

در دورانی که شوک‌های انرژی، اختلالات زنجیره تأمین و بحران‌های اقلیمی دیگر رخدادهایی استثنایی نیستند، کارخانه‌های فولاد با یک پرسش حیاتی روبه‌رو شده‌اند: چگونه می‌توان در جهانی ناپایدار، تولیدی پایدار داشت؟ پاسخ نسل جدید صنعت فولاد، نه صرفاً در افزایش ظرفیت کوره‌ها یا توسعه خطوط نورد، بلکه در طراحی «سازمان‌های دوزیست» نهفته است؛ مجتمع‌هایی هوشمند، ماژولار و داده‌محور که در شرایط عادی با حداکثر ظرفیت فعالیت می‌کنند و در لحظه بحران، با کمک اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، شبکه‌های انرژی هوشمند و حاکمیت چابک، به‌سرعت آرایش عملیاتی خود را تغییر می‌دهند. این تحول، فولادسازی آینده را از صنعتی صلب و آسیب‌پذیر به اکوسیستمی منعطف و تاب‌آور تبدیل می‌کند؛ جایی که مزیت رقابتی دیگر تنها در تولید ارزان‌تر نیست، بلکه در توانایی ادامه تولید هنگام فروپاشی نظم معمول بازار معنا پیدا می‌کند.

بیش از یک سده است که معماری عملیاتی مجتمع‌های عظیم فولادسازی بر شالوده تجهیزات کلان‌مقیاس، فرایندهای تولید پیوسته و ساختارهای صلب بنا شده است که کمترین میزان انعطاف‌پذیری را در تقابل با تکان‌های ناگهانی محیطی بروز می‌دهند. در پارادایم مهندسی کلاسیک، واحدهای ذوب نظیر کوره‌های بلند و خطوط پیوسته نورد، منحصراً با منطق کارکرد بی‌وقفه توسعه یافته‌اند. استدلال حاکم بر این یکپارچگی ساختاری آن است که هرگونه توقف برنامه‌ریزی‌نشده و افت ناگهانی در ورودی‌های حیاتی اکوسیستم، علاوه بر تحمیل زیان‌های مالی هنگفت به ترازنامه بنگاه، به‌واسطه ایجاد شوک‌های حرارتی مخرب، آسیب‌های جبران‌ناپذیری بر کالبد فیزیکی و تجهیزات نسوز کارخانه وارد می‌آورد. با وجود این، اقتصاد کلان و ژئوپلیتیک انرژی در دوران معاصر، در حال گذار از یک پیچ حساس تاریخی است و عصر وفور، پیش‌بینی‌پذیری و پایداری زنجیره‌های تأمین خاتمه یافته و جای خود را به استیلای شوک‌های مزمن داده است.

بروز قطعی‌های مکرر شبکه سراسری برق در اوج تقاضای تابستان، افت بحرانی فشار گاز صنعتی در فصل سرما و نوسانات غیرمترقبه در لجستیک مواد، کارایی الگوهای سنتی را در صنعت فولاد عملاً مختل ساخته است. در همین راستا، تحلیل‌های جامع مؤسسه جهانی مکنزی درباره مدیریت ریسک و تاب‌آوری زنجیره ارزش به‌وضوح مبین آن است که تکان‌های محیطی و اقلیمی از پدیده‌هایی استثنایی خارج شده و مستقیماً به متغیرهای ثابت و تعیین‌کننده در معماری استراتژی عملیاتی سازمان‌ها مبدل شده‌اند. در این اتمسفر پراشوب، رویکرد راهبردی نوین برای رهبران صنعت فولاد، حرکت قاطع به سمت طراحی سازمان‌های منطبق با شرایط بحران، تحت عنوان سازمان‌های دوزیست است. در تبیین نظری این رویکرد، باید اذعان داشت که مفهوم سازمان دوزیست در ادبیات نوین مدیریت استراتژیک، مستقیماً از الگوهای تطبیق‌پذیر سیستم‌های بیولوژیک اقتباس شده است. یک ارگانیزم دوزیست، ذاتاً از دو سیستم تنفسی و حرکتی کاملاً مجزا بهره می‌برد که امکان بقا و تطبیق فوری زیستی را در دو محیط با شرایط کاملاً متضاد فراهم می‌آورد. بسط این استعاره بیولوژیک به صنعت پیچیده و سرمایه‌بری نظیر فولاد، دالت بر آن دارد که یک مجتمع صنعتی پیشرو باید در عمل مجز به یک سیستم‌عامل دوگانه باشد تا بتواند در زمان ثبات محیطی با حداکثر ظرفیت ممکن کار کند و به‌محض وقوع یک شوک بیرونی شدید، به‌جای فروپاشی سیستماتیک، بلافاصله به وضعیت بقای عملیاتی تغییر آرایش دهد. پژوهش‌های معتبر دانشگاه هاروارد در حوزه معماری تاب‌آوری کسب‌وکارها به‌صراحت تأکید دارند که این تغییر آرایش استراتژیک فراتر از یک واکنش منفعلانه، تصادفی یا صرفاً یک طرح مدیریت بحران منسجم بوده و مستلزم یک معماری پیش‌بینی‌شده است.

پیاده‌سازی عملیاتی این معماری، نیازمند دگرگونی بنیادین در سبک کالبد فیزیکی، سیستم مستقیم دوزیست زنجیره تأمین و الگوهای حاکمیت سازمانی خواهد بود. در کالبدشکافی رکن نخست این تحول ساختاری، اکنون تمرکز بر خلق انعطاف‌پذیری کالبدی و توسعه خطوط تولید ماژولار استوار است تا زنجیره فرایندی با افت یک متغیر فیزیکی، به‌صورت دومینیوار از مدار خارج نشود. در این مسیر، گذار تکنولوژیک از کوره‌های بلند سنتی به تکنولوژی کوره‌های قوس الکتریکی به‌عنوان یک الزام استراتژیک مطرح می‌شود که گزارش تخصصی گروه مشاوران پوستون پیرامون استراتژی‌های سازگاری در صنعت فولاد نیز بر اهمیت کلیدی آن صحنه می‌گذارد. تکنولوژی قوس الکتریکی انعطاف‌پذیری به‌مراتب بیشتری را در زمینه راه‌اندازی و توقف سریع متناسب با نوسانات شبکه انرژی ارائه می‌دهد. همگام با این تحول زیرساختی، از طریق ادغام سنسورهای پیشرفته اینترنت اشیا و الگوریتم‌های هوش مصنوعی با شبکه‌های هوشمند توزیع انرژی، مجتمع صنعتی قادر خواهد بود سیگنال‌های وضعیت افت بار را پیش از قطعی کامل رصد کند و به‌صورت کاملاً خودکار، فرمان توقف ایمن خطوط پرمصرف پایین‌دستی را بدهد. بدین ترتیب انرژی باقی‌مانده صرفاً جهت حفظ عملکرد قلب تپنده کارخانه متمرکز می‌گردد و این واکنش پیش‌دستانه، یک قطعی مخرب را به یک خواب زمستانی کنترل‌شده بدل می‌سازد. به‌موازات این انعطاف‌پذیری کالبدی، تحقق جامعیت پارادایم سازمان دوزیست مستلزم بازنگری عمیق در رکن دوم، یعنی ارتقای تاب‌آوری در شبکه عملیاتی و عبور از مدل‌های سنتی زنجیره تأمین است. در دهه‌های متمادی، فرمول برنده همواره بر پایه تولید ناب انعطاف‌پذیری کالبدی، در گزارش تخصصی خویش پیرامون تاب‌آوری زنجیره تأمین به‌صراحت بیان می‌دارد که زنجیره‌های تأمین ناب در عصر پراشوب کنونی فاقد کارایی لازم‌اند. تمرکز جابجانه بر کارایی عملیاتی موجب شده اکوسیستم‌های صنعتی در تقابل با اختلالات ناگهانی

از دستور کار نشست گروه هفت و رقابت بر سر مواد معدنی حیاتی گزارش می‌دهد:

پشت پرده انقلاب سبز؛ رقابت بر سر معادن آینده



نشست پیش‌روی کشورهای گروه هفت در فرانسه در شرایطی برگزار می‌شود که مواد معدنی حیاتی به یکی از مهم‌ترین موضوعات در معادلات انرژی، اقتصاد و ژئوپلیتیک جهان تبدیل شده‌اند. افزایش تقاضا برای خودروهای برقی، تجهیزات انرژی‌های تجدیدپذیر و فناوری‌های پاک، نیاز به موادی مانند لیتیوم، کبالت، نیکل و عناصر نادر خاکی را به شکل قابل توجهی افزایش داده و رقابت قدرت‌های اقتصادی برای تضمین دسترسی به این منابع را تشدید کرده است. کشورهای گروه هفت اکنون در تلاش هستند تا ضمن کاهش وابستگی به زنجیره‌های تأمین محدود، مسیرهای مطمئن‌تری برای تأمین مواد معدنی حیاتی ایجاد کنند. با این حال، مسئله تنها به امنیت عرضه محدود نمی‌شود؛ بلکه موضوعاتی همچون عدالت در بهره‌برداری از منابع، سهم کشورهای دارای ذخایر معدنی، حفاظت از محیط‌زیست و جلوگیری از شکل‌گیری وابستگی‌های جدید نیز به چالش‌های اصلی گذار جهانی به انرژی‌های پاک تبدیل شده‌اند. در همین راستا، نشست در این گزارش به بررسی ابعاد مختلف رقابت جهانی بر سر مواد معدنی حیاتی و چالش‌های پیش‌روی گذار به انرژی‌های تجدیدپذیر پرداخته است.

نیاز گسترده به مواد معدنی تنش‌آفرین خواهد شد

از نقاط جهان متمرکز شده است. در همین رابطه، چین حدود ۶۰ درصدی از تولید عناصر نادر خاکی و نزدیک به ۹۰ درصد ظرفیت فرآوری جهانی این عناصر را در اختیار دارد. همچنین، ایالات متحده آمریکا برای دست‌کم ۱۲ ماده معدنی حیاتی کاملاً وابسته به واردات بوده و در مورد نزدیک به ۳۰ ماده دیگر نیز بیش از ۵۰ درصد به واردات از دیگر کشورها متکی است.

نیمی از لیتیوم جهان در اختیار استرالیا

به گفته تحلیلگران شورای روابط خارجی آمریکا، محدودیت‌های مقطعی وضع‌شده بر صادرات گالیوم و زرمانیوم از سوی چین در سال ۲۰۲۴، زنگ خطر شوک‌های چندمیلیارد دلاری به زنجیره تأمین صنایع پیشرفته را به صدا درآورد. بر همین اساس مواد معدنی که زمانی تنها جنبه‌های علمی و فنی داشتند، اکنون به ابزاری برای تحقق اهداف قدرت و سیاست تبدیل شده‌اند.

در این میان، استرالیا در موقعیتی دوگانه و حساس قرار دارد. این کشور نزدیک به نیمی از لیتیوم جهان را تولید می‌کند و از ذخایر قابل‌توجهی از نیکل، کبالت، منگنز و عناصر نادر خاکی برخوردار است. راهبرد ملی مواد معدنی حیاتی استرالیا آشکارا این منابع را هم‌زمان یک فرصت اقتصادی و یک دارایی راهبردی تلقی کرده و بر ارتقای جایگاه این کشور در زنجیره ارزش و ایجاد توانمندی‌های بومی تأکید دارد. از سوی دیگر با اعضای توافق‌های دوجانبه اخیر استرالیا با ایالات متحده آمریکا، ژاپن، هند و اتحادیه اروپا، این کشور در نظر دارد جایگاه خود را به عنوان یک تأمین‌کننده قابل

گذار به تجدیدپذیرها، بزرگ‌ترین پروژه اخلاق‌مدارانه حال حاضر در مقیاس جهانی، قرار بود مسیری برای کاهش انتشار کربن و ترمیم رابطه انسان با محیط‌زیست باشد. با این حال، آنچه امروز در حال شکل‌گیری است، بیش از آنکه یک آرمان اخلاقی باشد، به عرضه‌ی تازه از رقابت‌های ژئوپلیتیک شباهت دارد؛ جایی که لیتیوم جای نفت را گرفته، کبالت جانشین زغال‌سنگ شده و سیستم سنتی استخراج، این‌بار با رنگ و لعابی و برجسب سبز احیا شده است. در حقیقت پشت پرده پرزرق‌وبرق فرایند کربن‌زدایی، حقیقتی نگران‌کننده نهفته و آن اینکه مواد معدنی مورد نیاز برای تحقق هدف‌گذاری برآیند انتشار کربن صفر کربن تنش‌های ژئوپلیتیک را افزایش داده است.

تقاضا برای مواد معدنی حیاتی با شتابی کم‌سابقه در حال افزایش است. برآوردهای آژانس بین‌المللی انرژی نشان می‌دهد در سناریوی دستیابی به هدف‌گذاری برآیند انتشار کربن صفر، تقاضا برای لیتیوم تا سال ۲۰۴۰ بیش از ۴۰۰ درصد برای کبالت حدود ۲۰۰ درصد و برای نیکل نزدیک به ۱۰۰ درصد افزایش خواهد یافت. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تولید یک خودروی الکتریکی به طور متوسط ۶ برابر بیشتر از خودروی دارای موتور احتراق داخلی به مواد معدنی نیاز دارد و ساخت یک نیروگاه بادی فراساحلی نیز تقریباً ۶ برابر مواد معدنی بیشتری نسبت به یک نیروگاه گازسوز مصرف می‌کند.

با وجود این جهش تقاضا، عرضه مواد معدنی به شدت در برخی

نگرانی بزرگ کشورهای تولیدکننده مواد معدنی

به همین دلیل استرالیا نمی‌تواند خود را صرفاً ناظر این تحولات بداند. این کشور هم یک قدرت معدنی بزرگ است و هم تجربه طولانی در بهره‌برداری از منابع طبیعی دارد؛ ترکیبی که تناقض‌های گذار به انرژی‌های تجدیدپذیر را آشکار می‌کند. به عبارت دیگر، آسیب به میراث طبیعی نشان می‌دهد که تمرکز صرفاً اقتصادی نمی‌تواند منطق غالب استخراج ذخایر معدنی باشد و به همین دلیل در سطح بین‌المللی، مشارکت‌های استرالیا علاوه بر قابلیت اتکا، براساس انصاف نیز ارزیابی خواهند شد. البته گزینه‌های جایگزینی نیز در این رابطه وجود دارد. در همین زمینه، پژوهشگران دانشگاه سازمان ملل پیشنهاد ایجاد صندوق جهانی مواد معدنی را مطرح کرده‌اند. در این صندوق، یک چارچوب همکاری محور برای مدیریت مواد معدنی حیاتی به عنوان دارایی‌های راهبردی مشترک، تثبیت بازارها، تضمین شفافیت و توزیع عادلانه منافع تدوین شده است. گام‌های اولیای کشورهای گروه هفت برای مواد معدنی حیاتی برخی دیگر از فعالان نیز خواستار ادغام نظام سیاست‌گذاری مواد معدنی در چارچوب نهادی مقابله با تغییرات اقلیمی جهان، همراه با رعایت استانداردهای الزام‌آور در حوزه حقوق کار، رضایت جوامع بومی و حفاظت از محیط‌زیست شده‌اند.

کشورهای گروه هفت نیز گام‌های اولیای در این مسیر برداشته‌اند و اصول بازارهای استاندارد محور مواد معدنی حیاتی را به رسمیت شناخته‌اند. در همین زمینه، کانادا تخصیص منابع مالی این بخش را به مشارکت جوامع بومی گروه رده است و انتظار می‌رود در کنفرانس آتی تغییرات اقلیمی سازمان ملل متحد، حکمرانی منابع به یکی از محورهای اصلی مذاکرات‌گذار عادلانه به تجدیدپذیرها تبدیل شود. این تحولات

امنیت زنجیره تأمین در اولویت گروه هفت

از سوی دیگر، کشورهای گروه هفت در برابر یک چالش اساسی قرار دارند. این کشورها از یک سو بر ضرورت تسریع گذار انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تأکید می‌کنند و از سوی دیگر باید اطمینان حاصل کنند که افزایش استخراج مواد معدنی مورد نیاز این گذار، به تشدید نابرابری‌های اجتماعی، تخریب محیط‌زیست و نادیده گرفتن حقوق جوامع محلی منجر نمی‌شود.

گذار سبز بدون عدالت امکان‌پذیر نیست

به همین دلیل انتظار می‌رود موضوع استانداردهای مسئولانه استخراج نیز در دستور کار این نشست قرار گیرد. طی سال‌های گذشته کشورهای صنعتی تلاش کرده‌اند چارچوب‌هایی برای شفافیت زنجیره تأمین، رعایت حقوق نیروی کار، مشارکت جوامع بومی و کاهش آثار زیست‌محیطی پروژه‌های معدنی تدوین کنند، اما چالش اصلی تبدیل این اصول به سازوکارهای عملی و الزام‌آور در سطح جهانی است.

هم‌زمان رقابت میان همکاری و حمایت‌گرایی نیز به یکی دیگر از موضوعات مهم تبدیل شده است. بسیاری از کشورهای گروه هفت با ارائه یارانه‌های گسترده و مشوق‌های مالی در تلاش هستند صنایع

در چنین شرایطی، نشست پیش‌روی کشورهای گروه هفت را می‌توان یکی از مهم‌ترین رویدادهای سیاسی و اقتصادی در تعیین آینده حکمرانی مواد معدنی حیاتی دانست. کشورهای عضو این گروه که بخش عمده‌ای از فناوری‌های پیشرفته، صنایع خودروهای برقی، تجهیزات انرژی‌های تجدیدپذیر و صنایع دفاعی جهان را در اختیار دارند، بیش از هر زمان دیگری نسبت به امنیت زنجیره تأمین مواد اولیه مورد نیاز خود حساس شده‌اند.

در سال‌های اخیر، وابستگی شدید کشورهای غربی به برخی تأمین‌کنندگان محدود، به‌ویژه چین در حوزه فرآوری عناصر نادر خاکی و برخی فلزات راهبردی، به یکی از نگرانی‌های اصلی سیاست‌گذاران تبدیل شده است. از این رو انتظار می‌رود سران گروه هفت در نشست آینده، برنامه‌هایی برای متنوع‌سازی منابع تأمین، افزایش سرمایه‌گذاری در پروژه‌های معدنی خارج از چین و توسعه ظرفیت‌های فرآوری داخلی را مورد بررسی قرار دهند.

یکی از مهم‌ترین محورهای مذاکرات، ایجاد زنجیره‌های تأمین «مطمئن و تاب‌آور» خواهد بود؛ مفهومی که طی سال‌های گذشته به یکی از کلیدواژه‌های سیاست صنعتی کشورهای غربی تبدیل شده است. این رویکرد به معنای کاهش وابستگی به یک کشور یا منطقه خاص و ایجاد شبکه‌ای از شرکای سیاسی و اقتصادی قابل اعتماد برای استخراج فرآوری و تجارت مواد معدنی حیاتی است.

با این حال، منتقدان معتقدند چنین راهبردی ممکن است رقابت ژئوپلیتیک بر سر منابع را تشدید کند. تلاش هم‌زمان قدرت‌های بزرگ برای تضمین دسترسی به ذخایر لیتیوم، کبالت، نیکل و عناصر نادر خاکی می‌تواند به شکل‌گیری رقابتی مشابه رقابت تاریخی بر سر نفت منجر شود؛ رقابتی که در آن کشورهای دارای ذخایر معدنی بار دیگر به میدان رقابت قدرت‌های جهانی تبدیل می‌شوند.

اتکا در جهانی که رقابت‌ها و تنش‌های ژئوپلیتیک در آن فزاینده است، تثبیت کند. ناگفته نماند که تأمین امنیت عرضه مواد معدنی حیاتی، تنها نیمی از ماجراست. چالش عمیق‌تر در این رابطه، بعد اخلاقی این روندگذار است. بر همین اساس، دبیرکل سازمان ملل متحد هشدار داده است که بسیاری از مواد معدنی حیاتی برای گذار به سمت انرژی‌های پاک در کشورهای یافت می‌شوند که جوامع محلی آن در پایین‌ترین سطوح زنجیره ارزش قرار دارد، حقوق آنها نادیده گرفته شده است و اغلب با شرایط نابرابر و سوءاستفاده مواجه شده‌اند. در عین حال، بدون اصلاحات بنیادین، گذار به تجدیدپذیرها می‌تواند همان بی‌عدالتی‌هایی را تثبیت کند که مدعی رفع آن‌هاست. البته این نگرانی‌هایی را فرضیه نیست. از معادن کبالت در جمهوری دموکراتیک کنگو گرفته تا شورمزارهای دارای ذخایر لیتیوم در ارتفاعات آند، یک الگوی تکرار شونده از جمله تخریب محیط زیست، ضعف حکمرانی شرکتی، ایجاد ارزش افزوده اندک برای جوامع بومی و بهره‌مندی محدود جوامع میزبان از پروژه‌های معدنی به چشم می‌خورد.

در همین راستا، اندیشکده «Natural Resource Governance Institute» هشدار می‌دهد که بسیاری از کشورهای دارای منابع معدنی همچنان گرفتار چرخه صادرات مواد معدنی به صورت خام هستند؛ این در حالی است که فرآوری مواد معدنی در صنایع پایین‌دستی و سود اصلی این کار نصیب برخی از کشورهای دیگر می‌شود.

هر چند ابتدایی، نشانه تغییر مفهومی است که در آن مواد معدنی دیگر صرفاً یک کالا نبوده بلکه به عنوان مولفه‌ای بنیادین در راهبرد جهانی

مقابل به بحران اقلیمی مطرح می‌شوند. برای استرالیا، این مقطع نیازمند خلاقیت دیپلماتیک است. این بدان معناست که دیپلماسی مواد معدنی نباید به تأمین قراردادهای فروش و کاهش ریسک زنجیره تأمین محدود شده بلکه باید به توزیع منافع، رضایت جوامع و مسئولیت‌پذیری بلندمدت معطوف شود.

در مسیر پیش‌رو، روشن است که مواد معدنی حیاتی می‌توانند به منبعی راهبردی تبدیل شوند. این مهم به صورت متمرکز انباشته شده و استخراج آن با هزینه‌های انسانی و اجتماعی قابل توجهی همراه است. در مقابل، مواد معدنی حیاتی می‌توانند به بنیانی برای رویکردی همکاری محور بدل شوند که در آن حاکمیت کشورها به رسمیت یافته، منافع جوامع محلی تأمین شده و الزامات اقلیمی به بهای نادیده گرفتن عدالت محقق نمی‌شوند. با این وجود، مسیر دوم دشوار است و به نهادهای نو، قواعد الزام‌آور و آمادگی برای تقسیم قدرت و سود نیاز دارد.

ناگفته نماند هزینه شکست به مراتب سنگین‌تر خواهد بود. به عبارت دیگر، هر مسیر گذاری که بر بی‌عدالتی استوار باشد، ناگزیر بنیان همان همکاری بین‌المللی‌ای را تضعیف می‌کند که تحقق آن به این همکاری وابسته است.

در جهانی که با شتاب به سوی دستیابی به برآیند انتشار کربن صفر حرکت می‌کند، مواد معدنی نهفته در دل زمین تعیین خواهند کرد که تأمین انرژی بر عهده چه کسی در آینده خواهد بود و مهم‌تر از همه، چه بر سر ارزش‌های حاکم بر آن در آینده خواهد افتاد.

سخن پایانی

گذار جهانی به انرژی‌های تجدیدپذیر تنها یک تحول فناورانه یا زیست‌محیطی نیست، بلکه بازتعریفی از مناسبات اقتصادی و ژئوپلیتیک جهان به شمار می‌رود. مواد معدنی حیاتی که امروز پایه توسعه فناوری‌های پاک هستند، می‌توانند به بستری برای همکاری‌های بین‌المللی و توسعه پایدار تبدیل شوند یا در صورت هم‌زمان رقابت میان همکاری و حمایت‌گرایی نیز به یکی دیگر از نود قواعد منصفانه و سازوکارهای شفاف، زمینه‌ساز رقابت‌های شدیدتر، تنش‌های ژئوپلیتیک و شکل‌گیری نابرابری‌های تازه

شوند.

موفقیت این گذار به میزان توانایی دولت‌ها و نهادهای بین‌المللی

در ایجاد توازن میان امنیت زنجیره تأمین، حفاظت از محیط

زیست، حقوق جوامع محلی و توزیع عادلانه منافع اقتصادی وابسته

است. تصمیماتی که امروز درباره حکمرانی مواد معدنی حیاتی اتخاذ

می‌شود، نه‌تنها آینده انرژی پاک، بلکه ساختار قدرت و همکاری در

اقتصاد جهانی دهه‌های آینده را نیز تعیین خواهد کرد.