

معادن خودکار ؛ ایمنی بیشتر در گرو تجربه انسانی

طی پنج سال گذشته، ضرورت خودکارسازی تجهیزات زیرزمینی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. شرکت‌های معدنی این فناوری را فرصتی برای کاهش مواجهه کارکنان با شرایط خطرناک و مقابله با کمبود مزمن نیروی کار می‌دانند؛ با این حال، سرعت پذیرش این فناوری هنوز به سطحی که بسیاری از سازندگان تجهیزات پیش‌بینی می‌کردند، نرسیده است.

استیو شافریک از دانشگاه کنتاکی، ریاست پیشین کمیته خودکارسازی و رباتیک انجمن مهندسی معدن، متالورژی و اکتشاف آمریکا (SME) را بر عهده داشته است.

سرمایه‌گذاری سنگین موردنیز، ابهام درباره بازگشت سرمایه، ضرورت برخورداری از مهارت‌های فنی تخصصی و الزامات قانونی، از جمله عواملی هستند که گسترش این فناوری را کند کرده‌اند. با این حال، نوآوری‌های فناورانه هم‌اکنون در تجهیزات موجود و هم در نسل بعدی ماشین‌آلات که در دست توسعه است، دیده می‌شود.

ماشین‌آلات بزرگ در فضاهای محدود و در مجاورت کارکنان و سایر تجهیزات فعالیت می‌کنند؛ آن هم در شرایطی که وضعیت زمین به‌طور مداوم تغییر می‌کند. عواملی مانند گردوغبار، سروصدای بیش از حد، انتشار آلاینده‌های دیزلی و وجود سنگ‌های بدون نگهداری و پایدارسازی مناسب، خطرات کار را افزایش می‌دهند. فناوری‌هایی که در سطح زمین یا صنایع دیگر عملکرد قابل‌اعتمادی دارند، لزوماً در محیط زیرزمینی نیز قابل استفاده نیستند؛ به‌ویژه در معادن زغال‌سنگ که تجهیزات باید الزامات سخت‌گیرانه قانونی را رعایت کنند. به همین دلیل، آینده نزدیک این صنعت احتمالاً در مسیری میانه میان بهره‌برداری دستی و استفاده از ماشین‌آلات کاملاً خودران شکل خواهد گرفت.

تفاوت خودکارسازی با خودمختاری

تفاوت اصلی این دو رویکرد به میزان دخالت انسان در عملکرد تجهیزات بازمی‌گردد. تجهیزات خودکار، وظیفه یا مجموعه‌ای از عملیات از پیش تعریف‌شده را انجام می‌دهند. برای مثال، اپراتور ممکن است بازوی دستگاه بولت‌زن سقف را در موقعیت مناسب قرار دهد و سپس دستگاه به‌طور خودکار عملیات حفاری و نصب بولت‌های نگهداری سقف را اجرا کند. این سامانه یکنواختی عملیات را افزایش می‌دهد و نیاز به کار دستی را کاهش می‌دهد؛ اما اپراتور همچنان بر فرآیند نظارت می‌کند و در صورت خروج شرایط از محدوده عادی، واکنش نشان می‌دهد.

در مقابل، ماشینی که توانایی فعالیت مستقل دارد، باید بتواند محیط اطراف خود را شناسایی کند، اطلاعات دریافتی را تفسیر کند و ضمن برخورداری از نظارت انسانی متناسب، اقدامات خود را با شرایط تطبیق دهد. برای مثال، یک دستگاه بولت‌زن سقف با چنین قابلیتی باید بتواند به محل کار حرکت کند، نقاط نیازمند نگهداری را تشخیص دهد، عملیات نصب را انجام دهد و به سراغ وظیفه بعدی برود؛ در حالی که حضور کارکنان، تجهیزات دیگر و تغییرات شرایط زمین را نیز در نظر می‌گیرد. حتی در این سطح از خودمختاری، اپراتورهای با تجربه همچنان برای پایش عملکرد، مدیریت موقعیت‌های پیش‌بینی‌نشده و مداخله در شرایط نیازمند قضاوت انسانی ضروری خواهند بود.

دستیابی به چنین سطحی از آگاهی محیطی در فضاهای زیرزمینی غیرقابل‌پیش‌بینی دشوار است. برای نمونه، زیش سقف ممکن است به استفاده از ابزار یا روش نگهداری متفاوتی نیاز داشته باشد یا انسداد ناشی از گردوغبار، عملیات حفاری را متوقف کند. تغییر ارتفاع لایه زغال‌سنگ، طول بولت‌ها، الگوی نگهداری یا برنامه تپوه نیز می‌تواند اجرای یک فرآیند استاندارد را غیرعملی سازد. اپراتور باتجربه معمولاً می‌تواند چنین شرایطی را مدیریت کند، اما برای ماشینی که برای شناسایی این وضعیت‌ها برنامه‌ریزی نشده است، مواجهه با آنها بسیار دشوارتر خواهد بود.

دور کردن کارکنان از شرایط خطرناک

برای بسیاری از معادن، مهم‌ترین ارزش نوآوری در تجهیزات، دور کردن کارکنان از محیط‌های خطرناک و در عین حال حفظ قدرت قضاوت و انعطاف‌پذیری آنها در انجام کار است. فناوری تشخیص مجاورت افراد اکنون به سطحی از بلوغ رسیده که کاربرد آن به‌خوبی شناخته شده است. این فناوری باید مانند سامانه ترمز ضدقفل (ABS)، نقش یک لایه حفاظتی اضطراری را ایفا کند، نه اینکه ابزار اصلی کنترل حرکت تجهیزات باشد. اثربخشی آن همچنان به استفاده صحیح، رعایت دستورالعمل‌ها از سوی اپراتورها و همراه داشتن تجهیزات الزامی وابسته است. فناوری تشخیص مجاورت کارکنان، اکنون به سطحی از بلوغ رسیده که کاربرد آن به‌خوبی شناخته شده است.

در مقابل، فناوری جلوگیری از برخورد ماشین‌آلات با یکدیگر هنوز به بلوغ کمتری رسیده و تا حد زیادی به برنامه‌ریزی تردد، زمان‌بندی فعالیت تجهیزات و جداسازی محدوده‌های کاری متکی است. پیشرفت در فناوری‌های موقعیت‌یابی، حسگرها و درک محیط توسط ماشین، صنعت را به سامانه‌هایی نزدیک‌تر کرده است که می‌توانند منابع را شناسایی و در لحظه به آنها واکنش نشان دهند؛ با این حال، این قابلیت‌ها هنوز از نظر بلوغ و میزان به‌کارگیری، به سطح فناوری تشخیص مجاورت افراد نرسیده‌اند. بهره‌برداری از راه دور و خودکارسازی، در دور کردن کارکنان از خطرات روزمره و بهبود شرایط کار مؤثر بوده‌اند، اما نیاز به اپراتورهای با تجربه را از بین نبرده‌اند. چالش اصلی همچنان ایجاد توازن میان ارتقای ایمنی و حفظ انعطاف‌پذیری لازم برای مواجهه با شرایط خاص و پیش‌بینی‌ناپذیر معادن زیرزمینی است.

یک دستگاه حفاری چندبازویی در معدن زیرزمینی مشغول فعالیت است و نو چراغ‌های کاری آن بر سطح خشن سنگون آب موجود در محیط بازتاب می‌شود. اعتبار عکس: SME
آدم‌سازی نیروی کار برای نقش‌های جدید
حرکت به سمت خودکارسازی بیشتر، به معنای تغییر در ساختار و مهارت‌های نیروی کار نیز هست. بخش مهمی از ارزش اپراتور از قدرت قضاوتی ناشی می‌شود که در طول تجربه کاری به دست آورده است؛ از جمله توانایی واکنش به تغییر شرایط، هماهنگ نگه داشتن فعالیت‌های پشتیبان و تشخیص مشکلاتی که ممکن است از دید فناوری پنهان بمانند. با افزایش سطح خودکارسازی تجهیزات، این تخصص همچنان در نقش‌های نظارتی، فنی و تعمیر و نگهداری ارزشمند خواهد بود. بخش مهمی از ارزش اپراتور به قضاوتی وابسته است که از تجربه به دست می‌آورد؛ از جمله توانایی واکنش به تغییر شرایط.

صنعت معدن پیش‌تر نیز تغییرات مشابهی را تجربه کرده است. گسترش استخراج به روش لانگ‌وال (Longwall) به مهارت‌های تازه، شیوه‌های جدید تعمیر و نگهداری و تغییر در فرهنگ بهره‌برداری نیاز داشت. معادنی که در این مسیر موفق شدند، در آموزش عملی سرمایه‌گذاری کردند، اپراتورها را در فرآیند پیاده‌سازی فناوری مشارکت دادند و برای ایجاد اعتماد و تسلط بر تجهیزات جدید به نیروی کار زمان کافی اختصاص دادند.

خودکارسازی معادن زیرزمینی نیز به همین تعهد نیاز دارد. نسل آینده تجهیزات متصل‌تر، توانمندتر و هوشمندتر خواهد بود، اما موفقیت آن صرفاً به توسعه فناوری وابسته نیست. پیشرفت زمانی حاصل می‌شود که ثبات عملکرد ماشین‌آلات با قدرت سازگاری انسان ترکیب شود و هر دو در خدمت ایجاد عملیات معدنی زیرزمینی ایمن‌تر و به‌رهورتر قرار گیرند.

از دو الگوی متفاوت برای تسلط بر منابع معدنی می‌گوید

جدال سودآوری و سلطه



رقابت بر سر منابع معدنی راهبردی، به یکی از محورهای اصلی تقابل اقتصادی و ژئوپلیتیکی چین و غرب تبدیل شده است. در حالی که غول‌های معدنی غربی با تأکید بر انضباط مالی و سودآوری بلندمدت، در انتخاب پروژه‌های جدید محتاطانه عمل می‌کنند، شرکت‌های چینی با اتکا به حمایت‌های دولتی، سرعت بالاتر اجرای طرح‌ها و پذیرش ریسک‌های بیشتر، در پی گسترش نفوذ خود در بازار جهانی فلزات حیاتی هستند. این تفاوت رویکرد، معادلات سرمایه‌گذاری معدنی را تغییر داده و رقابت بر سر منابعی مانند مس، سنگ آهن، کبالت، لیتیوم و عناصر نادر خاکی را وارد مرحله تازه‌ای کرده است.

از این گزارش، تفاوت راهبردهای سرمایه‌گذاری چین و غرب و پیامدهای آن برای آینده زنجیره تأمین جهانی مواد معدنی را بررسی می‌کند.

دو الگوی متفاوت برای سرمایه‌گذاری معدنی

سه شرکت BHP، ریوتینتو و واله با کاهشی چشمگیر، از ۵۶۰ میلیارد دلار در دوره پنج‌ساله پیشین به ۳۰۶ میلیارد دلار رسید. این افت سود، همراه با کاهش ارزش دارایی‌های آنها در بازار فلزات، سرمایه‌گذاران را به بازنگری در استراتژی‌های توسعه‌ای واداشت. نتیجه این روند، تمرکز بر پروژه‌های سودآورتر و کاهش هزینه‌های غیرضروری بود. اما این سیاست محتاطانه، در برابر رویکرد تهاجمی چین، آنها را در موضعی تدافعی قرار داده است.

نفوذ چین در مناطق پرریسک معدنی

در حالی که شرکت‌های معدنی غربی در ارزیابی ریسک‌های ژئوپلیتیک و زیست‌محیطی محتاطانه عمل می‌کنند، رقبای چینی با انعطاف‌پذیری بیشتری در مناطق پرریسک سرمایه‌گذاری می‌کنند. شرکت‌هایی نظیر زینجین ماینینگ و CMOC به‌سرعت در جمهوری دموکراتیک کنگو، کشوری برخوردار از ذخایر بزرگ کبالت، و پروژه سنگ‌آهن سیماندو در گینه نفوذ کرده‌اند. در مقابل، شرکت‌هایی مانند واله و ریوتینتو تعامل کمتری برای ورود به چنین بازارهایی نشان داده‌اند. اهمیت این رویکرد زمانی روشن‌تر می‌شود که بدانیم دسترسی به منابع معدنی تنها نخستین مرحله از رقابت است. حضور در کشورهای دارای ذخایر غنی می‌تواند به شرکت‌ها امکان دهد کنترل بیشتری بر تأمین مواد اولیه، توسعه زیرساخت‌ها و مسیر انتقال مواد معدنی به بازارهای جهانی داشته باشند. چنین

صنعت معدن جهانی شاهد رقابتی فزاینده میان غول‌های معدنی غربی، از جمله BHP، ریوتینتو و واله، و شرکت‌های تحت حمایت دولت چین است. در حالی که شرکت‌های غربی برای حفظ سودآوری و کاهش ریسک، سرمایه‌گذاری‌های خود را محتاطانه مدیریت می‌کنند، شرکت‌های چینی با جسارت بیشتری در مناطق پرریسک، مانند جمهوری دموکراتیک کنگو و گینه، سرمایه‌گذاری کرده‌اند. حمایت دولت چین، سرعت بالای بهره‌برداری و پذیرش سود کمتر، به شرکت‌های چینی مزیتی رقابتی بخشیده است. این وضعیت، صنعت معدن را به سوی تغییرات اساسی سوق داده و آینده آن را بیش از پیش به سیاست‌های دولتی و تحولات ژئوپلیتیکی وابسته کرده است. در حالی که چین با سرعتی سرسام‌آور در حال توسعه ظرفیت‌های معدنی خود است، غول‌های معدنی غربی، BHP، ریوتینتو و واله، با چالش مدیریت حدود ۲۰۰ میلیارد دلار سرمایه‌گذاری دست‌وپنجه نرم می‌کنند. این تفاوت استراتژیک، نشان‌دهنده دو الگوی متفاوت در صنعت معدن است: از یک‌سو، شرکت‌های غربی که به دنبال سودآوری پایدار و انضباط مالی هستند و از سوی دیگر، رقبای چینی که با حمایت دولت و پذیرش ریسک‌های بالاتر، به دنبال تسلط بر زنجیره تأمین جهانی فلزات حیاتی‌اند.

کاهش قیمت فلزات، آزمونی قدیمی برای شرکت‌های معدنی است. در فاصله سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹، سود پیش از مالیات

شرکت‌های چینی نه‌تنها جورترند، بلکه سرعت هم عمل می‌کنند. برای مثال، CMOC در کمتر از چهار سال توانست از طریق قرارداد مشترک با کاتنگا در کنگو، به یکی از شرکت‌های پیشرو در حوزه معدن تبدیل شود. در مقابل، پروژه BHP در آریزونا که در سال ۲۰۱۳ آغاز شد، همچنان در مراحل توسعه قرار دارد. حتی در کشورهایی که مقررات دست‌وپاگیر کمتری دارند، شرکت‌های چینی تقریباً سه برابر سریع‌تر از رقبای غربی خود معادن را به بهره‌برداری می‌رسانند.

سرعت توسعه پروژه‌ها در صنعتی که سرمایه‌گذاری اولیه آن سنگین و دوره بازگشت سرمایه طولانی است، اهمیت زیادی دارد. هرچه فاصله میان اکتشاف و آغاز تولید کوتاه‌تر باشد، شرکت زودتر به درآمدزایی می‌رسد و می‌تواند موقعیت خود را در بازار تثبیت کند. در مقابل، تأخیرهای طولانی در اخذ مجوز، تأمین مالی، ساخت زیرساخت‌ها و توسعه فناوری ممکن است هزینه نهایی پروژه را افزایش دهد و مزیت ناشی از کیفیت ذخیره معدنی را کاهش دهد.

با این حال، سرعت بالا به‌تنهایی تضمین‌کننده موفقیت نیست. پروژه‌های بزرگ معدنی با ریسک‌های فنی، مالی و اجتماعی روبه‌رو هستند و هرگونه ضعف در ارزیابی ذخایر، مدیریت هزینه یا رعایت الزامات ایمنی و زیست‌محیطی می‌تواند پیامدهای بلندمدتی به همراه داشته باشد. بسیاری از غنی‌ترین ذخایر سنگ‌آهن و مس جهان طی دو قرن گذشته استخراج شده‌اند و دسترسی به ذخایر جدید، مستلزم هزینه‌های بالاتر و پذیرش ریسک‌های بیشتر است. اینجاست که تفاوت اصلی دو مدل کسب‌وکار نمایان می‌شود: شرکت‌های غربی به دنبال حداکثرسازی سود در پروژه‌های کم‌ریسک‌ترند، در حالی که شرکت‌های چینی ریسک‌های بالاتر را می‌پذیرند تا سلطه بلندمدت خود را بر بازار فلزات حیاتی تثبیت کنند.

فلزات حیاتی؛ میدان تازه رقابت چین و غرب

کاهش دسترسی به ذخایر آسان‌تر و افزایش هزینه توسعه معادن جدید، فشار مضاعفی بر شرکت‌های معدنی وارد می‌کند. اکتشاف در مناطق دورافتاده، ساخت جاده و خطوط انتقال، تأمین انرژی و آب و ایجاد زیرساخت‌های فرآوری، همگی به سرمایه‌گذاری‌های سنگین نیاز دارند. در چنین شرایطی، برخورداری از منابع مالی ارزان‌تر یا حمایت دولت می‌تواند در تعیین برنده رقابت نقشی اساسی داشته باشد.

از سوی دیگر، افزایش هزینه‌های توسعه معادن به این مناسنت که شرکت‌ها باید میان بازده مالی کوتاه‌مدت و مزایای راهبردی بلندمدت

موقعیتی به‌ویژه برای چین اهمیت دارد؛ کشوری که صنایع گسترده فلزات، باتری، خودروهای برقی و تجهیزات انرژی پاک آن به تأمین مستمر مواد معدنی وابسته‌اند

جسارت شرکت‌های چینی تنها به انتخاب موقعیت‌های معدنی پرریسک محدود نمی‌شود. با وجود اینکه حاشیه سود عملیاتی زینجین حدود ۱۱ درصد است، رقمی تقریباً نصف واله و یک‌سوم BHP. این شرکت به لطف حمایت‌های دولتی می‌تواند در پروژه‌هایی مشارکت کند که از نظر اقتصادی برای شرکت‌های غربی قابل توجیه نیستند. در حالی که قوانین سخت‌گیرانه مبارزه با فساد و مقررات زیست‌محیطی در آمریکا و اروپا می‌تواند سرمایه‌گذاری در برخی کشورها را دشوارتر کند، شرکت‌های چینی با تکیه بر حمایت‌های دولتی و شیوه‌های متفاوت تأمین مالی، مسیرهای دیگری را دنبال می‌کنند.

این تفاوت به معنای اهمیت بودن سودآوری برای شرکت‌های چینی نیست؛ بلکه نشان می‌دهد معیارهای تصمیم‌گیری آنها ممکن است فراتر از بازده کوتاه‌مدت یک پروژه باشد. دسترسی بلندمدت به منابع، تثبیت موقعیت در کشورهای تولیدکننده و تقویت امنیت تأمین مواد اولیه می‌تواند در ارزیابی نهایی یک سرمایه‌گذاری نقش داشته باشد. در چنین چارچوبی، پروژه‌ای با سود کمتر نیز ممکن است به دلیل اهمیت راهبردی آن برای زنجیره تأمین، ارزشمند تلقی شود.

سرعت اجرا؛ برگ برنده در رقابت جهانی

چین بر بازار برخی فلزات راهبردی مواجه شوند.

آینده معدنکاری در سایه سیاست و ژئوپلیتیک

صنعت معدن جهانی در حال ورود به دوره‌ای از دگرگونی‌های اساسی است. مدل غربی که بر سودآوری پایدار و کاهش ریسک مبتنی است، با چالشی جدی از سوی الگوی دولتی – تجاری چین مواجه شده است. پرسش اصلی این است که آیا شرکت‌های معدنی غربی همچنان به استراتژی محافظه‌کارانه خود پایبند خواهند ماند یا برای حفظ جایگاهشان، رویکردی تهاجمی‌تر اتخاذ خواهند کرد.

آنچه اکنون روشن به نظر می‌رسد، این است که آینده بازار فلزات حیاتی دیگر تنها به نیروهای اقتصادی وابسته نیست. سیاست‌گذاری‌های دولتی، توافق‌های ژئوپلیتیک، مشوق‌های مالی و تحولات فناوری نقش پررنگ‌تری در تعیین برندگان و بازندگان این رقابت خواهند داشت. در این میان، شرکت‌هایی که بتوانند منابع مالی، فناوری، سرعت اجرای پروژه‌ها و دسترسی پایدار به بازار را با یکدیگر ترکیب کنند، از موقعیت بهتری برای رقابت برخوردار خواهند بود. برای شرکت‌های غربی، پاسخ به این چالش لزوماً به معنای کنار گذاشتن انضباط مالی یا پذیرش بی‌محابای ریسک نیست؛ بلکه می‌تواند در قالب بازنگری در سازوکارهای سرمایه‌گذاری، مشارکت‌های راهبردی و همکاری نزدیک‌تر با دولت‌ها دنبال شود. در مقابل، شرکت‌های چینی نیز باید نشان دهند که سرعت توسعه و حمایت دولتی می‌تواند به پروژه‌هایی پایدار و اقتصادی منجر شود. رقابت پیش‌رو، در نهایت نه‌فقط بر سر استخراج مواد معدنی، بلکه بر سر کنترل حلقه‌های کلیدی زنجیره ارزش و تضمین دسترسی بلندمدت به فلزاتی خواهد بود که اقتصاد آینده به آنها وابسته است.

سخن پایانی

چینی نیز زمانی پایدار خواهد بود که گسترش سریع فعالیت‌ها که برخورداری از ذخایر غنی، به‌تنهایی تضمین‌کننده برتری در بازار جهانی نیست؛ بلکه توانایی تأمین مالی، سرعت توسعه پروژه‌ها، دسترسی به فناوری و کنترل حلقه‌های مختلف زنجیره ارزش، جایگاه کشورها و شرکت‌ها را تعیین می‌کند. شرکت‌های غربی برای حفظ سهم خود از بازار فلزات حیاتی ناگزیرند در کنار انضباط مالی، راهبردهای مؤثرتری برای سرمایه‌گذاری و توسعه ظرفیت‌های فرآوری اتخاذ کنند. در مقابل، مزیت شرکت‌های