

فناوری‌های آینده، معادن را ایمن‌تر می‌کنند

با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در استانداردهای ایمنی، صنعت معدن همچنان یکی از پرریسک‌ترین صنایع جهان به شمار می‌رود. حضور در محیط‌های زیرزمینی، کار با ماشین‌آلات سنگین، احتمال ریزش، انفجار و شرایط سخت عملیاتی، همواره جان کارکنان را تهدید کرده است. اکنون اما موج تازه‌ای از فناوری‌های هوشمند، از ربات‌ها و کامیون‌های خودران گرفته تا واقعیت مجازی، دوقلوهای دیجیتال و تجهیزات پوشیدنی، در حال تغییر این معادله هستند. این فناوری‌ها نه‌تنها پهموری عملیات معدنی را افزایش می‌دهند، بلکه با کاهش حضور مستقیم نیروی انسانی در محیط‌های خطرناک، سطح

ایمنی را نیز به شکل محسوسی ارتقا می‌بخشند.

بر اساس گزارشی تازه از مؤسسه گلوبال‌دیتا (GlobalData)، فناوری‌های موسوم به «آینده کار» (Future of Work) که شامل حوزه‌هایی مانند اتوماسیون، تجسم‌سازی، تفسیر داده‌ها، همکاری دیجیتال و اتصال هوشمند هستند، به یکی از مهم‌ترین ابزارهای ارتقای ایمنی در معادن تبدیل شده‌اند. این گزارش نشان می‌دهد که اتوماسیون بیش از هر فناوری دیگری توانسته با حذف نیروی انسانی از مشاغل پرخطر، احتمال وقوع حوادث را کاهش دهد.

■ **اتوماسیون: حذف انسان از خطر نا کم‌ترین بخش معدن**
بر اساس این گزارش، تجهیزات خودکار اکنون تقریباً در تمامی مراحل عملیات معدنی قابل استفاده هستند. دستگاه‌های حفاری خودکار می‌توانند عملیات حفاری چال‌های انفجاری را بدون نیاز به حضور اپراتور انجام دهند. کامیون‌های خودران، سنگ معدن استخراج‌شده را از محل معدن به کارخانه‌های فرآوری منتقل می‌کنند و قطارهای خودکار نیز محصول نهایی را تا صدها کیلومتر دورتر به بنادر صادراتی می‌رسانند.

این تحول باعث شده بسیاری از فعالیت‌هایی که پیش‌تر نیازمند حضور مستقیم نیروی انسانی در محیط‌های پرخطر بود، امروز با استفاده از سامانه‌های هوشمند انجام شود. در نتیجه، احتمال آسیب‌دیدگی ناشی از خطای انسانی، خستگی، حواس پرتی و شرایط نامناسب جوی یا حوادث ناگهانی به میزان قابل توجهی کاهش یافته است.

■ **ربات‌ها، پهپادها و کامیون‌های خودران در خدمت ایمنی**

گلوبال‌دیتا تأکید می‌کند که فناوری‌هایی مانند پهپادها، سامانه‌های حمل‌ونقل خودران (AHS)، ماشین‌آلات معدنی کنترل از راه دور و ربات‌های صنعتی، اکنون به‌طور گسترده در معادن جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند.

این تجهیزات علاوه بر افزایش پهموری، مزایای مهم دیگری نیز دارند. کاهش هزینه‌های عملیاتی در بلندمدت، حذف بسیاری از خطاهای انسانی، امکان فعالیت شبانه‌روزی بدون توقف و کاهش زمان حضور کارکنان در مناطق خطرناک از مهم‌ترین دستاوردهای این فناوری‌هاست.

به‌عنوان نمونه، سامانه‌های حمل‌ونقل خودران می‌توانند بدون وقفه و بدون خستگی، عملیات جابه‌جایی مواد معدنی را انجام دهند؛ قابلیت‌هایی که هم پهموری را افزایش می‌دهد و هم احتمال وقوع تصادفات ناشی از خطای رانندگان را کاهش می‌دهد.

گزارش همچنین به نقش فناوری چاپ سه‌بعدی اشاره می‌کند. این فناوری امکان تولید سریع قطعات یدکی و حتی تجهیزات حفاظت فردی را در نزدیکی محل معدن فراهم می‌کند؛ موضوعی که علاوه بر کاهش زمان توقف تجهیزات، مدیریت موجودی انبارها را نیز بهبود می‌بخشد.

■ **رباتیک؛ مهم‌ترین فناوری آینده از نگاه فعالان معدن**
نتایج یک نظرسنجی گلوبال‌دیتا از کارشناسان صنعت معدن نشان می‌دهد ۳۶ درصد از متخصصان، رباتیک را اثرگذارترین فناوری آینده در حوزه ایمنی معادن می‌دانند. تنها موضوعی که امتیازی بالاتر از ایمنی کسب کرده، افزایش پهموری بوده است که ۳۷ درصد پاسخ‌دهندگان آن را مهم‌ترین مزیت فناوری‌های نوین عنوان کرده‌اند.

این نتایج نشان می‌دهد که فعالان معدنی، سرمایه‌گذاری در ربات‌ها و سامانه‌های خودکار را نه صرفاً یک اقدام فائورانه، بلکه راهکاری مؤثر برای کاهش حوادث شغلی می‌دانند.

■ **واقعیت مجازی و دوقلوهای دیجیتال؛ آموزش بدون خطر**

یکی دیگر از فناوری‌هایی که در گزارش گلوبال‌دیتا مورد توجه قرار گرفته، فناوری‌های تجسم‌سازی است. این فناوری‌ها با ایجاد دوقلوهای مجازی بسیار واقع، امکان آموزش کارکنان در شرایط خطرناک را بدون قرار گرفتن در معرض ریسک فراهم می‌کنند. دوقلوهای دیجیتال معادن به شرکت‌ها اجازه می‌دهند پیش از اجرای هر پروژه، سناریوهای مختلف را شبیه‌سازی کرده، روش‌های جدید استخراج را آزمایش و برنامه‌های عملیاتی را ارزیابی کنند. همچنین این فناوری امکان نگهداری پیش‌بینانه تجهیزات را فراهم می‌کند؛ رویکردی که از خرابی‌های ناگهانی جلوگیری کرده و عملکرد کل مجموعه را بهینه می‌سازد.

از سوی دیگر، فناوری‌های واقعیت افزوده (AR) و واقعیت مجازی (VR) با شبیه‌سازی دقیق شرایط اضطراری مانند ریزش تونل، آتش‌سوزی یا خرابی تجهیزات، آمادگی کارکنان را برای مواجهه با بحران‌ها افزایش می‌دهند.

■ **تجهیزات پوشیدنی؛ یا ش لحظه‌ای سلامت کارکنان**
گزارش همچنین به نقش تجهیزات پوشیدنی در ارتقای ایمنی اشاره می‌کند. این ابزارها قادرند اطلاعاتی مانند ضربان قلب، دمای بدن، میزان خستگی و وضعیت جسمانی کارکنان را به‌صورت لحظه‌ای ثبت و به مرکز کنترل ارسال کنند.

چنین سامانه‌هایی می‌توانند پیش از وقوع حادثه، علائم خستگی یا کاهش هوشیاری کارکنان را شناسایی کرده و از ادامه فعالیت آنان در شرایط خطرناک جلوگیری کنند. به این ترتیب، فناوری‌های پوشیدنی به ابزاری مهم برای پیشگیری از حوادث ناشی از فرسودگی جسمی و ذهنی تبدیل شده‌اند.

■ **کمبود نیروی متخصص؛ چالش همیشگی معادن**
«پدن نایت»، تحلیلگر مؤسسه گلوبال‌دیتا و نویسنده این گزارش، معتقد است صنعت معدن طی سه دهه گذشته پیشرفت چشمگیری در ارتقای ایمنی نداشته، اما همچنان به دلیل اهمیت پرخطر خود با کمبود نیروی انسانی متخصص مواجه است.

به گفته وی، فناوری‌های آینده کار می‌توانند ضمن بهبود شاخص‌های ایمنی، جذابیت اشتغال در بخش معدن را نیز افزایش دهند. وی تأکید می‌کند که توسعه اتوماسیون صنعتی، حمل‌ونقل خودران، خودکارسازی فرآیندها و استفاده از تجهیزات پوشیدنی، مهم‌ترین عواملی هستند که می‌توانند پهموری در حفظ رقابت‌پذیری تبدیل شده‌اند؛ فناوری‌هایی که آینده معدنکاری را نه‌تنها ایمن‌تر، بلکه کارآمدتر و هوشمندتر خواهند کرد.

■ **فناوری؛ مزینی فراتر از ایمنی**

گلوبال‌دیتا در پایان گزارش خود تأکید می‌کند سرمایه‌گذاری در فناوری‌های آینده کار تنها به افزایش ایمنی محدود نمی‌شود. شرکت‌های معدنی با بهره‌گیری از این فناوری‌ها می‌توانند پهموری بیشتری داشته باشند، هزینه‌های عملیاتی را کاهش دهند، عملکرد تجهیزات را بهینه کنند و در رقابت جهانی جایگاه بهتری به دست آورند.

در شرایطی که معادن جهان با چالش‌هایی مانند کمبود نیروی متخصص، افزایش هزینه‌های تولید و سخت‌تر شدن الزامات ایمنی روبه‌رو هستند، فناوری‌های هوشمند به یکی از مهم‌ترین ابزارهای حفظ رقابت‌پذیری تبدیل شده‌اند؛ فناوری‌هایی که آینده معدنکاری را نه‌تنها ایمن‌تر، بلکه کارآمدتر و هوشمندتر خواهند کرد.

در ترجمه اختصاصی، چشم‌انداز توسعه آلومینیوم سبز در استرالیا را بررسی کرد:

بازتعریف صنعت آلومینیوم با انرژی پاک



در حالی که بسیاری از کشورهای جهان برای کاهش

انتشار کربن و توسعه صنایع کم‌کربن برنامه‌ریزی کرده‌اند، صنعت آلومینیوم به یکی از مهم‌ترین میدان‌های این رقابت تبدیل شده است. استرالیا به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان آلومینا و دارندگان زنجیره کامل تولید آلومینیوم، تلاش می‌کند با اتکا به انرژی‌های تجدیدپذیر و فناوری‌های نوین، جایگاه خود را در بازار آلومینیوم سبز تثبیت کند. با این حال، هزینه‌های سنگین نوسازی زیرساخت‌ها، نیاز به برق پایدار و توسعه فناوری‌های جدید، مسیر این تحول را با چالش‌های جدی روبه‌رو کرده است.

در ترجمه اختصاصی این گزارش، فرصت‌ها، موانع و چشم‌انداز حرکت استرالیا به سوی تولید آلومینیوم سبز را بررسی می‌کند.

با افزایش سرمایه‌گذاری استرالیا در توسعه فلزات سبز، صنعت آلومینیوم این کشور در آستانه تحولی بزرگ قرار گرفته است؛ تحولی که در کنار فرصت‌های اقتصادی، با چالش‌های فنی، زیرساختی و سرمایه‌گذاری گسترده نیز روبه‌روست.

آلومینیوم پس از فولاد، دومین فلز پر مصرف جهان به شمار می‌رود و در صنایع مختلف از هوافضا و کشتی‌سازی گرفته تا خودروهای برقی، ساختمان، تجهیزات برقی و انرژی‌های

تجدیدپذیر کاربرد گسترده‌ای دارد. با سرعت گرفتن روند برقی‌سازی اقتصاد جهانی، انتظار می‌رود تقاضا برای این فلز در سال‌های آینده بیش از پیش افزایش یابد.

با این حال، تولید آلومینیوم یکی از پرمصرف‌ترین فرایندهای

دولت استرالیا چهار فناوری اصلی را به عنوان محور برنامه کاهش انتشار کربن در صنعت آلومینیوم معرفی کرده است؛ فناوری‌هایی که در صورت توسعه کامل، می‌توانند نقش مهمی در دستیابی این کشور به هدف انتشار خالص صفر تا سال ۲۰۵۰ ایفا کنند.

■ **این چهار فناوری عبارت‌اند از:**

– بازفره‌ده‌سازی مکانیکی بخار
– استفاده از دیگ‌های بخار برقی
– کلسینه‌کردن الکتریکی
– کلسینه‌کردن با هیدروژن

بر اساس برآوردهای دولت استرالیا، استفاده همزمان از این فناوری‌ها می‌تواند میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای شش پالایشگاه آلومینای این کشور را تا حدود ۹۸ درصد کاهش دهد. با وجود ظرفیت بالای این فناوری‌ها، هر یک در مراحل متفاوتی از بلوغ فنی و تجاری قرار دارند و برای تبدیل شدن به راهکارهای صنعتی، به سرمایه‌گذاری‌های سنگین، توسعه تجهیزات و بومی‌سازی فناوری نیاز دارند.

«کریستوفر هاچینسون»، استاد مهندسی مواد دانشگاه موناش، معتقد است مسیر کربن‌زدایی صنعت آلومینیوم به طور کلی از دو راه قابل انجام است.

به گفته او، نخستین راهکار آن است که فرآیندهای فعلی تولید حفظ شوند اما سوخت‌های فسیلی تا حد امکان با انرژی‌های تجدیدپذیر جایگزین شوند؛ رویکردی که فناوری MVR نمونه‌ای از آن به شمار می‌رود. راهکار دوم اما تغییر اساسی در شیوه پالایش آلومینیوم است؛ روشی که به گفته این استاد دانشگاه، مستلزم بازطراحی کامل فرآیندهای تولید خواهد بود. شرکت آلکسو نیز در گزارش پیشرفت پروژه استفاده از فناوری MVR در پالایشگاه آلومینای «پینجارا» اعلام کرده است که اجرای این طرح به توسعه فناوری و زیرساخت‌های بسیار بیشتری نسبت به برآوردهای اولیه نیاز دارد. علاوه بر نیاز به توسعه تجهیزات جدید، کمبود متخصصان مهندسی برق و ضرورت همکاری نزدیک‌تر میان شرکت‌های صنعتی و پیمانکاران را نیز از مهم‌ترین موانع اجرای این پروژه عنوان کرده است.

کارشناسان معتقدند حمایت‌های مالی دولت، هرچند ضروری است، اما به‌تنهایی نمی‌تواند تحول مورد نیاز صنعت آلومینیوم را رقم بزند. به باور آن‌ها، آینده این صنعت به مجموعه‌ای از سیاست‌های هماهنگ، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های انرژی، توسعه فناوری و ایجاد چارچوب‌های نوآوری وابسته است؛ موضوعی که نه‌تنها در استرالیا، بلکه در بسیاری از کشورهای تولیدکننده آلومینیوم به یک اولویت راهبردی تبدیل شده است.

هاچینسون معتقد است در سال‌های آینده اتحادیه اروپا احتمالاً مقررات سخت‌گیرانه‌تری برای واردات فلزات اعمال خواهد کرد. به گفته او، تولیدکنندگان ممکن است ملزم شوند میزان ردیای کربنی محصولات خود را اعلام کنند و حتی فلزاتی که با انتشار بالای کربن تولید شده‌اند، مشمول عوارض یا مالیات اضافی شوند. چنین سیاست‌هایی می‌تواند انگیزه‌ای قوی برای حرکت صنایع به سمت تولید کم‌کربن ایجاد کند.

در همین راستا، اعتبارهای مالیاتی، بارانه‌های هدفمند و مشوق‌های سرمایه‌گذاری می‌توانند شرکت‌ها را به استفاده از فناوری‌های جدید ترغیب کنند، اما به اعتقاد دوتاتاریا داس، این اقدامات زمانی اثربخش خواهند بود که در قالب یک برنامه جامع نوآوری اجرا شوند. او تأکید می‌کند: «حل این مسئله تنها با تزریق منابع مالی امکان‌پذیر نیست. باید چارچوب مشخصی وجود داشته باشد تا سرمایه‌ها در مسیر درست هزینه شوند. حضور نهادهای تنظیم‌گر، مشارکت بخش خصوصی و همکاری نزدیک با شرکت‌های فناوری برای ایجاد یک اکوسیستم نوآوری ضروری است.»

استرالیا در مسیر تولید آلومینیوم سبز

صنعتی از نظر انرژی محسوب می‌شود. زنجیره تولید این فلز شامل سه مرحله اصلی استخراج بوکسیت، تبدیل آن به آلومینا و در نهایت ذوب آلومینا برای تولید آلومینیوم اولیه است؛ مرحله‌ای که هر یک به حجم بسیار بالایی از برق نیاز دارند.

بر اساس اعلام شورای آلومینیوم استرالیا، این کشور ششمین تولیدکننده بزرگ آلومینیوم جهان و بزرگ‌ترین صادرکننده آلومینا به شمار می‌رود. از نگاه دولت استرالیا، افزایش تقاضای جهانی برای فلزات کم‌کربن، فرصت کم‌نظیری را برای توسعه صنعت آلومینیوم این کشور فراهم کرده است.

در همین راستا، دولت استرالیا طی سال‌های اخیر مجموعه‌ای از مشقو‌های مالی را برای کاهش انتشار کربن در این صنعت در نظر گرفته است. از جمله این اقدامات می‌توان به اختصاص

فناوری‌های کربن‌زدایی صنعت آلومینیوم

■ **فرصت‌ها و موانع کربن‌زدایی آلومینیوم**

استرالیا یکی از معدود کشورهایی است که زنجیره کامل تولید آلومینیوم، از استخراج بوکسیت تا پالایش آلومینا و ذوب آلومینیوم را در اختیار دارد؛ موضوعی که این کشور را به یکی از بازیگران مهم صنعت آلومینیوم جهان تبدیل کرده، اما همزمان مسیر کاهش انتشار کربن را نیز پیچیده‌تر ساخته است.

به اعتقاد کارشناسان، استفاده از فناوری‌های جدید بدون حمایت مستمر دولت امکان‌پذیر نیست. کریستوفر هاچینسون، استاد مهندسی و علوم مواد دانشگاه موناش، معتقد است کربن‌زدایی صنعت آلومینیوم از دو مسیر قابل انجام است. نخست، حفظ فرآیندهای فعلی و جایگزینی سوخت‌های فسیلی با انرژی‌های تجدیدپذیر؛ رویکردی که در فناوری بازیافت مکانیکی بخار (MVR) دنبال می‌شود. مسیر دوم نیز تغییر اساسی در شیوه پالایش و تولید آلومینیوم است.

با این حال، اجرای هر دو راهکار مستلزم بازطراحی گسترده زیرساخت‌های موجود است. شرکت آلکوا نیز در گزارش پیشرفت پروژه استفاده از فناوری MVR در پالایشگاه آلومینای پینجارا اعلام کرده که اجرای این طرح به توسعه فناوری و زیرساخت بسیار بیشتری نسبت به برآوردهای اولیه نیاز دارد. این گزارش همچنین از کمبود نیروهای متخصص در حوزه مهندسی برق و ضرورت همکاری نزدیک‌تر با پیمانکاران برای طراحی تجهیزات جدید خبر داده است.

هاچینسون در این باره می‌گوید: «موضوع تنها جایگزین کردن مشعل‌های گازی با تجهیزات برقی نیست؛ کل فرآیند پالایش باید از نو طراحی شود. این یک اصلاح جزئی نیست، بلکه تغییری بنیادین در شیوه تولید آلومینیوم است.»

از سوی دیگر، آلکس فیلیپس، تحلیلگر انرژی در مؤسسه گلوبال‌دیتا، معتقد است هزینه نوسازی زیرساخت‌های ذوب موجود یا احداث واحدهای جدید بسیار سنگین است و همین موضوع سرعت حرکت صنعت به سمت تولید سبز را کاهش می‌دهد.

او هشدار می‌دهد که افزایش مصرف برق این صنعت می‌تواند فشار مضاعفی بر شبکه‌های برق وارد کند. به گفته وی، حداقل انرژی تئوریک موردنیاز برای تولید هر کیلوگرم آلومینیوم با آند کربنی حدود ۵.۹۹ کیلووات ساعت و با آندهای خنثی

فراتر از یارانه؛ مسیر واقعی آلومینیوم سبز

به گفته داس، در شرایط کنونی بسیاری از فناوری‌های مورد نیاز صنعت آلومینیوم هنوز به مرحله آمادگی کامل برای بهره‌برداری تجاری نرسیده‌اند و به زمان بیشتری برای توسعه نیاز دارند. از این رو، دولت‌ها باید در کوتاه‌مدت تمرکز خود را بر گسترش ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر قرار دهند و همزمان زمینه رشد فناوری‌های نسل آینده را فراهم کنند. او معتقد است تا سال ۲۰۳۰ مهم‌ترین اولویت باید جایگزینی منابع انرژی فسیلی با انرژی‌های تجدیدپذیر باشد، در حالی که شرکت‌های فلزور و مراکز تحقیقاتی روی توسعه فناوری‌های پیشرفته‌تر کار می‌کنند؛ فناوری‌هایی که می‌توانند در بلندمدت ساختار تولید آلومینیوم را به‌طور اساسی متحول کنند. استرالیا به دلیل برخورداری همزمان از ذخایر عظیم بوکسیت و ظرفیت بالای تولید انرژی‌های تجدیدپذیر، یکی از مناسب‌ترین کشورها برای رهبری تولید آلومینیوم سبز در جهان به

سخن پایانی

کشور از ظرفیت‌های مناسبی در زنجیره آلومینیوم برخوردار است، اما حفظ جایگاه در بازارهای بین‌المللی مستلزم حرکت همزمان به سمت افزایش پهموری، کاهش مصرف انرژی و تولید محصولات کم‌کربن خواهد بود. در سال‌های آینده، کشورهایی که زودتر خود را با الزامات اقتصاد سبز و استانداردهای جدید تجارت جهانی هماهنگ کنند، سهم بیشتری از بازار رو به رشد آلومینیوم جهان را به دست خواهند آورد.

تأمین نیاز دارد.

با وجود این حمایت‌ها، کربن‌زدایی صنعت آلومینیوم همچنان

یکی از دشوارترین پروژه‌های صنعتی جهان به شمار می‌رود.

کارشناسان معتقدند تحقق این هدف تنها با توسعه فناوری‌های

نوین امکان‌پذیر نیست، بلکه به سرمایه‌گذاری مستمر، توسعه

زیرساخت‌ها و حمایت بلندمدت دولت در تمام بخش‌های زنجیره

تأمین نیاز دارد.