیار او قرار دهد تا بتواند کارخانه را بهتر بشناسد، دقیق‌تر تحلیل کند و آگاهانه‌تر تصمیم بگیرد.

> شاید مهم‌ترین نکته در استفاده از هوش مصنوعی در صنایع معدنی، توجه به جایگاه دانش تخصصی فرایند باشد