

تحولات فناوریانه برآمده از دل پژوهش‌ها و خلاقیت نوآوران روزگار متفاوتی را برای ساکنان زمین در قرن ۲۱ ساخته‌که قابل مقایسه با آنچه بشر تا همین یکی دو دهه قبل تجربه کرده، نیست. این روند شدت بیشتری هم به خود گرفته و هر ساله اتفاقات جدیدی در دنیای علم فناوری تحسین‌ها را برمی‌انگیزد. از همین رو مجله نیچر در گزارشی به نوآوری‌ها و فناوری‌هایی پرداخته‌که انتظار می‌رود در سال پیش روی میلادی تأثیرگذاری قابل توجهی در روند زندگی مردمان این کره خاکی داشته باشند. رایانش کوانتومی و درمان‌های مبتنی بر mRNA، مدل‌سازی اقلیمی مبتنی بر هوش مصنوعی و البته وارد شدن به عرصه جدیدی از حوزه انرژی هسته‌ای از جمله هفت فناوری هستند که احتمالاً در سال ۲۰۲۶ در اخبار بیشتر از آن‌ها خواهید شنید.



هواشناسی با مدل‌های هوش مصنوعی

آبان‌ماه امسال مدل‌هوش مصنوعی GoogleDeepMind هشدار زودهنگامی درباره تهدید جدی طوفان «ملیسا» به‌مرکز ملی طوفان‌های آمریکا داد. عملکرد شگفت‌انگیز این مدل به شکلی بود که چند روز زودتر تشدید طوفان تازه‌د را پیش‌بینی کرد و مسیر حرکت آن در سراسر کارائیب را با دقت بالا مشخص ساخت، درحالی‌که مدل‌های قدیمی‌تر در این زمینه ناکام ماندند. این موفقیت تنها یکی از نمونه‌های شتاب‌گیری و بهبود پیش‌بینی‌های محلی هوا، ردیابی طوفان‌ها و حتی مدل‌سازی اقلیم جهانی با استفاده از هوش مصنوعی است؛ حوزه‌ای که در آن مدل‌های پیچیده‌تری به‌سرعت در حال ظهورند؛ مثل

نسل جدید انرژی هسته‌ای

افزایش استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی و به دنبال آن افزایش سرمایه‌گذاری در این حوزه، هم‌زمان باعث جهش قابل توجه در تقاضا برای برق شده‌است. آژانس بین‌المللی انرژی مستقر در پاریس پیش‌بینی می‌کند که تقاضای جهانی مراکز داده برای انرژی، تا سال ۲۰۳۰ هر سال حدود ۱۵ درصد افزایش یابد. البته برخی کارشناسان هم معتقدند حتی اگر تب‌هوش مصنوعی فروکش کند، همچنان نیاز فوری به تقویت شبکه‌های برق با منابع انرژی سازگار با اقلیم وجود دارد. این شرایط توجه‌ها را دوباره به سمت انرژی هسته‌ای جلب کرده است؛ به‌ویژه نسبت به راکتورهای کوچک ماژولار (SMR؛ نیر وگلهایی هسته‌ای که تا ۵۰۰ مگاوات برق تولید می‌کنند. این میزان کمتر از نصف توان یک راکتور شکافت هسته‌ای استاندارد است، اما برای تأمین برق یکصد هزار خانه کفایت می‌کند. روسیه و چین هم اکنون SMRهای فعال دارند و دستکم ۱۰۰ پروژه در سراسر جهان از همین جنس در مرحله بررسی یا توسعه قرار گرفته‌اند. پیشرفته‌ترین این پروژه‌ها از جمله راکتوری در تأسیسات هسته‌ای دارلینگتون کانادا که قرار است در سال ۲۰۲۹ وارد مدار شود، بر پایه طراحی‌هایی مشابه راکتورهای شکافت در مقیاس کامل هستند. با این حال، سامانه‌های نسل جدید نیز در دست توسعه‌اند. برای مثال، شرکت TerraPower در ایالت واشینگتن روی راکتورهای نمک‌داخته کار می‌کند؛ طرحی با بهره‌وری سوخت بالاتر که می‌تواند پسماند هسته‌ای را به‌طور چشمگیری کاهش دهد و گرما ی تولیدشده در زمان کار راکتور را برای استفاده بعدی به‌صورت انرژی حرارتی ذخیره کند.

کاوش در مرزهای آسمان وزمین

دانشمندان در کشف حدود و مرزها تبحر دارند. اوایل تیر ماه امسال نخستین تصاویر اولیه از رصدخانه «اوراسی. روبین» منتشر شد. این رصدخانه که در رشته‌کوه آند شیلی راه‌اندازی شده قرار است طی ده سال، از هر نقطه از آسمان نیم‌کره جنوبی حدود ۸۰۰ بار داده‌برداری کند. این پیمایش با بهره‌گیری از طراحی نوآورانه چندآینه‌ای و یک دوربین دیجیتال عظیم با وضوح ۳٫۲ گیگابیکسسل، به تولید یک فهرست جامع و مرجم از اجرام آسمانی و تغییرات آن‌ها در گذر زمان منجر خواهد شد. لایکو ایوزیچ، اخت‌فیزیک‌دان دانشگاه واشینگتن پیش‌بینی کرده که حدود ۲۰ میلیارد کهکشان و تقریباً به همین تعداد ستاره ثبت خواهد شد و این یعنی تعداد اجرام آسمانی فهرست‌شده از شمار انسان‌های زنده روی زمین بیشتر خواهد بود. قرار است برای هرکدام اجرام آسمانی هم پارامترهای متعددی اندازه‌گیری شود. دانشمندان متعددی از بیش از ۳۰ کشور برای استفاده از داده‌های این رصدخانه ثبت‌نام کرده‌اند؛ داده‌هایی که انتظار می‌رود از اوایل سال ۲۰۲۸ به‌تدریج در دسترس قرار گیرند. به گفته ایوزیچ، این تأسیسات می‌تواند به پرسش‌هایی بسیار متنوع پاسخ دهد؛ از شناسایی سیارک‌هایی که ممکن است تهدیدی برای زمین باشند، تا اثبات یارد وجود «انرژی تاریک» مر موزی که اخترشناسان آن را عامل شتاب‌دار شدن انبساط جهان می‌دانند.

رایانش کوانتومی

رایانش کوانتومی امکان شبیه‌سازی پدیده‌های علمی بسیار پیچیده‌ای را فراهم می‌کند که از توان رایانه‌های کلاسیک فراتر است، اما پژوهشگران مدت‌هاست برای عملی‌کردن این سامانه‌ها در دنیای واقعی با دشواری روبه‌رو هستند. یکی از بزرگ‌ترین موانع، تصحیح خطا است. رایانه‌های کلاسیک برای سنجش صحت داده‌ها به بیت‌های دیجیتال تکراری متکی‌اند، اما این روش در رایانش کوانتومی امکان‌پذیر نیست. داده‌های کوانتومی را نمی‌توان مستقیماً کمی کرد و اندازه‌گیری یک «کیوبیت» عملاً حالت کوانتومی آن را از بین می‌برد.

راه‌حل‌های موجود مستلزم استفاده از چندین کیوبیت ر‌استی آزمایی برای هر «کیوبیت منطقی» پردازش داده است. در بدترین حالت، انجام محاسبات کاربردی می‌تواند به میلیون‌ها یا حتی میلیاردها کیوبیت نیاز داشته باشد، درحالی‌که طراحی‌های کنونی حداکثر چند هزار کیوبیت را در بر می‌گیرند. ناآلی دلون، فیزیک‌دان دانشگاه پرینستون می‌گوید: «حتی چهار یا پنج سال پیش اگر از کسی می‌پرسیدید آیا می‌توانیم تصحیح خطای کوانتومی معنادار را در مقیاس بزرگ‌رویی که از این پردازنده‌ها انجام دهیم، خیلی‌ها شما را به تمسخر از اتاق بیرون می‌کردند.» امروز دیگر کسی نمی‌خندد. در سال ۲۰۲۳، پژوهشگران Google Quantum AI نخستین نمایش موفق یک کیوبیت منطقی مقاوم در برابر خطا را روی بلنفرم مبتنی بر ابررسانا گزارش کردند. البته کارایی این سامانه به‌دلیل عمر کوتاه کیوبیت‌ها محدود بود؛ کیوبیت‌هایی که با فرسایش خود نو‌یز ایجاد می‌کنند و تصحیح خطا را تضعیف می‌سازند. با این حال، دلون و همکارانش راهبردهایی برای افزایش چشمگیر طول عمر کیوبیت‌ها توسعه داده‌اند. در سال ۲۰۲۱، گروه آن‌ها با

۲۰۲۶ از مدل‌های هواشناسی AI، رایانش کوانتومی، درمان‌های mRNA و چهار فناوری دیگر بیشتر خواهید شنید

نسل بعدی انرژی هسته‌ای در راه است

می‌دهند، اما در سال میلادی گذشته مدل «آردورک» (Aardvark Weather) به‌عنوان مدلی «سراسری» معرفی شد که برای دریافت داده‌های خام از منابعی مانند ایستگاه‌های هواشناسی و ماهواره‌ها آموزش دیده‌ومی تواند پیش‌بینی‌های محلی تازه‌روز آینده ارائه دهد. برخی مدل‌های هوش مصنوعی هم با ادغام داده‌های جهانی از مؤلفه‌هایی مانند جو، اقیانوس و اویخ‌های قطبی، اقلیم‌کنونی را تحلیل و تغییرات آینده‌ار پیش‌بینی می‌کنند. برای نمونه SamudrACE مدلی که سامانه‌های جوی و اقیانوسی را در هم ادغام می‌کند و می‌تواند رفتار آن‌ها را در بازه‌ای بیش از هزار سال شبیه‌سازی کند.

«WeatherNext ۲» از همان مدل گوگل دیپ‌مایند که اواخر آبان منتشر شد. هواشناسی، فضای بکری برای هوش مصنوعی به حساب می‌آید. حجم عظیمی از داده‌ها وجود دارند که تبدیل آن‌ها به پیش‌بینی با مدل‌سنتی متکی بر مدل‌های عددی پیچیده و پرهزینه محاسباتی است. با این حال، در سه سال گذشته، مدل‌های امی‌دوارکننده‌ای مبتنی بر هوش مصنوعی شکل گرفتند؛ از جمله Pangu-Weather از هواوی کلا‌د در شئژن چین که با استفاده از یادگیری عمیق، پیش‌بینی‌ها را تا ۱۰ هزار برابر سریع‌تر از روش‌های موجود انجام می‌دهد. البته بیشتر این مدل‌ها تنها بخشی از فرایند پیش‌بینی را پوشش

نقشه‌برداری مغز با میکروسکوپ نوری

شرکت Bio E۱۱ که بر کانکتومیکس نوری تمرکز دارد، به یکی دیگر از چالش‌های نقشه‌برداری مبتنی بر میکروسکوپ الکترونی یعنی بازبینی و تصحیح دستی پرداخته است. اندرو پین، هم‌بنیان‌گذار و مدیرعامل این شرکت می‌گوید: «اگر به حجم MICrONS نگاه کنید، فوق‌العاده است.» اما در نهایت فقط حدود «یک درصد سلول‌ها با بازسازی شده‌اند و ۹۹ درصد دیگر تا امروز بازسازی نشده‌اند.» در یک مقاله پیش‌چاپ منتشرشده که سپتامبر ۲۰۲۵ منتشر شده است، پین و همکارانش رویکردی را توصیف کردند که در آن نورون‌های موش به‌طور ژنتیکی اصلاح می‌شوند تا ترکیب‌های مختلفی از اپی‌توب‌های پروتئینی کوتاه را بیان کنند، به‌طوری‌که هر سلول یک «بارکد» منحصر به‌فرد داشته باشد. این بارکدها سپس با رنگ‌آمیزی‌های متوالی و آنتی‌بادی‌های فلورسنت رمزگشایی می‌شوند و امکان نقشه‌برداری و ردیابی محاسباتی تقریباً بدون خطای هر نورون در نمونه را فراهم می‌کنند. با استفاده از ۱۸ اپی‌توب، این شرکت توانست حدود ۲۶۲ هزار بارکد را از هم تفکیک کند و پین می‌گوید این فناوری از نظر مقیاس‌پذیری، ظرفیت نقشه‌برداری از اتصال‌های کل مغز موش را دارد. البته برای عملی‌شدن کامل این هدف، پیشرفت‌های دیگری هم لازم است؛ از جمله جابه‌جایی کارآمدتر نمونه‌ها و تصویربرداری سریع‌تر. با این حال، با کاهش شدید هزینه‌های بازبینی و جایگزینی میکروسکوپ‌های الکترونی گران‌قیمت با کانفوکال‌های در دسترس، این روش‌ها می‌توانند دستیابی به کانکتوم‌های کامل (نمودار کامل اتصالات عصبی) پستانداران را بسیار نزدیک‌تر کنند.

درمان‌های مبتنی بر mRNA

دو برابر دیگر بیماران عمر کردند. این موضوع قرار است در یک مرکز درمانی سرطان در ایالت تگزاس آمریکا به‌شکل جدی‌تری مورد آزمایش قرار گیرد. پژوهشگران دانشگاه پنسیلوانیا هم در سال ۲۰۲۲ نشان دادند که می‌توان با استفاده از mRNA، سلول‌های ایمنی را در داخل بدن بازبرنامه‌ریزی کرد تا پروتئین‌های گیرنده آنتی‌ژن کایمریک (CAR) را بیان کنند؛ پروتئین‌هایی که به این سلول‌ها امکان می‌دهند سلول‌ها و پروتئین‌های بیماری‌زا را به‌سرعت هدف قرار داده و حذف کنند. در مان CAR-T به‌طور معمول نیازمند فرایندی دشوار شامل برداشت مغز استخوان، مهندسی سلول‌های بنیادی و پیوند مجدد است، اما رویکرد درون‌تنی می‌تواند این درمان را در دسترس‌تر کند. بدون آنکه از کارایی آن بکاهد. حمیده پرهیز متخصص ایرانی حوزه دارو و پژوهشگران این مقاله می‌گوید: «در مطالعات روی موش‌های انسان‌سازی‌شده و نخست‌های غیرانسانی، اثر بخشی واقعاً چشمگیر بود.» سسلول‌های کارتی (CAR-T۱) عمدتاً برای در مان سرطان و اخیراً برخی بیماری‌های خودایمنی بـه کار می‌روند، اما این متخصص ایرانی و همکارانش توان آن‌ها را برای جلوگیری از تشکیل بافت اسکار تخریب‌کننده اندام‌ها در بیماری‌های فیبروتیک نیز بررسی کرده‌اند. گروه او همچنین بازبرنامه‌ریزی درون‌تنی سلول‌های بنیادی خون با mRNA را نشان داده است؛ مسیری بالقوه برای در مان مسقیم بسیاری از بیماری‌های ژنتیکی از طریق جایگزینی پروتئین‌های ناقص یا غایب.

پیوند اعضا از حیوان به انسان، جدی‌تر از گذشته

تغییراتی که آنتی‌ژن‌های محرک ایمنی و توانایی‌های ویروسی خفته را حذف می‌کرد و در عین حال ژن‌های انسانی کاهنده التهاب و پیشگیری‌کننده از لخته‌شدن غیرطبیعی خون را وارد می‌ساخت. بیمار ۵۲ روزه زنده ماند و سپس به دلایلی نامرتبط با پیوند، بر اثر مشکلات قلبی درگذشت. دریافت کنندگان بعدی کلیه‌خوک در ایالات متحده و چین بیش از هشتت ماه در وضعیت پایدار باقی ماندند و سپس به دیالیز بازگشتند؛ رکوردی که تقریباً با دوام پیوند سال ۱۹۶۴ برابری می‌کند. البته این پیشرفت فقط به کلیه محدود نیست. در سال ۲۰۲۲، محمد محی‌الدین، جراح دانشگاه مرلند و همکارانش نخستین پیوند قلب خوک مهندسی‌شده به انسان را گزارش کردند. بیماری که پس از جراحی ۶۰ روزه زنده ماند. در سال ۲۰۲۵ نیز گروه‌هایی در چین از پیوند کبد و حتی ریه خوک به افرادی خبر دادند که مرگ مغزی آن‌ها اعلام شده بود؛ گامی کلیدی به سوی انجام این پیوندها در گیرندگان که امکان بهبودی دارند. حتی یک پیوند میان‌گونه‌ای موقتی هم می‌تواند زمان ارزشمندی برای بیماران در انتظار اهداکننده انسانی فراهم کند، اما با درک عمیق‌تر عوامل فردی مؤثر بر رد پیوند، این جایگزین‌ها می‌توانند به راه‌حلی بلندمدت تبدیل شوند.

RNA پیام‌رسان (mRNA)نخستین بار در قالب موجی از واکنش‌های کووید-۱۹ وارد عرصه بالینی شد. اگرچه برخی برآوردها از موفقیت این واکنس در نجات جان صدها هزار نفر از انسان‌ها را گزارش کردند، اما در سال میلادی گذشته تراکم، ریس کشور آمریکا، نزدیک به ۵۰۰ میلیون دلار از بودجه فدرال برنامه‌های واکنس mRNA را قطع کرد تا نگرانی‌هایی بحث‌برانگیز درباره ایمنی این فناوری دوباره مورد توجه قرار گیرد.

واقعیت آن است که واکنس‌ها و در مان‌های مبتنی بر mRNA همچنان مسیری امیدوارکننده در مان به حساب می‌آیند، سهولت و هزینه پایین طراحی، تولید، همراه با حضور کوتاه‌مدت این مولکول‌ها در بدن، پژوهشگران را بلنی را در حوزه‌های گوناگون جذب کرده است. واکنس‌های مبتنی بر mRNA به‌ویژه در در مان سرطان امیدبخش‌اند؛ جایی که نه‌به‌عنوان پیشگیری، بلکه به‌عنوان در مان به کار می‌روند. فوری‌ه گذشته یک گروه پژوهشی آمریکایی نشان داد واکنس‌های mRNA سفارشی‌شده که آنتی‌ژن‌های اختصاصی تومور را کد می‌کنند، می‌توانند مدت بقای بدون عود بیماری را در بیمارانی که برای سرطان پانکراس ایمونوتراپی دریافت می‌کنند تا چند سال افزایش دهند.

حتی ممکن است این واکنس‌ها بدون تکیه بر آنتی‌ژن‌های اختصاصی تومور با سرطان مقابله کنند. اکتبر ۲۰۲۵ انتشار مقاله‌ای نشان داد بیماران مبتلا به سرطان که واکنس‌ها کووید mRNA دریافت کردند

روانه ۱۳ نفر در آمریکا در انتظار دریافت عضو پیوندی جان خود را از دست می‌دهند. البته احتمالاً رقم واقعی بالاتر هم باشد؛ چراکه متخصصان می‌گویند هستند بیماران مبتلا به نارسایی اندام‌ها که حتی در فهرست انتظار هم قرار نمی‌گیرند. پیوند میان‌گونه‌ای در تعریف کوتاه یعنی جایگزینی بافت‌های آسیب‌دیده انسان با بافت‌های متناظر از گونه‌های نزدیک که جایگزینی برای کمبود شدید اعضای انسانی به‌شمار می‌رود. با این حال، این پیوندها معمولاً خیلی زود با شکست مواجه می‌شوند، البته با یک استثنا؛ زنی که در سال ۱۹۶۴ پس از دریافت کلیه شامپانز، ۹ ماه زنده ماند. مشکل اصلی، رد ایمنی است. برای مثال، سلول‌های خوک با نوعی کرومیدرات به نام «آلفا-گال» پوشیده شده‌اند که در انسان‌ها که این مولکول را ندارند، واکنش ایمنی شدیدی ایجاد می‌کند. ویرایش دقیق ژنم با کس یا (Cas ۹) ابزار مؤثری برای حذف این و دیگر عوامل محرک رد ایمنی در اختیار دانشمندان گذاشته است و کار کنار نسل جدید داروهای سرکوب‌کننده ایمنی، نتایج بیماران را به‌طور چشمگیری بهبود داده است.

سال ۲۰۲۴ نخستین پیوند کلیه خوک به یک انسان زنده انجام شد. این کلیه از حیوانی تا ۶۹ تغییر ژنومی به‌دست آمده بود؛