

صنعت از ورود فناوری های فضایی به پایش صنایع فولاد گزارش می دهد

ماهورها؛ ناظران جدید آلایندگی فولاد

گروه معدن: با تشدید فشارهای جهانی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، صنعت فولاد بیش از گذشته زیر ذره‌بین نهادهای نظارتی قرار گرفته است. در این میان، فناوری‌های ماهورهای و سنسجش از دور، امکان پایش مستقل آلایندگی کارخانه‌ها و راستی‌آزمایی داده‌های زیست‌محیطی را فراهم کرده‌اند. همزمان با اجرای مقرراتی مانند سازوکار تنظیم مرزی کربن اتحادیه اروپا (CBAM)، داده‌های ماهورهای می‌توانند به عاملی اثرگذار بر شفافیت، هزینه‌های تجاری و جایگاه فولادسازان در بازار جهانی تبدیل شوند؛ تحولی که نشان می‌دهد عصر جدیدی از نظارت بر صنایع سنگین در حال شکل‌گیری است. **صنعت** در این گزارش، نقش ماهورها و فناوری‌های نوین در پایش آلایندگی صنایع فولاد و تاثیر آن بر رقابت‌پذیری این صنعت را بررسی می‌کند.

ماهورها در حال تبدیل‌شدن به ناظرانی بی‌طرف بر فراز دودکش‌های صنایع سنگین هستند؛ ناظرانی که می‌توانند میزان واقعی انتشار گازهای آلاینده مجتمع‌های فولادی و متالورژیکی را مستقل از گزارش‌های رسمی کارخانه‌ها ثبت کنند. با ورود فناوری‌های سنسجش از دور، هوش مصنوعی و ابزارهایی مانند TROPOMI، CO2M، عصر خوداظهاری سنتی صنایع در حال تغییر است و شفافیت مأموریت‌های آتی (CO2M)، عصر خوداظهاری سنتی صنایع در حال تغییر است و شفافیت فضایی به یکی از عوامل اثرگذار بر ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی و حتی رقابت‌پذیری صنایع فولاد تبدیل می‌شود.

سنسجش مستقل آلایندگی در عصر کربن

ایسن تحول صرفاً به معنای افزایش دقت در اندازه‌گیری آلاینده‌ها نیست؛ بلکه می‌تواند رابطه میان تولیدکنندگان فولاد، نهادهای نظارتی، سرمایه‌گذاران و خریداران جهانی را نیز تغییر دهد. در گذشته، بخش قابل توجهی از اطلاعات مربوط به میزان انتشار گازهای آلاینده در اختیار خود واحدهای صنعتی بود و نهادهای بیرونی عمدتاً بر داده‌های ارائه‌شده از سوی کارخانه‌ها تکیه می‌کردند. اکنون اما فناوری‌های فضایی امکان ایجاد یک لایه مستقل از اطلاعات را فراهم کرده‌اند؛ لایه‌ای که می‌تواند داده‌های زمینی را راستی‌آزمایی و در بر خور اختلاف میان گزارش رسمی و وضعیت واقعی آتمسفر را آشکار کند.

ماهورها؛ ناظران تازه صنایع سنگی

ابزارهای پایش فضایی، نحوه ارزیابی زیست‌محیطی صنایع سنگین را به‌صورت بنیادین دگرگون ساخته‌اند. پیش‌تر، سنسجش میزان آلایندگی مجتمع‌های متالورژیکی عمدتاً بر تخمین‌های درون‌سازمانی، مپایگن‌های ملی و محاسبات تئوریک استوار بود. اکنون آژانس فضایی ناسا با توسعه و پرتاب ابزارهای پیشرفته تشخیص گازهای گلخانه‌ای، امکان نقشه‌برداری دقیق‌تر و نقطه‌ای از انتشار گازهایی مانند متان و دی‌اکسیدکربن را فراهم کرده است. این تجهیزات که در مدار زمین مستقر می‌شوند، با اندازه‌گیری نحوه جذب نور خورشید در اتمسفر، امضاهای طیفی گازهای مختلف را شناسایی می‌کنند. هر گاز الگوی مشخصی در جذب طول موج‌های مختلف نور دارد و همین ویژگی به ابزارهای سنسجش از دور اجازه می‌دهد حضور و غلظت برخی گازها را در نقاط مشخص شناسایی کنند. داده‌های حاصل از این پایشگرها، تصویری مستقل از وضعیت انتشار گازهای آلاینده ارائه می‌دهند. در نتیجه، نهادهای نظارتی می‌توانند در کنار داده‌های زمینی و گزارش‌های کارخانه‌ها، از اطلاعات فضایی نیز برای بررسی میزان انتشار استفاده کنند. این موضوع به‌ویژه برای صنایعی مانند فولاد که فرآیند تولید آنها با مصرف بالای انرژی و انتشار قابل توجه گازهای مختلف همراه است، اهمیت بیشتری دارد. در واقع، استقرار این زیرساخت‌های نوین می‌تواند تعهدات اقلیمی صنایع را از یک وعده یا گزارش داخلی به موضوعی قابل‌سنسجش و قابل‌راستی‌آزمایی تبدیل کند. هرچه کیفیت و تفکیک مکانی داده‌های ماهورهای افزایش یابد، امکان شناسایی دقیق‌تر منابع انتشار نیز بیشتر خواهد شد.

اروپا؛ یکی از کانون‌های اصلی پایش فضایی

کانون اصلی این پایش‌های ماهورهای، مناطقی با تراکم بالای مجتمع‌های متالورژیکی و قوانین اقلیمی سخت‌گیرانه است. نشريات علمی کوپرنیک در بررسی‌های خود

نشان می‌دهند که قاره اروپا یکی از مناطق کلیدی برای ارزیابی‌های اتمسفری به‌شمار می‌رود؛ منطقه‌ای که هم از تراکم بالای صنایع سنگین بر خوددار است و هم سیاست‌های زیست‌محیطی و اقلیمی سخت‌گیرانه‌ای را دنبال می‌کند. ماهورهای نسل جدید با بهره‌گیری از طیف‌سنج‌های پیشرفته، می‌توانند توده‌های گاز ناشی از فعالیت‌های صنعتی را با دقت بیشتری شناسایی کنند. در چنین شرایطی، نقشه‌برداری دقیق از موقعیت کارخانه‌های فولاد و سایر واحدهای متالورژیکی، بستر لازم برای ایجاد یک پایگاه داده یکپارچه از منابع انتشار را فراهم می‌کند. اهمیت این موضوع در آن است که اطلاعات اتمسفری را می‌توان به موقعیت فیزیکی یک کارخانه یا مجتمع صنعتی مرتبط کرد. به این ترتیب، تغییرات غلظت گازها در یک منطقه می‌تواند در کنار اطلاعات مربوط به فعالیت واحدهای صنعتی همان منطقه قرار گیرد و تصویری دقیق‌تر از عملکرد زیست‌محیطی آنها ارائه دهد. در همین راستا، شکل ۱ موقعیت جغرافیایی مجتمع‌های آهن و فولاد مورد بررسی را در کشورهای مختلف اروپایی به تصویر می‌کشد. این اطلاعات مکانی، یکی از پایه‌های اصلی برای تحلیل داده‌های ماهورهای و مقایسه میزان انتشار میان واحدهای مختلف صنعتی است.

پایان دوران خوداظهاری‌های ناهمگون

پیش از توسعه این مأموریت‌های فضایی، مجتمع‌های صنعتی داده‌های آلایندگی خود را با روش‌های سنتی و ناهمگون به سامانه ثبت انتشار آلاینده‌های اروپا (EPTR Register) ارائه می‌دادند. این ناهمگونی‌ها، مقایسه مستقیم داده‌ها را دشوار می‌کرد. مستندات علمی نشان می‌دهند که کارخانه‌ها آمارآز روش‌های فنی یکسانی برای خوداظهاری استفاده نمی‌کنند. برخی واحدها میزان خروجی را به‌صورت مستقیم اندازه‌گیری می‌کنند و برخی دیگر بر محاسبات مهندسی، ضرایب انتشار و تخمین‌های فنی متکی هستند. این تفاوت در روش اندازه‌گیری می‌تواند باعث ایجاد عدم قطعیت در پایگاه‌های داده اقلیمی شود و مقایسه دقیق عملکرد واحدهای مختلف را دشوار کند. موضوع تنها به تفاوت روش‌های اندازه‌گیری محدود نمی‌شود. بررسی داده‌های تاریخی مجتمع‌ها نشان می‌دهد فرآیند گزارش دهی انتشار نیز در طول زمان با نوسانات ساختاری همراه بوده است. تغییر در ظرفیت تولید، نوع خوراک فناوری مورد استفاده، میزان فعالیت کوره‌ها و حتی روش محاسبه می‌تواند بر اعداد گزارش‌شده تاثیر بگذارد. به همین دلیل، شناسایی الگوهای پایدار در گزارش‌های رسمی، ضرورت استفاده از روش‌های مکمل حسابرسی و راستی‌آزمایی را افزایش داده است. پایش فضایی می‌تواند در این زمینه به‌عنوان یک لایه مستقل اطلاعاتی عمل کند. برای واکاوی این ناهمگونی، شکل ۲ روش‌های مختلف گزارش دهی انتشار مونوکسیدکربن در این تأسیسات را از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ مقایسه می‌کند.

هوش مصنوعی به کمک پایش ماهورهای آمد

در پاسخ به چالش‌های آماری و گزارش‌های پرکننده، ائتلاف‌های بین‌المللی و پلتفرم‌های مستقل، سامانه‌هایی را برای مدیریت و تحلیل داده‌های اقلیمی توسعه داده‌اند. یکی از شناخته‌شده‌ترین نمونه‌ها Climate TRACE است که با ترکیب تصاویر ماهورهای و

به همت رصدخانه فناوری و نوآوری شرکت فولاد هرمزگان انجام شد؛

برگزاری رویداد انتقال تکنولوژی با محوریت توسعه همکاری‌های فناورانه در صنعت فولاد



مذاکرات تخصصی بر مبنای پروژه‌های مشخص دنبال شود.

برگزاری جلسات B2B در روز دوم

در روز دوم رویداد، جلسات Business to Business (B2B) با هدف ایجاد ارتباط مستقیم میان شرکت‌های حاضر برگزار شد. در این جلسات، شرکت‌ها فرصت یافتند در خصوص پروژه‌های معرفی‌شده، راهکارهای پیشنهادی، توانمندی‌های فنی، ظرفیت همکاری و مسیرهای احتمالی اجرای پروژه با نمایندگان شرکت‌های فولادی حاضر در نشست گفت‌وگو و تبادل نظر کنند.

برگزاری این جلسات، امکان بررسی دقیق‌تر راهکارهای ارائه‌شده و شکل‌گیری ارتباطات مستقیم برای ادامه مذاکرات و همکاری‌های آتی را فراهم کرد.

گامی در مسیر توسعه زیست‌بوم فناوری صنعت فولاد

رویداد انتقال تکنولوژی را می‌توان گامی مؤثر در جهت تقویت ارتباط میان صنعت و شرکت‌های فناور، تسریع فرآیند حل مسائل صنعتی و استفاده هدفمند از ظرفیت‌های نوآوری و فناوری دانست. تجمیع نیازهای فناورانه چند شرکت بزرگ فولادی در یک رویداد مشترک می‌تواند از موازی‌کاری در فرآیند توسعه فناوری جلوگیری کرده و زمینه استفاده مشترک از راهکارهای موفق را در بخش‌های مختلف زنجیره فولاد فراهم کند. برگزاری این رویداد همچنین ظرفیت مناسبی برای شناسایی فناوری‌های قابل استفاده در صنعت، توسعه همکاری‌های بین‌شرکتی، حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان و حرکت از «شناسایی فناوری» به «اجرای پروژه فناورانه» ایجاد می‌کند.

با توجه به شناسایی ۲۸ پروژه در پنج محور تخصصی و برگزاری جلسات مستقیم BYB، انتظار می‌رود نتایج این رویداد در ادامه از طریق پیگیری پروژه‌ها، ارزیابی راهکارهای پیشنهادی و شکل‌گیری همکاری‌های مشترک میان شرکت‌های فولادی دنبال شود.

هوش مصنوعی، انتشار گازهای گلخانه‌ای را در سطح دایره‌ای‌های فیزیکی به‌صورت مستقل محاسبه می‌کند. این پلتفرم با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین، داده‌های متنوعی را در کنار یکدیگر قرار می‌دهد. شاخص‌هایی مانند امضاهای حرارتی کوره‌ها، فعالیت توده‌های دود، اطلاعات مکانی و سایر داده‌های مرتبط با فعالیت صنعتی می‌توانند در تحلیل میزان انتشار مورد استفاده قرار گیرند. این رویکرد باعث شده است که اطلاعات مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای تنها به داده‌های اعلام‌شده توسط شرکت‌ها محدود نباشد. در اختیار داشتن داده‌های مستقل، به سازمان‌های غیردولتی، پژوهشگران، سرمایه‌گذاران و حتی خریداران محصولات فولادی اجازه می‌دهد ردپای کربن کارخانه‌ها را با دقت بیشتری بررسی کنند. در نتیجه، ادغام هوش مصنوعی و سنسجش از دور در حال ایجاد نوعی مکانیسم حسابرسی مستمر است؛ مکانیسمی که می‌تواند معیارهای ارزیابی پایداری در صنایع متالورژی را تغییر دهد و مفهوم شفافیت زیست‌محیطی را از سطح گزارش‌های دوره‌ای به پایش مستمر نزدیک کند.

TROPOMI: مقایسه آسمان و زمین

صحت و کارایی عملیاتی این مدل‌های ماهورهای از طریق انطباق داده‌های فضایی با گزارش‌های میدانی در پژوهش‌های علمی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. محققان با استفاده از داده‌های ماهورهای TROPOMI، انتشار مونوکسیدکربن مجتمع‌های فولادسازی اروپا را با آمارهای ثبت‌شده در EPTRTR مقایسه کرده‌اند. مونوکسیدکربن به‌عنوان یکی از متغیرهای مهم در فرآیندهای متالورژیکی، می‌تواند اطلاعاتی درباره میزان فعالیت برخی فرآیندهای صنعتی و کوره‌های بلند ارائه دهد. مقایسه داده‌های ماهورهای با آمارهای رسمی این امکان را ایجاد می‌کند که اختلاف‌های احتمالی میان دو منبع داده شناسایی شود. یافته‌های این تحقیقات نشان می‌دهند مشاهدات فضایی می‌توانند انحرافات آماری موجود در خوداظهاری‌های صنعتی را آشکار کنند. اهمیت این موضوع در آن است که پایش ماهورهای دیگر تنها یک فناوری تحقیقاتی نیست، بلکه می‌تواند به ابزار مکمل برای نظارت بر عملکرد صنایع تبدیل شود. در همین راستا، شکل ۳ مقایسه‌تهایی میان تخمین‌های ماهورهای TROPOMI و گزارش‌های رسمی کارخانه‌ها در سال ۲۰۱۹ ارائه می‌دهد.

شفافیت فضایی به ابزار تجاری تبدیل می‌شود

اهمیت پایش ماهورهای زمانی بیشتر آشکار می‌شود که آن‌ را در کنار قوانین جدید تجارت

سخن پایانی

ورود ماهورها و هوش مصنوعی به حوزه پایش آلایندگی، قواعد نظارت بر صنعت فولاد را در حال تغییر است. از این پس، عملکرد زیست‌محیطی فولادسازان بیش از گذشته با داده‌های مستقل و قابل‌راستی‌آزمایی سنجیده خواهد شد؛ موضوعی که می‌تواند بر اعتبار و رقابت‌پذیری آنها در بازارهای جهانی اثر بگذارد.

در چنین شرایطی، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های کم‌کربن، پایش دقیق انتشار و شفافیت داده‌ها دیگر صرفاً یک الزام زیست‌محیطی نیست، بلکه به ضرورتی برای حفظ بازارهای صادراتی و حضور پایدار فولادسازان در اقتصاد کم‌کربن آینده تبدیل می‌شود.

قیچی قیمتی در زنجیره فولاد؛

وقتی نقد ینگی از مسیر توسعه خارج می‌شود

قیمت‌گذاری در زنجیره فولاد صرفاً تعیین چند عدد برای عرضه محصول مختلف نیست. در تغییر در

نسبت‌های قیمتی حلقه‌های این زنجیره می‌تواند بر سرمایه در گردش تولیدکنندگان، برنامه‌های توسعه، صادرات، اشتغال و در نهایت رقابت‌پذیری صنعت فولاد ایران اثر بگذارد.

این موضوع به‌ویژه درباره محصولاتی مانند اسلب اهمیت بیشتری پیدا می‌کند؛ محصولی راهبردی که از یک‌سوی حاصل فرایندی سرمایه‌بر و انرژی‌بر است و از سوی دیگر، ماده اولیه بخش مهمی از صنایع نورد و

محصولات تخت کشور محسوب می‌شود. مسئله از جایی آغاز می‌شود که به‌جای شکل‌گیری

قیمت بر مبنای واقعیت‌های اقتصادی هر محصول، شرایط عرضه و تقاضا، هزینه تولید و بازارهای داخلی و صادراتی، رابطه‌ای دستوری میان قیمت محصولات متفاوت زنجیره برقرار شود. در چنین شرایطی، ممکن است توازن اقتصادی میان حلقه‌های زنجیره به‌تدریج تغییر کند و بخشی از منابعی که باید صرف سرمایه در

گردش، نوسازی، توسعه ظرفیت و افزایش بهره‌وری شود، از مسیر طبیعی خود خارج شود. تغییر در قیمتی از منابعی که باید صرف سرمایه در گردش، نوسازی، توسعه ظرفیت و افزایش بهره‌وری شود، از مسیر طبیعی خود خارج شود.

حمایت از پایین‌دست یا جابه‌جایی ارزش در زنجیره؟

حمایت از صنایع پایین‌دستی، به‌ویژه صنایعی که با ایجاد ارزش افزوده و اشتغال به تکمیل زنجیره فولاد کمک می‌کنند، یک ضرورت اقتصادی است. اما حمایت زمانی پایدار خواهد بود که از مسیر افزایش بهره‌وری، توسعه فناوری، تسهیل سرمایه‌گذاری و ایجاد فضای رقابتی انجام شود.

پایین‌داشت‌گسترده دستوری قیمت یک حلقه برای ایجاد مزیت در حلقه‌ای دیگر، در بلندمدت الزاماً به تقویت کل زنجیره منجر نمی‌شود. چنین سیاستی می‌تواند به جابه‌جایی غیرطبیعی حاشیه سود میان حلقه‌ها، کاهش انگیزه سرمایه‌گذاری و ایجاد زمینه برای شکل‌گیری رانت در فاصله میان قیمت‌های دستوری و واقعیت بازار منجر شود. این مسئله درباره اسلب حساسیت بیشتری دارد. تولید اسلب نیازمند سرمایه‌گذاری سنگین، تجهیزات پیچیده، مصرف قابل توجه انرژی، تعمیرات مستمر و سرمایه در گردش بالاست. بنابراین هر سازوکار قیمت‌گذاری باید اقتصاد واقعی تولید این محصول و جایگاه آن در بازار داخلی و صادراتی را به رسمیت بشناسد.

نقد ینگی؛ سوخت توسعه یک صنعت

سرمایه‌بر

فولادسازی صنعتی سرمایه‌بر است. حفظ ظرفیت تولید، اجرای تعمیرات اساسی، سرمایه‌گذاری در پروژه‌های توسعه‌ای، حرکت به سمت فناوری‌های جدید، کاهش مصرف انرژی و ارتقای استانداردهای زیست‌محیطی، همگی نیازمند جریان پایدار منابع مالی هستند.

از این منظر، حاشیه سود بنگاه فولادی صرفاً عددی در صورت‌های مالی یا منفعتی متعلق به سهامدار نیست، بلکه بخشی از ارزش واقعی ایجاد شده در فرآیند تولید است. اگر این بخش از ارزش به‌طور نامعادل در دست یک بخش از جامعه باشد، به‌ویژه داندان قیمت پایه اسلب به محصولی با ساختار بازار و اقتصاد متفاوت، نیازمند بررسی دقیق آثار آن بر کل زنجیره است. اسلب و شمش اگرچه هر دو در زنجیره فولاد قرار دارند، اما بازار، کاربرد، ساختار عرضه و تقاضا و موقعیت صادراتی آنها الزاماً



یکسان نیست. بنابراین یکسان‌سازی یا وابسته‌سازی غیرمنطقی سازوکار قیمت‌گذاری این محصولات می‌تواند سیگنال‌های اقتصادی بازار را مخدوش کند.

زنجیره فولاد با تضعیف یک حلقه قوی‌تر نمی‌شود

مسئله اصلی نباید انتخاب میان تولیدکننده اسلب و صنایع پایین‌دستی باشد. یک سیاست صنعتی موفق باید شرایطی ایجاد کند که هر دو حلقه از مسیر افزایش بهره‌وری و ارزش افزوده رشد کنند.

صنایع پایین‌دستی قدرتمند به بالادست توانمند نیاز دارند و تولیدکننده بالادستی نیز برای استمرار رشد خود به بازار پایین‌دستی رقابتی و توسعه‌یافته وابسته است.

از همین رو، به‌جای انتقال دستوری حاشیه سود از یک حلقه به حلقه دیگر، می‌توان بر توسعه رقابت، کاهش هزینه‌های میادله، رفع موانع صادراتی، افزایش شفافیت معاملات و حمایت از سرمایه‌گذاری و فناوری

در کل زنجیره تمرکز کرد.

تصمیم امروز، ظرفیت تولید فردا

ایران طری دهه‌های گذشته منابع قابل توجهی برای ایجاد ظرفیت در صنعت فولاد سرمایه‌گذاری کرده است. حفظ این سرمایه ملی مستلزم سیاست‌هایی است که علاوه بر وضعیت امروز بازار، نیازهای فردای صنعت را نیز در نظر بگیرد.

سرمایه در گردش تولیدکنندگان اسلب، منابع مورد نیاز برای تعمیرات، نوسازی تجهیزات، پروژه‌های توسعه‌ای، ارتقای فناوری و حرکت به سمت تولید رقابت‌پذیرتر، بخشی از همین آینده است.

بنابراین بازنگری کارشناسی در فرمول‌هایی که تعادل اقتصادی زنجیره فولاد را تحت تأثیر قرار می‌دهند، مطالبه برای افزایش قیمت به هر شکل ممکن نیست؛ مطالبه برای حفظ منطق اقتصادی زنجیره‌ای است که یکی از مهم‌ترین پایه‌های تولید، صادرات و سرمایه‌گذاری صنعتی کشور محسوب می‌شود.

تنظیم بازار زمانی موفق است که به توسعه همه حلقه‌های زنجیره کمک کند، نه آنکه برای تقویت یک بخش، توان سرمایه‌گذاری بخش دیگری را محدود سازد.

صنعت فولاد ایران بیش از هر چیز به ثبات در سیاست‌گذاری، پیش‌بینی‌پذیری، شفافیت و احترام به منطق بازار نیاز دارد. اگر این چهار اصل در تصمیم‌گیری‌ها رعایت شود، نقدینگی نیز به‌جای حرکت به سمت رانت و واسطه‌گری، در همان مسیری قرار خواهد گرفت که اقتصاد ایران بیش از هر زمان دیگری به آن نیاز دارد: تولید، توسعه و ایجاد ارزش افزوده.