

طلاي خاكستري هند در خشان‌تر از هميشه

در سال‌های اخیر، هند با تکیه بر توسعه ظرفیت‌های تولید و رشد پایدار صادرات، جایگاه خود را در بازار جهانی شمش سرب به‌طور قابل‌توجهی ارتقا داده؛ به‌طوری‌که نرخ رشد سالیانه صادرات آن در سال ۲۰۲۳ به اوج رسید و در همین سال، سنگاپور با سهم چشمگیر ۲۴ درصدی به مهم‌ترین مقصد صادراتی هند تبدیل شد.

در سال ۲۰۲۴، سهم هند از بازار جهانی شمش سرب به ۱۳ درصد افزایش یافت که تقریباً دو برابر سهم آن در ابتدای دوره ۵ ساله مورد بررسی بود. با وجود کاهش جزئی نرخ بهره‌برداری از ذخایر معدنی به ۱۱۶ درصد، ظرفیت تولید همچنان در سطح بالایی حفظ شده است. در این میان، شرکت Hindustan Zinc Ltd با سرمایه‌گذاری ۱.۵ میلیارد دلار برای توسعه زیرساخت‌ها و دو برابر کردن تولید تا سال ۲۰۳۰، مسیر تثبیت موقعیت هند به‌عنوان یکی از بازیگران اصلی بازار جهانی فلزات غیراهنی را هموار کرده است.

در دهه اخیر، بازار جهانی فلزات غیراهنی دستخوش تحولاتی بنیادین شده است؛ تحولاتی که ریشه در تغییر الگوهای ذخیره‌سازی انرژی و افزایش تقاضا برای باتری‌های سرب-اسیدی در صنایع خودرویی و رشد تولید صنعتی در کشورهایی در حال توسعه دارد. در این میان، فلز سرب بار دیگر جایگاهی محوری در زنجیره جهانی تأمین تجهیزات ذخیره‌سازی انرژی یافته و به یکی از ارکان حیاتی صنایع پیشرفته بدل شده است. طی چهار سال گذشته، بازار جهانی شمش سرب، شاهد دگرگونی‌های قابل‌توجهی در الگوهای تولید و صادرات بوده و هند که پیش‌تر نقشی محدود و منطقه‌ای در تجارت این فلز ایفا می‌کرد، توانسته با تکیه بر منابع غنی معدنی و نیروی کار ارزان، جایگاهی برجسته در میان صادرکنندگان عمده جهان به دست آورد. این در حالی است که بسیاری از کشورها، تحت فشارهای فزاینده زیست‌محیطی، تولید سرب خود را کاهش داده‌اند و همین امر زمینه را برای گسترش نقش هند در بازار جهانی فراهم ساخته است؛ ازاین‌رو، شناسخت روند تحولات بازار صادراتی شمش سرب هند نه‌تنها از جنبه‌ی اقتصادی، بلکه از منظر راهبردی و صنعتی نیز حایز اهمیت است؛ زیرا بررسی ساختار این بازار می‌تواند تصویری روشن از مسیر تحول صنعتی هند، سیاست‌های کلان معدنی این کشور و جایگاه آینده آن در نظام تجارت جهانی ارائه دهد.

در سال ۲۰۲۰، با وجود همه‌گیری جهانی ویروس کووید-۱۹ و اختلال گسترده در زنجیره‌های تأمین فلزات از جمله سرب، هند توانست سطح صادرات شمش سرب خود را در حدود ۱۲۳ هزار تن و معادل ۶.۹ درصد از کل صادرات جهانی حفظ کند. هرچند همین سال کمترین سطح صادرات هند در بازه‌ی پنج‌ساله محسوب می‌شود، اما این کشور همچنان جایگاه سوم را در میان برترین صادرکنندگان شمش سرب جهان حفظ کرد. در همین سال، نرخ بهره‌برداری از ذخایر معدنی سرب هند نیز به دلیل محدودیت‌های ناشی از همه‌گیری به ۸.۴ درصد کاهش یافت که در نمودار ۲ نیز این روند نزولی در تولید معدنی به‌خوبی نمایان است.

در سال ۲۰۲۱، هم‌زمان با بهبود نسبی تجارت جهانی پس از پایان محدودیت‌های ناشی از شیوع کووید-۱۹ و همچنین رشد تدریجی صنایع باتری و خودروسازی در جهان، صادرات شمش سرب هند به ۱۲۶ هزار تن افزایش یافت؛ هرچند سهم این کشور از صادرات جهانی با اندکی افت به ۶.۵ درصد رسید و هند در جایگاه چهارم صادرکنندگان قرار گرفت. این کاهش نسبی سهم با وجود رشد صادرات ناشی از بازگشت سریع‌تر عرضه در برخی کشورهای بزرگ تولیدکننده بود. در سال ۲۰۲۲، ثبات تقاضا در بازار جهانی منجر به افت جزئی صادرات جهانی شمش سرب به ۱.۹ میلیون تن شد. صادرات هند نیز در همین سال به ۱۲۷ هزار تن کاهش یافت؛ اما در نتیجه افت صادرات جهانی، سهم هند در بازار بین‌المللی به ۶.۸ درصد افزایش پیدا کرد.

سال ۲۰۲۳ نقطه عطفی برای صنعت سرب هند به‌شمار می‌آید؛ چراکه صادرات این کشور با ۱۵ درصد افزایش به ۱۲۱ هزار تن جهش کرد و سهم هند از صادرات جهانی از ۶.۸ درصد در سال ۲۰۲۲، به حدود ۱۰.۸ درصد افزایش یافت. این رشد چشمگیر باعث شد هند در جایگاه دوم صادرکنندگان عمده شمش سرب جهان قرار گیرد. در همین سال، با وجود کاهش ذخایر معدنی سرب در این کشور، نرخ بهره‌برداری همچنان در سطوح بالا باقی ماند؛ از سوی دیگر، سیاست‌های جدید دولت هند از سال ۲۰۲۳ تحت طرح‌هایی چون GatiShakti و RoDTEP، با هدف تسهیل تجارت خارجی، بهبود زیرساخت‌های لجستیکی و دیجیتالی‌سازی فرآیندهای گمرکی، موجب افزایش رقابت‌پذیری و سودآوری تولیدکنندگان سرب در بازار این کشور شد؛ افزون بر آن، گسترش همکاری‌های تجاری با کشورهای آسیایی، آفریقایی و آمریکای لاتین، به‌ویژه تبدیل شدن سنگاپور به یکی از شرکای کلیدی تجاری هند، باعث تنوع‌بخشی به بازارهای صادراتی و تثبیت جایگاه این کشور به‌عنوان یکی از بازیگران اصلی بازار جهانی شمش سرب شد.

در سال ۲۰۲۴، سهم هند از بازار جهانی به ۱۳ درصد افزایش یافت که این میزان تقریباً دو برابر سهم صادرات این کشور در ابتدای بازه مورد بررسی (سال ۲۰۲۰) محسوب می‌شود. در همین سال، کشور سنگاپور با رشد چشمگیر تقاضا، سهم خود از واردات سرب هند را به ۴۳ درصد از کل صادرات هند، معادل ۱۳۵ هزار تن، افزایش داد و این روند، نقش مهمی در تثبیت جایگاه هند به عنوان بزرگ‌ترین صادرکننده شمش سرب در جهان ایفا کرد. هرچند نرخ بهره‌برداری از ذخایر معدنی هند در سال ۲۰۲۴ با اندکی کاهش به ۱۱۶ درصد رسید، اما همچنان در سطحی بالا باقی ماند. پیش‌بینی می‌شود صادرات سرب و سایر فلزات غیراهنی هند در سال‌های آینده نیز با سرعتی فزاینده رشد یابد؛ زیرا شرکت Hindustan Zinc Ltd، نوسازی زیرساخت‌ها و استفاده از فناوری‌های پیشرفته در بازیافت و بازیابی فلزات، در پی دو برابر کردن تولید خود تا سال ۲۰۳۰ است و انتظار می‌رود این اقدام جایگاه هند را در بازار جهانی فلزات، به‌ویژه در حوزه سرب بالايش‌شده، بیش از پیش تقویت کند.

کیمیا ملکی
editor@smtnews.ir

تازه‌های فناوری معدن را بررسی می‌کند؛

خودران‌ها در قلب معادن



اتوماسیون دیگر یک فناوری جانبی در صنعت معدن نیست؛ به‌تدریج در حال تبدیل شدن به بخشی از ساختار اصلی عملیات معدنی است. از کامیون‌های حمل‌ونقل تا دستگاه‌های حفاری، ورود سامانه‌های خودکار و خودران با هدف کاهش حضور نیروی انسانی در محیط‌های پرخطر، افزایش ایمنی و بهبود بهره‌وری سرعت گرفته است. در این میان، حفاری یکی از بخش‌هایی است که بیشترین پیشرفت را در مسیر خودکارسازی تجربه کرده است.

با این حال، انفجار همچنان فاصله بیشتری با اتوماسیون کامل دارد؛ فرآیندی پیچیده که به‌دلیل تنوع شرایط معدن و خطرات مرتبط با مواد منفجره، خودکارسازی آن چالش‌های بیشتری دارد. اکنون سازندگان تجهیزات و فناوری‌های معدنی با تکیه بر داده، هوش مصنوعی و سامانه‌های کنترل از راه دور، در تلاشند این فاصله را کاهش دهند و حفاری و انفجار را وارد مرحله تازه‌ای از عملیات هوشمند کنند. **سنت** در این گزارش، تازه‌ترین فناوری‌ها و روندهای خودکارسازی در دو فرآیند حیاتی حفاری و انفجار را بررسی می‌کند.

تازه‌های اتوماسیون حفاری و انفجار در معادن

درصد افزایش یافته است. همچنین، توسعه سامانه‌های خودکار و خودران در حفاری در سراسر جهان، یکی از عوامل اصلی افزایش تقاضا برای تجهیزات معدنی به‌شمار می‌رود.

وس تیلور، مدیر محصول اتوماسیون در شرکت ژاپنی کوماتسو، تولیدکننده تجهیزات معدنی، می‌گوید: «امروزه این انتظار وجود دارد که دستگاه‌های حفاری جدید تولیدکنندگان تجهیزات اصلی، به‌صورت آماده برای اتوماسیون یا دست‌کم دارای قابلیت خودکارسازی ارائه شوند.»

سرمایه‌گذاری معادن بزرگ در حفاری خودران

حفاری و انفجار از جمله خطرناک‌ترین فرآیندهای عملیاتی در معادن است. سطوح مختلف اتوماسیون به دستگاه‌های حفاری اجازه می‌دهد بخش قابل‌توجهی از عملیات را به‌صورت مستقل انجام دهند و در نتیجه، حضور نیروی انسانی را به‌طور کامل از برخی مراحل حذف یا میزان مواجهه کارکنان با خطراتی مانند گردوغبار، صدا، ارتعاش و مهم‌تر از همه مواد منفجره را کاهش دهند. در کشورهایی که هزینه نیروی کار بالاست، کاهش هزینه‌های عملیاتی نیز یکی از مزایای جانبی این فناوری محسوب می‌شود.

افزایش بهره‌وری نیز یکی دیگر از دستاوردهای اتوماسیون حفاری است. تیلور می‌گوید: «ثبات عملیاتی یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کلیدی عملکرد در اتوماسیون حفاری است. زمان

اتوماسیون حفاری با توجه به مزایای آن در حوزه ایمنی و بهره‌وری و همچنین نوآوری‌های مستمر سازندگان تجهیزات اصلی (OEM)، با استقبال قابل‌توجهی مواجه شده است؛ در حالی که فرآیند انفجار هنوز در مراحل ابتدایی مسیر خودکارسازی قرار دارد. هایدی ولا در این گزارش، تازه‌ترین فناوری‌های در حال ظهور در دو فرآیند حیاتی حفاری و انفجار معدنی را بررسی می‌کند. اتوماسیون در عملیات حفاری و انفجار، ایمنی و بهره‌وری این فعالیت‌ها را افزایش می‌دهد.

اتوماسیون در صنعت معدن از دهه ۲۰۰۰ با سرعت بیشتری توسعه یافت؛ پس از آنکه نخستین فناوری تجاری موفق خودکارسازی در کامیون‌های حمل‌ونقل معادن روباز در سال ۲۰۰۷ به کار گرفته شد. از آن زمان، این فناوری به سایر تجهیزات معدنی و همچنین معادن روباز و زیرزمینی گسترش یافته است. در کنار کامیون‌های حمل، که می‌توان آنها را از خودکارترین تجهیزات معدنی امروز دانست، خودکارسازی تجهیزات حفاری نیز اکنون به یک استاندارد تبدیل شده است؛ از کنترل از راه دور و کنترل تله‌ریموت گرفته تا سامانه‌های نیمه‌خودران و کاملاً خودران که متناسب با نیاز هر معدن مورد استفاده قرار می‌گیرند. بررسی‌های PwC نشان می‌دهد استفاده از دستگاه‌های حفاری خودکار، با در نظر گرفتن سطوح مختلف اتوماسیون، در معادن روباز از سال ۲۰۰۸ تاکنون با نرخ رشد مرکب سالانه ۷۴

داده و هوش مصنوعی در خدمت حفاری خودران

بولیندر در سوئد به‌صورت کنترل از راه دور مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فناوری همچنین در عملیات ریو تینتو در منطقه پیلپارا استرالیا به کار گرفته شده است.

آلبرتسون می‌گوید در دوره اخیر، توسعه پایدار نیز به یکی از عوامل محرک استفاده از این فناوری تبدیل شده است؛ به‌گونه‌ای که راهکارهای جدید علاوه بر خودران بودن، بیش از گذشته بر برقی‌سازی نیز متمرکز هستند. ایپروک در ژائوپه سه مدل Pit Viper را در نسخه‌های تمام‌برقی معرفی کرد و به این ترتیب، تمامی مدل‌های خانواده Pit Viper خود را برقی کرده است.

گام‌های تازه در اتوماسیون انفجار

در حالی که اتوماسیون حفاری با سرعت زیادی پیشرفت کرده، دستیابی به سطح مشابهی از خودکارسازی در فرآیند انفجار دشوارتر است. به گفته نایجل پیررا، معاون تجاری‌سازی فناوری‌های جدید در بخش مواد منفجره شرکت اوریکا، دلیل اصلی این مسئله تفاوت زیاد شرایط عملیاتی در معادن و همچنین دشواری دسترسی به سینه‌کار، یعنی محل وقوع انفجار، است.

او می‌گوید با توجه به افزایش تقاضا برای مواد معدنی حیاتی، انتظار می‌رود اتوماسیون نقش مهمی در فراهم کردن دسترسی ایمن معدنکاران به ذخایر دشوار و پیچیده ایفا کند. فناوری Avatel شرکت اوریکا که برای معادن زیرزمینی و با همکاری ایپروک توسعه یافته، با هدف حل این مشکل طراحی شده و تلاش می‌کند تمامی مراحل جابه‌جایی و کارگذاری مواد منفجره در عملیات انفجار زیرزمینی را خودکار کرده و حضور نیروی انسانی را به‌طور کامل از این فرآیند حذف کند.

این فناوری که به گفته شرکت سازنده، نوآوری منحصربه‌فردی در این حوزه محسوب می‌شود، به یک اپراتور اجازه می‌دهد آماده‌سازی سینه‌کار و شارژ مواد منفجره را از داخل یک کابین محصور و ایمن، در فاصله چند متری از محل انجام دهد. این سامانه با آب‌زدایی و پاک‌سازی سینه‌کار، امکان دسترسی به چال‌های حفاری‌شده را فراهم می‌کند و سپس چال‌های انفجاری را به‌صورت خودکار مکان‌یابی، اندازه‌گیری، شست‌وشو، آماده‌سازی و بارگذاری می‌کند.

با افزایش تقاضا برای مواد معدنی حیاتی، انتظار می‌رود اتوماسیون نقش مهمی در دسترسی ایمن به ذخایر دشوار ایفا کند. شرکت اوریکا همچنین اعلام کرده است که سامانه WebGen، یک سیستم کاملاً بی‌سیم برای آغاز انفجار، نیاز به بازگشت کارکنان به سینه‌کار پس از بارگذاری مواد منفجره برای انجام انفجار را از بین می‌برد. این فناوری علاوه بر افزایش ایمنی، فرآیند انفجار را نیز ساده‌تر و کارآمدتر می‌کند.

به گفته پیررا، استفاده از این فناوری به بازطراحی برنامه‌های

مسیر خودکارسازی در معدن دیگر یک انتخاب آینده‌نگرانه نیست، بلکه به بخشی از روند تحول این صنعت تبدیل شده است. حفاری در این مسیر پیش‌تاز بوده و نمونه‌های موفق استفاده از دستگاه‌های خودران نشان می‌دهد که اتوماسیون می‌تواند هم‌زمان ایمنی، دقت و بهره‌وری عملیات را ارتقا دهد. در مقابل، انفجار هنوز در ابتدای این مسیر قرار دارد و پیچیدگی شرایط عملیاتی، هزینه فناوری و ضرورت مدیریت دقیق مواد منفجره، حرکت به سمت خودکارسازی کامل را دشوارتر کرده است.

با این حال، توسعه فناوری‌های مبتنی بر داده، هوش مصنوعی و

مورد نیاز برای رسیدن به محل چال، زمان‌های انتقال و توانایی حفاری دقیق چال در موقعیت و عمق موردنظر، از عوامل مهمی هستند که یک دستگاه حفاری خودکار می‌تواند فراهم کند.»

ثبات عملیاتی یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کلیدی عملکرد در اتوماسیون حفاری است.

به همین دلیل، شرکت‌های بزرگ معدنی از مدت‌ها پیش سرمایه‌گذاری قابل‌توجهی در این فناوری انجام داده‌اند. ریو تینتو بزرگ‌ترین ناوگان حفاری خودران جهان را در اختیار دارد. این شرکت ۲۶ دستگاه حفاری چال‌های انفجاری را در اختیار دارد که از یک مرکز عملیات از راه دور کنترل می‌شوند. اپراتور می‌تواند برنامه فعالیت هر دستگاه را برای یک شیفت کامل از راه دور تنظیم کند، بدون آنکه لازم باشد این کار به‌صورت دستی در محل معدن انجام شود.

شرکت آنگلوگولد اشانتی نیز در سال ۲۰۲۰ یک ناوگان حفاری خودران به ارزش ۶ میلیون دلار را در معدن طلای Tropicana در استرالیا راه‌اندازی کرد. این شرکت اعلام کرد ایمنی یکی از عوامل اصلی این تصمیم بوده است؛ با این حال، امکان فعالیت تجهیزات در شرایط رعدوبرق و آب‌وهوای نامساعد، ادامه کار در زمان انفجار مواد منفجره و عدم نیاز به وقفه‌های ناشی از خستگی که برای کارکنان ضروری است، باعث شده این فناوری بهره‌وری عملیاتی و میزان استفاده از تجهیزات را نیز افزایش دهد.

استخراج، کاهش زمان توقف، افزایش سرعت عملیات و بهبود نرخ بازیابی ماده معدنی در کارگاه‌های استخراج منجر شده است. شرکت ABB نیز فناوری‌ای با عنوان ABB Robot Charger توسعه داده است که می‌تواند چال‌های حفاری‌شده در جبهه سنگ را شناسایی کرده و در جریان عملیات معدنی، مواد منفجره را در آنها نصب کند؛ در نتیجه، نیاز به حضور نیروی انسانی در محل از بین می‌رود. این فناوری در اکتبر ۲۰۲۳ در یکی از معادن بولیندر با موفقیت آزمایش شد.

مسیر دستیابی به انفجار کاملاً خودکار

پیررا می‌گوید انفجار یکی از معدود فرآیندهای باقی‌مانده در معدن است که هنوز باید برای دستیابی به سامانه‌های کاملاً خودکار توسعه یابد؛ با این حال، صنعت معدن از این گذار حمایت می‌کند، حتی اگر چالش‌های مربوط به هزینه و بهره‌وری، مشابه تجربه‌های گذشته در سایر بخش‌های خودکار معدن، همچنان ادامه داشته باشد.

او می‌گوید: در ابتدا شاهد حرکت صنعت به سمت استفاده از اتوماسیون برای دور کردن نیروی انسانی از خطرناک‌ترین مناطق معدن هستیم. پس از آن، تمرکز به سمت استفاده از فناوری برای متحول کردن روش‌های معدنی حرکت خواهد کرد که در نهایت به کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش بهره‌وری منجر می‌شود.

او می‌افزاید: نمونه این روند را می‌توان در فناوری Avatel برای انفجارهای توسعه‌ای مشاهده کرد. اگرچه هزینه‌های مربوط به انفجار در سینه‌کار بیشتر است، اما با حذف نیاز به سیستم نگهداری سینه‌کار که به‌طور سنتی برای حفاظت از کارکنان هنگام شارژ مواد منفجره استفاده می‌شود، می‌توان به صرفه‌جویی قابل‌توجه در هزینه و افزایش بهره‌وری دست یافت. با وجود پیشرفت سریع فناوری، اتوماسیون حفاری نیز همچنان با چالش‌های مواجه است. تیلور یکی از این چالش‌ها را برداشت و درک کلی از الزامات ورود اتوماسیون به فرآیند حفاری می‌داند؛ موضوعی که به گفته او، سازندگان تجهیزات اصلی باید برای رفع آن تلاش کنند.

او می‌گوید: فناوری با سرعت بسیار زیادی در حال پیشرفت است و ممکن است مانند یک «جعبه سیاه» به نظر برسد؛ مسئله‌ای که می‌تواند در پذیرش، یکپارچه‌سازی و پشتیبانی از سامانه‌های خودکار تردید ایجاد کند. هدف ما در کوماتسو این است که با ارائه آموزش مناسب، مستندات، خدمات و پشتیبانی فنی و همچنین مدیریت تغییر، این مانع را کاهش دهیم تا مشتریان درک کنند که خودکارسازی تجهیزات لزوماً به معنای ایجاد تغییرات گسترده در فرآیند، زیرساخت یا مهارت‌های مورد نیاز معدن نیست.

سخن پایانی

کنترل از راه دور، مرزهای این تحول را به‌سرعت جابه‌جا می‌کند. هدف دیگر صرفاً حذف نیروی انسانی از مناطق پرخطر نیست؛ بلکه ایجاد عملیاتی هوشمند است که بتواند خود را با تغییر شرایط معدن تطبیق دهد، دقت حفاری و انفجار را افزایش دهد و از داده‌ها برای بهینه‌سازی خریدایش، کنترل عیار و جابه‌جایی مواد استفاده کند. به نظر می‌رسد آینده معدن، بیش از گذشته به تجهیزاتی وابسته خواهد بود که نه‌تنها کار می‌کنند، بلکه از محیط خود داده می‌گیرند، تصمیم می‌سازند و با کمترین دخالت انسانی عملیات را پیش می‌برند.