

لیتیوم؛ سوخت خاموش عصر هوش مصنوعی



دکتر جیمز ویت‌مور – کارشناس انرژی و فناوری

در طول تاریخ، هر انقلاب فناورانه با ماده‌ای کلیدی گره خورده است. انقلاب صنعتی با زغال‌سنگ، قرن بیستم با نفت، و امروز — عصر هوش مصنوعی — با لیتیوم تعریف می‌شود. این فلز سبک، که تا دهه پیش تنها در صنایع خاصی مانند شیشه‌سازی یا روان‌کننده‌ها کاربرد داشت، اکنون در قلب زیرساخت دیجیتال و قدرت پردازشی جهان جای گرفته است. تا چند سال پیش، لیتیوم را عمدتاً به عنوان ماده حیاتی باتری‌های خودروهای برقی می‌شناختیم، اما با انفجار کاربردهای هوش مصنوعی، به‌ویژه مدل‌های عظیم زبانی مانند GPT، نیاز به مراکز داده پر قدرت و ذخیره‌سازی انرژی پایدار، مصرف لیتیوم را به سطحی رسانده که پیش‌تر پیش‌بینی نشده بود.

۱. پیوند لیتیوم و زیرساخت هوش مصنوعی

مراکز داده‌ای که مدل‌های هوش مصنوعی را آموزش می‌دهند و اجرا می‌کنند، مصرف‌کنندگان پر انرژی هستند. برآوردها نشان می‌دهد یک مرکز داده پیشرفته می‌تواند به اندازه یک شهر کوچک برق مصرف کند. برای کاهش فشار بر شبکه برق و استفاده از منابع تجدیدپذیر مانند خورشید و باد، اپراتورهای سیستم‌های ذخیره انرژی عظیم دارند. اینجا همان نقطه‌ای است که لیتیوم وارد صحنه می‌شود.

باتری‌های لیتیوم –یونی، با چگالی انرژی بالا، طول عمر مناسب و کارایی در شارژ و دشارژ سریع، تبدیل به فناوری غالب در ذخیره‌سازی انرژی مراکز داده شده‌اند. هر چه تقاضا برای خدمات هوش مصنوعی افزایش می‌یابد، نیاز به این باتری‌ها نیز بیشتر می‌شود.

۲. رشد مصرف؛ از خودروهای برقی تا سرورهای هوشمند

پیش‌بینی‌های بین‌المللی نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۳۰، حدود ۲۰ درصد از تقاضای جهانی لیتیوم می‌تواند مستقیماً یا غیرمستقیماً به زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و هوش مصنوعی مرتبط باشد. این رقم در حال حاضر کمتر از حد درص است، اما رشد نمایی محتوای تولیدشده توسط هوش مصنوعی، تحلیل داده‌های کلان و اینترنت اشیا، این سهم را به سرعت افزایش خواهد داد.

خودروهای برقی همچنان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده باقی خواهند ماند، اما نقش تازه لیتیوم در «سوخت‌رسانی» به معزهای دیجیتال جهان، تعادل بازار را تغییر می‌دهد. شرکت‌هایی که پیش‌تر به ندرت در بخش معدن سرمایه‌گذاری می‌کردند، اکنون به دنبال تأمین مستقیم منابع لیتیوم برای پروژه‌های ابری و پردازشی خود هستند.

۳. زنجیره تأمین و چالش‌های ژئوپلیتیک

منابع لیتیوم به‌طور متمرکز در چند کشور اصلی قرار دارند: استرالیا، شیلی، آرژانتین و چین. این تمرکز جغرافیایی، خطرات ژئوپلیتیک و اقتصادی قابل توجهی ایجاد می‌کند. اختلاف در عرضه، چه به دلیل سیاست‌های صادراتی و چه به دلیل بی‌ثباتی داخلی، می‌تواند موجی از افزایش قیمت را در سراسر صنایع وابسته به لیتیوم ایجاد کند.

در عصر هوش مصنوعی، این به معنای تأخیر در توسعه زیرساخت‌ها، هزینه‌های بالاتر برای ارائه‌دهندگان خدمات و حتی محدودیت در دسترسی به فناوری‌های پیشرفته برای کشورهایی است که توان رقابت در بازار تأمین مواد خام را ندارند.

۴. به زبست محیطی استخراج لیتیوم

استخراج لیتیوم، به‌ویژه از منابع شورابه‌ای (Brine) در آمریکای جنوبی، مصرف بالای آب و تأثیرات جدی بر اکوسیستم‌های محلی دارد. در مناطقی چون صحرای آتاکاما، برداشت آب برای استخراج لیتیوم می‌تواند منابع آبی کمیاب را تهدید کند و زندگی جوامع بومی و حیات وحش را تحت فشار بگذارد.

با افزایش تقاضا برای لیتیوم، فشار بر محیط زیست نیز بیشتر خواهد شد. این موضوع بحث‌های اخلاقی و پایداری را در حوزه فناوری برانگیخته است: آیا واقعاً می‌توان توسعه هوش مصنوعی را «سبز» نامید، اگر ماده حیاتی آن با هزینه‌های سنگین زیست‌محیطی تأمین می‌شود؟

۵. بازیافت و اقتصاد دایره‌ای

یکی از امیدهای اصلی برای کاهش فشار بر منابع لیتیوم، بازیافت باتری‌های فرسوده است. فناوری‌های بازیافت پیشرفته می‌توانند تا ۹۵ درصد لیتیوم موجود را بازیابی کنند. با این حال، زیرساخت‌های بازیافت جهانی هنوز در مراحل ابتدایی است و حجم باتری‌هایی که به پایان عمر خود می‌رسند، تا نیمه دهه ۲۰۳۰ به اندازه‌ای نخواهد بود که بتواند نیازهای رو به رشد را پوشش دهد. برای مراکز داده و شرکت‌های فعال در حوزه هوش مصنوعی، سرمایه‌گذاری در چرخه کامل عمر باتری — از طراحی ماژول‌های قابل بازیافت تا بازیابی مواد — تنها از نظر زیست‌محیطی، بلکه از منظر امنیت تأمین نیز ضروری است.

۶. نوآوری در شیمی باتری‌ها

تحقیقات در زمینه جایگزین‌های لیتیوم با شدت بیشتری ادامه دارد. فناوری‌هایی مانند باتری‌های سدیم –یونی یا حالت جامد، نوید کاهش وابستگی به لیتیوم را می‌دهند. هرچند این فناوری‌ها هنوز از نظر چگالی انرژی و طول عمر، با باتری‌های لیتیوم –یونی فاصله دارند، اما پیشرفت سریع آن‌ها می‌تواند در دهه آینده تعادل مصرف مواد خام را تغییر دهد. برای هوش مصنوعی، این به معنای انعطاف بیشتر در طراحی زیرساخت‌ها و کاهش آسیب‌پذیری در برابر شوک‌های بازار لیتیوم خواهد بود.

۷. نقش سیاست‌گذاری و همکاری جهانی

دولت‌ها نقش مهمی در شکل‌دهی آینده مصرف لیتیوم دارند. از یک سو، سیاست‌های صنعتی می‌توانند مشوق سرمایه‌گذاری در معادن جدید، فرآوری داخلی و بازیافت باشند؛ از سوی دیگر، استانداردهای زیست‌محیطی سختگیرانه می‌توانند از آسیب‌های اجتماعی و اکولوژیکی بکاهند. در سطح بین‌المللی، همکاری برای ایجاد «استانداردهای استخراج پایدار» و «چارچوب‌های تجارت منصفانه» می‌تواند از بروز رقابت مخرب و بحران‌های انرژی عرضه جلوگیری کند. این همکاری به‌ویژه در عصر هوش مصنوعی که زیرساخت آن جهانی و به‌هم‌پیوسته است، اهمیت مضاعف دارد.

۸. آینده‌ای که باید بسازیم

اگرچه لیتیوم امروز شاه‌کلید توسعه هوش مصنوعی و ذخیره‌سازی انرژی است، نباید فراموش کنیم که هر وابستگی مطلق به یک ماده خام، ریسک‌های استراتژیک ایجاد می‌کند. تجربه تاریخی نفت در قرن بیستم نشان داد که امنیت انرژی بدون تنوع منابع و نوآوری فناورانه شکننده است.

۹. آینده‌ای پایدار برای هوش مصنوعی نیازمند سه رکن است:

بهینه‌سازی مصرف انرژی در مراکز داده از طریق سخت‌افزار کم‌مصرف و الگوریتم‌های کارآمد.

گسترش بازیافت و اقتصاد دایره‌ای برای کاهش نیاز به استخراج جدید. سرمایه‌گذاری در فناوری‌های جایگزین برای کاهش انحصار لیتیوم.

۱۰. نتیجه‌گیری

هوش مصنوعی در حال تبدیل شدن به زیرساخت حیاتی قرن بیست و یکم است، اما این زیرساخت به یک ماده معدنی محدود و آسیب‌پذیر وابسته است. لیتیوم، همانند نفت برای قرن بیستم، قدرت و ضعف را هم‌زمان به ارمان می‌آورد. بدون مدیریت هوشمندانه این منبع، ممکن است آینده‌ای بسازیم که از نظر فناورانه پیشرفته، اما از نظر زیست‌محیطی و اجتماعی ناپایدار باشد.

چالش اصلی پیش روی ما این است که چگونه می‌توانیم هم‌زمان با پیشروی در مرزهای هوش مصنوعی، مسئولیت خود را در قبال زمین و نسل‌های آینده فراموش نکنیم. پاسخ این پرسش نه تنها سرنوشت لیتیوم، بلکه مسیر کلی تمدن دیجیتال را تعیین خواهد کرد.

مصروف فلزات در بزرگ‌ترین شرکت تجارت الکترونیک جهان را بررسی کرد:

فولاد، مس و آلومینیوم در خدمت امپراتوری آمازون



انبارها؛ بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان فولاد آمازون

انبارداری و لجستیک، بیشترین سهم را در مصرف فلزات این شرکت دارد. هزاران مرکز پردازش سفارش و انبار در سراسر جهان برای نگهداری میلیون‌ها قلم کالا به شبکه گسترده‌ای از قفسه‌های فولادی، سازه‌های فلزی، تجهیزات مکانیزه و سیستم‌های انتقال کالا مجهز شده‌اند.

بر اساس برآوردهای مهندسی، تنها بخش قفسه‌بندی انبارهای آمازون در سال ۲۰۲۵ حدود ۴۰۰ تا ۶۰۰ هزار تن فولاد مصرف کرده است؛ زیرا هر مترمربع فضای ذخیره‌سازی صنعتی به‌طور متوسط چندین کیلوگرم فولاد در قالب ستون‌ها، تیرهای نگهدارنده، طبقات فلزی و تجهیزات ایمنی نیاز دارد. افزایش استفاده از ربات‌های انبارداری نیز اگرچه بهره‌وری عملیاتی را بالا برده، اما نیاز به تجهیزات فلزی، سازه‌های نگهدارنده و زیرساخت‌های جدید را افزایش داده است.

توزیع و هزاران مرکز عملیاتی، به یکی از مصرف‌کنندگان مهم فولاد، آلومینیوم و مس در اقتصاد جهانی تبدیل شده است.

رشد سریع زیرساخت‌های آمازون در سال‌های ۲۰۲۴ و ۲۰۲۵، این شرکت را به یکی از محرک‌های مهم تقاضای فلزات صنعتی تبدیل کرده است. توسعه مراکز پردازش سفارش، افزایش ظرفیت انبارهای هوشمند، گسترش مراکز داده(AWS) و نوآوری ناوگان حمل‌ونقل، نیاز این شرکت به محصولات فولادی، ورق، پروفیل، لوله، کابل‌های مسی و قطعات آلومینیومی را افزایش داده است. در این میان، فولاد همچنان اصلی‌ترین فلز مصرفی آمازون محسوب می‌شود؛ زیرا بخش عمده زیرساخت‌های فیزیکی این شرکت از سازه‌های فولادی، قفسه‌بندی‌های سنگین، تجهیزات انتقال کالا و بدنه وسایل حمل‌ونقل تشکیل شده است.

بررسی ساختار فیزیکی عملیات آمازون نشان می‌دهد بخش

گسترش اقتصاد دیجیتال، رشد تجارت الکترونیک و سرمایه‌گذاری سنگین در هوش مصنوعی، معادلات سنتنی بازار فلزات را دگرگون کرده است. امروز شرکت‌های فناوری دیگر تنها مصرف‌کننده خدمات و تجهیزات نیستند، بلکه با توسعه انبارهای هوشمند، مراکز داده، ناوگان حمل‌ونقل و زیرساخت‌های لجستیکی، به بازیگران مهم بازار فولاد، مس و آلومینیوم تبدیل شده‌اند. مصروف در این گزارش، با بررسی روند توسعه آمازون به‌عنوان بزرگ‌ترین شرکت تجارت الکترونیک جهان، نشان می‌دهد چگونه این غول فناوری از یک پلتفرم فروش آنلاین فراتر رفته و به یکی از محرک‌های اصلی تقاضای جهانی فلزات پایه تبدیل شده است؛ تغییری که آثار آن از صنایع معدنی و فولادی تا زنجیره تأمین جهانی قابل مشاهده است.

آمازون در سال ۲۰۲۴ با درآمد سالانه ۶۳۸ میلیارد دلار، بیش از ۱.۵۵ میلیون نیروی انسانی و شبکه‌ای گسترده از مراکز لجستیکی، انبارها، ناوگان حمل‌ونقل و مراکز داده، یکی از بزرگ‌ترین مجموعه‌های صنعتی – خدماتی جهان بود. این شرکت در سال ۲۰۲۵ با رشد درآمدی و توسعه زیرساخت‌ها، به حدود ۷۰۵ میلیارد دلار درآمد سالانه و بیش از ۱.۶ میلیون کارمند رسید. بررسی عملکرد عملیاتی این غول تجارت الکترونیک نشان می‌دهد مصرف فلزات آن از حدود ۲.۱ میلیون تن در سال ۲۰۲۴ به حدود ۲.۳ میلیون تن در سال ۲۰۲۵ افزایش یافته است که بیش از ۸۵ درصد آن مربوط به فولاد مورد استفاده در سازه‌های انبار، قفسه‌های فلزی، تجهیزات لجستیکی، کامیون‌ها، تریلرها و مراکز داده بوده است. آمازون با ناوگانی شامل حدود ۴۰ هزار کامیون و کشتنده، بیش از ۱۰۰ هزار تریلر، حدود ۲۴۰ هزار ون

در بخش حمل‌ونقل، ناوگان زمینی آمازون نقش مهمی در مصرف فلزات دارد. کامیون‌ها، کشتنده‌ها و تریلرهای مورد استفاده برای انتقال کالا میان مراکز توزیع، از حجم بالایی از فولاد، آلومینیوم و مس تشکیل شده‌اند. با فرض وزن متوسط ۱۰ تا ۱۵ تن برای هر کامیون سنگین و ۵ تا ۷ تن برای هر تریلر، ناوگان حمل‌ونقل آمازون در سال ۲۰۲۵ دارای صدها هزار تن فلز به‌کاررفته در بدنه، شاسی، موتور، سیستم تعلیق و تجهیزات جانبی بوده است. علاوه بر این، حدود ۲۴۰ هزار ون تحویل کالا که بخش مهمی از مرحله پایانی زنجیره توزیع را بر عهده دارند، به مصرف قابل توجهی از فولاد و آلومینیوم نیاز دارند. توسعه خودروهای برقی در ناوگان آمازون نیز مصرف مس را افزایش داده است؛ زیرا هر خودروی برقی به‌طور متوسط چند برابر یک خودروی احتراقی مس در سیم‌کشی و قطعات الکتریکی مصرف می‌کند.

مراکز داده(AWS) یکی دیگر از بخش‌های مهم مصرف فلزات آمازون محسوب می‌شوند. رشد سریع خدمات ابری و هوش مصنوعی موجب شده سرمایه‌گذاری این شرکت در مراکز داده افزایش یابد و ساخت این مراکز نیازمند حجم قابل توجهی فولاد ساختمانی، کابل‌های مسی، تجهیزات سرمایشی و آلیاژهای آلومینیومی باشد. برآورد می‌شود در سال ۲۰۲۵ حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ هزار تن از مصرف فلزات آمازون به توسعه مراکز داده و زیرساخت‌های فناوری اختصاص یافته باشد. افزایش تقاضای پردازش داده و توسعه نسل جدید سرورها می‌تواند این بخش را در سال‌های آینده به یکی از سریع‌ترین حوزه‌های رشد مصرف مس و آلومینیوم تبدیل کند.

ترکیب مصرف فلزات آمازون نشان می‌دهد فولاد با سهمی حدود ۸۵ درصد همچنان ماده اصلی زیرساخت‌های این شرکت است، اما نقش فلزات غیر آهنی در حال افزایش است. آلومینیوم

به دلیل وزن پایین‌تر در ساخت خودروهای حمل‌ونقل، تجهیزات الکتریکی و برخی قطعات مراکز داده اهمیت بیشتری پیدا کرده و مس نیز به دلیل استفاده گسترده در کابل‌ها، سیستم‌های برق‌رسانی، خودروهای برقی و تجهیزات پردازشی، یکی از فلزات استراتژیک زنجیره تأمین آمازون محسوب می‌شود. **۹. زنجیره تأمین جهانی؛ موتور پنهان مصرف فلزات آمازون** با ادامه روند توسعه تجارت الکترونیک، افزایش سرمایه‌گذاری در هوش مصنوعی و گسترش شبکه لجستیکی، انتظار می‌رود مصرف فلزات آمازون در سال‌های آینده رشد بیشتری داشته باشد. بر اساس سناریوی رشد فعلی، مصرف فلزات این شرکت می‌تواند از حدود ۲.۳ میلیون تن در سال ۲۰۲۵ به حدود ۲.۵ تا ۳.۷ میلیون تن در سال ۲۰۲۶ برسد. در این مسیر، فولاد همچنان بیشترین سهم را حفظ خواهد کرد، اما رشد مصرف مس و آلومینیوم به دلیل توسعه مراکز داده و حمل‌ونقل برقی، با سرعت بیشتری نسبت به گذشته ادامه خواهد یافت.

مصرف فلزات آمازون تنها به دارایی‌هایی که مستقیماً در اختیار این شرکت قرار دارد محدود نمی‌شود، بلکه شبکه عظیم تأمین‌کنندگان آن نیز سهم قابل توجهی در این تقاضا دارد. صدها شرکت فعال در زمینه تولید قفسه‌های صنعتی، تجهیزات انبارداری، خودروهای حمل‌ونقل، کانستینرها، تجهیزات مکانیکی، سامانه‌های اتوماسیون و تجهیزات الکتریکی، محصولات خود را با استانداردهای مورد نیاز آمازون تولید می‌کنند. به همین دلیل، هر تصمیم این شرکت برای توسعه یک مرکز توزیع جدید یا افزایش ظرفیت خدمات ابری، به سرعت در زنجیره تأمین فولاد، آلومینیوم و مس بازتاب پیدا می‌کند.

در سال‌های اخیر، آمازون علاوه بر خرید مستقیم تجهیزات، قراردادهای بلندمدتی با تولیدکنندگان تجهیزات لجستیکی،

رباتیک و اتوماسیون؛ فلزات در خدمت بهره‌وری

۱. تأثیر آمازون بر بازار جهانی فولاد

اگرچه مصرف سالانه حدود ۲.۳ میلیون تن فلز در مقایسه با تولید جهانی فولاد که بیش از ۱.۸ میلیارد تن است، سهم کوچکی به نظر می‌رسد، اما ویژگی مهم آمازون در رشد پیوسته و قابل پیش‌بینی تقاضاست. برخلاف صنایع ساختمانی که مصرف آن‌ها به چرخه‌های اقتصادی وابسته است، توسعه تجارت الکترونیک و خدمات ابری باعث شده نیاز این شرکت به زیرساخت‌های جدید تقریباً هر سال افزایش یابد. به همین دلیل، تولیدکنندگان فولادهای ساختمانی، ورق‌های صنعتی، پروفیل‌های سنگین و تجهیزات فلزی، آمازون را به عنوان یکی از مشتریان راهبردی خود در نظر می‌گیرند. رشد این شرکت می‌تواند بر بازار فولادهای باکیفیت، فولادهای مقاوم و محصولات مهندسی اثرگذار باشد؛ به‌ویژه در آمریکای شمالی و اروپا که بخش عمده سرمایه‌گذاری‌های جدید AWS و مراکز لجستیکی در آن‌ها انجام می‌شود.

افزایش مصرف فلزات توسط شرکت‌هایی مانند آمازون، پیام مهمی برای بخش معدن جهان دارد. در حالی که تقاضای سنتنی ناشی از ساخت‌وساز در برخی کشورها با کاهش مواجه شده، اکنون صنایع

آمازون امروز تنها یک غول تجارت الکترونیک نیست، بلکه به یکی از عوامل اثرگذار بر بازار جهانی فلزات و زنجیره تأمین مواد اولیه تبدیل شده است. توسعه مستمر انبارهای هوشمند، مراکز داده، ناوگان حمل‌ونقل برقی و زیرساخت‌های هوش مصنوعی، این شرکت را به مصرف‌کننده‌ای راهبردی برای فولاد، مس و آلومینیوم بدل کرده و نشان می‌دهد اقتصاد دیجیتال بیش از هر زمان دیگری با صنایع