

آیا مهندسی زمین به مقابله فوری بشر با تغییر اقلیم کمک می کند؟

یک مطالعه جدید این ایده را که ژئومهندسی خورشیدی یک اقدام فوری برای کاهش گرمایش و دستیابی به اهداف اقلیمی است رد می کند. در فروردین ۱۴۰۲ پانل بین الدول تغییر اقلیم در مورد فراموشی اهداف کنترل افزایش دمای جهانی هشدار داده است و علاقه به فناوری هایی مانند «مهندسی زمین خورشیدی» Solar Geoengineering را به یادآورده است.

استفاده از مهندسی زمین خورشیدی ایده بحث برانگیز برای خنک کردن اقلیم زمین از طریق ابزارهای مصنوعی دارد، که احتمالاً نیازمند تعهدی جهانی بسیار طولانی تری است از آنچه سیاست گذاران و عموم مردم منطقی می پندارند. استارت آپ آمریکایی Make Sunsets سال ۲۰۲۲ دو بالن هواشناسی را در آسمان شبه جزیره «بایا کالیفرنیا» مکزیک «پرتاب کرد، بحث های شدیدی را در مورد یکی از بحث برانگیزترین راه حل های اقلیمی در جهان به راه انداخت. نقشه چنین است که بالون ها پر از هلیوم و مقدار کمی دی اکسید گوگرد، در ارتفاعات بالای استراتوسفر شناور شوند. در آنجا می ترکند و بار ذرات دی اکسید گوگرد منعکس کننده خورشید را پراکنده می کنند و زمین را کمی خنک می کنند. برای حامیان این برنامه، مهندسی زمین خورشیدی به هر حال یک راه حل مهم است، زیرا جهان به سمت فاجعه اقلیمی در حال حرکت است. البته برای منتقدان، این فناوری آنقدر خطرناک است که حتی نباید درباره آن تحقیق کنیم.

در ساده ترین حالت، مهندسی زمین خورشیدی، که به عنوان مدیریت تابش خورشیدی نیز شناخته می شود، تلاشی برای کاهش دمای سیاره با بازتاب نور خورشید به دور یا اجازه

به گرمای بیشتر به فضای بیرون از جوب نزدیک زمین است. برای این کار سه تکنیک اصلی وجود دارد:

الف) روشن شدن ابرهای دریایی شامل تلاش برای بازتاب بیشتر ابرهای کم ارتفاع بر فراز اقیانوس با پاشیدن نمک دریا بر روی آنها است. ب) نازک شدن ابر سیروس، ابرهای نازک را در بالاترین سطح اتمسفر هدف ذرات آئروسول در تلاش برای نازک شدن آنها، قرار میدهند تا گرمای کمتری را به دام اندازند. ج) بیشترین روش تحقیق، تزریق آئروسول به استراتوسفر، شامل پاشیدن ذرات معلق در هوا - مانند ذرات دی اکسید گوگرد - به داخل استراتوسفر، فراتر از حدود ۲۰ کیلومتر بالاتر از سطح زمین، برای بازتاب نور خورشید به فضا است. این کار را می توان با بالن یا هواپیماهای تخصصی که قادر به پرواز در ارتفاع بالا هستند انجام داد.

این ایده از فوران آتشفشان ها سرچشمه گرفته است. هنگامی که کوه پیناتوبو در فیلیپین در سال ۱۹۹۱ فوران کرد، دی اکسید گوگردی که به اتمسفر پرتاب کرد باعث شد تا سیاره به طور موقت ۰٫۵ درجه سانتیگراد خنک شود.

ایده زمین مهندسی خورشیدی از دهه ۱۹۶۰ وجود داشته، اما به نظر می رسد که اخیراً توجه بیشتری را به خود جلب می کند زیرا پیشرفت در مقابله با تغییرات اقلیمی بسیار کند است. جهان در مسیر عبور از آستانه های بحرانی گرمایش قرار دارد که فراتر از آن، احتمال سیل شدید، خشکسالی، آتش سوزی های جنگلی و کمبود مواد غذایی، و در بعضی موارد تحریک رخداد زمینلرزه ها به طور چشمگیری افزایش می یابد.

دانشمندان حتی تا آنجا پیش رفته اند که دمیدن غبار ماه به سمت زمین را پیشنهاد کرده اند تا به عنوان سپر خورشید عمل کند و میزان نور خورشید را که به سیاره می رسد کاهش دهد.

تقریباً هیچ کس ادعا نمی کند که مهندسی زمین خورشیدی بتواند جایگزین کاهش آلودگی ناشی از گرم شدن سیاره و حل تغییرات اقلیمی شود، ولی حداقل در مواردی می تواند با قیمت نسبتاً کمی اثر خنک کننده سیاره ای داشته باشد. یک مطالعه هاروارد در سال ۲۰۱۸ تخمین زد که هزینه آن در یک دوره ۱۵ ساله حدود ۲٫۲۵ میلیارد دلار در سال است. یک نظرسنجی در سال ۲۰۱۹ از بیش از ۷۰۰ کارشناس اقلیم نشان داد کسانی که انتظار آسیب شدید اقلیمی در کشورهای خود را داشتند، بیشتر از مهندسی زمین خورشیدی حمایت کرده اند. از دید مخالفان این فناوری می تواند درها را به روی تعداد تقریباً بی نهایتی از پیامدهای منفی بالقوه باز کند.

این نگرانی وجود دارد که دستکاری با ترموستات سیاره می تواند الگوهای بارندگی و بادهای موسمی را تغییر دهد و پیامدهای بالقوه ویرانگر را برای محصولات کشاورزی به همراه

داشته باشد اثرها می تواند در مناطق مختلف متفاوت باشد، برخی از مناطق سود می برند در حالی که برخی دیگر آسیب می بینند و احتمال درگیری را افزایش می دهند. در چنین بهم ریختگی، این افراد فقیر هستند که بیشترین آسیب را می بینند. سیل های ویرانگر در نیجریه در سال ۲۰۲۲ به دلیل تغییرات اقلیمی ۸۰ درصد احتمال بیشتری داشته است. مهندسی زمین خورشیدی همچنین می تواند به لایه اوزون آسیب برساند، لایه ای که از زمین در برابر اشعه های مضر فرابنفش محافظت می کند و در حال حاضر پس از موفقیت در ممنوعیت مواد شیمیایی مخرب لایه ازن، در مسیر ترمیم خود قرار دارد. سپس مشکلات اجرا وجود دارد. از آنجایی که ذرات آئروسول تمایلی به ماندن بیش از یک سال در جو ندارند، مهندسی زمین خورشیدی باید به طور مداوم حفظ شود. اگر متوقف شود، خطر «شوک آخر» وجود خواهد داشت که تمام گرمای متمرکز در بخش های فوقانی جو، آماده سیلی زدن به سطح زمین» خواهد بود. خطرات و عوارض جانبی ژئومهندسی خورشیدی از آسیب احتمالی به لایه اوزون زمین تا تغییرات ناخواسته در الگوهای بارش جهانی متغیر است. پس از شروع، توقف آن خطرناک است، مگر اینکه کربن کافی از جو مکیده شده باشد تا دمای زمین را به زیر یک آستانه ایمن کاهش دهد. در غیر این صورت، توقف ناگهانی مهندسی زمین می تواند باعث افزایش سرسام آور دما شود.

از سوی دیگر کشورها باید برای همیشه با یکدیگر همکاری کنند، از جمله کشورهایی که در حال حاضر در جنگ هستند. یکی از بزرگترین انتقادات به مهندسی زمین خورشیدی این است که تولید کنندگان آلاینده ها می توانند آن را به عنوان راهی برای ادامه آلودگی و توسط دولت ها به عنوان منحرف کننده از سیاست های کاهش آلودگی ناشی از گرمایش سیاره تلقی کنند.

از نظر این منتقدان دولت ها باید مهندسی زمین خورشیدی را به همان شیوه ای که سلاح های شیمیایی، سلاح های بیولوژیکی، آزمایش های هسته ای و استخراج معادن قطب شمال انجام می دهند، در نظر بگیرند. در سال ۲۰۱۹، کنگره آمریکا ۴ میلیون دلار به اداره ملی اقیانوسی و جوی برای پژوهشهای استراتوسفر اختصاص داد که بخشی از آن برای مهندسی زمین خورشیدی بود. و سال گذشته، دولت بایدن یک برنامه پژوهشی پنج ساله برای توسعه این مفهوم اعلام کرد. گزارشی از فرهنگستان ملی علوم آمریکا در سال ۲۰۲۱ از دولت ایالات متحده خواست تا ۲۰۰ میلیون دلار به یک برنامه پژوهشی برای درک بهتر مهندسی زمین خورشیدی، از جمله امکان سنجی، اثرهای آن بر جامعه و محیط زیست، و ادراک عمومی موضوع اختصاص دهد.

تلاش محققان دانشگاه هاروارد برای آزمایش یک بالون در ارتفاع بالا در قطب شمال سوئد در سال ۲۰۲۱ پس از اعتراض مردم بومی محلی رها شد. در نامه ای از طرف شورای

محلی آمده است که مهندسی زمین خورشیدی «مخاطرتی با پیامدهای فاجعه‌بار دارد» پس از رهاسازی بالون Make Sunset، دولت مکزیک در ژانویه ۲۰۲۳ اعلام کرد که آزمایش‌های مهندسی زمین خورشیدی را ممنوع می‌کند. با گرم شدن جهان و تغییر مهندسی زمین خورشیدی از علمی تخیلی به جریان اصلی، کشمکش‌ها بین کسانی که می‌گویند موظف به تحقیق در مورد آن به عنوان آخرین راه‌حل بالقوه است و کسانی که متقاعد شده‌اند که مسیری به سوی فاجعه است، افزایش می‌یابد. اگر رهبران جهان تصمیم بگیرند از مهندسی زمین خورشیدی برای دستیابی به اهداف بین‌المللی اقلیمی استفاده کنند، ممکن است برای یک قرن یا بیشتر بدان مشغول باشند که بدیل ترتیب بازه زمانی بالقوه طولانی بحث در مورد مهندسی زمین و قابلیت حیات آن را پیچیده تر می‌کند. اگر کشورها به سرعت انتشار گازهای گلخانه‌ای و کربن اتمسفر را کاهش دهند، مهندسی زمین خورشیدی می‌تواند غیر ضروری باشد.

اما بر اساس تعهداتی که کشورها در زمینه کاهش کربن در COP21 تحت توافقنامه پاریس ۲۰۱۵ اتخاذ کرده‌اند، مهندسی زمین خورشیدی احتمالاً باید حداقل یک قرن ادامه داشته باشد تا گرمایش جهانی در آستانه ۱,۵ درجه سانتیگراد حفظ شود. اگر کشورها به اهداف اقلیمی خود در توافق پاریس دست پیدا کنند، مهندسی زمین خورشیدی حداقل برای یک قرن قبل از اینکه جهان بتواند با خیال راحت متوقف شود و اطمینان حاصل شود که افزایش دمای جهانی زیر ۱,۵ درجه سانتیگراد باقی خواهد ماند، مورد نیاز است.

این آستانه بلندپروازانه ترین هدف توافقنامه پاریس است. و گریزان تر می‌شود. جدیدترین گزارش هیئت بین‌دولتی تغییرات اقلیمی سازمان ملل که در ماه مارس ۲۰۲۳ منتشر شد، هشدار می‌دهد که جهان ممکن است ظرف یک دهه از دمای هدف فراتر رود. این گزارش می‌گوید حتی با کاهش فوری انتشار کربن، جهان احتمالاً حداقل به طور موقت از آستانه ۱,۵ درجه سانتیگراد فراتر خواهد رفت.

کشورها می‌توانند از فناوری‌های مختلف برای مکیدن دی‌اکسید کربن از جو استفاده کنند و در این فرآیند دمای جهانی را کاهش دهند. اما برخی از پیامدهای تغییرات اقلیمی، مانند افزایش سطح آب دریاها، در مقیاس‌های زمانی بشری برگشت‌ناپذیر است و قابل جبران نیست پس از رسیدن انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی به صفر خالص و حذف کربن کافی، جهان می‌تواند بدون افزایش دمای جهانی، استفاده از مهندسی زمین را متوقف کند. اما مشخص نیست چقدر طول می‌کشد تا به آن نقطه برسیم.

مهدی زارع

عضو هیات علمی پژوهشگاه زلزله

سردبیر نشریه