ژورنال ۴۲

سال اول، شماره ۱
شهریور ۱۴۰۵



زیستن در مرز تن و ماشین

فراتر از هیاهو؛ هوش مصنوعی در پزشکی
مرده بیدار؛ وقتی مغز زندگی را انکار می‌کند
آیا آگاهی بدون کوالیا ممکن است؟
پس از آخرین طلوع؛ زندگی پس از مرگ جهان

شناسنامه مجله ۱
صفحه تقدیم مجله ۲
یادداشت سردبیر ۳
به من بگو چرا؟ ۵
زیر ذره‌بین علم ۶
هر هفته زیر آسمان؛ هر روز در امتداد تاریخ ۷
مشعل‌داریِ علم به زبان فارسی ۸
چشم‌انداز ۱ ۹
پارادوکس خستگی مداوم؛ چرا همیشه خسته‌ایم؟ ۱۱
فراتر از هیاهو؛ هوش مصنوعی در پزشکی ۱۷
چشم‌انداز ۲ ۳۲
مرده بیدار؛ وقتی مغز زندگی را انکار می‌کند ۳۴
چرا امروز بیشتر از همیشه به ادبیات نیاز داریم؟ ۵۸
پروژه نجات زمین؛ یک تیر و دو نشان ۶۲
چشم‌انداز ۳ ۶۵
آیا آگاهی بدون کوالیا ممکن است؟ ۶۷
پس از آخرین طلوع؛ زندگی پس از مرگ جهان ۸۰
چشم‌انداز ۴ ۱۰۲
گرمای کم‌سابقه: موجی گذرا یا هنجاری تازه در جهان؟ ۱۰۴
هر تاریکی‌ای، سیاه‌چاله نیست: ماده تاریک یا سیاه‌چاله؟ ۱۱۳
جست‌وجوی حیات در سیارات فراخورشیدی ۱۱۸
سفر به لبه تاریکی ۱۳۸
اودیسه؛ آیا همه ما یک فیلم را می‌بینیم؟ ۱۴۱
چشم‌انداز ۵ ۱۴۸
از ژورنال ۴۲ حمایت کنید ۱۵۰





ژورنال ۴۲ | شماره نخست
شهریور ۱۴۰۵
سپتامبر ۲۰۲۶

نشریه مستقل علم برای همه
ارائه‌ای از ژورنال ۴۲

سردبیر: پوریا ناظمی
دبیر اجرایی: الهام غفارزاده

همکاران این شماره به‌ترتیب الفبای نام خانوادگی:
فرناز خطیبی، امیر صادقپور، الهام غفارزاده، آزاده فتاحی، شهرام کردستی، پاشا مجیدی، پوریا ناظمی و هادی نیلی

پشتیبانی وب‌سایت: سیمین بینازاده
ویرایش صوت و طراحی جلد پادکست: محمدحسین خلیلی
طراحی و صفحه‌آرایی: الهام غفارزاده
ناظر کیفی: فیبی استانبولی
تصاویر و گرافیک‌ها: تحریریه ژورنال ۴۲
با سپاس از پیام صادری و نسرین قاسمی برای همراهی و حمایتشان.

درباره ژورنال ۴۲
ژورنال ۴۲ رسانه‌ای مستقل درباره علم، آینده و نسبت آن‌ها با جامعه، فرهنگ و هنر است. این نشریه می‌کوشد فضایی برای روایت دقیق، قابل‌اعتماد و قابل‌فهم علم به زبان فارسی فراهم کند؛ فضایی که در آن، پرسیدن به‌اندازه پاسخ‌دادن اهمیت دارد.

بازنشر و اشتراک‌گذاری
اشتراک‌گذاری مجله، پادکست‌ها و دیگر محتوای ژورنال ۴۲ با ذکر روشن نام ژورنال ۴۲ و پیوند به منبع اصلی نه‌تنها مجاز است، بلکه از آن استقبال می‌کنیم. اگر مطلبی را مفید یافتید، آن را به دست دیگران برسانید.
حقوق تصاویر متعلق به پدیدآورندگان یا صاحبان اصلی آن‌هاست، مگر آنکه به‌شکل دیگری ذکر شده باشد.

ارتباط با ما
وب‌سایت: www.journal42.com
شبکه‌های اجتماعی: @journal42hub
تماس با تحریریه: editorial@journal42.com

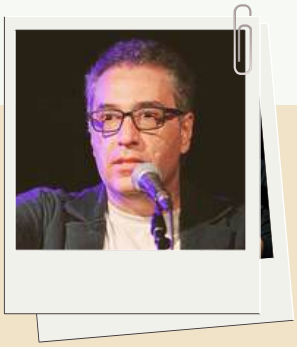
تقدیم به همه رفتگان این روزهای وحشت؛

آنان که امیدوارترینِ ما بودند و یادشان زنده خواهد ماند و همه آنانی که بهار عمرشان، به دست جهل و ظلم و خودکامگی یا به تیغ دشمن، نابه‌هنگام خزان شد.

و تقدیم به ایران...



سلام دنیا



پوریا ناظمی
روزنامه‌نگار، نویسنده و مروج علم

سال‌های پایانی جنگ ایران و عراق بود. جنگ بیش از پیش به شهرها رسیده و پرتاب موشک به مناطق مسکونی آغاز شده بود. هنوز تا پایان آن روزهای وحشت فاصله داشتیم و آینده‌ای نامعلوم پیش روی همه ما بود.

من دبستانی بودم. به یاد دارم شبی، وقتی اعضای خانواده و مهمانان گمان می‌کردند در اتاقم خوابیده‌ام، درباره سایه ترسناکی حرف می‌زدند که جنگ در این مرحله تازه بر سر همه گسترده بود؛ از آینده نامعلوم شهر و کشور و مردمی که زیر باران موشک زندگی می‌کردند و از اینکه دیگر حتی نمی‌شد به فردا امیدوار بود.

من بیدار بودم و همه این حرف‌ها را می‌شنیدم. هراسی عمیق جانم را فراگرفت. احساس می‌کردم نفسم بالا نمی‌آید. چراغ مطالعه کنار تخت را روشن کردم و مجله‌ای را که روی زمین افتاده بود برداشتم: «دانستنیها». شاید فقط می‌خواستم حواسم را پرت کنم. شروع کردم به خواندن مطالب و تماشای تصاویرش؛ از آینده ربات‌ها، دنیای محیط‌زیست، عجایب جهان امروز و شگفتی‌های فضا.

بعد، گویی دستی نامرئی فشار را از روی سینه‌ام برداشت. دیگر فقط نگران فردای اینجا نبودم؛ فردایی که هیچ توانی برای مهار آن نداشتم. افقی دورتر از امشب و فردا پیش چشمم گشوده شده بود. می‌دیدم که جهان بزرگ‌تر و آینده پرحادثه‌تر از آن است که در هراس آن شب خلاصه شود.

آن روزها و سال‌های پس از آن آسان نبودند: جنگ، مشکلات اقتصادی و سیاسی، عصر یکه‌تازی شرطه‌ها در شهر، نبردهای سیاسی و هزارویک اتفاق دیگری که در همه این سال‌ها شرایط ما را به «شرایط حساس کنونی» بدل کرده‌اند و می‌کنند. بااین‌حال، چیزی با امروز تفاوت داشت. در آن دورانِ پیش از اینترنت و ماهواره، مجلات معتبری داشتیم: دانستنیها، اطلاعات علمی، فارادِ، کامپیوتر، رایانه، دانشمند، نجوم و مرزهای بیکران فضا. بهار رسانه‌های عمومیِ علم و دانش بود و مردم، در میانه آن روزهای سخت، همچنان مشتاق خواندن و دیدن و شنیدن و تماشای افق بودند.

زمان گذشته است. اکنون ما در دنیایی دیگر زندگی می‌کنیم و جهان به گونه‌ای دیگر است؛ اگرچه «شرایط حساس» ما هنوز همان است که بود. اما برای کسانی که امروز هم‌سن‌وسال من در آن شب‌اند، نه دانستنیهایی باقی مانده است، نه دانشمندی به آن معنا و نه بسیاری از چیزهایی که در آن روزها و شب‌های تاریک، بار سنگین هراس از شب و پرسش از آمدن فردا را از سینه ما برمی‌داشتند.

بله، اینترنت هست؛ اگر باشد، و اگر بتوان با هزارویک ترفند به آن رسید. شبکه‌های اجتماعی هم هستند؛ شبکه‌هایی که گاهی روح را از هر دانسته‌ای خالی می‌کنند و برای ارضای اشتهای سیری‌ناپذیر الگوریتم‌هایشان، نه‌فقط حرف‌ها که حتی شیوه حرف زدن ما را تغییر می‌دهند. اطلاعات بیشتر از همیشه در دسترس است، اما یافتن دانشی که بتوان به آن اعتماد کرد و مجالی که بتوان در آن آرام گرفت، شاید دشوارتر از همیشه شده باشد.
اگر در شبی از شب‌های این دوران تازه، با ابزارهای تازه، خواستید چیزی بخوانید که جهان را کمی برایتان فراخ‌تر کند و در همان حال بدانید که تا حد قابل قبولی می‌توانید به اعتبارش اعتماد کنید، چه خواهید کرد؟ حتما راه‌های بسیاری وجود دارد. ژورنال ۴۲ تلاش ماست برای افزودن راهی دیگر؛ پنجره‌ای کوچک، اما رو به افقی بزرگ‌تر.
ما امیدواریم بر پایه همه آنچه در این سال‌ها آموخته‌ایم، فضایی به گفت‌وگوی معتبر درباره علم و آینده بیفزاییم؛ گفت‌وگویی که علم را جدا از فرهنگ، هنر و جامعه نمی‌بیند و در آن، دانستن فقط انباشتن اطلاعات نیست، بلکه راهی است برای پرسیدن، فهمیدن و شاید کمی بهتر تاب آوردن جهانی که همیشه از ما بزرگ‌تر و پیچیده‌تر است.
در نخستین شماره ژورنال ۴۲، هوش مصنوعی را هم از منظر کاربردهایش در پزشکی بررسی کرده‌ایم و هم از دریچه فلسفه ذهن. روی زمین، در همان جهانی که هوش مصنوعی بار دیگر معنای آگاهی را به پرسش کشیده است، به سراغ محوشدن مرزهای آگاهی در ذهن انسان رفته‌ایم و برای آنکه در عصر تازه به زامبی‌هایی هوشیار اما بی‌تامل بدل نشویم، از ضرورت خواندن ادبیات گفته‌ایم.
تحریریه ژورنال ۴۲ گرمای بی‌سابقه امسال را بررسی کرده است و پس از آن، بار سفر از زمین بسته‌ایم و راهی مرزهای شناخت شده‌ایم. پاشا مجیدی درباره جست‌وجوی حیات در جهان‌های فراخورشیدی و اعماق کیهان نوشته است و آزاده فتاحی، اندکی دورتر، کوشیده ما را با ماده تاریک بهتر آشنا کند.
اگر در میانه خواندن این مطالب خسته شدید، می‌توانید یادداشت «خستگی مزمن در عصر ما» را بخوانید و نفسی تازه کنید. جرعه‌ای آب، چای یا قهوه بنوشید؛ چرا که مقاله بلند این شماره قرار است شما را از مرزهای امروز تا پایان جهان ببرد تا نگاهی به صبح پس از آخرین طلوع بیندازیم.
این‌ها، با همه تفاوت‌هایشان، بخش‌هایی از یک مسیرند: از ذهن و بدن انسان تا زمین و از جهان‌های دوردست تا پایان کیهان؛ تلاشی برای آنکه از اضطراب اکنون فراتر برویم، بی‌آنکه از واقعیت آن روی برگردانیم. درست مانند همان شبی که ورق‌زدن یک مجله نتوانست جنگ را متوقف کند، اما توانست جهان را برای کودکی هراسان کمی بزرگ‌تر کند.
ژورنال ۴۲ حاصل کار گروه کوچکی است که به ضرورت چنین فضایی باور دارد. ادامه این راه، اما تنها با خواندن شما ممکن نیست؛ با نقد کردن، پیشنهاد دادن، معرفی‌کردن و حمایت شماست که می‌تواند به گفت‌وگویی زنده و ماندگار بدل شود.
و در پایان، با یادآوری جمله مشهور سیاوش صفاریان‌پور در پایان یکی از همان برنامه‌های متعلق به عصر فراموش‌شده محترم‌بودن کنجکاوی در ایران، یعنی «آسمان شب»، از شما می‌خواهم: اگر از خواندن ژورنال ۴۲ لذت بردید، آن را به دوستانتان معرفی کنید و با دیگران به اشتراک بگذارید.

به من بگو چرا؟

پرسش‌های ساده، پاسخ‌هایی که همیشه ساده نیستند



چرا خواب می‌بینیم؟ دژاوو چگونه اتفاق می‌افتد؟ چرا گربه‌ها بیشتر اوقات روی پاهایشان فرود می‌آیند؟ چرا انسان‌ها خمیازه می‌کشند یا می‌رقصند؟ چرا آسمان شب تاریک است، اگر جهان پر از ستاره است؟ و چرا، با وجود همه پیشرفت‌های فناوری، نمی‌توانیم سریع‌تر از نور حرکت کنیم؟

بسیاری از پرسش‌های علمی از دل تجربه‌های معمول زندگی سر برمی‌آورند؛ از اتفاقی در بدن یا ذهنمان، چیزی که در آسمان می‌بینیم یا ادعایی که بارها شنیده‌ایم، اما هیچ‌وقت فرصت نکرده‌ایم درستی آن را بررسی کنیم. گاهی برای این پرسش‌ها پاسخی کوتاه و مشهور وجود دارد که چندان دقیق نیست؛ گاهی علم چند پاسخ احتمالی دارد و هنوز به نتیجه‌ای قطعی نرسیده است؛ و گاهی نیز پشت پرسشی به‌ظاهر ساده، داستانی از تاریخ علم، فرهنگ، تکامل یا ساختار جهان پنهان شده است.

در مجموعه **«به من بگو چرا؟»**، هر هفته یکی از این پرسش‌ها را انتخاب می‌کنیم، آن را در زمینه علمی و تاریخی‌اش قرار می‌دهیم و سراغ منابع معتبر و نظر متخصصان می‌رویم. در این پاسخ‌ها می‌کوشیم آنچه را واقعا می‌دانیم از فرضیه‌ها، برداشت‌های رایج و افسانه‌ها جدا کنیم و در جایی که علم هنوز پاسخ نهایی ندارد، همان ندانستن را نیز صریح و روشن توضیح دهیم.

پرسش‌های این مجموعه از شما می‌آیند. اگر چیزی ذهن شما را مشغول کرده است، آن را برای ما بفرستید؛ شاید پرسش شما موضوع یکی از شماره‌های آینده «به من بگو چرا؟» باشد.

پاسخ‌ها را بخوانید و پرسش خود را برای ما بفرستید.



زیر ذره‌بین علم

روایتی شنیدنی از علم، تاریخ و زندگی روزمره

بعضی داستان‌های علمی را نمی‌توان در یک خبر کوتاه یا حتی یک مقاله خلاصه کرد. باید اندکی درنگ کرد، به گذشته بازگشت، روایت‌های مختلف را کنار هم گذاشت و دید یک موضوع علمی چگونه وارد سیاست، فرهنگ، هنر و زندگی روزمره ما شده است.

«زیر ذره‌بین علم» پادکست ژورنال ۴۲ با اجرای پوریا ناظمی و الهام غفارزاده است. در هر قسمت، موضوعی را که معمولا با ادعاهای متناقض، سوبرداشت‌های رایج یا داوری‌های شتاب‌زده احاطه شده است از زاویه‌های مختلف بررسی می‌کنیم. مسیر گفتگو ممکن است از یک پژوهش علمی آغاز شود و به تاریخ، پزشکی، جامعه، ادبیات یا داستان‌های علمی‌تخیلی برسد؛ زیرا علم در جهان واقعی جدا از فرهنگ و تجربه انسانی شکل نمی‌گیرد. در این پادکست می‌کوشیم میان آنچه شواهد علمی نشان می‌دهند، آنچه هنوز محل اختلاف است و آنچه تنها به صورت باور یا ادعا تکرار می‌شود، مرز روشنی بکشیم. هدف ما دادن پاسخی از پیش آماده نیست؛ می‌خواهیم همراه شما موضوع را زیر ذره‌بین بگذاریم و پیچیدگی‌هایش را بدون ساده‌سازی و هیاهو ببینیم.

قسمت‌های «زیر ذره‌بین علم» را می‌توانید در وب‌سایت ژورنال ۴۲، یوتیوب و پادگیرهای موردعلاقه خود بشنوید. منابع و توضیحات تکمیلی هر قسمت نیز در وب‌سایت در دسترس است.

پادکست «زیر ذره‌بین علم» را بشنوید و دنبال کنید:



هر هفته زیر آسمان؛ هر روز در امتداد تاریخ

آسمان هر شب تغییر می‌کند، حتی اگر در نگاه نخست ثابت به نظر برسد. ماه از کنار سیاره‌ها و ستاره‌ها می‌گذرد، سیاره‌ای در گرگ‌ومیش پدیدار می‌شود، بارشی شهابی به اوج می‌رسد یا صورت‌های فلکی فصل تازه‌ای را خبر می‌دهند.


نقشه زنده آسمان شب

«هفت شب، هفت آسمان» راهنمای هفتگی ژورنال ۴۲ برای تماشای آسمان است. در این راهنما، مهم‌ترین رویدادهای رصدی هفته را شب‌به‌شب معرفی می‌کنیم و توضیح می‌دهیم چه چیزی را، چه زمانی، در کدام بخش آسمان و با چه ابزاری می‌توان دید. بعضی از این منظره‌ها با چشم غیرمسلح دیده می‌شوند و بعضی به آسمانی تاریک، دوربین دوچشمی یا تلسکوپی کوچک نیاز دارند. هدف فقط اعلام زمان یک رویداد نیست؛ می‌خواهیم بدانیم آنچه می‌بینیم چیست، چرا رخ می‌دهد و چگونه می‌توان آن را در آسمان پیدا کرد. از آنجا که نمای آسمان به محل زندگی، تاریخ و ساعت رصد وابسته است، نقشه تعاملی فارسی ژورنال ۴۲ در کنار این راهنما قرار دارد. کافی است موقعیت خود را مشخص کنید تا نقشه آسمان و اطلاعات رصدی متناسب با محل شما نمایش داده شود. به کمک آن می‌توانید جای ماه، سیاره‌ها، ستاره‌ها و صورت‌های فلکی را پیدا کنید و برای رصد همان شب آماده شوید.

علم فقط مجموعه‌ای از پاسخ‌های حاضر و آماده نیست؛ حاصل راهی طولانی از مشاهده، پرسش، خطا، آزمایش، اختلاف و کشف است. تقریبا هر روزِ تقویم با تولد یا درگذشت پژوهشگری، انتشار اثری مهم، انجام آزمایشی سرنوشت‌ساز یا رویدادی پیوند خورده است که مسیر شناخت ما از جهان را تغییر داده است. در **«امروز در تاریخ علم»**، هر روز به بخشی از این حافظه بازمی‌گردیم: از دانشمندان و مخترعان تا پزشکان، ریاضی‌دانان، کاوشگران، نویسندگان علمی‌تخیلی و کسانی که تصویر ما از علم و آینده را دگرگون کرده‌اند. این تقویم فقط فهرستی از نام‌ها و تاریخ‌ها نیست؛ روایتی کوتاه از آدم‌ها، اندیشه‌ها و لحظه‌هایی است که علم را به جایگاه امروز آن رسانده‌اند. در کنار چهره‌های مشهور، می‌کوشیم کسانی را نیز به یاد بیاوریم که سهمشان در روایت‌های رایج تاریخ علم کمتر دیده شده است.


امروز در تاریخ علم

مشعل‌داریِ علم به زبان فارسی



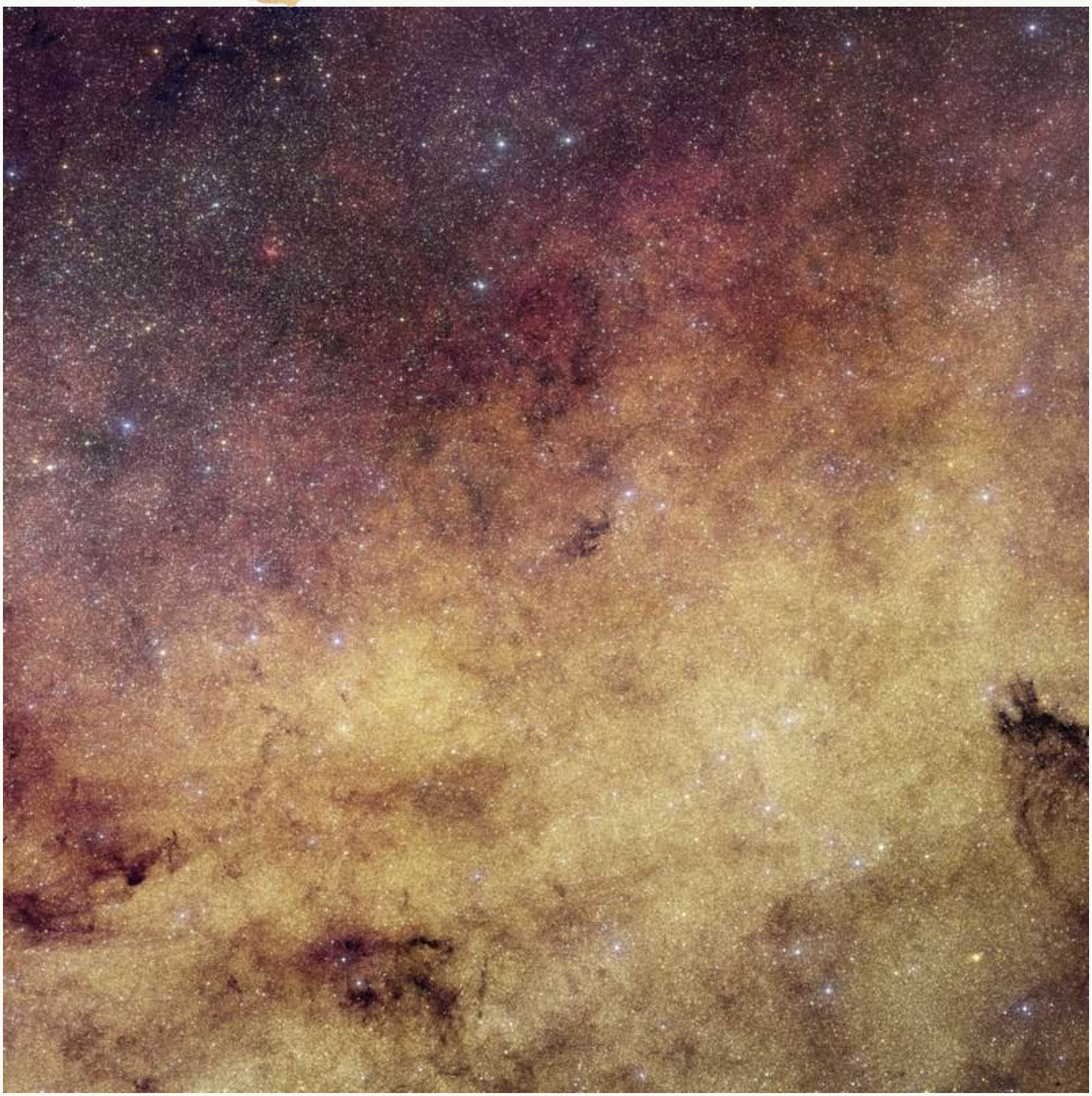
هادی نیلی
خبرنگار فناوری بی‌بی‌سی و تهیه‌کننده ارشد برنامه کلیک

چند روز پیش که یکی از بچه‌های توییتر از کتاب «به من بگو چرا» یاد کرده بود، تازه بعد از سال‌ها به سرم افتاد ببینم این کتاب که خیلی از هم‌سال‌های من با ولع ورق‌به‌ورق‌اش را بارها می‌خواندیم، واقعا چه‌قدر به‌روز و تازه بود. یک جست‌وجوی دم‌دستی کافی بود ببینم کتابی که آن‌طور شیفته‌اش بودیم، وقتی به دست ما می‌رسید بیشتر از ۲۰ سال از عمرش گذشته بود. حالا درست نمی‌دانم ترجمه‌ای که ما می‌خواندیم از کدام نسخه کتاب بود، ولی حالا دیگر فکر این‌که کتاب علمی که ۲۰ سال پیش نوشته شده را بخوانیم، عجیب به نظر می‌رسد. آن‌موقع نبود.
ولی در فضای فارسی انگار هنوز هم سهم محتوای علمی درست و به‌روز کمتر از سهم داستان‌های ساختگی یا نیم‌گفته و ناقص است.

من از سال‌ها پیش خواننده محتوای روزنامه‌نگاری علمی پوریا ناظمی در رسانه‌های مختلفی بوده‌ام. از وبسایت و وبلاگ تا برنامه تلویزیونی و ضمیمه هفتگی روزنامه. و همیشه از زبان ساده و فروتن‌اش کیف کرده‌ام و آموخته‌ام. با الهام هم تازگی‌ها همکاری داشته‌ام و از شوق‌اش به این‌که ته یک موضوع را درمی‌آورد، یاد گرفته‌ام. از وقتی شنیدم پوریا و الهام از جمله کسانی‌اند که ژورنال ۴۲ را راه انداخته‌اند، خیلی خوشحال‌ام که یک منبع قابل‌اعتماد و خواندنی و به‌روز اضافه شده به جمع کوچک منابع فارسی که روزنامه‌نگاری علمی می‌کنند.

نسل ما از «به من بگو چرا»ی بیات‌شده و ۳۰ساله رسیده به «ژورنال۴۲» تر تازه! راه درازی است! امیدوارم این گروه حالاحالاها ادامه بدهند.
وگرنه از کجا بدانیم فضا بوی استیک سوخته می‌دهد؟! یا چرا بدن ما مورمور می‌شود؟!
و ژورنال۴۲ این خوبی را دارد که چشمش به مخاطب ایرانی است؛ و مثلا وقتی مرجان ساتراپی در گذشت، زود یک مطلب خواندنی منتشر کردند درباره سندروم قلب شکسته.
چی بهتر از این برای یک مرجع علمی؟

۶۰ میلیون ستاره در یک قاب



اعتبار:
ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA, CFHT; image processing by J.-C. Cuillandre and E. Bertin (CEA Paris-Saclay)

این موزاییک عظیم، پرجزئیات‌ترین تصویر نور مرئی است که تاکنون از ناحیه مرکزی راه شیری تهیه شده است. تلسکوپ فضایی اقلیدس در حدود ۲۶ ساعت و با ترکیب ۹ میدان رصدی، بیش از ۶۰ میلیون ستاره را در برآمدگی مرکزی کهکشان ثبت کرد؛ منطقه‌ای متراکم که در فاصله حدود ۲۶ هزار سال نوری از زمین قرار دارد. نوارها و لکه‌های تیره در تصویر فضای خالی نیستند، بلکه ابرهای مولکولی غبارآلودی‌اند که نور ستارگان پشت خود را جذب می‌کنند. ارزش علمی تصویر فقط در ابعاد آن نیست: این داده‌ها می‌توانند به‌عنوان تصویری مرجع از موقعیت ستارگان، با رصدهای آینده تلسکوپ فضایی نانسی گریس رومن مقایسه شوند و به تایید سیاره‌های فراخورشیدی و اندازه‌گیری جرم آن‌ها از راه ریزهمگرایی گرانشی کمک کنند.

یادداشت مهم درباره رنگ‌ها:
دوربین مرئی اقلیدس تصویر اصلی را به‌صورت تک‌رنگ ثبت کرده است. رنگ نسخه عمومی با افزودن داده‌های رصدخانه کانادا–فرانسه–هاوایی تهیه شده؛ بنابراین تصویر یک ترکیب علمی رنگی است، نه عکسی با رنگ طبیعی مستقیم.

این موزاییک عظیم، پرجزئیات‌ترین تصویر نور مرئی است که تاکنون از ناحیه مرکزی راه شیری تهیه شده است.





امیر صادقپور
روزنامه‌نگار فناوری

پارادوکس خستگی مداوم: چرا همیشه خسته‌ایم؟

خستگی مداوم به ترجیع‌بند زندگی در قرن بیست‌ویکم تبدیل شده است. ما برخلاف اجدادمان که ساختار زیستی‌شان طی میلیون‌ها سال بر اساس چرخه طبیعی نور و تاریکی تنظیم شده بود، در جهانی زندگی می‌کنیم که مرزهای زیستی روز و شب در آن کم‌رنگ شده است. بسیار پیش می‌آید که با وجود گذراندن هفت یا هشت ساعت در تختخواب، با احساس کوفتگی، افت تمرکز و مه‌مغزی بیدار شویم. بخشی از پاسخ این معما نه در کمبود اراده، بلکه در ناهماهنگی «ریتم شبانه‌روزی» نهفته است؛ سامانه‌ای حیاتی که خواب و بیداری، ترشح هورمون‌ها، دمای بدن و بخشی از انرژی روزانه ما را هماهنگ می‌کند.

اما این تنها توضیح ممکن نیست. خستگی پایدار یک نشانه است، نه یک تشخیص واحد. آپنه خواب، کم‌خونی، اختلالات تیروئید، افسردگی و اضطراب، برخی داروها، عفونت‌ها و بیماری‌های مزمن نیز می‌توانند خود را با خستگی نشان دهند. بنابراین اگر خستگی هفته‌ها ادامه پیدا کند، با استراحت کافی بهتر نشود یا زندگی روزمره را مختل کند، باید آن را فراتر از مساله‌ای مربوط به سبک زندگی دید.

با این همه، برای درک یکی از مهم‌ترین ریشه‌های خستگی در زندگی مدرن، لازم است ابتدا نگاهی دقیق‌تر به ساعت درونی بدن بیندازیم؛ ساعتی که هنوز با منطق طلوع و غروب کار می‌کند، حتی اگر جهان اطراف ما مدت‌هاست از این منطق فاصله گرفته باشد.

ساعت مرکزی بدن و جادوی نور

ساعت زیستی بدن ما در بخشی بسیار کوچک از هیپوتالاموس قرار دارد؛ بخشی به نام هسته سوپراکیازماتیک یا SCN که از حدود بیست هزار نورون تشکیل شده است. این هسته مانند رهبر یک ارکستر بزرگ عمل می‌کند و زمان‌بندی بسیاری از فرایندهای بدن را با چرخه روشنایی و تاریکی محیط هماهنگ نگه می‌دارد.
اما این ساعت درونی چگونه زمان را تشخیص می‌دهد؟ چشم‌های ما فقط برای دیدن تصویر نیستند. گروه خاصی از سلول‌های گانگلیونی شبکیه که به نور حساس‌اند و ملانوپسین دارند، شدت و طیف نور محیط را پایش می‌کنند و این اطلاعات را به SCN می‌رسانند. با فرارسیدن تاریکیِ شب زیستی، مسیرهای عصبی تنظیم‌کننده غده صنوبری اجازه می‌دهند سطح ملاتونین افزایش یابد.
ملاتونین را معمولا «هورمون خواب» می‌نامند، اما تعبیر دقیق‌تر این است که آن را «پیام‌رسان تاریکی» بدانیم. این هورمون به بدن اعلام می‌کند که شب زیستی آغاز شده است و به تنظیم زمان خواب کمک می‌کند، اما به‌تنهایی کلید روشن و خاموش خواب نیست.

نور آبی و زمان‌پریشی اجتماعی

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های زندگی دیجیتال، حضور نور مصنوعی در ساعت‌هایی است که بدن انتظار تاریکی دارد. نمایشگر تلفن همراه، رایانه و بسیاری از لامپ‌های LED سهم قابل‌توجهی از طول موج‌های کوتاه، از جمله نور آبی، دارند؛ طول موج‌هایی که سامانه ملانوپسین شبکیه به آن‌ها حساس است.
با این حال، این تعبیر که چشم نور گوشی را دقیقا معادل «نور خورشید ظهر» بازمی‌شناسد، بیش از حد ساده‌شده است. اثر نور شبانه به شدت، مدت مواجهه، فاصله، اندازه صفحه و زمان استفاده بستگی دارد. علاوه بر این، مشکل فقط نور نیست؛ ادامه دادن کار، شبکه‌های اجتماعی، بازی، اعلان‌ها و محتوای برانگیزاننده نیز زمان خواب را عقب می‌اندازند و ذهن را در وضعیت بیداری نگه می‌دارند.

وقتی نور و فعالیت‌های شبانه زمان خواب را عقب می‌اندازند اما ساعت کار یا تحصیل همچنان ما را مجبور می‌کند صبح زود بیدار شویم، فاصله میان ساعت درونی بدن و ساعت اجتماعی بیشتر می‌شود. یکی از شکل‌های این ناهماهنگی «جت‌لگ اجتماعی» است؛ اختلاف میان زمان خواب در روزهای کاری و روزهای آزاد. مثلا فردی که در طول هفته زود بیدار می‌شود اما آخر هفته چند ساعت دیرتر می‌خوابد و بیدار می‌شود، هر هفته نوعی سفر زمانی کوتاه را تجربه می‌کند. این پدیده با خواب ناکافی و برخی پیامدهای خلقی و متابولیک ارتباط دارد، اما به‌تنهایی علت همه موارد خستگی نیست.

کالبدشکافی معماری خواب؛ کیفیت در برابر کمیت

خواب انسان فرایندی یکنواخت نیست. خواب از مراحل غیرِرِم و رِم تشکیل شده است و این مراحل در طول شب چند بار تکرار می‌شوند. معمولا از چرخه‌های تقریبا نوددقیقه‌ای حرف می‌زنیم، اما در واقع طول هر چرخه می‌تواند حدود هشتاد تا صدوده دقیقه باشد و از فردی به فرد دیگر یا حتی از شبی به شب دیگر تغییر کند.

بخش مهمی از این معماری، خواب موج‌آهسته یا مرحله سوم خواب غیرِرِم است که معمولا در نیمه نخست شب سهم بیشتری دارد. در این مرحله، ضربان قلب و تنفس آهسته‌تر می‌شوند و بدن وارد یکی از عمیق‌ترین حالت‌های خواب می‌شود. ترشح هورمون رشد نیز با این مرحله ارتباط دارد، هرچند ترمیم عضلات، تنظیم سیستم ایمنی و بازیابی بدن فقط به یک مرحله محدود نیست و حاصل مجموعه‌ای از فرایندهای شبانه است.

در سال‌های اخیر توجه زیادی به سامانه گلیمفاتیک مغز جلب شده است؛ شبکه‌ای که به جابه‌جایی مایع مغزی‌نخاعی و پاک‌سازی برخی مواد زائد کمک می‌کند. پژوهش‌های جانوری نشان داده‌اند که فعالیت این سامانه در خواب افزایش می‌یابد و شواهد تصویربرداری در انسان نیز از ارتباط میان خواب و مسیرهای پاک‌سازی مغز حمایت می‌کنند. با این حال هنوز نمی‌توان با قطعیت گفت خواب عمیق «پروتئین‌های آلزایمر را می‌شوید» یا به‌تنهایی از بیماری جلوگیری می‌کند. رابطه خواب، پاک‌سازی مغز و بیماری‌های تحلیل‌برنده عصبی همچنان حوزه‌ای فعال از پژوهش است.

به همین دلیل، ممکن است کسی ساعت‌های زیادی در تختخواب بماند اما خواب او پیوسته، عمیق و ترمیم‌کننده نباشد. کمیت خواب مهم است، اما کیفیت و نظم آن نیز اهمیت دارد؛ و هشت ساعت حضور در تختخواب لزوما به معنای هشت ساعت خواب نیست.

پروتکل‌های بهداشت خواب؛ بازگشت به تعادل

برای بازسازی این سامانه زیستی لازم نیست زندگی را به مجموعه‌ای از مقررات سخت و تنبیهی تبدیل کنیم. آنچه بیش از هر چیز اهمیت دارد، بازگرداندن نشانه‌های قابل‌پیش‌بینی به بدن است: روشنایی در زمان مناسب، تاریکی در زمان مناسب و برنامه‌ای که هر شب به‌طور کامل تغییر نکند.

یکی از موثرترین نشانه‌ها، نور روز است؛ به‌ویژه در ساعات پس از بیداری. قرار گرفتن در معرض نور طبیعی صبحگاهی می‌تواند هوشیاری را افزایش دهد و ساعت زیستی را به زمان زودتری تنظیم کند. البته نمی‌توان برای همه نسخه ثابت پنج یا ده دقیقه‌ای نوشت؛ مقدار نور لازم به فصل، عرض جغرافیایی، وضعیت هوا و شدت روشنایی بستگی دارد. هدف این است که پس از بیداری، تا جای ممکن نور واقعی روز را دریافت کنیم، بی‌آنکه مستقیم به خورشید نگاه کنیم.

در سوی دیگر روز، بهتر است یکی دو ساعت پیش از خواب نور محیط و نمایشگرها را کاهش دهیم. فیلترهای رنگ و حالت شب ممکن است کمک‌کننده باشند، اما خاموش کردن یا کنار گذاشتن دستگاه معمولا موثرتر است؛ زیرا هم میزان نور را کم می‌کند و هم حلقه ادامه‌دار پیام‌ها، کار و سرگرمی را می‌شکند.

کافئین نیز بخشی از این معادله است، اما توصیه مشهور به این‌که همه باید دقیقا نود دقیقه پس از بیداری برای نوشیدن قهوه صبر کنند، پشتوانه پژوهشی محکمی ندارد. نکته مهم‌تر این است که کافئین را بر اساس زمان خواب تنظیم کنیم. نیمه‌عمر آن در بسیاری از بزرگسالان حدود پنج تا شش ساعت است و میان افراد تفاوت زیادی دارد؛ بنابراین قهوه‌ای که برای یک نفر در بعدازظهر بی‌اثر است، ممکن است خواب فرد دیگری را تا نیمه‌شب به تعویق بیندازد.

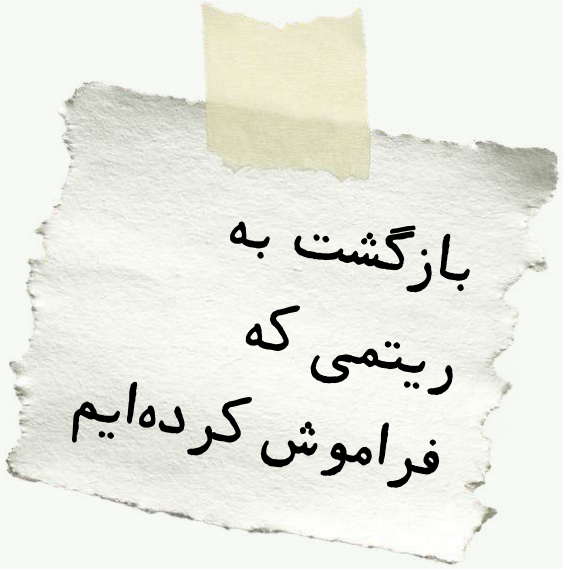
دمای محیط نیز در آماده‌کردن بدن برای خواب نقش دارد. بدن برای آغاز خواب معمولا بخشی از گرمای مرکزی خود را از راه پوست دفع می‌کند. اتاقی تاریک، آرام و نسبتا خنک می‌تواند به این فرایند کمک کند، اما دمای ایده‌آل برای همه یکسان نیست. دوش یا حمام گرم حدود یک تا دو ساعت پیش از خواب نیز ممکن است با افزایش جریان خون پوست و تسهیل دفع گرما پس از حمام، شروع خواب را آسان‌تر کند.

ثبات در زمان خواب و به‌ویژه زمان بیداری، یکی دیگر از پایه‌های مهم این نظم است. بدن انسان از الگوهای قابل‌پیش‌بینی سود می‌برد. لازم نیست آخر هفته‌ها دقیقا مانند روزهای کاری زندگی کنیم، اما جابه‌جایی چندساعته برنامه خواب می‌تواند همان جت‌لگ اجتماعی را تشدید کند. در کنار این‌ها، فعالیت بدنی منظم، دریافت نور روز، تغذیه کافی، کاهش مصرف الکل و نیکوتین در ساعات نزدیک خواب و رسیدگی به استرس، همگی می‌توانند کیفیت خواب و انرژی روزانه را بهتر کنند.

چه زمانی خستگی فقط مساله خواب نیست؟

اگر خستگی چند هفته ادامه دارد، با خواب و استراحت کافی بهتر نمی‌شود، کار و زندگی روزمره را مختل می‌کند یا با علائمی مانند تنگی نفس، درد قفسه سینه، کاهش وزن بی‌دلیل، تب، خون‌ریزی، ضعف شدید، خرخر بلند و قطع تنفس در خواب، خواب‌آلودگی خطرناک هنگام رانندگی یا افت محسوس خلق همراه است، بهتر است موضوع با پزشک یا ارائه‌دهنده خدمات سلامت در میان گذاشته شود.

همچنین باید میان اصطلاح عمومی «خستگی مزمن» و بیماری آنسفالومیلیت میالژیک/ سندرم خستگی مزمن تفاوت گذاشت. ME/CFS بیماری مشخص و پیچیده‌ای است که با کاهش پایدار توان فعالیت، بدترشدن علائم پس از فعالیت و خواب غیرترمیم‌کننده شناخته می‌شود و تشخیص آن نیازمند ارزیابی پزشکی است.



خستگی مداوم نسل ما تا حدی حاصل شکاف میان فیزیولوژی تکاملی انسان و زیست‌بوم مدرن است؛ اما این شکاف همه ماجرا نیست. بدن ما با نور، زمان‌بندی، بیماری، سلامت روان، فعالیت بدنی، داروها و ده‌ها عامل دیگر وارد گفت‌وگویی دائمی است. به همین دلیل، نه یک هک اینترنتی و نه یک توصیه واحد نمی‌تواند پاسخ همه باشد. ما نمی‌توانیم فناوری را از زندگی حذف کنیم و شاید اساسا دلیلی هم برای این کار وجود نداشته باشد. اما می‌توانیم با مدیریت آگاهانه نور، تنظیم زمان خواب و بیداری، فراهم کردن فرصت کافی برای خواب و جدی گرفتن خستگی پایدار، دوباره بخشی از هماهنگی ازدست‌رفته را به بدن بازگردانیم. خواب زمان تلف‌شده یا وقفه‌ای در سازندگی نیست؛ زیرساخت اصلی عملکرد ذهنی و جسمی ماست، و شاید یکی از معدود زمان‌هایی باشد که بدن بی‌سروصدا مشغول نگه‌داشتن ما در وضعیت قابل‌زیستن است.

پارادوکس خستگی مزمن:
چرا نسل ما همیشه خسته است؟

خستگیِ پایدار اغلب ناشی از برهم‌خوردگی ریتم شبانه‌روزی است، نه ضعف اراده.

۱. ساعت مرکزی بدن چطور کار می‌کند؟

ساعت داخلی بدن در مغز تنظیم می‌شود و با چراغ اصلی زمان‌بندی یعنی نور، همگام می‌گردد.

نور مهم‌ترین نشانه زمانی برای تنظیم ساعت بدن است.



ملاتونین
سیگنال تاریکی به بدن؛ شروع خواب و تنظیم ریتم شبانه‌روزی

۲. چه چیزی ما را خسته نگه می‌دارد؟

۱. نور آبی شبانه



نور آبی شبانه ترشح ملاتونین را سرکوب می‌کند و شروع خواب را به تأخیر می‌اندازد.

۲. جت‌لگ اجتماعی



تعارض میان زمان بیولوژیک بدن و برنامه‌های اجتماعی (مدرسه، کار، تعهدات) باعث خستگی مزمن می‌شود.

۳. خوابِ ناکافیِ عمیق



کمیتِ خواب به تنهایی کافی نیست؛ کیفیتِ خوابِ عمیق برای بازسازی بدن و مغز حیاتی است.

۴. استرس و بی‌نظمی زمانی



استرس مزمن و زمان‌های نامنظم بیداری و خواب، ثبات ساعت بدن را تضعیف می‌کنند.

۳. در خواب عمیق چه رخ می‌دهد؟

۱. فعال شدن پاکسازی گلیمفاتیک مغز



در خواب عمیق، سیستم گلیمفاتیک فعال‌تر می‌شود و به پاکسازی پسماندهای متابولیکی، از جمله پروتئین‌هایی که با خطر بیماری‌های نورودژنراتیو مرتبط‌اند، کمک می‌کند (شواهد قوی، اما قطعی نیست).

۲. ترمیم بافت و ترشح هورمون رشد



بازسازی سلول‌ها و بافت‌ها و ترشح هورمون رشد، به ترمیم بدن و تعادل سوخت‌وساز کمک می‌کند.

۳. پشتیبانی از ایمنی، حافظه و تمرکز



خواب عمیق با تنظیم ایمنی، تثبیت حافظه و بهبود توجه و تمرکز، عملکرد شناختی و سلامت کلی را پشتیبانی می‌کند.

۴. پروتکل‌های بهداشت خواب

۱. نور صبحگاهی



۳۰ تا ۶۰ دقیقه پس از بیداری، ۵ تا ۱۰ دقیقه در نور آفتاب خارج از خانه (در هوای ابری طولانی‌تر).

۲. ثبات بیداری



هر روز، حتی در تعطیل، در زمان مشابه بیدار شوید. ثبات، پایه ریتم سالم است.

۳. مدیریت نور شب



۱ تا ۲ ساعت قبل از خواب، نورها را کم کنید و استفاده از صفحات روشن را کاهش دهید.

۴. دمای اتاق



دمای حدود ۱۸ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌تواند به شروع خواب کمک کند.

۵. کافئین



اگر در بعدازظهر دچار افت انرژی می‌شوید، مصرف کافئین را ۶۰ تا ۹۰ دقیقه پس از بیداری در نظر بگیرید.

جمع‌بندی

خستگی مزمن اغلب نتیجه ناهماهنگی میان زیست‌شناسی تکاملی ما و محیط مدرن است؛ با مدیریت نور، زمان‌بندی و کیفیت خواب، می‌توانیم انرژی و کارایی خود را بازمی‌گردانیم.



فراتر از هیاهو

هوش مصنوعی در پزشکی



شهرام کردستی
استاد ایمنی‌شناسی سرطان و مسئول پژوهش دانشکده سرطان و علوم دارویی کینگز کالج لندن؛
پزشک متخصص خون در بیمارستان گایز و سنت توماس.

این روزها تقریبا هر جا سخن از هوش مصنوعی است، یک پرسش تکرار می‌شود: آیا شغل‌ها از میان خواهند رفت؟ پزشکی نیز از این بحث مستثنا نیست. بسیاری می‌پرسند آیا در آینده همچنان به پزشک نیاز خواهیم داشت یا هوش مصنوعی جای پزشکان را خواهد گرفت؟

پاسخ‌ها معمولا سیاه‌وسفیدند. گروهی می‌گویند پزشکی به‌طور کامل زیرورو خواهد شد و پزشک به حاشیه خواهد رفت. گروهی دیگر معتقدند این فناوری چیزی بیش از موجی زودگذر نیست و پزشکی اساسا تغییر نخواهد کرد. واقعیت، مانند بیشتر تحولات مهم علمی و فناورانه، پیچیده‌تر از هر دو روایت است.

هوش مصنوعی وارد پزشکی شده است؛ نه برای حذف پزشک، بلکه برای کاهش کارهای تکراری، دیدن الگوهای پنهان و کمک به تصمیم‌گیری دقیق‌تر.

برای فهم جایگاه هوش مصنوعی در پزشکی، نخست باید آن را از حالت یک اصطلاح کلی و مبهم خارج کنیم. «هوش مصنوعی» نام یک ابزار واحد نیست. سامانه ثبت خودکار مکالمه، مدلی که در داده‌های آزمایش خون دنبال الگو می‌گردد و ابزاری که بیمار را با یک کارآزمایی بالینی مناسب تطبیق می‌دهد، هر کدام هدف، داده، روش و سطح خطر متفاوتی دارند.

بعضی از این ابزارها همین امروز وارد بیمارستان‌ها و مطب‌ها شده‌اند. بعضی دیگر در پژوهش‌ها نتایج امیدوارکننده‌ای داشته‌اند، اما هنوز باید در بیمارستان‌ها، جمعیت‌ها و شرایط متفاوت دوباره آزموده شوند. گروهی نیز فعلا بیشتر در قلمرو وعده‌اند تا مراقبت روزمره پزشکی.

آنچه همین امروز در حال فعالیت است: کم‌کردن بار مستندسازی

یکی از کاربردهای ملموس هوش مصنوعی، ثبت خودکار گفت‌وگوی پزشک و بیمار است. این فناوری‌ها که گاهی «ثبت‌گر محیطی» یا «دستیار صوتی پزشکی» نامیده می‌شوند، به گفت‌وگوی داخل اتاق معاینه گوش می‌دهند و از آن پیش‌نویس یادداشت پزشکی، خلاصه ملاقات یا نامه ارجاع تهیه می‌کنند.

بعضی از این ابزارها همین امروز وارد بیمارستان‌ها و مطب‌ها شده‌اند. بعضی دیگر در پژوهش‌ها نتایج امیدوارکننده‌ای داشته‌اند، اما هنوز باید در بیمارستان‌ها، جمعیت‌ها و شرایط متفاوت دوباره آزموده شوند. گروهی نیز فعلا بیشتر در قلمرو وعده‌اند تا مراقبت روزمره پزشکی.

واژه «محیطی» در اینجا به این معناست که پزشک لازم نیست جمله‌ها را جداگانه برای نرم‌افزار دیکته کند؛ سامانه در پس‌زمینه مکالمه طبیعی را دریافت و سازمان‌دهی می‌کند.

واژه‌نامه کوتاه

اصطلاح‌هایی که برای خواندن این مقاله به کار می‌آیند



ثبت‌گر محیطی (AMBIENT SCRIBE)

ابزاری که گفت‌وگوی پزشک و بیمار را می‌شنود و از آن پیش‌نویس یادداشت یا خلاصه می‌نویسد.



تریاژ (TRIAGE)

یعنی تعیین اینکه وضعیت بیمار چقدر فوری است؛ از مراقبت در خانه تا مراجعه فوری به اورژانس.



AUC

شاخصی که نشان می‌دهد یک مدل تا چه حد می‌تواند دو گروه، مثلاً بیمار و غیربیمار، را از هم جدا کند.



F1

عدد مرکبی برای سنجش تعادل میان دقت مثبت و حساسیت؛ هرچه به ۱ نزدیک‌تر باشد، عملکرد بهتر است.



گراف دانش (KNOWLEDGE GRAPH)

شبکه‌ای از رابطه‌ها میان بیماری‌ها، درمان‌ها، جهش‌ها و معیارهای مطالعه که به استدلال سامان‌یافته کمک می‌کند.



RAG (RETRIEVAL-AUGMENTED GENERATION)

روشی که در آن مدل پیش از پاسخ‌دادن، اسناد مشخص را پیدا می‌کند و پاسخ را بر پایهٔ همان منابع می‌سازد.



توهم مدل (HALLUCINATION)

وقتی مدل با اطمینان، پاسخ نادرست یا بی‌پایه تولید می‌کند.



هیچ‌یک از این شاخص‌ها یا روش‌ها به تنهایی جای قضاوت بالینی را نمی‌گیرند.

هوش مصنوعی در مطب

ارزش اصلی چنین ابزاری جایگزین‌کردن پزشک نیست. هدف این است که پزشک زمان کمتری را صرف تایپ‌کردن، تکمیل فرم‌ها و تنظیم اسناد تکراری کند و هنگام گفت‌وگو توجه بیشتری به بیمار داشته باشد.

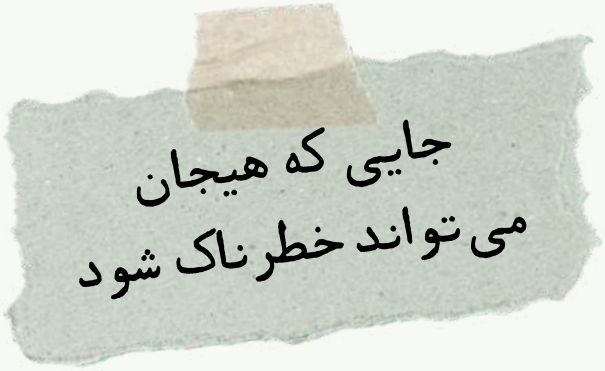
برای نمونه، ACCURX SCRIBE نام یکی از این محصولات است. شرکت بریتانیایی ACCURX پیش از این نیز ابزارهای ارتباطی متعددی در نظام سلامت عمومی انگلستان، یا NHS، ارائه کرده بود. طبق گزارش‌های منتشرشده، ابزار ثبت مکالمه این شرکت در بیش از ۴۰ «تراست» NHS استفاده می‌شود. تراست در ساختار درمانی بریتانیا به یک مجموعه بیمارستانی یا خدمات درمانی گفته می‌شود که چند مرکز و گروه حرفه‌ای را اداره می‌کند. این ابزار همچنین برای ۹۷ درصد مطب‌های پزشکان عمومی انگلستان در دسترس قرار گرفته است؛ هرچند «در دسترس بودن» الزاما به معنای استفاده فعال و روزانه همه آن مطب‌ها نیست.

در جنوب‌غرب لندن نیز چهار مجموعه درمانی NHS برنامه چهارساله‌ای را آغاز کرده‌اند تا ابزار شرکت LYREBIRD HEALTH را در اختیار حداکثر ۲۰ هزار نفر از پزشکان و دیگر اعضای کادر درمان قرار دهند. قرار است در سال نخست حدود ۱۰ هزار کاربر به آن دسترسی پیدا کنند و شمار کاربران به‌تدریج افزایش یابد. این نرم‌افزار قرار است به پرونده الکترونیک مشترک مراکز متصل شود تا پیش‌نویس یادداشت‌ها مستقیما در جریان معمول کار پزشکان قرار گیرد.

این اعداد نشان می‌دهند که ثبت‌گرهای هوشمند دیگر فقط موضوع چند آزمایش کوچک نیستند. اما گستردگی استفاده، به‌خودی‌خود، ایمنی یا کیفیت آن‌ها را ثابت نمی‌کند. یادداشتی که هوش مصنوعی تولید می‌کند باید پیش از ورود به پرونده بیمار به‌وسیله پزشک یا کاربر مسئول بررسی و تایید شود.

راهنمای رسمی NHS انگلستان هشدار می‌دهد که این ابزارها ممکن است اطلاعات مهم را حذف کنند، جزئیات نادرست بیفزایند یا با اصطلاحات تخصصی، برخی لهجه‌ها، زبان دوم و اختلال‌های گفتاری مشکل داشته باشند. این راهنما تاکید می‌کند که مراکز درمانی باید دقت خروجی‌ها را به‌طور مستمر بررسی کنند، خطاها را ثبت کنند و مسائل مربوط به محرمانگی، ذخیره صدا و حفاظت از اطلاعات بیمار را جدی بگیرند.

بنابراین، حتی در یکی از کم‌خطرترین و کاربردی‌ترین حوزه‌های هوش مصنوعی پزشکی، «انسان در حلقه تصمیم» باقی می‌ماند: ماشین پیش‌نویس را آماده می‌کند، اما مسئولیت درستی سند همچنان بر عهده پزشک است.



در سوی دیگر طیف، باید با احتیاط بیشتری به ادعاهای مربوط به تشخیص، تعیین فوریت مراجعه و پیشنهاد درمان نگاه کرد. پزشکی فقط تولید متنی روان و قانع‌کننده نیست. در این حوزه، «تقریبا درست» گاهی می‌تواند به تاخیر در درمان، آزمایش غیرضروری یا نادیده‌گرفتن یک وضعیت خطرناک منجر شود.

یکی از اصطلاحاتی که در این بحث زیاد به کار می‌رود، تریاژ است. تریاژ یعنی تعیین اینکه وضعیت بیمار تا چه اندازه فوری است: آیا می‌تواند در خانه منتظر بماند، باید به‌زودی با پزشک تماس بگیرد یا لازم است فورا به اورژانس مراجعه کند؟

مطالعه‌ای که در سال ۲۰۲۶ در مجله NATURE MEDICINE منتشر شد، عملکرد CHATGPT HEALTH را در همین زمینه بررسی کرد. پژوهشگران ۶۰ سناریوی بالینی نوشتند؛ از مشکلات کم‌خطر گرفته تا وضعیت‌های واقعی اورژانسی. هر سناریو با تغییر بعضی ویژگی‌ها چند بار آزمایش شد و در مجموع ۹۶۰ پاسخ به دست آمد. این یک «آزمون فشار» ساختاریافته بود؛ یعنی پژوهشگران عمدا شرایط دشوار و مرزی را طراحی کردند تا ببینند سامانه در کجاها ممکن است شکست بخورد.

در مواردی که پزشکان آن‌ها را اورژانس واقعی می‌دانستند، سامانه در حدود ۵۲ درصد پاسخ‌ها فوریت وضعیت را کمتر از حد لازم برآورد کرد. به این خطا کم‌تریاژ می‌گویند: برای مثال، سامانه به بیماری که باید فورا به اورژانس می‌رفت توصیه می‌کرد طی ۲۴ تا ۴۸ ساعت آینده ارزیابی شود.

در جهت مقابل، در بخشی از موارد کم‌خطر، سامانه وضعیت را جدی‌تر از حد لازم ارزیابی کرد. این خطا بیش‌تریاژ نام دارد. بیش‌تریاژ معمولا جان بیمار را مستقیما به خطر نمی‌اندازد، اما می‌تواند اضطراب، مراجعات غیرضروری و فشار بر نظام درمانی را افزایش دهد. در این مطالعه، بیش‌تریاژ موارد غیراضطراری عمدتا به توصیه مراجعه برنامه‌ریزی‌شده به پزشک منجر شد و نه فرستادن مستقیم بیمار به اورژانس.

این یافته نگران‌کننده است، اما نباید آن را بدون توجه به روش پژوهش به تمام استفاده‌های واقعی از هوش مصنوعی تعمیم داد. مطالعه بر سناریوهای نوشته‌شده و قالب پاسخ ازپیش‌تعیین‌شده استوار بود، نه بر بیماران واقعی که با نشانه‌ها، سابقه پزشکی و گفت‌وگویی طولانی وارد درمانگاه می‌شوند.

در یک پیش‌چاپ بعدی ـ یعنی نسخه اولیه یک پژوهش که هنوز داوری علمی همتا را پشت سر نگذاشته است ـ گروه دیگری استدلال کرد که قالب محدود پاسخ ممکن است بخشی از خطاها را تشدید کرده باشد. این نقد، ایمنی سامانه را ثابت نمی‌کند و نتیجه مطالعه اصلی را نیز از میان نمی‌برد؛ فقط یادآوری می‌کند که اعداد یک آزمون همیشه به شرایط همان آزمون وابسته‌اند.

درس اصلی همچنان پابرجاست: مدل‌های عمومی زبانی، دست‌کم در وضعیت فعلی، نباید جای ارزیابی حرفه‌ای در تصمیم‌های حیاتی، تعیین فوریت یک وضعیت پزشکی یا انتخاب درمان را بگیرند.

داده‌هایی که تولید می‌کنیم اما همه آن‌ها را نمی‌بینیم

فرصت بزرگ‌تر هوش مصنوعی شاید نه در جایگزینی پزشک، بلکه در استفاده بهتر از داده‌هایی باشد که نظام درمانی همین امروز تولید می‌کند.

یکی از رایج‌ترین آزمایش‌های پزشکی، شمارش کامل سلول‌های خون است که به CBC یا FBC نیز شناخته می‌شود. این همان آزمایشی است که تعداد گلبول‌های سفید، گلبول‌های قرمز، پلاکت‌ها، میزان هموگلوبین و چند شاخص دیگر را گزارش می‌کند.

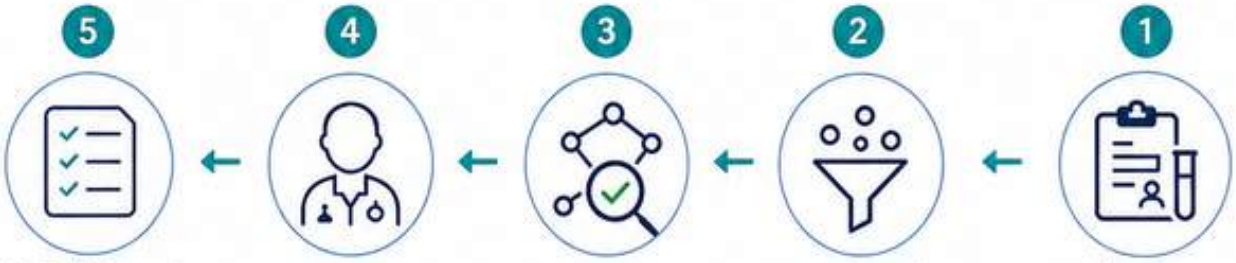
اما دستگاه آزمایشگاه برای رسیدن به این چند عدد، اطلاعات بسیار بیشتری تولید می‌کند: اندازه و شکل سلول‌ها، نحوه پراکندگی آن‌ها و ویژگی‌های جمعیت‌های مختلف سلولی. بخشی از این داده‌ها برای کنترل کیفیت دستگاه استفاده می‌شود و هرگز وارد گزارش معمولی که پزشک می‌بیند نمی‌شود.

یادگیری ماشین می‌تواند در این لایه پنهان‌تر داده‌ها دنبال الگوهایی بگردد که با چشم انسان یا در گزارش استاندارد به‌آسانی دیده نمی‌شوند.

در یک مطالعه سال ۲۰۲۰، پژوهشگران بررسی کردند که آیا می‌توان از نتایج شمارش کامل خون برای جداکردن بیماران مبتلا و غیرمبتلا به ویروس SARS-COV-2 استفاده کرد. این ویروس عامل بیماری کووید۱۹ است. مدل‌ها در بیماران بستری به امتیاز AUC حدود ۰/۹۴ تا ۰/۹۵ و در افراد غیربستری یا مراجعه‌کنندگان جامعه به حدود ۰/۸۰ تا ۰/۸۶ رسیدند.

تطبیق هوشمند بیمار با کار آزمایی بالینی

چگونه هوش مصنوعی می‌تواند جست‌وجو را سریع‌تر کند، بی‌آنکه قضاوت پزشک حذف شود



۱ پرونده بیمار و معیارهای مطالعه
پرونده بالینی، نتایج آزمایش و شرایط ورود و خروج

۲ استخراج و غربال اولیه استخراج
اطلاعات مهم از پرونده و حذف گزینه‌های نامرتبط

۳ سنجش معیارها
بررسی تطابق با معیارهای کارآزمایی با کمک گراف دانش و عامل‌های تخصصی

۴ بازبینی انکولوژیست
تایید و قضاوت نهایی توسط پزشک متخصص

۵ فهرست تطبیق‌های احتمالی
مطالعاتی که می‌توانند برای بیمار مناسب باشند

روش سنتی

بررسی دستی پرونده‌ها توسط تیم پژوهش

زمان متوسط برای هر بیمار: حدود ۱۲۰ دقیقه

سامانه هوشمند چندعاملی

ترکیب مدل‌های زبانی، گراف دانش و بازبینی انسانی

زمان متوسط برای هر بیمار: حدود ۳۰ دقیقه

F1 = ۰٫۸۲

F1 شاخصی برای سنجش تعادل میان دقت مثبت و حساسیت است و به‌تنهایی ایمنی بالینی را ثابت نمی‌کند.

کاهش زمان بررسی از حدود ۱۲۰ دقیقه به حدود ۳۰ دقیقه

۱۷,۹۱۲ تطبیق تاییدشده توسط انکولوژیست‌ها

۳,۸۰۴ بیمار بررسی‌شده

تطبیق احتمالی به معنای پذیرش قطعی بیمار در کارآزمایی نیست؛ تصمیم نهایی با تیم درمان و تیم پژوهش است.



این شاخص توانایی یک مدل در جداکردن دو گروه را می‌سنجد. به زبان ساده، اگر یک بیمار مبتلا و یک فرد غیرمبتلا را به‌طور تصادفی انتخاب کنیم، AUC نشان می‌دهد مدل با چه احتمالی به فرد مبتلا امتیاز خطر بالاتری می‌دهد. امتیاز ۰/۵ تقریبا معادل حدس تصادفی است و امتیاز ۱ به معنای جداسازی کامل دو گروه است.

بنابراین AUC برابر ۰/۹۵ به معنای «تشخیص درست ۹۵ درصد بیماران» نیست. این عدد همچنین به ما نمی‌گوید اگر مدل در یک بیمارستان یا جمعیت دیگر استفاده شود، همان عملکرد را خواهد داشت.

مطالعه یادشده بر داده‌های یک بیمارستان در سائوپائولو در برزیل و در شرایط خاص آغاز همه‌گیری انجام شد. عملکرد بهتر در بیماران بستری نیز ممکن است تا حدی به این دلیل باشد که بیماری شدیدتر تغییرات آشکارتری در خون ایجاد می‌کند. نتیجه، نشان‌دهنده امکان‌پذیری روش بود؛ نه اثبات اینکه یک آزمایش معمول خون می‌تواند به‌تنهایی و در هر بیمارستانی کووید را تشخیص دهد.

مطالعه دیگری داده‌های دستگاه‌های شمارش خون ۴۳ هزار و ۷۶۱ بیمار را طی یازده ماه بررسی کرد. پژوهشگران می‌خواستند بدانند آیا می‌توان در اطلاعاتی که معمولا گزارش نمی‌شوند، نشانه‌هایی از بیماری‌های واگیر، بیماری‌های غیرواگیر و تفاوت‌های جمعیتی پیدا کرد. این پژوهش نیز اکتشافی بود؛ یعنی هدفش یافتن ظرفیت‌های احتمالی بود، نه معرفی یک آزمایش تشخیصی آماده برای استفاده مستقل.

پروژه بین‌المللی BLOODCOUNTS! ـ به معنای «شمارش‌های خون» ـ این ایده را یک گام جلوتر برده است. هدف این پروژه آن است که بررسی کند آیا داده‌های انبوه آزمایش‌های معمول خون می‌توانند مانند یک سامانه هشدار زودهنگام برای سلامت جمعیت عمل کنند.

پژوهشگران این پروژه با استفاده از روش «تشخیص ناهنجاری» توانستند ردپای شیوع کووید۱۹ در کمبریج را در داده‌های آزمایش خون پیدا کنند، بی‌آنکه الگوریتم از ابتدا برای شناسایی همان ویروس خاص طراحی شده باشد. در اصطلاح فنی، این روش «مستقل از عامل بیماری‌زا» است؛ یعنی به‌جای جست‌وجوی یک میکروب مشخص، به دنبال تغییر غیرعادی در الگوی عمومی خون می‌گردد.

از ثبت خودکار گفت‌وگو تا یافتن کار آزمایی مناسب؛ ارزش واقعی هوش مصنوعی در پزشکی به شواهد، نظارت انسانی و شناخت مرزهای آن وابسته است.

این ایده جذاب است: شاید آزمایش‌های خونی که هر روز به دلایل مختلف گرفته می‌شوند، در مجموع بتوانند تغییر سلامت یک شهر یا منطقه را زودتر آشکار کنند. اما تبدیل این ایده به یک «حسگر سلامت جمعیت» به داده‌های بیشتر، آزمون در چند کشور و بیمارستان، و بررسی تاثیر فصل، سن، بیماری‌های دیگر و تفاوت دستگاه‌های آزمایشگاهی نیاز دارد.

یافتن کار آزمایی مناسب برای بیمار

حوزه دیگری که هوش مصنوعی در آن پیشرفت ملموسی نشان داده، یافتن کارآزمایی بالینی مناسب برای بیماران است.
کارآزمایی بالینی پژوهشی است که در آن یک درمان، دارو یا روش جدید با حضور داوطلبان انسانی آزمایش می‌شود. برای ورود به هر کارآزمایی، بیمار باید شرایط مشخصی داشته باشد.
در سرطان، این شرایط ممکن است شامل نوع دقیق تومور، مرحله بیماری، جهش‌های ژنتیکی، درمان‌های قبلی، وضعیت جسمی و ده‌ها نتیجه آزمایش باشد.
تطبیق این معیارها با پرونده بیماری که گاه صدها صفحه دارد، کاری زمان‌بر است. یک کارآزمایی ممکن است در ظاهر مناسب به نظر برسد، اما فقط یک نتیجه آزمایش یا یک درمان قبلی کافی باشد تا بیمار شرایط ورود را نداشته باشد.

در یک ارزیابی آینده‌نگر ـ یعنی پژوهشی که سامانه را هنگام ورود و بررسی بیماران ارزیابی کرد، نه فقط با مرور پرونده‌های قدیمی ـ اطلاعات ۳۸۰۴ بیمار مبتلا به سرطان متاستاتیک بررسی شد. سرطان متاستاتیک سرطانی است که از محل اولیه خود به بخش دیگری از بدن گسترش یافته است.

سامانه مورد استفاده «چندعاملی» بود. این اصطلاح به این معناست که یک مدل واحد همه کارها را انجام نمی‌داد؛ چند بخش تخصصی مانند یک تیم وظایف را میان خود تقسیم می‌کردند. یک بخش اطلاعات مهم را از پرونده بیرون می‌کشید، بخشی دیگر معیارهای ورود به مطالعه را بررسی می‌کرد و بخش دیگری پیشنهادها را اولویت‌بندی می‌کرد.

این سامانه همچنین از یک گراف دانش سرطان‌شناسی استفاده می‌کرد. گراف دانش را می‌توان شبکه‌ای از روابط دانست: کدام بیماری با کدام جهش مرتبط است، کدام درمان برای چه شرایطی به کار می‌رود و هر کارآزمایی چه معیارهایی دارد. به این ترتیب، سامانه فقط متن تولید نمی‌کرد، بلکه بخشی از بررسی خود را بر روابط پزشکی ساختاریافته استوار می‌کرد.

در این ارزیابی، زمان بررسی هر بیمار از حدود دو ساعت به حدود نیم ساعت کاهش یافت؛ پانزده دقیقه برای پردازش خودکار و حدود پانزده دقیقه برای بازبینی بالینی. سامانه ۲۳ هزار و ۹۱۲ جفت احتمالی بیمار–کارآزمایی را بررسی کرد و ۱۷ هزار و ۹۱۲ تطبیق را ارائه داد که انکولوژیست‌ها آن‌ها را تایید کردند. این اعداد به معنای حضور ۱۷ هزار بیمار در کارآزمایی نیست؛ ممکن است برای یک بیمار چند مطالعه احتمالی پیدا شده باشد.

امتیاز F1 سامانه ۰٫۸۲ بود. برای فهم این عدد باید دو سؤال ساده بپرسیم:

- نخست، از میان بیمارانی که سامانه «مناسب» اعلام کرده، چند نفر واقعا شرایط لازم را داشته‌اند؟ این شاخص در زبان فنی PRECISION نام دارد.
- دوم، از میان همه بیمارانی که واقعا مناسب بوده‌اند، سامانه چند نفر را پیدا کرده است؟ این شاخص RECALL یا حساسیت نام دارد.

فرصت بزرگ‌تر هوش مصنوعی شاید نه در جایگزینی پزشک، بلکه در استفاده بهتر از داده‌هایی باشد که نظام درمانی همین امروز تولید می‌کند.

امتیاز F1 این دو جنبه را در یک عدد میان صفر و یک ترکیب می‌کند. عدد ۰٫۸۲ نشان‌دهنده عملکرد خوب است، اما به معنای بی‌خطا بودن سامانه نیست. مدلی می‌تواند بیشتر گزینه‌های مناسب را پیدا کند، اما در کنار آن پیشنهادهای اشتباه زیادی هم بدهد؛ یا برعکس، بسیار محتاط باشد و تعدادی از بیماران واجد شرایط را از دست بدهد. F1 می‌کوشد میان این دو نوع عملکرد تعادل برقرار کند.

حتی F1 خوب نیز به‌تنهایی درباره ایمنی، عدالت یا آمادگی برای استفاده گسترده چیزی نمی‌گوید. ممکن است مدل در یک مرکز خوب عمل کند، اما با پرونده‌های ناقص، جمعیت متفاوت، زبان دیگر یا تغییر معیارهای کارآزمایی دچار افت شود.

البته تعدادی از نویسندگان این مطالعه با شرکت MASSIVE BIO، سازنده سامانه مورد ارزیابی، ارتباط شغلی داشتند. این موضوع لزوما یافته‌ها را بی‌اعتبار نمی‌کند، اما اهمیت تکرار مستقل پژوهش در مراکز دیگر را بیشتر می‌کند.

در نهایت، «تطبیق احتمالی» هنوز به معنای پذیرش قطعی بیمار در کارآزمایی یا مناسب‌بودن آن انتخاب برای زندگی او نیست. تیم پژوهش باید شرایط را بررسی کند و پزشک و بیمار باید درباره فایده، خطر، مسیر رفت‌وآمد، درمان‌های جایگزین و ترجیح شخصی تصمیم بگیرند.

اعتماد به سند، نه حافظه مدل

یکی از راه‌های کاهش پاسخ‌های بی‌پایه، متصل‌کردن مدل زبانی به مجموعه‌ای مشخص از اسناد معتبر است.

در حالت معمول، مدل زبانی بر الگوهایی تکیه می‌کند که هنگام آموزش از حجم بزرگی از متن آموخته است. این «حافظه» ممکن است ناقص، قدیمی یا نادقیق باشد. در روش دیگری، مدل پیش از پاسخ‌دادن ابتدا در راهنماهای پزشکی، پروتکل بیمارستان یا مقالاتی که در اختیارش گذاشته شده جست‌وجو می‌کند و سپس پاسخ را بر پایه بخش‌های بازیابی‌شده می‌نویسد.

این روش تولید تقویت‌شده با بازیابی یا به اختصار RAG نام دارد. به زبان ساده، مدل ابتدا منبع را پیدا می‌کند و بعد پاسخ را می‌سازد.

مزیت RAG این است که کاربر می‌تواند ببیند پاسخ به کدام سند متکی بوده و در صورت به‌روزرسانی راهنمای پزشکی، منبع تازه را جایگزین کند؛ بدون اینکه لازم باشد کل مدل دوباره آموزش ببیند.
اما RAG مترادف با حقیقت نیست. ممکن است سامانه سند نامربوطی را پیدا کند، بخش درستی را از زمینه اصلی جدا کند یا با وجود دراختیارداشتن منبع مناسب، پاسخ نادرستی بنویسد.

در یک مطالعه محدود در سال ۲۰۲۶، پژوهشگران یک سامانه پزشکی مبتنی بر RAG را با پرسشی درباره مقدار مصرف دارو آزمایش کردند. هنگامی که پرسش بدون گفت‌وگوی قبلی مطرح شد، پنج درصد پاسخ‌ها دارای اطلاعات ساختگی یا نادرست بودند. پس از افزودن ده رفت‌وبرگشت قبلی به مکالمه، این میزان در همان سامانه و همان آزمون به ۴۰ درصد رسید. پژوهشگران دریافتند که تاریخچه طولانی گفت‌وگو، جست‌وجوی سامانه را به‌سوی بخش‌های نامربوط سند منحرف کرده بود.

به این نوع پاسخ نادرست که معمولا با لحنی مطمئن ارائه می‌شود، «توهم مدل» می‌گویند. عددهای این مطالعه را نباید به همه سامانه‌های RAG تعمیم داد، اما نتیجه یک هشدار مهم دارد: اینکه مدل منبعی در اختیار دارد، به معنای آن نیست که همیشه منبع درست را پیدا یا درست تفسیر می‌کند.
منبع باید برای کاربر قابل مشاهده باشد و پزشک بتواند پاسخ را با متن اصلی مقایسه کند.



در پزشکی، عملکرد خوب روی یک مجموعه داده فقط نخستین مرحله است. پیش از استفاده گسترده، ابزار باید با داده‌هایی آزمایش شود که در ساخت آن نقشی نداشته‌اند. سپس باید در بیمارستان‌ها، مناطق و جمعیت‌های دیگر نیز ارزیابی شود. این فرایند را اعتبارسنجی می‌نامند.

گام مهم‌تر، آزمون در جریان واقعی کار است. ممکن است یک مدل در محیط کنترل‌شده پژوهش عملکرد خوبی داشته باشد، اما در بیمارستان با پرونده‌های ناقص، فشار زمانی، تفاوت زبان و لهجه یا تغییر روش ثبت اطلاعات روبه‌رو شود.

نظارت پس از استقرار نیز ضروری است. داده‌های بیمارستان، جمعیت بیماران، پروتکل‌های درمانی و خود نرم‌افزار در طول زمان تغییر می‌کنند. مدلی که امروز خوب عمل می‌کند ممکن است پس از تغییر دستگاه آزمایشگاه، شیوه ثبت پرونده یا نسخه نرم‌افزار همان عملکرد را نداشته باشد.

باید پرسید خطاها میان گروه‌های مختلف چگونه توزیع شده‌اند. آیا ابزار برای افراد مسن و جوان یکسان عمل می‌کند؟ آیا لهجه بیمار یا صحبت‌کردن به زبان دوم دقت ثبت‌گر صوتی را کاهش می‌دهد؟ آیا مدلی که با داده‌های یک بیمارستان بزرگ ساخته شده برای یک مرکز کوچک نیز قابل اعتماد است؟

راهنمای NHS انگلستان به همین دلیل بر پایش مستقل، بررسی سوگیری، حفاظت از داده‌ها و بازبینی اجباری خروجی‌ها تاکید می‌کند. این راهنما می‌گوید ثبت‌گرهای صوتی ممکن است با برخی لهجه‌ها، اختلال‌های گفتاری یا افرادی که انگلیسی زبان دوم آن‌هاست عملکرد متفاوتی داشته باشند.

مساله مقررات نیز یک پاسخ واحد ندارد. در بریتانیا، نرم‌افزاری که فقط صدای پزشک را به متن تبدیل می‌کند ممکن است در گروهی متفاوت از سامانه‌ای قرار گیرد که خلاصه پزشکی می‌سازد یا بر تصمیم درمانی اثر می‌گذارد. هرچه ابزار دخالت بیشتری در تشخیص، درمان یا تصمیم پزشکی داشته باشد، نظارت و الزامات قانونی آن نیز باید متناسب با خطر بیشتر شود.

دریافت مجوز نیز پایان کار نیست. مجوز نشان می‌دهد ابزار مجموعه‌ای از الزامات مشخص را برآورده کرده است؛ نه اینکه در هر بیمارستان، برای هر بیمار و در هر کاربردی مفید و بی‌خطر خواهد بود.



از داده‌های خام آزمایش خون تا گزارش بالینی

چگونه بخش بزرگی از اطلاعات دستگاه در مسیر رسیدن به گزارش نهایی فشرده می‌شود

بیشترین اطلاعات قابل مشاهده

کمترین اطلاعات قابل مشاهده



۱. داده‌های خام دستگاه

بیش از ۱۰۰۰ داده‌نقطه در هر نمونه

سیگنال‌ها و اندازه‌گیری‌های اولیه از ویژگی‌های سلولی

اطلاعات غنی و خام در دسترس دستگاه



۲. فراداده‌ها و الگوهای میانی

نمودارها، پراکندگی‌ها و ویژگی‌های مشتق‌شده

اطلاعاتی که می‌توانند برای پژوهش و یادگیری ماشین ارزشمند باشند

بخشی از داده‌ها در گزارش معمول دیده نمی‌شوند



۳. داده‌های تخصصی قابل تحلیل

ویژگی‌هایی فراتر از گزارش روتین

مواردی که ممکن است به یافتن الگوهای پنهان کمک کنند

فضایی که هوش مصنوعی می‌تواند الگوهای تازه پیدا کند



۴. گزارش بالینی استاندارد

حدود ۱۷ شاخص اصلی در چارچوب پروژه BLOODCOUNTS

مانند هموگلوبین، گلبول سفید، گلبول قرمز و پلاکت

آنچه معمولا پزشک در گزارش نهایی می‌بیند

تعداد و نوع داده‌ها به دستگاه، آزمایشگاه و روش تحلیل بستگی دارد.
این نمودار مفهومی است و مسیر فشرده‌شدن اطلاعات را نشان می‌دهد.

چشم‌انداز آینده: پزشک حذف نمی‌شود؛ نقش او تغییر می‌کند

آینده پزشکی احتمالا نه حذف پزشک است و نه نادیده‌گرفتن هوش مصنوعی. تصویری واقع‌بینانه‌تر، پزشکی‌ای است که در آن ابزارهای هوشمند بخشی از کارهای تکراری را انجام می‌دهند، الگوهایی را که در حجم زیاد داده پنهان مانده‌اند برجسته می‌کنند، کارآزمایی‌های احتمالی را پیدا می‌کنند و دسترسی به دانش پزشکی را آسان‌تر می‌سازند.

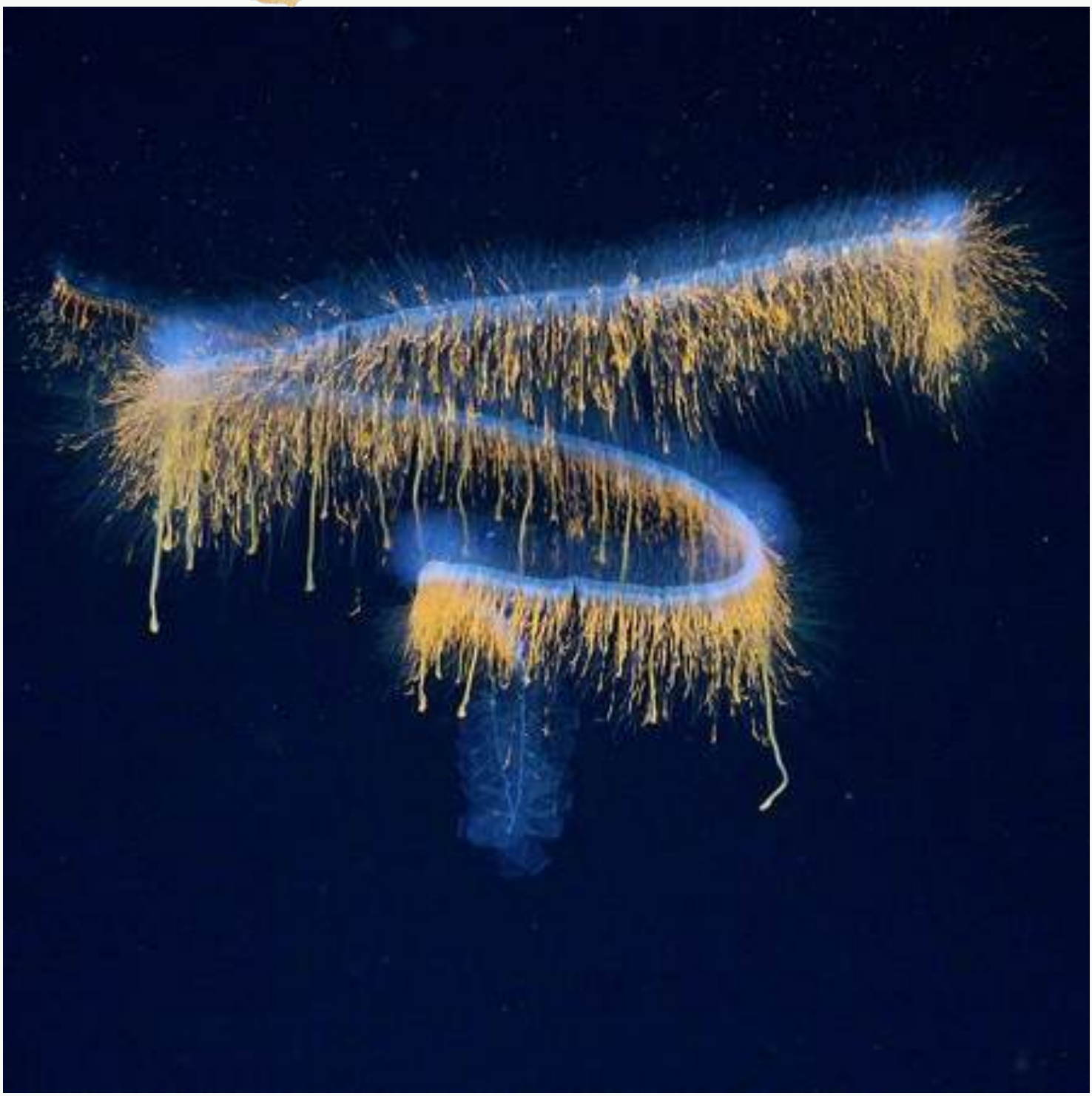
اما قضاوت بالینی، مسئولیت‌پذیری و رابطه انسانی همچنان در قلب پزشکی باقی می‌مانند.
یک مدل ممکن است الگویی را در آزمایش خون تشخیص دهد؛ پزشک باید بداند آن الگو در زندگی این بیمار، با این سابقه و این نشانه‌ها چه معنایی دارد.
سامانه ممکن است کارآزمایی‌ای را پیدا کند؛ بیمار و تیم درمان باید درباره فایده، خطر، امکان سفر و ترجیح شخصی تصمیم بگیرند.
ثبت‌گر هوشمند می‌تواند پیش‌نویس یادداشت را بنویسد؛ پزشک باید مسئول درستی آن باشد.

پرسش اصلی دیگر این نیست که آیا هوش مصنوعی وارد پزشکی خواهد شد یا نه. این اتفاق افتاده است. پرسش مهم‌تر این است که هر ابزار برای چه کاری ساخته شده، چه شواهدی از عملکرد آن داریم، در چه جمعیتی آزموده شده و چه کسی بر تصمیم نهایی نظارت می‌کند.

اگر این تمایزها را جدی نگیریم، یا اسیر هیاهو خواهیم شد یا فرصت‌های واقعی را از دست خواهیم داد.

میان یک مدل موفق و یک ابزار بالینی ایمن فاصله‌ای جدی وجود دارد؛
فاصله‌ای که با اعتبارسنجی، مقررات و مسئولیت پزشک پُر می‌شود.

شهری شناور از جانوران زنده



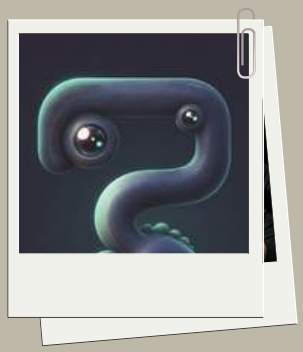
اعتبار: زیردریایی پژوهشی سوباستین، موسسه اقیانوس اشمیت

چیزی که در این تصویر شبیه روبانی نورانی با رشته‌های طلایی دیده می‌شود، یک جانور منفرد به معنای معمول نیست، بلکه یک سیفونوفور است: کلونی‌ای از واحدهای ژنتیکی همسان که هرکدام برای کاری تخصص یافته‌اند؛ بعضی مسئول شنا هستند، برخی غذا را شکار می‌کنند و گروهی دیگر هضم یا تولیدمثل را بر عهده دارند. این تقسیم کار چنان کامل است که واحدهای کلونی دیگر نمی‌توانند مستقل از یکدیگر زندگی کنند و در کنار هم مانند یک بدن واحد عمل می‌کنند.

تصویر به‌وسیله زیردریایی هدایت‌پذیر سوباستین در جریان کاوش‌های موسسه اقیانوس اشمیت ثبت شده و نمونه‌ای از تنوع زیستی کم‌شناخته‌شده آب‌های میانی و اعماق اقیانوس را نشان می‌دهد. رنگ‌های آبی و طلایی بدن و زوائد شکارگر جانور زیر نورهای زیردریایی آشکار شده‌اند؛ رنگ‌هایی که در تاریکی طبیعی اعماق به همین شکل برای چشم انسان دیده نمی‌شوند.

رنگ‌های آبی و طلایی بدن و زوائد شکارگر جانور زیر نورهای زیردریایی آشکار شده‌اند؛ رنگ‌هایی که در تاریکی طبیعی اعماق به همین شکل برای چشم انسان دیده نمی‌شوند.





تحریریه ژورنال ۴۲

جستجوگر بهترین
پاسخ‌های دنیا

مرده بیدار؛ وقتی مغز زندگی را انکار می‌کند

هذیان کوتار، برخلاف لقب عامه‌پسند «سندرم جسد متحرک»، داستان زامبی‌ها نیست؛ پدیده‌ای نادر و گاه خطرناک در تجربه خود، بدن و واقعیت است که می‌تواند همراه افسردگی روان‌پریشانه، بیماری‌های عصبی و وضعیت‌های پزشکی دیگر پدیدار شود.

گراهام به پزشکان می‌گفت قرص‌ها فایده‌ای ندارند. وقتی مغزی باقی نمانده است، دارو قرار است بر چه چیزی اثر کند؟

از زندگی شخصی او اطلاعات چندانی منتشر نشده است. در مقاله پزشکی و مصاحبه‌هایی که بعدتر با او انجام شد، تنها نام کوچک او آمده است: مردی میانسال که دوره‌ای از افسردگی شدید را پشت سر گذاشته و پس از یک اقدام به خودکشی، به نتیجه‌ای هولناک رسیده بود. بدنش از حادثه جان سالم به در برده بود، اما او یقین داشت مغزش مرده یا از میان رفته است.

گراهام همچنان راه می‌رفت، حرف می‌زد و با دیگران ارتباط داشت، اما این نشانه‌های آشکار زندگی نمی‌توانستند باورش را تغییر دهند. بعدها گفت حس بویایی و چشایی خود را از دست داده و دیگر ضرورتی برای خوردن، گفت‌وگو یا انجام کارهای معمول احساس نمی‌کرد. برای او، زندگی روزمره به مجموعه‌ای از حرکت‌های مکانیکی بدل شده بود که بدنی بدون مغز همچنان انجامشان می‌داد.

گاهی ساعت‌ها در قبرستان می‌ماند. به گفته خودش، آنجا به مرگ نزدیک‌تر بود؛ محیطی که بیش از خانه و خیابان با حقیقتی که ذهنش پذیرفته بود سازگار به نظر می‌رسید.

اقامتش گاه آن‌قدر طول می‌کشید که پلیس او را میان قبرها پیدا می‌کرد و به خانه بازمی‌گرداند. او از مرگ به‌عنوان استعاره‌ای برای ناامیدی استفاده نمی‌کرد؛ واقعا باور داشت مغزش دیگر وجود ندارد.

همین تناقض توجه پزشکان و پژوهشگران را برانگیخت: چگونه ممکن است مردی هوشیار باشد، در محیط حرکت کند و با دیگران گفت‌وگو کند، اما با اطمینانی تزلزل‌ناپذیر بگوید مغزش مرده است؟

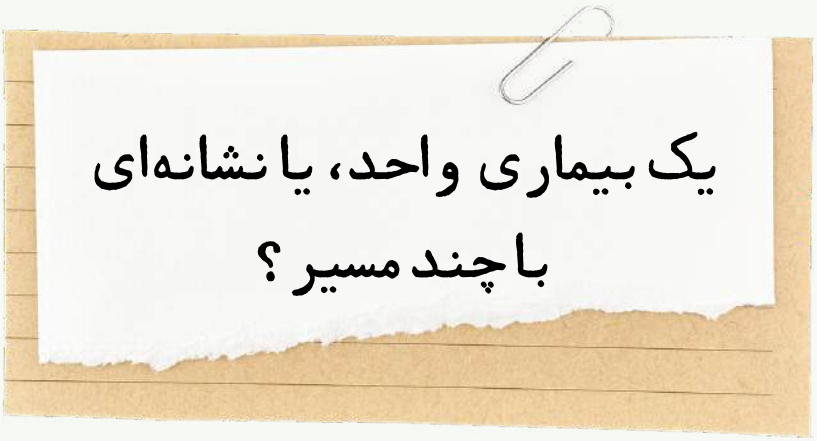
در هذیان کوتار، زنده بودن تنها یک حرکت مکانیکی است؛ جایی که فرد هوشیارانه باور دارد مغز و روحش را از دست داده است.»

پژوهشگران سرانجام مغز گراهام را با تصویربرداری گسیل پوزیترون با اف‌دی‌جی یا FDG-PET بررسی کردند؛ روشی که با اندازه‌گیری جذب نوعی گلوکز نشاندارشده، برآوردی غیرمستقیم از سوخت‌وساز بخش‌های مختلف مغز به دست می‌دهد. نتیجه در سال ۲۰۱۳ در مجله علمی CORTEX و با عنوان متناقض‌نمای «مغز مرده، ذهن زنده» منتشر شد. این نخستین گزارش منتشرشده از تصویربرداری FDG-PET در بیماری مبتلا به هذیان کوتار بود.

اسکن نشان می‌داد سوخت‌وساز گلوکز در بخش‌های گسترده‌ای از شبکه‌های پیشانی‌آهیانه‌ای و برخی نواحی خط میانی مغز به‌طور غیرمعمول پایین است؛ شبکه‌هایی که با توجه، آگاهی و پردازش اطلاعات مربوط به خود ارتباط دارند. دیدن چنین الگویی در انسانی که بیدار بود و گفت‌وگو می‌کرد، نامعمول به نظر می‌رسید. بااین‌حال، اسکن پاسخ معمای گراهام نبود. مطالعه تنها یک بیمار را در یک مقطع زمانی بررسی کرده بود و نمی‌توانست روشن کند کاهش سوخت‌وساز علت تجربه او بوده است یا پیامد افسردگی شدید، داروها، کاهش فعالیت روزانه یا ترکیبی از این عوامل.

گراهام یکی از شناخته‌شده‌ترین نمونه‌های پدیده‌ای است که به نام هذیان کوتار یا سندرم کوتار شناخته می‌شود. اما پیش از ادامه باید میان این دو تعبیر تفاوت گذاشت.

هذیان کوتار معمولا به یک باور مشخص اشاره دارد: «من مرده‌ام»، «وجود ندارم»، «خون یا اندام‌هایم از بین رفته‌اند» یا «جهان دیگر وجود ندارد». سندرم کوتار اصطلاحی گسترده‌تر برای مجموعه‌ای از نشانه‌هاست که می‌توانند در کنار چنین باورهایی ظاهر شوند؛ از افسردگی، اضطراب و احساس گناه گرفته تا امتناع از غذا، کاتاتونیا، باور به جاودانگی یا افکار خودکشی. کاتاتونیا حالتی است که می‌تواند با بی‌حرکتی شدید، کاهش واکنش به محیط، سکوت یا حرکات غیرعادی همراه باشد. لقب «سندرم جسد متحرک» تنها یکی از چهره‌های کوتار را برجسته می‌کند و تنوع واقعی آن را می‌پوشاند.



داستان گراهام بلافاصله پرسشی را پیش می‌کشد: آیا او به بیماری مشخصی به نام سندرم کوتار مبتلا بود، یا باور به مرگ مغز یکی از نشانه‌های بیماری دیگری بود؟

کوتار در راهنماهای اصلی تشخیصی روان‌پزشکی، از جمله DSM-5 و ICD، به‌عنوان اختلالی مستقل طبقه‌بندی نشده است. این به معنای خیالی یا کم‌اهمیت‌بودن آن نیست؛ بلکه نشان می‌دهد پزشکان کوتار را بیماری واحدی با یک علت، مسیر و درمان مشخص نمی‌دانند. در ادبیات بالینی، بیشتر با الگویی از هذیان‌های انکار روبه‌رو هستیم که می‌تواند در زمینه بیماری‌های متفاوت ظاهر شود.

بنابراین پزشک با شنیدن جمله‌ای مانند «من مرده‌ام» یا «اندام‌هایم وجود ندارند»، صرفا نام کوتار را روی پرونده نمی‌گذارد. پرسش اصلی از همین‌جا آغاز می‌شود: این باور در چه زمینه‌ای شکل گرفته است؟

در یک بیمار ممکن است کوتار بخشی از افسردگی شدید همراه با روان‌پریشی باشد. روان‌پریشی وضعیتی است که در آن توانایی فرد برای ارزیابی واقعیت می‌تواند مختل شود و هذیان یا توهم پدید آید. در فردی دیگر، باورهای کوتار ممکن است همراه اختلال دوقطبی، اسکیزوفرنی یا روان‌پریشی پس از زایمان ظاهر شوند. در مواردی دیگر نیز کوتار پس از سکته، صرع، آسیب مغزی، زوال شناختی، بیماری پارکینسون، التهاب مغزی یا در زمینه دلیریوم و برخی وضعیت‌های جسمی گزارش شده است.

ظاهر هذیان در همه این موارد ممکن است شبیه باشد، اما آنچه در زیر آن جریان دارد یکسان نیست. بیماری که باورهایش از دل افسردگی روان‌پریشانه برخاسته، ممکن است به درمانی متفاوت از بیماری نیاز داشته باشد که نشانه‌هایش پس از التهاب مغزی یا آشفتگی حاد هوشیاری آغاز شده‌اند.

تشخیص کوتار پایان بررسی پزشکی نیست؛ بیشتر علامتی است که پزشک را وادار می‌کند علت پنهان در پس آن را جست‌وجو کند.

شاید بتوان کوتار را نه نام یک جاده، بلکه محل تلاقی چند مسیر تصور کرد: مسیرهایی متفاوت که همگی ممکن است به نقطه‌ای برسند که در آن انسان وجود بدن، اندام‌ها، جهان یا حتی خود را انکار می‌کند.

این ابهام محصول روان‌پزشکی امروز نیست. از همان زمانی که ژول کوتار در قرن نوزدهم بیمارانش را توصیف کرد، روشن بود که با باوری ساده و واحد درباره «مرده‌بودن» روبه‌رو نیستیم، بلکه با خانواده‌ای گسترده‌تر از انکارها سروکار داریم.

مردی که به «انکار» نام داد

برای فهمیدن اینکه این مفهوم چگونه شکل گرفت، باید به پاریس دهه ۱۸۸۰ بازگردیم؛ به پزشکی که کارش را نه از آسایشگاه‌های روان‌پزشکی، بلکه از آزمایشگاه‌ها و بخش‌های عصب‌شناسی آغاز کرده بود.

ژول کوتار، متولد ۱۸۴۰، از نسل پزشکانی بود که در نیمه دوم قرن نوزدهم می‌کوشیدند میان آسیب‌های مغز و تغییرات رفتار و ذهن ارتباط برقرار کنند.



او در بیمارستان سالپتریر پاریس، یکی از مراکز اصلی شکل‌گیری عصب‌شناسی جدید، زیر نظر آلفرد وولپیان و ژان‌مارتن شارکو آموزش دید. کوتار ابتدا درباره بیماری‌های مغزی، اختلال خون‌رسانی و آتروفی موضعی مغز پژوهش می‌کرد و سپس به طبابت در مرکزی برای بیماران روان‌پزشکی در وانْو، در حومه پاریس، روی آورد.


[تصویر منسوب به بیمار]

«برای دوشیزه ایکس، جاودانگی یک موهبت نبود؛ مجازاتی بی‌انتها بود برای بدنی که حتی قدرتِ مردن را هم از دست داده بود.»

این پیشینه برای داستان کوتار مهم است. پزشکی که به بررسی آسیب‌های قابل‌مشاهده مغز عادت داشت، اکنون با بیمارانی روبه‌رو بود که واقعیت بدن و جهان را به شکلی انکار می‌کردند که در قالب یک ضایعه ساده و مشخص نمی‌گنجید.

یکی از این بیماران زنی ۴۳ ساله بود که هویت واقعی‌اش در گزارش‌های پزشکی محفوظ ماند و با نام «دوشیزه ایکس» معرفی شد. کوتار شرح حال او را روز ۲۸ ژوئن ۱۸۸۰ در نشست انجمن پزشکی روان‌شناختی پاریس ارائه کرد. او در آن زمان تصور می‌کرد با نوع ویژه‌ای از «مالیخولیای مضطرب» روبه‌روست، نه بیماری تازه‌ای که روزی نام خودش را بر آن بگذارند.

دوشیزه ایکس فقط نمی‌گفت مرده است. روایت او پیچیده‌تر و دارای منطق درونی خاصی بود. باور داشت مغز، اعصاب، سینه، معده و روده‌ای ندارد و از بدنش چیزی جز پوست و استخوان باقی نمانده است. وجود خدا و شیطان را انکار می‌کرد، خود را فاقد روح می‌دانست و می‌گفت چون معده و بدنی سازمان‌یافته ندارد، نیازی هم به غذا ندارد. در همان حال، باور داشت نمی‌تواند به مرگ طبیعی بمیرد و ناچار است تا ابد در همین وضعیت بماند، مگر اینکه بدنش سوزانده شود. منابع تاریخی همچنین از رفتارهای خودآسیب‌رسان و درخواست او برای سوزانده‌شدن سخن گفته‌اند.

این باورها در نگاه نخست متناقض به نظر می‌رسند: چگونه کسی می‌تواند هم وجود بدنش را انکار کند و هم خود را محکوم به زیستی ابدی بداند؟

اما همین هم‌زیستی نیستی و جاودانگی به یکی از ویژگی‌های مهم توصیف کوتار تبدیل شد. برای دوشیزه ایکس، جاودانگی موهبتی رهایی‌بخش نبود؛ مجازاتی بود که پایانی نداشت. او خود را انسانی سالم و نامیرا نمی‌دانست، بلکه بقایای بدنی ازهم‌گسیخته می‌دید که حتی امکان مردن را نیز از دست داده است.



کوتار ابتدا از اصطلاح فرانسوی LYPÉMANIE استفاده کرد؛ واژه‌ای متعلق به روان‌پزشکی قرن نوزدهم که تقریبا به شکل‌های شدید و هذیانی مالیخولیا اشاره داشت، اما دقیقا معادل تشخیص امروزی افسردگی اساسی نبود. او تصور می‌کرد در این وضعیت، اضطراب شدید، احساس گناه و محکومیت، انکار بدن، خودآسیبی و باور به جاودانگی می‌توانند در کنار یکدیگر ظاهر شوند.

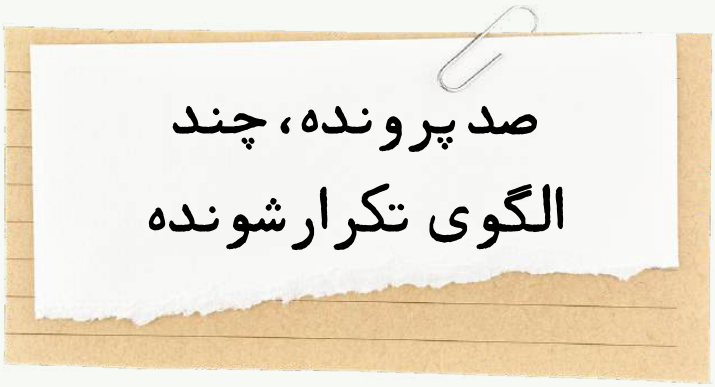
دو سال بعد، کوتار اصطلاح هذیان انکار، یا DÉLIRE DES NÉGATIONS، را مطرح کرد. این تغییر مهم بود، زیرا توجه را از یک باور مشخص—«من مرده‌ام»—به خانواده‌ای گسترده‌تر از انکارها معطوف می‌کرد. برخی بیماران وجود مغز، قلب، خون یا دستگاه گوارش خود را انکار می‌کردند؛ برخی می‌گفتند روح، هویت یا نامی ندارند؛ و در موارد شدیدتر، انکار می‌توانست خانواده، جامعه، خدا، جهان یا کل هستی را در بر بگیرد.

بازخوانی پرونده‌های خود کوتار نشان داده است که از میان هشت بیماری که او نمونه‌های اصلی این وضعیت می‌دانست، تنها یک نفر صریحا می‌گفت مرده است. در دیگران، محور هذیان می‌توانست نابودی اندام‌ها، فقدان روح، محکومیت ابدی، نبودن جهان یا ناتوانی از مردن باشد.

کوتار نخستین پزشک تاریخ نبود که چنین باوری را ثبت می‌کرد. شارل بونه، طبیعت‌شناس و فیلسوف سوئیسی، در گزارشی مربوط به سال ۱۷۸۸ از زن سالمندی نوشته بود که باور داشت مرده است و از اطرافیان می‌خواست او را کفن کنند و در تابوت بگذارند. موارد مشابه دیگری نیز پیش از سال ۱۸۸۰ در نوشته‌های پزشکی دیده می‌شوند. سهم کوتار نه کشف نخستین بیمار، بلکه تشخیص این نکته بود که چند باور ظاهرا جداگانه—انکار بدن، نیستی، محکومیت و جاودانگی—ممکن است اجزای یک الگوی روان‌آسیب‌شناختی مشترک باشند.

خود کوتار این وضعیت را «سندرم کوتار» نمی‌نامید. در کنگره‌ای در شهر بلوا در سال ۱۸۹۲، امانوئل رژیس پیشنهاد کرد این مجموعه نشانه‌ها به افتخار ژول کوتار نام‌گذاری شود؛ نامی که در نوشته‌های سال‌های بعد تثبیت شد. کاربرد واژه «سندرم» نیز بر این نکته تاکید داشت که سخن از مجموعه‌ای از نشانه‌هاست، نه لزوما بیماری مستقلی با یک علت واحد.

اما نام‌گذاری یک الگو هنوز به پرسش مهم دیگری پاسخ نمی‌داد: این نشانه‌ها با چه فراوانی کنار یکدیگر ظاهر می‌شوند؟



صد پرونده، چند الگوی تکرارشونده

آمار دقیق شیوع کوتار در جمعیت عمومی در دست نیست. بیشتر دانسته‌های ما از گزارش‌های موردی و مجموعه‌های کوچکی به دست آمده است که معمولا به‌دلیل نامعمول‌بودن منتشر شده‌اند. این همان «سوگیری انتشار» است: موارد چشمگیر بیشتر از نمونه‌های معمولی یا خفیف وارد ادبیات علمی می‌شوند.

یکی از مهم‌ترین بررسی‌ها در سال ۱۹۹۵ منتشر شد. جرمن بریوس و روبرتو لوکه صد پرونده گزارش‌شده میان سال‌های ۱۸۸۰ تا ۱۹۹۳ را تحلیل کردند. در این مجموعه:

۸۹ درصد بیماران نشانه‌های افسردگی داشتند؛

۸۶ درصد هذیان‌هایی درباره نابودی یا نبودن بدن گزارش کرده بودند؛

۶۹ درصد وجود خود را انکار می‌کردند؛

۶۵ درصد اضطراب و ۶۳ درصد احساس گناه داشتند؛

و ۵۵ درصد به شکلی از جاودانگی یا ناتوانی در مردن باور داشتند.

این درصدها با یکدیگر هم‌پوشانی دارند و گروه‌های جداگانه را نشان نمی‌دهند. افزون بر این، صد بیمار نمونه‌ای تصادفی از جمعیت نبودند؛ آنها پرونده‌هایی بودند که به‌اندازه کافی غیرعادی تشخیص داده شده بودند تا منتشر شوند.

مرور نظام‌مند دیگری که در سال ۲۰۲۰ منتشر شد، ۵۵ مقاله و ۶۹ بیمار گزارش‌شده میان سال‌های ۲۰۰۵ تا ژانویه ۲۰۱۸ را بررسی کرد. میانگین سن بیماران کمی بیش از ۵۱ سال بود. در ۴۶/۴ درصد موارد، تشخیص اصلی افسردگی اساسی بود؛ ۲۷/۵ درصد اختلالی با منشا جسمی یا عصبی داشتند؛ ۱۰/۱ درصد به اسکیزوفرنی و ۷/۲ درصد به اختلال دوقطبی مبتلا بودند. این مرور نیز نشان داد کوتار یک نشانه با یک علت واحد نیست.

دو بررسی بیمارستانی نیز تصویری محدود از کمیابی آن ارائه می‌کنند. در مطالعه‌ای از ۳۴۹ بیمار روان‌پزشکی سالمند در هنگ‌کنگ، دو مورد کوتار شناسایی شد؛ حدود ۰/۵۷ درصد. در یک مرکز عصب‌روان‌پزشکی در مکزیک نیز سه مورد در میان ۴۷۹ بیمار روان‌پزشکی بستری دیده شد؛ حدود ۰/۶۲ درصد. این اعداد شیوع در جمعیت عمومی نیستند؛ تنها فراوانی در دو محیط درمانی خاص را نشان می‌دهند.

بنابراین عبارت‌هایی مانند «فقط چند صد نفر در جهان به کوتار مبتلا شده‌اند» قابل دفاع نیستند. چند صد پرونده منتشرشده به معنای چند صد بیمار موجود نیست. بسیاری از موارد ممکن است شناخته یا منتشر نشوند و بعضی زیر نام بیماری زمینه‌ای ثبت شوند.

این آمار می‌گوید چه نشانه‌هایی در پرونده‌ها تکرار شده‌اند، اما توضیح نمی‌دهد باور «من مرده‌ام» چگونه در ذهن یک انسان شکل می‌گیرد.

برای نزدیک‌شدن به آن پرسش، باید از درصدها به تجربه فردی بازگردیم.

از صد پرونده تا داستان شکل‌گیری یک باور

پژوهش درباره چگونگی شکل‌گیری هذیان دشوار است. پزشکان معمولا بیمار را زمانی می‌بینند که باور از پیش تثبیت شده و برای او به واقعیتی تردیدناپذیر بدل شده است. پس از بهبود نیز ممکن است خاطرات دوره روان‌پریشی پراکنده و مبهم باشند یا بیمار نتواند توضیح دهد چه تجربه‌ای ابتدا رخ داد و چگونه برای آن معنا ساخت.

در سال ۲۰۲۴، شرح حال زنی با نام مستعار «ناتالی» روزنه‌ای کم‌نظیر به این فرایند گشود. ناتالی بدون سابقه شناخته‌شده روان‌پزشکی، پس از زایمان دچار روان‌پریشی شد. او در بیمارستان چند هذیان متفاوت درباره هویت اشخاص، محیط اطراف و موقعیت خودش تجربه کرد. در مقطعی باور داشت مرده است و آنچه در اطرافش می‌بیند، نه بیمارستان و جهان عادی، بلکه زندگی پس از مرگ است.

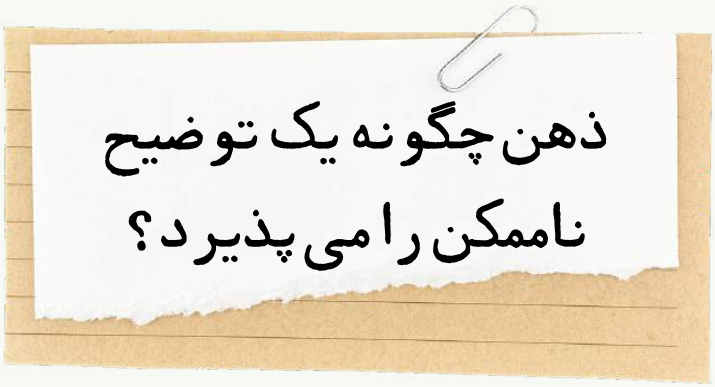
آنچه پرونده ناتالی را استثنایی می‌کرد، فقط محتوای هذیان نبود. پژوهشگران زمانی که نشانه‌ها هنوز ادامه داشتند با او گفت‌وگو کردند و پس از بهبود نیز روایت مفصلی از تجربه‌اش به دست آوردند.

ناتالی به یاد می‌آورد که ذهنش منفعلانه یک باور آماده را نپذیرفته بود. او برای توضیح اتفاق‌های غریب اطرافش چند احتمال را بررسی کرده، بعضی را کنار گذاشته و بعضی دیگر را موقتا پذیرفته بود. هذیان برای او نه جرقه‌ای ناگهانی، بلکه تلاشی برای حل معمایی بود که تجربه‌هایش پیش روی او گذاشته بودند.

در این میان، خاطره یک برنامه تلویزیونی نیز به ذهنش بازگشته بود. عناصر آن برنامه به ناتالی کمک کردند روایتی بسازد که در آن مرده و وارد جهانی دیگر شده بود. برنامه تلویزیونی علت روان‌پریشی نبود؛ اما تصویرها و داستان‌هایی را فراهم کرده بود که ذهنش می‌توانست با استفاده از آنها به تجربه‌ای آشفته معنا بدهد.

این تمایز مهم است. هذیان‌ها لزوما مجموعه‌ای تصادفی از جمله‌های ناممکن نیستند. محتوای آنها می‌تواند از خاطرات، باورهای دینی، زبان، ترس‌های شخصی، روابط اجتماعی و رسانه‌ها تغذیه کند. فرهنگ معمولا علت اختلال نیست، اما می‌تواند تعیین کند اختلال با چه واژگان و چه داستانی بیان شود.

پرونده ناتالی هنوز فقط روایت یک بیمار است و نمی‌توان مسیر او را به همه افراد مبتلا به کوتار تعمیم داد. بااین‌حال، به‌جای ثبت باور نهایی، بخشی از فرایند رسیدن به آن را نشان می‌دهد.



یکی از چارچوب‌های اثرگذار برای توضیح هذیان کوتار، مدل دوعاملی هذیان است. در صورت‌بندی کلاسیک این مدل، یک هذیان تنها از داشتن فکری عجیب پدید نمی‌آید؛ معمولا باید دست‌کم دو عامل در کنار یکدیگر قرار گیرند.

عامل نخست تجربه‌ای غیرعادی است که به توضیح نیاز دارد. بدن ممکن است خالی، بی‌حس، تغییرشکل‌یافته یا بی‌جان احساس شود. محیط می‌تواند آشنایی و بار عاطفی معمول خود را از دست بدهد. شخص ممکن است احساس کند از بدن، خاطرات یا جهانی که در آن زندگی می‌کند جدا شده است.

این تجربه برای خود بیمار واقعی است، حتی اگر توضیحی که بعدا برای آن می‌سازد با واقعیت بیرونی سازگار نباشد.

ذهن می‌کوشد برای این وضعیت علتی پیدا کند. اگر بدن دیگر زنده احساس نمی‌شود، جهان غیرواقعی به نظر می‌رسد و پیوند معمول فرد با خودش گسسته شده است، فرضیه «شاید من مرده‌ام» ممکن است برای او توضیحی قابل‌فهم به نظر برسد.

اما این مرحله هنوز توضیح نمی‌دهد چرا بیمار باور را برخلاف شواهد حفظ می‌کند.

اینجاست که عامل دوم مطرح می‌شود: تغییری در چگونگی ارزیابی باورها و اصلاح خطا.

در حالت عادی، انسان یک فرضیه را با مشاهده، خاطره، واکنش دیگران و توضیح‌های جایگزین می‌سنجد. در هذیان، ممکن است این فرایند نتواند توضیح نامحتمل را کنار بگذارد. بیمار راه می‌رود، صحبت می‌کند و بدنش نشانه‌های آشکار زندگی دارد، اما این شواهد برای بازنگری باور «من مرده‌ام» کافی نیستند.

نباید مدل دوعاملی را به فرمولی مکانیکی تبدیل کرد. روایت ناتالی نشان می‌دهد بعضی بیماران در دوره روان‌پریشی همچنان فرضیه می‌سازند، آنها را مقایسه می‌کنند و برخی را کنار می‌گذارند. بنابراین مساله شاید همیشه «ازکارافتادن کامل استدلال» نباشد؛ ممکن است وزن‌دادن به شواهد، تشخیص توضیح محتمل، احساس اطمینان یا اعتماد به دریافت‌های خود تغییر کرده باشد.

یک توضیح قدیمی‌تر پیشنهاد می‌کرد باور «من مرده‌ام» زمانی شکل می‌گیرد که واکنش عاطفی فرد به جهان کاملا خاموش شده باشد. اگر هیچ‌چیز احساسی در انسان برنینگیزد، شاید نتیجه بگیرد که دیگر زنده نیست.

اما مرور پرونده‌ها با این توضیح مطلق سازگار نیست. بسیاری از بیماران کوتار اضطراب، ترس، احساس گناه، نگرانی، رنج و گاه حتی سرخوشی را تجربه کرده‌اند. بنابراین فقدان کامل عاطفه نمی‌تواند توضیح عمومی کوتار باشد. در بعضی موارد، مساله نه خاموشی کامل احساس، بلکه تغییر عمیق در کیفیت رابطه فرد با بدن و جهان است.

آنچه با احتیاط می‌توان گفت این است که هذیان کوتار احتمالا از برخورد چند فرایند پدید می‌آید: تجربه‌ای غیرعادی که به توضیح نیاز دارد، مواد روایی‌ای که حافظه و فرهنگ در اختیار ذهن می‌گذارند، و تغییری در سازوکارهایی که باید توضیح‌های ممکن را ارزیابی و باورهای نادرست را اصلاح کنند.
اما کدام تغییرات مغزی ممکن است چنین فرایندی را آغاز کنند؟



برای پاسخ، وسوسه‌انگیز است که در جست‌وجوی نقطه‌ای مشخص در مغز باشیم؛ بخشی که اگر از کار بیفتد، احساس زنده‌بودن خاموش شود. اما شواهد موجود هیچ «مرکز مرگ» یا «مرکز وجود» واحدی را نشان نمی‌دهند. آنچه از پرونده‌های کوتار برمی‌آید، بیشتر به اختلال در همکاری چند شبکه شباهت دارد: شبکه‌هایی که پیام‌های بدن را می‌خوانند، جایگاه ما را در فضا تعیین می‌کنند، خاطرات را به هویت شخصی پیوند می‌دهند و باورها را در برابر شواهد می‌سنجند.



داده‌های عصب‌شناختی کوتار از روش‌های متفاوتی به دست آمده‌اند. سی‌تی‌اسکن و ام‌آرآی ساختاری می‌توانند سکته، تومور، تحلیل بافت یا آسیب‌های قابل‌مشاهده را آشکار کنند. FDG-PET جذب گلوکز را اندازه می‌گیرد و نشانه‌ای غیرمستقیم از سوخت‌وساز بافت فراهم می‌کند. آزمون‌های عصب‌روان‌شناختی نیز حافظه، توجه، ادراک و استدلال فرد را بررسی می‌کنند.

هیچ‌یک از این روش‌ها «احساس مرده‌بودن» را مستقیما ثبت نمی‌کنند. کاهش سوخت‌وساز در یک ناحیه نیز به‌تنهایی نشان نمی‌دهد آن ناحیه علت هذیان است. افسردگی، داروها، کم‌تحرکی، کم‌خوابی، سوءتغذیه و بیماری زمینه‌ای می‌توانند بر نتیجه تصویربرداری اثر بگذارند.
به همین دلیل، اسکن گراهام هم مهم بود و هم محدود: تصویری از مغز یک بیمار در یک زمان مشخص، نه نقشه عمومی کوتار.

هیچ امضای مغزی واحدی پیدا نشده است

یکی از جامع‌ترین بررسی‌های بالینی، پرونده‌های ثبت‌شده در کلینیک مایو میان سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۶ را مرور کرد. پژوهشگران دوازده بیمار بزرگسال مبتلا به هذیان کوتار را شناسایی کردند. تصویربرداری بعضی بیماران تغییراتی در لوب پیشانی، کاهش عمومی حجم مغز یا نشانه‌های آسیب ناشی از اختلال خون‌رسانی نشان می‌داد. در هفت بیمار نیز ضایعات در نیمکره راست یا هر دو نیمکره دیده می‌شد. بااین‌حال، یافته‌ها به‌اندازه‌ای یکدست نبودند که بتوان از الگویی اختصاصی سخن گفت.

این ناهمگونی دو تفسیر دارد. شاید کوتار واقعا از چند مسیر عصبی متفاوت پدید می‌آید. احتمال دیگر این است که بسیاری از تغییرات دیده‌شده متعلق به بیماری‌های زمینه‌ای باشند، نه خود هذیان کوتار. با تعداد اندک بیماران و نبود گروه‌های کنترل مناسب، جداکردن این دو احتمال دشوار است. بااین‌حال، وقتی پرونده‌ها را کنار دانسته‌های عمومی علوم اعصاب می‌گذاریم، چند سامانه بارها به‌عنوان مظنون ظاهر می‌شوند.

اینسولا؛ خواندن وضعیت درونی بدن

مغز فقط از راه چشم و گوش درباره جهان اطلاعات نمی‌گیرد. در هر لحظه پیام‌هایی از قلب، ریه‌ها، دستگاه گوارش، ماهیچه‌ها، دمای بدن، درد، تشنگی و گرسنگی به آن می‌رسند. پردازش و تجربه این پیام‌های داخلی را درون‌حسی یا INTEROCEPTION می‌نامند. قشر اینسولا، بخشی از مغز که در عمق شیار جانبی پنهان شده است، در یکپارچه‌کردن این اطلاعات نقش مهمی دارد. این ناحیه پیام‌های جسمی را با هیجان، توجه و برداشت کلی فرد از وضعیت خودش پیوند می‌دهد.

اگر پیام‌های درونی بدن ضعیف، تحریف‌شده یا به‌شکلی غیرعادی تفسیر شوند، بدن ممکن است خالی، ازکارافتاده یا فاقد حیات احساس شود. این ارتباط، اینسولا را به یکی از نواحی مورد توجه در پژوهش کوتار تبدیل کرده است. در یک گزارش تصویربرداری قبل و بعد از درمان نیز ناهنجاری‌های سوخت‌وسازی اینسولا و قشر پیش‌پیشانی دیده شد. اما این یافته‌ها هنوز برای تعمیم به همه بیماران کافی نیستند.

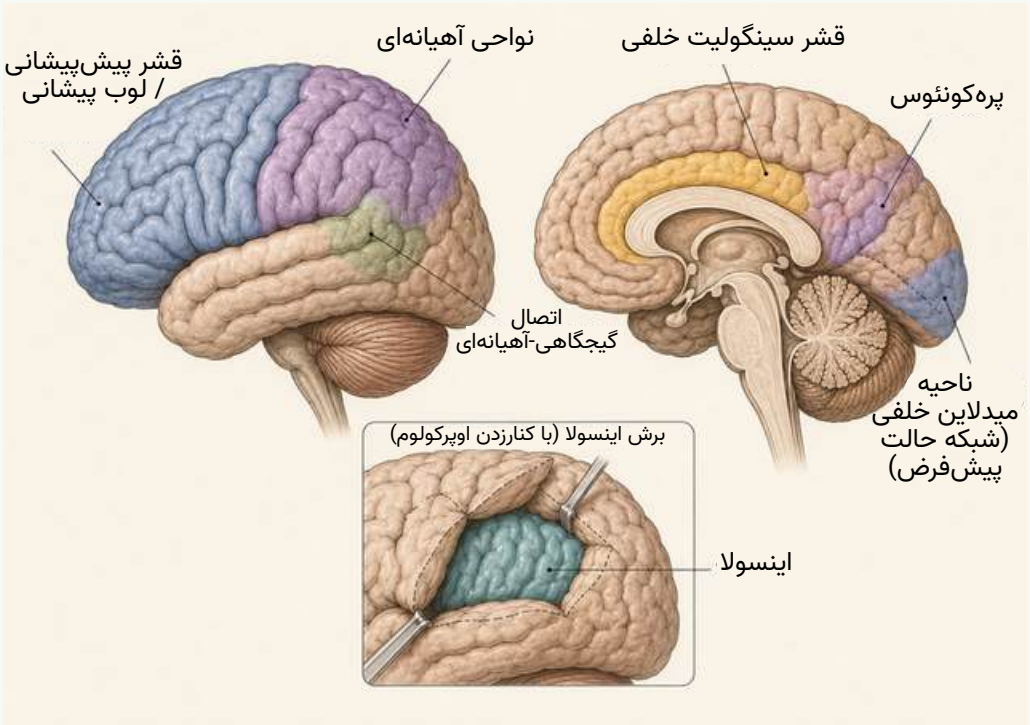
نواحی آهیانه‌ای؛ این بدن کجاست و متعلق به چه کسی است؟

احساس اینکه «من درون این بدن و در این نقطه از فضا هستم» بدیهی به نظر می‌رسد، اما مغز باید آن را از ترکیب چند نوع داده بسازد: آنچه چشم‌ها از بدن می‌بینند، اطلاعات پوست، وضعیت ماهیچه‌ها و مفاصل، و پیام‌های دستگاه دهلیزی گوش داخلی درباره تعادل و حرکت.

یکی از نواحی مهم در این ادغام، اتصال گیجگاهی‌آهیانه‌ای یا TPJ است؛ جایی در مرز لوب‌های گیجگاهی و آهیانه‌ای. این ناحیه در ساختن احساس خودمکانی، زاویه دید اول‌شخص و یکپارچگی تجربه بدن سهم دارد.

اختلال در این سامانه‌ها می‌تواند به تجربه‌هایی مانند بیگانگی از بدن، تغییر شکل اندام‌ها یا احساس قرارگرفتن بیرون از بدن منجر شود. این تجربه‌ها خودشان هذیان کوتار نیستند، اما نشان می‌دهند احساس مالکیت بر بدن و جایگاه «خود» تا چه اندازه به هماهنگی حسی وابسته است.

در بعضی بیماران کوتار، توصیف‌هایی مانند نداشتن تنه، توخالی‌بودن اندام‌ها یا ازبین‌رفتن اعضای بدن ممکن است با اختلال در همین سطح از بازنمایی بدن ارتباط داشته باشند؛ ارتباطی محتمل، اما اثبات‌نشده.



سینگولیت خلفی و پره‌کونئوس؛ پیوند تجربه با «من»

در بخش میانی و خلفی مغز، قشر سینگولیت خلفی و پره‌کونئوس قرار دارند؛ نواحی‌ای که بخشی از «شبکه حالت پیش‌فرض» هستند. این شبکه هنگام یادآوری خاطرات شخصی، تصور آینده، اندیشیدن به روابط اجتماعی و پردازش اطلاعات مرتبط با خود فعال می‌شود. این نواحی «مرکز خود» نیستند، اما در پیوند دادن اطلاعات به روایت شخصی و احساس تداوم هویت سهم دارند.

اهمیت احتمالی آنها در دو بیمار مبتلا به التهاب مغزی ضدگیرنده NMDA برجسته شد. در این بیماری خودایمنی، پادتن‌ها گیرنده‌های NMDA را در مغز هدف قرار می‌دهند و بیماری می‌تواند با روان‌پریشی، تشنج، اختلال حافظه، حرکات غیرعادی، کاتاتونیا و تغییر سطح هوشیاری آغاز شود.

دو بیمار گزارش‌شده علاوه بر کاتاتونیا، هذیان کوتار داشتند. تصویربرداری پت در هر دو کاهش سوخت‌وساز دوطرفه در نواحی خلفی مغز، به‌ویژه قشر سینگولیت و بخش‌های داخلی لوب‌های آهیانه‌ای و پس‌سری، نشان داد.

این پرونده‌ها از دو جهت مهم‌اند. نخست، نشان می‌دهند باوری که کاملا روان‌شناختی به نظر می‌رسد ممکن است در زمینه یک بیماری ایمنی و عصبی ظاهر شود. دوم، نواحی درگیر با شبکه‌هایی هم‌پوشانی داشتند که در پردازش خود، حافظه و جهت‌گیری درونی نقش دارند.

اما دو بیمار برای نتیجه‌گیری درباره سازوکار عمومی کوتار کافی نیستند. التهاب مغزی ضدگیرنده NMDA خود می‌تواند بخش‌های گسترده‌ای از عملکرد مغز را مختل کند.

لوب پیشانی؛ چرا باور اصلاح نمی‌شود؟

تجربه عجیب بدن تنها نیمی از معماست. حتی اگر کسی برای لحظه‌ای احساس کند بدنش واقعی یا زنده نیست، چرا باید توضیح «من مرده‌ام» را بپذیرد و در برابر شواهد مخالف حفظ کند؟ بخش‌هایی از لوب پیشانی در تشخیص تعارض، ارزیابی توضیح‌های رقیب، تصمیم‌گیری و اصلاح خطا نقش دارند. این به معنای وجود یک «مرکز منطق» در پیشانی نیست؛ این کارها محصول همکاری چند شبکه‌اند.

در چارچوب مدل دوعاملی، ناهماهنگی شبکه‌های بدنی و عاطفی ممکن است عامل نخست را بسازد: «بدنم زنده احساس نمی‌شود.» تغییر در سامانه‌های پیشانی و ارزیابی باور نیز می‌تواند مانع کنارگذاشتن نتیجه دوم شود: «پس من مرده‌ام.»
این صورت‌بندی با مدل‌های موجود سازگار است، اما هنوز یک مدل نظری است، نه مسیر عصبی اثبات‌شده.

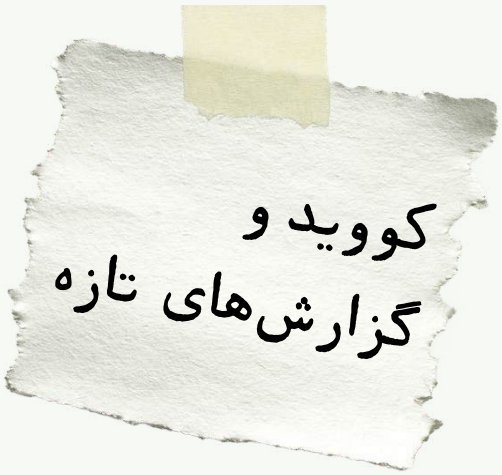
پرونده‌ای که میان ادراک بدن و هذیان پل می‌زند

مطالعه‌ای که در سال ۲۰۲۵ منتشر شد، زنی ۵۵ ساله با نام اختصاری D.R. را بررسی کرد. او در زمینه افسردگی اساسی همراه با نشانه‌های روان‌پریشانه باور داشت تنه‌اش حل شده است و غذایی که می‌خورد مستقیما از دهان به پاهای توخالی‌اش می‌رود. پیش از کامل‌شدن هذیان، احساس‌های جسمی غیرعادی و تغییر شکل بدن را گزارش کرده بود. پژوهشگران پس از فروکش مرحله حاد، عملکرد او را با گروه‌های مقایسه بررسی کردند. حافظه، استدلال و بیشتر توانایی‌های شناختی‌اش نسبتا سالم بودند؛ اما در بعضی تکالیف ادراک دیداری، از جمله تشخیص اشیای مخدوش و تطبیق چهره‌های ناآشنا، ضعف‌های ظریفی نشان داد.
این یافته‌ها نشان نمی‌دهند نقص ادراک دیداری علت کوتار است. تفاوت‌ها ممکن است ویژگی شخصی بیمار، پیامد افسردگی یا اثری باقی‌مانده از دوره بیماری بوده باشند. ارزش مطالعه در این است که نشان می‌دهد در کنار توانایی شناختی ظاهرا سالم، اختلال‌های ظریف‌تری در پردازش حسی و بدنی می‌توانند وجود داشته باشند.

مغز چگونه «زنده‌بودن» را می‌سازد؟

از کنار هم گذاشتن این یافته‌ها می‌توان مدلی موقت ترسیم کرد.
اینسولا و سامانه‌های درون‌حسی درباره وضعیت داخلی بدن اطلاعات فراهم می‌کنند. نواحی آهیانه‌ای داده‌های بینایی، لمس، وضعیت اندام‌ها و تعادل را به تجربه‌ای یکپارچه از بدن تبدیل می‌کنند. سینگولیت خلفی، پره‌کونئوس و شبکه حالت پیش‌فرض تجربه کنونی را به خاطرات و روایت شخصی «من» پیوند می‌دهند. شبکه‌های پیشانی نیز توضیح‌های ذهن را در برابر شواهد می‌سنجند.

در حالت عادی، این سامانه‌ها چنان هماهنگ کار می‌کنند که نتیجه «من اینجا هستم، این بدن متعلق به من است و من زنده‌ام» به‌صورت استدلالی آگاهانه احساس نمی‌شود. این نتیجه، پیش‌فرض خاموش مغز است.
اگر بعضی اجزای آن از هماهنگی خارج شوند، فرد ممکن است بدن را خالی یا بیگانه، جهان را غیرواقعی و پیوند خود با گذشته را گسسته احساس کند. اگر هم‌زمان ارزیابی باور نیز تغییر کرده باشد، توضیح نامحتمل «من دیگر وجود ندارم» ممکن است از میان فرضیه‌های دیگر دوام بیاورد.
اما خطوط این نقشه هنوز نقطه‌چین‌اند. هیچ ناحیه، اسکن یا الگوی سوخت‌وسازی وجود ندارد که بتوان با آن کوتار را تشخیص داد. نمونه‌ها کوچک‌اند، علت‌های زمینه‌ای متفاوت‌اند و بیشتر پژوهش‌ها تنها یک یا چند بیمار را بررسی کرده‌اند.
حتی معلوم نیست همه صورت‌های کوتار سازوکار عصبی یکسانی داشته باشند. انکار یک اندام، باور به مرده‌بودن، انکار جهان و تصور جاودانگی شاید مسیرهای کاملا مشابهی نداشته باشند.
آنچه فعلا می‌توان گفت این است که کوتار بیش از آنکه اختلال یک نقطه از مغز باشد، احتمالا با ناهماهنگی شبکه‌هایی ارتباط دارد که بدن، عاطفه، حافظه و باور را به تجربه‌ای واحد از «خود» تبدیل می‌کنند.



پس از آغاز همه‌گیری کووید، چند گزارش موردی از ظهور هذیان کوتار پس از عفونت یا در زمینه فشارهای روانی همه‌گیری منتشر شد.
در یکی از گزارش‌ها، بیماری بدون سابقه روان‌پزشکی پس از ابتلا به کووید دچار روان‌پریشی حاد، رفتار آشفته و هذیان کوتار شد. در گزارشی دیگر، کوتار در زمینه دلیریوم و عفونت کووید ظاهر شده بود. موردی از افسردگی شدید همراه با نشانه‌های روان‌پریشانه و کوتار نیز پس از کووید در فردی بدون سابقه روان‌پزشکی گزارش شد.
ارتباط زمانی به‌تنهایی رابطه علت و معلولی را اثبات نمی‌کند. عفونت شدید، التهاب، اختلال خواب، دلیریوم، بستری‌شدن، انزوای اجتماعی و داروهایی مانند کورتیکواستروئیدها همگی ممکن است در ظهور روان‌پریشی نقش داشته باشند.
در بعضی موارد نیز عفونت اثبات‌شده‌ای وجود نداشت و پژوهشگران فشار روانی ناشی از ترس بیماری، مرگ، تنهایی و آشفتگی زندگی روزمره را عامل احتمالی می‌دانستند.
بنابراین جمع‌بندی محتاطانه این است: در دوران همه‌گیری چند گزارش موردی از کوتار در ارتباط زمانی با کووید یا فشارهای روانی آن منتشر شد، اما این گزارش‌ها ثابت نمی‌کنند شیوع واقعی کوتار در جمعیت افزایش یافته است.
برای سنجش افزایش شیوع، به نظام ثبت منظم، تعریف تشخیصی یکسان و مقایسه تعداد بیماران با جمعیت در معرض خطر نیاز است. گزارش موردی چنین «مخرجی» در اختیار پژوهشگر نمی‌گذارد.



مرز کوتار کجاست؟

عبارت‌هایی مانند «از درون مرده‌ام»، «دیگر چیزی احساس نمی‌کنم» یا «انگار این بدن متعلق به من نیست» در تجربه‌های روانی مختلف شنیده می‌شوند. شباهت ظاهری این جمله‌ها با کوتار می‌تواند گمراه‌کننده باشد، اما مرز اصلی در معنایی است که فرد به تجربه‌اش می‌دهد.

فردی که دچار افسردگی شدید است، ممکن است بگوید احساس می‌کند مرده، خالی یا بی‌جان شده است.

در بسیاری از موارد، این زبان استعاری برای توصیف ناامیدی، بی‌لذتی و گسست عاطفی است. شخص می‌داند از نظر جسمی زنده است، حتی اگر زندگی برایش فاقد احساس و معنا شده باشد.

در هذیان کوتار، استعاره ممکن است جای خود را به باوری عینی بدهد: فرد نه‌فقط احساس می‌کند مرده است، بلکه باور دارد واقعا مرده، نابود یا فاقد اندام‌های داخلی است. آرزوی مرگ نیز با باور به اینکه فرد همین حالا مرده است یکسان نیست. بااین‌حال، این دو می‌توانند در یک بیمار کنار یکدیگر ظاهر شوند. کسی که باور دارد از پیش مرده یا دیگر بدنی برای محافظت‌کردن ندارد، ممکن است خطرهای جسمی را جدی نگیرد، غذا نخورد یا به خود آسیب بزند.

در مسخ شخصیت، فرد ممکن است ذهن یا بدن خود را بیگانه، دور یا مکانیکی احساس کند. در مسخ واقعیت، محیط می‌تواند مصنوعی، رؤیاگونه یا فاقد حضور واقعی به نظر برسد. بسیاری از مبتلایان همچنان می‌دانند این احساس، هرچند شدید و ترسناک، بازتاب دقیقی از واقعیت بیرونی نیست.

ممکن است بگویند «احساس می‌کنم وجود ندارم»، اما بدانند این احساسی غیرعادی است. در کوتار، همین تجربه می‌تواند به داوری تثبیت‌شده‌ای تبدیل شود: «من واقعا وجود ندارم.»

مرز میان این وضعیت‌ها همیشه روشن نیست. مسخ شخصیت یا تغییر در احساس بدن شاید در بعضی بیماران بخشی از تجربه‌ای باشد که بعدها برای آن توضیحی هذیانی ساخته می‌شود. بااین‌حال، وجود مسخ شخصیت به‌تنهایی به معنای کوتار نیست.

کوتار همچنین با هذیان کاپگراس مقایسه شده است. در کاپگراس، بیمار باور دارد فردی آشنا—برای مثال همسر یا والد—با بدل یا شیادی شبیه او جایگزین شده است. چهره آشناست، اما احساس آشنایی معمول همراه آن پدید نمی‌آید و ذهن برای این ناهماهنگی توضیحی می‌سازد.

در کوتار، انکار بیشتر متوجه خود فرد، بدن او یا جهان است. این دو هذیان یکسان نیستند، اما هر دو نشان می‌دهند اختلال در پیوند میان ادراک، احساس آشنایی و ارزیابی باور چگونه می‌تواند به توضیحی نامحتمل اما برای بیمار قانع‌کننده منجر شود.

هذیان‌های جسمانی نیز ممکن است شبیه کوتار باشند. فردی شاید با اطمینان باور کند سرطان دارد، بدنش آلوده شده یا یکی از اندام‌هایش از کار افتاده است، بی‌آنکه شواهد پزشکی این ادعا را تایید کنند. چنین باوری لزوما کوتار نیست. آنچه آن را به طیف کوتار نزدیک‌تر می‌کند، انکار وجود یا حیات بدن است: «معده‌ای ندارم»، «خونم از بین رفته»، «قلبم دیگر وجود ندارد» یا «بدنم نابود شده است».

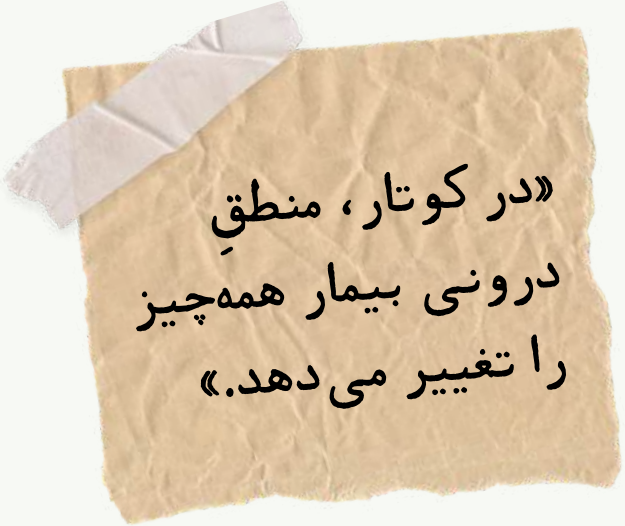
امتناع از غذا نیز همیشه یک علت ندارد. در اختلال خوردن، مساله ممکن است با تصویر بدن، وزن، کنترل یا ترس از افزایش وزن ارتباط داشته باشد. بیمار مبتلا به کوتار ممکن است غذا نخورد چون باور دارد معده‌ای ندارد، بدنش دیگر به انرژی نیاز ندارد یا مردگان غذا نمی‌خورند.

رفتار بیرونی مشابه است، اما منطق درونی کاملا فرق می‌کند.

در سالمندان و بیماران جسمی، تفاوت کوتار با دلیریوم اهمیت ویژه‌ای دارد. بیماری که دچار عفونت، کم‌آبی، اختلال متابولیک، عوارض دارویی یا آسیب مغزی شده است، ممکن است در دوره‌هایی از سردرگمی بگوید مرده، سوزانده یا دفن شده است. اگر سطح هوشیاری در طول روز تغییر کند، توجه مختل باشد یا نشانه‌ها ناگهانی آغاز شوند، دلیریوم باید فورا بررسی شود.

چسباندن نام کوتار به جمله‌ای عجیب نباید پزشک را از جست‌وجوی یک علت پزشکی و گاه تهدیدکننده زندگی بازدارد.

تشخیص کوتار با شنیدن عبارت «من مرده‌ام» پایان نمی‌یابد؛ از همان‌جا آغاز می‌شود.

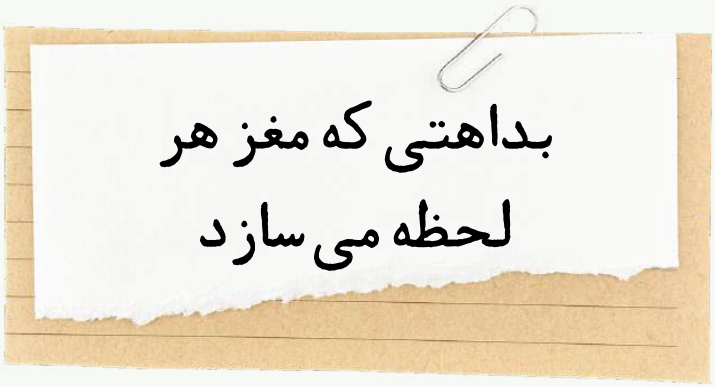


درمان و امکان بازگشت

درمان کوتار با پیدا کردن بیماری زمینه‌ای آغاز می‌شود. پزشکان باید خطر خودکشی، امتناع از آب و غذا، سوءتغذیه، کاتاتونیا، غفلت از بدن و ناتوانی در تصمیم‌گیری را فورا ارزیابی کنند. هم‌زمان، علت‌های روان‌پزشکی، عصبی، عفونی، متابولیک و دارویی باید بررسی شوند.

در افسردگی همراه با روان‌پریشی، ترکیب داروهای ضدافسردگی و ضدروان‌پریشی در موارد مختلف با بهبود همراه بوده است. در اختلال دوقطبی، اسکیزوفرنی، التهاب مغزی یا بیماری عصبی، درمان باید بر وضعیت اصلی متمرکز شود.
زن ۵۵ ساله مطالعه سال ۲۰۲۵ پس از درمان دارویی از مرحله حاد روان‌پریشی عبور کرد. بیماران کوتار پس از کووید نیز در بعضی گزارش‌ها با درمان بیماری زمینه‌ای و داروهای ضدروان‌پریشی بهبود یافتند.
درمان با تشنج برقی یا ECT نیز، به‌ویژه در افسردگی شدید روان‌پریشانه، کاتاتونیا، امتناع خطرناک از غذا یا موارد مقاوم به دارو، در گزارش‌های متعدد مؤثر بوده است. ECT در شرایط کنترل‌شده، تحت بیهوشی عمومی و با پایش پزشکی انجام می‌شود.
بااین‌حال، شواهد اختصاصی کوتار عمدتا از گزارش‌های موردی و مجموعه‌های کوچک به دست آمده‌اند، نه کارآزمایی‌های تصادفی بزرگ. ازاین‌رو نمی‌توان یک درمان را برای همه بیماران بهترین دانست یا نرخ موفقیت دقیقی ارائه کرد.
با وجود تصویر نگران‌کننده‌ای که کوتار ایجاد می‌کند، بسیاری از بیماران گزارش‌شده پس از درمان بیماری زمینه‌ای بهبود قابل‌توجه یا فروکش کامل هذیان را تجربه کرده‌اند. این به معنای تضمین بهبود نیست، اما نشان می‌دهد باور «من مرده‌ام» الزاما وضعیتی دائمی و برگشت‌ناپذیر نیست.

روان‌درمانی حمایتی پس از کنترل مرحله حاد می‌تواند به بازسازی اعتماد، ارتباط اجتماعی و توانایی سنجش تجربه‌ها کمک کند. اما در فردی که غذا نمی‌خورد، قصد خودکشی دارد، دچار کاتاتونیا شده یا احتمال بیماری مغزی حاد درباره‌اش مطرح است، گفت‌وگو به‌تنهایی جای درمان فوری پزشکی و روان‌پزشکی را نمی‌گیرد.



برای بیشتر ما، زنده‌بودن نیازی به اثبات ندارد. هر صبح برای اطمینان از وجود خود ضربان قلبمان را اندازه نمی‌گیریم و خاطراتمان را مانند مدارک یک پرونده کنار هم نمی‌گذاریم. بدن، عاطفه، حافظه و محیط چنان پیوسته با یکدیگر کار می‌کنند که نتیجه «من اینجا هستم» بدیهی به نظر می‌رسد.

اما هذیان کوتار نشان می‌دهد همین بداهت نیز ساخته‌ای پویا و شکننده است؛ حاصل کار مداوم مغزی که پیام‌های درون بدن را با خاطره، احساس، ادراک محیط و داوری درباره واقعیت درهم می‌آمیزد.

گراهام پس از اقدام به خودکشی باور داشت مغزش مرده است. دوشیزه ایکس می‌گفت مغز، اعصاب، معده و روحی ندارد و در همان حال محکوم است تا ابد در آن وضعیت باقی بماند.

امروز می‌توانیم سوخت‌وساز بعضی شبکه‌های مغزی را اندازه بگیریم، درباره پردازش پیام‌های بدن، احساس مالکیت بر جسم و ارزیابی باورها نظریه بسازیم و پرونده‌های بیماران را با یکدیگر مقایسه کنیم. بااین‌حال، هنوز نمی‌دانیم جهان از درون ذهن آنان دقیقا چگونه تجربه می‌شده است.

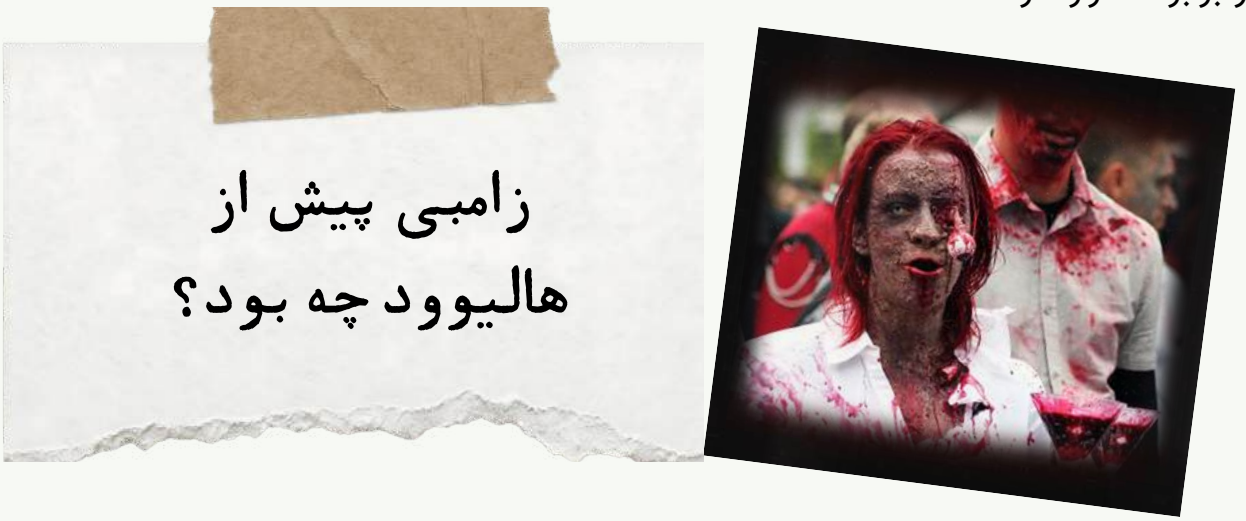
نمی‌دانیم در لحظه‌ای که گراهام میان قبرها می‌نشست، چه چیزی قبرستان را برای او واقعی‌تر از خانه می‌کرد. نمی‌دانیم دوشیزه ایکس چگونه از نبودن معده و روح به این نتیجه رسیده بود که حتی امکان مردن نیز از او گرفته شده است. گزارش‌های پزشکی باورهای آنان را ثبت کرده‌اند، اما فاصله‌ای عمیق میان توصیف یک هذیان و تجربه‌کردن آن باقی می‌ماند.

مدل‌های امروز پیشنهاد می‌کنند وقتی پیام‌های بدن غریب می‌شوند، جهان آشنایی عاطفی خود را از دست می‌دهد و سامانه‌های ارزیابی نمی‌توانند توضیحی نامحتمل را کنار بگذارند، ذهن ممکن است برای آشفتگی خود نتیجه‌ای عمیقا نادرست بسازد.

برای بیمار، جمله «من مرده‌ام» شاید آغاز بیماری نباشد؛ شاید توضیحی باشد که مغز برای تجربه‌ای پیدا کرده که پیش از آن آغاز شده است.

اما این هنوز یک چارچوب احتمالی است، نه پاسخ نهایی. پژوهش‌ها اندک‌اند، نمونه‌ها کوچک‌اند و یافته‌های تصویربرداری یکدست نیستند. هیچ اسکن، آزمایش خون یا نشانگر زیستی مشخصی وجود ندارد که کوتار را تشخیص دهد.

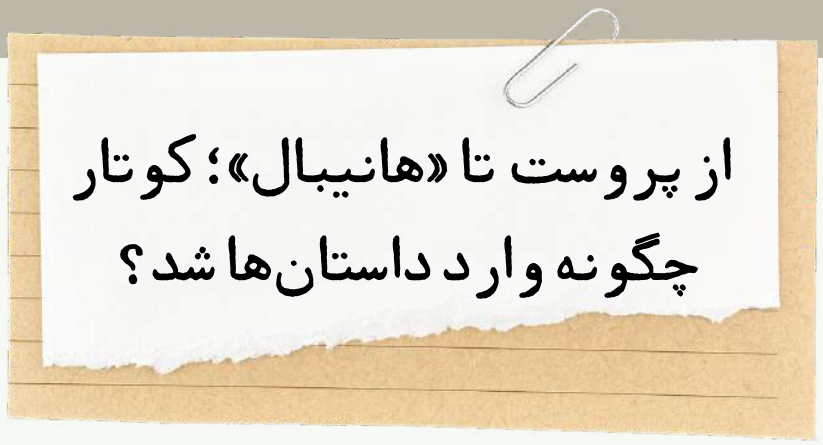
همین نادانسته‌هاست که کوتار را فراتر از یک کنجکاوی پزشکی قرار می‌دهد. این پرونده‌ها ما را وادار می‌کنند درباره یکی از بنیادی‌ترین تجربه‌های انسانی دوباره پرسش کنیم: احساس «من وجود دارم» تا چه اندازه واقعیتی مستقیم است و تا چه اندازه نتیجه استنباط خاموش و بی‌وقفه‌ای است که مغز از بدن، حافظه و جهان می‌سازد؟
گراهام و دوشیزه ایکس پاسخی برای این پرسش به ما نمی‌دهند. تجربه‌هایشان بیشتر شبیه روزنه‌هایی‌اند که برای لحظه‌ای به سازوکار پنهان ساختن «خود» گشوده می‌شوند؛ روزنه‌هایی کوچک به جهانی که هنوز بخش بزرگی از آن ناشناخته است.
پرسش علوم مغز فقط این نیست که چگونه می‌بینیم، به یاد می‌آوریم یا تصمیم می‌گیریم. پرسش عمیق‌تر این است که مغز چگونه از مجموعه‌ای از پیام‌های عصبی، بدن، گذشته و محیط، این یقین آرام و روزمره را می‌سازد: اینکه من اینجا هستم، این بدن از آن من است و هنوز زنده‌ام.
هذیان کوتار نشان می‌دهد حتی این یقین نیز همیشگی و تضمین‌شده نیست. شاید مهم‌ترین چیزی که از این پرونده‌های نادر می‌آموزیم، نه پاسخی قطعی درباره مرگ و زندگی، بلکه وسعت پرسش‌هایی باشد که هنوز درباره خودآگاهی، هویت و معنای بودن در برابر ما قرار دارند.



پیوند دادن کوتار با «زامبی» از نظر تاریخی و پزشکی گمراه‌کننده است. ریشه دقیق واژه زامبی محل بحث است، اما پژوهشگران آن را با زبان‌ها و سنت‌های آفریقای غربی و مرکزی و سپس با فرهنگ و زبان هائیتی مرتبط می‌دانند.
در سنت‌های هائیتی، زامبی همیشه جسدی آدم‌خوار یا عامل یک بیماری همه‌گیر نبود. یکی از تصاویر محوری، انسانی بود که اراده، آزادی و هویت اجتماعی خود را از دست داده و به فرمان دیگری کار می‌کرد. این تصویر با تاریخ برده‌داری در مستعمره سن‌دومنگ، انقلاب هائیتی، کار اجباری و ترس از بازگشت به بندگی پیوند خورده است. زامبی در این خوانش، نه هیولایی مهاجم، بلکه قربانیِ سلب اراده و انسانیت است.
بااین‌حال، فرهنگ زامبی در هائیتی پیچیده‌تر از یک استعاره ساده برای بردگی است. این مفهوم در دین، حقوق، سیاست، ادبیات و حافظه تاریخی هائیتی صورت‌های متفاوتی پیدا کرده و در دوره‌های مختلف برای سخن گفتن از سرکوب، کار اجباری، استبداد، تبعید و مقاومت به کار رفته است.

در دوره اشغال هائیتی به دست ایالات متحده، از ۱۹۱۵ تا ۱۹۳۴، نویسندگان و فیلم‌سازان آمریکایی این مفهوم را از زمینه تاریخی و فرهنگی‌اش جدا و به تصویری رازآلود و هراس‌انگیز تبدیل کردند. کتاب جزیره جادویی نوشته ویلیام سیبروک در سال ۱۹۲۹ به رواج این تصویر کمک کرد و فیلم زامبی سفید در سال ۱۹۳۲ آن را وارد سینمای جریان اصلی کرد. این زامبی هنوز بیشتر کارگری بی‌اراده و تحت کنترل بود تا جسد آدم‌خوار.

زامبیِ مسری، مهاجم و گوشت‌خوار فرهنگ عامه محصول تحولات بعدی سینمای وحشت است. بنابراین زامبی هائیتی، زامبی هالیوود و بیمار مبتلا به کوتار سه مفهوم متفاوت‌اند. لقب «سندرم جسد متحرک» شاید توجه مخاطب را جلب کند، اما هم تجربه واقعی بیماران و هم تاریخ فرهنگی زامبی را ساده و تحریف می‌کند.



مفهوم مرگ در زندگی، انکار خود و بیگانگی از بدن بسیار قدیمی‌تر از روان‌پزشکی مدرن است. ادبیات و اسطوره‌ها پر از ارواح، مردگان سخنگو، بازگشتگان از جهان زیرین و انسان‌هایی‌اند که خود را از جهان زندگان جدا می‌بینند. بااین‌حال، نباید هر شخصیت مرگ‌اندیش یا هر راوی‌ای را که می‌گوید «من مرده‌ام» مبتلا به هذیان کوتار دانست. در کوتار، با استعاره، باور دینی یا قرارداد داستانی روبه‌رو نیستیم؛ فرد زنده، در جهان واقعی داستان یا زندگی، باور خود را درباره مرگ، نیستی یا نابودی بدن حقیقتی عینی می‌داند.

نخستین پیوند مهم میان نام کوتار و ادبیات، در واقع نه با خود سندرم، بلکه با شخص ژول کوتار شکل گرفت. در رمان بزرگ مارسل پروست، در جست‌وجوی زمان ازدست‌رفته، پزشکی به نام «پروفسور کوتار» حضور دارد؛ شخصیتی که در محافل بورژوایی و اشرافی داستان رفت‌وآمد می‌کند و رفتار اجتماعی گاه ناشیانه‌اش با اعتبار حرفه‌ای او در تضاد است. بررسی‌های تاریخی نشان می‌دهند پروست این شخصیت را دست‌کم تا اندازه‌ای از ژول کوتار، عصب‌شناس و روان‌پزشک پاریسی، الهام گرفته بود. آدرین پروست، پدر مارسل و پزشک برجسته فرانسوی، هم‌دوره کوتار بود و احتمالا این پیوند حرفه‌ای، نام او را وارد جهان داستانی پسرش کرد. بااین‌حال، پروفسور کوتار بازنمایی بیماری که وجود خود را انکار می‌کند نیست؛ اینجا با ردپای زندگی پزشک در ادبیات روبه‌رو هستیم، نه با تصویر سندرم او.

شاید مهم‌ترین متن ادبی معاصر درباره کوتار نه یک رمان، بلکه روایتی اول‌شخص باشد. اسمه ویجون وانگ، نویسنده آمریکایی، در مقاله «روزهای برزخ» (PERDITION DAYS) تجربه دوره‌ای را شرح می‌دهد که در آن باور داشت مرده و در جهانی پس از مرگ گرفتار شده است. متن بعدها در مجموعه‌مقاله تحسین‌شده او، اسکیزوفرنی‌های گردآوری‌شده (THE COLLECTED SCHIZOPHRENIAS)، منتشر شد.

اهمیت نوشته وانگ در این است که کوتار را از نگاه پزشک یا تماشاگر توصیف نمی‌کند؛ روایت از درون تجربه شکل می‌گیرد. او بخشی از مقاله را زمانی نوشت که هنوز باور هذیانی ادامه داشت. جهان اطرافش ظاهرا همان جهان پیشین بود، اما برای او به نسخه‌ای بدل شده بود که پس از مرگ ادامه پیدا می‌کرد. همین هم‌زیستی دو واقعیت—دانستن اینکه دیگران او را زنده می‌دانند و یقین شخصی به اینکه مرده است—نشان می‌دهد هذیان را نمی‌توان صرفا با ارائه شواهد منطقی از میان برد. وانگ بعدها گفت این دوره از دشوارترین تجربه‌های زندگی‌اش بوده است. روایت او همچنین در برابر سنتی قرار می‌گیرد که بیماران روان‌پریش را فقط از زبان پزشکان، خانواده‌ها یا پرونده‌های بالینی به ما معرفی می‌کند.

مرده میان زندگان

در سینما، مشهورترین اشاره مستقیم احتمالا فیلم نیویورک، جزء به کل (SYNECDOCHE, NEW YORK)، ساخته چارلی کافمن در سال ۲۰۰۸ است. شخصیت اصلی فیلم، کارگردان تئاتری به نام «کیدن کوتار»، با فرسودگی بدن، بیماری، گذر شتابان زمان و ترس از مرگ درگیر است. او می‌کوشد تمام زندگی خود را در نمایشی عظیم بازسازی کند، اما مرز میان زندگی، نمایش، بازیگر و شخصیت به‌تدریج محو می‌شود.

نام خانوادگی کیدن اشاره‌ای آگاهانه به هذیان کوتار است؛ همان‌طور که در بخش‌های دیگر فیلم نیز اشاره‌هایی به هذیان کاپگراس و جایگزین‌شدن انسان‌ها با بدل‌هایشان دیده می‌شود. اما کیدن نمونه بالینی روشن کوتار نیست. او پیوسته از مرگ می‌ترسد و بدنش را در حال فروپاشی می‌بیند، ولی الزاما باور ندارد که از پیش مرده یا وجودش به‌طور واقعی پایان یافته است. کافمن از نام کوتار بیشتر به‌عنوان کلیدی فلسفی برای ورود به مساله فناپذیری، هویت و ناتوانی هنر در بازسازی کامل زندگی استفاده می‌کند.

تلویزیون اغلب مسیر مستقیم‌تر و نمایشی‌تری را انتخاب کرده است. در اپیزود دهم فصل نخست سریال هانیبال با عنوان «بوفه سرد» (BUFFET FROID)، زنی جوان به نام جورجیا مدشن باور دارد مرده است. او چهره آدم‌ها را درست تشخیص نمی‌دهد، در خانه‌ها پنهان می‌شود و با پرونده‌ای خشونت‌آمیز پیوند می‌خورد. هانیبال لکتر در داستان، وضعیت او را کوتار تشخیص می‌دهد. انتخاب الن موث برای این نقش نیز تصادفی نبود: او پیش‌تر در سریال مرده‌ای مثل من (DEAD LIKE ME) نقش زنی به نام جورجیا را بازی کرده بود که پس از مرگ به‌عنوان مامور گرفتن جان انسان‌ها فعالیت می‌کرد. برایان فولر، خالق هر دو مجموعه، شخصیت تازه را نوعی بازخوانی تاریک‌تر از همان ایده «مرده اما حاضر در میان زندگان» طراحی کرده بود.

اپیزود از نظر بصری و روایی یکی از نمونه‌های به‌یادماندنی ورود کوتار به فرهنگ عامه است، اما بازنمایی پزشکی آن دقیق نیست. سریال کوتار را با ناتوانی در شناخت چهره‌ها و رفتار قاتلانه در هم می‌آمیزد؛ درحالی‌که چهره‌ناشناسی یا هذیان کاپگراس اختلال‌هایی جداگانه‌اند و خشونت، ویژگی تعریف‌کننده کوتار نیست. در گزارش‌های بالینی، خطرهای اصلی بیشتر متوجه خود بیمارند: خودکشی، امتناع از غذا، کم‌آبی، غفلت از بدن و پیامدهای بیماری زمینه‌ای. بازنمایی جورجیا را باید بخشی از جهان اغراق‌شده و وحشت‌محور هانیبال دانست، نه یک نمونه آموزشی بالینی.

سریال جنایی لوتر نیز در فصل چهارم، کوتار را به یک قاتل زنجیره‌ای آدم‌خوار نسبت می‌دهد. این استفاده همان الگوی آشنای داستان‌های جنایی را تکرار می‌کند: یک وضعیت روان‌پزشکی نادر به توضیحی سریع برای خشونتی افراطی تبدیل می‌شود. چنین پیوندی از نظر دراماتیک تکان‌دهنده است، اما می‌تواند این تصور نادرست را تقویت کند که بیماران مبتلا به کوتار ذاتا برای دیگران خطرناک‌اند.

در سوی دیگر طیف، سریال کمدی پزشکی اسکرابز در اپیزود «طلسم خوش‌شانسی من» (MY LUCKY CHARM) بیماری به نام جری را نشان می‌دهد که می‌گوید سال‌ها پیش مرده است. پزشکان به‌صراحت نام کوتار یا «سندرم جسد متحرک» را می‌آورند، اما شخصیت عمدتا به‌صورت یک شوخی کوتاه استفاده می‌شود. این اشاره ممکن است برای بسیاری از تماشاگران نخستین آشنایی با نام کوتار بوده باشد، اما پیچیدگی، خطر و رنج واقعی وضعیت را تقریبا به یک نکته عجیب پزشکی تقلیل می‌دهد.

این نمونه‌ها سه شیوه متفاوت حضور کوتار در فرهنگ را نشان می‌دهند: نام یک پزشک که وارد رمان پروست می‌شود؛ تجربه‌ای واقعی که به ادبیات شخصی و شهادت بیمار راه پیدا می‌کند؛ و تشخیصی پزشکی که در سینما و تلویزیون به استعاره، معما، شوخی یا ابزار وحشت تبدیل می‌شود.

همین تفاوت آخر اهمیت دارد. اینکه اثری نام «کوتار» را به زبان می‌آورد، الزاما به معنای بازنمایی دقیق آن نیست؛ و اینکه شخصیتی درباره مرگ، پوچی یا بیگانگی سخن می‌گوید، برای تشخیص کوتار کافی نیست. شاید مسئولانه‌ترین روایت فرهنگی همان روایتی باشد که مانند نوشته وانگ، به‌جای تبدیل بیمار به هیولا یا معما، نشان می‌دهد زندگی درون یک واقعیت ناپایدار چگونه تجربه می‌شود.

رسانه‌ها «سندرم کوتار» را
غالبا دور از واقعیت
پزشکی و به ابزار شوخی
یا وحشت تبدیل می‌کنند.

هشدار پزشکی:
این نشانه‌ها را نادیده نگیرید

این مطلب برای آشنایی علمی با هذیان کوتار نوشته شده و نمی‌تواند جای تشخیص پزشک یا روان‌پزشک را بگیرد. احساس بیگانگی از بدن یا محیط، تغییر ناگهانی در ادراک واقعیت، شنیدن یا دیدن چیزهایی که دیگران تجربه نمی‌کنند، شکل‌گیری باورهای نامعمول، یا تغییر محسوس و پایدار در رفتار و شخصیت باید با پزشک یا متخصص سلامت روان در میان گذاشته شود.

باور به مرده یا ناموجود بودن، اطمینان به نابودی اندام‌ها، امتناع از خوردن یا آشامیدن، سردرگمی ناگهانی، بی‌حرکتی یا واکنش‌ندادن غیرعادی، رفتار خودآسیب‌رسان و افکار خودکشی نیازمند ارزیابی فوری پزشکی و روان‌پزشکی است. چنین نشانه‌هایی ممکن است در زمینه یک بیماری جسمی، عصبی، عفونی، متابولیک یا عارضه دارویی نیز ظاهر شوند. در صورت وجود خطر فوری برای جان فرد، ناتوانی او در مراقبت از خود، امتناع جدی از آب و غذا، یا احتمال خودکشی و خودآسیبی، با خدمات اورژانس محل زندگی تماس بگیرید یا فرد را به نزدیک‌ترین اورژانس بیمارستان برسانید. برای متقاعدکردن او وارد مشاجره درباره واقعی یا غیرواقعی‌بودن باورهایش نشوید؛ آرام بمانید، نگرانی‌اش را جدی بگیرید و برای دریافت کمک حرفه‌ای همراهش باشید.

وجود یک یا چند مورد از این نشانه‌ها به‌تنهایی به معنای ابتلا به هذیان کوتار نیست. تشخیص تنها پس از بررسی وضعیت روانی، سابقه پزشکی، داروها و احتمال بیماری‌های زمینه‌ای امکان‌پذیر است.

شاید «احساسِ زنده بودن» نه یک
واقعیت تسخیرناپذیر، بلکه
معجزه‌اَی خاموش است که مغز هر
ثانیه از نو می‌سازد.





الهام غفارزاده
مدیر نوآوری و
توسعه‌دهنده رسانه

چرا امروز بیشتر از همیشه به ادبیات نیاز داریم؟

«کتاب باید تبری باشد برای شکستن دریای یخزده درون ما.» کافکا نویسنده معروف اهل چک در نامه‌ای به اسکار پولاک درباره کتاب اینطور می‌نویسد و در حقیقت کتاب را چیزی فراتر از سرگرمی و تسلی می‌داند؛ از نظر کافکا خواندن کتاب باید چیزی را درون ما زخمی کند، اثری به جای بگذارد و بنیان‌های فکری ما را به چالش بکشد چرا که او جز این نقشی برای ادبیات متصور نبوده است.

کافکا از دلِ تجربه زیسته‌اش با سختی، بیگانگیِ در مواجهه با جهان و ناتوانی در ارتباط، به زبانی رسید که هنوز هم برای خواننده امروز زنده و تکان‌دهنده است.

آدم‌ها در جهان او اغلب تنها، درک‌نشده، مجازات‌شده بدون علتی روشن و زیر فشار ساختارهایی بزرگ‌تر از خودشان، از خانواده و اقتدار گرفته تا بوروکراسی و اضطراب روزمره، زندگی می‌کنند، درست مانند همان زندگی‌ای که کافکا خود در دنیای واقعی تجربه می‌کرد؛ طردشده به تاریکی و سکوت. همین تجربه شخصیِ فاصله، ترس و نادیده‌ماندن باعث شد آثار او فقط روایت رنج نباشند، بلکه تمرینی برای دیدن رنج دیگران هم بشوند. کافکا به ما یادآوری می‌کند که ادبیات وقتی ماندگار می‌شود که از تجربه فردی عبور کند و به زبان مشترک احساسات انسانی تبدیل شود؛ زبانی که خواننده را وادار می‌کند آدم‌های واقعی اطرافش را هم دقیق‌تر و مهربان‌تر ببیند.



حالا در دنیایی که بیش از پیش حاصل پرامپت‌های مختلف هوش مصنوعی برای ساخت ترانه و موسیقی تا ویدیو، کتاب آموزشی و محتوای شبکه‌های اجتماعی است، صحبت از خواندن کتاب بسیار حیاتی‌تر است؛ چرا که انسان امروز بیشتر از هر زمان دیگری به کمی آرامش، سکوت و کاویدن افکار خویش نیاز دارد.

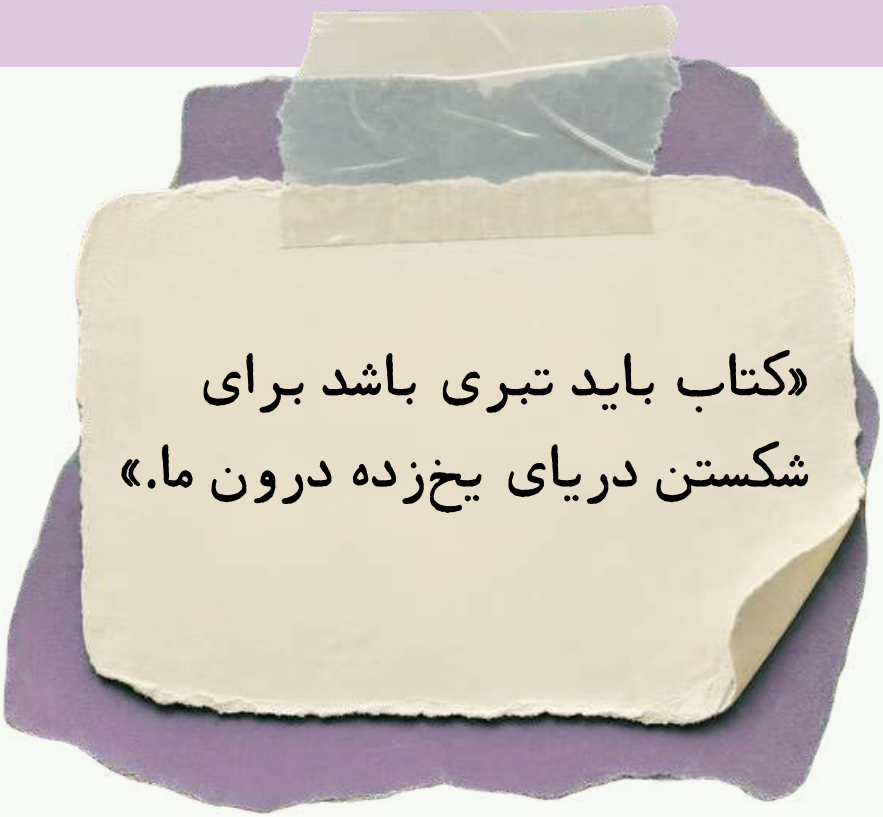
پژوهشگران دانشگاه کمبریج در بررسی دوساله‌ای روی بیش از ۱۰,۰۰۰ نوجوان و جوان، دریافتند در افرادی که به‌طور منظم کتاب و داستان می‌خوانند، بخش‌هایی از قشر پیش‌پیشانی (به‌ویژه DORSOMEDIAL PREFRONTAL CORTEX) که مسئول ادراک اجتماعی، فهم احساسات دیگران و همدلی است، ساختار متراکم‌تر و فعال‌تری پیدا می‌کند. همچنین این پژوهش ثابت کرد برخلاف ارتباط با ابزارهای هوش مصنوعی (مانند چت‌بات‌ها) که فقط حس کاذب ارتباط ایجاد می‌کنند، خواندن ادبیات داستانی تنها روشی است که شبکه‌های عصبی مربوط به «شناخت اجتماعی» (SOCIAL COGNITION) را عمیقا بازسازی کرده، احساس تنهایی را کاهش می‌دهد و سلامت روان را ارتقا می‌بخشد.

از طرف دیگر مطالعه‌ای که روی ده‌ها هزار شرکت‌کننده در سال ۲۰۲۴ انجام شد نشان داد که مطالعه متن از روی صفحات دیجیتال مانند موبایل، تبلت و مانیتور پدیده‌ای به نام «پدیده حقارت صفحه نمایش» (SCREEN INFERIORITY EFFECT) را ایجاد می‌کند. در حقیقت اتفاقی که در حال رخ دادن است این است که مطالعه دیجیتال و الگوریتم‌های هوش مصنوعی مغز ما را به سمت «اسکن سطحی» (SKIMMING) و بار شناختی اضافی (COGNITIVE OVERLOAD) سوق می‌دهند.

در حالی که خواندن کتاب‌های کاغذی به مغز ما اجازه می‌دهد نقشه فضایی از متن بسازد، بتواند رنگ و نور و صدا را آمیخته به تخیل و ذوق خود حین ورق‌زدن کاغذ به متن اضافه کند، ریتم توجهِ پایداری ایجاد کند و در نهایت درک تحلیلی عمیقی از متن داشته باشد.

انسان امروز حالا دیگر می‌تواند از هوش مصنوعی به عنوان دستیار ۲۴ ساعته و بدون محدودیت خود استفاده کند، با کمک ایجنت‌ها و لوپ یک وظیفه تکراری را به هوش مصنوعی واگذار کند. کنترل دما و نور محل کار و زندگی خود را به اپلیکیشن‌ها بسپارد و مطمئن باشد قهوه سرِ صبحش بدون اینکه حتی دکمه‌ای بزند راس ساعت ۸ آماده باشد و با خلاصه اخبار روز که از الکسا بعد از روشن کردن تردمیل پخش می‌شود، صبح خود را با انگیزه‌تر شروع کند. اما با این همه پیشرفت و رفاه گویا باز هم ما نیاز به غرق شدن در دنیای خیالی و داستان داریم. چرا که علیرغم همه این پیشرفت‌ها زمان ما محدود است و تنها یک بار می‌توانیم زندگی کنیم؛ جز زمانی که ادبیات داستانی می‌خوانیم و می‌توانیم به جای شخصیت‌های داستان زندگی کنیم و جهان را از دریچه چشم آنها ببینیم و تجربه کنیم. این خود هنوز سفری است تخیلی و هیجان‌انگیز برای بشر امروز. کنجکاوی بشر برای قدم گذاشتن در راه سفر و تجربه و خطر کردن چیز جدیدی نیست.

این همان راهی است که اول بار اجدادمان در تاریکی شب با دیدن ستاره‌ها و ساختن داستان از آن‌ها آغاز کردند؛ راهی که با حکاکی‌های روی دیوار غارها و لوح‌های سنگی ادامه یافت. مغز ما امروز وارث این تلاش کهن برای داستان‌سرایی و خیال‌پردازی است؛ و همچنان تشنه کنجکاوی، تجربه و ثبت کردن!



وقتی کتاب می‌خوانیم مغز ما تغییر می‌کند!

مطالعات نشان داده‌اند که خواندن منظم ادبیات و داستان، قشر پیش‌پیشانی میانی پشتی را فعال‌تر می‌کند؛ منطقه‌ای که در درک دیگران و همدلی نقشی کلیدی دارد.







الهام غفارزاده
مدیر نوآوری و
توسعه‌دهنده رسانه

پروژه نجات زمین؛ یک تیر و دو نشان

یادداشت حاوی اسپویل داستان اصلی فیلم یا کتاب نیست.

سفر به فضا برای نجات زمین، از محبوب‌ترین تم‌های سینمای علمی-تخیلی است. حالا این وسط اگر پای مواجهه با یک حیات فرازمینی هم به میان بیاید، همه‌چیز برای ساخت یک داستان سینمایی فوق‌العاده مهیا می‌شود. فیلم «پروژه هیل مری» دقیقا همین فرمول را دنبال می‌کند. اثری پرکشش با چاشنی طنز که بر اساس رمانی پرفروش از «اندی ویر» (نویسنده رمان معروف «مریخی») ساخته شده است.

داستان ساخت این فیلم یک سال پیش از انتشار رسمی کتاب «پروژه هیل مری» در می ۲۰۲۰ شروع شد، جایی که نسخه دست‌نویس پیش‌نویسِ اندی ویر به دست رایان گاسلینگ رسید. گاسلینگ به شدت شیفته داستان شد و تصمیم گرفت پروژه را به عنوان تهیه‌کننده و بازیگر نقش اصلی پیش ببرد. در حقیقت او حق ساخت فیلمِ کتاب بعدی «اندی ویر» را حتی قبل از اتمام کتابش به ارزش ۳ میلیون دلار خرید.
دکتر گریس با بازی رایان گاسلینگ که او را با بازی در فیلم‌های رمانتیکی چون «لالالند»، «دفترچه خاطرات» و «باربی» به یاد می‌آوریم، توانست به خوبی فضای جدی فیلم را به همراه شوخی‌هایی که در فیلمنامه بود به طنز آمیخته کند. طنزی که البته خیلی به مذاق طرفداران کتاب خوش نیامده است.

برگ برنده فیلم: پایبندی به داستان و استفاده بسیار محدود از جلوه‌های کامپیوتری

فیلم به پیوند عاطفی، طنز صمیمی، کنجکاوی علمی و همکاری بین‌گونه‌ای میان رایان گریس و راکی کاملا متعهد مانده است. ساختار فلش‌بک‌های مربوط به زمین، نحوه بیدار شدن گریس با فراموشی در سفینه و حتی پایان‌بندی احساسی و شگفت‌انگیز داستان تقریبا بدون تغییرات بنیادین به تصویر کشیده شده‌اند.

کارگردانان فیلم خیلی تلاش کردند تا جای ممکن از پرده سبز و آبی در فیلمبرداری صحنه‌ها استفاده نکنند. آن‌ها از فناوری دیوارهای LED عظیم (VOLUME WALLS) و دکورهای ۳۶۰ درجه چرخشی استفاده کردند. در نتیجه تمام انعکاس‌های ستاره‌ها و فضا روی کلاه فضانوردی رایان گاسلینگ کاملا واقعی و در لحظه فیلم‌برداری ثبت شده‌اند. حتی تیم تولید برای به تصویر کشیدن تکان‌ها و حالت بی‌وزنی سفینه، تمام ساختار داخلی سفینه HAIL MARY را در استودیو روی جک‌های عظیم هیدرولیکی قرار دادند. تکان‌های ناگهانی سفینه و برخورد دکتر گریس با دیواره‌ها، ناشی از حرکت واقعی اتاق زیر پای بازیگر بوده است.

سازندگان فیلم به جای اتکای کامل به جلوه‌های کامپیوتری، یک مدل فیزیکی سه بعدی دقیق از شخصیت راکی ساختند. پنج عروسک‌گردان ماهر (که در پشت صحنه به آن‌ها ROCKETEERS می‌گفتند) راکی را روی صحنه به حرکت درمی‌آوردند. این موضوع به رایان گاسلینگ اجازه داد به جای بازی جلوی یک توپ تنیس، با یک موجود فیزیکی واقعی روی صحنه تعامل و بدیهه‌پردازی کند. حالا راکی در کنار ای.تی به دوست‌داشتنی‌ترین شخصیت‌های داستان‌های علمی تخیلی تبدیل شده است.

اما بیشترین انتقاد طرفداران کتاب از فیلم درباره جزییات علمی است؛ در رمان، اندی ویر صفحات متعددی را به محاسبات ریاضی، فیزیک مداری، آزمایش‌های زیست‌شناختی مفصل و روش‌های حل چالش‌های مهندسی اختصاص داده است. فیلم برای حفظ ریتم داستان، این جزییات سنگین را خلاصه‌تر کرده و از ابزارهای بصری (مانند ضبط ویدیو-لاگ‌های گریس و گرافیک‌های تصویری) استفاده کرده است تا موضوع برای مخاطب عام ملموس‌تر شود. که همین موضوع باعث نارضایتی طرفداران کتاب از فیلم شده است. این در حالی است که منتقدان به شدت ساختار فیلم را ستوده‌اند و نمره بالایی (حدود ۹۴٪ در ROTTEN TOMATOES) به آن داده‌اند. آن‌ها استفاده از عروسک‌گردانی واقعی (PRACTICAL PUPPETRY) به جای CGI کامل برای شخصیت «راکی» را یکی از بهترین تصمیم‌های کارگردانی می‌دانند.

فیلم «پروژه هیل مری» با اینکه در دسته‌بندی علمی-تخیلی قرار می‌گیرد اما کاملا مناسب تماشا با نوجوانان بالای ۱۲ سال است و به‌خاطر لحن صمیمی، طنز به‌اندازه و آموزه‌های ارزشمندش، تجربه‌ای جذاب برای تمام اعضای خانواده رقم می‌زند. این اثر به زیبایی نشان می‌دهد که علم تنها مجموعه‌ای از فرمول‌های خشک نیست، بلکه ابزاری برای حل بزرگ‌ترین چالش‌ها و برقراری ارتباط میان موجودات است. «پروژه هیل مری» بیش از آنکه روایتی از ترسِ انقراض بشر باشد، ستایشی است از کنجکاوی، دوستی بی‌مرز و امید؛ اثری که می‌تواند جرقه علاقه‌مندی به فضا و دنیای علم را در ذهن مخاطبان جوان‌تر روشن کند.



پیش از آن‌که پنجره‌ای تازه به کیهان باز شود



اعتبار: NASA/Jolearra Tshiteya

در این تصویر، مهندسان و تکنسین‌ها در تاسیسات خدمات محموله‌های خطرناک مرکز فضایی کندی ناسا، شش صفحه «آرایه خورشیدی و سپر خورشیدی» تلسکوپ فضایی نانسی گریس رومن را تمیز و بررسی می‌کنند. هر صفحه حدود ۲٫۱ در ۳ متر است و این مجموعه پس از استقرار در فضا، هم انرژی رصدخانه را تامین می‌کند و هم بخشی از سامانه کنترل نور و گرماست.

این صفحات در نقطه لاگرانژی دوم، حدود ۱٫۶ میلیون کیلومتر دورتر از زمین، پیوسته رو به خورشید قرار خواهند گرفت و حدود ۴۱۰۰ وات توان در اختیار تلسکوپ می‌گذارند. رومن با میدان دیدی بسیار وسیع‌تر از هابل، برای بررسی انرژی تاریک، ماده تاریک، سیاره‌های فراخورشیدی و ساختارهای بزرگ‌مقیاس کیهان طراحی شده است. این تصویر یادآوری می‌کند که پیش از هر نمای شگفت‌انگیز از آسمان، ماه‌ها و سال‌ها کار دقیق، پاک‌سازی و آزمون روی زمین قرار دارد.

«هر تصویر شگفت‌انگیز از ژرفای کیهان، حاصلِ ماه‌ها کارِ دقیق و بی‌وقفه مهندسانی است که زمین را برای کشفِ فضا آماده می‌کنند.»



بازاندیشی در اتاق مری، هوش مصنوعی و زامبی فلسفی



آیا آگاهی بدون کوالیا ممکن است؟

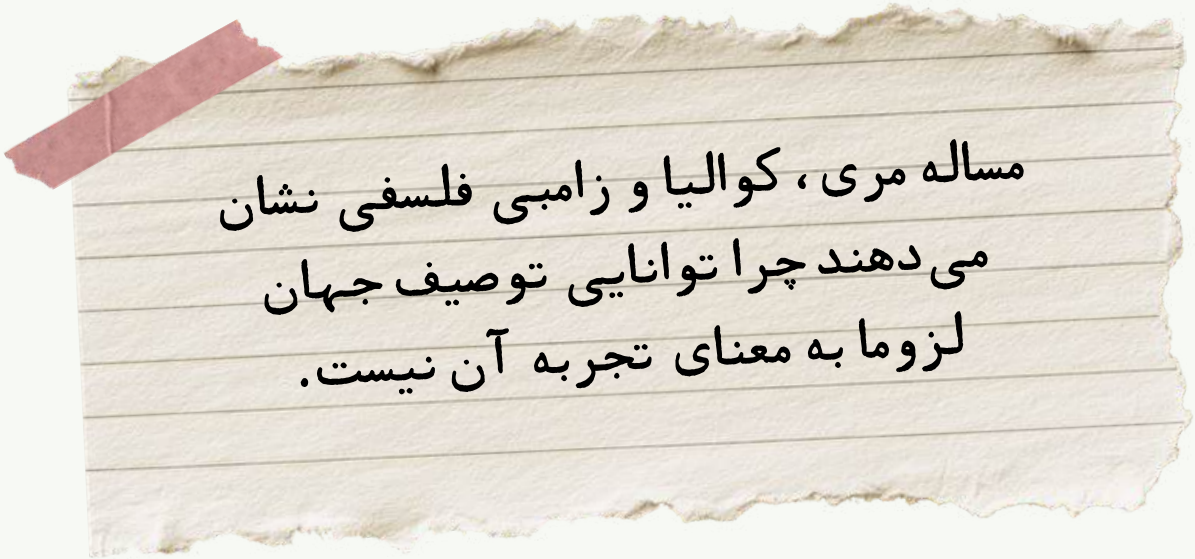
فرناز خطیبی جعفری
مدرس دانشگاه ملی یوکوهاما

اگر امروز از یک سامانه پیشرفته هوش مصنوعی بپرسیم رنگ قرمز چیست، احتمالا در چند ثانیه پاسخی مفصل و دقیق دریافت خواهیم کرد. این سامانه می‌تواند توضیح دهد نورهایی که قرمز دیده می‌شوند معمولا در چه بخشی از طیف مرئی قرار دارند، سلول‌های مخروطی شبکیه انسان چگونه در بینایی رنگی مشارکت می‌کنند، مغز چگونه اطلاعات مربوط به رنگ را پردازش می‌کند و چرا قرمز در فرهنگ‌های مختلف با خون، عشق، خطر، خشم یا هیجان پیوند خورده است. حتی می‌تواند با تکیه بر میلیون‌ها متن، تجربه‌ها و احساساتی را که انسان‌ها هنگام دیدن رنگ قرمز گزارش کرده‌اند، با جزئیاتی چشمگیر توصیف کند.

بااین‌حال، توانایی سخن گفتن درباره رنگ قرمز به‌خودی‌خود نشان نمی‌دهد که آن سامانه «قرمز بودن» را تجربه می‌کند. یک هوش مصنوعی ممکن است بتواند تمام جمله‌های مناسب را تولید کند و حتی پاسخ‌هایی ظریف و قانع‌کننده بدهد، بی‌آنکه بدانیم در پس این پردازش‌ها چیزی شبیه تجربه اول‌شخص انسان وجود دارد یا نه.
همین تفاوت ظاهرا ساده، آرام‌آرام ما را به یکی از بنیادی‌ترین پرسش‌های فلسفه ذهن می‌رساند: آیا داشتن اطلاعات، ساختن بازنمایی (REPRESENTATION) از جهان و توانایی سخن گفتن درباره یک تجربه، برای آگاه بودن کافی است؟
این پرسش ما را به آزمایش فکری مشهور «اتاق مری» (MARY'S ROOM) می‌رساند؛ آزمایشی که فرانک جکسون، فیلسوف استرالیایی، نخستین صورت شناخته‌شده آن را در سال ۱۹۸۲ مطرح کرد و چند سال بعد آن را بیشتر بسط داد.
مری دانشمندی برجسته در زمینه عصب‌شناسی بینایی است که بنا بر فرض آزمایش، تمام عمر خود را در محیطی کاملا سیاه‌وسفید گذرانده است. او هرگز رنگی ندیده، اما همه واقعیت‌های فیزیکی مربوط به رنگ و بینایی رنگی را می‌داند. مری می‌داند نور چگونه به شبکیه می‌رسد، گیرنده‌های نوری چگونه به ترکیب‌های طیفی مختلف واکنش نشان می‌دهند، پیام‌های عصبی چگونه در مسیرهای بینایی حرکت می‌کنند و شبکه‌های مغزی چگونه در تشخیص و تمایز رنگ‌ها مشارکت دارند. او همچنین می‌داند انسان‌ها رنگ قرمز را چگونه توصیف می‌کنند و چه تداعی‌ها و واکنش‌هایی با دیدن آن دارند.

اما در میان تمام این دانش، یک چیز هنوز غایب است: مری هرگز خودِ رنگ قرمز را ندیده است.

پرسش جکسون از همین‌جا آغاز می‌شود: هنگامی که مری برای نخستین‌بار از اتاق سیاه‌وسفید خارج می‌شود و سیبی قرمز را می‌بیند، آیا چیز تازه‌ای می‌آموزد؟



اگر پاسخ مثبت باشد، به نظر می‌رسد دانستن تمام واقعیت‌های فیزیکی مربوط به بینایی رنگی، برای دانستن اینکه دیدن رنگ قرمز «چه حالی دارد» کافی نبوده است. مری پیش از خروج از اتاق می‌توانست سازوکارهای فیزیکی و عصبی دیدن قرمز را توضیح دهد، اما پس از دیدن سیب، با کیفیتی از تجربه آشنا می‌شود که پیش‌تر به‌طور مستقیم در اختیارش نبود.

بااین‌همه، پیش از آنکه به پرسش جکسون پاسخ بدهیم، باید سؤال دیگری را کمی روشن‌تر کنیم: آیا مری پیش از دیدن رنگ قرمز، نسبت به آن آگاه بود؟

پاسخ به این پرسش به معنایی بستگی دارد که برای «آگاهی» در نظر می‌گیریم. آگاهی یک مفهوم واحد و ساده نیست. این واژه گاهی به بیدار و پاسخ‌گو بودن اشاره دارد، گاهی به آگاهی فرد از خود، گاهی به در دسترس بودن اطلاعات برای استدلال و تصمیم‌گیری و گاهی به کیفیت اول‌شخص تجربه؛ یعنی به اینکه یک تجربه از درون برای صاحب آن چگونه است.

ند بلاک، فیلسوف آمریکایی، در دهه ۱۹۹۰ تمایزی تاثیرگذار میان «آگاهی دسترسی» (ACCESS CONSCIOUSNESS) و «آگاهی پدیداری» (PHENOMENAL CONSCIOUSNESS) مطرح کرد. یک محتوای ذهنی زمانی در معنای دسترسی آگاهانه است که بتوان از آن در استدلال، گفتار، تصمیم‌گیری و هدایت رفتار استفاده کرد. در مقابل، آگاهی پدیداری به این مربوط می‌شود که داشتن یک تجربه برای فرد از درون چگونه است؛ دیدن قرمز چه کیفیتی دارد، درد چگونه احساس می‌شود یا شنیدن یک قطعه موسیقی چه حال‌وهوایی در فرد پدید می‌آورد.



با کمک این تمایز می‌توان گفت مری پیش از خروج از اتاق، به اطلاعات مربوط به رنگ قرمز دسترسی گسترده‌ای داشت. او می‌توانست درباره قرمز استدلال کند، آن را از نظر علمی توضیح دهد و پیامدهای دیدنش را پیش‌بینی کند. اما در معنای پدیداری، چیزی در تجربه او غایب بود: او هنوز نمی‌دانست دیدن قرمز برای خودش چگونه خواهد بود.

این کیفیت ذهنی و اول‌شخص همان چیزی است که در فلسفه ذهن معمولا «کوالیا» (QUALIA) نامیده می‌شود. کوالیا به جنبه‌های کیفی تجربه اشاره دارد: قرمزیِ قرمز، تلخیِ قهوه، تیزیِ درد یا کیفیت ویژه شنیدن صدای باران. مساله فقط این نیست که ما اطلاعاتی درباره این پدیده‌ها داریم؛ مساله این است که تجربه کردن آن‌ها برای ما کیفیتی درونی و زیسته دارد.

برای آنکه این تفاوت روشن‌تر شود، بهتر است میان چند مرحله متفاوت تمایز قائل شویم.

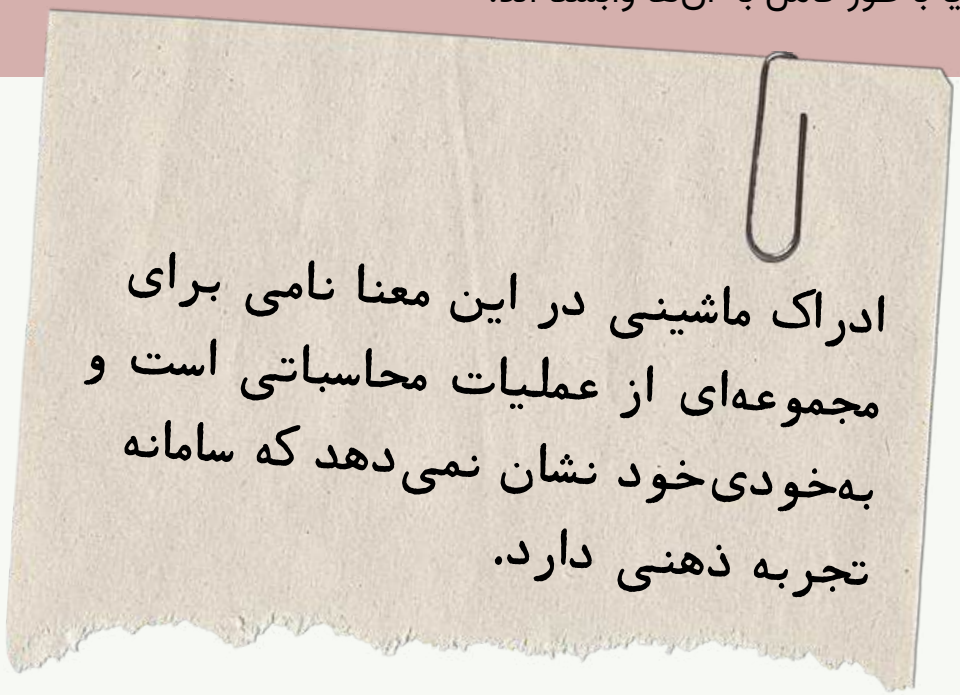


مرحله نخست، دریافت و بازنمایی اطلاعات است. انسان‌ها و سامانه‌های مصنوعی می‌توانند بر اساس داده‌های حسی یا نمادین، ساختارهایی درونی ایجاد کنند که برای تشخیص، پیش‌بینی و تصمیم‌گیری به کار می‌روند. بازنمایی در اینجا به معنای ساختن نوعی مدل از جهان است؛ مدلی که برخی روابط، ویژگی‌ها و الگوهای موجود در داده‌ها را حفظ می‌کند و امکان می‌دهد سامانه بر پایه آن‌ها عمل کند.

مرحله بعد، ادراک (PERCEPTION) است. در ادراک انسانی، ورودی‌های حسی به اشیا و پدیده‌های معنادار تبدیل می‌شوند. ما صرفا مجموعه‌ای از طول موج‌ها، خطوط و سایه‌ها را دریافت نمی‌کنیم، بلکه سیب، گل، چهره یا رنگ قرمز را تشخیص می‌دهیم. در مهندسی نیز اصطلاح «ادراک ماشینی» (MACHINE PERCEPTION) برای فرایندهایی به کار می‌رود که طی آن‌ها یک سامانه از داده‌های دوربین، میکروفون یا حسگرهای دیگر، اشیا، صداها و الگوهای معنادار را تشخیص می‌دهد.
اما کاربرد واژه «ادراک» در مهندسی نباید ما را بیش از اندازه جلو ببرد. ادراک ماشینی در این معنا نامی برای مجموعه‌ای از عملیات محاسباتی است و به‌خودی‌خود نشان نمی‌دهد که سامانه تجربه ذهنی دارد. تشخیص یک سیب قرمز، هرقدر هم دقیق باشد، هنوز با تجربه دیدن آن یکسان نیست.

مرحله‌ای که مساله اصلی از آنجا آغاز می‌شود، «تجربه پدیداری» (PHENOMENAL EXPERIENCE) است. انسان هنگام دیدن سیب قرمز تنها ویژگی‌های آن را تشخیص نمی‌دهد؛ دست‌کم از منظر خودش، کیفیتی را نیز تجربه می‌کند. پرسش اصلی این است که آیا این کیفیت صرفا شکل خاصی از پردازش و بازنمایی اطلاعات است، یا چیزی در آن وجود دارد که حتی با توصیف کامل فرایندهای فیزیکی و محاسباتی نیز به‌طور کامل به دست نمی‌آید.

جکسون در صورت‌بندی اولیه استدلال خود معتقد بود اگر مری پس از دیدن رنگ چیزی تازه می‌آموزد، پس همه واقعیت‌های مربوط به ذهن را نمی‌توان به واقعیت‌های فیزیکی فروکاست. این استدلال که به «استدلال معرفت» (KNOWLEDGE ARGUMENT) معروف شد، به چالشی علیه «فیزیک‌گرایی» (PHYSICALISM) تبدیل شد؛ دیدگاهی که بر اساس آن، همه واقعیت‌ها، از جمله واقعیت‌های ذهنی، در نهایت واقعیت‌هایی فیزیکی‌اند یا به‌طور کامل به آن‌ها وابسته‌اند.



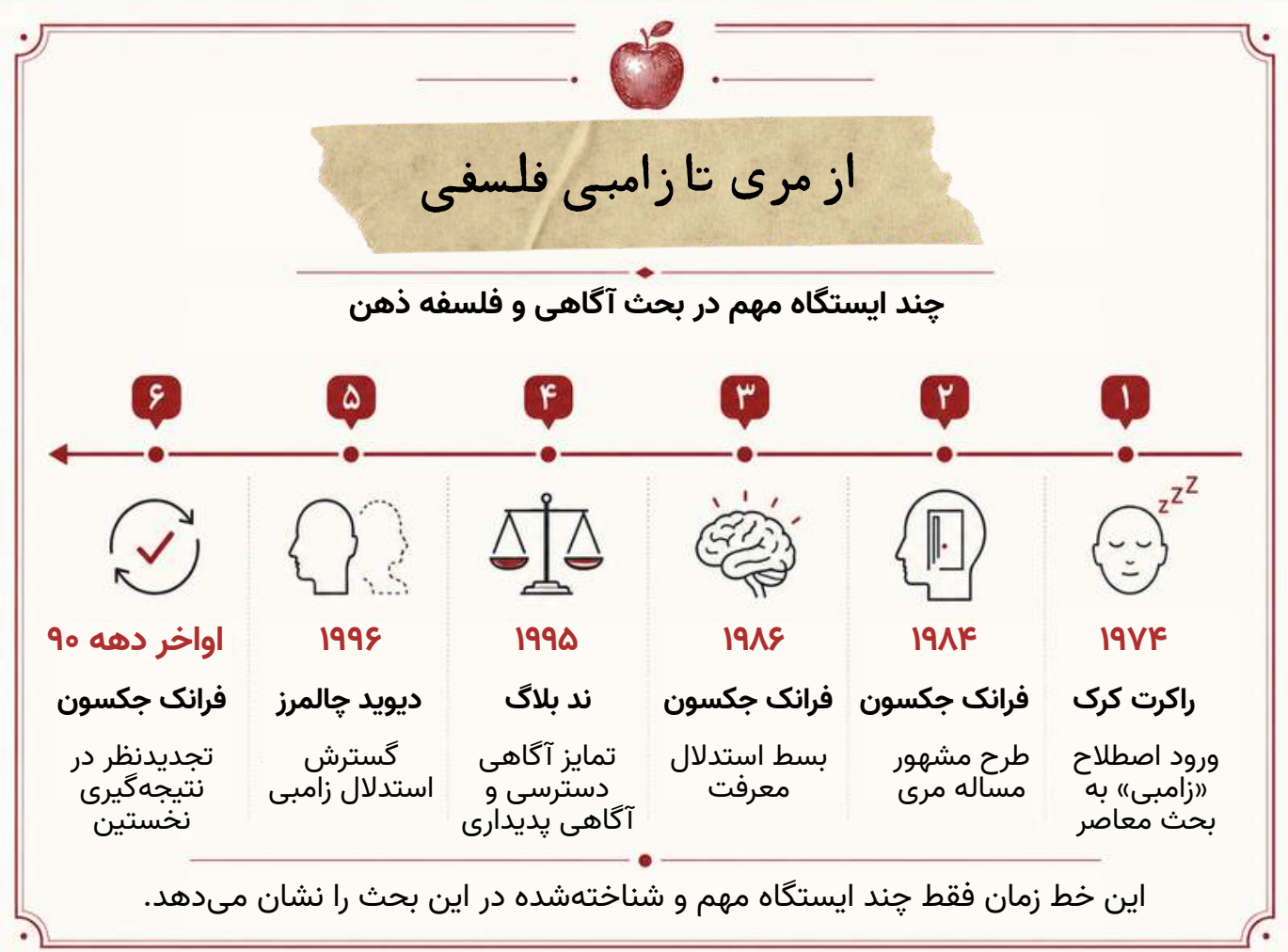


بااین‌حال، فیلسوفان پاسخ‌های متفاوتی به مساله مری داده‌اند. برخی گفته‌اند مری پس از خروج از اتاق، حقیقت تازه‌ای درباره جهان می‌آموزد. برخی دیگر معتقدند او حقیقت تازه‌ای کشف نمی‌کند، بلکه توانایی تازه‌ای به دست می‌آورد: اکنون می‌تواند رنگ قرمز را تشخیص دهد، آن را تصور کند یا به یاد آورد. گروهی نیز می‌گویند مری با واقعیتی که پیش‌تر از نظر نظری می‌شناخت، از راهی تازه و مستقیم آشنا می‌شود. بر این اساس، تفاوت میان دانش مری پیش و پس از خروج ممکن است تفاوت میان دو نوع دسترسی به یک واقعیت باشد، نه لزوما تفاوت میان واقعیتی فیزیکی و واقعیتی غیرفیزیکی.

جالب‌تر آنکه خود فرانک جکسون نیز بعدها در نتیجه‌گیری نخستین خود تجدیدنظر کرد. او از اواخر دهه ۱۹۹۰ دیگر استدلال مری را دلیلی قاطع علیه فیزیک‌گرایی نمی‌دانست. در برداشت متاخر او، ممکن است واقعیت‌های فیزیکی برای تعیین واقعیت تجربه کافی باشند، حتی اگر مری نتواند پیش از دیدن رنگ، کیفیت آن تجربه را صرفا از روی اطلاعات علمی استنتاج یا بازسازی کند. دیدن رنگ می‌تواند شیوه تازه‌ای برای بازنمایی یا شناخت همان واقعیت در اختیار مری قرار دهد، بی‌آنکه ناگزیر واقعیتی غیرفیزیکی به جهان افزوده شده باشد.

تغییر نظر جکسون، آزمایش فکری مری را بی‌اهمیت نمی‌کند. برعکس، شاید ارزش آن را روشن‌تر کند: این آزمایش یک پاسخ نهایی نیست، بلکه ابزاری است برای آشکار کردن تفاوت میان توصیف سوم‌شخص و تجربه اول‌شخص. مساله همچنان باقی است: حتی اگر تجربه رنگ به‌طور کامل محصول فعالیت مغز باشد، چرا دانستن همه واقعیت‌های مربوط به مغز ظاهرا با داشتن آن تجربه یکسان نیست؟

همین پرسش، وقتی به هوش مصنوعی می‌رسیم، صورت تازه و عملی‌تری پیدا می‌کند.



«هوش مصنوعی می‌تواند خصوصیات رنگ قرمز را توصیف کند، اما بین «پردازشِ داده‌ها» و «احساسِ واقعیِ یک تجربه» فرسنگ‌ها فاصله است.»

سامانه‌های هوش مصنوعی امروز می‌توانند حجم عظیمی از اطلاعات را پردازش کنند، میان داده‌ها رابطه برقرار کنند، الگوها را تشخیص دهند و بر اساس آن‌ها پاسخ یا تصمیم تولید کنند. برخی «سامانه‌های چندوجهی» (MULTIMODAL SYSTEMS) می‌توانند داده‌های تصویری و صوتی را نیز دریافت کنند، اشیا و رنگ‌ها را تشخیص دهند و درباره آنچه در تصویر دیده می‌شود گزارش بدهند. از این نظر، می‌توان گفت این سامانه‌ها بازنمایی‌هایی از داده‌ها می‌سازند و کارکردهایی را انجام می‌دهند که در زبان مهندسی در قلمرو ادراک ماشینی قرار می‌گیرند.

اما درست در همین نقطه باید مکث کرد: آیا آن‌ها از آنچه پردازش می‌کنند، تجربه‌ای نیز دارند؟

اگر از یک «مدل زبانی» (LANGUAGE MODEL) بپرسیم رنگ قرمز چه حسی دارد، ممکن است توضیح دهد که انسان‌ها قرمز را گرم، تحریک‌کننده، عاشقانه یا هشداردهنده توصیف می‌کنند. اما این پاسخ می‌تواند تنها حاصل پردازش و بازترکیب گزارش‌های انسانی باشد. توانایی تولید یک توصیف قانع‌کننده، به‌تنهایی نشان نمی‌دهد که خود سامانه عشق، خطر، گرما یا قرمز بودن را تجربه می‌کند.

در زمان حاضر، هیچ آزمون پذیرفته‌شده‌ای وجود ندارد که بتواند تجربه اول‌شخص را در یک سامانه مصنوعی مستقیما اندازه‌گیری کند. همچنین شواهد علمی قانع‌کننده‌ای در دست نیست که نشان دهد سامانه‌های هوش مصنوعی کنونی دارای تجربه پدیداری‌اند.
بااین‌حال، نبود چنین شواهدی نیز به معنای اثبات منطقی و نهایی ناممکن بودن آگاهی مصنوعی نیست. ما هنوز بر سر اینکه چه فرایندها یا ساختارهایی برای آگاهی کافی‌اند، توافق نداریم.

از همین رو، شاید بهتر باشد پرسش را دقیق‌تر و آرام‌تر مطرح کنیم: آیا سامانه‌ای می‌تواند به اطلاعات دسترسی داشته باشد، درباره آن‌ها استدلال کند، از حالات خود گزارش بدهد و رفتاری شبیه موجودی آگاه نشان دهد، بی‌آنکه هیچ تجربه اول‌شخصی داشته باشد؟

آزمایش فکری «زامبی فلسفی» دقیقا همین احتمال را پیش روی ما می‌گذارد.

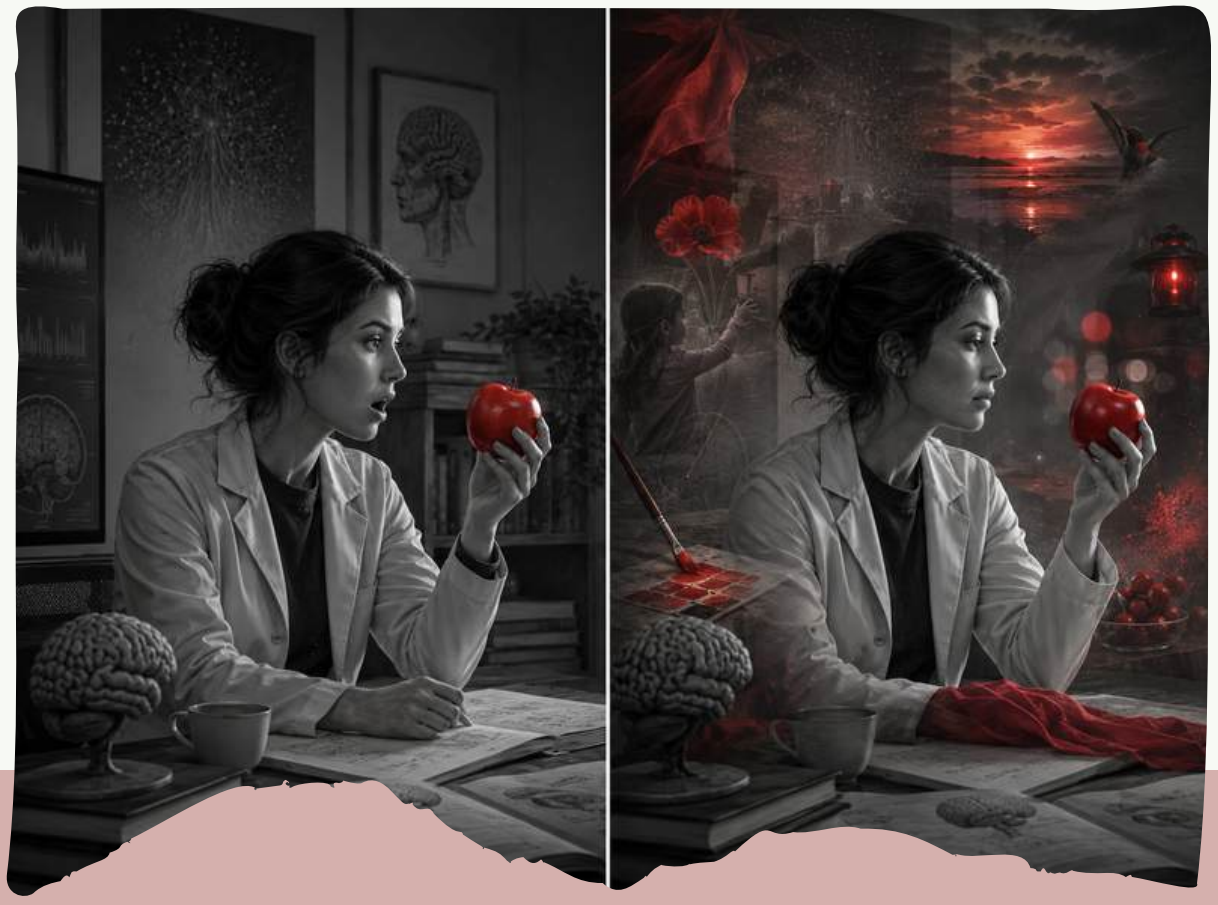
زامبی فلسفی هیچ شباهتی به مردگان متحرک داستان‌ها و فیلم‌ها ندارد. او بنا بر فرض، موجودی است که از نظر بدن، مغز، رفتار، گفتار و واکنش‌هایش کاملا شبیه یک انسان عادی است، اما هیچ تجربه پدیداری ندارد. اگر زخمی شود، فریاد می‌کشد؛ اگر از او بپرسیم درد دارد، پاسخ مثبت می‌دهد؛ و اگر سیبی قرمز ببیند، می‌تواند رنگ آن را تشخیص دهد و درباره زیبایی‌اش سخن بگوید. بااین‌حال، بنا بر تعریف آزمایش، در پس این رفتارها هیچ احساس درد، دیدن قرمز یا تجربه زیبایی وجود ندارد.
اندیشه موجودی که رفتار انسانی دارد اما فاقد تجربه درونی است، پیشینه‌ای طولانی‌تر در فلسفه دارد؛ بااین‌همه، رابرت کرک، فیلسوف بریتانیایی، در سال ۱۹۷۴ واژه «زامبی» را به این معنای خاص وارد بحث فلسفه ذهن کرد. دو دهه بعد، دیوید چالمرز در کتاب «ذهن آگاه» این آزمایش فکری را بسط داد و آن را به یکی از مشهورترین استدلال‌ها در بحث آگاهی و فیزیک‌گرایی تبدیل کرد.

مری ، هوش مصنوعی و زامبی فلسفی

مقایسه‌ای برای روشن کردن نسبت اطلاعات، رفتار و تجربه

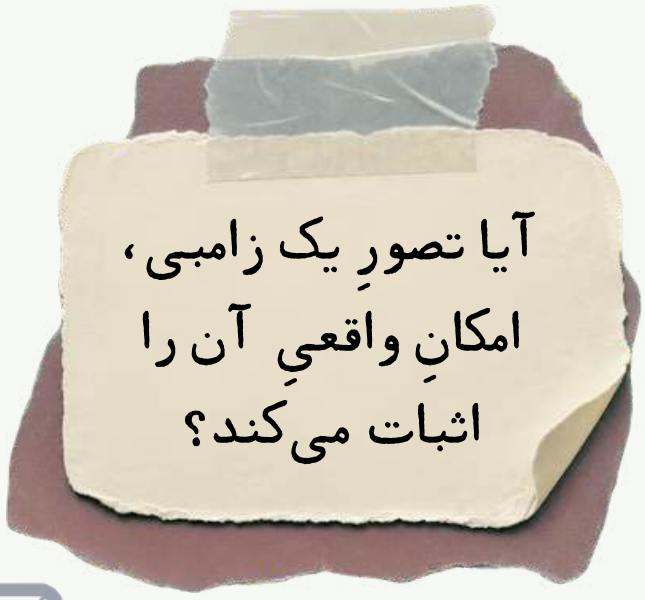
ویژگی	مری پیش از خروج	هوش مصنوعی کنونی	زامبی فلسفی
ماهیت	انسان فرضی	سامانه واقعی	موجود فرضی
دانش یا پردازش رنگ	بنا بر فرض، کامل	گسترده اما محدود	همانند انسان
بدن و مغز انسانی	دارد	ندارد	دارد، بنا بر فرض
تجربه‌های پدیداری دیگر	دارد	نامعلوم	ندارد
تجربه مستقیم قرمز	ندارد	شاهدی در دست نیست	ندارد
توانایی توضیح قرمز	دارد	دارد	دارد

این سه مورد معادل یکدیگر نیستند؛
مقایسه فقط برای روشن کردن نسبت اطلاعات، رفتار و تجربه انجام شده است.



استدلال زامبی نمی‌گوید آگاهی می‌تواند بدون کوالیا وجود داشته باشد. زامبی فلسفی بنا بر تعریف، آگاهی پدیداری ندارد. آنچه این آزمایش می‌پرسد این است که آیا تمام ساختارها و کارکردهای فیزیکی و رفتاری یک انسان می‌توانند بدون تجربه پدیداری وجود داشته باشند.

اگر زامبی‌ای که از نظر فیزیکی کاملا با انسان یکسان است واقعا از نظر متافیزیکی ممکن باشد؛ یعنی «امکان متافیزیکی» (METAPHYSICAL POSSIBILITY) داشته باشد، به نظر می‌رسد واقعیت‌های فیزیکی به‌تنهایی وجود تجربه پدیداری را تضمین نمی‌کنند. اما مخالفان این استدلال می‌گویند توانایی



تصور کردن یک زامبی، لزوما به معنای امکان واقعی آن نیست. شاید ما فقط تصور می‌کنیم که تمام جزئیات فیزیکی را ثابت نگه داشته‌ایم، درحالی‌که درک کاملی از رابطه مغز و آگاهی نداریم. ممکن است جهانی که از نظر فیزیکی دقیقا مانند جهان ماست، ناگزیر از نظر تجربه آگاهانه نیز مانند جهان ما باشد، حتی اگر چرایی این ضرورت هنوز برای ما روشن نباشد.

از این منظر، قیاس میان مری، هوش مصنوعی و زامبی فلسفی هم روشنگر است و هم محدودیت‌هایی جدی دارد؛ محدودیت‌هایی که نباید در جذابیت این مقایسه گم شوند. مری پیش از خروج از اتاق، انسانی آگاه و بدن‌مند است. او درد، صدا، لمس، اندوه، شادی و بسیاری از تجربه‌های دیگر را می‌شناسد و تنها از تجربه بینایی رنگی محروم بوده است. در مقابل، درباره سامانه‌های هوش مصنوعی نمی‌دانیم آیا اساسا هیچ تجربه پدیداری‌ای وجود دارد یا نه. افزون بر این، مری بنا بر فرض آزمایش تمام واقعیت‌های فیزیکی مربوط به بینایی رنگی را می‌داند، درحالی‌که هیچ سامانه هوش مصنوعی موجودی چنین دانش کامل و بی‌نقصی ندارد.

بااین‌حال، شباهتی محدود اما مهم باقی می‌ماند. هم مری پیش از خروج از اتاق و هم یک سامانه هوش مصنوعی می‌توانند درباره تجربه‌ای سخن بگویند که ممکن است خود مستقیما آن را نداشته باشند. این شباهت به ما یادآوری می‌کند که تسلط بر زبان تجربه، لزوما معادل داشتن تجربه نیست.

برای آنکه این مساله را یک گام دیگر پیش ببریم، می‌توان آزمایش فکری دیگری را تصور کرد. فرض کنیم دو مری وجود دارند که از نظر هوش، توانایی استدلال، دانش نظری علوم اعصاب و تسلط زبانی بر مفهوم رنگ قرمز تا حد ممکن شبیه یکدیگرند. مری نخست هرگز رنگی ندیده است، اما مری دوم از کودکی بینایی رنگی داشته و سال‌ها با رنگ قرمز زندگی کرده است. او قرمز را در سیب، خون، غروب، لباس، تابلوهای هشدار و آثار هنری دیده و با آن خاطره و تداعی ساخته است.

اکنون مری نخست، برای اولین‌بار، سیبی قرمز را می‌بیند.

آیا تجربه اولیه او همان کیفیتی را دارد که مری دوم هنگام دیدن همان سیب تجربه می‌کند؟ آیا نخستین مواجهه حسی کافی است تا کوالیایی کاملا هم‌سنخ با تجربه فردی شکل بگیرد که سال‌ها با رنگ زندگی کرده است؟ یا حافظه، توجه، یادگیری، زبان، انتظار و تاریخچه زندگی نیز در کیفیت تجربه نقش دارند؟



رسیدن به پاسخی قطعی آسان نیست. ما به تجربه اول‌شخص دیگران دسترسی مستقیم نداریم. می‌توانیم گزارش‌های آن دو، رفتارشان و فعالیت دستگاه عصبی‌شان را مقایسه کنیم، اما نمی‌توانیم کیفیت تجربه یکی را مستقیما در کنار کیفیت تجربه دیگری قرار دهیم.

اگر تجربه دو مری متفاوت باشد، این تفاوت به‌تنهایی نشان نمی‌دهد که کوالیا ماهیتی غیرفیزیکی دارد. ممکن است تفاوت حاصل سابقه یادگیری، حافظه، تداعی‌های عاطفی یا نحوه سازمان‌یافتن دستگاه ادراکی باشد. بااین‌حال، این آزمایش فکری نکته‌ای مهم را برجسته می‌کند: تجربه فقط دریافت یک بسته اطلاعاتی منفرد نیست. آنچه در یک لحظه احساس می‌کنیم ممکن است در پیوند با بدن، حافظه، توجه و تاریخچه زندگی ما شکل گرفته باشد.

از همین‌جا پرسش اصلی درباره هوش مصنوعی بار دیگر ظاهر می‌شود. آیا می‌توان با ساختن سامانه‌ای که داده‌های حسی را دریافت می‌کند، از جهان مدل می‌سازد، اطلاعات را در اختیار بخش‌های مختلف خود قرار می‌دهد، از وضعیتش گزارش می‌دهد و رفتار خود را اصلاح می‌کند، تجربه آگاهانه نیز ایجاد کرد؟ یا برای آگاهی چیزی بیش از این «سازمان کارکردی» (FUNCTIONAL ORGANIZATION) لازم است؟

برخی نظریه‌های آگاهی بر نوع خاصی از پردازش اطلاعات، دسترسی گسترده، «بازخوردهای بازگشتی» (RECURRENT FEEDBACK) یا بازنمایی حالات درونی تاکید می‌کنند. اگر یکی از این نظریه‌ها درست باشد، شاید بتوان سامانه‌ای مصنوعی ساخت که شرایط لازم برای آگاهی را فراهم کند. دیدگاه‌های دیگر معتقدند ویژگی‌های خاص بدن زنده، مغز زیستی یا رابطه ارگانیسم با محیط در پیدایش آگاهی نقشی اساسی دارند. در این صورت، افزایش قدرت محاسباتی یا پیچیدگی زبانی به‌تنهایی برای ایجاد ذهن آگاه کافی نخواهد بود.
مشکل اینجاست که هیچ‌یک از این دیدگاه‌ها هنوز پاسخ نهایی و مورد توافقی در اختیار ما قرار نداده‌اند. از بیرون، ما به رفتار، ساختار و کارکرد سامانه دسترسی داریم؛ اما آنچه می‌خواهیم درباره آن داوری کنیم، وجود یا فقدان یک منظر درونی است؛ منظری که از بیرون به‌آسانی در دسترس قرار نمی‌گیرد.
بنابراین، توانایی یک هوش مصنوعی در سخن گفتن درباره رنگ قرمز نه اثبات می‌کند که آن را تجربه می‌کند و نه به‌تنهایی ثابت می‌کند که تجربه آن ناممکن است. زبان پیچیده، استدلال و ادراک ماشینی ممکن است نشانه‌هایی مهم برای بررسی باشند، اما هیچ‌کدام به‌تنهایی پلی مستقیم به تجربه اول‌شخص نمی‌سازند.

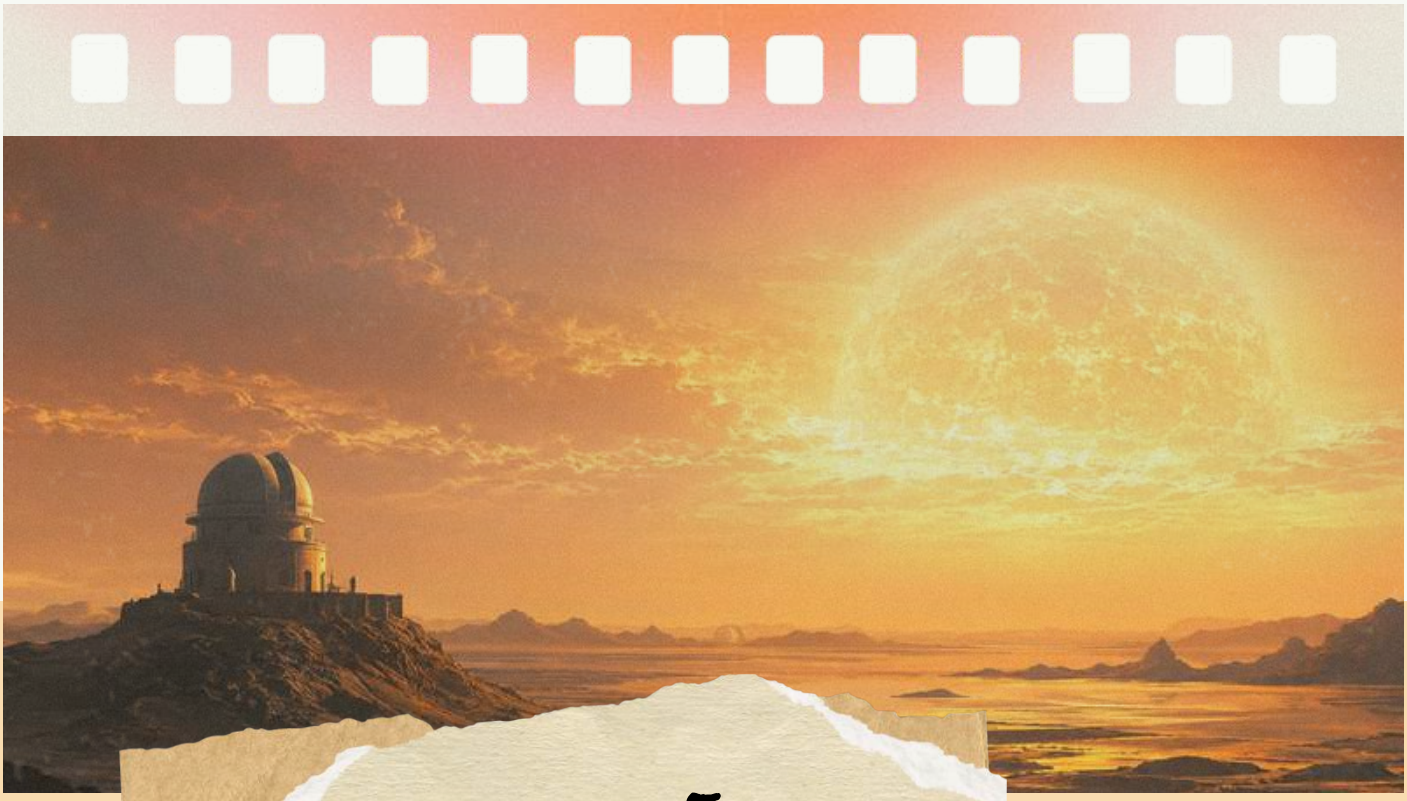
مرز میان پردازش اطلاعات و تجربه اول‌شخص، یکی از دشوارترین پرسش‌های فلسفه ذهن و آگاهی مصنوعی است.

مساله مری به ما نشان می‌دهد میان دانستن درباره یک تجربه و داشتن آن تجربه فاصله‌ای مفهومی وجود دارد. زامبی فلسفی می‌پرسد آیا تمام رفتارها و کارکردهای مرتبط با آگاهی می‌توانند بدون این تجربه درونی تحقق یابند. هوش مصنوعی این دو آزمایش فکری را از قلمرو فلسفه به مساله‌ای عملی‌تر نزدیک می‌کند: هنگامی که سامانه‌ای مانند ما سخن می‌گوید، از خود گزارش می‌دهد و جهان را توصیف می‌کند، بر چه اساسی باید وجود یا فقدان یک زندگی ذهنی را به آن نسبت دهیم؟

شاید هنوز نتوانیم پاسخ دهیم که آیا ساخت ذهن مصنوعی ممکن است یا نه. اما می‌توانیم روشن‌تر بپرسیم که دقیقا چه چیزی را می‌خواهیم بسازیم: سامانه‌ای که جهان را بازنمایی می‌کند، سامانه‌ای که به اطلاعات دسترسی دارد و بر اساس آن عمل می‌کند، یا موجودی که جهان برای او از درون کیفیتی دارد.

فاصله میان این سه، همان جایی است که مساله آگاهی آغاز می‌شود.





پس از آخرین طلوع



زندگی پس از مرگ جهان

پوریا ناظمی
روزنامه‌نگار، نویسنده و مروج علم

حدود ۴٫۶ میلیارد سال پیش، در یکی از بازوهای فرعی کهکشان راه شیری، ابری از گاز و غبار میان‌ستاره‌ای زیر نیروی گرانش خود فروریخت. بیشتر ماده این ابر از هیدروژن و هلیومی تشکیل شده بود که ریشه‌شان به نخستین دقایق تاریخ کیهان بازمی‌گشت؛ اما بخشی از عناصر سنگین‌تر آن، زمانی در دل نسل‌های پیشین ستاره‌ها ساخته و با مرگ آن‌ها در فضا پراکنده شده بود.

در مرکز این ابر، ماده چنان فشرده و داغ شد که همجوشی پایدار در هسته‌اش آغاز شد و نور ستاره‌ای تازه راه خود را به فضا گشود. از مواد باقی‌مانده در قرص پیرامون آن ستاره نیز سیاره‌ها، قمرها و اجرام کوچک منظومه شمسی شکل گرفتند و پس از دورانی طولانی و پرآشوب، کم‌کم در مدارهای خود جای گرفتند. در نخستین یک میلیارد سال تاریخ زمین، نشانه‌های حیات روی یکی از این سیاره‌ها پدیدار شد. زمان دقیق این آغاز را نمی‌دانیم؛ بخشی از شواهد بسیار کهن محل بحث‌اند، اما سنگ‌های حدود ۳٫۵ تا ۳٫۷ میلیاردساله نشانه‌هایی قانع‌کننده از حضور حیات در خود دارند.

باید بیش از چهار میلیارد سال می‌گذشت تا این حیات شاخه‌شاخه شود، شکل‌های پیچیده‌تری به خود بگیرد، بارها با انقراض‌های بزرگ روبه‌رو شود و از بازماندگان هر دوره، بار دیگر تلاش زندگی از سر گرفته شود؛ تا سرانجام حدود ۳۰۰ هزار سال پیش، جمعیت‌هایی از گونه‌ای تازه به نام هومو ساپینس بر این سیاره قدم گذاشتند: همان گونه‌ای که ما امروز به آن تعلق داریم.

مدت حضور ما در مقایسه با عمر زمین بسیار کوتاه است. اگر تصور کنیم از زمان تولد منظومه شمسی تا امروز فقط ۲۴ ساعت گذشته باشد، هومو ساپینس‌ها حدود شش ثانیه پیش پا بر این خاک گذاشته‌اند. اگر ساعت را از آغاز جهان، حدود ۱۳٫۸ میلیارد سال پیش، تنظیم کنیم، تمام حضور گونه ما به چیزی نزدیک به دو ثانیه کاهش می‌یابد.

«ما تنها شش ثانیه است که اینجاییم؛ هنوز معلوم نیست بتوانیم ثانیه بعد را ببینیم.»

در چنین مقیاسی، ما چنان جوان و آسیب‌پذیریم که سخن‌گفتن از آینده دور باید با احتیاط فراوان همراه باشد. معلوم نیست بتوانیم حتی چند ثانیه دیگر از این شبانه‌روز کیهانی را دوام بیاوریم. آیا خود ما پایان تمدن انسانی را رقم خواهیم زد؟ آیا برخورد سیارکی بزرگ، انفجار ابرنواختری در همسایگی کیهانی، بحرانی طبیعی یا پدیده‌ای که هنوز حتی توان تصورش را نداریم مسیر حضورمان را متوقف خواهد کرد؟

نمی‌دانیم. اما بیایید فرض کنیم ترکیبی از خردورزی، آینده‌نگری و البته بخت و اقبال کیهانی با ما یار باشد و بتوانیم به حضور خود ادامه دهیم. پرسش این است: تا کی؟ فراتر از تهدیدهای نزدیک و احتمالی، دست‌کم یک چیز را می‌دانیم: برای خانه کنونی ما پایانی در کار است. خورشید تا ابد به همین شکل نخواهد تابید. پیش از آنکه به واپسین مراحل زندگی ستاره‌ای خود برسد، زمین را وارد دورانی خواهد کرد که هیچ حیات شناخته‌شده‌ای توان ایستادگی در برابر آن را ندارد. اگر بتوانیم از پایان زمین و مرگ خورشید نیز جان سالم به در ببریم، با افقی دورتر روبه‌رو خواهیم شد: سرنوشت خود کیهان.

بر اساس تصویر معیار کنونی کیهان‌شناسی، اگر انبساط شتاب‌دار جهان ادامه یابد و ماهیت انرژی تاریک دگرگون نشود، جهان احتمالا نه در انفجاری ناگهانی، که در خاموشی‌ای طولانی فرومی‌رود. روزی ستاره‌زایی متوقف می‌شود، آخرین ستاره‌ها خاموش می‌شوند و تفاوت‌های انرژی که امکان انجام کار و ادامه حیات را فراهم می‌کنند آرام‌آرام از میان می‌روند. مرگ حرارتی کیهان سناریوی معیار و محتمل امروز است، نه پیش‌بینی‌ای با همان درجه قطعیت که درباره پیری خورشید داریم.

این داستان، روایت مواجهه ما با پایان‌هایی است که در مقیاس‌های گوناگون انتظارمان را می‌کشند؛ و تلاشی برای پاسخ‌دادن به این پرسش که آیا در آن روزگاران ـ اگر چیزی از ما یا وارثان هوشمندمان باقی مانده باشد ـ هنوز راهی برای ادامه حیات وجود خواهد داشت.

زمین چگونه زیست‌پذیری خود را از دست می‌دهد؟

از روشن شدن خورشید تا واپسین زیستگاه‌های ممکن

۱. خورشید آرام آرام روشن‌تر می‌شود
در طول زمان درخشندگی خورشید به تدریج افزایش می‌یابد و انرژی ورودی به زمین بیشتر می‌شود.

۲. هوازدگی شیمیایی سریع‌تر می‌شود
گرمای بیشتر و چرخه قوی‌تر آب، هوازدگی سیلیکات‌ها را افزایش می‌دهد و CO_2 را از جو می‌گیرد.

۳. دی‌اکسید کربن جو کاهش می‌یابد
با تداوم هوازدگی و مصرف زیستی، CO_2 کم می‌شود؛ اثر گلخانه‌ای تضعیف و دما کمتر قابل تنظیم می‌شود.

۴. گیاهان C3 زودتر تحت فشار قرار می‌گیرند
به دلیل افت CO_2 و گرما، فتوسنتز C3 کارآمدی خود را از دست می‌دهد و بهره‌وری کاهش می‌یابد.

۵. گیاهان C4 شاید حدود ۱٫۳۵ تا ۱٫۶۴ میلیارد سال دیگر دوام بیاورند
مسیر C4 نسبت به CO_2 پایین‌تر و گرما مقاوم‌تر است، اما نهایتا آن نیز محدود می‌شود.

۶. برخی گیاهان CAM و زیستگاه‌های مقاوم دیرتر از دیگران دوام میاورند
گیاهان CAM با حداقل کردن دست‌دادن آب و تحمل گرما، در زیستگاه‌های خاص دوام بیشتری می‌یابند.

۷. در برخی مدل‌ها افت شدید اکسیژن جو حدود ۱٫۰۸ میلیارد سال دیگر رخ می‌دهد
با کاهش فتوسنتز خالص و کارآمدی زیستی، اکسیژن جو به‌طور قابل توجهی افت می‌کند.

۸. بیشتر گیاهان خشکی در مسیر دیگری شاید حدود ۱٫۷ میلیارد سال دیگر به مرز تحمل گرما نزدیک شوند
حتی گیاهان مقاوم نیز با افزایش مداوم دما و کم‌آبی، از آستانهٔ تحمل فراتر می‌روند.

۹. حیات پیچیده عقب می‌نشیند؛ پناه‌گاه‌ها: ارتفاعات، نواحی خنک‌تر، زیرزمین
زیست‌گیرد پیچیده به پناه‌گاه‌های خنک‌تر و مرطوب‌تر عقب‌نشینی می‌کند و پراکندگی می‌یابد.

۱۰. گلخانه مرطوب (MOIST GREENHOUSE) و گریز تدریجی آب
تبخیر شدیدتر و بارش مداوم، آب را به فضا می‌فرستد و آب آزاد سطحی به‌تدریج کاهش می‌یابد.

۱۱. از دست‌رفتن اقیانوس‌ها
با تداوم گریز آب، اقیانوس‌ها کوچک می‌شوند و سرانجام ناپدید می‌گردند.

۱۲. شاید در ادامه گلخانه فراری (RUNAWAY GREENHOUSE)
اگر گرما از آستانه‌ای بحرانی عبور کند، تبخیر بی‌مهار و گرمایش فراری آغاز می‌شود.

۱۳. زمین زنده جای خود را به جهانی بسیار داغ و فقیر از آب می‌دهد
در نهایت، زمین به سیاره‌ای داغ، خشک و تقریبا بی‌حیات تبدیل می‌شود.

سه مسیر فتوسنتز

C3
رایج در بیشتر درختان و بسیاری از گیاهان زراعی؛ به افت CO_2 و گرما حساس‌تر

C4
مانند ذرت و بسیاری از علف‌ها؛ در گرما و CO_2 کمتر کارآمدتر

CAM
مانند کاکتوس‌ها؛ روزنه‌ها را بیشتر شب‌ها باز می‌کنند تا آب کمتری از دست بدهند.

زمان دقیق این مراحل به مدل اقلیم، چرخه کربن، حرکت قاره‌ها، رفتار ابرها و تکامل حیات وابسته است.
آنچه با احتیاط بیشتری می‌دانیم، جهت کلی است.

نخستین پایان:
وقتی زمین دیگر خانه نیست

برای یافتن نخستین پایان ناگزیر لازم نیست پنج میلیارد سال به جلو برویم و در انتظار متورم‌شدن خورشید بمانیم. بسیار پیش از آن، زمین آرام‌آرام توان میزبانی از جهانی را که امروز می‌شناسیم از دست خواهد داد. این پایان نه با انفجاری ناگهانی آغاز می‌شود و نه با تغییری که ساکنان یک نسل بتوانند آن را با چشم ببینند. خورشید فقط اندکی روشن‌تر می‌شود؛ اما همین «اندکی»، اگر صدها میلیون سال ادامه یابد، برای تغییر سرنوشت یک سیاره کافی است.



خورشید اکنون تقریبا در میانه عمر خود روی «رشته اصلی» قرار دارد؛ طولانی‌ترین مرحله زندگی بیشتر ستاره‌ها که در آن هیدروژن هسته به هلیوم تبدیل می‌شود. ممکن است تصور کنیم ستاره با مصرف سوخت باید ضعیف‌تر شود، اما با انباشته‌شدن هلیوم، هسته متراکم‌تر و داغ‌تر می‌شود و آهنگ همجوشی افزایش می‌یابد. خورشید جوان حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد کم‌نورتر از امروز بود و در آینده نیز به‌طور پیوسته روشن‌تر خواهد شد.

زمین برای بخش بزرگی از تاریخ خود از سازوکاری بهره برده است که گاه به ترموستات سیاره تشبیه می‌شود. دی‌اکسیدکربن از بخش‌های درونی زمین وارد جو می‌شود و سپس همراه باران با سنگ‌های سیلیکاتی واکنش می‌دهد. هرچه هوا گرم‌تر و مرطوب‌تر باشد، این «هوازدگی شیمیایی» معمولا سریع‌تر می‌شود و دی‌اکسیدکربن بیشتری را از جو بیرون می‌کشد. در زبان علم، این یک «بازخورد منفی» است: تغییری که اثر تغییر اولیه را کاهش می‌دهد و سامانه را به سوی تعادل بازمی‌گرداند.اما این ترموستات محدودیتی بنیادی دارد. دی‌اکسیدکربن فقط گازی گلخانه‌ای نیست؛ ماده خام فتوسنتز است. با روشن‌ترشدن خورشید، هوازدگی می‌تواند زمین را برای مدتی خنک نگاه دارد، اما بهای این تنظیم را گیاهان می‌پردازند. نخست گیاهان C3 ـ مسیر رایج فتوسنتز در بیشتر درختان و گیاهان زراعی ـ با کمبود کربن روبه‌رو می‌شوند. گیاهان C4، مانند ذرت و بسیاری از علف‌ها، دی‌اکسیدکربن را در بافت‌های خود متمرکز می‌کنند و در گرما و غلظت پایین‌تر این گاز مقاوم‌ترند. پس از آن شاید نوبت به گیاهان CAM مانند کاکتوس‌ها برسد که روزنه‌هایشان را بیشتر در شب باز می‌کنند تا آب کمتری از دست بدهند.

مدل‌ها درباره زمان این مراحل اختلاف دارند. پژوهشی در سال ۲۰۲۱ برآورد کرد که حدود ۱٫۰۸ میلیارد سال دیگر، افت دی‌اکسیدکربن و تولید زیستی اکسیژن ممکن است جو زمین را به حالتی کم‌اکسیژن‌تر بازگرداند. مطالعه‌ای سه‌بعدی در سال ۲۰۲۶ نشان داد که بسته به رفتار هوازدگی و آستانه‌های زیستی، گیاهان C4 شاید حدود ۱٫۳۵ تا ۱٫۶۴ میلیارد سال دیگر دوام بیاورند و مقاوم‌ترین گیاهان یا برخی موجودات آبزی در فرض‌های خوش‌بینانه تا نزدیک ۱٫۸ میلیارد سال دیگر باقی بمانند. در مسیر دیگری، نه کمبود کربن بلکه گرما عامل نهایی خواهد بود و بیشتر گیاهان خشکی حدود ۱٫۷ میلیارد سال دیگر به مرز تحمل خود می‌رسند.

این بازه‌های متفاوت نشانه بی‌اطلاعی علم نیستند. آینده به سرعت هوازدگی، حرکت قاره‌ها، آتشفشان‌ها، چرخه کربن، تکامل حیات و رفتار ابرها وابسته است. آنچه اطمینان بیشتری دارد جهت حرکت است: خورشید روشن‌تر می‌شود و زیست‌سپهر پیچیده دیر یا زود میان کمبود کربن و گرمای فزاینده گرفتار خواهد شد.

مرگ زیست‌سپهر نیز احتمالا یک‌باره رخ نمی‌دهد. جنگل‌ها و جانوران بزرگ پیش از آخرین موجود زنده ناپدید می‌شوند و حیات به پناهگاه‌های خنک‌تر، ارتفاعات و زیرزمین عقب می‌نشیند. برخی مدل‌ها پیشنهاد می‌کنند میکروب‌های مقاوم شاید تا حدود ۲٫۸ میلیارد سال دیگر دوام بیاورند. این عدد عدم‌قطعیت بسیار بیشتری دارد، اما تصویر کلی معنادار است: زمین احتمالا همان‌گونه که عصر حیاتش را با جهانی میکروبی آغاز کرد، با جهانی میکروبی به پایان می‌برد.

سرانجام زمین به «گلخانه مرطوب» نزدیک می‌شود؛ وضعیتی که در آن بخار آب فراوان به لایه‌های بالایی جو می‌رسد. تابش فرابنفش مولکول‌های آب را می‌شکند و هیدروژن سبک به فضا می‌گریزد. اقیانوس‌ها ممکن است طی صدها میلیون سال به‌تدریج ناپدید شوند. پس از آن شاید «گلخانه فراری» فرا برسد: هر افزایش دما تبخیر و اثر گلخانه‌ای را تقویت می‌کند و سیاره دیگر نمی‌تواند انرژی اضافی را به اندازه کافی به فضا پس بدهد. ممکن است بیشتر آب پیش از رسیدن به حالت کامل گلخانه فراری از دست رفته باشد؛ در هر دو مسیر، نتیجه برای حیات شناخته‌شده یکسان است.

نخستین راه گریز: کم کردن نور یا ترک زمین

اگر مشکل از روشن‌ترشدن خورشید آغاز می‌شود، مستقیم‌ترین پاسخ آن است که اجازه ندهیم همه نور به زمین برسد. سایه‌بان‌ها یا مجموعه‌ای از سازه‌های کوچک در فضای میان زمین و خورشید می‌توانند بخشی از تابش را منحرف کنند.

نقطه لاگرانژی L1 ناحیه‌ای میان زمین و خورشید است که یک سازه می‌تواند با اصلاح‌های دوره‌ای، موقعیتی تقریبا ثابت نسبت به آن دو حفظ کند. طرح‌های مهندسی مختلفی برای سایه‌بان‌های خورشیدی بررسی شده‌اند. قوانین فیزیک آن‌ها را منع نمی‌کنند، اما ساخت و نگهداری‌شان برای میلیون‌ها سال فراتر از توان امروز است.

پاسخ بنیادی‌تر، دورکردن زمین از خورشید است. در سال ۲۰۰۱، دونالد کوری‌کانسکی، گریگوری لافلین و فرد آدامز بررسی کردند که گذرهای کنترل‌شده اجرام بزرگ از نزدیکی زمین چگونه می‌تواند اندک‌اندک انرژی مداری به سیاره منتقل کند. همان سازوکار کمک گرانشی که امروز مسیر فضاپیماها را تغییر می‌دهد، در اصل می‌تواند مدار زمین را نیز گسترش دهد. اما اشتباهی کوچک در مسیر جرمی با جرم یک سیارک بزرگ می‌تواند به‌جای نجات، برخوردی پایان‌بخش ایجاد کند. این برنامه باید میلیون‌ها نسل بدون وقفه ادامه یابد.

شاید راه معقول‌تر این باشد که زمین را نجات ندهیم. حیات به خود این سیاره وابستگی جادویی ندارد؛ به انرژی، آب، عناصر شیمیایی، فشار، دما و چرخه‌های پایدار مواد نیاز دارد. سامانه‌های پشتیبانی زیستی بسته می‌کوشند آب، هوا، غذا و پسماند را درون خود بازیافت کنند. پژوهش درباره آن‌ها دهه‌هاست جریان دارد، اما هنوز هیچ زیستگاه کاملا خودکفایی نساخته‌ایم که جمعیتی انسانی و اکوسیستمی پیچیده را نسل‌ها بدون پشتیبانی زمین حفظ کند. با این‌حال، انتقال بخش‌هایی از زیست‌سپهر به زیستگاه‌های مصنوعی شاید محافظه‌کارانه‌تر از جابه‌جاکردن سیاره‌ای با جرم شش میلیارد تریلیون تن باشد. در اینجا نخستین تغییر مهم در معنای نجات رخ می‌دهد: شاید برای نجات حیات لازم نباشد زمین را نجات دهیم.

دومین پایان: وقتی خورشید خانه‌اش را پس می‌گیرد

راه‌های نخستین می‌توانند پایان زیست‌پذیری زمین را به تاخیر بیندازند، اما خورشید برای همیشه همان ستاره امروز باقی نمی‌ماند. حدود پنج تا شش میلیارد سال دیگر، هیدروژن قابل‌استفاده در مرکز آن رو به پایان می‌رود. هسته منقبض و گرم‌تر می‌شود و همجوشی هیدروژن در پوسته‌ای پیرامون هسته ادامه می‌یابد. لایه‌های بیرونی منبسط می‌شوند و خورشید ابتدا به زیرغول و سپس به غول سرخ بدل می‌شود.

در اوج این مرحله، شعاع خورشید ممکن است تا نزدیکی مدار کنونی زمین گسترش یابد و درخشندگی‌اش هزاران برابر امروز شود. سطح گسترده‌اش سردتر از امروز خواهد بود و به همین دلیل سرخ‌تر به نظر می‌رسد، اما غول سرخ ستاره‌ای سرد یا خاموش نیست؛ جرمی بسیار درخشان است که انرژی را از سطحی به‌مراتب بزرگ‌تر تابش می‌کند.

پایان نخستین دوره غول سرخ، پایان داستان نیست. با آغاز همجوشی هلیوم در رویدادی به نام «درخش هلیومی»، خورشید برای مدتی جمع‌تر و پایدارتر می‌شود. پس از پایان هلیوم هسته، دوباره متورم می‌شود و وارد «شاخه مجانبی غول‌ها» یا AGB می‌شود؛ مرحله‌ای که در آن پوسته‌های هیدروژن و هلیوم به‌تناوب فعال می‌شوند و بادهای ستاره‌ای شدید بخش بزرگی از جرم خورشید را به فضا می‌رانند.

خورشید جرم کافی برای انفجار ابرنواختری ندارد. سرانجام پوش بیرونی‌اش را پس می‌زند و هسته‌ای کوچک و بسیار چگال به جا می‌گذارد: «کوتوله سفید»، جرمی تقریبا هم‌اندازه زمین که دیگر همجوشی پایدار ندارد و فقط گرمای ذخیره‌شده خود را آهسته از دست می‌دهد.

آیا خود زمین بلعیده می‌شود؟ پاسخ هنوز قطعی نیست. کاهش جرم خورشید کشش گرانشی را ضعیف و مدار سیارات را بازتر می‌کند؛ اما نیروهای کشندی می‌توانند انرژی مداری زمین را بگیرند و آن را به سوی ستاره بکشند. مدلی در سال ۲۰۰۸ بلعیده‌شدن زمین را پیش‌بینی کرد. پژوهشی در سال ۲۰۲۳ نشان داد آشفتگی پوش غول سرخ می‌تواند نتیجه را تا حدی آماری کند. در سال ۲۰۲۶، ماتس اسلدورس، استفان ماتیس و لین دسین با مدل‌های تازه‌تر اتلاف کشندی نتیجه گرفتند که زمین در شبیه‌سازی مرجع از هر دو مرحله غول سرخ جان سالم به در می‌برد؛ اما با نسخه‌های قدیمی‌تر مدل یا نرخ‌های کمتر ازدست‌رفتن جرم، همچنان بلعیده می‌شود.

پس پایان فیزیکی زمین هنوز پرسشی باز است. پایان زمینِ زنده نیست. اگر سیاره باقی بماند، جهانی خواهد بود که میلیاردها سال پیش اقیانوس، جو و زیست‌سپهرش را از دست داده و بارها زیر تابش خورشید غول سرخ گداخته شده است.



با روشن‌ترشدن خورشید، «منطقه زیست‌پذیر» ـ ناحیه‌ای که در آن یک جهان سنگی با جو مناسب ممکن است آب مایع داشته باشد ـ به بیرون حرکت می‌کند. مریخ و سپس قمرهای یخی مشتری و زحل برای دوره‌هایی گرم‌تر می‌شوند. اما این منطقه پناهگاهی ثابت نیست؛ موجی از گرماست که در منظومه پیش می‌رود. برای تمدنی با زیستگاه‌های متحرک، نواحی بیرونی شاید ایستگاه‌های موقت باشند، نه مقصد نهایی. راه ماندگارتر ترک منظومه است. برای مهاجرت میان‌ستاره‌ای نیازی به حرکت سریع‌تر از نور نداریم. دشواری اصلی ساخت زیستگاهی است که در محیط میان‌ستاره‌ای دوام بیاورد و زندگی یا ظرفیت بازسازی آن را به مقصد برساند.

سفینه‌های بین نسلی، خواب زیستی، انتقال جنین‌ها و کاوشگرهای خودتکثیرشونده همگی در مرز مهندسی فرضی و علمی‌تخیلی قرار دارند. هیچ‌کدام امروز ممکن نشده‌اند، اما برخلاف کرم‌چاله یا موتور وارپ ناچار نیستند قوانین تثبیت‌شده فیزیک را نقض کنند. راه دورتر، تغییر خود خورشید است. «ستاره‌برداری» به استخراج کنترل‌شده ماده از یک ستاره گفته می‌شود. ستاره‌های کم‌جرم‌تر سوختشان را آهسته‌تر مصرف می‌کنند. متیو اسکاگینز و دیوید کیپینگ نشان داده‌اند که برداشت سالانه حدود پنج درصد جرم سیاره کوتوله سرس ـ نزدیک به پنجاه میلیارد میلیارد کیلوگرم ـ می‌تواند عمر رشته اصلی خورشیدی مانند خورشید را تا حدود سه میلیارد سال افزایش دهد. این عدد نشان نمی‌دهد چنین کاری شدنی است؛ فقط اثر کاهش جرم را در مدل تکامل ستاره‌ای محاسبه می‌کند. حتی ستاره‌برداری جاودانگی نمی‌آورد. می‌توان ساعت خورشید را کند کرد، اما محدودیت سوخت هسته‌ای را لغو نمی‌کند. راه مطمئن‌تر برای تمدن آینده احتمالا نه حفظ یک خورشید، بلکه رهاکردن وابستگی به هر خورشید واحد است.

سومین پایان: وقتی آخرین ستاره خاموش می‌شود

اگر تمدن آینده به دنبال خانه‌ای دیرپاتر از خورشید باشد، نخستین انتخاب منطقی‌اش احتمالا ستاره‌ای باشکوه نخواهد بود. کوتوله‌های سرخ، کوچک‌ترین و کم‌نورترین ستاره‌های واقعی، اکثریت جمعیت ستاره‌ای راه شیری را تشکیل می‌دهند و راز طول عمرشان در همین کم‌نوری است.

در کوچک‌ترین کوتوله‌های سرخ، ماده تقریبا در سراسر ستاره با «همرفت» مخلوط می‌شود؛ ماده داغ بالا می‌آید و ماده سردتر پایین می‌رود. در نتیجه هیدروژن بخش‌های بیشتری از ستاره در دسترس همجوشی قرار می‌گیرد. کوتوله‌ای با حدود یک‌دهم جرم خورشید ممکن است نزدیک به ۱۲ تریلیون سال نور تولید کند؛ حدود هزار برابر عمر کنونی جهان. جهان هنوز آن‌قدر پیر نشده است که حتی یکی از این ستاره‌ها به پایان طبیعی عمر برسد. مراحل پایانی آن‌ها را فقط از مدل‌ها می‌شناسیم. کوچک‌ترینشان غول سرخ نمی‌شوند؛ به‌تدریج داغ‌تر و روشن‌تر می‌شوند و وارد مرحله‌ای فرضی به نام «کوتوله آبی» می‌شوند، نامی برای ستاره‌ای که هنوز در طبیعت ندیده‌ایم زیرا جهان برای ساختنش بیش از حد جوان است. کوتوله‌های سرخ برای سیارات طبیعی بی‌مساله نیستند. منطقه زیست‌پذیرشان بسیار نزدیک است، سیارات ممکن است همیشه یک روی خود را به ستاره نشان دهند و شراره‌ها و تابش پرانرژی می‌توانند جو را فرسوده کنند. اما تمدنی ساکن زیستگاه‌های مصنوعی لزوما به سطح سیاره وابسته نیست. برای چنین تمدنی، ارزش کوتوله سرخ در عرضه جریانی کم‌قدرت اما بسیار طولانی از انرژی است.

بااین‌حال، حتی تریلیون‌ها سال ابدیت نیست. گازهای ستاره‌ساز به‌تدریج مصرف، پراکنده یا در کوتوله‌های سفید، ستاره‌های نوترونی و سیاه‌چاله‌ها محبوس می‌شوند. مرگ ستاره‌ها مقداری ماده را بازمی‌گرداند، اما بازیافت کامل نیست. برآورد کلاسیک فرد آدامز و گرگوری لافلین پایان تقریبی عصر ستاره‌زا را در بازه ۱۲۸۱۰ تا ۱۴۸۱۰ سال قرار می‌دهد: از یک تریلیون تا صد تریلیون سال.

پایان عصر ستاره‌ها لحظه‌ای واحد ندارد. نورها کم‌تعدادتر، پیرتر و سرخ‌تر می‌شوند تا سرانجام جهان عمدتا از بقایای ستاره‌ای ساخته شود. کوتوله‌های سفید و ستاره‌های نوترونی با «فشار تباهیدگی» در برابر فروپاشی مقاومت می‌کنند؛ اثری کوانتومی که اجازه نمی‌دهد ذراتی مانند الکترون‌ها یا نوترون‌ها همگی حالت یکسانی داشته باشند. این دوره را گاه عصر اجرام تباهیده می‌نامند.

راه گریز: هیچ فوتونی را هدر نده

فریمن دایسون در سال ۱۹۶۰ پیشنهاد کرد تمدن‌های پیشرفته شاید مواد منظومه خود را به مجموعه‌ای از سازه‌ها تبدیل کنند که بخش بزرگی از نور ستاره را جذب می‌کنند. تصویر رایج «کره دایسون» پوسته‌ای جامد است، اما صورت معقول‌تر «انبوهه دایسون» است: شمار عظیمی زیستگاه، آینه و جمع‌کننده انرژی، هرکدام در مدار مستقل خود.

انبوهه دایسون انرژی تازه‌ای نمی‌سازد و عمر ستاره را لزوما افزایش نمی‌دهد؛ فقط اجازه می‌دهد پیش از آنکه نور به فضای دور بگریزد کار بیشتری از آن گرفته شود. در پایان همه انرژی به شکل گرمای اتلافی به فضا بازمی‌گردد. قانون دوم ترمودینامیک لغو نمی‌شود، اما می‌توان استفاده از ذخیره محدود را کارآمدتر کرد.

تمدن شاید بتواند کوتوله‌های قهوه‌ای ـ اجرامی سنگین‌تر از سیارات اما سبک‌تر از ستاره‌ها ـ را با یکدیگر ادغام کند و ستاره‌های کم‌جرم تازه‌ای بسازد. برخورد طبیعی دو کوتوله قهوه‌ای نیز در آینده دور می‌تواند گهگاه ستاره‌ای تازه روشن کند. اما شاید ساخت ستاره بهترین استفاده از ماده نباشد. ستاره‌ها سوخت را با آهنگی که ساختارشان تعیین می‌کند می‌سوزانند و انرژی را در همه جهت‌ها می‌تابانند. تمدنی بسیار پیشرفته شاید هیدروژن را ذخیره کند و فقط به اندازه نیاز در راکتورهای همجوشی مصرف کند.

کوتوله‌های سفید نیز در آغاز داغ‌اند و برای میلیاردها سال سرد می‌شوند. یک مدل پیش‌چاپ در سال ۲۰۲۴ نشان داد سیاره‌ای در فاصله‌ای بسیار نزدیک به کوتوله سفید ممکن است در شرایط ایدئال نزدیک هفت میلیارد سال در منطقه زیست‌پذیر بماند. این یک امکان اقلیمی است، نه شاهدی بر وجود چنین جهانی یا بقای آسان آب در مرگ ستاره.

در این مرحله، تفاوت میان ستاره و نیروگاه کم‌رنگ می‌شود. تمدن دیگر فقط انرژی را پیدا نمی‌کند؛ زمان آزادشدن آن را مدیریت می‌کند. اما برای ذخیره‌کردن ماده ابتدا باید بتوان به آن رسید.



چهارمین پایان: وقتی جهان از دسترس بیرون می‌رود

جهان امروز در ظاهر انباری تقریبا بی‌پایان از ستاره‌ها و کهکشان‌هاست؛ اما دیدن چیزی به معنای توان رسیدن به آن نیست. در مقیاس‌های بزرگ، خود فاصله‌های کیهانی با زمان افزایش می‌یابند. این انبساط منظومه‌ها، بدن‌ها یا کهکشان‌های گرانشیِ مقید را از هم نمی‌کشد؛ اثرش میان گروه‌ها و خوشه‌هایی نمایان می‌شود که گرانش مشترک آن‌ها را کنار هم نگاه نداشته است.

از حدود پنج میلیارد سال پیش، انبساط جهان شتاب گرفته است. در مدل معیار، عامل این شتاب انرژی تاریک است؛ نامی برای مؤلفه‌ای ناشناخته که در ساده‌ترین توصیف مانند «ثابت کیهانی» رفتار می‌کند: چگالی انرژی فضای خالی با انبساط کاهش نمی‌یابد. اگر این تصویر درست باشد، حتی سفینه‌ای نزدیک به سرعت نور نمی‌تواند به هر کهکشانی که امروز می‌بینیم برسد. «جهان قابل مشاهده» ناحیه‌ای است که نور گذشته‌اش فرصت کرده به ما برسد؛ اما جهان دسترس‌پذیر کوچک‌تر است. در مدل معیار، نوری که امروز می‌فرستیم فقط می‌تواند به بخشی با شعاع هم‌روی حدود ۱۶ میلیارد سال نوری برسد، درحالی‌که شعاع جهان قابل مشاهده حدود ۴۶ میلیارد سال نوری است. همین حالا نور مکان‌هایی را می‌بینیم که دیگر نمی‌توانیم بر آینده‌شان اثر بگذاریم.

> «جهانِ دسترس‌پذیر ما بسیار کوچک‌تر از جهانِ قابل مشاهده است؛ افق‌های کیهان پیش از آنکه راه بیفتیم، بسته شده‌اند.»

راه شیری، آندرومدا، مثلث و کهکشان‌های کوتوله گروه محلی را می‌سازند. سرنوشت ادغام راه شیری و آندرومدا نیز برخلاف روایت رایج قطعی نیست. پژوهشی در سال ۲۰۲۵ احتمال ادغام در ده میلیارد سال آینده را نزدیک به پنجاه درصد دانست؛ پیش‌چاپی در سال ۲۰۲۶ با برآورد دیگری از حرکت آندرومدا احتمال را تا حدود ۹۰ درصد بالا برد. هر دو نشان می‌دهند نتیجه به اندازه‌گیری‌های بسیار ظریف و اثر کهکشان‌های همراه حساس است. آنچه برای آینده دور مهم‌تر است این است که هسته گروه محلی از نظر گرانشی مقید می‌ماند.

بیرون از این جزیره، نور کهکشان‌ها با انبساط فضا کشیده، کم‌انرژی و ضعیف می‌شود. در ده‌ها تا صدها میلیارد سال آینده، اگر انرژی تاریک ثابت بماند، بیشتر کهکشان‌های بیرون از مجموعه محلی از آسمان ناظران آینده محو خواهند شد. تابش زمینه کیهانی نیز چنان سرد و کشیده می‌شود که آشکارکردنش دشوار خواهد بود. اخترشناسان آن دوران، اگر بایگانی گذشته را از دست داده باشند، شاید شواهد مستقیمی برای مهبانگ یا وسعت واقعی جهان نداشته باشند.

البته شرط اصلی هنوز قطعی نیست. نتایج سه سال نخست DESI (ابزار طیف‌سنجی بزرگی که با نقشه‌برداری از میلیون‌ها کهکشان و اختروش، تاریخ انبساط جهان و رفتار انرژی تاریک را بررسی می‌کند.) به‌تنهایی با مدل معیار سازگارند، اما در ترکیب با داده‌های ابرنواخترها و تابش زمینه، نشانه‌هایی در حدود ۲٫۸ تا ۴٫۲ سیگما برای تغییر انرژی تاریک با زمان نشان داده‌اند. سیگما معیاری آماری است و این سطح هنوز به آستانه پنج‌سیگماییِ رایج برای اعلام کشف نمی‌رسد. اگر انرژی تاریک تغییر کند، آینده افق‌ها نیز تغییر خواهد کرد.

راه گریز، اگر ثابت کیهانی پابرجا باشد، اقدام پیش از بسته‌شدن درهاست. تمدن می‌تواند بذرهای خود را به کهکشان‌های دور بفرستد و شاخه‌هایی مستقل بسازد. چنین شبکه‌ای دیگر یک امپراتوری واحد نخواهد بود؛ فاصله‌ها ارتباط را میلیون‌ها سال به تاخیر می‌اندازند و سرانجام پاسخ‌گرفتن ناممکن می‌شود.

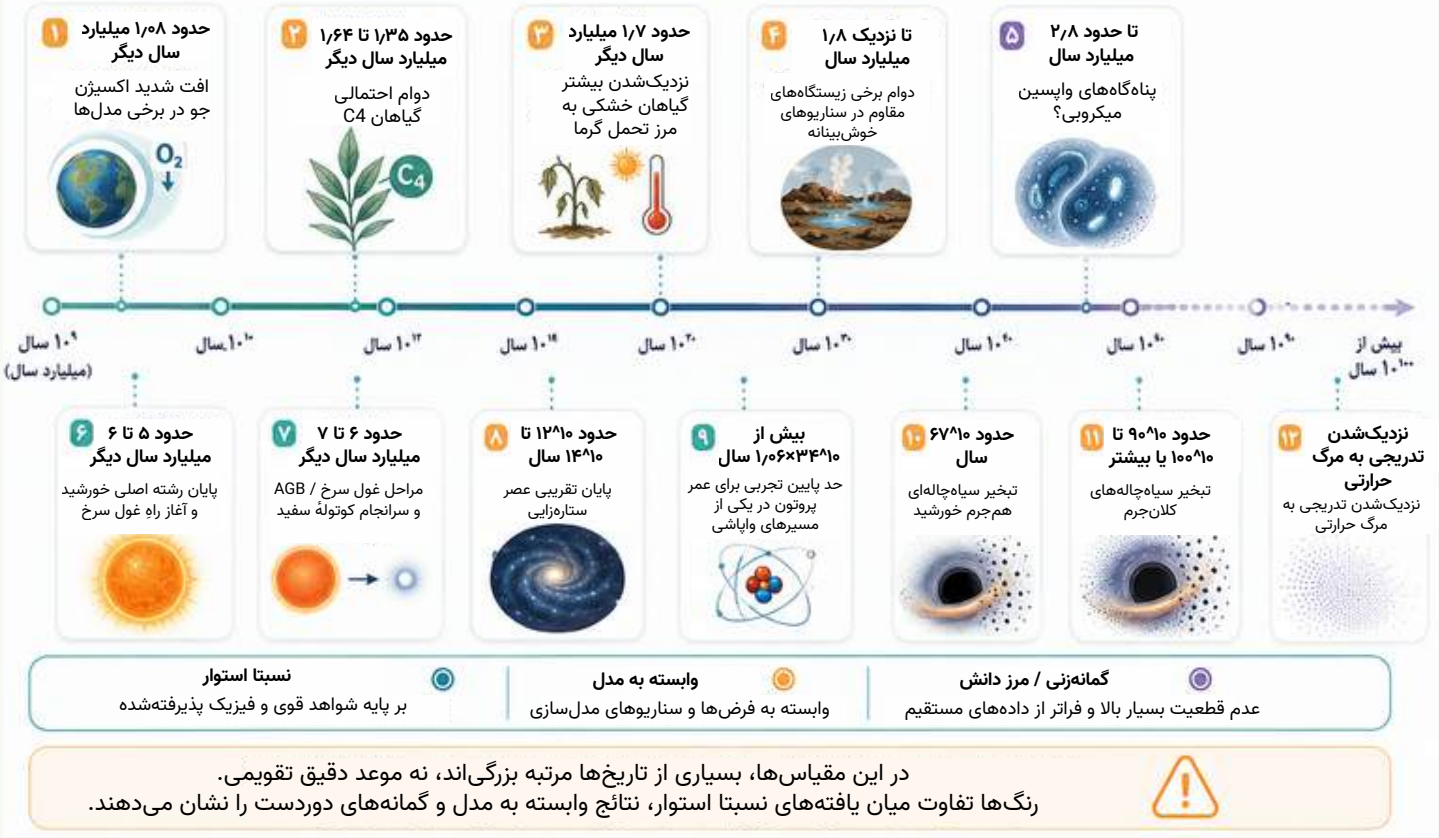
دن هوپر در سال ۲۰۱۸ سناریویی افراطی‌تر را بررسی کرد: تمدنی که نور ستاره‌ها را مهار و از آن برای شتاب‌دادن خود ستاره‌ها به سوی ناحیه‌ای مرکزی استفاده کند، پیش از آنکه انبساط آن‌ها را از دسترس خارج کند. این طرح قوانین شناخته‌شده را آشکارا نقض نمی‌کند، اما بیش از آنکه نقشه ساخت باشد، آزمایشی فکری درباره نوع تصمیم‌هایی است که انبساط شتاب‌دار ممکن است بر تمدنی بسیار پیشرفته تحمیل کند.

«شاید نخستین فناوری لازم برای گریز از پایان‌های دور، توانایی همکاری در همین ثانیه باشد.»

«تمدنی که هر نسل دانش و زیرساخت نسل پیشین را ویران کند، هرگز فرصت نخواهد یافت ستاره‌ای را جابه‌جا کند یا آخرین ذخایر انرژی جهان را نگاه دارد.»

از پایان زمین تا خاموشی جهان

خط زمانی بسیار فشرده و لگاریتمی، پایان‌های محتمل و مرزهای آینده



پنجمین مرز:
وقتی بقا به معنای تغییر شکل است

تا اینجا فرض کرده‌ایم تمدنی که از زمین آغاز شده هر بار خانه‌اش را تغییر می‌دهد، اما چیزی از انسان امروزی را با خود حمل می‌کند: بدن‌های زیستی، اکوسیستم‌های آب و کربن و حافظه‌هایی در مغز. اما بدن انسان برای جهانی معتدل و جریان پیوسته انرژی ساخته شده است. زندگی زیستی حتی هنگام استراحت متوقف نمی‌شود؛ متابولیسم باید بی‌وقفه غشاها، پروتئین‌ها و دمای بدن را حفظ کند.

در عصر ستاره‌های کم‌نور، شاید شکل‌های دیگری از پردازش و آگاهی انرژی کمتری بخواهند. این نتیجه قطعی نیست؛ زیست‌فناوری آینده ممکن است بدن‌هایی بسیار مقاوم‌تر بسازد. بااین‌حال، تمدن تریلیون‌ساله ناچار خواهد شد بپرسد: آیا برای حفظ انسان باید بدن کنونی انسان را نیز حفظ کرد؟

«بارگذاری ذهن» نام ایده‌ای است که ساختار و فعالیت مغز چنان دقیق در بستری مصنوعی بازسازی شود که حافظه، شخصیت و شاید تجربه آگاهانه ادامه یابد. امروز هیچ فناوری‌ای برای این کار نداریم و حتی نمی‌دانیم چه جزئیاتی لازم است. آیا نقشه اتصال نورون‌ها کافی است، یا وضعیت شیمیایی سلول‌ها، نقش یاخته‌های پشتیبان و تعامل مغز با بدن نیز باید بازسازی شود؟ و اگر سامانه‌ای دقیقا مانند فرد اصلی رفتار کند، آیا ادامه همان آگاهی است یا نسخه‌ای تازه که فقط خاطرات او را دارد؟

این پرسش‌ها فقط مهندسی نیستند؛ به مساله حل‌نشده آگاهی و هویت شخصی مربوط‌اند. بنابراین بارگذاری ذهن فناوری اثبات‌شده آینده نیست؛ گمانه‌ای در مرز علوم اعصاب، فلسفه ذهن و علمی‌تخیلی است.

«اگر ذهن به بستری مصنوعی منتقل شود، آیا هنوز خودِ ما هستیم یا فقط نسخه‌ای دیجیتال از خاطراتمان؟»

حتی ذهن دیجیتال نیز از ماده جدا نیست. اطلاعات باید در وضعیت فیزیکی یک سامانه ذخیره شود و رایانه برای تغییر وضعیت، تصحیح خطا و دفع گرما انرژی می‌خواهد. رولف لاندائر در سال ۱۹۶۱ نشان داد پاک‌کردن برگشت‌ناپذیر یک بیت اطلاعات ـ کوچک‌ترین واحد متعارف داده دیجیتال ـ حداقلی از گرما تولید می‌کند. هزینه نظری این پاک‌کردن با دمای محیط کاهش می‌یابد.

برخی محاسبات را می‌توان در اصل «برگشت‌پذیر» انجام داد؛ یعنی خروجی اطلاعات ورودی را حفظ کند و مراحل را بتوان بدون پاک‌کردن داده به عقب بازگرداند. اما رایانه واقعی باید خطاهای ناشی از گرما، تابش و نوسان‌های کوانتومی را اصلاح کند. محاسبه کم‌مصرف‌تر می‌شود، نه رایگان.

اگر آگاهی را ـ فرضی بزرگ و حل‌نشده ـ نوعی فرایند محاسباتی بدانیم، می‌توان آن را آهسته‌تر اجرا کرد. ذهنی مصنوعی شاید لحظه‌ای فعال شود، سپس هزار سال خاموش بماند و دوباره بیدار شود. برای آن ذهن، فاصله خاموشی تجربه نمی‌شود. بقا دیگر روشن‌ماندن بی‌وقفه نیست؛ حفظ امکان بیدارشدن است.

فریمن دایسون در سال ۱۹۷۹ پیشنهاد کرد موجودات هوشمند با سردشدن جهان فاصله خواب‌ها را طولانی‌تر کنند و با انرژی محدود تعداد نامحدودی فکر را در زمانی بی‌نهایت تجربه کنند. اما او پیش از کشف انبساط شتاب‌دار می‌نوشت. اگر انرژی تاریک ثابت باشد، جهان آینده کف دمایی کوچک اما غیرصفر و افقی محدود خواهد داشت. در این صورت تعداد کل عملیات و مقدار اطلاعات در دسترس هر تمدن محدود می‌ماند. می‌توان عمر ذهنی را به عددهایی تصورناپذیر رساند، اما نه لزوما به بی‌نهایت.

اینجا دشوارترین پرسش دیگر انرژی نیست، تعریف بقاست. اگر بدن‌های انسانی ناپدید شوند و فقط هوش‌هایی مصنوعی با دانش و ارزش‌های ما باقی بمانند، آیا انسان نجات یافته یا فقط وارثی ساخته است؟ علم هنوز پاسخ کاملی ندارد. ترمودینامیک محاسبه علم تثبیت‌شده است؛ رایانه‌های بسیار کم‌مصرف مهندسی فرضی‌اند؛ بارگذاری آگاهی گمانه‌زنی علمی و فلسفی است؛ جاودانگی دیجیتال هنوز بیشتر به قلمرو داستان تعلق دارد.

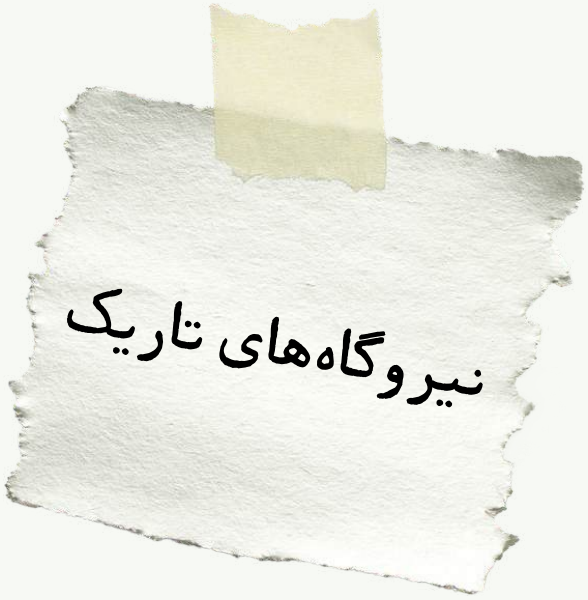
ششمین پایان:
وقتی آخرین اخگرها هم خاموش می‌شوند

پس از خاموش‌شدن ستاره‌ها، جهان ناگهان تهی نمی‌شود. کوتوله‌های سفید سردشده، ستاره‌های نوترونی، کوتوله‌های قهوه‌ای، سیارات یخ‌زده و سیاه‌چاله‌ها برای زمان‌هایی بسیار طولانی باقی می‌مانند. حتی کهکشان‌ها ابدی نیستند. گذرهای گرانشیِ مکرر می‌توانند طی حدود ۱۹۸۱۰ سال بسیاری از اجرام را از کهکشان بیرون بیندازند و گروهی دیگر را به سوی سیاه‌چاله مرکزی بفرستند.

سرنوشت ماده به پرسشی حل‌نشده بستگی دارد: آیا پروتون پایدار است؟ مدل استاندارد فیزیک ذرات مسیر ساده‌ای برای واپاشی پروتون ندارد، اما برخی نظریه‌های وحدت بزرگ آن را پیش‌بینی می‌کنند. سوپرکامیوکانده برای یکی از مسیرهای اصلی واپاشی، حد پایین عمر پروتون را بیش از ۳۴۸۱۰×۲٫۴ سال قرار داده، اما هیچ واپاشی‌ای ندیده است.

اگر پروتون ناپایدار باشد، سیارات و کوتوله‌های سفید سرانجام به ذرات سبک‌تر تبدیل می‌شوند. اگر پایدار باشد، اجرام می‌توانند بسیار طولانی‌تر دوام بیاورند و فرایندهای فوق‌العاده نادری مانند تونل‌زنی کوانتومی سرنوشتشان را تعیین کنند. سناریوی انفجار کوتوله‌های سیاه در زمان‌هایی نزدیک به $۱۱۰۰^{۸۱۰}$ سال نمونه‌ای از گمانه‌زنی نظری است، نه پیش‌بینی تثبیت‌شده.

در هر دو مسیر، سیاه‌چاله‌ها از بیشتر ساختارها عمر بیشتری دارند و آخرین مخازن بزرگ انرژی خواهند بود. انرژی قابل‌استفاده سیاه‌چاله در آغاز بیشتر از ماده‌ای می‌آید که هنوز بیرون افق رویداد است. گاز و غبار قرصی برافزایشی تشکیل می‌دهند؛ آشفتگی و میدان‌های مغناطیسی بخشی از انرژی گرانشی ماده را پیش از سقوط به تابش تبدیل می‌کنند. این فرایند می‌تواند از همجوشی هیدروژن کارآمدتر باشد.



سیاه‌چاله چرخان انرژی دوران نیز دارد. در بیرون افق آن ناحیه‌ای به نام «ارگوسفر» وجود دارد که فضا‌زمان همراه سیاه‌چاله کشیده می‌شود. راجر پنروز نشان داد در اصل می‌توان بخشی از انرژی چرخشی را استخراج کرد. سازوکار الکترومغناطیسی بلاندفورد–زنابِک نیز برای توضیح فواره‌های پرانرژی سیاه‌چاله‌های واقعی به کار می‌رود. استفاده کنترل‌شده از سیاه‌چاله به‌عنوان نیروگاه مهندسی فرضی است، اما بر فیزیک جدی استوار است. ساخت سیاه‌چاله مصنوعی از این هم دورتر است. در اصل تمرکز انرژی کافی در حجمی کوچک می‌تواند افق رویداد بسازد، اما هیچ راه شناخته‌شده‌ای برای تولید، مهار و تغذیه چنین جرمی نداریم و گرانش کوانتومی ممکن است تصویر را تغییر دهد.

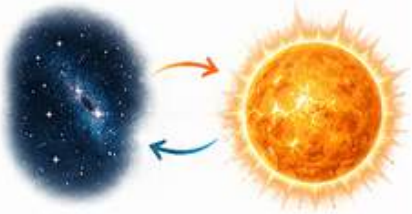
بااین‌حال، سیاه‌چاله‌ها نیز می‌میرند. استیون هاوکینگ نشان داد میدان‌های کوانتومی در فضای خمیده سبب می‌شوند سیاه‌چاله از دید ناظر دور تابشی تقریبا حرارتی گسیل کند. توضیح رایج جفت ذرات کنار افق فقط استعاره‌ای ساده‌شده است؛ محاسبه اصلی از نظریه میدان کوانتومی در فضازمان خمیده می‌آید.

هرچه سیاه‌چاله بزرگ‌تر باشد، سردتر است و مدت بیشتری دوام می‌آورد. برای نمونه، تبخیر سیاه‌چاله‌ای هم‌جرم خورشید زمانی در حدود دخ به توان 67 سال (عدد یک با ۶۷ صفر در مقابلش) طول می‌کشد؛ زمانی چنان طولانی که عمر کنونی کیهان در مقایسه با آن تقریبا هیچ است. سیاه‌چاله‌های کلان‌جرم می‌توانند بسیار دیرپاتر باشند و عمرشان با عددی بیان شود که پس از یک، میان ۹۰ تا ۱۰۰ صفر قرار می‌گیرد (10 به توان 90 تا 100)ـ و شاید حتی از آن هم بیشتر باشد. با ازدست‌دادن جرم، سیاه‌چاله گرم‌تر می‌شود و تبخیرش شتاب می‌گیرد. بااین‌حال، نمی‌دانیم در واپسین لحظات دقیقا چه اتفاقی می‌افتد؛ زیرا محاسبات هاوکینگ در آن مقیاس دیگر کافی نیستند و هنوز نظریه‌ای کامل برای پیوند گرانش با فیزیک کوانتومی در اختیار نداریم.

مرگ حرارتی واقعا یعنی چه؟

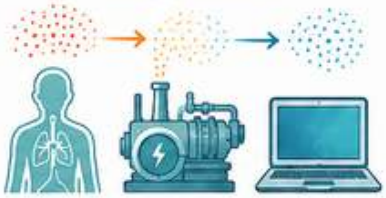
پایان جهان به معنای انفجار ناگهانی نیست؛ به معنای کم‌رنگ‌شدن تفاوت‌های قابل استفاده انرژی است

۱. جهانِ دارای اختلاف



وقتی میان بخش‌های مختلف جهان اختلاف دما، فشار، ترکیب شیمیایی یا چگالی انرژی وجود دارد، می‌توان کار انجام داد.

۲. حیات و تمدن از این اختلاف استفاده می‌کنند



بدن، ماشین و رایانه انرژی را از حالت‌های متمرکزتر به حالت‌های پراکنده‌تر می‌برند. این همان چیزی است که به زندگی و فناوری امکان کار کردن می‌دهد.

۳. نزدیک تعادل

در مرگ حرارتی، انرژی نابود نمی‌شود؛ اما آن‌قدر همگن و رقیق می‌شود که دیگر اختلاف کافی برای حفظ فرایندهای پیچیده باقی نمی‌ماند.

مرگ حرارتی به معنای نابودی ناگهانی ماده یا رسیدن لزوما به صفر مطلق نیست.

انرژی آزاد (FREE ENERGY):
بخشی از انرژی که هنوز می‌تواند کاری جهت‌دار انجام دهد.

در کیهان‌شناسی امروز، مرگ حرارتی سناریوی معیار است؛ اما جزییات بسیار دوردست آینده همچنان به فیزیک بنیادی و رفتار انرژی تاریک وابسته‌اند.

مرگ حرارتی: پایان تفاوت‌ها

فرض کنیم ماده معمولی سرانجام پراکنده شود، آخرین سیاه‌چاله‌ها تبخیر شوند و انرژی تاریک رفتاری شبیه ثابت کیهانی داشته باشد. آنچه باقی می‌ماند جهانی بسیار رقیق و نزدیک به تعادل است.

مرگ حرارتی نه به معنای داغ‌شدن جهان است و نه لزوما رسیدن به صفر مطلق. به معنای از میان‌رفتن تفاوت‌های قابل‌استفاده انرژی است. هر ماشین، بدن و رایانه برای کارکردن به اختلاف نیاز دارد: اختلاف دما، فشار، ترکیب شیمیایی یا بار الکتریکی. ستاره می‌درخشد چون درون داغش با فضای سرد تفاوت دارد. بدن می‌تواند کار کند چون مواد غذایی دور از تعادل‌اند. به بخشی از انرژی که هنوز می‌تواند کاری جهت‌دار انجام دهد «انرژی آزاد» می‌گوییم.

در مرگ حرارتی انرژی نابود نشده است. فوتون‌ها و ذرات هنوز وجود دارند، اما چنان رقیق و همگن‌اند که دیگر شیبی برای ساخت و حفظ ساختارهای پیچیده باقی نمی‌ماند. اگر ثابت کیهانی مثبت باشد، جهان به فضایی شبیه «دو سیتر» نزدیک می‌شود که افق کیهان‌شناختی خود دمایی بسیار کوچک اما غیرصفر دارد. همین کف دما یکی از موانع اندیشیدن تا بی‌نهایت با انرژی محدود است.

مرگ حرارتی لحظه‌ای مشخص در تقویم نیست. هیچ ساعتی در ۱۰ به توان ۱۰۰ سال آینده ناگهان از حرکت باز نمی‌ایستد تا مرگ جهان را اعلام کند. رویدادها نادرتر، فاصله‌ها بیشتر و منابع قابل‌استفاده کمتر می‌شوند تا حفظ هر فرایند پیچیده‌ای ناممکن شود.

تا اینجا تمدن فرضی ما در برابر هر پایان پاسخی پیدا کرده بود. وقتی زمین گرم شد، نور را کم کرد یا سیاره را ترک گفت. وقتی خورشید مرد، به ستاره‌ای دیگر رفت. وقتی ستاره‌ها کمیاب شدند، سوختشان را ذخیره کرد. وقتی جهان از دسترس خارج شد، پیش از بسته‌شدن افق‌ها گسترش یافت. وقتی بدن زیستی پرهزینه شد، شاید شکل آگاهی را تغییر داد. وقتی آخرین ستاره‌ها خاموش شدند، از سیاه‌چاله‌ها انرژی گرفت و تجربه را میان خواب‌هایی طولانی پخش کرد.

اما در مرگ حرارتی مساله دیگر یافتن خانه‌ای تازه نیست. خود امکان انجام کار در حال محوشدن است. تمدن شاید پایان را میلیاردها، تریلیون‌ها یا عددی از سال‌ها عقب بیندازد که نوشتنش صفحه‌ای کامل را پر کند؛ اما اگر تصویر معیار درست باشد، نمی‌توان برای همیشه از ذخیره‌ای محدود کاری تازه استخراج کرد.

آخرین در: آیا می‌توان خود جهان را ترک کرد؟

اینجاست که دورترین گمانه مطرح می‌شود: اگر جهان کنونی دیگر نتواند میزبان حیات باشد، آیا می‌توان جهانی تازه ساخت؟

در برخی مدل‌های تورم کیهانی، ناحیه‌ای کوچک از «خلا کاذب» ـ حالتی موقتا پایدار اما بالاتر از کمترین انرژی ممکن ـ می‌تواند شروع به انبساط شتاب‌دار کند و از دید هندسه فضازمان به جهانی جداگانه بدل شود. ادوارد فرهی، آلن گات و جمل گوون در سال ۱۹۹۰ بررسی کردند که آیا چنین حبابی شاید با «تونل‌زنی کوانتومی» ایجاد شود؛ فرایندی که در آن سامانه می‌تواند با احتمالی محدود از مانعی بگذرد که فیزیک کلاسیک اجازه عبور از آن را نمی‌دهد.

اما این ایده با ناشناخته‌های بنیادی روبه‌رو است. معلوم نیست شرایط لازم در طبیعت وجود داشته باشد، معلوم نیست تقریب‌های نظری در قلمرو گرانش کوانتومی معتبر بمانند و معلوم نیست جهان تازه راهی قابل عبور برای سازندگانش داشته باشد. در بسیاری از تصویرها، جهان نوزاد از بیرون مانند سیاه‌چاله‌ای است که فضای درونی‌اش از جهان مادر جدا می‌شود. شاید بتوان آن را ایجاد کرد، اما نه لزوما به آن مهاجرت کرد یا اطلاعات و حیات را از افق آن گذراند.

پس جهان نوزاد راه‌حل علمی برای نجات نیست؛ ایده‌ای در مرز فیزیک نظری و علمی‌تخیلی است. شاید شناخت گرانش کوانتومی صورت مساله را دگرگون کند و شاید معلوم شود هیچ دری بیرون از این جهان وجود ندارد.

آیا هنوز برای فکرکردن زود است؟

اکنون می‌توانیم به ساعت آغازین بازگردیم؛ به شبانه‌روزی که در آن هومو ساپینس تنها در شش ثانیه پایانی پا به صحنه گذاشته است.

ما که هنوز چند ثانیه بیشتر از حضورمان نمی‌گذرد، توانسته‌ایم به دقیقه‌ها و ساعت‌های آینده و حتی آخرین غروب آن بیندیشیم. توانسته‌ایم مسیری را تصور کنیم که از روشن‌ترشدن خورشید آغاز می‌شود، از مرگ ستاره‌ها می‌گذرد و به جهانی می‌رسد که در آن آخرین تفاوت‌های قابل‌استفاده انرژی محو شده‌اند.

دانش و فناوری ما برای رویارویی عملی با چنین آینده‌ای هنوز در کودکی است. ما نه می‌توانیم مدار سیاره‌ای را جابه‌جا کنیم، نه زیست‌سپهر خودکفایی بیرون از زمین ساخته‌ایم، نه می‌دانیم آگاهی را می‌توان در بستری دیگر ادامه داد و نه فیزیک آخرین لحظات یک سیاه‌چاله را به‌طور کامل می‌شناسیم. فاصله میان توان امروز و مهندسی ستاره‌ها، اگر پیمودنی باشد، به هزاره‌ها، میلیون‌ها سال و زنجیره‌ای از کشف‌ها، شکست‌ها و آغازهای دوباره نیاز دارد.

اما بزرگی مساله فکرکردن به آن را بیهوده نمی‌کند. برخی از راه‌هایی که دیدیم بر امتداد فیزیک شناخته‌شده استوارند؛ برخی در مرز گمانه‌زنی‌اند و برخی شاید هرگز ممکن نشوند. ارزش این پرسش‌ها فقط در یافتن پاسخ نهایی نیست. جست‌وجوی پاسخ می‌تواند ما را درباره انرژی، حیات، آگاهی و محدودیت‌های طبیعت خردمندتر کند.

بااین‌حال، تناقضی در این خیال بلند وجود دارد. ما از نجات حیات در میلیاردها و تریلیون‌ها سال آینده سخن می‌گوییم، درحالی‌که نمی‌دانیم تمدن انسانی چندصد سال دیگر چه شکلی خواهد داشت. در ساعت آغاز این داستان، هر ثانیه بیش از پنجاه هزار سال است. تضمینی نداریم که گونه‌ای با شکل کنونی حتی یک ثانیه دیگر دوام بیاورد.

> پیش از آنکه به نجات جهان فکر کنیم، باید بیاموزیم یکدیگر و تنها خانه‌ای را که اکنون در اختیار داریم نابود نکنیم.»



تهدیدهای امروز از جنس غول سرخ یا مرگ حرارتی نیستند. تغییر اقلیم، نابودی زیستگاه‌ها، همه‌گیری‌ها، جنگ و نابرابری در محدوده تجربه و مسئولیت مستقیم ما قرار دارند. ارزیابی سلامت سیاره در سال ۲۰۲۵ نتیجه گرفت که هفت مورد از نه مرز سیاره‌ای پیشنهادی از محدوده امن عبور کرده‌اند. این چارچوب یک قانون تغییرناپذیر طبیعت نیست، اما نشان می‌دهد فشارهای انسانی بر جو، اقیانوس‌ها، آب شیرین و زیست‌سپهر به یکدیگر پیوند خورده‌اند و در مرزهای سیاسی متوقف نمی‌شوند.

از اینجا استدلال دیگر صرفا اخترفیزیکی نیست؛ به داوری اخلاقی و سیاسی درباره شیوه سازمان‌دادن تمدن تبدیل می‌شود. بخش بزرگی از تصمیم‌های جمعی ما هنوز بر رقابت دولت‌ها، منافع کوتاه‌مدت اقتصادی، مرزبندی‌های هویتی و محاسبات قدرت استوار است. دانش و منابعی که می‌توانند برای کاهش رنج و افزایش تاب‌آوری تمدن به کار روند، هم‌زمان صرف تخریب و غلبه بر دیگری می‌شوند.

پاسخ لزوما پاک‌کردن مرزها، فرهنگ‌ها یا هویت‌های متفاوت نیست. تنوع فرهنگی بخشی از تجربه انسانی است و حکومت یکپارچه جهانی نیز به‌خودی‌خود خردمند یا عادلانه نخواهد بود. مساله این است که در کنار تفاوت‌ها، باید توان تصمیم‌گرفتن در مقیاس سیاره‌ای را بسازیم؛ سازوکارهایی که وقتی پای جو، اقیانوس‌ها، تنوع زیستی، بیماری‌های فراگیر یا نسل‌های آینده در میان است، مسئولیت را در مرز یک کشور متوقف نکنند.

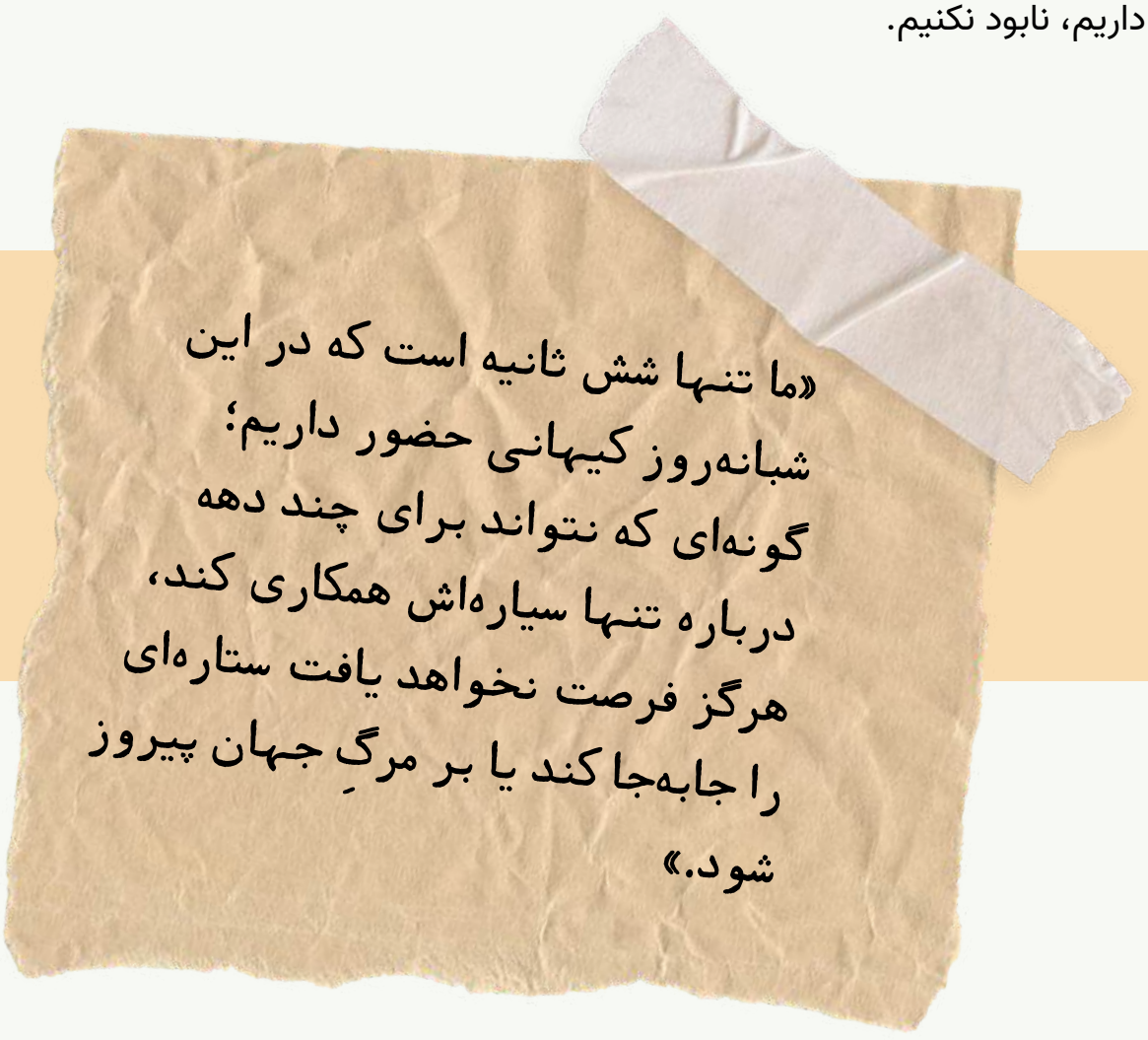
شاید نخستین گام برای رسیدن به آینده‌های دور پذیرفتن واقعیتی ساده باشد: ما تنها یک سیاره شناخته‌شده قابل‌سکونت در اختیار داریم، درون سامانه‌ای به‌هم‌پیوسته از جو، آب، سنگ و حیات زندگی می‌کنیم و با همه تفاوت‌هایمان اعضای یک گونه‌ایم. این واقعیت به معنای تقسیم برابر مسئولیت نیست؛ کسانی که منابع بیشتری مصرف کرده‌اند و قدرت بیشتری دارند مسئولیت بیشتری نیز برای اصلاح مسیر دارند.

اندیشیدن به پایان دور کیهان نباید بحران‌های امروز را کوچک جلوه دهد. برعکس، ارزش این آزمایش ذهنی شاید در آشکارکردن ضعف ما باشد: گونه‌ای که نمی‌تواند برای چند دهه درباره جو، اقیانوس یا منابع مشترک همکاری کند، چگونه قرار است برنامه‌ای را برای میلیون‌ها نسل حفظ کند؟ تمدنی که هر نسل دانش و زیرساخت نسل پیشین را ویران کند، هرگز فرصت نخواهد یافت ستاره‌ای را جابه‌جا کند یا آخرین ذخایر انرژی جهان را نگاه دارد.

هنوز برای طراحی وسیله‌ای که ما را از مرگ حرارتی نجات دهد بسیار زود است؛ شاید اصولا چنین وسیله‌ای وجود نداشته باشد. اما برای ساختن تمدنی که آینده‌ای فراتر از عمر اعضایش را جدی بگیرد، زود نیست.

ما تنها شش ثانیه است که اینجاییم. هنوز معلوم نیست بتوانیم ثانیه بعد را ببینیم، چه رسد به آخرین ساعت این شبانه‌روز. بااین‌همه، همین که موجوداتی برخاسته از غبار ستارگان می‌توانند پایان خورشید و خاموشی جهان را پیش چشم آورند، خود رویدادی شگفت‌انگیز در تاریخ کیهان است.

شاید نخستین فناوری لازم برای گریز از پایان‌های دور، موتور ستاره‌ای، سیاه‌چاله مصنوعی یا دری به جهانی دیگر نباشد. شاید نخستین فناوری، توانایی همکاری در همین ثانیه باشد: آموختن اینکه چگونه پیش از نجات جهان، یکدیگر و تنها خانه‌ای را که اکنون در اختیار داریم، نابود نکنیم.



چه چیز را می‌دانیم، چه چیز هنوز گمانه است؟

نردبان قطعیت در سناریوهای آینده دور

همه آینده‌هایی که می‌توان درباره‌شان محاسبه کرد، به یک اندازه محتمل یا عملی نیستند.

۱ نسبتا استوار





خورشید به‌تدریج روشن‌تر می‌شود.



خورشید سرانجام غول سرخ و سپس کوتوله سفید می‌شود.



ستاره‌زایی برای همیشه ادامه نخواهد یافت.



سیاه‌چاله‌ها بر اساس محاسبات هاوکینگ باید بسیار آهسته تبخیر شوند.



برای انجام کار، اختلاف‌های قابل استفاده انرژی لازم است.

۲ وابسته به مدل و اندازه‌گیری





زمان دقیق پایان زیست‌سپهر



بلعیده‌شدن یا باقی‌ماندن زمین در مرحلهٔ غول سرخ



ادغام نهایی راه شیری و آندرومدا



رفتار بلندمدت انرژی تاریک



پایداری یا واپاشی پروتون

۳ گمانه‌زنی علمی و مهندسی فرضی





جابه‌جاکردن مدار زمین



سایه‌بان خورشیدی در L1



ستاره‌برداری



انبوهه دایسون



بارگذاری ذهن



سیاه‌چاله مصنوعی



جهان نوزاد

این نردبان، تفاوت میان علم تثبیت‌شده، نتیجه‌های حساس به مدل و ایده‌های مرزی را نشان می‌دهد؛ مرزها همیشه کاملا سخت و قطعی نیستند.

واژه‌نامه کوتاهِ آینده دور

اصطلاحات کلیدی برای خواندن سرنوشت زمین، خورشید و کیهان

۱. رشته اصلی (MAIN SEQUENCE)



طولانی‌ترین مرحله زندگی بیشتر ستاره‌ها که در آن هیدروژن در هسته به هلیوم تبدیل می‌شود. خورشید اکنون در این مرحله است.

۲. گلخانه مرطوب (MOIST GREENHOUSE)



حالتی که در آن بخار آب بیشتری به لایه‌های بالایی جو می‌رسد و آب به‌تدریج می‌تواند به فضا بگریزد.

۳. گلخانه فراری (RUNAWAY GREENHOUSE)



مرحله‌ای که در آن گرم‌شدن و تبخیر آب یکدیگر را تقویت می‌کنند و سیاره دیگر به‌خوبی نمی‌تواند گرما را به فضا پس بدهد.

۴. منطقه زیست‌پذیر (HABITABLE ZONE)



فاصله‌ای از ستاره که در آن یک سیارهٔ سنگی با جو مناسب ممکن است آب مایع روی سطح داشته باشد.

۵. نقطه لاگرانژی (LAGRANGE POINT)



ناحیه‌ای که در آن نیروهای گرانشی و حرکت مداری به جسم اجازه می‌دهند با اصلاح‌های محدود موقعیتی تقریبا ثابت حفظ کند؛ نقطه L1 میان زمین و خورشید یکی از پیشنهادها برای سایه‌بان خورشیدی است.

۶. انرژی آزاد (FREE ENERGY)



بخشی از انرژی که به دلیل اختلاف دما، فشار، ترکیب شیمیایی یا بار الکتریکی می‌تواند برای انجام کار به کار رود.

۷. افق کیهان‌شناختی (COSMOLOGICAL HORIZON)



مرزی که فراتر از آن، به سبب انبساط جهان، رویدادها دیگر در آینده برای ما دسترس‌پذیر یا اثرگذار نخواهند بود.

۸. تابش هاوکینگ (HAWKING RADIATION)



تابش بسیار آهسته‌ای که بر پایهٔ فیزیک کوانتومی در فضای خمیده، باعث می‌شود سیاه‌چاله‌ها در زمان‌های بسیار طولانی جرم از دست بدهند.

۹. مرگ حرارتی (HEAT DEATH)



حالتی بسیار دور در آینده که تفاوت‌های قابل استفاده انرژی تقریبا از میان می‌روند و حفظ فرایندهای پیچیده بسیار دشوار یا ناممکن می‌شود.

CAM



مانند کاکتوس‌ها؛ روزنه‌ها را بیشتر شب‌ها باز می‌کنند تا آب کمتری از دست بدهند.

C4



مانند ذرت و بسیاری از علف‌ها؛ در گرما و غلظت کمتر دی‌اکسیدکربن کارآمدتر است.

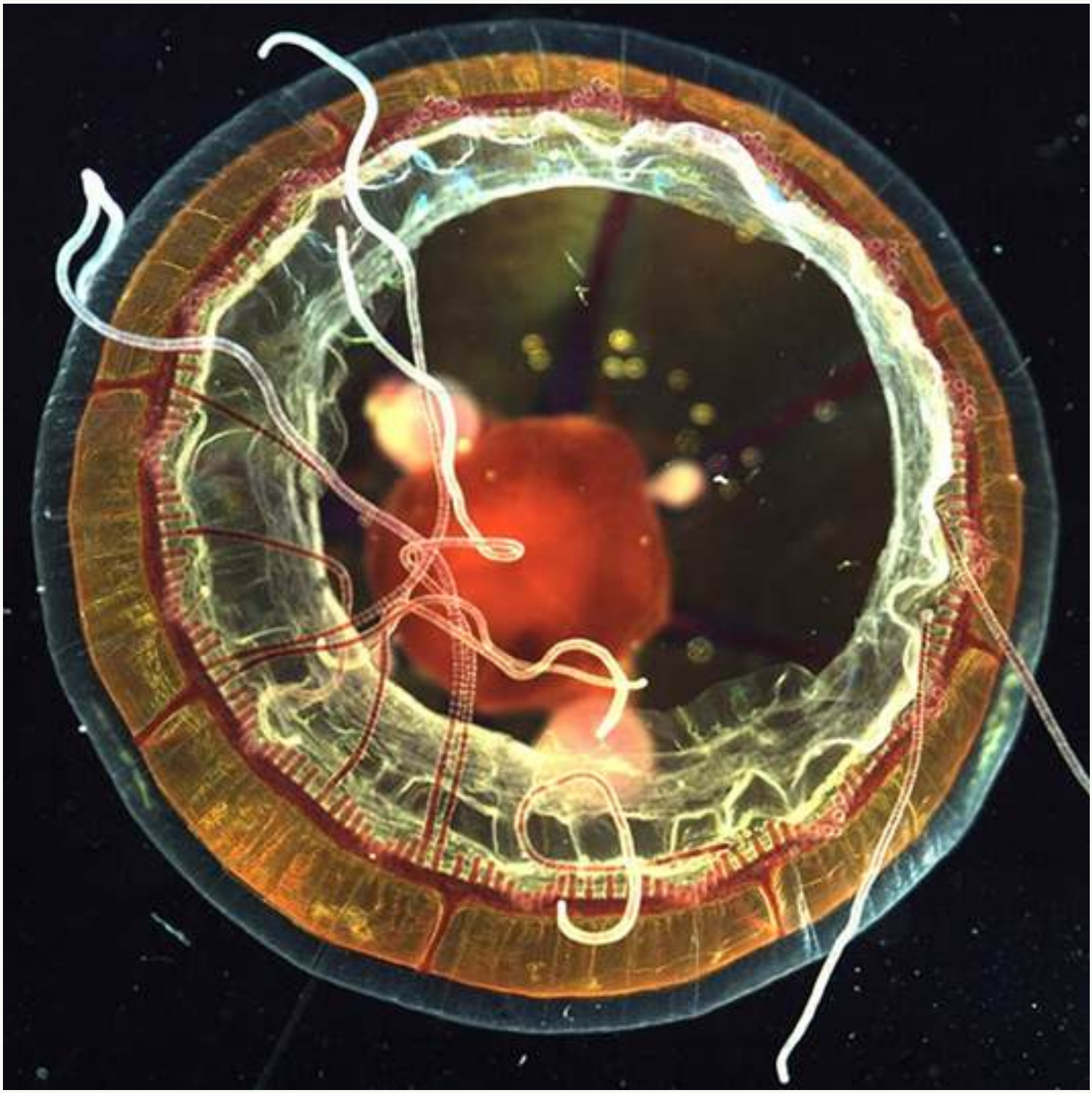
C3



مسیر رایج در بیشتر درختان و گیاهان زراعی؛ به افت دی‌اکسیدکربن و گرمای زیاد حساس‌تر است.

این تعاریف ساده‌سازی‌شده‌اند و برای خواندن متن اصلی به کار می‌آیند؛ برخی از جزئیات آن‌ها در پژوهش‌های تخصصی همچنان محل بحث یا وابسته به مدل‌اند.

پرتره‌ای از عروس دریایی در عمق بیش از یک کیلومتری



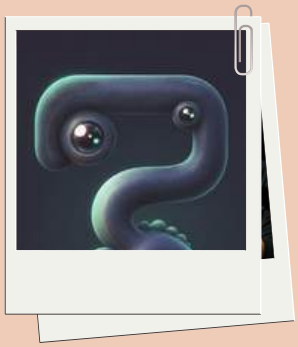
اعتبار: Emily Clark / MBARI

این عروس دریایی از عمق ۱۱۵۷ متری به‌وسیله زیردریایی کنترل‌ازراه‌دور سوباستین جمع‌آوری شد و روی کشتی پژوهشی فالکور با نمونه اولیه یک دوربین ماکروی چندنما تصویربرداری شد. بدن شفاف و رشته‌های ظریف جانور سبب می‌شود نمونه‌های این گروه در روش‌های معمول جمع‌آوری و نگهداری به‌سرعت تغییر شکل دهند. سامانه چندنما با ثبت هم‌زمان یا پی‌درپی تصاویر از زوایای مختلف، به پژوهشگران امکان می‌دهد شکل سه‌بعدی، تقارن بدن و ساختارهای داخلی جانور را دقیق‌تر مستند کنند؛ نوعی «نمونه دیجیتال» که می‌تواند در توصیف و مقایسه گونه‌ها به کار رود.

ابعاد تصویر منتشر شده از این عروس دریایی جمع‌آوری‌شده از عمق ۱۱۵۷ متری اقیانوس اطلس جنوبی که با نمونه اولیه دوربین ماکروی چندنما تصویربرداری شده، ۱۲۰۰ در ۸۰۰ پیکسل است.

«ثبت یک «نمونه دیجیتال» سه‌بعدی از جانوری ظریف در عمق بیش از هزار متری دریا، مرزهای تازه علمی را برای توصیف حیاتِ اعماق می‌گشاید.»





تحریریه ژورنال ۴۲
جستجوگر بهترین
پاسخ‌های دنیا

گرمای کم‌سابقه:
موجی گذرا یا هنجاری تازه در جهان؟

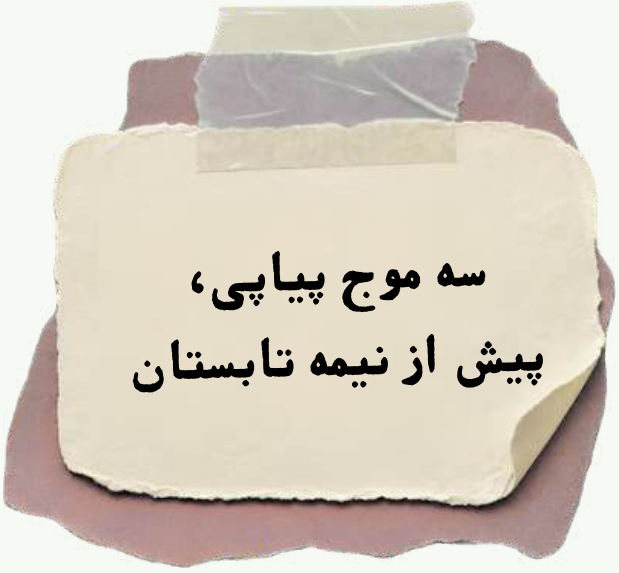
سه موج پی‌درپی گرما در اروپا رکوردها را شکست و هزاران مرگ مازاد بر جا گذاشت. الگوهای پایدار جوی، اقیانوس‌های گرم و ال‌نینوی رو به تقویت صحنه را شکل دادند؛ اما گرمایش انسانی بود که دمای پایه را بالا برد.

۹۷٪	۴۹٫۵°C	۱۰٫۶۵۰	۲۰٫۷۴°C
احتمال تداوم ال‌نینو تا اوایل بهار ۲۰۲۷	رکورد ژانویه سدونا در استرالیا	مرگ مازاد در هفته اوج گرما	میانگین ژوئن در اروپای غربی

اتاق انتظار در بیمارستان‌ها معمولا جایی پراضطراب است؛ مکانی که کمتر کسی آن را محبوب‌ترین بخش یک مرکز درمانی می‌داند. اما در اواخر ژوئن ۲۰۲۶، در بیمارستان خصوصی مانه در فلوری‌مروژی، در جنوب پاریس، اتاق انتظار به پناهگاه بیماران و کارکنان بدل شده بود. نه به‌خاطر تلویزیون یا کتاب‌هایش، بلکه چون یکی از معدود فضاهای مجهز به تهویه مطبوع ساختمان بود.

اتاق‌های بیماران پشت پنجره‌های بزرگ شیشه‌ای گرم می‌شدند و پنکه‌ها در برابر هوای سنگین و مرطوب توان چندانی نداشتند. کریستین، بیماری که از ماه آوریل بستری بود، پنکه برقی را تا جای ممکن به بدنش نزدیک نگه می‌داشت. کارکنان، بیماران را برای مدتی به اتاق انتظار خنک منتقل می‌کردند، به آنان آب می‌رساندند و مرتب وضعیتشان را بررسی می‌کردند.

ساندرا کارنرو، پرستار بخش روان‌پزشکی، به رویترز گفت گرما و خواب نامناسب کارکنان را فرسوده و سطح مراقبت را پایین آورده است. بیماران نیز خسته‌تر و کم‌حوصله‌تر می‌شدند. پنجره‌ها را هم به دلایل ایمنی نمی‌شد کاملا باز کرد. بیمارستانی که در میانه قرن بیستم ساخته شده بود، برای اقلیمی طراحی شده بود که دیگر وجود ندارد.



چند هفته بعد، از ۱۸ تا ۳۰ ژوئن، موجی شدیدتر از راه رسید. میانگین دمای ژوئن در غرب اروپا به ۲۰٫۷۴ درجه سانتی‌گراد رسید؛ حدود ۳٫۰۶ درجه بالاتر از میانگین سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰ و بالاترین مقدار ثبت‌شده برای این منطقه. ژوئن ۲۰۲۶ در مقیاس جهانی نیز دومین ژوئن گرم در داده‌های ERA5 بود و دمای متوسط سطح زمین حدود ۱٫۳۹ درجه بالاتر از میانگین پیشاصنعتی قرار گرفت. دمای سطح اقیانوس‌های خارج از نواحی قطبی هم رکورد ماه ژوئن را شکست.

فرانسه در ۲۴ ژوئن، بر اساس میانگین ملی، گرم‌ترین روز ثبت‌شده خود را تجربه کرد و دمای محلی در غرب کشور به ۴۳٫۸ درجه رسید. در آلمان، کوشن ۴۱٫۷ درجه ثبت کرد و ۲۵۲ ایستگاه رکورد مطلق خود را شکستند. کمینه شبانه در یکی از ایستگاه‌های زاکسن شرقی به ۲۹٫۴ درجه رسید. دانمارک با ۳۷ درجه رکورد ملی تاریخ خود را شکست و بیلبائو در اسپانیا دمای ۴۲٫۷ درجه را ثبت کرد. بسیاری از این اعداد هنگام انتشار هنوز مقدماتی بودند.

گرما در اوایل ژوئیه نیز بازگشت. پیاپی‌بودن موج‌ها، همراه با خاک خشک، دمای بالای دریا و خطر آتش‌سوزی، نشان داد که تابستان گرم‌تر در حال تبدیل‌شدن به مساله‌ای ساختاری برای سلامت، کشاورزی، انرژی و زیرساخت است.

موج گرمای ۲۰۲۶ چگونه ساخته شد؟

چهار لایه که گرمای اروپا را به رویدادی شدید و مرگبار تبدیل کردند

1 آمگا بلاک (OMEGA BLOCK)

سامانه پایدار پرفشار، حرکت معمول سامانه‌های جوی را کند کرد و گرما را در جای خود نگه داشت.



2 فرونشینی و آسمان صاف

هوای زیر پرفشار پایین می‌آید، فشرده و گرم می‌شود، ابر کمتر تشکیل می‌شود و آفتاب مستقیم‌تر می‌تابد.



3 خاک خشک و شهرهای داغ

وقتی خاک خشک است، انرژی کمتری صرف تبخیر می‌شود و سهم بیشتری مستقیما هوا و سطح را گرم می‌کند. در شهرها هم بتن و آسفالت گرما را نگه می‌دارند.



4 اقلیم گرم‌تر

همان الگوی جوی قدیمی، این بار روی زمینی گرم‌تر عمل کرد؛ بنابراین دمای نهایی بسیار بالاتر رفت.





آمگا بلاک گرما را حبس کرد؛ گرمایش جهانی آن را داغ‌تر کرد.

ال نینو کجای این ماجراست؟

ال‌نینو می‌تواند دمای متوسط جهان و الگوهای گردش جو را تغییر دهد، اما برای موج گرمای اروپا در ژوئن ۲۰۲۶ علت مستقیم اثبات‌شده به شمار نمی‌رود.

آنچه می‌دانیم

اروپا سریع‌تر از میانگین جهانی در حال گرم‌شدن است. | خاک خشک و شب‌های گرم، فشار گرما را تشدید کردند.

مرگ‌هایی که روی گواهی‌ها همیشه نام گرما را ندارند

گرما برخلاف سیل یا توفان، قربانیانش را در یک مکان و یک لحظه بر جا نمی‌گذارد. بسیاری نه با تشخیص رسمی «گرمازدگی»، بلکه بر اثر تشدید بیماری‌های قلبی، سکته، نارسایی کلیه یا مشکلات تنفسی جان می‌بازند. به همین دلیل پژوهشگران از «مرگ‌ومیر مازاد» استفاده می‌کنند: تفاوت میان شمار مرگ‌های ثبت‌شده و تعدادی که در شرایط معمول همان فصل انتظار می‌رود.

داده‌های EUROMOMO نشان داد در هفته ۲۲ تا ۲۸ ژوئن، هم‌زمان با اوج موج گرما، در ۲۷ کشور اروپایی حدود ۱۰ هزار و ۶۵۰ مرگ بیش از حد انتظار ثبت شد. بیش از ۹ هزار نفر از درگذشتگان ۶۵ سال یا بیشتر داشتند. این رقم به معنای آن نیست که تک‌تک مرگ‌ها رسما به گرما نسبت داده شده‌اند؛ داده‌ها مقدماتی‌اند و هم‌زمانی آماری را نشان می‌دهند، نه علت قطعی هر مورد.

در انگلستان و ولز، تحلیل مشترک اداره هواشناسی بریتانیا، امپریال کالج لندن و دانشکده بهداشت و پزشکی گرمسیری لندن برآورد کرد که موج‌های مه و ژوئن در مجموع با بیش از ۲۷۰۰ مرگ مرتبط با گرما همراه بوده‌اند. بر اساس همین مدل، حدود ۴۲ درصد این مرگ‌ها به گرمای اضافی ناشی از تغییر اقلیم انسانی نسبت داده شد. این ارقام نیز برآورد مدل‌محورند، نه شمارش نهایی گواهی‌های فوت.

شب‌های داغ اهمیتی ویژه دارند. بدن معمولا هنگام شب با کاهش دمای مرکزی و استراحت دستگاه قلبی‌عروقی بخشی از فشار روز را جبران می‌کند. وقتی دما پایین نمی‌آید، این فرصت بازیابی از میان می‌رود. شهرها نیز به‌سبب آسفالت، بتن، کمبود سایه و جزیره گرمایی شهری، پس از غروب دیرتر خنک می‌شوند.

چه چیزی گرما را در جای خود نگه داشت؟

عامل نزدیک موج ژوئن، ناحیه‌ای نیرومند و ماندگار از فشار بالا بر فراز بخش بزرگی از اروپا بود. هوای زیر پرفشار فرومی‌نشیند؛ در مسیر پایین‌آمدن فشرده و گرم می‌شود، تشکیل ابر کاهش می‌یابد و آفتاب فرصت بیشتری برای گرم‌کردن زمین پیدا می‌کند.

هم‌زمان، جریان جنوبی هوای بسیار گرم شمال آفریقا را به اروپا رساند.

در برخی آرایش‌های مشابه، نقشه جو میانی شکلی نزدیک به حرف یونانی اُمگا، Ω، پیدا می‌کند؛ الگویی که «اُمگا بلاک» نامیده می‌شود. در این نوع انسداد، پشته‌ای پرفشار میان دو ناحیه کم‌فشار قرار می‌گیرد و حرکت معمول سامانه‌ها کند می‌شود.

در رویداد ژوئن، مهم‌تر از نام دقیق الگو، پایداری فشار بالا و جریان جنوبی بود: گرما چند روز ماند و شب‌ها نیز فرصت خنک‌شدن پیدا نکردند.
خشکی خاک فشار را بیشتر کرد. در شرایط عادی بخشی از انرژی خورشید صرف تبخیر آب از خاک و گیاهان می‌شود. وقتی زمین خشک است، سهم بیشتری از انرژی مستقیما هوا و سطح را گرم می‌کند. به این ترتیب گرما، خشکی و خطر آتش‌سوزی یکدیگر را تقویت کردند.



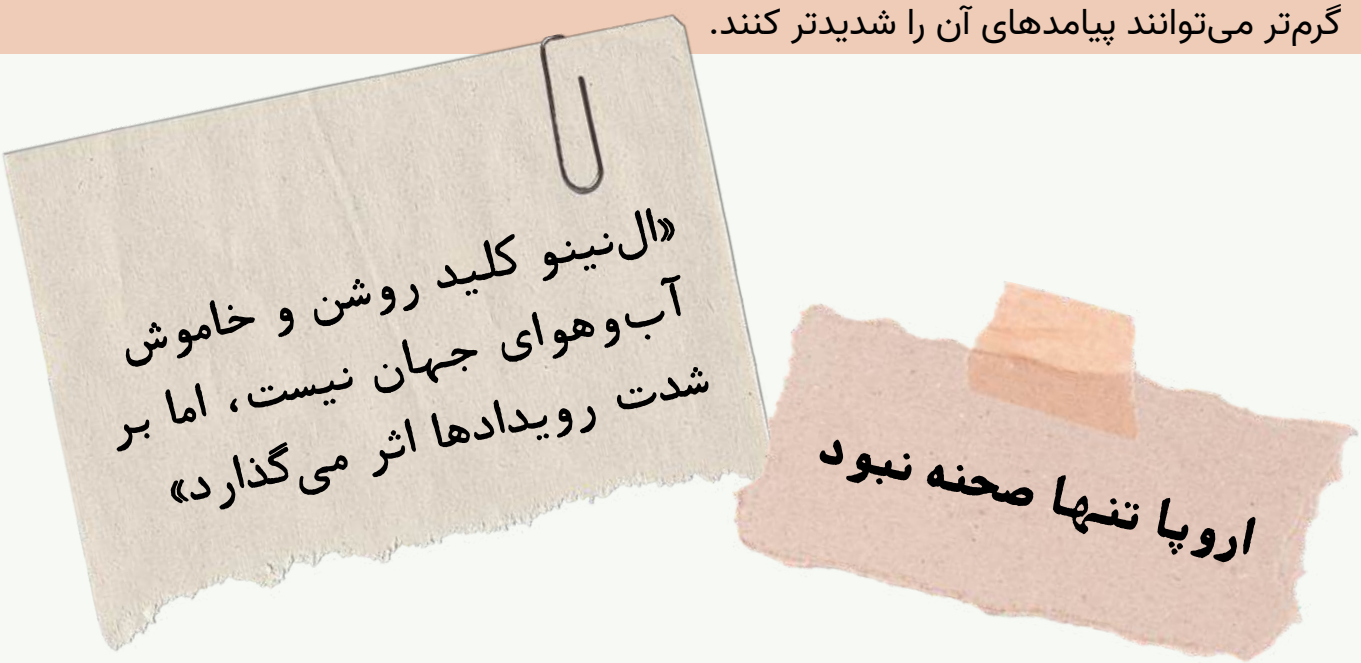


ال‌نینو یکی از دو فاز اصلی «ال‌نینو–نوسان جنوبی» یا ENSO است؛ سامانه‌ای به‌هم‌پیوسته از اقیانوس و جو در نوار استوایی اقیانوس آرام. در وضعیت معمول، بادهای تجارتی از شرق به غرب می‌وزند و آب گرم سطحی را به سوی اندونزی و غرب اقیانوس آرام می‌رانند. در نزدیکی سواحل آمریکای جنوبی، آب سرد و غنی از مواد غذایی از اعماق بالا می‌آید؛ فرایندی که «فراچاهش» یا UPWELLING نام دارد.
در ال‌نینو، بادهای تجارتی ضعیف می‌شوند. بخشی از آب گرم به سمت مرکز و شرق اقیانوس آرام بازمی‌گردد، فراچاهش آب سرد کاهش می‌یابد و منطقه بارش و صعود هوای گرم در استوا به سوی شرق جابه‌جا می‌شود. این تغییر گردش بزرگ‌مقیاس جو را نیز دست‌کاری می‌کند و از راه «دورپیوندها» می‌تواند مسیر رودبادها، بارش، خشکسالی و توفان‌ها را در نقاطی بسیار دور تغییر دهد.

این اثرها قطعی و یکسان نیستند. ال‌نینو کلید روشن و خاموش آب‌وهوای جهان نیست؛ بیشتر تاس را به سود برخی پیامدها سنگین می‌کند. هر رویداد شکل، شدت و زمان‌بندی خاص خود را دارد و اثرش با دیگر عوامل اقیانوسی و جوی ترکیب می‌شود.

تا ۹ ژوئیه ۲۰۲۶، NOAA اعلام کرده بود که ال‌نینو شکل گرفته و احتمالا تا پایان سال تقویت می‌شود؛ احتمال تداوم آن تا اوایل بهار ۲۰۲۷ نیز ۹۷ درصد برآورد شده بود. ال‌نینو معمولا دمای متوسط جهانی را بالا می‌برد و می‌تواند احتمال بارش شدید یا خشکسالی را در برخی مناطق تغییر دهد. بااین‌حال، شواهدی نداریم که آن را علت مستقیم موج گرمای اروپا یا فشار بالای ژوئن بدانیم. سازمان جهانی هواشناسی نیز تاکید کرده است که اثرهای معمول ال‌نینو عموما در مناطق دیگر جهان آشکارتر از اروپا هستند.

بنابراین ال‌نینو بخشی از پس‌زمینه گرم جهانی و عاملی مهم برای ماه‌های آینده است، نه توضیح اصلی توقف توده هوای گرم بر فراز اروپا. همچنین هنوز شواهد محکمی وجود ندارد که تغییر اقلیم فراوانی یا شدت خود ال‌نینو را افزایش داده باشد؛ اما جو و اقیانوس گرم‌تر می‌توانند پیامدهای آن را شدیدتر کنند.



سال ۲۰۲۶ از آغاز با رویدادهای حدی در چند قاره همراه بود. در ژانویه، دو موج گرما بخش‌های بزرگی از استرالیا را دربر گرفت و شهر سدونا به ۴۹/۵ درجه رسید. در شیلی، آتش‌سوزی‌های مرگ‌بار در بیوبیو و نیوبله ده‌ها هزار نفر را وادار به تخلیه کرد و دست‌کم ۲۱ قربانی بر جا گذاشت؛ در پاتاگونیا نیز گرما، خشکسالی و باد آتش‌ها را تقویت کردند. در همان ماه، باران‌های سنگین در جنوب آفریقا، به‌ویژه موزامبیک، سیلاب‌های ویرانگر ایجاد کرد.

در شرق آفریقا و جنوب‌شرقی آسیا، مساله همیشه به شکل یک موج کوتاه و رکوردشکن ظاهر نمی‌شود. میلیون‌ها نفر ماه‌ها در ترکیب دمای بالا و رطوبت شدید زندگی می‌کنند؛ گرمای مزمنی که ممکن است از آستانه هشدار رسمی عبور نکند، اما سلامت، توان کار، خواب و هزینه‌های زندگی را فرسوده می‌کند. ساکنان خانه‌های کم‌کیفیت، کارگران فضای باز و خانواده‌هایی که به آب یا سرمایش قابل‌اعتماد دسترسی ندارند، بیشترین بار را تحمل می‌کنند.

این رویدادها علت واحدی ندارند و نباید همه آن‌ها را مستقیما به ال‌نینو نسبت داد. اما در جهانی گرم‌تر، موج گرما، خشکسالی، آتش‌سوزی و بارش شدید می‌توانند روی بستری از دمای بالاتر اقیانوس و جو رخ دهند و به بحران‌های مرکب تبدیل شوند. چشم‌انداز فصلی سازمان جهانی هواشناسی برای ژوئیه تا سپتامبر نیز احتمال دمای بالاتر از معمول را در بخش بزرگی از شمال آفریقا، شبه‌جزیره عربستان، شبه‌قاره هند، شرق آسیا، غرب آمریکای شمالی، آمریکای مرکزی و جنوب آفریقا افزایش‌یافته نشان می‌دهد. این نقشه پیش‌بینی احتمالاتی است، نه فهرست قطعی حوادث آینده.

گرمایش زمین در پشت صحنه چه کرد؟

گروه «انتساب آب‌وهوای جهان» نتیجه گرفت که الگوی گردش جوی رویداد ژوئن با نمونه‌های تاریخی شباهت داشت، اما روی زمین گرم‌تری عمل می‌کرد. موجی مشابه در اقلیم سال ۱۹۷۶، در روز حدود ۳٫۵ درجه و در شب حدود ۲٫۴ درجه خنک‌تر می‌بود. حتی در اقلیم سال ۲۰۰۳، گرمای روزانه‌ای با این شدت حدود ده برابر نادرتر و شب‌های داغ بیش از صد برابر نادرتر از امروز بودند.

این تفاوت میان هوا و اقلیم است. پرفشار، باد جنوبی، آسمان صاف و خاک خشک علت‌های نزدیک رویداد بودند؛ اما گازهای گلخانه‌ای دمای پایه را بالا برده‌اند. اکنون همان الگوهای جوی قدیمی روی زمینی گرم‌تر و کنار اقیانوس‌هایی گرم‌تر عمل می‌کنند. اروپا در حدود پنجاه سال نزدیک به دو درجه گرم شده و سریع‌تر از هر قاره دیگری گرم می‌شود.

پژوهشگران برآورد کردند که در ۴۵ درصد شهرهای اروپایی، ترکیب دما، رطوبت، تابش و توان خنک‌شدن بدن از آستانه‌های تاریخی شاخص WBGT عبور کرده است. این شاخص یادآوری می‌کند که دمای هوا به‌تنهایی خطر را توضیح نمی‌دهد؛ بدن در هوای مرطوب و بدون باد ممکن است حتی در دمایی پایین‌تر نتواند با عرق‌کردن گرما را دفع کند.

سامانه پرفشار صحنه را چید؛ گرمایش زمین دمای صحنه را بالا برد.»

سازگاری یعنی آماده‌شدن پیش از رسیدن گرما

اروپا و دیگر مناطق جهان نمی‌توانند هر تابستان بیمارستان‌ها، مدارس و خانه‌ها را با راه‌حل‌های اضطراری اداره کنند. سازمان جهانی بهداشت در ژوئن ۲۰۲۶ راهنمای تازه‌ای برای برنامه‌های اقدام گرما و سلامت منتشر کرد که بر هشت جزء تاکید دارد: از هشدارهای محلی و ارتباط با گروه‌های آسیب‌پذیر تا آمادگی بیمارستان‌ها، هماهنگی میان نهادها و ارزیابی پس از رویداد.



سازگاری الزاما به معنای نصب بی‌حساب دستگاه‌های سرمایشی نیست. سایه‌بان و کرکره بیرونی، عایق‌کاری، سطوح بازتابنده، تهویه شبانه، درخت و فضای سبز، آب آشامیدنی عمومی، پناهگاه‌های خنک، تغییر ساعت کار و مدرسه، تماس منظم با سالمندان تنها و مقاوم‌سازی بیمارستان‌ها می‌توانند بخشی از خطر را کاهش دهند. سرمایش مکانیکی در فضاهای حیاتی ضروری است، اما باید با برق کم‌کربن، ساختمان کارآمد و دسترسی عادلانه همراه شود.

هشدار زودهنگام فقط وقتی مؤثر است که به اقدام مشخص منجر شود: چه کسی باید تماس بگیرد، کدام مدرسه تعطیل شود، کدام کارگر باید استراحت کند و کدام بخش بیمارستان باید خنک شود. سازگاری جای کاهش انتشار را نمی‌گیرد. هرچه جهان بیشتر گرم شود، پنجره امن برای کار در فضای باز، خنک‌کردن خانه‌ها و حفظ سلامت کوچک‌تر می‌شود.

اتاق انتظار خنک بیمارستان مانه در ژوئن ۲۰۲۶ برای چند ساعت پناهگاه بود. پرسش این است که آیا جهان می‌خواهد آینده را با انتقال موقت بیماران از یک اتاق داغ به اتاقی کمتر داغ اداره کند، یا پیش از موج بعدی، ساختمان‌ها، شهرها و نظام سلامت را برای اقلیمی که واقعا در آن زندگی می‌کنیم بازطراحی خواهد کرد.

اگر موج گرما رسید، چه کنیم؟

راهنمای فردی برای کاهش خطر در روزهای بسیار گرم

۱



آب کافی بنوشید

پیش از تشنه‌شدن آب بخورید. اگر پزشک محدودیت مایعات داده است، طبق دستور او عمل کنید.

۲



در گرم‌ترین ساعت‌ها بیرون نروید

تا حد ممکن فعالیت سنگین را به صبح زود یا غروب منتقل کنید.

۳



خانه را خنک نگه دارید

پرده و کرکره را ببندید، از تهویه شبانه استفاده کنید و اگر لازم است به فضای خنک عمومی بروید.

۴



لباس سبک و خنک

لباس روشن و گشاد بپوشید و در بیرون از کلاه و سایه استفاده کنید.

۵



به سالمندان و افراد آسیب‌پذیر سر بزنید

حال سالمندان، بیماران مزمن، کودکان خردسال و افراد تنها را مرتب بررسی کنید.

۶



دن را خنک کنید

دوش ولرم، پارچه خنک روی گردن و استراحت در مکان خنک می‌تواند کمک کند.

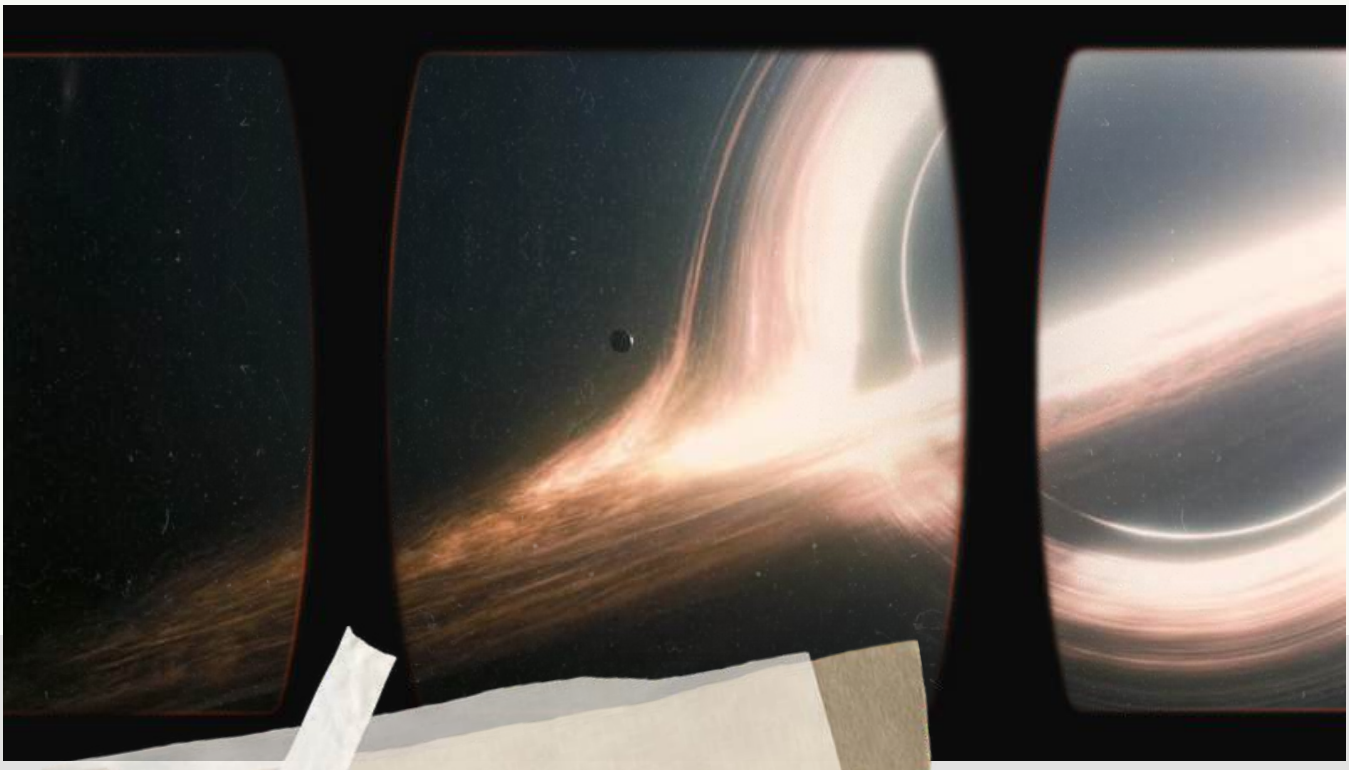
چه کارهایی را محدود کنیم؟



علائم خطر

- گیجی یا بی‌حالی شدید
- غش
- تب بالا یا پوست بسیار داغ
- تنگی نفس یا تشدید درد قفسه سینه
- قطع تعریق همراه با گرمای شدید بدن

در این موارد فوراً کمک پزشکی بگیرید.



هر تاریکی‌ای، سیاه‌چاله نیست: ماده تاریک یا سیاه‌چاله؟



دکتر آزاده فتاحی
دانشیار و عضوهیئت علمی
دانشکده فیزیک در دانشگاه استکهلم

خیلی وقت‌ها وقتی با مردم صحبت می‌کنم و حرف از «ماده تاریک» به میان می‌آید، نخستین واکنش آن‌ها چیزی در این مایه‌هاست: «آهان! همان سیاه‌چاله دیگر!» و طبیعتا باید پاسخ بدهم: «نه! این‌ها دو موجود متفاوت‌اند».
شاید تنها وجه مشترک میان این دو این باشد که هیچ‌کدام را مستقیما مشاهده نمی‌کنیم و فقط اثرات گرانشی آن‌ها را می‌بینیم؛ اما در واقع تفاوت‌های بسیار زیادی با یکدیگر دارند.
این‌جا می‌خواهم کمی درباره ماده تاریک و تفاوت آن با سیاه‌چاله‌ها برایتان بگویم؛ یا به بیان دیگر، توضیح بدهم که چرا ماده تاریک از سیاه‌چاله‌ها ساخته نشده است.
برای اینکه داستان را کامل تعریف کنم، اجازه بدهید از این‌جا شروع کنم که اصلا سیاه‌چاله‌ها چه موجوداتی هستند.

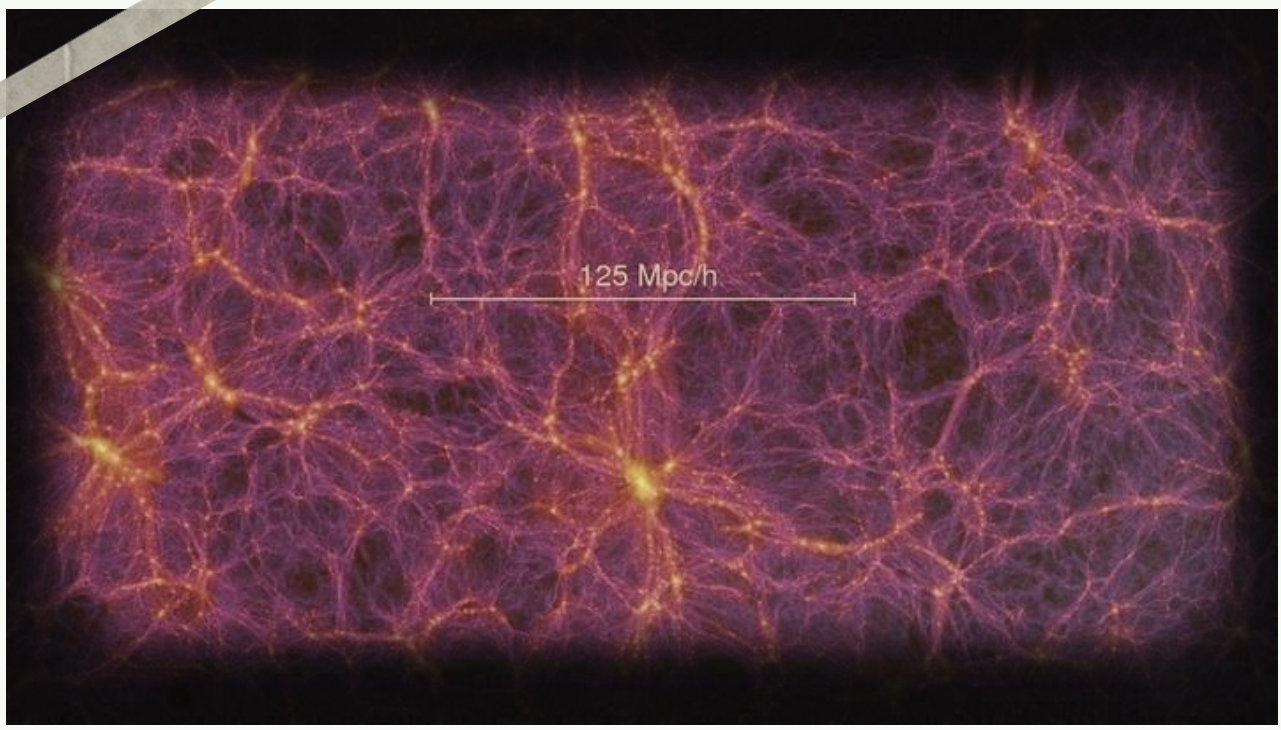
ماده تاریک و سیاه‌چاله؛ هر دو تاریک‌اند، اما این کجا و آن کجا

سیاه‌چاله‌ها اجرامی بسیار چگال‌اند؛ یعنی مقدار بسیار زیادی جرم در حجمی نسبتا کوچک متمرکز شده است. بر اساس نسبیت عام، در مرکز یک سیاه‌چاله ممکن است ناحیه‌ای موسوم به «تکینگی» وجود داشته باشد که چگالی آن، دست‌کم در توصیف‌های نظری، به بی‌نهایت می‌رسد.
سیاه‌چاله‌ها فضازمان پیرامون خود را چنان خمیده می‌کنند که مسیر پرتوهای نوری که از نزدیکی‌شان عبور می‌کنند نیز خم می‌شود. این پدیده را «عدسی گرانشی» می‌نامیم؛ پدیده‌ای که احتمالا بازسازی آن را در تصویر مشهور سیاه‌چاله فیلم «میان‌ستاره‌ای» دیده‌اید. اگر چیزی بیش از اندازه به یک سیاه‌چاله نزدیک شود و از مرزی به نام «افق رویداد» بگذرد، دیگر هیچ‌چیز، حتی نور، نمی‌تواند از آن بگریزد. به همین دلیل است که خود سیاه‌چاله نوری از خود گسیل نمی‌کند.
ما سیاه‌چاله‌ها را از طریق تاثیر گرانشی آن‌ها بر محیط پیرامونشان «مشاهده» می‌کنیم. در طبیعت، سیاه‌چاله‌های ستاره‌ای هنگام مرگ ستارگان پرجرم متولد می‌شوند. بنابراین، تعداد زیادی از آن‌ها در کهکشان‌ها وجود دارند.



در کنار این‌ها، سیاه‌چاله‌های اَبَرپُرجرم را هم داریم که در مرکز کهکشان‌ها یافت می‌شوند. جرم این سیاه‌چاله‌ها بسیار بیشتر از سیاه‌چاله‌هایی است که از مرگ ستارگان به وجود می‌آیند. سازوکار دقیق شکل‌گیری سیاه‌چاله‌های ابرپرجرم هنوز هم یکی از پرسش‌های باز اخترفیزیک است و پاسخ قطعی برای آن نداریم.

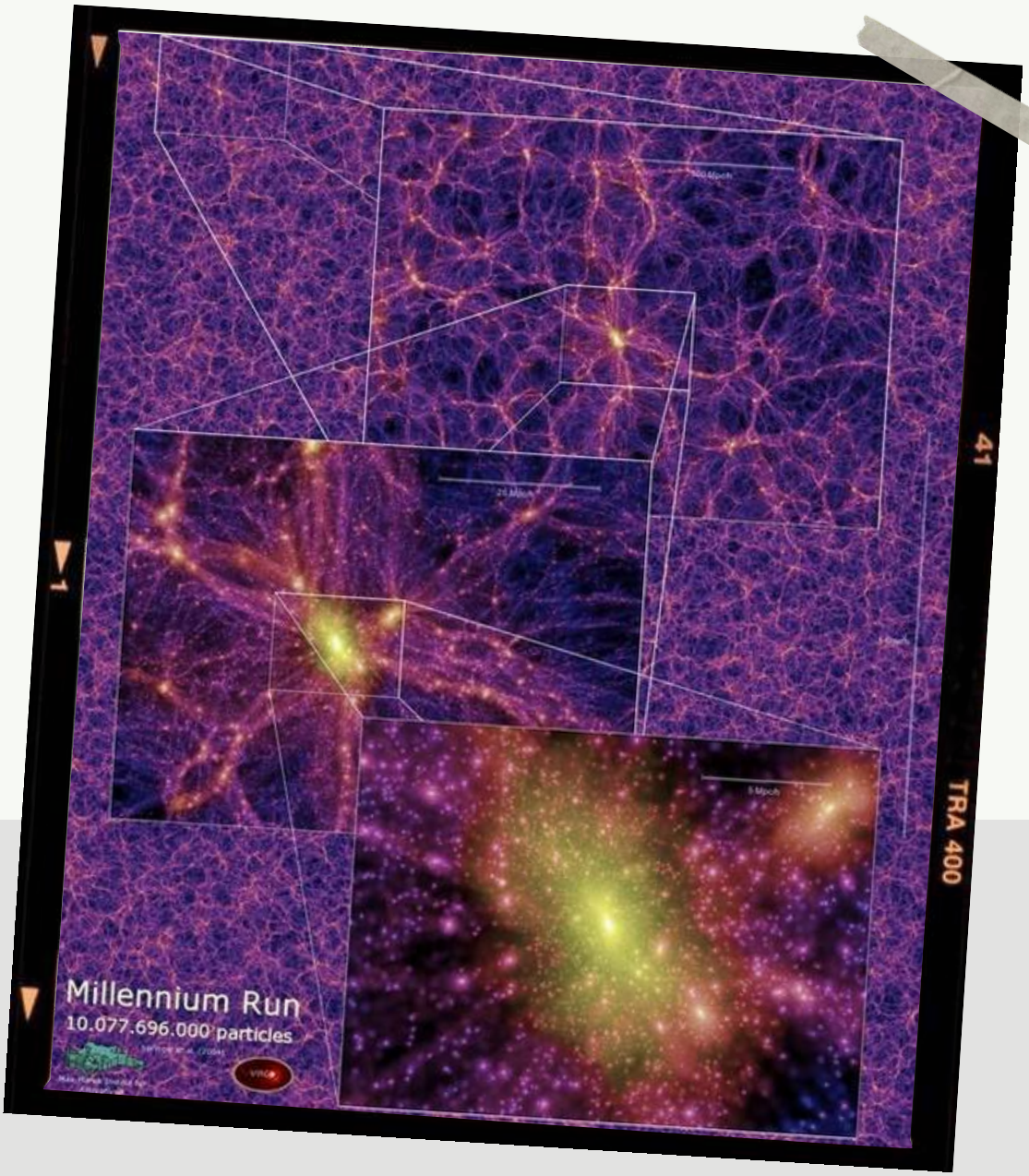
خب، حالا اجازه بدهید برگردم سراغ ماده تاریک.



داستان ماده تاریک از جایی شروع شد که متوجه شدیم جرم کهکشان‌ها، آن‌گونه که از حرکت ستارگان و دیگر اجزای آن‌ها، مانند ابرها و سحابی‌های گازی، اندازه‌گیری می‌شود، به‌طور چشمگیری بیشتر از جرم اجزای قابل مشاهده و درخشان آن‌هاست. به زبان ساده، به نظر می‌رسید ماده‌ای وجود دارد که دیده نمی‌شود، اما گرانش آن بر حرکت ستارگان و گازهای درون کهکشان اثر می‌گذارد.

افزون بر این، مشخص شد که این «ماده تاریک» فراتر از لبه‌های قابل مشاهده کهکشان‌ها نیز امتداد دارد. مشاهدات ورا روبین از کهکشان‌های نزدیک نقشی اساسی در تثبیت این واقعیت داشت.

این ماده را «تاریک» می‌نامیم، زیرا نوری گسیل نمی‌کند و در نتیجه نمی‌توانیم مستقیما آن را مشاهده کنیم؛ اما تاثیر گرانشی‌اش را در سراسر جهان می‌بینیم.



بعدها معلوم شد که جرم خوشه‌های کهکشانی و همچنین توزیع کهکشان‌ها در مقیاس‌های بزرگ‌تر کیهانی نیز به وجود همین ماده نادیدنی اشاره می‌کنند.

این ماده را «تاریک» می‌نامیم، زیرا نوری گسیل نمی‌کند و در نتیجه نمی‌توانیم مستقیما آن را مشاهده کنیم؛ اما تاثیر گرانشی‌اش را در سراسر جهان می‌بینیم. با گذشت زمان، مشاهدات بیشتر و مدل‌های نظری نشان داده‌اند مدلی از کیهان که در آن عالم ما تقریبا پنج برابر ماده معمولی، ماده تاریک داشته باشد، با مشاهدات ما سازگاری بسیار خوبی دارد. منظور از ماده معمولی همان ماده‌ای است که ستاره‌ها، سیاره‌ها، سحابی‌ها و موجودات زنده را ساخته است.

در اصل، ماده تاریک در سراسر جهان پراکنده است؛ البته نه به‌شکلی همگن و یکسان در همه‌جا، بلکه در قالب ساختاری پیچیده به نام «تار کیهانی». کهکشان‌ها و خوشه‌های کهکشانی در امتداد رشته‌ها و گره‌های این ساختار شکل گرفته‌اند و به‌نوعی مسیر آن را برای ما ترسیم می‌کنند.

«شواهد وجود ماده تاریک انکارناپذیرند، اما ماهیت آن همچنان یکی از بزرگ‌ترین رازهای کشف‌نشده فیزیک است.»

امروزه قوی‌ترین شواهد برای وجود ماده تاریک از همین مقیاس‌های بزرگ کیهانی به دست می‌آیند. در حال حاضر هیچ نظریه پذیرفته‌شده‌ای نداریم که بتواند همه این مشاهدات را، بدون وجود ماده تاریک، به‌طور کامل توضیح دهد.

در سال‌های نخست، یکی از نامزدهایی که برای توضیح این جرم گمشده پیشنهاد شد، اجرام فشرده و پرجرمی مانند سیاه‌چاله‌ها بودند. بالاخره سیاه‌چاله‌ها نوری گسیل نمی‌کنند، پس «تاریک» هستند، و اگر به اندازه کافی پرجرم و فراوان باشند، شاید جرم آن‌ها روی هم جمع شود و ماده تاریک گمشده را توضیح دهد.

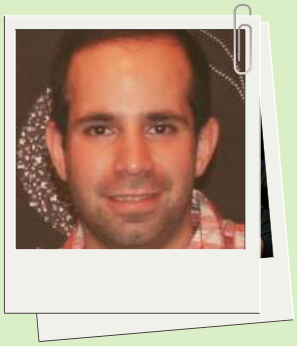
اما خیلی زود مشخص شد که چنین اجرام فشرده‌ای نور پیرامون خود را خم می‌کنند ـ همان اثر عدسی گرانشی ـ و اگر تعداد آن‌ها به اندازه‌ای بود که بخش عمده ماده تاریک را تشکیل دهند، باید آثار قابل تشخیصی در مشاهدات ما بر جای می‌گذاشتند.

جست‌وجوهای رصدی نشان دادند که سیاه‌چاله‌ها و دیگر اجرام فشرده مشابه نمی‌توانند تمام ماده تاریک جهان را تشکیل دهند.

گاهی دانشمندان از نوعی سیاه‌چاله نامتعارف به نام «سیاه‌چاله نخستین» به‌عنوان یکی از نامزدهای احتمالی ماده تاریک سخن می‌گویند. برخلاف سیاه‌چاله‌های اخترفیزیکی که از مرگ ستارگان به وجود می‌آیند، سیاه‌چاله‌های نخستین ممکن است در نخستین لحظات پس از مهبانگ و بر اثر نوسان‌های بسیار شدید چگالی در جهان آغازین شکل گرفته باشند. برخی از این سیاه‌چاله‌ها می‌توانندر مقیاس‌های زیر اتمی باشند.

با این حال، امروزه شناخته‌شده‌ترین نامزدهای ماده تاریک، ذرات بنیادی تازه‌ای هستند که هنوز آن‌ها را کشف نکرده‌ایم. فیزیک‌دانان ذرات، در کنار اخترفیزیک‌دانان و کیهان‌شناسان، به‌طور فعال در حال بررسی طیف گسترده‌ای از نامزدهای ذره‌ای احتمالی برای ماده تاریک‌اند. از مشاهدات نجومی نیز برای محدود کردن گزینه‌های ممکن استفاده می‌شود. پس تا زمانی که ماهیت واقعی ماده تاریک را کشف کنیم، شاید هنوز نتوانیم با اطمینان بگوییم ماده تاریک دقیقا چیست؛ اما می‌توانیم بگوییم شواهد بسیار قدرتمندی از وجود آن در عالم داریم و البته می‌دانیم که ماده تاریک و سیاه‌چاله یکی نیستند.





پاشا مجیدی
شیمی‌دان و مروج علم

جست‌وجوی حیات در سیارات فراخورشیدی

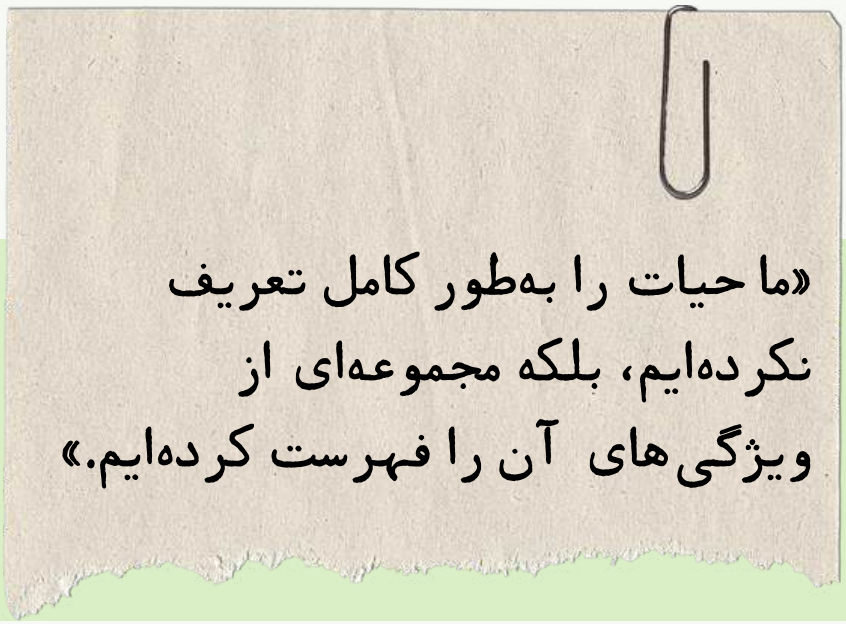
شاید هیچ پرسشی ساده‌تر از این نباشد که حیات چیست؟ اما این پرسش ساده، پاسخی قطعی و مورد اجماع عمومی ندارد. با وجود این، تلاش انسان برای یافتن نشانه‌های حیات، نه در زمین که در دنیاهای دوردست، همچنان ادامه دارد. اما علم چطور در چنین جهان‌های دوردستی به جست‌وجوی حیات می‌پردازد؟

تصور کنید در یک مهمانی حضور دارید و در گوشه‌ای یک شیمیدان، یک زیست‌شیمیدان، یک زیست‌شناس و یک فیزیک‌دان دور هم نشسته‌اند. به جمع آن‌ها می‌پیوندید و پرسشی ساده از این متخصصان می‌پرسید: تعریف حیات چیست؟

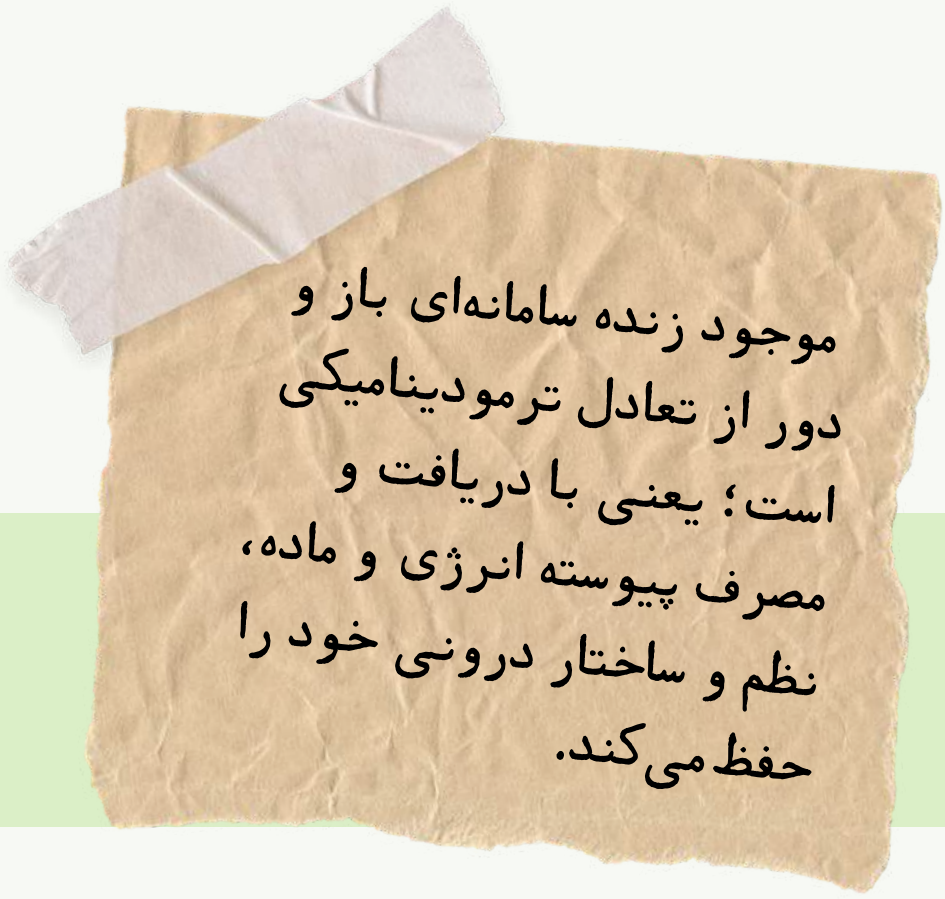
همین کافی است که جرقه بحثی پرشور و طولانی زده شود. پس از ساعت‌ها بحث و تبادل نظر، احتمالا آن‌ها همچنان بر سر تعریفی جامع از حیات به توافق نخواهند رسید؛ اما چنین مناظره‌ای احتمالا دستاورد دیگری خواهد داشت: به‌جای رسیدن به تعریفی جامع و مانع از حیات، آن‌ها بر سر فهرستی از ویژگی‌ها، کنش‌ها و برهم‌کنش‌هایی به توافق می‌رسند که اگر سامانه‌ای ـ بخوانید موجودی یا چیزی ـ آن‌ها را دارا باشد، می‌توان آن سامانه را زنده دانست.

برای نمونه، بر اساس یکی از تعریف‌های کاری رایج، حیات را می‌توان سامانه‌ای شیمیایی و خودپایدار تصور کرد که توانایی تکامل داروینی را دارد. سوخت‌وساز، حفظ سازمان درونی، واکنش به محیط و توانایی تولیدمثل در سطح جمعیت نیز از جمله ویژگی‌هایی هستند که معمولا در توصیف حیات از آن‌ها یاد می‌شود. البته تکامل داروینی ویژگی یک موجود منفرد نیست، بلکه در جمعیت‌ها و در طول نسل‌های پی‌درپی رخ می‌دهد.

اگر به این تعریف با دقت نگاه کنیم درمی‌یابیم که ما در حقیقت حیات را هنوز به‌طور کامل تعریف نکرده‌ایم، بلکه مجموعه‌ای از ویژگی‌های آن را فهرست کرده‌ایم. این مسیری است که فعلا در جهان علم برای مواجهه با حیات می‌پیماییم؛ یعنی به‌جای ارائه تعریفی قطعی از حیات، ویژگی‌هایی را معرفی می‌کنیم که انتظار داریم سامانه‌های زنده از آن‌ها برخوردار باشند.



البته بر سر همین ویژگی‌ها نیز توافق جامعی وجود ندارد. برخی از دانشمندان به بعضی از مواردی که در تعریف نمونه بالا گفته شد نقد دارند و برخی دیگر معتقدند ویژگی‌های دیگری باید به آن افزوده شود. با این حال، برخی از این ویژگی‌ها تقریبا مورد توافق‌اند. برای مثال، یکی از ویژگی‌های بنیادین حیات این است که موجود زنده سامانه‌ای باز و دور از تعادل ترمودینامیکی است؛ یعنی با دریافت و مصرف پیوسته انرژی و ماده، نظم و ساختار درونی خود را حفظ می‌کند.



بدون اینکه وارد جزئیات این ویژگی شویم، باید به یاد داشته باشیم که این جمله به‌ظاهر ساده، نه‌تنها یکی از مفاهیم اساسی در توصیف حیات است، بلکه یکی از مهم‌ترین سرنخ‌هایی است که برای جست‌وجوی حیات در سیاره‌های دیگر نیز به کار می‌رود. البته دور بودن از تعادل به‌تنهایی نشانه حیات نیست؛ بسیاری از پدیده‌های غیرزنده، از آتش گرفته تا سامانه‌های جوی، نیز می‌توانند برای مدتی دور از تعادل باشند. آنچه اهمیت دارد، نوع، پایداری و پیچیدگی این عدم تعادل و امکان توضیح آن با فرایندهای غیرزیستی است.

اما با فرض اینکه این فهرست از ویژگی‌های حیات را در اختیار داشته باشیم، چطور می‌توانیم از آن برای جست‌وجوی حیات استفاده کنیم؟ آن هم در فاصله‌هایی بسیار دور که امکان فرستادن آزمایشگاه‌های رباتیک، اعزام فضانوردان یا نمونه‌برداری و بازگرداندن نمونه به زمین برای بررسی بیشتر را نداریم؟ چطور می‌توان از دل فاصله‌هایی در مقیاس چندین تا چند صد سال نوری یا حتی بیشتر، به جست‌وجوی حیات پرداخت؟

امروزه پژوهشگران و کارآگاهان علمی که به دنبال ردپای حیات در جهان‌های دور می‌گردند، به‌طور عمده از روش طیف‌سنجی برای جست‌وجوی زیست‌نشان‌ها استفاده می‌کنند. با کمک طیف‌سنجی، دانشمندان می‌توانند ترکیب شیمیایی جو سیارات فراخورشیدی را بررسی کنند و به دنبال موادی یا الگوهایی بگردند که ممکن است نشانه‌ای از حضور حیات باشند. این روش پنجره‌ای به سوی مطالعه جهان‌های قابل سکونت و جست‌وجوی حیات در فراسوی منظومه شمسی گشوده است.

مولکول‌های اثر انگشت

زیست‌نشان‌ها (BIOSIGNATURES) به نشانه‌های قابل‌اندازه‌گیری گفته می‌شود که ممکن است از حضور یا فعالیت موجودات زنده خبر دهند. این نشانه‌ها الزاما یک مولکول منفرد نیستند و می‌توانند شامل ترکیب چند گاز، نوعی عدم تعادل شیمیایی، نسبت‌های ایزوتوپی، تغییرات فصلی یا حتی ویژگی‌های بازتابی سطح یک سیاره باشند.

مولکول‌های اثر انگشت شیمیایی یا زیست‌نشان‌های مولکولی، یکی از مهم‌ترین انواع این نشانه‌ها هستند. این‌ها مولکول‌ها یا دسته‌ای از ترکیبات شیمیایی‌اند که فعالیت موجودات زنده می‌تواند یکی از راه‌های تولید آن‌ها باشد.

البته یک مولکول که آن را در رده زیست‌نشان‌ها طبقه‌بندی می‌کنیم، لازم نیست فقط و به‌شکل اختصاصی به‌وسیله فعالیت‌های زیستی تولید شود. در بسیاری از موارد، همان مولکول می‌تواند از مسیرهای غیرزیستی نیز به وجود آید. به همین دلیل، هیچ مولکولی را نباید جدا از شرایط سیاره، نوع ستاره، ترکیب کلی جو و دیگر شواهد بررسی کرد.

برای مثال، به شکل‌گیری دومین گاز فراوان در جو خشک زمین توجه کنیم. غلظت بالای اکسیژن در جو زمین تا اندازه زیادی مدیون فرایندهای زیستی و زمین‌شیمیایی است که تاریخی طولانی روی این سیاره دارند.

چیزی در حدود ۲٫۴ میلیارد سال پیش، سیاره ما شاهد رویدادی بود که به نام رویداد اکسیداسیون بزرگ (GREAT OXIDATION EVENT) شناخته می‌شود. در جریان این رویداد، غلظت اکسیژن در اتمسفر زمین به‌طور چشمگیری افزایش یافت. سیانوباکتری‌ها، یعنی گروهی از باکتری‌های فتوسنتزکننده که با استفاده از نور خورشید و شکستن مولکول‌های آب اکسیژن آزاد می‌کنند، نقشی اساسی در اکسیژن‌دار شدن جو زمین بازی کردند.

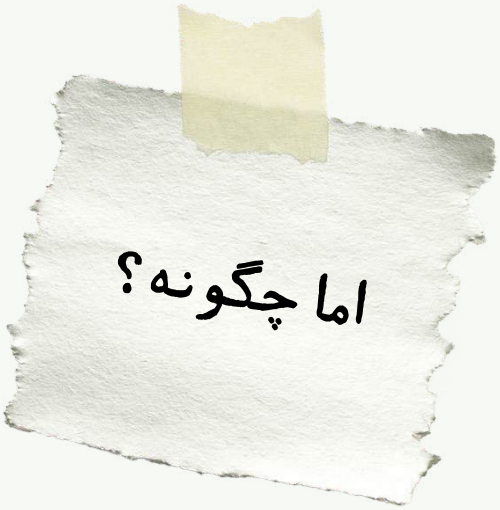
البته احتمالا فتوسنتز اکسیژن‌زا پیش از این رویداد نیز وجود داشته است. انباشته شدن اکسیژن در جو تنها به تولید آن وابسته نبود، بلکه به کاهش یا اشباع مخازنی نیز بستگی داشت که اکسیژن تازه تولیدشده را مصرف می‌کردند؛ از جمله مواد احیاشده موجود در اقیانوس‌ها، سنگ‌ها و گازهای آتشفشانی.

امروزه نیز اکسیژن آزاد عمدتا از طریق فتوسنتز اکسیژن‌زا در گیاهان، جلبک‌ها و سیانوباکتری‌ها تولید می‌شود. اما بدیهی است که اکسیژن می‌تواند از طریق فرایندهای شیمیایی غیرزیستی نیز به وجود آید. یکی از این فرایندها، شکافت مولکول‌های آب در لایه‌های بالایی اتمسفر به‌وسیله پرتوهای فرابنفش ستاره است. اگر هیدروژن حاصل از این فرایند بتواند از جو سیاره فرار کند، ممکن است اکسیژن باقی بماند و انباشته شود. شکافت نوری دی‌اکسید کربن نیز در برخی شرایط می‌تواند اکسیژن تولید کند.

بدین ترتیب، اکسیژن هم می‌تواند حاصل فعالیت‌های زیستی باشد و هم از مسیرهای غیرزیستی تولید شود. با این حال، غلظت بالا و پایدار اکسیژن در کنار ترکیباتی که انتظار می‌رود با آن واکنش دهند، ممکن است نشانه‌ای از یک منبع فعال و پیوسته باشد. همین موضوع اکسیژن را به یکی از مهم‌ترین زیست‌نشان‌های احتمالی بدل می‌کند؛ البته تنها زمانی که در زمینه کامل سیاره‌ای بررسی شود.

مثال جالب دیگر، پدیده‌ای است که به آن «لبه سرخ پوشش گیاهی» (RED VEGETATION EDGE) می‌گویند. این پدیده امروزه یکی از مهم‌ترین ابزارهای مطالعه و پایش سلامت جنگل‌ها و مراتع با استفاده از فناوری سنجش از دور به شمار می‌رود.

برای درک کامل این پدیده، گردشی جذاب را در میان جنگلی سرسبز تصور کنید؛ جایی که درختان و گیاهان با رنگ سبز خود چشم‌اندازی آرامش‌بخش و دل‌نشین پدید آورده‌اند. این منظره زیبا اما هم‌زمان یکی از جذاب‌ترین سرنخ‌هایی است که دانشمندان برای جست‌وجوی حیات در سیارات فراخورشیدی به آن توجه می‌کنند.



نور مرئی که چشم ما توان تشخیص آن را دارد، از طول موج‌های مختلفی تشکیل شده است. مغز ما هر یک از این طول موج‌ها را به‌شکل رنگ‌هایی مانند آبی، سبز و قرمز تفسیر می‌کند. مولکول کلروفیل که یکی از رنگدانه‌های اصلی گیاهان است، نور آبی و قرمز را به‌خوبی جذب می‌کند، اما بخش بیشتری از نور سبز را بازتاب می‌دهد. به همین دلیل، گیاهان و جنگل‌ها برای چشم ما سبز به نظر می‌رسند.

البته کارکرد اصلی این مولکول رنگ‌آمیزی جنگل نیست؛ کلروفیل با جذب فوتون‌های نور، انرژی لازم برای انجام فرایند فتوسنتز را فراهم می‌کند و نقشی اساسی در ادامه حیات روی زمین دارد.

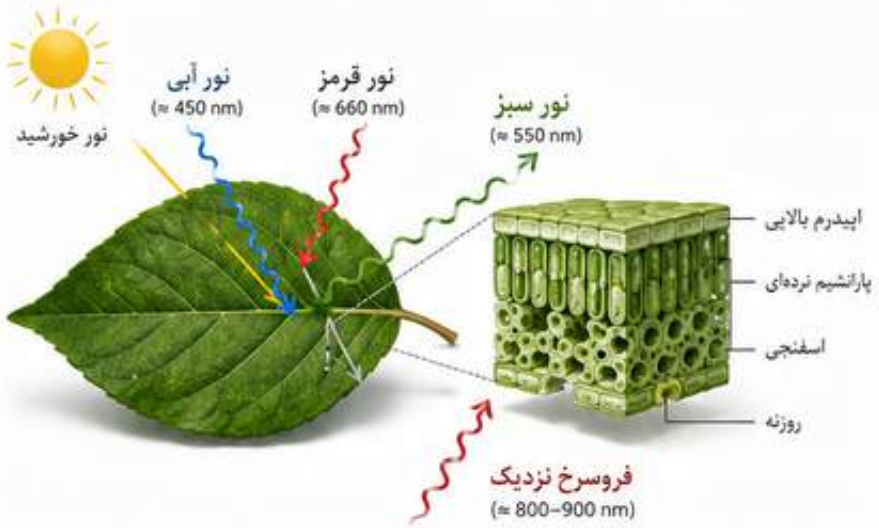
اما داستان به همین‌جا ختم نمی‌شود. رفتار برگ گیاهان در طول موج‌های بلندتر، یعنی فروسرخ نزدیک، کاملا تغییر می‌کند. پس از ناحیه قرمز طیف، جذب نور به‌وسیله رنگدانه‌های فتوسنتزی به‌شدت کاهش می‌یابد. افزون بر این، ساختار داخلی برگ و مرز میان سلول‌ها و فضاهای هوایی در بافت آن باعث می‌شود بخش بزرگی از نور فروسرخ نزدیک پراکنده شده و بازتاب داده شود. در نتیجه، درست پس از پایان ناحیه قرمز بخش مرئی طیف و در حوالی طول موج ۷۰۰ نانومتر، شدت بازتاب نور به‌طور ناگهانی افزایش می‌یابد. این تغییر شدید در منحنی بازتاب، همان پدیده‌ای است که به آن «لبه سرخ پوشش گیاهی» گفته می‌شود.

چشم انسان توانایی دیدن این بازتاب را ندارد، اما ماهواره‌های حساس به طیف فروسرخ می‌توانند آن را ثبت و اندازه‌گیری کنند. به همین دلیل، امروزه ماهواره‌های سنجش از دور با بهره‌گیری از همین ویژگی طیفی، سلامت جنگل‌ها، مراتع و دیگر پوشش‌های گیاهی را در مقیاس‌های بسیار گسترده بررسی می‌کنند.

لبه سرخ؛ جنگل در طول موجی که چشم نمی‌بیند!

یکی از سرنخ‌های جالب برای جست‌وجوی حیات، در فروسرخ نزدیک پنهان است.

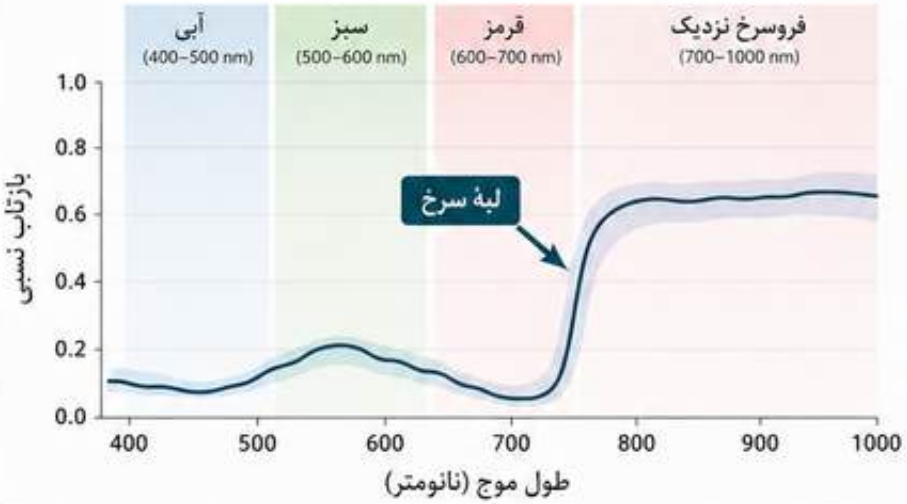
۱. چرا گیاهان سبز دیده می‌شوند؟



کلروفیل نور آبی و قرمز را بهتر جذب می‌کند.

در فروسرخ نزدیک، ساختار برگ بازتاب را به‌سرعت افزایش می‌دهد.

۲. طیف بازتاب برگ



چشم انسان این بخش از طیف را نمی‌بیند.

ماهواره‌ها و ابزارهای سنجش از دور از این ویژگی برای پایش پوشش گیاهی استفاده می‌کنند.

برای سیارات دیگر



اگر سطح یک سیاره دور پوشیده از موجودات فتوسنتزکننده باشد، شاید جهشی مشابه در طیف بازتاب آن دیده شود. اما چنین سیگنالی به تنهایی اثبات‌کننده حیات نیست.

از دیدگاه علوم سیاره‌ای، لبه سرخ پوشش گیاهی ممکن است نقش نوعی زیست‌نشان سطحی را نیز بازی کند. اگر در سطح یک سیاره فراخورشیدی موجوداتی فتوسنتزکننده با ویژگی‌هایی مشابه گیاهان زمینی وجود داشته باشند، ممکن است طیف بازتاب نور آن سیاره نیز جهشی مشابه در ناحیه‌ای از طیف نشان دهد.

البته لبه بازتابی موجودات فتوسنتزکننده فرازمینی الزاما نباید دقیقا در همان طول موج لبه سرخ گیاهان زمینی قرار داشته باشد. نوع ستاره، نوری که به سطح سیاره می‌رسد و رنگدانه‌هایی که موجودات احتمالی از آن‌ها استفاده می‌کنند، می‌توانند محل این جهش طیفی را تغییر دهند



آشکارسازی چنین سیگنالی به‌تنهایی اثبات‌کننده وجود حیات نخواهد بود، اما در کنار شواهدی مانند ترکیب شیمیایی جو و تغییرات فصلی سطح، می‌تواند نشانه‌ای مهم از احتمال وجود زیست‌کره‌ای فعال در آن جهان دوردست باشد.

البته تاکنون هیچ «لبه سرخ» معتبری در سیارات فراخورشیدی مشاهده نشده است. فاصله بسیار زیاد این اجرام، کوچک بودن سیاره نسبت به ستاره میزبان، وجود ابرها، سهم محدود پوشش گیاهی از سطح سیاره و محدودیت توان تفکیک تلسکوپ‌های امروزی، همگی تشخیص چنین سیگنال ظریفی را دشوار می‌کنند.

با این حال، اخترشناسان امیدوارند نسل آینده تلسکوپ‌های فضایی بتوانند روزی این اثر انگشت طیفی را نیز در دنیایی دوردست آشکار کنند؛ کشفی که می‌تواند یکی از هیجان‌انگیزترین گام‌ها در جست‌وجوی حیات فرازمینی باشد.

مثال پیچیده‌تر، نسبت غلظت کربن مونوکسید به کربن دی‌اکسید است؛ نسبتی که گاهی در بحث زیست‌نشان‌ها یا آثار احتمالی فناوری مطرح می‌شود، اما به‌خودی‌خود نه زیست‌نشان است و نه اثر انگشت قطعی یک تمدن.

در شیمی، بسیاری از مواد و ترکیبات توانایی واکنش با اکسیژن را دارند. اگر این واکنش با سرعت زیاد، همراه با آزاد شدن مقدار قابل‌توجهی انرژی به‌صورت گرما و معمولا نور انجام شود، به آن «سوختن» یا «احتراق» گفته می‌شود. برای مثال، زمانی که سوختی مانند بنزین در مجاورت اکسیژن و با رسیدن به دمای اشتعال می‌سوزد، فرایند احتراق روی می‌دهد. اگر اکسیژن به مقدار کافی در دسترس باشد، سوختن کامل رخ می‌دهد و محصولات اصلی آن دی‌اکسید کربن و بخار آب خواهند بود.

اما اگر اکسیژن کافی نباشد یا سوخت و اکسیژن به‌خوبی با یکدیگر مخلوط نشوند، احتراق ناقص رخ می‌دهد و در کنار بخار آب و دی‌اکسید کربن، کربن مونوکسید و دوده نیز تولید می‌شود.

بدیهی است که فرایند سوختن به‌طور طبیعی نیز در طبیعت رخ می‌دهد. برای نمونه، آتش‌سوزی‌های طبیعی جنگل‌ها که بر اثر صاعقه، خشکی شدید یا فعالیت‌های آتشفشانی روی می‌دهند، از دیرباز بخشی از چرخه طبیعی زمین بوده‌اند. این آتش‌سوزی‌ها همواره از منابع طبیعی تولید دی‌اکسید کربن و کربن مونوکسید بوده‌اند.

کربن مونوکسید همچنین می‌تواند از اکسید شدن متان و دیگر ترکیبات آلی در جو، فعالیت‌های آتشفشانی و برخی فرایندهای شیمیایی نوری تولید شود. از سوی دیگر، بعضی میکروارگانیسم‌ها می‌توانند آن را تولید یا مصرف کنند. بنابراین رفتار این گاز در یک جو سیاره‌ای به مجموعه‌ای از منابع و مخازن شیمیایی و زیستی وابسته است.

نشانه‌هایی که بر اثر فعالیت‌های فناورانه یک تمدن هوشمند در محیط سیاره ایجاد می‌شوند، «فناورانه‌نشان» نامیده می‌شوند.

با این حال، طول عمر کربن مونوکسید در جو زمین بسیار کوتاه‌تر از دی‌اکسید کربن است و معمولا در مقیاس چند هفته تا چند ماه با ترکیباتی مانند رادیکال هیدروکسیل واکنش می‌دهد. ازاین‌رو، کربن مونوکسید مانند دی‌اکسید کربن برای سده‌ها در جو انباشته نمی‌شود و غلظت آن حاصل تعادل میان منابع تولید و واکنش‌هایی است که آن را از جو حذف می‌کنند.

افزایش غیرعادی کربن مونوکسید در جو یک سیاره، اگر همراه با مجموعه‌ای از آلاینده‌های دیگر مشاهده شود و مسیرهای طبیعی تولید آن نیز بررسی و کنار گذاشته شوند، شاید بتواند سرنخی درباره فعالیت‌های فناورانه ارائه دهد. اما کربن مونوکسید یا نسبت بالای آن به دی‌اکسید کربن، به‌تنهایی اثر انگشت فناوری محسوب نمی‌شود. حتی ممکن است در جو سیاراتی بدون صنعت یا در سیاراتی دارای زیست‌کره نیز به مقدار زیاد انباشته شود.

به‌طور کلی، نشانه‌هایی که بر اثر فعالیت‌های فناورانه یک تمدن هوشمند در محیط سیاره ایجاد می‌شوند، «فناورانه‌نشان» (TECHNOSIGNATURE) نامیده می‌شوند. این نشانه‌ها الزاما مولکول نیستند و می‌توانند شامل امواج رادیویی مصنوعی، نورهای شبانه، گرمای اتلافی، سازه‌های بزرگ یا ترکیبات شیمیایی حاصل از صنعت باشند.

یکی از مولکول‌هایی که به‌عنوان یک فناورانه‌نشان احتمالی بررسی شده، دی‌اکسید نیتروژن یا NO_2 است. امروزه بخشی از این ترکیب در جو زمین بر اثر احتراق در وسایل نقلیه، نیروگاه‌ها و فرایندهای صنعتی تولید می‌شود.

با این حال، دی‌اکسید نیتروژن منابع طبیعی نیز دارد. آذرخش، آتش‌سوزی، فعالیت میکروبی خاک و فرایندهای شیمیایی جو می‌توانند اکسیدهای نیتروژن تولید کنند. از همین رو، تنها وجود NO_2 را نمی‌توان نشانه فناوری دانست؛ بلکه باید مقدار آن، شرایط ستاره و سیاره، دیگر ترکیبات جو و امکان تولید طبیعی آن را نیز بررسی کرد.

برخی ترکیبات مصنوعی مانند کلروفلوئوروکربن‌ها، هگزافلوئورید گوگرد یا تری‌فلورید نیتروژن نیز به‌عنوان فناورانه‌نشان‌های احتمالی پیشنهاد شده‌اند، زیرا منابع طبیعی شناخته‌شده آن‌ها بسیار محدودتر است. با این حال، آشکارسازی چنین موادی در فاصله‌های میان‌ستاره‌ای به حساسیتی بسیار بالا نیاز دارد.

جست‌وجوی این نوع فناورانه‌نشان‌ها هنوز در آغاز راه است و فناوری‌های کنونی تنها توانایی محدودی در آشکارسازی آن‌ها دارند. انتظار می‌رود توسعه نسل آینده تلسکوپ‌های فضایی، از جمله طرح رصدخانه جهان‌های زیست‌پذیر (HABITABLE WORLDS OBSERVATORY)، توانایی ما را برای مطالعه دقیق‌تر جو سیارات سنگی افزایش دهد.

البته این رصدخانه هنوز در مرحله طراحی مفهومی و توسعه فناوری قرار دارد و نوع و دامنه دقیق موادی که خواهد توانست شناسایی کند، به طراحی نهایی ابزارهای آن وابسته خواهد بود.

اما دانستن اینکه چنین ترکیباتی می‌توانند نشانه‌های اولیه‌ای از وجود احتمالی حیات یا فناوری ارائه دهند، یک داستان است و اینکه چطور آن‌ها را از فاصله چندین سال نوری شناسایی کنیم، داستانی دیگر.



یکی از جذاب‌ترین ابزارهای مورد استفاده در شاخه‌های متعدد علوم طبیعی، روشی به نام طیف‌سنجی (SPECTROSCOPY) است.

تاریخ آشنایی تجربی انسان با برخی پدیده‌های مربوط به برهم‌کنش نور و ماده بسیار طولانی است. انسان‌ها دلیل بروز این پدیده‌ها را نمی‌دانستند، اما وقوع آن‌ها را به تجربه دریافته بودند. کیمیاگران، صنعتگران و آتش‌کاران در فرهنگ‌های مختلف می‌دانستند که بعضی مواد هنگام قرار گرفتن در شعله، رنگ‌های متفاوتی ایجاد می‌کنند.

نمک طعام شعله را زردرنگ می‌کند، در حالی که برخی ترکیبات مس، مانند کربنات مس یا استات مس، می‌توانند شعله‌ای سبز یا سبزآبی ایجاد کنند. گوگرد نیز هنگام سوختن می‌تواند شعله‌ای آبی‌رنگ پدید آورد.



نقطه عطف شناخت علمی نور را باید در سال ۱۶۶۶ میلادی و آزمایش مشهور آیزاک نیوتن دانست. نیوتن نشان داد که نور سفید، برخلاف تصور رایج آن زمان، از مجموعه‌ای از رنگ‌های مختلف تشکیل شده است.

حدود یک قرن بعد، در سال ۱۷۵۲، توماس مِلویل (THOMAS MELVILL) نشان داد که نور حاصل از قرار دادن مواد مختلف در شعله، پس از عبور از منشور، الگوهای رنگی متفاوتی ایجاد می‌کند.

در سال ۱۸۱۴، جوزف فون فرانهوفر (JOSEPH VON FRAUNHOFER) با بررسی دقیق نور خورشید، صدها خط تاریک را در طیف خورشید شناسایی کرد؛ خطوطی که امروزه به نام «خطوط فرانهوفر» شناخته می‌شوند و بعدها نقش بسیار مهمی در شکل‌گیری علم طیف‌سنجی ایفا کردند.

تمام این دستاوردها زمینه را برای یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌های تاریخ شیمی فراهم کرد: ساخت ابزاری که با استفاده از ویژگی‌های طیف نور، ماهیت شیمیایی منبع آن را بررسی کند؛ طیف‌سنج.

در سال ۱۸۵۹، رابرت بونزن (ROBERT BUNSEN) و گوستاو کیرشهف (GUSTAV KIRCHHOFF) با توسعه یک طیف‌سنج عملی و کاربردی، امکان استفاده از طیف‌سنجی را به‌عنوان روشی دقیق برای شناسایی عناصر شیمیایی فراهم کردند. اگرچه پیش از آن نیز نمونه‌هایی از طیف‌سنج وجود داشت، دستگاه و روش بونزن و کیرشهف طیف‌سنجی را به ابزاری قدرتمند برای تجزیه شیمیایی تبدیل کرد.

در این دستگاه، نمونه مورد نظر در شعله گرم می‌شد تا اتم‌های آن برانگیخته شوند. اتم‌های برانگیخته هنگام بازگشت به ترازهای انرژی پایین‌تر، نور گسیل می‌کنند. سپس نور گسیل‌شده از نمونه، پس از عبور از عدسی و منشور، به‌صورت مجموعه‌ای از خطوط رنگی روی زمینه‌ای تاریک مشاهده می‌شد. آزمایشگر نیز با نگاه کردن از درون یک تلسکوپ کوچک، این خطوط رنگی را مشاهده و ثبت می‌کرد. امروزه چنین الگویی را طیف نشری (EMISSION SPECTRUM) می‌نامیم.

بونزن و کیرشهف به‌سرعت دریافتند که هر عنصر شیمیایی مجموعه‌ای ویژه از خطوط نشری دارد؛ به بیان دیگر، هر عنصر دارای طیف نشری مخصوص به خود است. برای مثال، خطوط نشری اتم سدیم با خطوط نشری کلسیم کاملا متفاوت‌اند.

همین ویژگی باعث شد دانشمندان بتوانند تنها با مشاهده طیف نشری یک نمونه، عناصر تشکیل‌دهنده آن را شناسایی کنند.

اهمیت این کشف تنها به شناسایی عناصر شناخته‌شده محدود نشد. بونزن و کیرشهف با استفاده از همین روش، در سال‌های ۱۸۶۰ و ۱۸۶۱ دو عنصر جدید سزیم و روبیدیم را کشف کردند؛ عناصری که پیش از آن شناخته نشده بودند.

کاربرد طیف‌سنجی به‌سرعت از آزمایشگاه‌های شیمی فراتر رفت. کیرشهف نشان داد که با مقایسه خطوط تاریک طیف خورشید با خطوط طیفی عناصر شناخته‌شده می‌توان ترکیب شیمیایی خورشید را بررسی کرد. به این ترتیب مشخص شد که در جو خورشید عناصری مانند آهن، سدیم، کلسیم، منیزیم و نیکل حضور دارند.

اندکی بعد، در سال ۱۸۶۸، پیر ژانسن (PIERRE JANSSEN) و نورمن لاکیر (NORMAN LOCKYER)، به‌طور مستقل، هنگام مطالعه طیف خورشید با خط طیفی ناشناخته‌ای روبه‌رو شدند که به هیچ عنصر شناخته‌شده‌ای تعلق نداشت. این عنصر بعدها «هلیم» نام گرفت.

ویژگی جالب این کشف آن بود که هلیم نخستین بار در خورشید شناسایی شد و حدود ۲۷ سال بعد، در سال ۱۸۹۵، ویلیام رمزی (WILLIAM RAMSAY) توانست وجود آن را روی زمین نیز به‌طور تجربی نشان دهد.

از آن زمان تاکنون، طیف‌سنجی به یکی از مهم‌ترین ابزارهای علوم طبیعی تبدیل شده است؛ ابزاری که نه‌تنها ترکیب شیمیایی مواد را آشکار می‌کند، بلکه اطلاعات ارزشمندی درباره ساختار مولکول‌ها، دما، فشار، حرکت ستارگان، سیارات و حتی دورترین کهکشان‌های جهان در اختیار ما قرار می‌دهد.

کیرشهف نشان داد که با مقایسه خطوط تاریک طیف خورشید با خطوط طیفی عناصر شناخته‌شده می‌توان ترکیب شیمیایی خورشید را بررسی کرد.

طیف‌سنج‌ها ابزارهایی کارآمدند، اما باید به یاد داشت ماده خامی که این ابزار به کمک آن اطلاعات شگفت‌انگیزی را برای ما آشکار می‌کند، نور یا به عبارت دقیق‌تر، تابش الکترومغناطیسی است.

نور مرئی تنها بخش کوچکی از طیف گسترده تابش الکترومغناطیسی است. اگر این طیف را بر اساس افزایش بسامد و انرژی مرتب کنیم، از امواج رادیویی به مایکروویو، فروسرخ، نور مرئی، فرابنفش، پرتو ایکس و در نهایت پرتو گاما می‌رسیم. هر یک از این نواحی طول موج و انرژی متفاوتی دارند و هنگام برهم‌کنش با ماده، رفتار متفاوتی از خود بروز می‌دهند.

به همین دلیل، طیف‌سنجی تنها به نور مرئی محدود نمی‌شود. بسته به اینکه از کدام ناحیه طیف الکترومغناطیسی استفاده شود، می‌توان ویژگی‌های متفاوتی از یک ماده را بررسی کرد.

چون آرایش الکترونی هر عنصر منحصربه‌فرد است، الگوی طیفی متفاوتی دارد؛ به‌همین دلیل، طیف نشری «اثر انگشت» عناصر شیمیایی است.

اگر اتم‌های یک عنصر بر اثر گرمایش یا دریافت انرژی برانگیخته شوند، هنگام بازگشت به حالت‌های کم‌انرژی‌تر، نور را در طول موج‌های مشخصی گسیل می‌کنند. مجموعه این طول موج‌های گسیل‌شده را طیف نشری آن عنصر می‌نامند.

از آنجا که آرایش الکترونی هر عنصر با عنصر دیگر متفاوت است، هر عنصر نیز الگوی طیفی ویژه خود را دارد. به همین دلیل، طیف نشری را می‌توان «اثر انگشت» عناصر شیمیایی دانست.

اما طیف نشری تنها یکی از روش‌هایی است که مواد شیمیایی با نور برهم‌کنش می‌کنند. روش مهم دیگر، جذب نور است و طیفی که از این فرایند به دست می‌آید، طیف جذبی (ABSORPTION SPECTRUM) نام دارد.

در طیف‌سنجی جذبی، ابتدا یک منبع نور سفید یا نوری با گستره‌ای از طول موج‌ها به سوی نمونه تابانده می‌شود. این نور هنگام عبور از ماده با اتم‌ها یا مولکول‌های آن برهم‌کنش می‌کند. بخشی از نور از ماده عبور می‌کند، اما طول موج‌های مشخصی به‌وسیله ماده جذب می‌شوند. بنابراین، نوری که در نهایت به آشکارساز می‌رسد، دیگر همان نور اولیه نیست.

آشکارساز، نور عبوری را به‌صورت یک طیف نمایش می‌دهد. اگر طیف نور عبوری را مشاهده کنیم، بیشتر آن به‌صورت نواری پیوسته دیده می‌شود، اما در میان آن خطوط یا نوارهایی تاریک وجود دارند. این بخش‌های تیره همان طول موج‌هایی هستند که ماده جذب کرده و در نتیجه شدت کمتری از آن‌ها به آشکارساز رسیده است.

برای مثال، فرض کنید نور سفید از میان ظرفی پر از گاز سدیم عبور کند. پس از عبور نور از گاز و سپس از یک منشور، طیف آن روی آشکارساز تشکیل می‌شود. این بار، به‌جای طیفی کاملا پیوسته، دو خط تیره در طول موج‌های مشخص دیده می‌شود. این دو خط نشان می‌دهند که اتم‌های سدیم دقیقا همان طول موج‌ها را جذب کرده‌اند. چنین طیفی را طیف جذبی و این روش را طیف‌سنجی جذبی می‌نامیم.

همان‌طور که هر عنصر طیف نشری ویژه خود را دارد، طیف جذبی آن نیز الگوی مشخصی دارد. در واقع، طیف‌های نشری و جذبی یک ماده به گذارهای انرژی یکسانی مربوط‌اند؛ طول موج‌هایی که یک اتم در شرایطی جذب می‌کند، می‌توانند در شرایط مناسب از همان اتم گسیل شوند.



در مولکول‌ها، علاوه بر ترازهای الکترونی، حرکت‌های ارتعاشی و چرخشی نیز وجود دارند. به همین دلیل، طیف مولکول‌ها معمولا به‌جای چند خط جدا، مجموعه‌های پیچیده‌تری از خطوط را تشکیل می‌دهد که اغلب به‌شکل نوارهای جذبی دیده می‌شوند.

یکی از نواحی طیف که برای شیمیدان‌ها جذابیت ویژه‌ای دارد، بخش فروسرخ است. برهم‌کنش نور فروسرخ با ماده برای شیمیدانان بسیار مهم است، زیرا اطلاعاتی درباره نوع پیوندهای شیمیایی، گروه‌های عاملی و نحوه ارتعاش اتم‌ها در یک مولکول در اختیار ما قرار می‌دهد.

برای مثال، پیوند میان اتم‌های اکسیژن و هیدروژن هم در مولکول آب، هم در اتانول و هم در متانول وجود دارد. با این حال، این مولکول‌ها افزون بر پیوند اکسیژن ـ هیدروژن، ساختارها و حالت‌های ارتعاشی دیگری نیز دارند. طیف‌سنجی فروسرخ به ما امکان می‌دهد با استفاده از مجموعه این ویژگی‌ها، این سه مولکول را از یکدیگر تفکیک کنیم؛ کاری که تنها با بررسی رنگ آن‌ها در ناحیه مرئی معمولا ممکن نیست.

چگونه ستاره‌شناسان جوّ یک سیاره فراخورشیدی را کشف می‌کنند؟

وقتی سیاره‌ای از برابر ستاره‌اش می‌گذرد، بخشی از نور ستاره از لبه جوّ آن عبور می‌کند. طیف‌سنجی این نور فیلترشده، ردّ مولکول‌های جوّ را آشکار می‌کند.

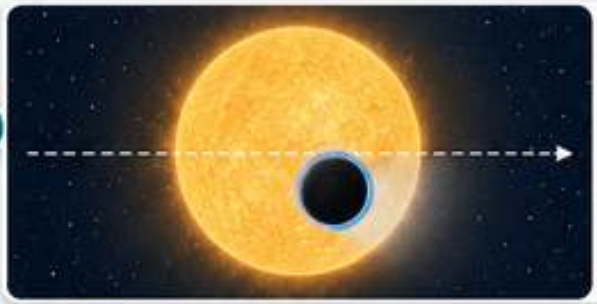
1



۱) پیش از گذر

نور ستاره ثبت می‌شود.

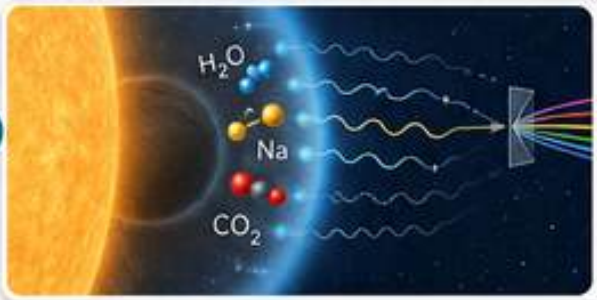
2



۲) هنگام گذر

بخشی از نور از لبه جوّ می‌گذرد.

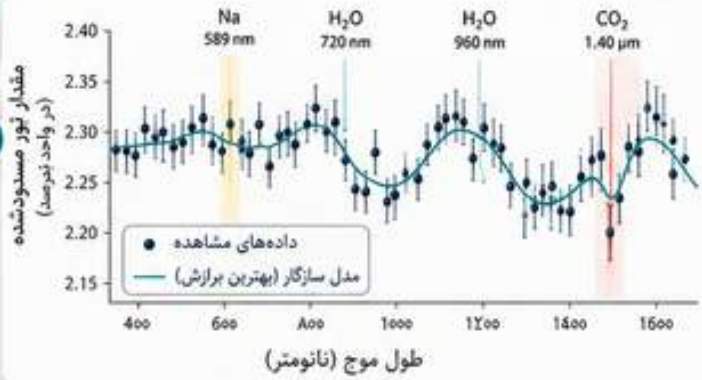
3



۳) جذب انتخابی

مولکول‌ها بعضی طول موج‌ها را بیشتر جذب می‌کنند.

4



۴) طیف انتقالی

تلسکوپ نام مولکول را نمی‌خواند؛ پژوهشگران مدلی را می‌یابند که با داده‌ها سازگارتر است.

گذر

عبور سیاره از برابر ستاره که باعث افت اندک نور می‌شود.

جو سیاره

لایه‌ای از گازها که اطراف سیاره را فرا گرفته است.

طیف‌سنجی

تفکیک نور به طول‌موج‌های مختلف برای سنجش جذب مولکول‌ها.

مدل

محاسبات نظری از جو سیاره که با داده‌های مشاهده مقایسه می‌شود.

به همین دلیل، دستگاه‌های طیف‌سنجی فروسرخ امروزه در آزمایشگاه‌های شیمی، صنایع داروسازی، صنایع غذایی، صنایع پلیمر، علوم محیط زیست، پزشکی قانونی و بسیاری از شاخه‌های پژوهشی کاربرد گسترده‌ای دارند.

اهمیت طیف‌سنجی فروسرخ تنها به زمین محدود نمی‌شود. در اخترشناسی و علوم سیاره‌ای نیز این روش یکی از مهم‌ترین ابزارهای مطالعه سیارات و قمرهای منظومه شمسی و همچنین سیارات فراخورشیدی است.

بسیاری از مولکول‌های مهم، از جمله بخار آب، دی‌اکسید کربن، متان، آمونیاک، کربن مونوکسید و دی‌اکسید گوگرد، ویژگی‌های جذبی مهمی در ناحیه فروسرخ دارند. ازاین‌رو، بررسی این ناحیه از طیف می‌تواند اطلاعات ارزشمندی درباره ترکیب شیمیایی جو سیارات در اختیار ما قرار دهد.

در مقابل، طیف‌سنجی در ناحیه مرئی و فرابنفش نیز اطلاعات مهمی درباره عناصر و برخی مولکول‌ها ارائه می‌کند. برای مثال، خطوط جذبی یا نشری عناصری مانند سدیم، کلسیم و پتاسیم در بخش‌هایی از ناحیه مرئی قرار دارند و از طریق آن‌ها می‌توان حضور این عناصر را در جو ستارگان یا برخی سیارات شناسایی کرد.



فرض کنید ستاره‌ای شبیه خورشید در فاصله ۲۰ سال نوری از زمین قرار دارد. در شرایطی ایده‌آل، نور این ستاره به دو تلسکوپ فضایی هابل و جیمز وب می‌رسد. هابل می‌تواند بخش‌هایی از نور فرابنفش، مرئی و فروسرخ نزدیک را بررسی کند، در حالی که جیمز وب از بخش قرمز نور مرئی تا فروسرخ نزدیک و میانی حساس است. حالا اگر بخت یار ما باشد و سیاره‌ای هنگام گردش به دور این ستاره درست از مقابل آن عبور کند، بخشی از نور ستاره به‌وسیله قرص سیاره مسدود می‌شود و در نتیجه روشنایی ستاره برای مدت کوتاهی کاهش می‌یابد؛ پدیده‌ای که از نظر هندسی شبیه یک خورشیدگرفتگی بسیار کوچک است. هنگامی که نور ستاره از لبه اتمسفر سیاره در حال گذر عبور می‌کند، مولکول‌های موجود در جو سیاره بعضی طول موج‌ها را بیش از طول موج‌های دیگر جذب می‌کنند. در طول موج‌هایی که جذب بیشتری رخ می‌دهد، اتمسفر کدرتر می‌شود و سیاره اندکی بزرگ‌تر از اندازه واقعی خود به نظر می‌رسد. در نتیجه، عمق گذر سیاره در آن طول موج‌ها اندکی افزایش می‌یابد.

اخترشناسان با اندازه‌گیری تغییر عمق گذر در طول موج‌های مختلف، طیف انتقالی اتمسفر سیاره را به دست می‌آورند. این طیف معمولا نه به‌شکل چند خط سیاه ساده، بلکه به‌صورت تغییرات بسیار کوچک در مقدار نور مسدودشده بر حسب طول موج نمایش داده می‌شود. فرض کنید اتمسفر سیاره مورد نظر حاوی بخار آب، دی‌اکسید کربن، کربن مونوکسید، سدیم و دی‌اکسید گوگرد باشد. بسته به مقدار این مواد، دمای جو، وجود ابرها و محدوده طول موج ابزار، هر یک از این ترکیبات ممکن است ویژگی‌هایی در طیف ایجاد کند.

هابل ممکن است برخی ویژگی‌های بخار آب را در فروسرخ نزدیک یا خطوط سدیم را در طول موج‌های کوتاه‌تر بررسی کند. جیمز وب، با پوشش گسترده‌تر فروسرخ، می‌تواند به ویژگی‌های بخار آب، دی‌اکسید کربن، کربن مونوکسید، متان و دی‌اکسید گوگرد حساس باشد. البته هیچ تضمینی وجود ندارد که همه این مواد در یک رصد مشخص قابل تشخیص باشند؛ توانایی شناسایی هر مولکول به شدت سیگنال، ابزار مورد استفاده و کیفیت داده‌ها بستگی دارد.

به همین دلیل، داده‌های تلسکوپ‌های مختلف می‌توانند یکدیگر را کامل کنند و تصویر دقیق‌تری از ترکیب شیمیایی جو سیاره در اختیار اخترشناسان قرار دهند.

در نهایت، با توجه به نوع ستاره، نوع سیاره، فاصله سیاره از ستاره و دمای ستاره و سیاره، باید ببینیم چه فرایندهایی می‌توانند عامل وجود هر گاز باشند. برای مثال، اگر سیاره‌ای سنگی باشد، آیا فوران‌های آتشفشانی باعث وجود دی‌اکسید گوگرد در اتمسفر آن شده‌اند یا پدیده‌های دیگری عامل به وجود آمدن این گاز هستند؟

در میدان عمل: پرونده K2-18B

در آوریل سال ۲۰۲۵، گروهی از اخترشناسان دانشگاه کمبریج اعلام کردند که داده‌های تلسکوپ فضایی جیمز وب با احتمال وجود دو گاز دی‌متیل سولفید (DMS) و دی‌متیل دی‌سولفید (DMDS) در اتمسفر سیاره فراخورشیدی K2-18B سازگار است.

این نتیجه بر اساس رصدهای ابزار فروسرخ میانی جیمز وب، یعنی MIRI، به دست آمده بود. در چارچوب مدل‌هایی که این گروه بررسی کرده بود، حضور DMS یا DMDS نسبت به برخی مدل‌های جایگزین ترجیح آماری در حدود سه سیگما داشت. با این حال، داده‌ها نمی‌توانستند مشخص کنند که کدام‌یک از این دو مولکول عامل احتمالی ویژگی طیفی مشاهده‌شده است و پژوهشگران نیز تاکید کردند که رصدهای بیشتری لازم است.

این سیاره که به دور ستاره‌ای کوچک‌تر و سردتر از خورشید، یعنی یک کوتوله سرخ، می‌گردد، از زمین بزرگ‌تر و از نپتون کوچک‌تر است و در دسته‌ای از سیارات فراخورشیدی قرار می‌گیرد که به آن‌ها زیرنپتونی‌ها (SUB-NEPTUNES) می‌گوییم و در محدوده‌ای از فاصله نسبت به ستاره مادر قرار دارد که اصطلاحا کمربند حیات (HABITABLE ZONE) نامیده می‌شود.

کمربند حیات، بسته به ویژگی‌های هر ستاره، محدوده‌ای از فاصله است که در آن میزان انرژی دریافتی از ستاره می‌تواند، در صورت وجود فشار و اتمسفر مناسب، اجازه دهد آب روی سطح یک سیاره سنگی به حالت مایع باقی بماند. برای ستاره‌ای مانند خورشید، زمین در این محدوده قرار دارد و مریخ نیز در نزدیکی لبه بیرونی آن واقع شده است.

البته باید توجه داشت که مفهوم کمربند حیات، اگرچه ابزاری جذاب در جست‌وجوی حیات فرازمینی است، می‌تواند گمراه‌کننده باشد. قرار داشتن یک سیاره در کمربند حیات به‌تنهایی نشان نمی‌دهد که آن سیاره سطحی جامد، اقیانوس، اتمسفری مناسب یا حیات دارد. در مورد سیاره‌ای مانند K2-18B حتی معلوم نیست که چیزی شبیه یک سطح قابل سکونت در زیر جو ضخیم آن وجود داشته باشد.

رصدهای تلسکوپ فضایی هابل در سال ۲۰۱۹ ویژگی‌ای در طیف فروسرخ نزدیک K2-18B نشان داده بودند که در ابتدا به بخار آب نسبت داده شد. با این حال، داده‌های دقیق‌تر جیمز وب نشان دادند که بخشی از این ویژگی ممکن است با جذب متان توضیح داده شود.

بررسی‌های جیمز وب وجود متان را در جو این سیاره با اطمینان بیشتری نشان داده‌اند. برخی تحلیل‌ها همچنین از حضور دی‌اکسید کربن و کمبود آمونیاک خبر داده‌اند، اما تحلیل‌های مستقل بعدی درباره میزان قطعیت شناسایی دی‌اکسید کربن و برخی مولکول‌های کم‌فراوان‌تر به نتایج متفاوتی رسیده‌اند.

هنوز هیچ نمونه‌ای از یک «جهان هایسین» به‌طور قطعی شناسایی نشده است.

چگالی پایین این سیاره نشان می‌دهد که احتمالا پوششی ضخیم از گازهای سبک، از جمله هیدروژن، دارد. یکی از تفسیرهای پیشنهادی این است که K2-18B ممکن است اتمسفری غنی از هیدروژن بر فراز اقیانوسی گسترده از آب مایع داشته باشد.

به چنین سیارات فرضی، جهان‌های هایسین (HYCEAN WORLDS) گفته می‌شود؛ نامی که از ترکیب دو واژه هیدروژن و اقیانوس ساخته شده است. این سیارات احتمالا دارای اتمسفری غنی از هیدروژن و اقیانوسی جهانی در زیر آن هستند.

اگرچه وجود چنین سیاراتی از نظر نظری مطرح شده است، هنوز هیچ نمونه‌ای از یک جهان هایسین به‌طور قطعی شناسایی نشده است. میان دانشمندان نیز درباره اینکه آیا K2-18B واقعا یک سیاره هایسین است یا یک زیرنپتون گازغنی بدون اقیانوسی قابل سکونت، اختلاف نظر جدی وجود دارد.

گزارش احتمال وجود دی‌متیل سولفید و دی‌متیل دی‌سولفید در جو این سیاره، K2-18B را به یکی از خبرسازترین سیارات فراخورشیدی تبدیل کرد. دلیل اهمیت موضوع این است که بخش بزرگی از DMS موجود در زمین به‌وسیله موجودات زنده، به‌ویژه میکروارگانیسم‌ها و فیتوپلانکتون‌های اقیانوسی، تولید می‌شود. DMDS نیز می‌تواند با فرایندهای زیستی و تجزیه ترکیبات آلی ارتباط داشته باشد.

از یک مولکول تا ادعای حیات

۱

۱. آیا سیگنال واقعی است؟

باید مطمئن شویم داده از نویز یا خطای ابزار نیامده است.

۲

۲. آیا از ستاره یا ابزار نیست؟

تغییرات ستاره و رفتار آشکارساز می‌توانند سیگنال را تقلید کنند.

۳

۳. کدام مولکول؟

چند مولکول می‌توانند طیفی شبیه هم بسازند.

۴

۴. آیا توضیح غیرزیستی وجود دارد؟

آتش‌فشان‌ها، نور ستاره یا شیمی جو ممکن است همان ماده را بسازند.

۵

۵. آیا محیط سیاره زیست‌پذیر است؟

نوع سیاره، دما، فشار و ترکیب جو اهمیت دارند.

۶

۶. آیا تحلیل مستقل آن را تکرار می‌کند؟

نتیجه باید در پردازش‌ها و مدل‌های مختلف پایدار بماند.

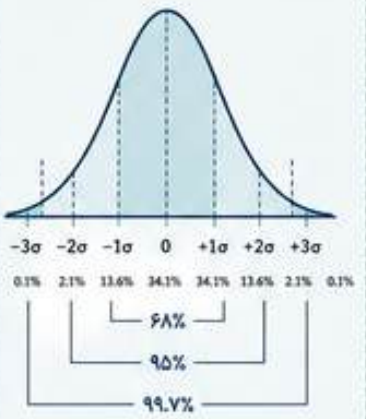
۷

۷. آیا پرونده شواهد نیرومند است؟

تنها با چند شاهد مستقل می‌توان از منشا زیستی سخن گفت.

سیگما چیست؟

سیگما یا انحراف معیار، معیاری برای پراکندگی داده‌هاست.



سه سیگما یعنی چنین انحرافی در شرایط آماری ایدئال کم‌احتمال است؛ نه اینکه وجود حیات ثابت شده باشد.

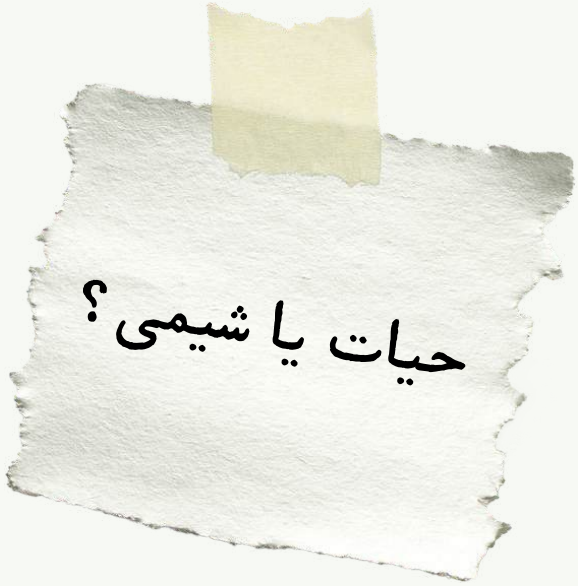
σ

نتیجه: یک مولکولِ جالب، آغاز داستان علمی است؛ نه پایان آن.

به همین دلیل، این دو مولکول به‌عنوان زیست‌نشان‌های بالقوه مورد توجه قرار گرفته‌اند. با این حال، «زیست‌نشان بالقوه» به معنی مولکولی نیست که فقط حیات بتواند آن را تولید کند.

پس از انتشار ادعای اولیه، گروه‌های مستقل داده‌های جیمز وب را با روش‌های دیگری بررسی کردند. برخی از این تحلیل‌ها نشان دادند که نتیجه به شیوه کاهش داده‌ها، نحوه دسته‌بندی طول موج‌ها و ترکیباتی که پژوهشگران اجازه می‌دهند در مدل اتمسفر حضور داشته باشند، بسیار حساس است.

هنگامی که تعداد بیشتری از مولکول‌های ممکن در مدل‌ها وارد شدند، ترکیبات دیگری، از جمله بعضی هیدروکربن‌ها و مولکول‌های گوگرددار، توانستند داده‌ها را به همان اندازه یا حتی بهتر توضیح دهند. تحلیل مشترک داده‌های ابزارهای NIRSPEC، NIRISS و MIRI نیز شواهد آماری کافی و پایداری برای حضور DMS یا DMDS پیدا نکرد.



بنابراین، تا امروز نمی‌توان گفت که دی‌متیل سولفید یا دی‌متیل دی‌سولفید در جو K2-18B با اطمینان شناسایی شده‌اند. آنچه وجود دارد، تفسیری اولیه و بحث‌برانگیز از مجموعه‌ای از داده‌های دشوار و کم‌سیگنال است که تحلیل‌های مستقل بعدی آن را تایید نکرده‌اند.

البته این موضوع به معنی بی‌اهمیت بودن رصدها نیست. همین اختلاف‌نظر نشان می‌دهد که شناسایی مولکول‌های کم‌فراوان در جو سیارات فراخورشیدی تا چه اندازه دشوار است و چگونه انتخاب مدل می‌تواند بر نتیجه نهایی اثر بگذارد.

اگر وجود این مولکول‌ها در رصدهای آینده و با داده‌های مستقل تایید شود، با کشفی بسیار مهم روبه‌رو خواهیم بود؛ زیرا برای نخستین بار ممکن است مولکول‌هایی را در جو یک سیاره دیگر با اطمینان شناسایی کنیم که روی زمین ارتباط نزدیکی با فعالیت‌های زیستی دارند.

با این حال، حتی در آن صورت نیز یک اصل مهم در علم پابرجا خواهد ماند: وجود یک مولکول زیست‌نشان الزاما به معنی کشف حیات نیست.

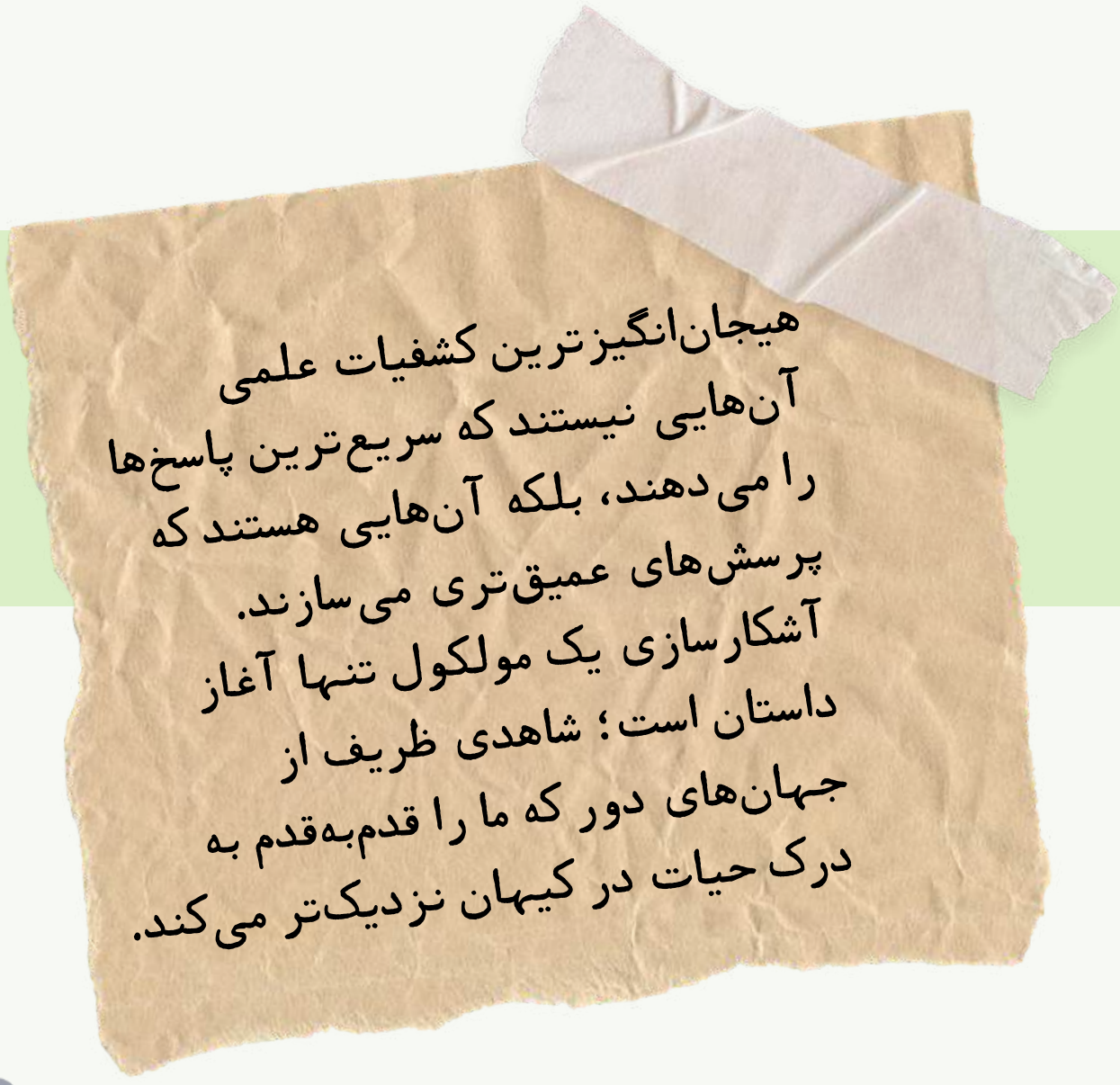
طبیعت بارها نشان داده است که فرایندهای غیرزیستی نیز می‌توانند مولکول‌هایی تولید کنند که ما آن‌ها را معمولا با حیات مرتبط می‌دانیم. به همین دلیل، دانشمندان باید تمام مسیرهای شیمیایی ممکن را بررسی کنند.

برای مثال، از دید یک شیمیدان شکاک ـ با فرض اینکه وجود این دو مولکول در آینده بارها تایید شود ـ حضور متان و ترکیبات گوگردی در یک اتمسفر غنی از هیدروژن، همراه با تابش‌های پرانرژی و ذرات بارداری که از ستاره مادر به سوی سیاره گسیل می‌شوند، ممکن است مسیرهایی شیمیایی برای تولید ترکیبات آلی گوگرددار ایجاد کند.

در حال حاضر، شیمی DMS و DMDS در شرایط متفاوت از زمین، به‌ویژه در جوهای غنی از هیدروژن، به‌اندازه کافی شناخته نشده است. بنابراین حتی پس از تایید خود مولکول‌ها نیز نمی‌توان منشا غیرزیستی آن‌ها را بدون بررسی‌های آزمایشگاهی، مدل‌سازی شیمیایی و شناخت بهتر محیط سیاره کنار گذاشت.

در نهایت، شاید مهم‌ترین درس داستان K2-18B نه فقط احتمال یافتن حیات در سیاره‌ای دوردست، بلکه یادآوری یک اصل بنیادی در علم باشد: هیجان‌انگیزترین کشفیات علمی آن‌هایی نیستند که سریع‌ترین پاسخ‌ها را به ما می‌دهند، بلکه آن‌هایی هستند که پرسش‌های عمیق‌تری ایجاد می‌کنند.

کشف احتمالی یک مولکول اثر انگشت در اتمسفر یک سیاره فراخورشیدی، آغاز یک داستان علمی است، نه پایان آن. تنها با تکرار رصدها، تحلیل مستقل داده‌ها، بررسی تمام فرایندهای شیمیایی ممکن و ترکیب داده‌های چندین نسل از تلسکوپ‌هاست که می‌توانیم به یکی از بزرگ‌ترین پرسش‌های بشر نزدیک شویم: آیا ما در جهان تنها هستیم؟







الهام غفارزاده
مدیر نوآوری و
توسعه‌دهنده رسانه

سفر به لبه تاریکی
معرفی کتاب سیاه‌چاله؛ راهنمای بقا

به عنوان آدمی که از وقتی به خاطر می‌آورد رُمان و ادبیات داستانی جزو مهمی از زندگی‌اش بوده، اگر بگویم در مهاجرت‌های پی‌درپی این چند ساله‌ام چه کتابی همیشه همراهم بوده شاید تعجب کنید. اما برای من که از کودکی مبهوت آسمان شب و ستاره‌ها بودم، کتاب «سیاه‌چاله راهنمای بقا» کتاب مهمی است. نه فقط به خاطر اینکه به نجوم و اخترفیزیک علاقه دارم بلکه به خاطر پرسش مهمی است که خیلی از ما بارها از خود پرسیده‌ایم: «آیا جهان سرانجام درون یک سیاه‌چاله کشیده خواهد شد؟»

اولین بار که این کتاب را خواندم در پروازی از تهران به استانبول می‌رفتم و حالا که پس از سال‌ها برای دومین بار می‌خوانمش در پروازی از لندن به بوداپست می‌روم. وقتی هواپیما اوج می‌گیرد و در تقلای فائق آمدن بر گرانش است و من تهِ دلم خالی می‌شود همان فکر همیشگی سراغم می‌آید، که اگر در نزدیکی سیاه‌چاله باشیم چه چیزی حس خواهیم کرد؟ تجربه دکتر کوپر در فیلم میان‌ستاره‌ای را به خاطر می‌آورم و شروع به خواندن کتاب می‌کنم.

فصل اول اینطور شروع می‌شود: «سیاه‌چاله‌ها هیچ‌اند.» اما آیا اگر در نزدیکی‌اش باشیم هم همین «هیچ» خواهند بود؟ می‌دانیم که قطعا نه. اما توضیحش سخت است.
نویسنده کتاب برای پاسخ دادن به این سوال برنامه‌ریزی کرده است: «قصد دارم بر درک شما از سیاه‌چاله‌ها اثر بگذارم، از پوسته آن‌ها دورِتان کنم و به تیرگی آن‌ها نزدیک‌ترتان کنم و شما را از موجودیت غریب و ویژگی‌های حیرت‌آورشان شگفت‌زده کنم.» و همین کار را هم می‌کند؛ با ساده‌ترین روش‌ها برای توضیح دادن پیچیده‌ترین مسائل.

نویسنده علاوه بر فیزیک شیفته ادبیات هم است.

جنا لوین، اخترفیزیکدان و استاد فیزیک، در این کتاب تلاش کرده است تا مفاهیم سخت و دلهره‌آور فیزیک مانند خمیدگی فضا-زمان و افق رویداد را به سفری تخیلی و هیجان‌انگیز تبدیل کند. لحن کتاب ساده است و تا حدی شاعرانه و ادبی. نویسنده سعی می‌کند شما را در سفری خیالی به لبه یک سیاه‌چاله نزدیک کند بدون اینکه از فرمول‌های پیچیده و مسائل سخت ریاضی و فیزیک صحبتی به میان آورد. نویسنده علاوه بر فیزیک شیفته ادبیات هم است و این کتاب را در پاسخ به یک تمایل عمیقِ انسانی نوشته است: «حسِ روبرو شدن با بی‌نهایتی که از فهم ما فراتر می‌رود». او به خوبی می‌داند که سیاه‌چاله‌ها فقط معادلات پیچیده فیزیک نظری نیستند؛ بلکه استعاره‌هایی زنده از راز، مرز و ناشناخته‌ها هستند که سال‌هاست هوش و تخیل بشر را به چالش می‌کشند. لوین در این کتاب تلاش می‌کند سیاه‌چاله را از انحصارِ فرمول‌های دست‌نیافتنی تخته‌سیاه‌ها بیرون بکشد و آن را نه به‌عنوان یک تهدید هولناک، بلکه به‌شکل یک «تجربه حسی و فلسفی» روایت کند. او با نگارش این کتاب سعی دارد دست خواننده را بگیرد، به لبه افق رویداد ببرد و بگوید چگونه در دلِ این تاریکیِ مطلق، می‌توان زیباترین پرسش‌ها را درباره منشا، ساختار و سرنوشتِ کلِ کیهان پیدا کرد.

مترجم کتاب از مهم‌ترین مروّجان علم ایران است.

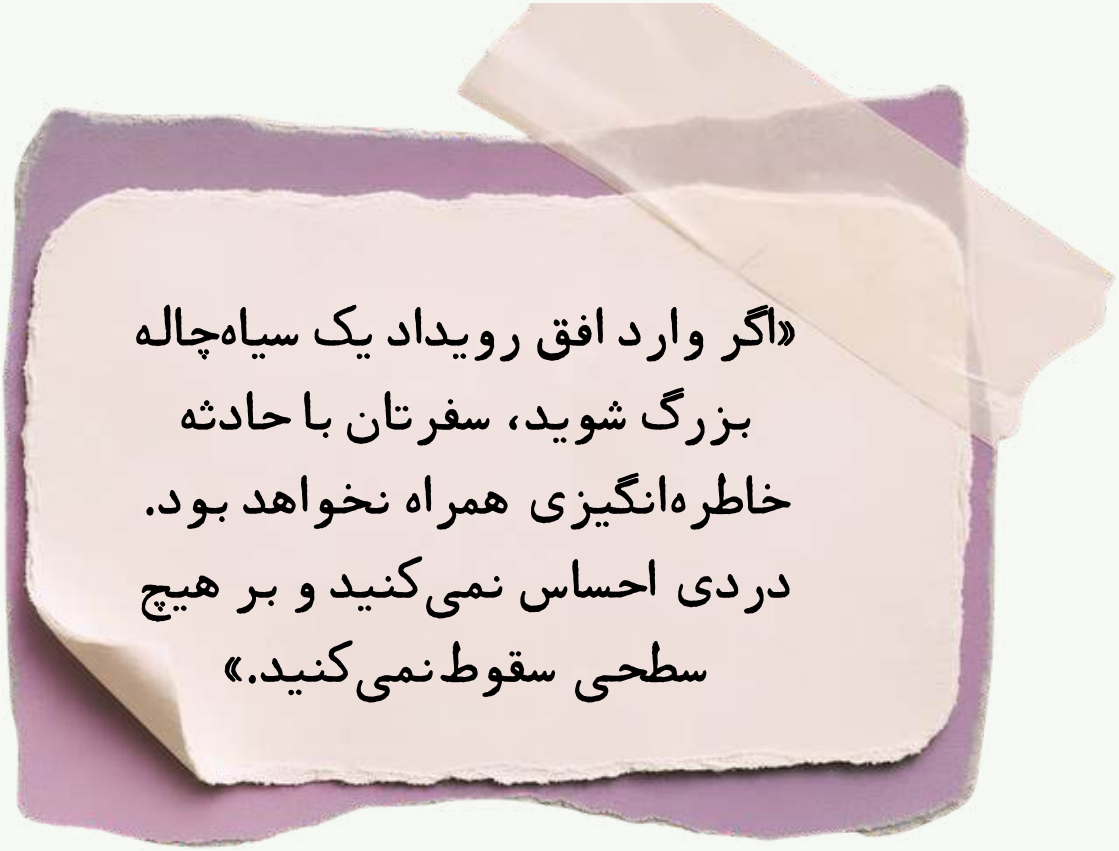
مترجم کتاب پوریا ناظمی است. نامی آشنا و قابل اعتماد برای چندین نسل از علاقمندان به علم که به نجوم هم علاقه دارند. تلاش‌های پوریا ناظمی برای ترویج علم در ایران بی‌شمار است؛ از روزنامه جام‌جم و مجله نجوم تا برنامه آسمان شب در شبکه چهار و دوره‌های روزنامه‌نگاری علم و برنامه‌های مستقل علمی و سال‌ها فعالیت خستگی‌ناپذیر در حیطه ترویج علم برای همه.

به پاس همه تلاش‌های او جایزه ترویج علم ایران در سال ۱۳۹۹ و جایزه «مروج علم سال» چراغ در سال ۱۴۰۰ به او اختصاص داده شد. پوریا این روزها از همیشه پرکارتر شده و با یک پادکست علمی و مجله‌ای جدید علاقمندانِ علمِ فارسی‌زبان را خوشحال کرده است.
ترجمه دقیق و روان پوریا ناظمی باعث شده تا لحنِ خاصِ جنا لوین به خوبی منتقل شود؛ لحنی که ترسی از مواجهه با ناآگاهی ندارد. کتاب به ما یادآوری می‌کند که وقتی از درک مساله‌ای مستاصلیم، شاید بهترین کار این است که اعتراف کنیم «آن را نمی‌فهمیم» اینطور می‌توان با کنجکاوی بیشتر کندوکاو کرد. همانطور که انیشتین با اعتراف به اینکه گرانش را نمی‌فهمد توانست اغلب ویژگی‌ها و بنیادی‌ترین عناصر پذیرفته‌شده واقعیت را به چالش بکشد، کاری که بسیاری از دانشمندان هم‌نسل او توانایی درک نتایج عظیم چنین ناتوانی‌ای را نداشتند.

این کتاب در ایران توسط انتشارات هفت‌ونیم چاپ شده است و به صورت نسخه چاپی و الکترونیکی برای خرید موجود است.

هنوز در آسمانم، چشمانم را باز می‌کنم و از پنجره هواپیما منظره ابرهای تو در تو را تماشا می‌کنم. از لبه تاریکیِ سیاه‌چاله فاصله گرفته‌ام و دوباره به زمین بازمی‌گردم، خلبان اطلاع می‌دهد که هواپیما به‌زودی در فرودگاه بوداپست فرود خواهد آمد. کتاب را می‌بندم و با خود زمزمه می‌کنم «سیاه‌چاله‌ها گذشته و آینده ما هستند»

«و در پایان هیچ راه نجاتی از سیاه‌چاله وجود ندارد»...





اودیسه؛ آیا همه ما یک فیلم را می‌بینیم؟



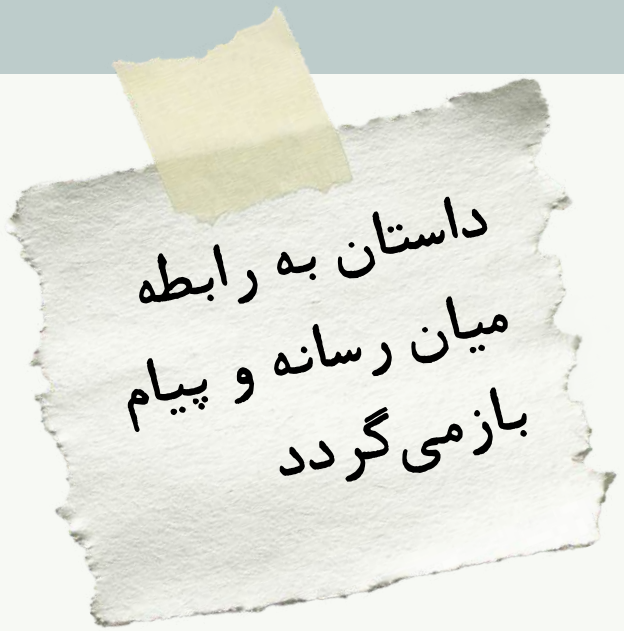
پوریا ناظمی
روزنامه‌نگار، نویسنده و مروج علم

یادداشتی درباره تفاوت تجربه سینمایی، قاب تصویر و حق مخاطب

درباره فیلم «اودیسه»، تازه‌ترین اثر کریستوفر نولان، بحث‌ها و مناقشات زیادی وجود دارد. شما احتمالا در این مدت بخشی از این بحث‌ها را در فضای آنلاین دنبال کرده‌اید؛ از مناقشه نسبتا کم‌اهمیت انتخاب بازیگران تا پرسش جدی‌تری درباره اینکه آیا این فیلم بازگویی «اودیسه» هومر است یا روایت شخصی نولان از داستانی کهن. آیا کسی که از داستان هومر اطلاعی ندارد می‌تواند فیلم را روایتی کامل و مستقل بداند؟ و اگر نه، چگونه می‌توان از مخاطب انتظار داشت که هم داستان اصلی را بداند و هم درباره ناهمگونی‌ها و تغییرات روایت تازه پرسشی مطرح نکند؟

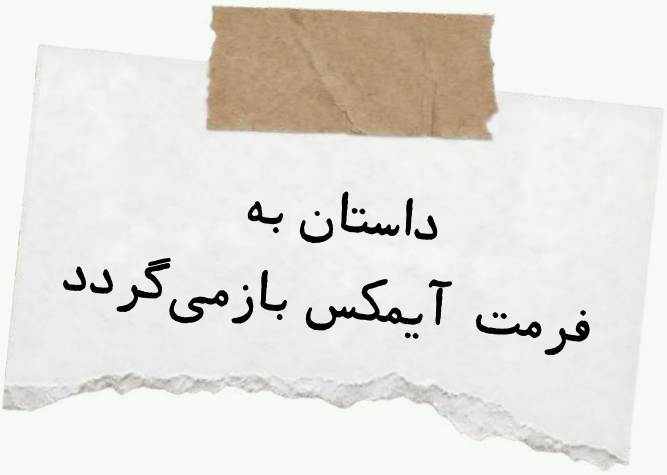
احتمالا درباره شکوه تصویرسازی و اجرای کم‌نظیر تک‌تک اجزای فیلم، از فیلم‌برداری و موسیقی گرفته تا فضاسازی ـ البته، دست‌کم به نظر من، به‌جز صداگذاری ـ نیز شنیده‌اید؛ و اینکه چگونه فیلمی از این دست می‌تواند هم به رونق دوباره سینما کمک کند، هم علاقه به مطالعه آثار کلاسیک را زنده کند و هم مخاطبان را به تماشای دوباره اقتباس‌ها و فیلم‌های مرتبط بکشاند.
من درباره این موضوعات که به‌طور مفصل بررسی شده‌اند، نکته تازه‌ای به بحث اضافه نمی‌کنم. آنچه برای من اهمیت دارد، مساله‌ای از منظر ارتباطات است که فراتر از کیفیت یا تفسیر خود فیلم قرار می‌گیرد.

این مساله با «اودیسه» آغاز نشده است، اما شاید در این فیلم، به‌دلیل تصمیم نولان برای فیلم‌برداری تمام اثر با دوربین‌های فیلم آیمکس، به برجسته‌ترین شکل خود رسیده باشد. «اودیسه» نخستین فیلم بلند داستانی است که همه نماهای آن با دوربین‌های فیلم آیمکس گرفته شده است.



ممکن است درباره ماهیت سینما اختلاف‌نظرهای فراوانی وجود داشته باشد، اما می‌توان گفت سینما رسانه‌ای دیداری ـ شنیداری است که سازمان‌دهی تصویر در آن نقشی بنیادی دارد. دیالوگ، صدا، سکوت و موسیقی نیز ممکن است بخشی اساسی از روایت باشند؛ بااین‌حال، انتخاب قاب، اندازه نما، حرکت دوربین، تدوین و آنچه درون یا بیرون تصویر قرار می‌گیرد، تنها ظرفی برای حمل داستان نیست. این انتخاب‌ها خود بخشی از پیام‌اند.
سینما را می‌توان، با قدری مسامحه، به کتابی تشبیه کرد که بخش بزرگی از آن نه با کلمات، بلکه با تصاویر نوشته شده است. همان‌طور که در یک کتاب، انتخاب تک‌تک واژه‌ها ـ حتی واژه‌هایی که ممکن است غیرضروری یا تکراری به نظر برسند ـ می‌تواند در انتقال منظور نویسنده و برداشت خواننده نقش داشته باشد، در سینما نیز آنچه کارگردان درون قاب قرار می‌دهد در درک ما از جهان فیلم اثر می‌گذارد.
این به معنای آن نیست که فیلم جایی برای تخیل و تفسیر مخاطب باقی نمی‌گذارد. تصویر ممکن است ظاهر یک شخصیت، منظره یا رویداد را تا حد زیادی از پیش تعیین کند، اما معنای آن تصویر، رابطه‌اش با تجربه شخصی مخاطب و تفسیری که از آن به دست می‌آید همچنان باز باقی می‌ماند.
در تقسیم‌بندی کلاسیک مارشال مک‌لوهان نیز سینما نمونه‌ای از رسانه «گرم» است؛ رسانه‌ای که یک حس را با تراکم بالایی از اطلاعات درگیر می‌کند و در مقایسه با رسانه سرد، اطلاعات حسی کمتری را برای تکمیل‌شدن به مخاطب واگذار می‌کند. البته این تقسیم‌بندی مطلق نیست و زمینه استفاده از رسانه نیز در آن نقش دارد.

اگر این فرض را بپذیریم که قاب تصویر بخشی از بیان سینمایی است، پرسش مهمی پیش می‌آید: آیا می‌توان محصول نهایی را براساس سالن، فناوری نمایش و در عمل هزینه‌ای که مخاطب می‌پردازد، با قاب‌های متفاوت عرضه کرد و همچنان گفت همه مخاطبان یک اثر واحد را دیده‌اند؟



در مورد «اودیسه» چندین نسخه نمایشی با نسبت‌های متفاوت عرضه شده است. کامل‌ترین قاب آیمکس نسبت ابعاد ۱٫۴۳ به ۱ دارد و در نمایش آیمکس هفتاد میلی‌متری دیده می‌شود. نسخه‌های دیگر ممکن است با نسبت‌های ۱٫۹۰ به ۱، ۲٫۲۰ به ۱، ۱٫۸۵ به ۱ یا ۲٫۳۹ به ۱ نمایش داده شوند.
در آغاز اکران، نسخه آیمکس هفتاد میلی‌متری تنها در شمار محدودی از سالن‌های جهان قابل نمایش بود. این محدودیت فقط نتیجه قیمت بلیت نیست؛ بسیاری از شهرها و حتی کشورها اصلا به سالنی با پرده و پروژکتور مناسب دسترسی ندارند.

برخلاف آنچه گاهی گفته می‌شود، در تبدیل قاب تقریبا مربع‌شکل ۱٫۴۳ به ۱ آیمکس به قاب‌های عریض‌تر، معمولا دو سوی تصویر حذف نمی‌شود؛ بلکه بخش‌هایی از بالا و پایین قاب کنار گذاشته می‌شود. در نتیجه، مخاطب نسخه معمولی، نواری عریض‌تر اما کم‌ارتفاع‌تر از تصویر ثبت‌شده را می‌بیند.

در اینجا نقد مهمی به استدلال من وارد است: نولان و فیلم‌بردارش، هویت فن هویتما (HOYTE VAN HOYTEMA)، از ابتدا از وجود این نسخه‌های مختلف آگاه بوده‌اند. نولان می‌گوید در فیلم‌برداری آثار آیمکس، کنش اصلی را در محدوده‌ای قرار می‌دهند که در قاب‌های عریض‌تر نیز باقی بماند؛ روشی که آن را «قرار دادن کنش در مرکز» می‌نامند. خطوط مربوط به نسبت‌های مختلف نیز هنگام فیلم‌برداری در نظر گرفته می‌شوند تا هیچ اطلاعات ضروری برای دنبال‌کردن داستان در نسخه‌های دیگر از دست نرود. از نگاه او، فیلم باید در همه فرمت‌ها «با موفقیتی برابر» کار کند و نسخه‌های عریض‌تر صرفا برش‌های تصادفی یا کنترل‌نشده نیستند.

این پاسخ فنی مهم است و باید منصفانه پذیرفته شود. نسخه‌ای که در سینمای معمولی نمایش داده می‌شود، لزوما نسخه‌ای ناقص، معیوب یا ساخته‌شده برخلاف نظر کارگردان نیست. نولان و گروهش بر تبدیل فیلم به فرمت‌های مختلف نظارت کرده‌اند و هرکدام از این قاب‌ها را می‌توان ترکیب‌بندی مجاز و تاییدشده‌ای از همان فیلم دانست.

اما به نظر من این پاسخ، پرسش ارتباطی را به‌طور کامل حل نمی‌کند.



ممکن است بخش‌های حذف‌شده از بالا و پایین قاب برای فهم پیرنگ ضروری نباشند، اما ضرورت تنها به معنای انتقال اطلاعات داستانی نیست. جزئیات یک منظره، مقدار آسمانی که بالای سر شخصیت قرار دارد، فاصله بدن انسان تا افق، حضور اسبی آرمیده در گوشه ساحل، ارتفاع امواج یا خلا اطراف یک کشتی ممکن است هیچ‌کدام سرنوشت داستان را تغییر ندهند، اما بر مقیاس، تنهایی، شکوه، تهدید، ریتم و عاطفه صحنه اثر می‌گذارند. بخشی از مشکل شاید از دوگانه ساده «ضروری یا غیرضروری» ناشی شود. عناصر یک اثر هنری ممکن است برای فهمیدن اینکه چه اتفاقی افتاده ضروری نباشند، اما برای تجربه اینکه آن اتفاق چگونه احساس می‌شود اهمیت داشته باشند. اگر چنین نبود، تفاوت میان قاب کامل آیمکس و نسخه‌های عریض‌تر نیز نباید تا این اندازه در تبلیغات فیلم برجسته می‌شد.

در واقع خود صنعت آیمکس نسخه ۱٫۴۳ به ۱ را تجربه‌ای معرفی می‌کند که با پرکردن میدان دید مخاطب، حس غوطه‌وری بیشتری ایجاد می‌کند. نولان نیز آیمکس هفتاد میلی‌متری را «بهترین تجربه ممکن» برای تماشای فیلم خود می‌داند، هرچند تاکید می‌کند نسخه‌های دیجیتال و دیگر نمایش‌ها نیز با دقت آماده شده‌اند و کیفیت بالایی دارند. پس با یک تناقض ساده روبه‌رو نیستیم که در آن یا جزئیات اضافه کاملا بی‌اهمیت‌اند یا نسخه‌های دیگر فیلم ناقص‌اند. واقعیت احتمالا جایی میان این دو قرار دارد: همه نسخه‌ها داستان را منتقل می‌کنند، اما همه آن‌ها مقدار یکسانی از اطلاعات دیداری و تجربه فضایی را در اختیار مخاطب نمی‌گذارند.

«جزئیات برای فهمِ قصه ضروری نیستند، اما برای حس‌کردن آن حیاتی‌اند.»

من کاملا درک می‌کنم که سینما فقط هنر نیست؛ صنعت و تجارت نیز هست و باید به قواعد اقتصادی وفادار بماند. قابل درک است که کسی با پرداخت هزینه بیشتر، فیلم را بر پرده‌ای بزرگ‌تر، با تصویری روشن‌تر و صدایی دقیق‌تر ببیند، درحالی‌که مخاطب دیگر همان داستان را روی پرده‌ای کوچک‌تر و با تجهیزات معمولی‌تر تماشا کند.



مقایسه قاب‌ها و فرمت‌های نمایش

«تغییر نسبت تصویر، تغییر در اصلِ پیام است نه فقط کیفیتِ نمایش»

«داستان در تمام نسخه‌ها یکی است، اما تجربه بصری و تناسباتِ احساسیِ صحنه الزاما یکسَان نیست.»

اما میان تفاوت در «کیفیت بازتولید» و تفاوت در «مقدار اطلاعات موجود در قاب» فاصله‌ای وجود دارد، هرچند مرز این دو همیشه کاملا روشن نیست. پایین‌تر بودن وضوح تصویر باعث نمی‌شود شیئی عمدا از قاب بیرون گذاشته شود؛ اما تغییر نسبت ابعاد می‌تواند بخشی از ترکیب‌بندی ثبت‌شده را حذف کند.

درعین‌حال، تشبیه این وضعیت به حذف فصل‌هایی از نسخه ارزان‌تر یک کتاب شاید بیش از اندازه تند باشد؛ زیرا نسخه‌های معمولی «اودیسه» همچنان روایت کامل فیلم را در خود دارند و با نظارت سازندگان آماده شده‌اند. تشبیه دقیق‌تر شاید انتشار یک کتاب عکس یا اثر مصور باشد که تصاویر آن در نسخه گران‌تر با قاب کامل چاپ شوند، اما در نسخه عمومی بخشی از بالا و پایین عکس‌ها بریده شود. متن و موضوع همچنان همان است، ولی نسبت میان عناصر تصویر و احساسی که از آن به دست می‌آید الزاما یکسان نیست.

تصور کنید در تصویری از ساحل، آسمان، دریا، اسب آرمیده و شخصیت انسانی در نسخه کامل در نسبتی دقیق با یکدیگر قرار گرفته‌اند. در نسخه عریض‌تر شاید شخصیت و کنش اصلی همچنان باقی بمانند، اما آسمان کمتر شود، فاصله انسان تا افق تغییر کند و حس تنهایی یا عظمت صحنه کاهش یابد. داستان همچنان قابل‌فهم است، اما تجربه بصری دقیقا همان تجربه نیست.
در پاسخ می‌توان گفت تجربه سینما هیچ‌گاه برای همه یکسان نبوده است. محل نشستن، اندازه پرده، کیفیت پروژکتور، شدت نور، تجهیزات صوتی و حتی رفتار تماشاگران کناری بر آنچه دریافت می‌کنیم اثر می‌گذارد. این سخن درست است، اما بیشتر این تفاوت‌ها نتیجه شرایط نمایش‌اند، درحالی‌که تغییر نسبت تصویر تصمیمی از پیش طراحی‌شده در نسخه‌ای است که در اختیار سالن قرار می‌گیرد. یکی تفاوت در شرایط دریافت پیام است و دیگری تفاوت در قالب خود پیام؛ هرچند این دو در عمل با هم تداخل دارند.

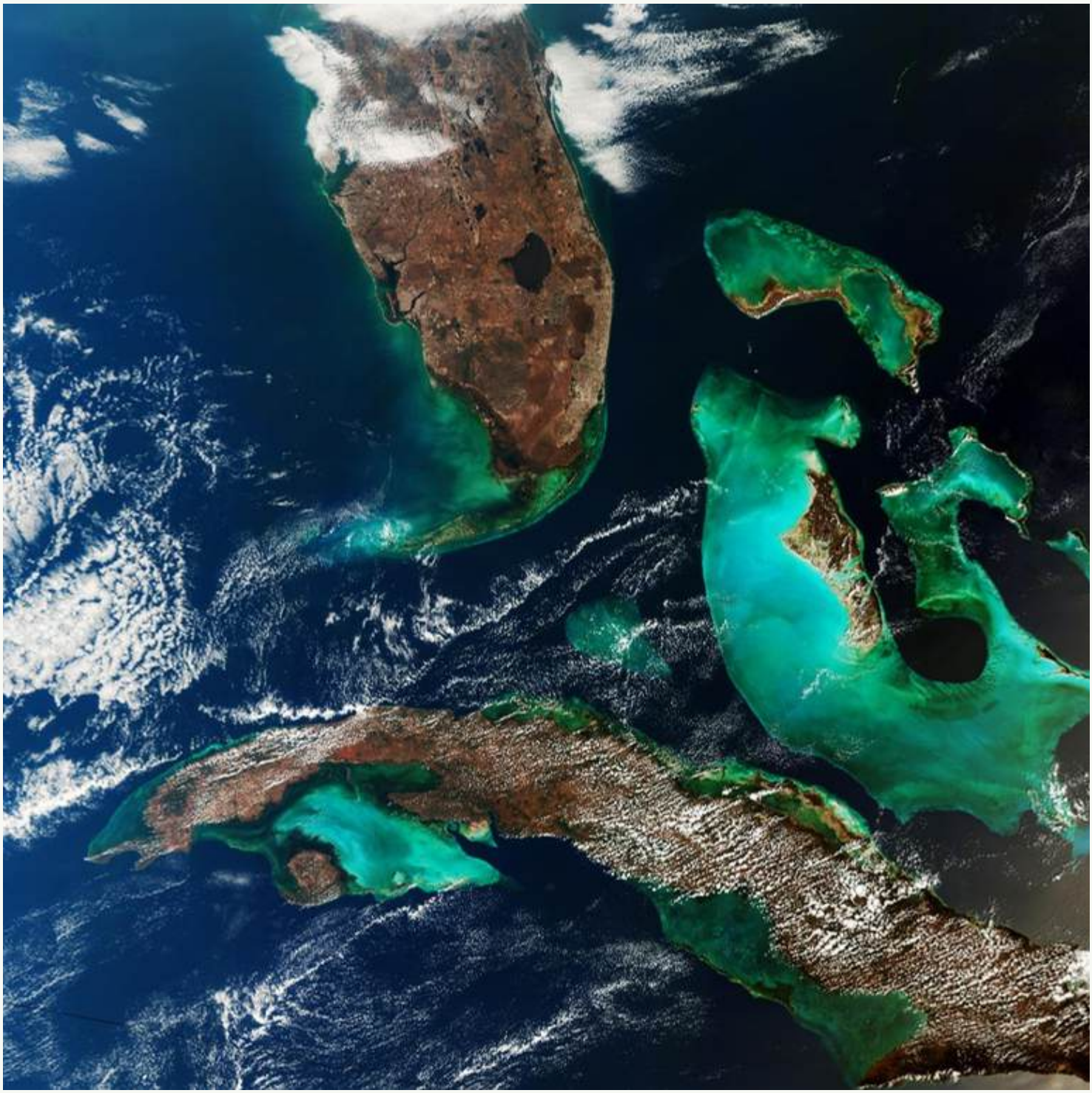
مشکل جدی‌تر، به نظر من، کمبود شفافیت است. بسیاری از مخاطبان هنگام خرید بلیت دقیقا نمی‌دانند قرار است کدام نسخه را ببینند. حتی عنوان «آیمکس» ممکن است به سالن‌هایی با اندازه پرده، نوع پروژکتور و نسبت تصویر متفاوت اشاره کند.

شاید نخستین و عملی‌ترین راه‌حل این باشد که سالن‌ها هنگام فروش بلیت، نسبت تصویر، نوع پروژکتور، دیجیتال یا فیلم‌بودن نمایش و اندازه تقریبی پرده را به‌روشنی اعلام کنند.

مخاطب باید بداند برای چه تجربه‌ای پول می‌پردازد، نه اینکه پس از ورود به سالن یا پس از مقایسه با نسخه‌ای دیگر متوجه تفاوت شود. این موضوع حتی درباره محل قرار گرفتن صندلی در یک سالن آیمکس هم مطرح است و شاید از آنچه در نگاه اول به نظر می‌رسد مهم‌تر باشد. تجربه کسانی که بی‌خبر از تفاوت جای صندلی، ردیف‌های بسیار نزدیک به پرده آیمکس را انتخاب کرده‌اند، خود گویای اهمیت این موضوع است.

راه‌حل دوم می‌تواند نمایش قاب کامل در سالن‌های معمولی باشد، حتی اگر تصویر تمام عرض پرده را پر نکند. در یک پرده عریض می‌توان نسخه ۱٫۴۳ به ۱ را با نوارهای خالی در دو سوی تصویر نمایش داد. در این حالت، تصویر کوچک‌تر و احتمالا کمتر فراگیر خواهد بود، اما قاب کامل حفظ می‌شود. شاید بسیاری از فیلم‌سازان و سالن‌ها ترجیح دهند پرده کاملا پر شود، اما دست‌کم می‌توان نمایش‌هایی محدود یا گزینه‌ای برای مخاطبانی در نظر گرفت که حفظ قاب را بر اندازه تصویر ترجیح می‌دهند.
راه‌حل دیگر می‌تواند انتشار نسخه قاب کامل در نمایش خانگی یا پلتفرم‌های دیجیتال باشد؛ نه به‌عنوان جایگزینی برای عظمت پرده آیمکس، که بازتولید آن در خانه ممکن نیست، بلکه به‌عنوان فرصتی برای دیدن تمام اطلاعات تصویری ثبت‌شده. در این صورت، نسخه ممتاز سینمایی همچنان کیفیت، اندازه و غوطه‌وری بیشتر خود را حفظ می‌کند، اما دسترسی به قاب کامل به امتیازی جغرافیایی و اقتصادی محدود نمی‌شود.
البته ممکن است فیلم‌ساز استدلال کند که قاب ۱٫۴۳ به ۱ تنها برای پرده‌هایی با معماری آیمکس طراحی شده و نمایش همان قاب روی صفحه‌ای کوچک‌تر، تجربه مطلوب او را تولید نمی‌کند. این نیز نقدی معتبر است. اما همین نکته نشان می‌دهد که ما با یک «نسخه اصلی» و چند نسخه کاملا هم‌ارز روبه‌رو نیستیم؛ بلکه با مجموعه‌ای از تجربه‌های طراحی‌شده برای شرایط مختلف مواجه‌ایم که یکی از آن‌ها آشکارا ممتازتر، کمیاب‌تر و گران‌تر معرفی می‌شود.
من مطمئن نیستم این موضوع در میان اهالی سینما تا چه اندازه جدی و مهم تلقی می‌شود. شاید بسیاری آن را تفاوتی طبیعی میان فرمت‌های نمایش بدانند. بااین‌حال، از منظر ارتباطات، پرسش همچنان باقی است: هنگامی که رسانه بخشی از پیام است، تغییر در ابعاد و حدود رسانه تا چه اندازه پیام را تغییر می‌دهد؟
از منظر حقوق مخاطب نیز شاید مساله اصلی این نباشد که همه الزاما باید به گران‌ترین فناوری دسترسی داشته باشند. چنین انتظاری واقع‌بینانه نیست. حق مهم‌تر، آگاهی روشن از تفاوت نسخه‌ها، پرهیز از تبلیغات مبهم و فراهم‌شدن راهی معقول برای دسترسی به قاب کامل اثر است.
اگر به این مساله توجه نکنیم، ممکن است این الگو به‌تدریج در رسانه‌های دیگر نیز عادی شود: نه فقط ارائه کیفیت بهتر به کسی که بیشتر می‌پردازد، بلکه ارائه مقدار بیشتری از محتوای حسی و بیانی اثر به او. شاید هنوز نتوان نام آن را به‌سادگی «تبعیض» گذاشت، اما بی‌تردید نوعی لایه‌بندی در تجربه پیام است؛ لایه‌بندی‌ای که ارزش دارد پیش از تبدیل‌شدن به قاعده‌ای عادی، درباره‌اش گفت‌وگو کنیم.

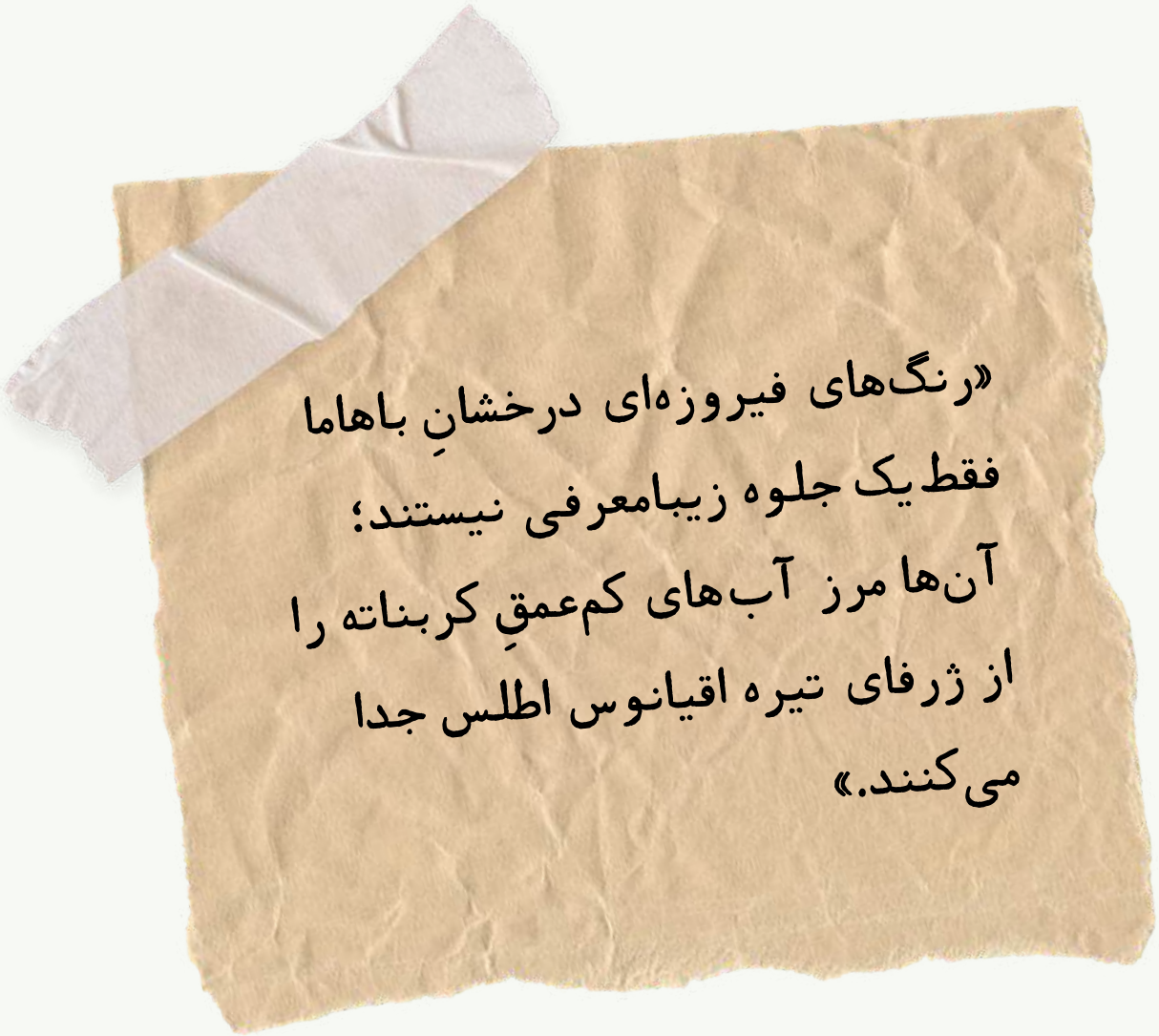
جغرافیای پنهان زیر آب‌های فیروزه‌ای



اعتبار: Emily Clark / MBARI

در این تصویر ماهواره‌ای، جنوب فلوریدا در بالا، کوبا در پایین و مجمع‌الجزایر باهاما در سمت راست دیده می‌شوند. رنگ‌های فیروزه‌ای درخشان فقط جلوه‌ای زیباشناختی نیستند؛ آن‌ها آب‌های کم‌عمق بانک‌های کربناته و سکوی زیرآبی باهاما را از آب‌های عمیق و تیره اقیانوس اطلس جدا می‌کنند.

تصویر در مارس ۲۰۲۶ به‌وسیله ابزار سنجش رنگ اقیانوس و خشکیِ ماهواره سنتینل-۳ ثبت شده است. این ابزار در ۲۱ باند طیفی تصویربرداری می‌کند و وضوح مکانی آن حدود ۳۰۰ متر است؛ داده‌هایی که برای پایش اکوسیستم‌های دریایی، پوشش گیاهی، ابرها، ذرات معلق جو و تغییرات ساحلی به کار می‌روند. آژانس فضایی اروپا این نما را به مناسبت انتشار هزارمین تصویر مجموعه «زمین از فضا» منتشر کرد.





از ژورنال ۴۲ حمایت کنید

برای آنکه علم، مستقل و در دسترس همه بماند

ژورنال ۴۲ رسانه‌ای مستقل است؛ بدون وابستگی به نهادها، جریان‌های سیاسی، حامیان مالی یا آگهی‌دهندگان و بدون قرار دادن مطالب پشت دیوار پرداختی. استقلال برای ما به این معنا نیست که از هیچ منبع مالی استفاده نکنیم؛ به این معناست که هیچ منبع مالی نتواند بر تصمیم‌های تحریریه اثر بگذارد.

تهیه یک گزارش دقیق یا یک قسمت پادکست فقط به نوشتن و ضبط‌کردن محدود نمی‌شود. پژوهش، راستی‌آزمایی، دسترسی به منابع، گفتگو با متخصصان، ویرایش، طراحی، تولید صوت و تصویر و نگهداری زیرساخت‌های انتشار، همگی به زمان و هزینه نیاز دارند. حمایت شما به ما امکان می‌دهد منظم‌تر منتشر کنیم، سراغ موضوع‌های دشوارتر و گزارش‌های عمیق‌تر برویم و محتوای ژورنال ۴۲ را به گروه بزرگ‌تری از جامعه برسانیم.

راه‌های همراهی با ژورنال ۴۲ گوناگون است. می‌توانید با یک اشتراک یا کمک نمادین از ادامه کار حمایت کنید، حامی تولید یک قسمت از پادکست یا یک پرونده ویژه شوید، برای انتشار آگهی با ما تماس بگیرید یا پشتیبانی از پروژه‌ای بزرگ‌تر را بر عهده بگیرید.

آگهی یکی از راه‌های تامین هزینه و امکان بقای یک رسانه مستقل است، اما مرز میان آگهی و تحریریه در ژورنال ۴۲ روشن باقی می‌ماند. آگهی‌ها و مطالب حمایت‌شده با برچسبی آشکار از محتوای تحریریه متمایز می‌شوند و آگهی‌دهندگان و حامیان در انتخاب موضوع، روش بررسی، داوری علمی، نتیجه‌گیری یا تصمیم به انتشار و عدم انتشار مطالب دخالتی نخواهند داشت. پذیرش آگهی نیز به معنای تایید همه فعالیت‌ها یا دیدگاه‌های آگهی‌دهنده نیست.

حتی اگر امکان حمایت مالی ندارید، همچنان می‌توانید نقشی مهم داشته باشید: ژورنال ۴۲ را به دیگران معرفی کنید، مطالبش را به اشتراک بگذارید و کمک کنید محتوای علمی دقیق به دست کسانی برسد که شاید هنوز ما را نمی‌شناسند.

برای حمایت، آگهی و همکاری با ما در تماس باشید: contact@journal42.com

ژورنال ۴۲

این‌جا، در آستانه شب، تنِ انسان با ابزارها و ماشین‌ها تلاقی می‌کند. فریدا کالو در بدون امید، پیکرِ رنجور خویش را نه پنهان، که چون بومِ مواجهه با زیستن پیشِ روی ما می‌گذارد؛ جایی که آگاهیِ عمیق انسانی در میانه تجهیزات، پزشکی و جهانِ پیرامون محاصره شده است.

شماره پیشِ رو، کاوشی است در همین مرزهای باریک. از خستگیِ مزمنِ تن و روایتِ شگفتِ «مرده‌های بیدار» تا درنگ بر چیستیِ آگاهی و کوالیا در عصر هوش مصنوعی؛ از گرمایشِ زمین زیر خورشیدی بی‌ملاحظه تا خیره شدن به ماده تاریک و جست‌وجوی حیات در اعماقِ کیهان.

فریدا از درونِ بسترِ بیماری، با چشمانی باز به هستی نگریست. این شماره ژورنال ۴۲، دعوتی است به همان مواجهه عریان و بی‌واسطه با زیستن در دنیای مدرن: پرسش از این‌که وقتی تن، تکنولوژی و کیهان به هم می‌رسند، انسان بودن دقیقا چه معنایی دارد.

journal42.com