سیل و تغییر اقلیم

توضیحات «مورد ۴۶»

ادّعا: یکی از عوامل دخیل در سیل‌های اخیر ایران، گرمایش جهانی است.

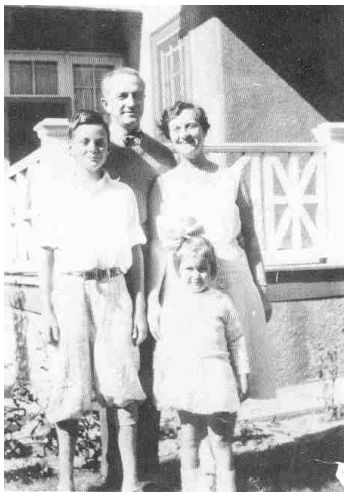
تمام سوءِ مدیریتها و آماده نبودن‌ها و خلافهای مربوط به بستر رودخانه را که به حساب آوریم، آیا هنوز سهمی هم برای گرمایش جهانی باقی می‌ماند؟

آیا به نظر شما گرمایش جهانی سیل هم ایجاد می‌کند که اصلاً بتوانیم بخشی از عوامل به حسابش آوریم؟! یا با توجّه به کلمهٔ «گرمایش» انتظار داریم فقط خشکسالی تولید کند؟

https://t.me/AlakPhysics

Telegram ID: @AlakPhysics

(https://t.me/AlakPhysics/298)



ریچارد فاینمن، فیزیکدانی که در جامعهٔ فیزیکدانها بسیار معروف و سرشناس است، کتابی دارد به نام «حتماً شوخی می‌کنید آقای فاینمن» که مجموعه‌ایست از خاطرات جالبش. کتابی خواندنی است اگر وقتش را داشته باشید. در فصل اوّل کتاب خاطرهٔ شیرینی از خواهر ۳ساله‌اش *جوآن* که ۹سال از خودش کوچکتر است تعریف می‌کند. پارسال بود که در گردهمایی جامعهٔ فیزیکی آمریکا، پای سخنرانی *جوآن*[1] که حالا ۹۱سال داشت نشستیم. جوآن اخترفیزیکدان است و کارهای شناخته شده‌ای در زمینهٔ بادهای خورشیدی و شفق‌ها دارد و دربارهٔ تغییر اقلیم هم تحقیقاتی کرده است. آنروز هم از برادرش گفت، هم دربارهٔ جایگاه زنان در فیزیک صحبت کرد و هم مشاهدهٔ جالبی را شرح داد که گفتم شاید بد نباشد در اینجا هم بازگو شود. در آنچه در بخش بعدی می‌آید، از سخنرانی فاینمن و مقالهٔ او استفاده شده است.





این عکسی از یک غارنگارهٔ زیبا در جنوب فرانسه است. نقش چهار اسب با جزئیات بسیار در آن پیداست. یک نفر، حدود ۳۱هزار سال پیش این طرح را روی دیوار غار نقاشی کرده است. در آن زمان کشاورزی وجود نداشت. در واقع تا حدود ۱۰٫۶هزار سال پیش کشاورزی در جوامع بشری ظهور نکرد. چرا برای انسان اندیشمندی که چنین طرح با جزئیاتی به دیوار غار زده است، ابداع کشاورزی ۲۰هزار سال به درازا کشید؟

در واقع انسان خردمند حدود ۱۳۰هزار سال پیش پیدایش یافته، ۵۵هزار سال پیش کوچش را از آفریقا آغاز کرده، ۳۰هزار سال پیش روی دیوار غار چنان نقّاشی‌هایی به جا گذاشته؛ امّا در تمام این مدّت به کشاورزی دست نیافته است تا اینکه ناگهان حدود ۱۰هزار سال پیش، جوامعی که در آنها کشاورزی وجود داشته است، در نقاط مختلف جهان به صورت ناگهان سر برمی‌آورند. چه چیزی باعث شده که کشاورزی تقریباً هم‌زمان در مناطقی از کرهٔ زمین که از هم دور هستند و در آن زمان لزوماً ارتباطی با یکدیگر نداشته‌اند ظهور کند؟

منطقهٔ مستقل	گیاه اهلی‌سازی شده	تاریخ قدیمیترین بقایای یافته شده
شام	گندم	۱۰هزار تا ۱۰٫۶هزار سال پیش
چین	برنج	۹هزار تا ۱۰هزار سال پیش
آمریکای میانه	ذرت	حدود ۹هزار سال پیش
آندی-آمازونی	کدو	۹هزار تا ۱۰هزار سال پیش

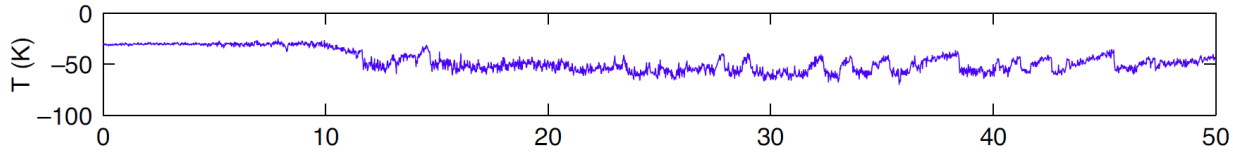
همانطور که در جدول بالا می‌بینید، حتّی گیاهانی که در این جوامع کشاورزی نوظهور اهلی‌سازی شده‌اند از یک نوع نیستند، که نشان می‌دهد کشاورزیِ این مناطق بدون ارتباط با دیگری تشکیل شده است. بنابراین چیزی که باعث شده بشر به کشاورزی دست پیدا کند، باید در تمام این مناطق مستقلاً رخ داده باشد، آن هم هم‌زمان. آن اتّفاق چیست؟

اگر بخواهیم حدس بزنیم که توسعهٔ کشاورزی به چیزهایی نیاز دارد، احتمالاً می‌گوییم: یک فنّاوری هرچند ساده برای جمع‌آوری، فرآوری و ذخیرهٔ محصولات کشاورزی؛ و همچنین وجود گیاهانی مناسب کشاورزی در آن منطقهٔ خاص. اگر همینطوری بخواهیم روند توسعهٔ کشاورزی را پیش خودمان تصور کنیم، لابد انسان با گیاهی که ارزش غذایی دارد آشنا می‌شود، اقدام به کاشتن آن می‌کند و مزرعه تشکیل می‌دهد، سپس دانهٔ آن دسته از گیاهانی که بیشتر به دردش می‌خورند را بیشتر می‌کارد و اینگونه نسل گیاهان دلخواه خود را فراوان‌تر می‌کند (اهلی‌سازی) و در این میان نیز برای خود ابزارهایی می‌سازد تا در این راه

[1] Joan Feynman تلفظ صحیح اسم کوچک او جُوْن است.

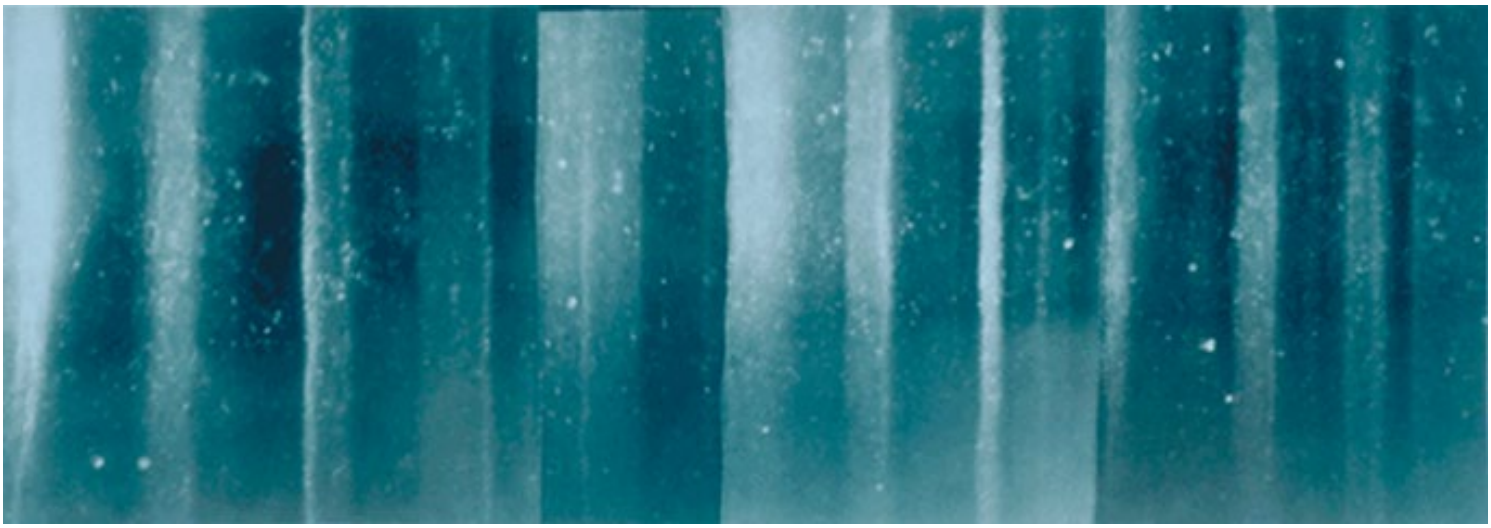
کمکش کنند. تمام این کاشت و برداشتها و آزمایشها و تلاشها زمان می‌خواهد. امّا اگر این زمان به هر دلیل قطع شود و انسان مجبور باشد تا مثلاً هزار سال دیگر پرداختن به کشاورزی را تعطیل کند، روند توسعه قطع خواهد شد و باید از اوّل شروع شود. مثلاً اگر آب و هوا آنقدر تغییر کند که گیاهی که قبلاً در اقلیم منطقهٔ *شام* خوب رشد می‌کرد، دیگر نتواند به خوبی رشد کند، تلاشهای کشاورزانی که در منطقهٔ شام ساکن شده‌اند و مرزعه تشکیل داده‌اند به تثبیت کشاورزی منجر نخواهد شد.

چیزی که برای هزاران سال جلوی انسان خردمند را می‌گرفت و روند توسعه‌اش را قطع می‌کرد و نمی‌گذاشت کشاورزی تشکیل دهد، ناپایداری اقلیم بود. طبق داده‌ها، آب و هوای زمین حدود ۱۱هزار سال پیش پایدار می‌شود؛ همان زمانی که کشاورزی ظهور پیدا کرده است. این تطابق شگفت انگیز است! بشری را تصور کنید که در انتظار تثبیت شرایط آب و هوایی است تا بتواند قدمی در جهت تمدّن بردارد.

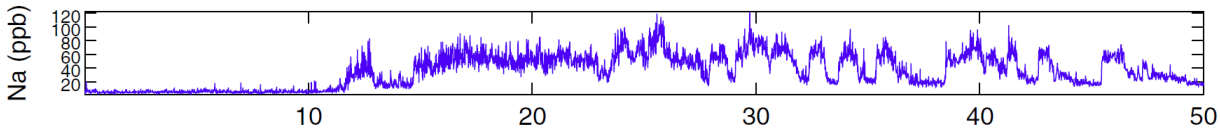


نمودار بالا به میانگین دمای هوای گذشتهٔ زمین مربوط می‌شود. محور عمودی دما و محور افقی زمان است. مبدأ، زمان حال را نشان می‌دهد و هر چه از مبدأ به سمت راست دور شویم به زمانهای گذشته می‌رسیم. واحد محور افقی نیز «هزار سال» است، یعنی مثلاً دورترین (راست‌ترین) نقطه در نمودار، زمان ۵۰هزار سال پیش را نشان می‌دهد. همانطور که در نمودار پیداست، از حدود ۱۱هزار سال پیش، شرایط دمایی به یک پایداری نسبی رسیده است. امّا حالا اصلاً این اطلاعات از کجا می‌آید؟ ما چطور می‌توانیم بفهمیم که دمای زمین در زمانهای بسیار دور چقدر بوده است؟ اگر کسی می‌گفت دمای ۲۰۰سال پیش را می‌دانیم، باز معقول بود. چون در آن زمان فیزیک پیشرفتی کرده بود و می‌توان حدس زد که انسان‌ها از پس اندازه‌گیریهای متغییرهای جوّی و اقلیمی برمی‌آمدند. امّا اطلاعات ۵۰هزار سال پیش چگونه بدست آمده است؟

شاخه‌ای از علم که به این مسئله می‌پردازد «دیرینه‌اقلیم‌شناسی» یا «Paleoclimatology» نام دارد. روشهای مختلفی برای استخراج داده دربارهٔ اقلیم‌های دیرینه وجود دارد؛ یکی از ارزشمندترین آنها، بررسی یخهای قطبی است. در طول سالیان درازِ عمر یخچالهای قطب جنوب، برف می‌بارد و می‌بارد و هر بار روی لایه‌ای که قبلاً باریده شده بود تلنبار می‌گردد. لایه‌ها زیر فشار وزنِ برفهای بالایی لِه شده و تبدیل به یخ می‌شوند. حالا این یخ می‌تواند مانند یک محفظه عمل کند؛ محفظه‌ای که نمونه‌ای از موادّی که در زمان انجماد در محیط وجود داشته‌اند را در خود زندانی کرده است. بنابراین در یخ‌هایی که در عمق بیشتری هستند، اطلّاعات آب و هوای زمانهای قدیمتر ذخیره شده است. پس برای استخراج این اطلاعات، باید یک باریکهٔ عمیق از یخهای قطب را از دل یخچالها بیرون کشید و موادّی که در آن ذخیره شده‌اند را بررسی کرد. به این باریکه «مغزهٔ یخی» هم می‌گویند. چون بارش برف در تابستان کمتر از زمستان است، ساختار یخی که مربوط به تابستان است نیز با زمستان متفاوت خواهد بود. با شمردن تعداد تابستانها و زمستانها، معلوم می‌شود که تشکیل هر لایه به چند سال قبل باز می‌گردد.

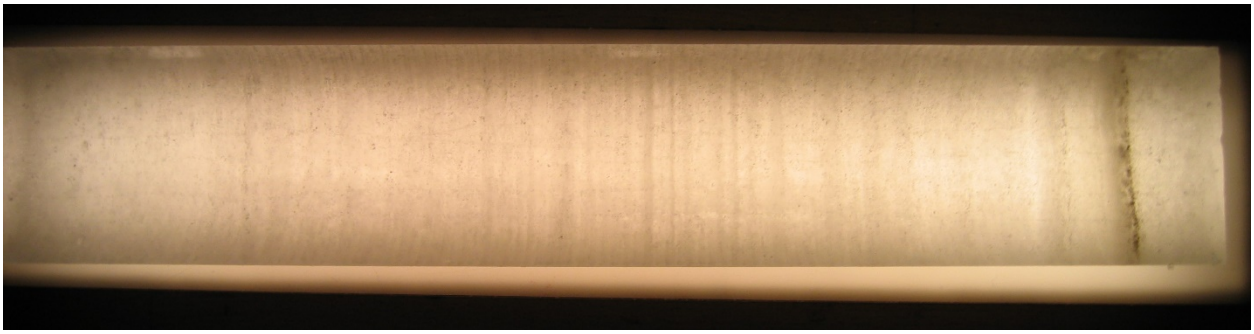


اگر از کاغذ A4 استفاده می‌کنید، تصویر بالا عکسی از یک مغزی یخی در ابعاد واقعی است. لایه‌های تاریک مربوط به زمستانند. برای مثال، می‌توان مقدار یونِ سُدیمِ موجود در هر لایه (زمان) را اندازه گرفت:



با این فرض که حدود ۹۵٪ کل سُدیم از نمک دریا حاصل می‌شود، مقدار سدیم ذخیره شده در یک لایهٔ یخ نشان می‌دهد که در آن سال چقدر سُدیم از سطح دریاها (چه عادّی و چه منجمد) بلند شده و به قطب منتقل شده است. اگر مقدار سُدیم زیاد باشد، یعنی جریان هوایی که از سطح دریاها به سمت قطب حرکت می‌کند در آن سال شدّت بیشتری داشته ویا طولانی‌تر رخ داده است. همین می‌تواند نشانهٔ زمستان‌های شدیدتر یا طولانی‌تر باشد. نمودار بالا مقدار سُدیم محبوس در لایه‌های یخ را نشان می‌دهد؛ از زمان حال (مبدأ) تا ۵۰هزار سال پیش (راستترین نقطه). این نمودار را با تخمین‌هایی که برای دمای زمین در زمانهای دیرین زده شده است مقایسه کنید.

امّا این بررسی‌ها فقط محدود به سُدیم نمی‌شود. مثلاً ذرّات خاک سبکی که از صحراها توسط باد بلند می‌شدند و به یخچالها می‌رفتند تا در دفتر قطب ثبت شوند هم نشان می‌دهند که در آن زمان شدّت بادها بیشتر بوده است. با مطالعهٔ این ذرّات خاک، مثلاً بررسی ایزوتوپهای تشکیل دهنده، حتی می‌توان مشخص کرد که ذرّات از کدام منطقهٔ زمین بلند شده و به یخچالها رفته‌اند. در کل داده‌های بسیار زیادی می‌توان از این سردخانهٔ تاریخ استخراج کرد. حبابهای هوایی که در یخ گیر کرده‌اند نشان می‌دهند که نسبت مولکولهای تشکیل دهندهٔ هوای آن دوران چه بوده است. درختانی که گرده افشانی کرده‌اند، ردّی از خود در این لایه‌ها به جا گذاشته‌اند و با تشخیص اینکه گرده‌ها به کدام گونهٔ گیاهی تعلق دارند می‌توان آماری از درختان حاضر بدست آورد و خود این می‌تواند اطلاعاتی دربارهٔ دما و مقدار بارش آن دوران به دست دهد. اگر آتشفشانی فوران کرده باشد، خاکسترش که تا هزاران کیلومتر به اطراف پخش می‌گردد باریکه‌ای تیره در یخها باقی می‌گذارد. در کل انگار بسیاری از اتفاقاتی که در تاریخ چندین هزارسالهٔ زمین رخ داده‌اند، با باد یا به هر نحو دیگر به یخچالها منتقل شده‌اند و در ورقهای این دفتر منجمد، خاطره‌ای از خود به جا گذاشته‌اند.



[2]

لایهٔ تیرهٔ سمت راست در تصویر بالا، ردّی است که به نظر از یک انفجار مهیب آتشفشانی در ۵۵۵۰۰سال پیش باقی مانده است. در مورد ایزوتوپهای اکسیژن داخل لایهٔ یخ نیز احتمالاً باید صحبت کرد، امّا فعلاً از دیرینه‌اقلیم‌شناسی بگذریم.

سخنرانی کوتاه خانم فاینمن دربارهٔ رابطهٔ پایداری اقلیم و ظهور کشاورزی با این جمله تمام می‌شود که «آیا آب و هوا دارد باز هم ناپایدار می‌شود؟ به نظر که قطعاً تغییر کرده است. ما برایش چه کار می‌توانیم بکنیم؟»

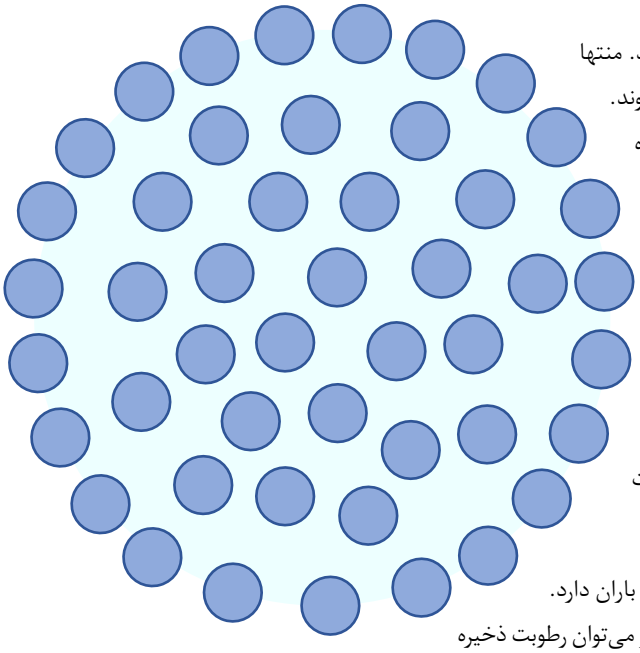
جهانی که انسانها در آن رشد کردند، جهانی که انسانها بدان متّکی هستند، به نظر در تعادلی به سر می‌برد که با رفتار نسنجیدهٔ خود آنها می‌تواند بهم بریزد و دنیا را به ناپایداری بکشاند. تولید گازهای گلخانه‌ای خودش باعث افزایش دماست، امّا می‌تواند مهرهٔ دومینویی باشد که با سقوطش چندین مهرهٔ دیگر هم سقوط می‌کنند. مثلاً اگر افزایش دما منجر به آب شدن یخهایی شود که حجم بزرگی از گازهای گلخانه‌ای را در خود محبوس کرده‌اند، ممکن است ناگهان

[2] http://www.iceandclimate.nbi.ku.dk/research/strat_dating/synch_ice_core_rec/vol_ash_layer/

۱۷برابر تولید سالانهٔ آمریکا، گاز گلخانه‌ای به جوّ زمین تزریق شود. یا مثلاً اگر گرم شدن زمین از قدرت بقای یک گونهٔ جانوری بکاهد، ممکن است در رقابت برای بقا، آن گونه در کل نابود گردد و تعادل بین گونه‌ها از بین برود. مسئله آشوبناک است. به این مفهوم که با منحرف کردن زمین از تعادلی که اکنون دارد، دقیقاً نمی‌توان پیش‌بینی کرد که چه بلایی در آینده انتظارمان را می‌کشد.

اگر مایلید در اینجا کمی استراحت کنید! برای پیش مطالعهٔ مربوط به بخش بعدی بد نیست به توضیح «مورد ۴۰»[3] مراجعه کنید.

هوایی که گرمتر است، ظرفیت بیشتری برای نگه داشتن رطوبت دارد. فرض کنید که رطوب موجود در هوا باعث تشکیل یک قطرهٔ کوچک شده باشد. اگر هوا داغ باشد، این قطره هم داغ خواهد بود و مولکولهایش جنبش بیشتری خواهند داشت.



مولکولهایی که روی سطح قطره هستند می‌توانند از قطره جدا شوند و به هوا برگردند. منتها این مولکولها توسط مولکولهایی که داخل قطره هستند به سمت داخل کشیده می‌شوند. به عبارتی مولکولهای داخل قطره مولکولهای سطح را نگه داشته‌اند تا از قطره کنده نشوند. حالا اگر یکی از مولکولهای روی سطح، به قدر کافی سرعت داشته باشد، دیگر زور مولکولهای داخل به متوقف کردنش نخواهد رسید. بنابراین آن مولکولهای سطحی که جنبش خوبی دارند، قطره را ترک خواهند کرد. هرچه قطره داغتر باشد، تعداد این مولکولها بیشتر خواهد بود، و بنابراین قطره سریعتر تبخیر می‌شود.

از طرفی چون هوا رطوبت دارد، قسمتی از این رطوبت همواره می‌آید و به قطره می‌چسبد. ولی اگر قطره خیلی گرم باشد، تعداد مولکولهایی که از قطره کنده می‌شوند از آنهایی که به قطره می‌چسبند بیشتر خواهد بود. در این صورت با اینکه هوا رطوبت دارد، ولی قطره مولکولهای خود را از دست می‌دهد و ناپدید می‌شود.

نتیجه می‌گیریم که هر چه هوا گرمتر باشد، رطوبت شانس کمتری برای تشکیل قطرهٔ باران دارد. یعنی هرچه هوا گرمتر باشد بارش دیرتر شکل می‌گیرد. در هوایی که گرمتر است بیشتر می‌توان رطوبت ذخیره کرد، بدون اینکه باران ببارد. پس باران دیرتر می‌بارد، در نتیجه بعضی از مناطقی که خشک بودند، ممکن است خشکتر هم بشوند. امّا وقتی که هوا ناگهان سرد شود و باران ببارد، تمام آن رطوبت زیادی که در هوا ذخیره شده بود، یکجا خالی می‌شود، و این ممکن است به بارش شدید و سیل منجر شود. بنابراین گرم شدن زمین، هم تعداد کم‌آبی‌ها و هم تعداد بارشهای شدید را افزایش می‌دهد. انگار بارشهایی که باید در مناطق مختلف و در طول سال می‌باریدند، با گرم شدن زمین، در زمان و مکان متمرکزتری خواهند بارید. این یعنی افزایش تعداد آب و هواهای بلاخیز در سراسر کرهٔ زمین. خازنی که بار الکتریکی و انرژی بیشتری در خودش ذخیره می‌کند، جرقه‌های قویتری هم می‌زند.





در انتظار سقوط
یک سطل آب،
یا دو سطل آب

[3] https://t.me/AlakPhysics/260
(https://telegra.ph/Dragon-Lama-02-08)

از طرف دیگر، میعان فرآیندی گرماده است. وقتی آن همه رطوبت و بخار آب ناگهان به قطرات باران تبدیل گردد، انرژی بسیار زیادی (که به آن گرمای نهان میعان می‌گویند) به صورت گرما آزاد و وارد هوا می‌شود. آزاد شدن چنین انرژی‌ای، جنبش هوا را زیاد می‌کند و باعث به وجود آمدن جریانهای شدید هوا و در نتیجه طوفان می‌شود.

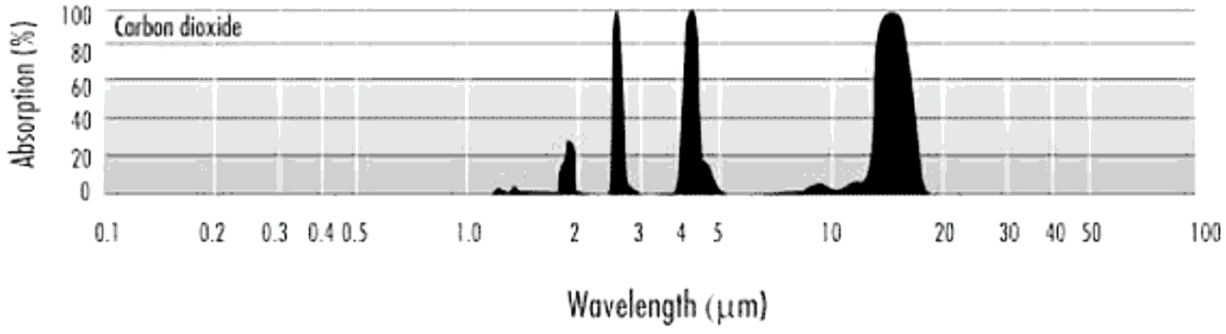
ای بابا آقا

- حالا اصلاً همهٔ اینها چه ربطی به ایران دارد؟ مگر ما چه سهمی در گرمایش جهانی داشتیم که حالا درگیر کردن خودمان با گرمایش جهانی چیزی را حل کند؟
- یعنی سؤالتان این است که کشور ما که فقط یکصدم کل جهان جمعیت دارد، آیا اصلاً سهمی هم در ایجاد این مشکل دارد؟
- بله دیگر!
- جواب متأسفانه مثبت است.

برای نمونه در آماری که توسط آژانس بین‌المللی انرژی ارائه شده است، در سال ۲۰۱۵ بین همهٔ کشورهای جهان، ایران رتبهٔ ۸اُم را در انتشار گاز کربن‌دی‌اکسید کسب کرده است.[4] گرچه این رقم هنوز نسبت به چین و آمریکا کوچک است، امّا سهم ناچیزی هم نیست. گاز کربن‌دی‌اکسید یکی از مهمترین گازهای گلخانه‌ایست که زمین را گرم می‌کنند.

هر جسم گرمی تابش می‌کند. همه جوره هم تابش می‌کند؛ هم مادون قرمز، هم نور مرئی و هم ماورای بنفش. هرچه قدر که جسم داغتر باشد، میانگین نوری که تابش می‌کند بیشتر به سمت ماورای بنفش می‌رود. مثلاً خورشید که خیلی داغ است، بیشتر از همه نور مرئی (حول و حوش زرد و سبز) تابش می‌کند. آهن را اگر داغ کنیم تا گداخته شود، میانگین تابشش از مادون قرمز به سمت نورهای مرئی می‌رود و می‌توانیم گداختگیش را ببینیم. امّا مثلاً زغال می‌تواند چندان نور مرئی‌ای از خود بروز ندهد، امّا وقتی نزدیکش می‌رویم از مقدار زیاد تابشی که به ما می‌کند می‌سوزیم. این تابش زغال که آن را نمی‌بینیم ولی پر شدّت هم هست، در حوزهٔ مادون قرمز است. وقتی نور خورشید به سطح زمین می‌خورد و آن را داغ می‌کند، زمینی که اکنون داغ شده است نور مادون قرمز تابش می‌کند.

اینکه چه مولکولی چه طول موجهایی از نور را بهتر جذب می‌کند، بستگی به ساختار مولکولی و اتمهای تشکیل دهندهٔ آن دارد که تعیین نظری آن در حوزهٔ مکانیک کوانتومی قرار می‌گیرد. طیف جذبی کربن‌دی‌اکسید به گونه‌ایست که بخشی از گسترهٔ مادون قرمز را به خوبی جذب می‌کند. به همین دلیل، قسمتی از نور مادون قرمزِ تابش شده توسط زمینِ داغ، به وسیلهٔ همین گاز کربن‌دی‌اکسید جذب ویا بازتاب می‌گردد. حالا هرچه غلظت گاز کربن‌دی‌اکسید در هوا بیشتر باشد، این فرآیند با قوّت بیشتری رخ خواهد داد. زمینی که در حباب شیشه‌ایِ گازهای گلخانه‌ای زندانی شده است، نمی‌تواند از شرّ گرمای اضافی خلاصی پیدا کند و مثل اتوموبیلی که در و پنجره‌هایش بسته است، داغتر و داغتر می‌شود.



[4] https://www.ucsusa.org/global-warming/science-and-impacts/science/each-countrys-share-of-co2.html

بیایید خودمان محاسبه کنیم. گفتیم که یک جسم گرم طیف گسترده‌ای از طول موجهای مختلف نور را تابش می‌کند. طبق قانون «جابجایی وین» اگر دمای جسمی T باشد، قلّهٔ این طیف، یعنی آن نوری که بیشتر از همه تابش می‌شود، طول موجی دارد که از معادلهٔ زیر بدست می‌آید:

$$\lambda = \frac{b}{T}$$

که در آن b مقداری ثابت و برابر با ۲۹۰۰میکرومتر×کلوین است. یعنی اگر T برابر با ۱کلوین باشد، طول موج پرشدّت‌ترین تابش جسم سیاه ۲۹۰۰میکرومتر خواهد بود. حالا به عنوان یک تخمین دورِهمی، دمای زمین را به اندازهٔ دمای میانگین آن در زمان حاضر، یعنی ۱۵درجهٔ سانتی‌گراد، در نظر می‌گیریم.[5] که می‌شود ۲۷۳+۱۵=۲۸۸درجهٔ کلوین. بنابراین طول موج بیشینهٔ تابش برابر است با:

$$\lambda = \frac{b}{T} = \frac{۲۹۰۰\mu m°K}{۲۸۸°K} \approx ۱۰\mu m$$

این یعنی تابش در طول موج ۱۰میکرومتر و در همسایگی آن بیشترین است. با نگاه به طیف جذبی کربن‌دی‌اکسید می‌بینیم که این مولکول حول و حوش طول موج بالا جذب نسبتاً خوبی دارد.

کار خودشونه

- داداش اینقدر زور نزن، اینا همش کار خودشونه.
- سیل؟! چطور یعنی؟
- اینا اومدند ابرا رو بارورسازی کنند، بلد نبودند کلاً خراب کردند همه چی رو.
- شما هم که یه چیزایی مثل داستان ابر دزدی می‌گید. نکنه دزدا پشیمون شدند و اینبار ابرا رو برگردوندند؟ بد نیست یه نگاهی به «مورد ۹» بندازید که همین مسئلهٔ ابر دزدی توش بررسی شده.[6]
- یعنی شما می‌گید بارورسازی نبوده؟
- آخه این ابرا که اصلاً از اوّل توی ایران نبودند. اینا از خارج از مرزهای ایران وارد کشور شدند. یعنی می‌فرمایید ما توی آسمون یه کشور دیگه طیّاره فرستادیم هوا و اَبرا رو اونور مرز بارور کردیم؟!
- پس کار همون خارجیاس!

[5] اینکه به کل زمین دمایی به اندازهٔ میانگین دمای سراسر زمین نسبت بدهیم، محاسبهٔ تابش بیشینه را قدری خدشه دار می‌کند. امّا صرفاً برای اینکه حدودی از طول موج تابش بیشینه داشته باشیم شاید این کار چندان هم بیراه نباشد.

[6] https://t.me/AlakPhysics/75

مرور، خلاصه، جمع‌بندی

(در این بخش از نظرات یکی از کارشناسان این حوزه مستقیماً استفاده کرده‌ام)

در جوّ زمین گازهایی مانند بخار آب، اُزُن، کربن‌دی‌اکسید و مِتان وجود دارد که گازهای گلخانه‌ای نامیده می‌شوند. به این مفهوم که مانند دیوارهای شیشه‌ایِ یک گلخانه، تابش با طول موج کوتاه خورشید را عبور داده و مانع از خروج تابش با طول موج بلند زمین می‌شوند. اگر این گازها نبودند دمای میانگین کرهٔ زمین به حدود ۱۸درجهٔ سانتی‌گراد زیر صفر می‌رسید و امکان زندگی روی زمین نبود. وجود این گازها باعث شده تا دمای میانگین کره زمین حدود ۲۸۸درجهٔ کلوین بشود. بر اساس قانون جابجایی وین، بیشینهٔ تابش جسمی با این دما در طول موج ۱۰میکرون خواهد بود. بیشینهٔ جذب کربن‌دی‌اکسید نیز در همین حدود است. بنابراین افزایش غلظت کربن‌دی‌اکسید در جو، باعث جذب بیشتر تابش زمین و در نتیجه افزایش دمای جو و به عبارت صحیح‌تر سامانه زمین-جو می‌گردد. این پدیده را گرمایش جهانی نامیده‌اند.

مهمترین اثر گرمایش جهانی این است که باعث افزایش فراوانی رخداد و انرژی پدیده‌های مخرّب جوی می‌گردد. در شرایط طبیعی طوفان، سیل و خشکسالی رخ می‌دهد، اما هم تعداد آنها کم است و هم انرژی تخریبی کمتری دارند. امّا وقتی دمای کرهٔ زمین افزایش می‌یابد هم تعداد این پدیده‌ها و هم انرژی آنها افزایش می‌یابد. علّت کاملاً روشن است. هرچه بستهٔ هوا گرمتر شود ظرفیت پذیرش بخار آب آن نیز افزایش می‌یابد. در نتیجه برای آن که یک بسته هوا به حالت چگالش (اشباع) برسد نیاز به بخار آب بیشتری دارد. مثلاً اگر قبلاً یک بسته هوا با ۱۰لیتر آب اشباع می شد حالا به ۲۰لیتر آب برای اشباع نیاز دارد. در چنین شرایطی در یک منطقه دو پدیدهٔ کاملاً متضاد می‌تواند شکل بگیرد. یا نیاز جدید آبی تأمین نمی‌شود که در این صورت ابری شکل نمی‌گیرد و یا شکل می‌گیرد امّا نمی‌بارد. این یعنی کم‌بارشی و در بدترین حالتْ *خشکسالی* که در یازده سال گذشته، ایران با آن مواجه بود. دو سال خشک شدید در ابتدا و انتهای دوره (سال آبی ۹۶-۹۷) که در پنجاه سال گذشته نادر بودند. ویا نیاز آبی بستهٔ هوا تأمین می‌شود که در این صورت بستهٔ هوا به حالت اشباع می‌رسد. در چنین شرایطی هم گرمای نهان زیادی نسبت به قبل آزاد می‌شود و هم به جای ۱۰لیتر، ۲۰لیتر بارش شکل می‌گیرد. به بیان دیگر طوفان، رعد و برق شدید و بارش سیل آسا رخ می‌دهد. که سال زراعی جاری (۹۷-۹۸) در ایران چنین وضعیتی دارد.

سازمان جهانی هواشناسی از سی سال پیش بخشی را راه‌اندازی کرده که مسئول بررسی تغییر اقلیم در جهان است. IPCC دارای ساختاری محدود (۳۴ نفر) است، اما با حدود هزار کارشناس و دانشمند در سراسر جهان در ارتباط است. این هیأت تا کنون ۵ گزارشِ ارزیابی تهیه و ارائه کرده است. در آخرین آنها به گرمایش جهانی و علّت آن یعنی افزایش غلظت کربن‌دی‌اکسید اشاره و تأکید شده است. به همین علّت در سال ۲۰۱۵ در پاریس سران ۱۹۵ کشور و یا نمایندگان آنها را جمع کردند و پیمانی را امضا کردند تا جلوی افزایش غلظت کربن‌دی‌اکسید را بگیرند. ایران نیز متعهد شده است بین ۴ تا ۱۲ درصد از میزان انتشار خود بکاهد. ایران در سال ۲۰۱۵ مقام هشتم جهان را در تولید کربن‌دی‌اکسید کسب کرد. اجرای این تعهد از سال ۲۰۲۰ شروع شده و در سال ۲۰۳۰ پایان می‌یابد. ایران منابع انرژی فسیلی فراوان دارد و در حال توسعه است. پس به انرژی بیشتری نیاز دارد. این ظاهراً در تناقض با تعهد داده شده است. به همین علّت جدّیتی در انجام تعهد داده شده دیده نمی‌شود. چنانچه کشورها به تعهد خود عمل نکنند و روند فعلی افزایش غلظت کربن‌دی‌اکسید تداوم داشته باشد، در پایانِ قرن حاضر یعنی سال ۲۱۰۰، دمای کرهٔ زمین بین ۳ تا ۵ درجهٔ سانتی‌گراد، و دمای منطقهٔ خاورمیانه بین ۵ تا ۷ درجه افزایش خواهد یافت. این یعنی فاجعه. دمای کرهٔ زمین تا کنون تنها ۱٫۱ درجه نسبت به دورهٔ پیش از صنعتی شدن افرایش پیدا کرده و این همه مصیبت ایجاد کرده است.

ما چه می‌توانیم بکنیم؟ شخصاً در این حوزه تخصصی ندارم، امّا به نظرم می‌رسد که تکلیف عمومی ما مردم تا حدودی مشخّص است. در وهلهٔ اوّل کم کردن نرخ گسیل گازهای گلخانه‌ای از طریق کم کردن میزان مصرف. در این زمینه می‌توان منابعی برای مطالعه پیدا کرد. نمونه‌های آن مثلاً می‌تواند استفادهٔ کمتر از وسایل حمل و نقل شخصی، تعمیر یا حذف خودروهای با آلایندگی بالا، بهینه کردن مصرف برق در هنگام طرّاحی منزل و محیط کار و از این دست باشد. حتّی کم کردن مصرف گوشت و روی آوردن به گیاه‌خواریِ بیشتر می‌تواند به کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای کمک کند، چرا که دامها یکی از عاملان تولید این گازها هستند. مسئلهٔ دیگری که باید به آن توجه کرد، حفظ و پاسداری از طبیعتِ جنگلها و دریاها است که چاهه‌های اصلی کربن‌دی‌اکسید هستند و با جذب آن باعث کاهش غلظتش در جو می‌شوند. یک نکتهٔ دیگر به نظرم به تنظیم خانواده برمی‌گردد. هر انسان در طول زندگی خود مصارف بسیار زیادی

دارد که به گرمایش جهانی کمک می‌کند. فرزندآوریِ با برنامه و توجّه داشتن به ظرفیت جمعیتی کشور (و در کل جهان) می‌تواند کمکی در راستای کاهش روند گرمایش زمین باشد.[7]

از طرفی گرچه شاید امید واهی به نظر برسد، امّا باید از مسئولین مطالبه کرد که به انرژیهای پاک و تجدیدپذیر روی بیاورند. انرژی آبی، انرژی خورشیدی، انرژی بادی، انرژی زمین‌گرمایی و انرژی امواج دریایی، هر پنج تا در ایران یافت می‌شوند. انرژی آبی بسته به شرایط ترسالی و خشکسالی متغییر است. امّا انرژی بادی و خورشیدی، به ویژه خورشیدی، به وفور و پیوسته در دسترس است. دولت باید به فکر جایگزینی این نوع انرژی باشد و از طرف دیگر به فکر سیاستی برای حذف خودروهای با آلایندگی بالا، اتوبوس‌ها و کامیون‌های دیزلی کهنه، جایگزین کردن گاز به جای گازوییل و مازوت در نیروگاههای تولید برق، استفاده از شرایط اقلیمی در طرّاحی ساختمانها برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در تأمین روشنایی، گرمایش و سرمایش و تهویه و غیره.

افزایش فراوانی سیل‌های ویرانگر یکی از نشانه‌های تغییر اقلیم ناشی از گرمایش جهانی است. اما خسارت‌های مالی و جانی آن عامل دیگری نیز دارد که از جملهٔ آن، اقدامات توسعه‌ای غیر کارشناسی و بدون مطالعهٔ دهه‌های اخیر بوده است. مانند سیل اخیرِ دروازه قرآن شیراز که بیشتر از سیل، اقدام غیر کارشناسی شهرداری شیراز در مسدود کردن رود دره و تبدیل کردن آن به خیابان و پارک، عامل کشته شدن مردم در ایام عید شد.



[7] مثلاً می‌توانید به توضیحات «مورد ۴۳» که در مورد زباله است مراجعه کنید:
https://t.me/AlakPhysics/271
در کانال تلگرامی @AlakPhysics

ارجاعاتی که در متن نیامدند

- مقالهٔ خانم فاینمن: Climate stability and the development of agricultural societies (DOI 10.1007/s10584-007-9248-1)
- Major Features and Forcing of High-latitude Northern Hemisphere Atmospheric Circulation using a 110,000-year-long Glaciochemical Series (1997). *Earth Science Faculty Scholarship*. 263.
- http://www.theworldcounts.com/stories/Temperature-Change-Over-the-Last-100-Years
- http://www.theworldcounts.com/counters/why_is_climate_change_important/global_average_temperature_chart
- http://www.iceandclimate.nbi.ku.dk/research/past_atmos/ice_core_impurities/dust_in_ice_cores/
- http://www.iceandclimate.nbi.ku.dk/research/past_atmos/ice_core_impurities/impurities_sea_ice_burning_trees/
- https://climate.nasa.gov/news/2616/core-questions-an-introduction-to-ice-cores/
- http://www.iceandclimate.nbi.ku.dk/research/strat_dating/synch_ice_core_rec/vol_ash_layer/
- https://en.wikipedia.org/wiki/Paleoclimatology#Ice
- https://en.wikipedia.org/wiki/Ice_core#/media/File:GISP2_1855m_ice_core_layers.png
- https://icecores.org/about-ice-cores
- http://www.antarcticglaciers.org/glaciers-and-climate/ice-cores/ice-core-basics/
- https://www.ncdc.noaa.gov/news/what-paleoclimatology
- https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data/datasets/ice-core
- https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/antarctica/epica_domec/edc-ca-na.txt
- https://www.aps.org/publications/apsnews/201805/plenaries.cfm
- https://en.wikipedia.org/wiki/Joan_Feynman