

انقلابی که از دل زمین آغاز می‌شود



ریحارد کولینز

- کارشناس فناوری‌های معدنی

صنعت معدن در آستانه یکی از بزرگ‌ترین تحولات تاریخ خود قرار گرفته است. اگر در قرن بیستم، مکانیزاسیون و استفاده گسترده‌از ماشین‌آلات دیزلی چهره معدن‌کاری را دگرگون کرد، در دهه‌های پیش‌رو برقی‌سازی، اتوماسیون و هوشمندسازی سه نیروی اصلی خواهند بود که آینده این صنعت را شکل می‌دهند. دیگر بحث تنها بر سر جایگزینی موتورهای دیزلی با تجهیزات برقی نیست؛ بلکه سخن از بازطراحی کامل بهره‌برداری از معادن است.

در گذشته، معدن صرفاً محلی برای استخراج مواد معدنی بود؛ جایی که انرژی از بیرون وارد می‌شد، ماشین‌آلات فعالیت می‌کردند و محصول نهایی‌ای از معدن خارج می‌شد. اما معدن آینده به یک اکوسیستم انرژی تبدیل خواهد شد؛ سیستمی که در آن تولید، ذخیره‌سازی، توزیع و مصرف انرژی به اندازه استخراج ماده معدنی اهمیت دارد.

فشارهای زیست‌محیطی مهم‌ترین عامل این تحول هستند. دولت‌ها اهداف بلندپروازانه‌ای برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تعیین کرده‌اند و شرکت‌های معدنی نیز برای حفظ دسترسی به سرمایه و بازارهای جهانی ناچارند ردیای کربنی خود را کاهش دهند. امروزه سرمایه‌گذاران تنها به عیار ذخایر معدنی توجه نمی‌کنند؛ بلکه میزان انتشار کربن، مصرف انرژی، بهره‌وری و پایداری عملیات نیز به شاخص اصلی ارزش‌گذاری پروژه‌های معدنی تبدیل شده‌اند. از سوی دیگر، مصرف‌کنندگان نهایی نیز خواهان مواد معدنی با ردیای کربنی پایین هستند. خودروسازانی که خودروهای برقی تولید می‌کنند، تمایل دارند لیتیوم، نیکل، مس و کبالت مورد نیاز خود را از معادنی تأمین کنند که استانداردهای زیست‌محیطی بالاتری دارند. این روند به تدریج مفهوم «مواد معدنی سبز» را به یکی از مزیت‌های رقابتی بازار تبدیل خواهد کرد.

اما برقی‌سازی تنها یک پروژه زیست‌محیطی نیست؛ بلکه مزایای اقتصادی قابل توجهی نیز به همراه دارد. موتورهای الکتریکی بارده بیشتری نسبت به موتورهای دیزلی دارند، هزینه تعمیر و نگهداری کمتری ایجاد می‌کنند و قابلیت کنترل دقیق‌تری دارند. همچنین کاهش مصرف سوخت، کاهش هزینه حمل‌وسوخت به معادن دورافتاده و حذف بخشی از سامانه‌های تهویه در معادن زیرزمینی می‌تواند صرفه‌جویی قابل توجهی ایجاد کند.

در معادن زیرزمینی، مزیت برقی‌سازی حتی پررنگ‌تر است. ماشین‌آلات دیزلی حجم زیادی گرما، دود و آلاینده تولید می‌کنند که نیازمند سامانه‌های تهویه بسیار پرهزینه است. جایگزینی این تجهیزات با ماشین‌آلات برقی، علاوه بر کاهش انتشار آلاینده‌ها، هزینه‌های تهویه را نیز به شکل محسوسی کاهش می‌دهد و محیط کار ایمن‌تر و سالم‌تری برای کارکنان فراهم می‌آورد.

البته نباید تصور کرد که مسیر برقی‌سازی ساده و بدون مانع است. بزرگ‌ترین چالش، زیرساخت انرژی است. بسیاری از معادن در مناطق دورافتاده قرار دارند، مناطقی که شبکه برق ظرفیت کافی برای تغذیه یک معدن تمام‌برقی را ندارد. در چنین شرایطی، شرکت‌ها باید هم‌زمان در توسعه خطوط انتقال، نیروگاه‌های محلی، سامانه‌های ذخیره‌سازی انرژی و حتی تولید برق از منابع تجدیدپذیر سرمایه‌گذاری کنند.

به همین دلیل، آینده معادن برقی به شدت با توسعه زیرشبکه‌های انرژی یا «مایکروگریدها» گره خورده است. این سامانه‌ها امکان ترکیب برق شبکه، نیروگاه‌های خورشیدی، توربین‌های بادی، باتری‌های ذخیره‌سازی و ژنراتورهای پشتیبان را فراهم می‌کنند تا معدن بتواند با حداقل وابستگی به شبکه سراسری فعالیت کند. در کنار برقی‌سازی، دیجیتال‌شدن نیز نقشی تعیین‌کننده خواهد داشت. معدن آینده بدون سامانه‌های هوشمند مدیریت انرژی قابل تصور نیست. نرم‌افزارهای پیشرفته، مصرف برق تجهیزات مختلف را به‌صورت لحظه‌ای پایش می‌کنند، بار مصرفی را مدیریت می‌کنند و در صورت بروز اختلال، به‌طور خودکار اولویت مصرف انرژی را میان بخش‌های مختلف تغییر می‌دهند.

هوش مصنوعی نیز به تدریج به بخش جدایی‌ناپذیر این اکوسیستم تبدیل خواهد شد. الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند برنامه استخراج را با وضعیت شبکه برق، قیمت انرژی، شرایط آب‌وهوایی و ظرفیت تولید هماهنگ کنند. نتیجه چنین رویکردی، کاهش هزینه، افزایش بهره‌وری و بهبود پایداری عملیات خواهد بود.

یکی دیگر از روندهای مهم، ادغام کامل معدن، کارخانه فرآوری و سامانه انرژی است. در گذشته هر بخش به‌صورت مستقل مدیریت می‌شد، اما در معادن نسل آینده همه این اجزا در قالب یک سیستم یکپارچه فعالیت خواهند کرد. این یکپارچگی امکان می‌دهد تصمیمات تولید، نگهداری تجهیزات، مصرف انرژی و مدیریت شبکه برق به‌صورت هم‌زمان اتخاذ شوند.

با این حال، شاید مهم‌ترین چالش، تأمین مالی باشد. برقی‌سازی نیازمند سرمایه‌گذاری اولیه قابل توجهی است و بسیاری از پروژه‌ها در مرحله گذار از مطالعات امکان‌سنجی به اجرای صنعتی با کمبود منابع مالی مواجه می‌شوند. تجربه کشورهای مانند کانادا، استرالیا، آمریکا و کشورهای اسکاندیناوی نشان داده است که بدون حمایت دولت‌ها، ارائه مشوق‌های مالی و مشارکت سرمایه‌گذاران بلندمدت، توسعه معادن تمام‌برقی با سرعت مطلوب پیش نخواهد رفت.

در سال‌های آینده رقابت میان کشورها نیز شکل تازه‌ای به خود خواهد گرفت. دیگر تنها حجم ذخایر معدنی تعیین‌کننده جایگاه کشورها نیست، بلکه توانایی آن‌ها در تولید مواد معدنی با کمترین میزان انتشار کربن، بیشترین بهره‌وری انرژی و بالاترین سطح فناوری، مزیت رقابتی اصلی خواهد بود. کشورهایی که زودتر زیرساخت‌های انرژی، فناوری‌های دیجیتال و زنجیره ارزش مواد معدنی را توسعه دهند، سهم بیشتری از بازار جهانی را به دست خواهند آورد. در نهایت باید پذیرفت که معدن تمام‌برقی دیگر یک چشم‌انداز دور‌دست با ایده‌ای آزمایشگاهی نیست. پروژه‌هایی که امروز در آمریکا، کانادا، استرالیا، سوئد و فنلاند در حال اجرا هستند، نشان می‌دهند این تحول آغاز شده است. سرعت این گذار ممکن است در مناطق مختلف متفاوت باشد، اما مسیر کلی صنعت معدن روشن است.

آینده معدن کاری متعلق به معادنی خواهد بود که نه تنها مواد معدنی استخراج می‌کنند، بلکه انرژی را هوشمندانه مدیریت می‌کنند، با محیط‌زیست سازگارند و از فناوری‌های دیجیتال برای افزایش بهره‌وری بهره می‌گیرند. در چنین آینده‌ای، ارزش یک معدن تنها با میزان ذخیره آن سنجیده نخواهد شد، بلکه توانایی آن در تولید پایدار، کم‌کربن و هوشمند، معیار اصلی موفقیت خواهد بود. این همان تغییری است که می‌تواند صنعت معدن را به یکی از ستون‌های اقتصاد سبز جهان در دهه‌های آینده تبدیل کند.

معدن

📄 در ترجمه اختصاصی، موانع توسعه اورانیوم استرالیا را روایت می‌کند

پارادوکس اورانیوم در سرزمین بزرگ‌ترین ذخایر جهان



اورانیوم بار دیگر به یکی از مهم‌ترین مواد معدنی راهبردی جهان تبدیل شده است. افزایش تقاضا برای انرژی هسته‌ای، رشد مصرف برق ناشی از توسعه هوش مصنوعی و تشدید رقابت‌های ژئوپلیتیکی، نگاه دولتها را به این فلز از یک کالای معدنی صرف به ابزاری برای تأمین امنیت انرژی تغییر داده است. در این میان، استرالیا با وجود در اختیار داشتن بزرگ‌ترین ذخایر اورانیوم جهان، همچنان به دلیل ملاحظات سیاسی، زیست‌محیطی و حقوق بومیان، نتوانسته جایگاه متناسبی در بازار جهانی تولید این ماده معدنی به دست آورد. 📄 در ترجمه اختصاصی این تحلیل از Mining Technology، به بررسی دلایل عقب‌ماندن صنعت اورانیوم استرالیا از ظرفیت‌های بالقوه خود و چالش‌های پیش روی این کشور در رقابت جهانی بر سر سوخت هسته‌ای پرداخته است.



گروه معدن
editor@smtnews.ir

غول اورانیوم استرالیا که هر گز به توسعه کامل نرسید

قزاقستان، کانادا و نامیبیا قرار گرفت. با این حال، استرالیا در سال ۲۰۲۵ تنها ۴.۵ کیلوتن اورانیوم تولید کرد که بسیار پایین‌تر از قزاقستان (۲۴.۹ کیلوتن) و کانادا (۱۵ کیلوتن) است. این عدم توازن روزبه‌روز اهمیت بیشتری پیدا می‌کند، زیرا اورانیوم دیگر صرفاً به عنوان یک کالای معدنی در نظر گرفته نمی‌شود. دولت‌ها در حال تغییر رویکرد خود هستند و سوخت هسته‌ای را به عنوان یک نهاده صنعتی استراتژیک می‌بینند که با امنیت انرژی، تقاضای برق مرتبط با هوش مصنوعی و تاب‌آوری ژئوپلیتیکی گره خورده است.

کشورهای جهان از نظر اورانیوم، همچنان تولید انرژی هسته‌ای در داخل را محدود می‌کند. با بازگشت انرژی هسته‌ای به بحث‌های کلان سیاست‌گذاری در بحبوحه فشارهای کربن‌زدایی، افزایش تقاضای برق از سوی دیناسترهای هوش مصنوعی و رشد گسست‌های ژئوپلیتیکی، این تناقض اکنون زیر ذره‌بین قرار گرفته و توجهات جدی را به خود جلب کرده است.

بر اساس گزارش شرکت گلوبال‌دیتا (GlobalData)، شرکت مادر رسانه ماینینگ تکنولوژی، استرالیا در سال ۲۰۲۳ با در اختیار داشتن ۲۸.۲ درصد از ذخایر جهانی اورانیوم، بالاتر از

هم‌زمان با افزایش تقاضای جهانی برای اورانیوم، ذخایر عظیم استرالیا همچنان با محدودیت‌های سیاسی، زیست‌محیطی و فرهنگی دست‌به‌گریبان هستند. تحلیلی از: گایاتری سیرپیراپو (Gayathri Siripurapu).

استرالیا دارای بزرگ‌ترین ذخایر اورانیوم جهان است، اما در بازارهای عرضه جهانی همچنان یک تولیدکننده نسبتاً متوسط محسوب می‌شود. این کشور همچنین تنها عضو گروه ۲۰ (G۲۰) است که ممنوعیت قانونی برای تولید انرژی هسته‌ای اعمال کرده است؛ این امر تناقضی را ایجاد کرده که در آن یکی از غنی‌ترین

اورانیوم به عنوان یک ماده معدنی حیاتی

که تانیا کانستبل، مدیر اجرایی این شورا استدلال می‌کند که استرالیا باید در میان بی‌ثباتی‌های فزاینده ژئوپلیتیکی، از منابع "نفت، گاز طبیعی مایع (LNG)، زغال‌سنگ و اورانیوم" خود استفاده بهتری ببرد. کانستبل همچنین از ممنوعیت‌های طولانی‌مدت اورانیوم و "شیطانی جلوه دادن" این بخش انتقاد کرده است.

این استدلال‌ها با تغییرات گسترده‌تر در سیاست‌های صنعتی که هم‌اکنون در جریان است، همخوانی دارد. گلوبال‌دیتا به قانون فدرال "آینده ساخت استرالیا" اشاره می‌کند که مشوق‌های مالیاتی را با هدف تقویت فراوری داخلی و زنجیره تأمین مواد معدنی حیاتی ارائه داده است. استرالیا همچنین همکاری استراتژیک خود را با ایالات متحده از طریق یک چارچوب دوجانبه برای مواد معدنی حیاتی گسترش داده است؛ چارچوبی که برای کاهش وابستگی به منابع تأمین انحصاری طراحی شده است.

اگرچه بحث‌های عمومی پیرامون مواد معدنی حیاتی عمدتاً بر لیتیوم و خاک‌های کمیاب متمرکز بوده است، اما اورانیوم روزبه‌روز بیشتر با همین منطق استراتژیک مطابقت پیدا می‌کند. دولت‌های غربی به دنبال تأمین‌کنندگان هم‌سو از نظر سیاسی برای مواد مورد نیاز برای "گذار انرژی" هستند، به‌ویژه در شرایطی که زیرساخت‌های سوخت هسته‌ای مرتبط با روسیه و تسلط چین بر زنجیره‌های تأمین گسترده‌تر مواد معدنی، از نظر سیاسی حساس‌تر شده‌اند.

تولید اورانیوم استرالیا

در استرالیا، رشد تولید همچنان در یک پایگاه دارایی نسبتاً محدود متمرکز است. انتظار می‌رود چشم‌انداز اورانیوم این کشور به شدت به بهبود عملکرد عملیاتی در معدن هانی‌مون (Honeymoon) متعلق به شرکت باس انرژی و معدن سد المپیک (Olympic Dam) متعلق به BHP متکی باشد. استرالیا جنوبی با میزبانی از معادن سد المپیک، فور مایل (Four Mile) و هانی‌مون، همچنان قطب اورانیوم این کشور محسوب می‌شود.

در میان این پروژه‌ها، سد المپیک اهمیت استراتژیک فزاینده‌ای دارد. گلوبال‌دیتا طرح توسعه سد المپیک را یکی از توسعه‌های کلیدی اورانیوم در آینده جهان می‌داند. در جاهای دیگر، شرکت پالادین انرژی در حال افزایش تولید در معدن لانگر هاینریش (Langer Heinrich) در نامیبیا است؛ این موضوع نشان می‌دهد که چگونه شرکت‌های اورانیوم ثبت‌شده در بورس استرالیا، اغلب مسیرهای رشد قوی‌تری را در خارج از کشور پیدا می‌کنند تا در داخل.

گلوبال‌دیتا پیش‌بینی می‌کند که تولید اورانیوم استرالیا از ۴.۹ کیلوتن در سال ۲۰۲۶ به ۱۴.۶ کیلوتن تا سال ۲۰۳۵ افزایش یابد. اگرچه این افزایش از نظر درصدی قابل توجه است، اما باعث می‌شود استرالیا با وجود داشتن ذخایر بسیار بزرگتر، همچنان عقب‌تر از کانادا باقی بماند.

سخن پایانی

کشورها برای تضمین امنیت انرژی و تنوع‌بخشی به زنجیره تأمین بلکه به یکی از مؤلفه‌های اصلی امنیت انرژی، رقابت ژئوپلیتیکی و راهبردهای کربن‌زدایی کشورها تبدیل شده است. تجربه استرالیا نشان می‌دهد که برخورداری از بزرگ‌ترین ذخایر جهان، لزوماً به معنای تبدیل شدن به بزرگ‌ترین تولیدکننده نیست؛ زیرا سیاست‌گذاری، پذیرش اجتماعی، ملاحظات زیست‌محیطی و حقوق جامع بومی می‌توانند به اندازه منابع زیرزمینی در تعیین سرنوشت یک صنعت اثرگذار باشند. در شرایطی که بسیاری از

تصمیمات اخیر دولت فدرال نیز محدودیت‌های تغییر رویکرد استرالیا نسبت به اورانیوم را نشان می‌دهد. تصمیم آنتونی آلبانیزی، نخست‌وزیر، مبنی بر عدم تمدید اجاره‌نامه اورانیوم معدن جابیلوکا (Jabiluka) در قلمرو شمالی (Northern Territory)، عملاً به چشم‌انداز توسعه در یکی از باکیفیت‌ترین ذخایر توسعه‌نیافته اورانیوم در جهان پایان داد. این تصمیم، از مخالفت دیرینه مالکان بومی دفاع کرده و منطقه میراث جهانی کاکادو (Kakadu) را از فعالیت‌های معدنی در آینده مصون نگه داشت.

این تصمیم برای شرکت "منابع انرژی استرالیا" بسیار حائز اهمیت بود؛ شرکتی که مدت‌ها جابیلوکا را به عنوان یک گزینه توسعه بالقوه در آینده (در کنار تعهدات نوسازی معدن رنجر) در اختیار داشت. در سطحی گسترده‌تر، این اقدام قدرت وتوی بومیان بر پروژه‌های بزرگ منابع را تقویت کرد و این پیام را مخابره کرد که علی‌رغم تقویت بازارهای جهانی اورانیوم، ملاحظات زیست‌محیطی و فرهنگی همچنان محدودیت‌های سیاسی مهمی بر سر راه توسعه اورانیوم استرالیا ایجاد می‌کنند.

استرالیا پیش از این ثابت کرده است که در صورت همسویی سیاست، زیرساخت و سرمایه‌گذاری، توانایی تسلط بر زنجیره‌های تأمین معدنی جهانی را دارد؛ به‌ویژه در زمینه سنگ آهن و لیتیوم از طریق شرکت‌هایی نظیر ریو تینتو، BHP و فورتسکیو (Fortescue). اما اورانیوم دانستان متفاوتی دارد، زیرا دقیقاً در نقطه تلاقی سیاست انرژی، سیاست‌های محیط زیستی، حقوق زمین‌های بومیان و امنیت ملی قرار گرفته است.

حتی اگر بعید باشد که لایحه لغو ممنوعیت در نیو ساوت ولز به قانون تبدیل شود، رأی مجلس اعیان همچنان یک تغییر سیاست قابل‌توجه به شمار می‌رود و نشان می‌دهد که اورانیوم پس از دهه‌ها به حاشیه رانده شدن در عرصه سیاسی، به طور پیوسته در حال بازگشت به بحث‌های سیاست استراتژیک استرالیا است.

همچنین، هرگونه توسعه اورانیوم در آینده در نیو ساوت ولز همچنان به انکشافات گسترده، تابیده‌های زیست‌محیطی، مشورت با جوامع محلی و ارزیابی‌های قانونی بستگی دارد. با توجه به ممنوعیت طولانی‌مدت استخراج اورانیوم در این ایالت، نیو ساوت ولز در مقایسه با حوزه‌های تثبیت‌شده‌ای مانند استرالیا جنوبی و قلمرو شمالی، هنوز از نظر انکشاف نسبتاً دست‌نخورده باقی مانده است.

با عمیق‌تر شدن تنش‌های ژئوپلیتیکی، افزایش تقاضای برق و تلاش دولت‌ها برای یافتن زنجیره‌های تأمین امن برای گذار انرژی، احتمالاً فشارها برای بازنگری در موضع اورانیومی استرالیا تشدید خواهد شد. چالش اورانیوم استرالیا، چالش منابع، فناوری یا تقاضای بازار نیست؛ بلکه مسئله، جلب رضایت سیاسی است.