

زمین چرا گرم می شود

یوسف ثبوتی *

جوّ زمین از ۲۰/۹۵٪ اکسیژن، ۷۸/۰۸٪ نیتروژن، ۰/۹۳٪ آرگن، که جمعاً ۹۹/۹۶٪ می شود تشکیل شده است. چند مولکول دیگر، از جمله کربن دی اکسید، متان، اکسیدهای نیتروژن، آزن، و چند چیز دیگر ۰/۰۴٪ به جامانده را تشکیل می دهند. ولی همین چند مولکول، و از میان آنها به ویژه کربن دی اکسید، نقش سرنوشت ساز در نگاهداشت زیست بوم شاد و شادابی را دارند که در روی کره زمین می بینیم. شیشه در و دیوار گلخانه نور خورشید را به زمین راه می دهد و از بیرون رفتن گرمای زمین جلوگیری می کند. به همین مناسبت، این گازها به گازهای گلخانه ای شناخته شده اند. گازهای گلخانه ای نقش لحاف را در روی کره زمین دارند. زمین را گرم نگه می دارند. اقلیم شناسان می گویند اگر تنها کربن دی اکسید را از جوّ زمین بیرون بکشیم، دمای زمین تا شانزده درجه زیر صفر سرد می شود؛ آب اقیانوس ها و دریاها یخ می زند؛ و زندگی حیوانی و گیاهی، به صورتی که در آب ها و خاک ها، در زیر و زیر زمین سراغ داریم، وجود نخواهد داشت.

لحاف کربن دی اکسید و گازهای دیگر اگر نازک باشد زمین سرد و اگر ضخیم باشد زمین گرم خواهد شد. در طول تاریخ تحول زمین، چنین چیزی بارها اتفاق افتاده است. در یک میلیون سال گذشته، دست کم ده دوره یخبندان بسیار سرد و میان یخبندان گرم شناسایی شده است. دوره تناوب آمدن و رفتن آنها کم و بیش یک صد و بیست هزار سال است. آخرین یخبندان در بیست هزار سال پیش پایان یافته است. گفته می شود در آخرین یخبندان دمای زمین شش تا ده درجه سردتر از حالا و تراز اقیانوس ها، به خاطر انباشت یخ و برف در قاره های جنوب و شمال و کوهستان ها، یک صد و ده متر پایین تر از اکنون بوده است. دریای برینگ خشک بوده است و دو قاره آسیا و امریکای شمالی به هم پیوسته بوده اند. به احتمال، سرخ پوستان کنونی امریکا هم بومیان آسیا بوده اند که از همین راه به امریکای شمالی و جنوبی قدم گذاشته اند.

از بیست هزار سال پیش، زمین دوباره آغاز به گرم شدن کرده است و انتظار می رود در یک یا دو هزار سال آینده این گرم شدن نیز به پایان برسد و یخبندان بعدی آغاز شود. توجه خواننده گرامی را به بازه های

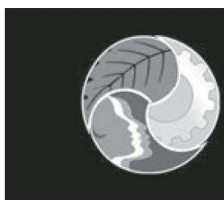
* رئیس پژوهشکده تغییر اقلیم و گرمایش زمین، وابسته به دانشگاه تحصیلات تکمیلی در علوم پایه، زنجان. تازه ترین کتاب ایشان: نسبیت: خاص و عام، مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۹۷.



زمانی چندصد و چندده هزار سال‌هایی که در بالا یاد شده جلب می‌کنم. این بازه‌ها دوره‌های تغییرات زمانی نیروهای طبیعی حاکم بر زمین و مستقر در منظومه خورشیدی و خود زمین هستند. انسان پایه نیستند و در صدها میلیون سال گذشته و یکی-دو میلیارد سال آینده هم خواهند بود و نقش خود را بازی خواهند کرد. آنچه برای انسان امروز سبب نگرانی شده، کرده‌های خود او در دویست-سیصد سال گذشته است. داستان چنین است: تمدن یکجانشینی امروز از میان‌رودان تا هند و چین و مصر و افریقا و بعدها تا اروپا و خیلی بعدها تا قاره‌های جدید امریکای شمالی و مرکزی و جنوبی، بیش از ده-دوازده هزار سال سابقه ندارد، و در مقایسه با صدها هزار و میلیون‌ها سال یادشده در بالا، چشم به‌هم‌زدنی بیش نیست. در این ده-دوازده هزار سال، آب و هوا، برف و باران، سردی و گرمی، آمدن و رفتن فصل‌های سال، تغییرات زیادی نداشته است. انسان متمدن امروزی خود و ساخته‌هایش را با شرایط اقلیمی کم‌وبیش ثابت و ساکن این ده-دوازده هزار سال سازگار کرده و امروز یک‌باره متوجه شده است که دانش و تکنولوژی دویست-سیصد سال گذشته کار دستش می‌دهد و آب و هوا را، در بازه‌های زمانی ده-بیست ساله، دگرگون می‌کند. در این زمان کوتاه نه خودش، نه گیاه، نه حیوان توانایی سازگاری با اقلیم دست‌کاری‌شده به‌دست انسان را ندارد. ممکن است بسیاری از دستاوردهای ده-دوازده هزار ساله‌اش را از دست بدهد. بالاتر از همه، زندگی را برای گیاه و حیوان، که هیچ نقشی در این میان نداشته‌اند، در آب و خاک و هوا ناسالم و آسیب‌پذیر کرده است.

بینیم انسان دویست-سیصد سال گذشته چه کرده است. از برکت دانش‌های نوین، تکنولوژی‌های نوین آفریده است: انواع ماشین‌های صنعتی برای تولید و مصرف انبوه، مسافرت‌های دور و دراز در خاک و آب و هوا، پزشکی و درمان نوین قابل‌گسترش در همه‌جای دنیا انسان‌های کم‌توان و کم‌دانش دویست-سیصد سال پیش را توانایی و دانش به‌زیستن و دیرزیستن داده است. گروه‌های انسانی دور و بی‌خبر از هم را با هم‌دیگر پیوند داده و دهکده جهانی به وجود آورده است، به‌طوری که انسان‌ها در گوشه گوشه دنیای پهناور می‌توانند در چشم به‌هم‌زدنی از حال هم خبردار شوند و عمل و عکس‌العمل نشان دهند. دانش‌ها و تکنولوژی‌های نوین نعمت‌های بزرگ‌اند و سزاوار قدردانی، ولی در آفریدن و به‌کار بردن بی‌محابای آن‌ها آینده‌نگری لازم انجام نگرفته است. چرا؟

همه آن‌چه از دویست-سیصد سال پیش تا به امروز انجام گرفته است و می‌گیرد نیاز به انرژی فراوان داشته است و دارد. انسان مدرن این انرژی فراوان را، باز با یاری دانش و تکنولوژی، در زیر زمین سراغ گرفته است. زغال‌سنگ و نفت و گازی را که از صدها میلیون سال پیش در زیر زمین پنهان بوده است در آورده، سوزانده و به‌صورت کربن‌دی‌اکسید و اندکی به صورت متان به هوا داده است. تازه از سی-چهل سال پیش متوجه شده که این همه کربن‌دی‌اکسید زیست‌بوم خود انسان و حیوان و گیاه را از چارچوب طبیعی بیرون برده و مشکل آفریده است. کربن‌دی‌اکسید انسان‌پایه، و چند گاز گلخانه‌ای دیگر که بی‌واسطه یا باواسطه در این عصر صنعتی به جو داده شده است، زمین را خارج از روند طبیعی گرم می‌کنند؛ یخ‌های قطب جنوب و گرین‌لند و کوهستان‌ها را آب می‌کنند، سطح دریاهای بالا می‌آورند، سکونت‌گاه‌ها در سواحل پست و جزیره‌هایی را که تنها دو-سه متر بالاتر از آب هستند زیر آب می‌برند و ساکنانشان را آواره اقلیم می‌کنند. در زیست‌بوم‌های دریایی و اقیانوسی، صدف‌ها و پلانکتون‌ها را که خود در زنجیره غذایی دریازیان نقش تعیین‌کننده دارند دچار مشکل می‌کنند. میزان، فصل، و جغرافیای بارش‌ها را نیز عوض می‌کنند. هرکدام از ناهنجاری‌ها مشکل خود را به وجود می‌آورند.



چه باید کرد؟ جمعیت هشت و خرده‌ای میلیارد نفری جهان را نمی‌توان به زیر یک میلیارد نفر سده نوزدهم برگرداند. به آسیایی و افریقایی نمی‌شود گفت به دنبال غذا و پوشاک و مسکن خوب نرو و هوس زندگی مانند امریکایی و اروپایی صاحب صنعت و دانش، یا عرب صاحب نفت و ثروت، نکن. می‌شود بی‌خیال بود و زیست‌بوم‌ها را به حال خود رها کرد که خود دانند با اقلیم جدید سازگار شوند یا نشوند. ولی انسان سده بیست و یکم باید دوراندیش‌تر از این باشد. زیست‌بوم سامانه‌ای یک‌پارچه

و به هم تنیده است. اگر عضوی از آن را روزگار به درد آورد عضوهای دیگرش، از جمله انسان و جوامع انسانی، را قرار نخواهد ماند. حالا که انسان‌ها و همه

انسان‌ها شهروندان دهکده جهانی شده‌اند، بهتر است همه، از حکومت‌ها و سیاست‌گذاران گرفته تا صاحبان صنعت و تجارت، صاحبان دانش و اندیشه، و تک‌تک مردم در هر جا که هستند و هر پیشه‌ای که دارند، در

اندیشه توسعه پایدار زیست‌بوم باشند. بدانند و باور کنند که خود عضوی از

زیست‌بوم جهانی هستند و صلاح خودشان را در صلاح و سلامت زیست‌بوم

بجویند. از توسعه پایدار سخن رفت. به معنایی که در چند دهه گذشته مجامع

علمی تعریف کرده‌اند و مورد قبول سازمان ملل و بخش قابل توجهی از نهادهای

اجرایی دولت‌ها و ملت‌ها قرار گرفته، توسعه پایدار الزام می‌کند همه بهوش باشند:

☞ منابع روی زمین و زیر زمین نامحدود نیست. همه حق دارند از آن‌ها

بهره بگیرند ولی اجازه ندارند اسراف کنند، به خصوص اجازه ندارند حق

فرزندان خود و نسل‌های آینده را نادیده بگیرند و زمینی ویران برایشان

به ارث بگذارند.

☞ آب و خاک و هوا، با الگوی مصرف راحتی طلبانه‌ای که کشورهای ثروتمند

جهان رواج داده‌اند و دیگران گرت‌برداری می‌کنند، آسیب‌پذیرند. لازم است

همه جوامع جهان در سالم‌سازی و سالم‌داری آب و خاک و هوا، در حد توان

و متناسب با بهره‌ای که می‌گیرند، سهیم باشند.

☞ اگر کربن‌دی‌اکسید حاصل از سوخت‌های فسیلی عامل اصلی تغییر اقلیم و گرمایش

زمین است، چاره کار ممکن است مشکل و پرهزینه و زمان‌بر باشد، ولی روشن است

که باید سوخت‌های فسیلی کم مصرف شود، بهتر مصرف شود، و برای‌شان جایگزین پیدا

شود. این چاره‌ای است که پَنل دولت‌ها برای تغییر اقلیم (Intergovernmental Panel for

Climate Change, IPCC)، در چهل سال گذشته تجویز کرده است. پَنل دولت‌ها برای تغییر

اقلیم را سازمان جهانی هواشناسی (World Meteorological Organization, WMO) و برنامه

محیط زیست سازمان ملل (United Nations Environment Program) در سال ۱۹۸۸ تأسیس

کردند. وظیفه آن عبارت است از:

☞ ارزیابی به‌روز دانش اقلیم، تأثیر اجتماعی-اقتصادی تغییر اقلیم

☞ ارزیابی علمی و جامع‌الاطراف خطرات تغییر اقلیم، ناشی از فعالیت‌های انسان



گزینه‌های سازگاری با تغییر اقلیم و کاهش آثار ناخواسته تغییر اقلیم

از زمان تأسیس تا به امروز، IPCC به‌طور مرتب گزارش ارزیابی تهیه کرده است:
 ❖ گزارش اول، ۱۹۹۰، زمینه را برای تشکیل کنوانسیون چارچوب سازمان ملل برای اقلیم آماده کرد.
 (United Nations Framework Convention for Climate Change, UNFCCC)

❖ گزارش دوم، ۱۹۹۵، مآلاً به تنظیم پیمان کیوتو انجامید.
 ❖ گزارش سوم، ۲۰۰۱، و گزارش چهارم، ۲۰۰۷، در همگانی کردن موضوع گرمایش زمین و جلب توجه دانشمندان، عموم مردم، و دولت‌ها به تغییر اقلیم بسیار مؤثر بود. در همین سال، بنیاد نوبل جایزه صلح ۲۰۰۷ را به IPCC (مشترک با ال گور، معاون بیل کلیتون، رئیس جمهور پیشین آمریکا) اعطا کرد.
 ❖ گزارش پنجم، ۲۰۱۴، علاوه بر سه بخش معمول پِنل (گزارش مبانی علمی فیزیکی، گزارش سازگاری با اقلیم و آسیب‌پذیری از آن، گزارش کاهش آثار ناخواسته تغییر اقلیم) یک گزارش تلفیقی ارائه کرد.

در ۲۰۱۵، گزارش تلفیقی یادشده مآلاً مبنای دستور کار کنفرانس پاریس قرار گرفت. کنفرانس پاریس^۱ یک معاهده بین‌المللی زیست‌محیطی است. هدف آن تثبیت غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو زمین است. از بازیگران جهانی عرصه‌های سیاست، حکومت، سرمایه، فناوری، و دانش خواسته می‌شود:

نشر گازهای گلخانه‌ای جهان را چنان مدیریت کنند که در پایان سده بیست‌ویکم، دمای کره زمین بیش از دو درجه (و اگر ممکن است بیش از یک و نیم درجه) از سال ۱۹۰۰ گرم‌تر نشود.

برای رسیدن به این هدف، به دولت‌های عضو کنوانسیون چارچوب توصیه می‌شود:

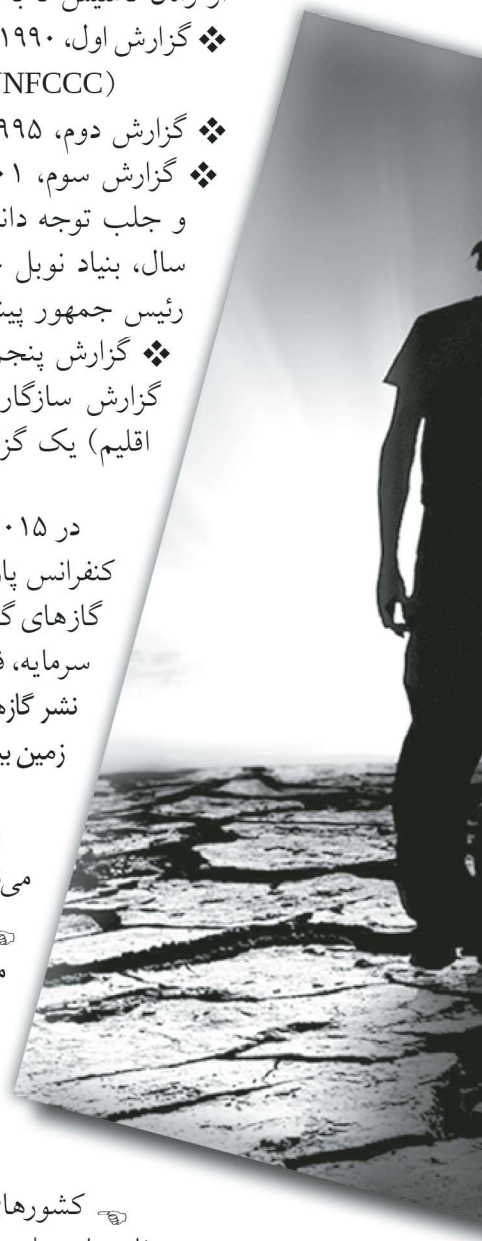
☞ دولت‌ها، متناسب با توان مالی، مدیریتی، و تکنولوژیکی خود «برنامه ملی مورد نظر» برای کاهش گازهای گلخانه‌ای خود تدوین کنند.

☞ دولت‌ها، برای تضمین تحقق برنامه ملی مورد نظر، پیشرفت دو سالانه خود را به کنوانسیون چارچوب گزارش کنند.

☞ دولت‌ها برنامه ملی مورد نظر خود را هر پنج سال یک‌بار، بر اساس دانش و مهارت و تجربه‌های به‌دست‌آمده، بازبینی کنند.

☞ کشورهای توسعه‌یافته به کشورهای درحال توسعه و کمتر توسعه‌یافته، در اجرای برنامه‌های ملی مورد نظرشان، از نظر مالی، دانش، و تکنولوژی کمک کنند.

تعهدات کشورها در قبال کنفرانس پاریس برای هیچ‌یک از کشورهای عضو الزام‌آور نیست. تنها توجه داده می‌شود که گرم شدن زمین برای زیست‌بوم‌های انسانی، گیاهی، و حیوانی تبعات ناخوشایند دارد و کاهش خطرات جهانی آن و سازگاری با آن مسئولیت جهانی است.



جمهوری اسلامی ایران از ۱۹۹۶ عضو کنوانسیون چارچوب است. یک کارگروه تغییر اقلیم مستقر در سازمان حفاظت محیط زیست کشور عهده‌دار ارتباطات و مکاتبات با کنوانسیون است. رئیس‌جمهور ایران در کنفرانس پاریس تعهد کرده است:

❖ ایران داوطلبانه ۴٪ از نشر گازهای گلخانه‌ای خود را در فاصله زمانی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۳۰ بکاهد.

❖ مشروط به برداشته شدن تحریم‌ها و فراهم شدن امکانات مالی و تکنولوژیکی، ۸٪ دیگر نیز تا سال ۲۰۵۰ از نشر گازهای گلخانه‌ای بکاهد.

چنین تعهدی به آسانی، نه تنها قابل اجرا، بلکه سودآور نیز است، کافی است، به عنوان مثال:

- ➔ نیروگاه‌های تک‌سیکل با نیروگاه‌های سیکل ترکیبی جایگزین شوند.
- ➔ نشت نفت و گاز و برق در شبکه‌های انتقال در سراسر کشور در حد نُرْم جهانی ۵٪ باشد.
- ➔ تخمین زده می‌شود این میزان در حال حاضر به تفاوت بین ۱۰٪ و ۱۵٪ است.
- ➔ شدت انرژی در کشور در تولیدات صنعتی و ساختمانی کشور (یعنی میزان مصرف انرژی برای تولید مثلاً یک دلار ثروت) بسیار بالاست: دو برابر منطقه، چهار برابر اروپا، و نزدیک به نه برابر ژاپن. شدت انرژی را می‌توان با نوسازی صنایع، از بین بردن تشریفات اداری دست‌وپاگیر، چابک کردن مدیریت‌های خصوصی و دولتی تا چهار برابر پایین آورد.

در ۲۰۱۰، هدررفت گاز در میدان‌های نفت و گاز، در پالایشگاه‌ها و صنایع پتروشیمی، ۱۸٪ گازهای گلخانه‌ای کشور را تشکیل می‌داد. در حال حاضر، کمی کمتر از این مقدار است. پژوهشگران پژوهشکده انرژی دانشگاه صنعتی شریف می‌گویند جمع‌آوری ۷۵٪ این گازها امکان‌پذیر است و با همین تدبیر می‌توان ۵٪ از نشر گاز گلخانه‌ای کشور کاست که ۱٪ بیشتر از تعهد داوطلبانه رئیس‌جمهور روحانی در کنفرانس پاریس است.

بدیهی است اجرایی کردن هرکدام از توصیه‌های بالا نیاز به سرمایه‌گذاری‌های کلان دارد. ولی هدررفت برق و آب و گاز در شبکه انتقال، هدررفت گاز در میدان‌های نفت و گاز خود ثروت‌هایی کلان‌ترند. کارشناسان می‌گویند در عرض چهار-پنج سال سرمایه برمی‌گردد و پروژه‌ها به سوددهی می‌رسند. چنین فرصتی در کاهش شدت انرژی در تولیدات صنعتی نیز فراهم است. نگار



پی‌نوشت

۱. حامد زندی و یوسف ثبوتی، «چکیده توافقات اجلاس بیست‌ویکم تغییر اقلیم سازمان ملل متحد، پاریس»، نامه فرهنگستان علوم، شماره سوم، تابستان ۱۳۹۷، ص ۱۵.

منابع

۱. ثبوتی، یوسف، زمین گرم، ارمغان سده ۲۱، تهران: گیئاشناسی، ۱۳۹۰.
۲. ثبوتی، یوسف، «پیشگفتار»، نامه فرهنگستان علوم، شماره سوم، تابستان ۱۳۹۷.