

رالی مولیبدن

فراتر از چرخه فولاد

رشد قیمت مولیبدن در سال‌های اخیر فراتر از یک نوسان وابسته به چرخه فولاد است و نشان‌دهنده انتقال تنش‌ها در بازار مواد حیاتی از کمبود معدنی به کمبود عملکردی است. سری نقدی آی‌ام‌اف برای مولیبدن در می ۲۰۲۶ به ۶۵،۵۰۳ دلار بر تن رسید (افزایش ۴۸،۹درصدی نسبت به سال قبل)، در حالی که کنترل‌های صادراتی چین از فوریه ۲۰۲۵، مصرف‌کنندگان نهایی عناصر حیاتی را به بازطراحی، جانشینی تغییر استراتژی‌های تأمین مواد واداشته است.

رشد اخیر قیمت مولیبدن را نباید صرفاً به‌عنوان یک رشد قیمتی مرتبط با چرخه فولاد تفسیر کرد؛ بلکه این افزایش قیمت نشان می‌دهد که فشار ناشی از کمبود و محدودیت در عرضه مواد معدنی حیاتی، در حال گسترش به مواد معدنی و فلزات مرتبطی است که دارای کاربردهای صنعتی همپوشان هستند. به عبارتی، این حرکت قیمتی معنادار بوده و فراتر از صرفاً تقاضا محور بودن عمل می‌کند. شاخص نقدی مولیبدن آی‌ام‌اف (IMF) در می ۲۰۲۶ به ۶۵،۵۰۳ دلار بر تن رسید که نشان‌دهنده رشد ۴۸.۹ درصدی نسبت به مدت مشابه سال قبل (یعنی تغییری از حدود ۲۰ دلار بر پوند به نزدیک ۳۰ دلار بر پوند) است. این افزایش تا حدی بازتابنده یک «پریموم محافظه‌کارانه» برای فلزات الیازی است که در تولیدات با عملکرد بالا کاربرد دارند.

رابطه مولیبدن با تنگستن در مرکز این تغییر قرار دارد. سختی، چگالی و مقاومت حرارتی تنگستن آن را در کاربردهای سمانته، ابزار برش، حفاری، دفاعی، هوافضا، نفوذگرها و کاربردهای دما-بالا عملاً غیر قابل جایگزینی می‌سازد. همزمان، تنگستن یکی از فلزات صنعتی با تمرکز ژئوپلیتیکی بالا است، چراکه چین بر عرضه معدنی، فراوری و دسترسی صادراتی آن تسلط دارد. برای مصرف‌کنندگان غربی، ریسک دیگر تنها قیمت نیست بلکه لکه امکان دسترسی به این فلز نیز ممکن است تحت کنترل و مشروط به مجوز باشد؛ موضوعی که در فوریه ۲۰۲۵ با اعمال کنترل‌های صادراتی چین بر اقلام مرتبط با تنگستن، توریوم، بیسموت، ایندیوم و مولیبدن عیان شد.

برای مصرف‌کنندگان نهایی، این اقدامات ریسک‌های مربوط به صدور مجوز، طولانی تر شدن زمان تحویل و عدم قطعیت در تأمین را در زنجیره‌های تأمین دفاعی، الکترونیک، هوافضا، تجهیزات معدنی و انرژی پاک ایجاد می‌کند. مولیبدن خود جانشین کلی تنگستن نیست؛ در بسیاری از کاربردهای فلزات سخت و دفاعی، سختی و پایداری حرارتی کاربرد تنگستن به‌سختی قابل تکرار است. مکانیزم متداول‌تر، بازپهنه‌سازی متالورژیکی است، به‌طوری‌که موجب کاهش شدت مصرف تنگستن، طراحی دوباره الیازها، شناسایی کاربردهای جایگزین و تغییر مشخصات برای حفظ عملکرد تحت فشار تأمین خواهد شد. در این فرایند، مولیبدن از نظر راهبردی ارزشمندتر می‌شود. کاربرد مولیبدن می‌تواند در برخی کاربردها بخشی از عملکرد جایگزین‌های سمانته تنگستن را جایگزین و فولادها و سوپرآلیاژهای حامل مولیبدن قابلیت سخت‌شدن، مقاومت به خزش، استحکام در دماهای بالا و عملکرد در برابر خوردگی را بهبود می‌بخشد. بنابراین کانال جانشینی مزی نیست بلکه طیفی از جایگزینی جزئی و مکمل‌های عملکردی است.

این موضوع برای برآورد اندازه بازار اهمیت دارد. پرسش درست این نیست که چند تن تنگستن مستقیماً قابل جایگزینی‌ست، بلکه این است که بازطراحی مواد توسط مصرف‌کنندگان چه مقدار تقاضای اضافی برای مولیبدن ایجاد می‌کند. در بازاری جهانی با حدود ۳۰۰ هزار تن در سال، افزایشی در محدوده ۵ تا ۱۰ هزار تن ناشی از جانشینی، بازسازی موجودی انبارها و باز تأیید مجوزها تنها چند درصد از تقاضا را تشکیل می‌دهد؛ اما در کاربردهای تخصصی همین میزان می‌تواند به کم شدن دسترسی و باز قیمت‌گذاری مواد با خلوص بالا منجر شود.

اثر این موضوع به‌واسطه ساختار عرضه مولیبدن تشدید می‌شود. بخش قابل‌توجهی از مولیبدن به‌عنوان محصول جانبی استخراج مس، به‌ویژه در ذخایر پورفییری، تولید می‌شود؛ بنابراین، عرضه مولیبدن نسبت به تغییرات قیمت آن کشش پذیری بالایی ندارد و میزان تولید به برنامه‌های استخراج معدن مس، عیار سنگ معدن، مدارهای بازیابی و ظرفیت فراوری محصولات جانبی وابسته است. شبلی و پرو نمونه‌ای از این شرایط هستند. صادرات مولیبدن شبلی در ۲۰۲۵ حدود ۲.۴۸ میلیارد دلار بود و این محصول را به هشتمین کالای صادراتی این کشور تبدیل کرد. پرو در ۲۰۲۵ حدود ۱.۶۵ میلیارد دلار سنگ مولیبدن صادر کرد و آن را در رتبه سیزدهم صادرات خود قرار داد. در هر دو حالت، افزایش قیمت‌ها باعث بهبود درآمد حاصل از محصولات جانبی، کاهش هزینه خالص تولید مس و حمایت از حاشیه سود معدانی می‌شود که مولیبدن را نیز بازیابی می‌کنند.

برای شرکت‌های معدنی، محصولات جانبی دیگر حاشیه‌ای نیستند. مولیبدن، رنیوم، وئادایوم، نیوبیم، توریوم، بیسموت و ایندیوم هرچند از نظر حجم نسبت به مس، سنگ‌آهن یا لیتیوم کوچک‌ترند، اما می‌توانند در داخل واحدهای صنعتی تعیین‌کننده باشند. ارزش این مواد در نقششان در مواد با عملکرد بالا، توانایی‌شان در کاهش وابستگی به زنجیره‌های تأمین تحت کنترل و دشواری تأیید به‌کارگیری آن‌ها در فرایند تولید بستگی دارد.

این همان ژئوپلیتیک نوظهور جایگزینی است. کنترل‌های صادراتی چین برای تغییر شرایط بازار، لزوماً نیازی به قطع کامل عرضه ندارند؛ بلکه کافی است دسترسی به این مواد را آن‌قدر نامطمئن کنند که تولیدکنندگان ناگزیر شوند در راهبردهای تأمین و انتخاب مواد اولیه خود بازیگری کنند. هنگامی که فرایند تأیید مجدد مواد و محصولات جایگزین آغاز شود، آثار آن می‌تواند حتی پس از فروکش کردن شوک اولیه نیز ادامه پیدا کند؛ بنابراین رالی مولیبدن تنها یک رویداد قیمتی نیست؛ بلکه نشانه‌ای از گذار از کمبود مواد معدنی به کمبود کارکردهای فنی و صنعتی است. برندگان راهبردی این شرایط، شرکت‌ها و بازیگرانی خواهند بود که درک درستی از نحوه تعامل مواد مختلف در سامانه‌های صنعتی واقعی داشته باشند و بداند چگونه جایگزینی می‌تواند یک محصول جانبی که زمانی کمتر مورد توجه بود را به دارایی حیاتی در زنجیره تأمین تبدیل کند.

معدن

صفت از حرکت معادن جهان به سمت ناوگان‌های خودران گزارش می‌دهد؛

از ماشین هوشمند تا معدن هوشمند



با تشدید سیاست‌های اقلیمی و افزایش فشار بر صنایع سنگین برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، نحوه اندازه‌گیری و راستی‌آزمایی آلاینده‌گی نیز وارد مرحله‌ای تازه شده است. در این میان، ماهواره‌ها و فناوری‌های سنشش از دور در حال تبدیل شدن به ابزاری مستقل برای بررسی عملکرد زیست‌محیطی کارخانه‌ها هستند؛ فناوری‌ای که می‌تواند انتشار گازهایی مانند دی‌اکسیدکربن و مونوکسیدکربن را در مقیاس صنعتی رصد کرده و تصویری متفاوت از داده‌های خوداظهاری صنایع ارائه دهد. ورود ابزارهایی مانند TROPOMI و پلتفرم‌هایی همچون Climate TRACE، در کنار توسعه مأموریت‌های جدید فضایی، امکان اتصال داده‌های اتمسفری به دارایی‌های صنعتی مشخص را افزایش داده است. این تحول به‌ویژه برای صنعت فولاد اهمیت دارد؛ صنعتی که هم‌زمان با افزایش تقاضا برای محصولات کم‌کربن، با مقررات سخت‌گیرانه‌تر تجاری و زیست‌محیطی نیز روبه‌رو است. در چنین شرایطی، شفافیت درباره میزان واقعی انتشار می‌تواند به یکی از عوامل موثر بر اعتبار، هزینه و رقابت‌پذیری تولیدکنندگان فولاد تبدیل شود. از سوی دیگر، پیوند میان پایش ماهواره‌ای و سازوکارهایی مانند تنظیم مرزی کربن اتحادیه اروپا، اهمیت این داده‌ها را از یک موضوع صرفاً زیست‌محیطی فراتر برده و به مسئله‌ای اقتصادی و تجاری تبدیل کرده است. در این شرایط، **صفت** در این گزارش به بررسی نقش ماهواره‌ها، هوش مصنوعی و سامانه‌های سنشش از دور در پایش آلاینده‌گی صنایع فولاد و تأثیر این فناوری‌ها بر شفافیت، نظارت زیست‌محیطی و آینده رقابت در بازار فولاد سبز می‌پردازد.

چالش بدی معادن هوشمند؛ هماهنگی کل ناوگان در یک معدن

براساس اعلام شرکت، در این عملیات ۵۶ کامیون خودران در کنار حدود ۵۰۰ وسیله نقلیه دارای راننده فعالیت می‌کردند. CiDi در گزارش میان‌دوره‌ای ماه اوت خود اعلام کرد در آمد و تعداد پروژه‌های استقرار فناوری این شرکت افزایش یافته است. درآمد CiDi در نیمه نخست سال ۲۰۲۶ نسبت به مدت مشابه سال قبل ۹۷ درصد رشد کرد. این شرکت همچنین اعلام کرده است که هفت سابت معدنی در حال حاضر ناوگان‌هایی با بیش از ۱۰۰ کامیون حمل خودران دارند و بزرگ‌ترین پروژه شامل ۲۲۰ دستگاه بوده است. تا پایان ژوئن ۲۰۲۶ نیز مجموع محموله‌های کامیون‌های معدنی خودران CiDi از مرز هزار و ۹۰۰ دستگاه عبور کرده است. در نقاط مختلف چین، ترکیبی از راهکارهای کاملاً خودکار و نیمه‌خودکار در حال استفاده است. هو توضیح می‌دهد که در میان محصولات فعلی این شرکت، محبوب‌ترین راهکار، حفاری با کنترل از راه دور در کنار حمل‌ونقل خودکار است. فرایند بارگیری در این سیستم به هماهنگی نزدیک میان بیل‌های مکانیکی کنترل‌شونده از راه دور و کامیون‌های خودران وابسته است. ارتباط لحظه‌ای میان تجهیزات، موقعیت خودروها و زمان تکمیل عملیات بارگیری را تعیین می‌کند.

به‌صورت مستمر در حال توسعه فعالیت‌های خود در چین است و حضور فناوری خود را در بازارهای خارجی نیز گسترش می‌دهد. سامانه MetaMine این شرکت، کامیون‌های حمل خودران را با سیستم مرکزی اعزام و هماهنگی ناوگان یکپارچه می‌کند تا امکان اجرای عملیات خودکار در سطح کل معدن فراهم شود.

عملیات ترکیبی خودکار

به گفته «آلبرت هو»، مدیرعامل CiDi، فعالیت‌های این شرکت در چین عمدتاً در معادن زغال‌سنگ و سیمان متمرکز است و در درجه بعدی نیز در معادن فلزات حیاتی حضور دارد. به‌ویژه استخراج روباز زغال‌سنگ در چین با سرعت زیادی در حال توسعه است و برخی معادن به ناوگان‌هایی متشکل از صدها کامیون حمل نیاز دارند. این معادن بزرگ به اصلی‌ترین میدان آزمایش سامانه MetaMine تبدیل شده‌اند. این سامانه تاکنون در ۲۷ معدن فعال در چین به کار گرفته شده و شرکت CiDi اعلام کرده است که تا پایان ژوئن ۲۰۲۶، در مجموع در نزدیک به ۴۰ معدن در سراسر جهان مستقر شده است. در سال ۲۰۲۴، CiDi یک عملیات ترکیبی خودکار را در معدن روباز زغال‌سنگ متعلق به گروه سرمایه‌گذاری انرژی چین در شمال‌غرب این کشور اجرا کرد.

حمل‌ونقل خودکار در معادن از کامیون‌های بدون راننده فراتر رفته و اکنون به سمت هماهنگی ناوگان‌های کامل حرکت می‌کند. چالش بعدی، اثبات این موضوع است که خودکارسازی در مقیاس کل معدن می‌تواند با قابلیت اطمینان و صرفه اقتصادی در مقیاس تجاری اجرا شود. اتوماسیون و برقی‌سازی در حال ایجاد تحول در صنعت خودروهای معدنی هستند، اما چالش بعدی این صنعت تنها استقرار کامیون‌های بدون راننده نیست. شرکت‌های معدنی به‌طور فزاینده‌ای به دنبال سامانه‌های هوشمندی هستند که بتوانند ناوگان‌های کامل را با یکدیگر هماهنگ کنند تا ایمنی، بهره‌وری و بهره‌وری انرژی افزایش یابد. براساس گزارش سال ۲۰۲۶ گلوبال دیتا با عنوان «توسعه خودروهای برقی در معادن روباز و زیرزمینی» که در ماه مه منتشر شده، تجهیزات خودکار و آماده خودکارسازی اکنون بیش از ۴ درصد از کل ماشین‌آلات اصلی معدنی را تشکیل می‌دهند. با افزایش سهم فناوری خودران در تجهیزات معدنی، تولیدکنندگان ماشین‌آلات و شرکت‌های فناوری در رقابتی جدی برای توسعه و نمایش سطح پیچیدگی این سامانه‌ها قرار گرفته‌اند. شرکت چینی CiDi که در زمینه خودروهای خودران فعالیت می‌کند و در بورس هنگ‌کنگ نیز پذیرفته شده،

حرکت از کامیون خودران به معدن خودران

نقاط ورود احتمالی برای حملات سایبری را افزایش می‌دهد و از سوی دیگر، معادن به‌طور فزاینده‌ای به‌عنوان بخشی از زیرساخت‌های حیاتی کشورها شناخته می‌شوند؛ موضوعی که آنها را به اهداف جذاب‌تری برای حملات سایبری تبدیل می‌کند.

هوش مصنوعی: از مره آزمایش تا مقیاس صنعتی

یکی دیگر از موانع مهم، توسعه و مقیاس‌پذیری سامانه‌های مبتنی بر هوش مصنوعی است. سینگ می‌گوید پذیرش هوش مصنوعی از مرله کشف و آزمایش عبور کرده و اکنون به سمت اعتبارسنجی، توسعه در مقیاس بزرگ، تولید و ادغام در محصولات حرکت می‌کند. همین الگو در معدن خودران نیز وجود دارد و شرکت‌ها باید از پروژه‌های آزمایشی و محیط‌های کنترل‌شده به سمت اجرای قابل‌اعتماد فناوری در کل معدن حرکت کنند. به گفته آلبرت هو، سامانه‌های خودران به سطح بالایی از پیچیدگی نیاز دارند و اطمینان از اینکه هوش مصنوعی بتواند در مقیاس کل معدن تصمیم‌های قابل‌اعتماد بگیرد، همچنان یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های صنعت است.

آینده معدن خودران

گزارش GlobalData همچنین با بررسی فعالیت‌های ثبت اختراع، فناوری‌هایی را که در حال توسعه هستند و می‌توانند آینده صنعت معدن را شکل دهند، بررسی کرده است. براساس این گزارش، سریع‌ترین حوزه‌های ماشین‌آلات خاکبرداری، پایش محل کار، حفاری خودکار و سامانه‌های ایمنی معدن هستند.

سینگ معتقد است این نوآوری‌ها با هدف افزایش بهره‌وری و کاهش مصرف سوخت توسعه می‌یابند و هم‌زمان، فناوری‌های زیربنایی مانند شبکه‌های بی‌سیم فوق‌پهن‌بند و ارتباطات بی‌سیم برد بلند نیز به بلوغ بیشتری رسیده‌اند. این فناوری‌ها امکان موقعیت‌یابی دقیق‌تر و تشخیص قابل‌اعتماد موانع را برای ماشین‌آلات سنگین فراهم می‌کنند.

از کامیون هوشمند به ناوگان هوشمند

با وجود پیشرفت سریع فناوری‌های مورد نیاز برای معدن خودران، چالش اصلی دیگر اثبات عملکرد یک کامیون بدون راننده به‌صورت مستقل نیست.

مرحله بعدی این است که صدها ماشین متصل به یکدیگر بتوانند در سراسر یک معدن، به‌صورت ایمن، قابل‌اعتماد و اقتصادی فعالیت کنند. گزارش GlobalData شرکت‌هایی مانند Caterpillar، Baidu و EquipmentShare، از بازیگران فعال در حوزه ثبت اختراع مرتبط با هوش مصنوعی و یادگیری ماشین برای هماهنگی ناوگان، برنامه‌ریزی وظایف، نقشه‌برداری زمین، بهینه‌سازی حفاری و ایجاد سامانه‌های مقیاس‌پذیر ناوگان معرفی می‌کند.

فناوری‌های مورد نیاز برای معدن خودران با سرعت زیادی در حال پیشرفت هستند؛ از هماهنگی هوشمند ناوگان گرفته تا حفاری و خاکبرداری خودکار. با این حال، چالش بزرگ صنعت دیگر نمایش توانایی تجهیزات خودران به‌صورت منفرد نیست، بلکه اثبات این است که صدها ماشین متصل به یکدیگر می‌توانند در کل یک معدن، هم‌زمان ایمن، قابل‌اعتماد و اقتصادی فعالیت کنند. در چنین شرایطی، با گسترش فعالیت شرکت‌هایی مانند CiDi در بازارهای بین‌المللی و توسعه سبد محصولات خودران توسط تولیدکنندگان بزرگ تجهیزات معدنی، مزیت رقابتی آینده شاید دیگر در ساخت «هوشمندترین کامیون» نباشد؛ بلکه در ساخت هوشمندترین ناوگان شکل خواهد گرفت.

سخن پایانی

دیگر، به سخت‌گیرانه‌تر شدن مقررات کربنی و افزایش اهمیت فولاد کم‌کربن، پایش ماهواره‌ای می‌تواند از یک ابزار نظارتی به عاملی موثر در رقابت اقتصادی تبدیل شود. در آینده، تولیدکنندگانی که نتوانند میزان واقعی انتشار خود را با داده‌های قابل‌اتکا اثبات کنند، ممکن است با ریسک‌های بیشتری در بازارهای بین‌المللی مواجه شوند. بنابراین، حرکت به سمت شفافیت فضایی تنها یک تحول فناورانه نیست؛ بلکه بخشی از مسیر صنعت فولاد برای سازگاری با اقتصاد کم‌کربن و الزامات جدید تجارت جهانی است.

خودروها و سیستم‌های هوشمند می‌توانند با بهینه‌سازی عملیات، حداکثر بهره‌وری را ایجاد کنند.

آزمون کامیون برقی در معدن مس زامبیا

پیچیدگی زمانی بیشتر می‌شود که برقی‌سازی نیز به عملیات خودکار اضافه شود. شرکت First Quantum Minerals در معدن مس Kansanshi در زامبیا در حال آزمایش یک کامیون حمل‌ونقل برقی باتری‌محور در شرایط واقعی عملیاتی است. این آزمایش با استفاده از زیرساخت موجود Quantum Electra-Haul انجام می‌شود.

هدف این پروژه، صرفاً نمایش قابلیت حمل‌ونقل خودران نیست، بلکه جمع‌آوری داده‌های واقعی درباره بهره‌وری، قابلیت اطمینان، شارژ، ایمنی و نگهداری تجهیزات است. شبکه ترولی‌اسیست این شرکت در حال حاضر از ۱۲۸ کامیون در معادن مس Kansanshi و Sentinel در زامبیا پشتیبانی می‌کند و در سال ۲۰۲۵ حدود ۴۵ هزار تن معادل دی‌اکسید کربن و ۲۹ میلیون لیتر گازوئیل صرفه‌جویی کرده است.

«گوردون وایت»، مدیر عملیات و فناوری معدن در First Quantum Minerals، تأکید می‌کند که مهم‌ترین درس این پروژه آن است که استقرار فناوری در شرایط واقعی، اطلاعاتی در اختیار شرکت قرار می‌دهد که صرفاً از طریق مدل‌سازی و مطالعات مهندسی به دست نمی‌آید.

ایمنی: یکی از محرک‌های اصلی خودکارسازی

هو با اشاره به صنعت معدن چین می‌گوید در این کشور، ایمنی یکی از مهم‌ترین عوامل توسعه ناوگان‌های خودران معدنی است. در سال‌های اخیر، صنعت گسترده خودروهای خودران با حوادث ایمنی و نقض‌های فنی قابل‌توجهی مواجه بوده است. برای نمونه، در آوریل ۲۰۲۶ بیش از ۱۰۰ تاکسی رباتیک Baidu Apollo Go در پی یک نقض سیستمی در شهر ووهان از کار افتادند و باعث اختلال در ترافیک و گرفتار شدن مسافران شدند؛ هرچند گزارش‌ای از مصدومیت منتشر نشد.

با این حال، هو معتقد است در چین فشار زیادی برای ارتقای ایمنی وجود دارد. دولت این کشور برای استفاده از فناوری‌های بدون راننده در معادن، شاخص‌های عملکردی مشخصی تعیین کرده و حتی میزان نفوذ این فناوری در مناطق مختلف تا سال‌های مشخص از هدف‌گذاری می‌کند. در سطح صنعت معدن نیز تلاش گسترده‌ای برای حذف انسان از محیط‌های سخت و خطرناک در جریان است. خودروهای خودران با ایجاد قابلیت پیش‌بینی و مشاهده‌پذیری بیشتر، امکان ردیابی موانع و ثبت آنها به‌عنوان داده‌های ساختاریافته را فراهم می‌کنند. به این ترتیب، هرگونه انحراف از الگوهای عادی قابل شناسایی خواهد بود و اپراتورها می‌توانند پیش از تبدیل یک اختلال به حادثه، برای کاهش خطر اقدام کنند.

امنیت سایبری؛ تهدید جدید معادن خودران

«رویت سینگ»، تحلیلگر GlobalData، معتقد است بازرسی خودکار، شناسایی ریسک‌های زیست‌محیطی، اتوماسیون خودتمیزشونده و توسعه سیستم‌های کنترل از راه دور از جمله فناوری‌هایی هستند که برای ارتقای ایمنی معدن در حال توسعه‌اند. به گفته او، در صورت عملکرد موفق این سیستم‌ها، خطر خرابی ماشین‌آلات کاهش خواهد یافت و انسان‌ها می‌توانند همچنان از محیط‌های بسیار سخت و خطرناک فاصله داشته باشند و تجهیزات را از راه دور کنترل کنند. با این حال، افزایش اتصال دیجیتال تجهیزات، یک خطر جدید نیز ایجاد می‌کند:

امنیت سایبری.

سینگ امنیت سایبری را یکی از فوری‌ترین ریسک‌های راهبردی عملیات خودران می‌داند. افزایش اتکا به سامانه‌های دیجیتال متصل، تعداد

ورود ماهواره‌ها و فناوری‌های سنشش از دور به عرصه پایش آلاینده‌گی، قواعد نظارت بر صنایع فولاد و سایر صنایع سنگین را در حال تغییر است. دیگر ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی یک کارخانه تنها به گزارش‌های داخلی و داده‌های خوداظهاری محدود نمی‌شود و امکان مقایسه این اطلاعات با داده‌های مستقل فضایی، شفافیت بیشتری را به بازار وارد می‌کند. در این میان، ترکیب تصاویر ماهواره‌ای، هوش مصنوعی و داده‌های زمینی می‌تواند به شناسایی دقیق‌تر منابع انتشار و ارزیابی روند واقعی کاهش آلاینده‌گی کمک کند. از سوی



خودران‌سازی

در صنعت

معدن بسیار

پیچیده‌تر از

استفاده از

خودروهای

بدون راننده

در جاده‌های

شهری است.

زمین‌های

دشوار و

چشم‌اندازهای

دائما در حال

تغییر در معادن

باعث می‌شود

تجهیزات به

شناخت دقیق

و قابل اعتماد

از محدوده‌های

عملیاتی و

موانع نیاز

داشته باشند