

هوش مصنوعی و اقتصاد انرژی

فناوری‌های هوش مصنوعی علاوه بر رونق اقتصادی، نیاز به منابع عظیم انرژی را تشدید و مسیر گذار به آینده پایدار را نسبت به گذشته دشوارتر کرده‌اند

مسعود علیپور اقدم

روزنامه نگار

هوش مصنوعی دیگر افسانه آزمایشگاه‌ها یا رؤیای آینده نیست؛ بلکه اکنون به قلب زندگی روزمره ما آمده و جهان را با سرعتی سرسام‌آور دگرگون کرده است. اما این فناوری جذاب، پشت پرده چهره‌ای هراس‌انگیز دارد: هیولایی برق‌خوار که شبکه‌های فرسوده جهان را زیر فشار می‌برد. تازه‌ترین گزارش آژانس بین‌المللی انرژی نشان می‌دهد مراکز داده و پردازنده‌های قدرتمند هوش مصنوعی در حال آغاز جنگی پنهان بر سر انرژی‌اند؛ جنگی که می‌تواند آینده اقتصاد، اقلیم و امنیت جهانی را رقم بزند. پرسش بزرگ این است: آیا زیرساخت‌های برق توان تاب آوردن دارند، یا شعله‌های این انقلاب پیش از شکوفایی خاموش خواهند شد؟

ولع بی‌پایان مراکز داده

مراکز داده، قلب تپنده هوش مصنوعی‌اند. این ساختمان‌های عظیم پر از هزاران سرور، بی‌وقفه پیام‌ها، تصاویر و جست‌وجوهای ما را پردازش می‌کنند. با ظهور مدل‌های زبانی بزرگ، این مراکز دیگر مصرف‌کننده‌ای معمولی نیستند، بلکه به موجوداتی برق‌خوار بدل شده‌اند. پردازنده‌های گرافیکی که روزگاری برای بازی‌های ویدیویی ساخته می‌شدند، اکنون ستون فقرات هوش مصنوعی هستند. آموزش یک مدل پیشرفته مانند GPT-۴ به خوشه‌ای از ۲۵ هزار تراشه نیاز داشت که حدود ۲۲ مگاوات برق مصرف کرد؛ معادل توان لازم برای صدها ایستگاه شارژ خودروهای برقی.

اما این تنها مرحله آموزش است. مصرف اصلی در استفاده روزانه رخ می‌دهد؛ جایی که میلیاردها پرس‌وجوی کاربران انرژی را می‌بلعند. هر پرسش هوش مصنوعی حدود ده برابر یک جست‌وجوی ساده گوگل برق می‌خواهد. وقتی این رقم در مقیاس میلیاردها تعامل روزانه ضرب شود، به عددی نجومی می‌رسیم. آمار آژانس بین‌المللی انرژی نشان می‌دهد در سال ۲۰۲۴، مصرف مراکز داده به ۴۱۵ تراوات‌ساعت رسید، معادل ۱.۵ درصد کل مصرف جهانی برق. این رقم تا سال ۲۰۳۰ می‌تواند دو برابر شود و به اندازه کل مصرف سالانه کشوری چون ژاپن برسد.

فشار طاقت‌فرسا بر شبکه‌ها

شبکه‌های برق جهان برای چنین عطشی ساخته



جست‌وجو برای ترکیب انرژی

پرسش کلیدی این است: چگونه باید این هیولا را تغذیه کرد؟ هیچ منبعی به تنهایی پاسخگو نیست، بلکه ترکیبی متنوع و هوشمندانه نیاز است.

تجدیدپذیرها در خط مقدم‌اند. خورشید و باد اکنون ارزان‌تر و سریع‌تر از همیشه توسعه می‌یابند و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۳۵ نیمی از رشد تقاضای مراکز داده را تأمین کنند. غول‌های فناوری با سرمایه‌گذاری‌های عظیم، پروژه‌های خورشیدی و بادی را در نقاط مختلف جهان پیش می‌برند. مزارع خورشیدی گوگل در نوادا و توربین‌های بادی مایکروسافت در اسکاندیناوی تنها بخشی از این تلاش‌اند.

اما محدودیت‌ها آشکار است. خورشید همیشه نمی‌تابد و باد همیشه نمی‌وزد. گاز طبیعی به‌عنوان پشتیبان پایدار وارد میدان می‌شود، هرچند وابستگی به آن در تضاد با اهداف اقلیمی است. در افق آینده، فناوری‌های نو مانند راکتورهای هسته‌ای کوچک و انرژی زمین‌گرمایی امیدهای تازه‌ای هستند. مایکروسافت و گوگل میلیاردها دلار روی این گزینه‌ها سرمایه‌گذاری کرده‌اند. اگر موفق شوند، شاید بتوان مراکز داده را مستقیماً با انرژی پاک و بی‌وقفه تغذیه کرد.

نشده‌اند. آن‌ها سال‌ها پیش طراحی شدند، زمانی که رشد تقاضا آرام و قابل پیش‌بینی بود. اکنون، هجوم مراکز داده به معنای تمرکز عظیم مصرف در نقاط خاص است؛ خوشه‌هایی که می‌توانند کل یک منطقه را فلج کنند. در ویرجینیای شمالی، اتصال یک مرکز داده تازه به شبکه تا هفت سال طول می‌کشد؛ در هلند این زمان به یک دهه می‌رسد. زنجیره تأمین قطعاتی مانند ترانسفورماتورهای بزرگ تحت فشار است و زمان تحویل آن‌ها دو برابر شده است. این موانع نه‌تنها سرعت توسعه را کند می‌کنند، بلکه خطر خاموشی را نیز افزایش می‌دهند. آژانس بین‌المللی انرژی برآورد می‌کند تا سال ۲۰۳۰ حدود یک‌پنجم پروژه‌های مراکز داده با تأخیر جدی روبه‌رو شوند. آمریکا، چین و اروپا اکنون ۸۵ درصد مصرف مراکز داده را به خود اختصاص داده‌اند. فشار اصلی بر دوش اقتصادهای پیشرفته خواهد بود، در حالی که کشورهای در حال توسعه تنها سهم کوچکی از این رشد را پوشش می‌دهند. این شکاف دیجیتال، خطر عقب‌ماندگی جهانی را افزایش می‌دهد. فاتح بیرونی، هوش مصنوعی وجود ندارد. این است: «بدون انرژی، هوش مصنوعی وجود ندارد.» این پیام روشن است؛ اگر شبکه‌ها تاب نیاورند، انقلاب دیجیتال نیمه‌تمام می‌ماند.

فشار مضاعف هوش مصنوعی بر شبکه برق ایالات متحده

شبکه برق و زیرساخت‌های انرژی ایالت‌ها در آستانه تحمل قرار دارند؛ زیرا غول‌های فناوری با سرعتی سرسام‌آور مراکز داده و توان پردازشی خود را گسترش می‌دهند

تنها رشد اقتصادی ایجاد می‌کند، بلکه با اتوماسیون گسترده و افزایش سریع بهره‌وری، سرعت اقتصاد را به سطحی بی‌سابقه می‌رساند. در دوران Y2K، هیچ‌کس انتظار نداشت وب بتواند چنین تأثیری داشته باشد، اما حالا در سیلیکون ولی، این پیش‌بینی‌ها به باور غالب تبدیل شده است. آمریکا اکنون در مرحله‌ای از سرمایه‌گذاری بی‌سابقه قرار دارد؛ مرحله‌ای که می‌تواند مسیر اقتصاد را بازتعریف کند و در عین حال بخش‌های سنتی را تحت فشار شدید قرار دهد. خانه‌سازها و کسب‌وکارهای کوچک، در مواجهه با نرخ‌های بالا و هزینه‌های انرژی سرسام‌آور، به سختی نفس می‌کشند، در حالی که مراکز داده و غول‌های پردازش با سرعتی برق‌آسا رشد می‌کنند و اقتصاد کشور را در دست می‌گیرند. مراکز داده‌ای که زمانی تنها بار هزینه‌های فناوری را به دوش می‌کشیدند، حالا تبدیل به قلب تپنده رشد اقتصادی شده‌اند؛ موتوری که نه تنها مصرف و ساخت‌وساز مسکن را تحت تأثیر قرار داده، بلکه شبکه برق ایالت‌ها را به آستانه تحمل رسانده است. تحلیلگران هشدار می‌دهند که اگر این روند کنترل نشود، تبعات آن می‌تواند کل اقتصاد را در نوسان شدید قرار دهد. با این حال، سرمایه‌گذاران و مدیران فناوری همچنان به آینده امیدوارند. آن‌ها باور دارند که هوش مصنوعی و زیرساخت‌های مرتبط، حتی بیش از دوران رونق اینترنت، می‌تواند رشد سریع و اثرگذاری گسترده ایجاد کند. اما سایه تهدید محدودیت برق، کمبود چپ و تغییرات سیاست‌های اقتصادی همیشه بالای سر این مسیر پرخطر و پرشتاب باقی می‌ماند. ASHBURN دیگر تنها یک نقطه جغرافیایی نیست؛ نمادی است از دوره‌ای که فناوری و سرمایه‌گذاری‌های عظیم، کل ساختار اقتصادی می‌توانند به لرزه درآورند. آمریکا اکنون در لبه پرتگاه رشد و سقوط ایستاده و دولت‌ها و شرکت‌ها باید تصمیم بگیرند که چگونه از این موج عظیم بهره ببرند، پیش از آن که نیروی بی‌رحم مراکز داده، سایر بخش‌های اقتصاد را به حاشیه براند.

داده‌ای عظیم با مقیاس گیگاوات، که برق مصرفی آن‌ها معادل یک شهر کوچک است، در سراسر کشور در حال سر برآوردن هستند و به نمداد تازه‌ای از قدرت فناوری تبدیل شده‌اند. میانگین قبض برق خانوارهای آمریکایی در سال ۲۰۲۵ تاکنون ۷ درصد افزایش یافته و بخشی از این افزایش مستقیم ناشی از فشار سنگین این غول‌های پردازشی بر شبکه برق است. در مقابل، بخش‌های سنتی اقتصاد آمریکا زیر بار فشارهای اقتصادی خم شده‌اند. ساخت‌وساز مسکن به رکود رفته و سرمایه‌گذاری‌های غیر مرتبط با هوش مصنوعی کاهش یافته‌اند. این بخش‌ها به نرخ بهره و هزینه انرژی حساس هستند و حالا تصویر روشن‌تری از آسیب‌پذیری اقتصاد کلان ارائه می‌دهند. به عبارت دیگر، اقتصاد آمریکا در حال بازتخصیص منابع است: بخش‌هایی که به نرخ بهره و انرژی واکنش‌پذیرند، سهم کمتری در رشد دارند، در حالی که سرمایه‌گذاری در هوش مصنوعی سهم بیشتری به خود اختصاص داده است. ادامه این روند بستگی کامل به تصمیمات بزرگ‌ترین شرکت‌های فناوری دارد؛ هرگونه کاهش در هزینه‌های سرمایه‌ای—چه به دلیل محدودیت برق باشد و چه کمبود چپ—می‌تواند محرک اصلی رشد اقتصادی کشور را کاهش دهد و مسیر کل اقتصاد را به ناهمواری بکشانند.

تاریخ تکرار می‌شود، آماده باشید

اگر سرمایه‌گذاری در هوش مصنوعی کاهش یابد، فشار بر بخش‌های سنتی اقتصاد ممکن است کم شود و نرخ بهره و قیمت انرژی کاهش یابند، اما تاریخ هشدار می‌دهد: پس از رونق دات‌کام در دهه ۱۹۹۰، سقوطی مهیب و ناگهانی رخ داد. تکرار چنین روندی در حوزه هوش مصنوعی می‌تواند منبع عظیم رشد اقتصادی آمریکا را در لحظه‌ای بحرانی از دست بدهد، درست وقتی که بخش‌های دیگر اقتصاد شکننده و آسیب‌پذیر به نظر می‌رسند.

هوش مصنوعی با اینترنت آن زمان تفاوت بنیادین دارد. این فناوری نه

تکنه

آینده انرژی

بانوآوری سبز

سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین انرژی پاک، بار دیگر در جهان جان گرفته است. با وجود فشارهای سیاسی و کاهش حمایت‌های دولتی از صنعت خورشیدی و بادی، نشانه‌ها حکایت از آن دارند که موج تازه‌ای از نوآوری در راه است؛ موجی که می‌تواند آینده انرژی و اقتصاد جهانی را دگرگون کند. در سال‌های گذشته، انرژی خورشیدی و بادی به عنوان نمادهای اصلی گذار به انرژی‌های تجدیدپذیر مطرح بودند. اما نوسان قیمت‌ها، کاهش یارانه‌ها و سیاست‌های متناقض برخی دولت‌ها، ضربه سنگینی به این بخش وارد کرد. سهام شرکت‌های بزرگ فعال در این صنعت کاهش یافت و بسیاری از پروژه‌ها با کندی یا توقف روبه‌رو شدند. این شرایط برای بسیاری نشانه‌ای از عقب‌گرد در مسیر انرژی‌های پاک بود. با این حال آمارهای تازه خلاف این تصویر را نشان می‌دهد. طبق داده‌های بین‌المللی، میزان سرمایه‌گذاری در شرکت‌های اقلیمی در نیمه نخست سال ۲۰۲۵ نزدیک به ۶۰ درصد نسبت به مدت مشابه سال قبل افزایش یافته است. این سرمایه‌ها به‌رخلاف گذشته کمتر به سراغ خورشیدی و بادی می‌روند و بیشتر به سوی فناوری‌های جدیدی مانند ژنراتورهای خلی، انرژی زمین‌گرمایی، سلول‌های سوختی و نیروگاه‌های هسته‌ای کوچک هدایت می‌شوند. یکی از دلایل این تغییر، دغدغه امنیت انرژی است. بسیاری از کشورها نمی‌خواهند همچنان به واردات نفت، گاز یا تجهیزات خارجی وابسته بمانند. اروپا که به دنبال راهی از گاز روسیه است، به شدت به توسعه انرژی‌های جایگزین توجه نشان می‌دهد. آمریکا نیز در پی کاهش وابستگی به واردات نفت و مواد معدنی، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های داخلی را اولویت داده است. این نگاه امنیتی باعث شده فناوری‌های نوین که تولید بومی و پایدار دارند، جایگاه بهتری پیدا کنند. عامل مهم دیگر فشار بی‌سابقه مراکز داده و رشد هوش مصنوعی است. غول‌های فناوری از جمله گوگل، آمازون و اوراکل برای تأمین برق مراکز عظیم داده خود با کمبود مواجه‌اند. این شرکت‌ها در دهه گذشته سرمایه‌گذار اصلی در انرژی‌های خورشیدی و بادی بودند، اما اکنون به سراغ گزینه‌های تازه رفته‌اند. راکتورهای کوچک هسته‌ای که برق پایدار و مطمئن تولید می‌کنند و سلول‌های سوختی ثابت که به برق پاک و انعطاف‌پذیر عرضه می‌کنند، در صدر انتخاب‌های این شرکت‌ها قرار گرفته‌اند. قراردادهای جدید آمازون و گوگل با استارت‌آپ‌های هسته‌ای و همکاری اوراکل با تولیدکنندگان سلول‌های سوختی نشانه روشنی از این تغییر مسیر است. بازار سرمایه نیز نسبت به این تغییرات واکنش مثبت نشان داده است. شرکت‌هایی مانند بلوم انرژی در آمریکا که تولیدکننده سلول‌های سوختی‌اند، رشد چشمگیری ارزش سهام را تجربه کرده‌اند. همین روند در بخش زمین‌گرمایی و هسته‌ای کوچک نیز دیده می‌شود. سرمایه‌گذاران معتقدند این فناوری‌ها شانس بیشتری برای دوام و رشد دارند؛ زیرا هم از حمایت‌های دولتی برخوردارند و هم با نیازهای واقعی بازار هماهنگ‌اند. در مجموع، هرچند کاهش حمایت‌ها از خورشیدی و بادی ضربه‌ای به صنعت انرژی‌های تجدیدپذیر وارد کرده، اما موج جدیدی از نوآوری‌های پاک در حال شکل‌گیری است. کامیون‌های برقی که با ژنراتورهای خلی شارژ می‌شوند، مراکز داده‌ای که با سلول‌های سوختی کار می‌کنند و قراردادهای بزرگ فناوری برای استفاده از نیروگاه‌های هسته‌ای کوچک، همگی نشانه‌های این تغییرند.