

ناترازی انرژی در جهان



نویسندگان:

مهدی امینی، یاسین سرپله، زهرا جمالی

ناترازی انرژی (EEI)، به تفاوت بین انرژی‌ای که از خورشید وارد سیستم زمین می‌شود (ASR) و انرژی‌ای که به صورت تابش بازتابی یا گرمایی به فضا بازمی‌گردد (OLR) گفته می‌شود. زمانی که ورودی انرژی بیشتر از خروجی باشد، زمین در وضعیت مثبت یا گرم‌شونده قرار می‌گیرد و شروع به انباشت گرما در اتمسفر، سطح و اقیانوس‌ها می‌نماید. به عبارت دیگر:

$$EEI = ASR - OLR$$

در بازه ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۹، متوسط EEI حدود 0.15 ± 0.09 وات بر متر مربع بوده که معادل حدود ۴۶۰ تراوات انرژی اضافه در سطح زمین است، به طور عمده در اقیانوس‌ها ذخیره شده است. این معیار، به عنوان یک سنجه کلیدی برای سنجش تغییرات اقلیمی شناخته شده و نشان می‌دهد چه مقدار گرمایش قریب‌الوقوع در لوله انتظار (pipeline warming) وجود دارد، مثلاً گرمایی که هنوز ظاهر نشده اما در راه است. براساس مطالعات EEI از ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ بیش از دو برابر افزایش یافته است؛ یعنی رسیدن به حدود $1/3$ تا $1/8$ وات بر متر مربع در سال‌های نزدیک ۲۰۲۳، در مقابل حدود 0.06 وات بر متر مربع در نیمه اول دهه ۲۰۰۰. این افزایش چشمگیر، بسیار فراتر از پیش‌بینی مدل‌های اقلیمی بوده و دلالت بر حساسیت بالاتر سیستم زمین به گازهای گلخانه‌ای دارد.



دلایل افزایش ناترازی انرژی و پیامدها

۳) کاهش آلاینده‌های سردکننده (Aerosols): با کاهش تولید ذرات معلق مثل دی‌اکسید گوگرد، که در ابرها بازتاب نور خورشید را افزایش می‌دادند، بخشی از اثر خنک‌کنندگی جوی از دست رفته است. برخی تحقیقات مطرح می‌کنند که تقریباً ۴۰٪ از افزایش اخیر EEI به دلیل کاهش این ذرات است.

۴) نوسانات طبیعی اقلیمی مثل (PDO): برخی دوره‌های طبیعی مانند فاز گرم یا شکل‌گیری ال‌نینو باعث کاهش پوشش ابری و افزایش جذب انرژی خورشیدی می‌شوند و مقطعی بر ناترازی انرژی افزوده‌اند.

۱) افزایش گازهای گلخانه‌ای: کربن دی‌اکسید و متان تولید شده توسط فعالیت انسان مثل سوزاندن سوخت‌های فسیلی باعث به دام افتادن تابش‌های خروجی در جو می‌شوند، که منجر به انباشت انرژی در سیستم زمین می‌گردد.

۲) کاهش بازتاب سطح زمین (آلبدو): پس از دست رفتن یخ‌های قطبی و کاهش پوشش ابر، توانایی زمین در بازتاب انرژی کمتر شده و انرژی بیشتری جذب می‌شود. این کاهش بازتاب‌اندازی به خصوص در قطب‌ها به دلیل گرمایش سریع‌تر و چرخه‌های آب و هوایی مؤثرتر، نقش مهمی دارد.

پیامدهای این ناترازی انرژی عبارت‌اند از:

۱) افزایش دمای زمین و گرمایش جهانی: دمای سطح زمین به‌طور پیوسته در حال افزایش است. دهه ۲۰۱۰ گرم‌ترین دهه تاریخ ثبت‌شده بود و دهه ۲۰۲۰ از آن هم گرم‌تر شده. رکوردهای جدید دمایی سال‌به‌سال شکسته می‌شوند.

۲) گرمایش و اسیدی شدن اقیانوس‌ها: بیش از ۹۰٪ انرژی اضافی ناشی از ناترازی، وارد اقیانوس‌ها می‌شود. باعث گرم شدن عمق دریا، تخریب صخره‌های مرجانی و انقراض گونه‌های حساس می‌شود. با جذب کربن دی اکسید، اسیدی شدن اقیانوس‌ها تشدید می‌شود که حیات دریایی را تهدید می‌کند.

۳) ذوب یخ‌ها و کاهش پوشش برفی: یخ‌های قطبی (گرینلند، جنوبگان) با سرعت بالا در حال ذوب هستند. پوشش برف در بهار زودتر از گذشته آب می‌شود. این پدیده باعث کاهش «آلبدو» (بازتاب نور خورشید) و در نتیجه جذب بیشتر گرما می‌شود (اثر بازخورد مثبت).

۴) افزایش سطح دریا: دو عامل اصلی شامل ذوب یخ‌ها و انبساط حرارتی آب گر است. بالا آمدن سطح دریا به غرق شدن سواحل، شور شدن آب‌های زیرزمینی و مهاجرت اجباری میلیون‌ها نفر منجر خواهد شد. برخی کشورها مثل بنگلادش و جزایر اقیانوس آرام در خطر جدی هستند.

۵) افزایش پدیده‌های حدی اقلیمی: موج‌های گرمایی شدیدتر و طولانی‌تر. بارش‌های سیل‌آسا و طوفان‌های سهمگین‌تر. خشکسالی‌های طولانی‌مدت در برخی مناطق. آتش‌سوزی‌های جنگلی شدید و غیرقابل مهار (مثل استرالیا، آمریکا، کانادا)

۶) اختلال در کشاورزی و امنیت غذایی: فصل‌های کشاورزی تغییر می‌کنند یا کوتاه‌تر می‌شوند. برخی محصولات مانند گندم، ذرت و برنج عملکرد کمتری دارند. مناطق خشک، خشک‌تر و مناطق مرطوب، مستعد سیلاب می‌شوند.

۷) تأثیر بر سلامت انسان: افزایش بیماری‌های ناشی از گرما (Heatstroke). گسترش بیماری‌های واگیردار از طریق ناقلین (مثل مالاریا، دنگی). افزایش آلاینده‌های هوا، به‌ویژه در شهرهای گرم‌تر.

۸) تأثیر بر تنوع زیستی: انقراض گونه‌هایی که توان سازگاری سریع ندارند. نابودی زیستگاه‌های طبیعی مثل مرجان‌ها، یخ‌های قطبی، تالاب‌ها. مهاجرت گونه‌ها به عرض‌های جغرافیایی یا ارتفاعات جدید.

۹) پیامدهای اقتصادی و اجتماعی: تخریب زیرساخت‌ها در اثر سیل و گرما. افزایش هزینه‌های بیمه، بهداشت و بازسازی مهاجرت‌های اقلیمی (Climate Migration) و افزایش تنش‌های سیاسی و امنیتی.

آماري که تاکنون ذکر شد، نشان می‌دهد ناترازی انرژی زمین به‌صورت قابل‌توجهی افزایش یافته، به‌طوری که مدل‌های اقلیمی کنونی نتوانسته‌اند نرخ آن را پیش‌بینی کنند. این روند ناشی از تعامل ترکیبی تغییر انسانی و نوسانات طبیعی اقلیم است. پیامد آن، تشدید گرمایش جهانی، ذوب یخ‌ها و تغییر الگوهای اقلیمی است. ادامه نظارت دقیق بر EEI و درک مکانیزم‌های پشت آن برای تدوین سیاست‌های اقلیمی ضروری و حیاتی است.

Earth's Energy Imbalance (EEI) from 2000 to 2024

