



دانشمندان با آزمایش ترکیبات مختلف و قرار دادن داده‌ها در مدل‌های رایانه‌ای به دنبال یافتن ترکیبی هستند که نور خورشید را منعکس کند، به لایه ازن آسیب نرساند و پس از خارج شدن از زمین باعث ایجاد مشکل برای کره خاکی نشود

معکوس شدن روند آن می‌شود، اما اگر این روند طبیعی طبق برنامه ادامه پیدا نکند چه؟ آیا این آزمایش باعث به وجود آمدن یک عصر یخبندان جدید خواهد شد؟ در مدل شبیه‌سازی شده که ما جرابه همین شکل است. یعنی اگر نرخ افزایش دمای زمین را از جایی به بعد صفر در نظر بگیریم، این راه حل خود می‌تواند به یک خطر بالقوه تبدیل شود. البته صفر شدن انرژی تابشی ورودی به جو یا کاهش دمای خورشید به صورت طبیعی احتمال بسیار پایینی دارد، اما در هر صورت باید دنبال راه‌حلی برای غیرفعال کردن این لایه ذرات هم باشیم.

یک سناریوی محتمل‌تر، تشکیل ابرهای حاوی مقدار زیادی از این ذرات در جو زمین است. دانیل سیکیزو در این باره می‌گوید: مواد اضافه شده به جو باید در حرکت بین دو قطب خارج شوند، اما سؤال اصلی این است که این خروج از اتمسفر چه تاثیری روی آن خواهد داشت. شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد این خروج می‌تواند در تشکیل ابرها مشارکت کند. در نتیجه این ذرات می‌توانند بر بارندگی تاثیر بگذارند و در شرایط خاص، مطمئناً روی انسان و اکوسیستم‌ها تاثیرگذار خواهد بود. رسوب‌های تشکیل شده از این بارندگی‌ها از جمله مواردی است که هنوز روی آنها تحقیق کافی انجام نشده است.

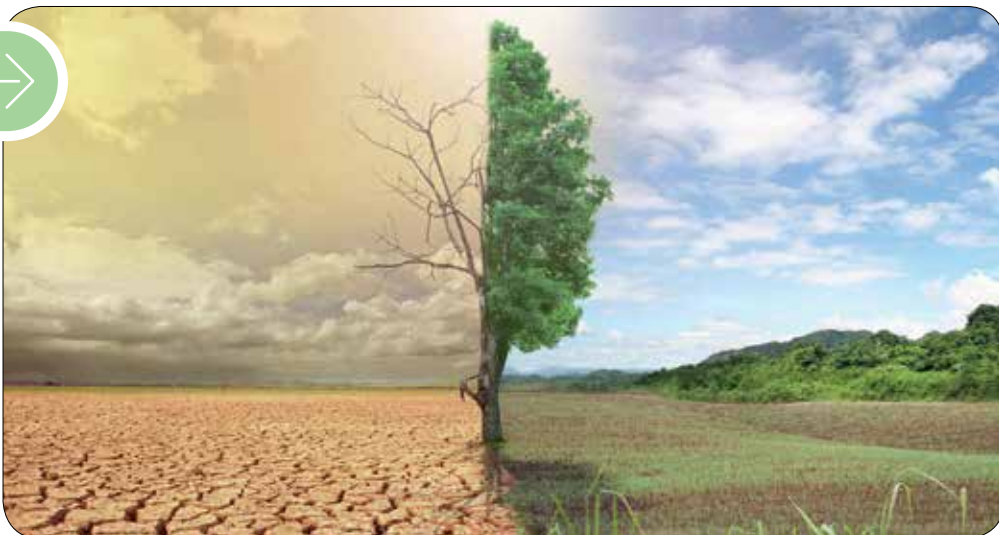


## خنک کردن زمین گران است

باز هم درست مثل آنچه در فیلم‌ها دیده‌ایم، دانشمند دیوانه برای تکمیل تحقیقاتش احتیاج به پول زیادی دارد. این همان جایی است که بدم‌های تاریخ وارد داستان شده و با پول زیادشان، تخیل‌ها را به واقعیت تبدیل می‌کنند. سیکیزو می‌گوید: «انجام این کار هزینه زیادی خواهد داشت. هزینه چنین طرحی احتمالاً صدها میلیون دلار خواهد بود که البته زمانی که شما در مورد خنک کردن کره زمین صحبت می‌کنید چندان هم زیاد نیست.» آنچه تامین منابع مالی این پروژه را به تعویق انداخته، همین خطراتی است که در مورد آن صحبت کردیم. مایکل مان، استاد برجسته علوم جوی در دانشگاه ایالتی پن می‌گوید: «ممکن است چنین راه‌حلی عوارض جانبی منفی زیادی ایجاد کند که باعث ایجاد جو جدیدی در زمین شود. دستکاری در تعادل تابش دریافتی زمین، چه مانند استفاده از سوخت‌های فسیلی به صورت تصادفی و در جهت بالا بردن دمای زمین و چه مانند فناوری SRM در جهت معکوس باشد، خطرهای بی‌سابقه‌ای دارد. واقعیت این است تا زمانی که شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای و همچنین هوش مصنوعی به حد ایده‌آل نرسند، ما همه عوارض جانبی بالقوه مهندسی جغرافیایی را درک نخواهیم کرد.»



یکی از روش‌های  
هیجان‌انگیز برای  
کنترل گرمایش زمین  
استفاده از ریز ذرات  
معلق در جو برای  
کاهش میزان انرژی  
تابشی خورشید به  
وسیله بازتاب و خنک  
کردن اتمسفر زمین  
است



با کم نور شدن خورشید می‌توانیم تغییرات آب‌وهوایی را کند کنیم، اما چگونه؟

# سایه‌بانی برای زمین



آرش جهانگیری  
روزنامه‌نگار فناوری

فرض کنید سال ۲۰۴۰ شده است. گرچه جهان در زمینه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای گام برداشته، اما تغییرات خیلی دیر اتفاق افتاده و کافی نبوده‌اند. کره زمین درگیر خشکسالی، تغییرات آب و هوایی شدید، بیماری، قحطی، بالا آمدن سطح دریاهای و بلایای طبیعی دیگر است. گروهی از دانشمندان جهان سرانجام به این نتیجه می‌رسند که زمان آن فرارسیده برای نجات زمین دست به انجام غیرممکن بزنند: «باید خورشید را کم نور کنیم.»



رسوب‌های  
تشکیل شده از  
بارندگی‌های ابرهای  
حاوی ریز ذرات  
بازتابنده، از جمله  
مواردی است که هنوز  
روی آنها تحقیق کافی  
انجام نشده است

## شبیه‌سازی رایانه‌ای به جای آزمایش‌های خطرناک

دست بردن در روند طبیعت، حتی در جهت نجات زمین، کار خطرناکی است. یافتن ماده‌ای ایده‌آل که در لایه استراتوسفر خطری ایجاد نکند، احتیاج به آزمایش‌های زیادی دارد. اینجاست که شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای به داد دانشمندان می‌رسند تا در راه دست یافتن به ترکیب مورد نظر، نسل بشر را به باد فنا نهند.

دانشمندان در مورد ترکیبی که بهترین گزینه برای چنین ایده‌ای باشد توافق نظر ندارند. مدت‌هاست که سولفات‌ها برای این منظور پیشنهاد می‌شوند، هرچند برای لایه ازن سیاره ما مضر هستند. اکسید آلومینیوم، کربنات کلسیم و بسیاری از ترکیبات دیگر هم طی سال‌های اخیر پیشنهاد شده‌اند، اما مشکل اینجاست که احتمال دارد اضافه شدن آنها به اتمسفر زمین، تاثیرات مخرب‌تر از گازهای گلخانه‌ای به دنبال داشته باشد.

دانشمندان فعلاً در حال آزمایش ترکیبات مختلف و قرار دادن داده‌ها در مدل‌های رایانه‌ای با هدف دستیابی به ترکیبی هستند که نور خورشید را منعکس کند، به لایه ازن آسیب نرساند و پس از خارج شدن از زمین باعث ایجاد مشکل روی کره خاکی نشود. هوش مصنوعی کمک زیادی به تسریع این فرآیند کرده است. در مدل شبیه‌سازی شده به کار رفته ابرکامپیوترها تمام اتمسفر، لایه ازن، استراتوسفر و دقیقاً آنچه قرار است در واقعیت اتفاق بیفتد را شبیه‌سازی می‌کنند. این یک ابزار فوق‌العاده است که فناوری در اختیار علم قرار داده است.

## عصر یخبندان یا باران‌های شیمیایی

بیا بید بار دیگر به این ماجرا از نگاه دانشمندان دیوانه فیلم‌های علمی - تخیلی نگاه کنیم. یعنی جایی که یک آزمایش با هدفی خیرخواهانه، می‌تواند باعث تسریع فرارسیدن پایان عمر زمین شود. وقتی در مورد کم کردن نور خورشید صحبت می‌کنیم، یعنی می‌خواهیم دمای کره زمین را کاهش دهیم. میلیون‌ها سال پیش، زمانی که تراکم اکسیژن در جو زمین بیشتر بود، شرایط آب و هوایی متفاوتی حکمفرما بود. اکسیژن بیشتر جو باعث جذب گرما می‌شود و خورشید در لایه‌های بالاتر آن و در نتیجه سردتر شدن سطح زمین شده بود. فرض بر این است که کره زمین رفته رفته گرم‌تر خواهد شد و این راه حل باعث

## نجات زمین به سبک دانشمندان دیوانه

ما در مورد یک فیلم علمی - تخیلی آخرالزمانی صحبت نمی‌کنیم که یک دانشمند دیوانه با ایده‌های عجیبش دنبال راه‌های فرا علمی باشد. این یک نظریه است که برخی دانشمندان برای مدیریت تابش خورشید (SRM) در حال توسعه آن هستند؛ یک طرح مهندسی جغرافیایی بحث‌برانگیز که شامل اعزام هواپیما به استراتوسفر در نقاط مختلف کره زمین و استفاده از آنها برای انتشار ذرات ریز بازتابنده در جو می‌شود.

این ذرات می‌توانند تا یک سال در استراتوسفر باقی بمانند و با انعکاس بخشی از انرژی تابشی خورشید، دمای کره زمین را کاهش دهند. پس آن‌طور که در نگاه اول به نظر می‌رسد این طرح آن قدرها هم دیوانه‌وار نیست.

دانیل سیکیزو، رئیس گروه علوم زمین، جو و سیاره در دانشگاه پوردو معتقد است برای عملی شدن چنین طرحی باید دست به دامن فناوری‌های نوین شویم. اما قرار دادن ذرات بازتابنده تشعشع در استراتوسفر کار راحتی نیست، چراکه این قسمت از جو زمین بسیار پایدار است.

بنابراین وقتی این مواد را به آنجا برسانید، بسته به قطبیت خود به طرف قطب‌های زمین سیال می‌شوند. روش پیشنهادی برای رساندن ذرات به این لایه، استفاده از هواپیماهای بسیار بلند پروازی است که بتوانند مواد را در نزدیکی خط استوا وارد جو کنند. در چنین حالتی ذرات در فصل زمستان به سمت یکی از قطب‌ها روانه می‌شوند و با تغییر فصل امکان بازگشت به سمت دیگر وجود دارد.