تغییرات ناگهانی آب و هوا[1]

دیوید آندرسون: مربی دانشکده اتون و عضو گروه تحقیق تاریخ‌نگاری و رسوب‌شناسی کواترنری در آموزشگاه جغرافیای دانشگاه آکسفورد

شهرام بهرامی: دانشجوی دکترای جغرافیای طبیعی دانشگاه تهران

چکیده

«نظریهٔ تغییرات تدریجی آب و هوای کره زمین با در نظر گرفتن شواهدی از لایه‌های قدیمی یخ در کلاهک یخی گرینلند، مورد انتقاد قرار گرفته است. مقالهٔ حاضر، عوامل تغییرات سریع آب و هوایی را که در گذشته اتفاق افتاده است، مورد بحث قرار می‌دهد و بررسی می‌کند که: «آیا چنین تغییراتی در آینده به‌عنوان نتیجهٔ شگفت‌انگیز گرم‌شدگی جهان روی دهد؟»

بسیاری از برنامه‌های درسی سطح A، شامل بررسی تغییر آب و هوا به‌عنوان بخشی از مطالعه هوا و آب و هواست. مقالهٔ حاضر، مدرک مهم جدیدی را دربارهٔ تشریح تغییرات آب و هوایی از آخرین دورهٔ یخچالی ارائه می‌دهد.»

در اوایل سال ۱۹۹۰م، گرینلند شاهد تکمیل دو پروژهٔ عمدهٔ **حفر یخ**[2] بود. **پروژه مغزه یخی** (استوانه‌ای از یخ که با دستگاه‌های حفاری از یخچال‌ها استخراج می‌شود) گرینلند اروپایی (GRIP)[3] و **پروژهٔ صفحه یخی گرینلند آمریکای شمالی** (GISP2)[4]، هر دو موفق شدند از قلهٔ صفحه یخچالی گرینلند مغزه‌های طول یخ ـ به‌دست آورند. یخچال از سطح تا عمق ۳۰۰۰ متری حفر شده است و مغزه‌هایی که از صفحهٔ یخی استخراج شدند، جالب توجه هستند؛ زیرا شامل لایه‌های یخی می‌شوند که از زمان حاضر تا خیلی بیش‌تر از ۱۰۰ هزار سال قبل، تعیین سن شده‌اند. درحالی که این مغزه‌های یخی، اولین مغزه‌هایی نبودند که در گرینلند مطالعه شدند؛ اما آن‌ها به تفصیل بیش‌تر از مغزه‌های یخی قبلی مطالعه شده‌اند و شواهد شگفت‌آوری از این‌که چگونه آب و هوا می‌تواند به‌طور سریع تغییر کند، ارائه داده‌اند.

با توجه به شواهد اخیر که از مغزه‌های یخی GRIP و GISP2 به‌دست آمده است، دانشمندان ناچار شده‌اند نظریه‌های جدیدی دربارهٔ اقلیم‌های دوره یخچالی و چگونگی تغییر وضعیت کره زمین از **دوره یخچالی** به **بین یخچالی** و بازگشت مجدّد از بین یخچالی به یخچالی، طرح کنند.

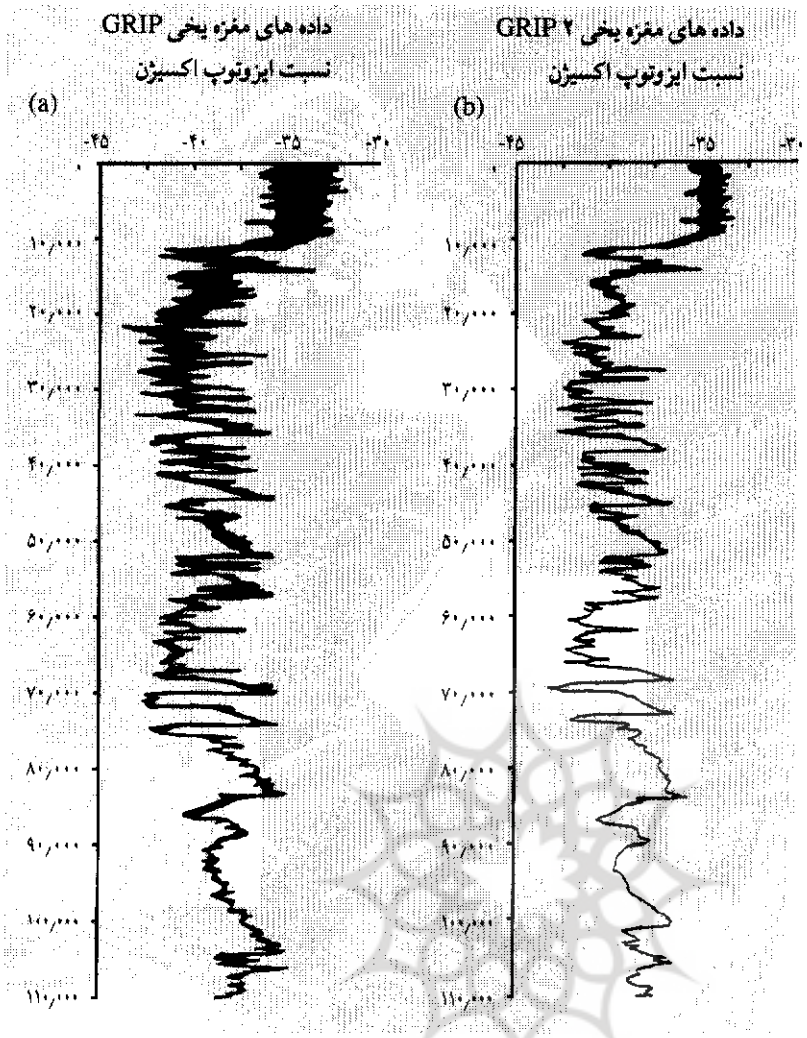
شواهد[5] مغزه‌های یخی

از آن‌جا که لایه‌های یخ سالانه روی یک سطح یا پایه تجمع می‌کنند، می‌توانند اطلاعات سال‌به‌سال، مفصّل و بسیار زیادی را در مورد این‌که چگونه اوضاع در سطح یک صفحه یخچالی در طول زمان تغییر می‌کند، ارائه دهند. ضخامت یک لایه یخ نشان می‌دهد که چه قدر برف در یک سال واحد تجمع یافته است و حباب‌های ریز هوا که در داخل یخ حبس شده‌اند، نشان می‌دهند که موقع شکل‌گیری یخچال، اتمسفر چه وضعیتی داشته است. برای مثال، این حباب‌های هوا می‌توانند برای تعیین غلظت‌های گازهای ناچیز گذشته مثل دی‌اکسیدکربن و متان در اتمسفر به‌کار روند. دانشمندان علاوه بر مطالعهٔ هوای محبوس، ترکیب ایزوتوپ اکسیژن[6] خود یخ را هم تعیین می‌کنند. تغییر در نسبت بین ایزوتوپ‌های اکسیژن سنگین و سبک[7] در لایه‌های یخ، به‌طور عمده به‌وسیلهٔ تغییرات درجه حرارت ایجاد می‌شود (به ضمیمه نگاه کنید). نسبت ایزوتوپ اکسیژن در مغزه‌های یخی GRIP و GISP2 در هر لایه قابل تشخیص یخ از قسمت بالا تا پایین لایه اندازه‌گیری شده است و این، طولانی‌ترین و دقیق‌ترین رکوردهای[8] (ثبت ـ یادداشت) دمایی را تا زمان حال، از گرینلند فراهم کرده است.

رکوردهای ایزوتوپ اکسیژن، درباره آب و هوا به ما چه می‌گویند؟

هر دو رکورد ایزوتوپ اکسیژن از مغزه‌های یخی GRIP و GISP2، به‌طور قابل توجهی به همدیگر شبیه هستند. (شکل ۱). هردو نشان می‌دهند که دمای گرینلند در طول آخرین دوره یخچالی که تقریباً از ۱۱/۵۰۰ تا ۱۱۰/۰۰۰ سال پیش طول کشید، به‌طور قابل ملاحظه‌ای در نوسان بوده است. از این شواهد روشن است که آخرین دورهٔ یخچالی، یک دورهٔ سرد با شرایط یکسان نبوده است. در عوض، این دوره یخچالی به‌وسیلهٔ حدود ۲۴ دوره با شرایط خیلی سرد (استیدیال) که به‌وسیله دوره‌های کوتاه نسبتاً گرم‌تر به‌نام **اینتر استیدیال** جدا شده‌اند، مشخص شده است. به‌نظر می‌رسد که در همه جا، هر دورهٔ سرد و گرم خاص از چندین صد سال تا چند هزار سال طول کشیده است. در گرینلند، گذر بین دوره‌های **استیدیال** و **اینتر استیدیال**، نوسانات دمای میانگین سالانه ۷ تا ۸ درجه سانتیگراد را شامل می‌شد. این نوسانات دمایی بزرگ که در طول دهه‌ها بیش‌تر از صده‌ها اتفاق افتادند، هنوز هم بسیار قابل توجه هستند.

به‌طور کلی، اکثر نوسانات دمایی سریع، با تغییرات از شرایط سرد به شرایط گرم اتفاق می‌افتاد؛ درحالی که تغییرات از شرایط گرم به سرد کمی آرام‌تر بود. این موضوع خصوصیت الگوی «دندان اره‌ای»[9] در داده‌های مغزه یخی را توجیه می‌کند (شکل ۱). با این وجود، این الگو همچنین نشان می‌دهد که تغییرات از گرما به سرما بتدریج شروع شد؛ اما همچنان که دما به شرایط استیدیال کامل نزول کرد، بسرعت خاتمه یافت. امروزه، این تغییرات ناگهانی و بزرگ دمایی در طول آخرین دوره یخچالی، بعد از دو دانشمند بزرگ مغزه‌یخ، به دوره‌های **دانسگارد- اوسجر** (نام دو دانشمند) معروف هستند. آخرین مورد این نوسانات دمایی بزرگ به‌عنوان حادثهٔ **یانگردرایس** مشهور است. حدود ۱۲۸۰۰ سال پیش، دما یک‌بار دیگر به طرف شرایط استیدیال کامل افت کرد و میانگین دمای سالانه در انگلستان بین ۵- تا ۲- درجه، در مقایسه با دمای ۱۱+ درجه معتدل امروزی یا دمایی در همین حدود، در نوسان بود. در حدود ۱۱۵۰۰ سال قبل، دورهٔ سرد **یانگردرایس** به یک خاتمهٔ سریع و شروع دورهٔ بین یخچالی فعلی (هولوسن) انجامید. در گرینلند این گذر یا انتقال، یک افزایش دمایی حدود ۷ درجه را شامل می‌شد که یقیناً در ۵۰ سال اتفاق افتاد و ممکن است حتی در طول کم‌تر از یک دهه اتفاق افتاده باشد. مغزه‌های یخی GRIP و GISP2 نشان می‌دهند که میانگین درجه حرارت از آخر **یانگردرایس** تا زمان حال، نسبتاً گرم باقی مانده است.



شکل ۱ : داده‌های نسبت ایزوتوپ اکسیژن از مغزه‌های یخی GRIP و GISP2 که در مقابل محور زمان رسم شده‌اند. داده‌های منفی[40-] بزرگ‌تر، دماهای سردتر را نشان می‌دهند؛ در حالی که داده‌های منفی کوچک‌تر، دماهای گرم‌تر را نشان می‌دهند. این داده‌ها مشخص می‌کنند که آخرین دورهٔ یخچالی (بین حدود ۱۱۵۰۰ تا ۱۱۰/۰۰۰ سال قبل) یک دوره با شرایط سرمایی یکسان نبود. این دوره، به‌وسیله نوسانات آب و هوایی بی‌شماری که شامل نوسانات سریع دمایی ۸ درجه سانتیگراد در نواحی قطبی است، مشخص شد. ■

وقتی که اتم‌های اکسیژن ۱۰ نوترون دارند، جرم اتمی ۱۸ (18O) است و گفته می‌شود که (ایزوتوپ سنگین) است. این ایزوتوپ‌های اکسیژن پایدار هستند؛ زیرا مانند ایزوتوپ‌های رادیواکتیو- مثل اورانیوم- تباهی[11] (تجزیه) نمی‌یابند. به‌وسیله تعیین نسبت اکسیژن سنگین به اکسیژن سبک در لایه‌های یخچالی، می‌توان دماهای گذشته را به‌دست آورد. تغییر در نسبت اکسیژن ۱۸ به اکسیژن ۱۶ در یخ، نسبت به یک استاندارد معروف به SMOW محاسبه می‌شود.

SMOW، نسبت اکسیژن ۱۸ به اکسیژن ۱۶، مشخص شده در میانگین استاندارد آب اقیانوس است. به طور کلی یخ دارای اکسیژن ۱۸ کم‌تر از آب دریا و اکسیژن ۱۶ بیش‌تر از آب دریاست. بنابراین، نسبت ایزوتوپ‌های یخ نسبت به SMOW، منفی است. این موضوع بدان علت است که وقتی آب (H_2O) از سطح دریا تبخیر می‌شود، بخار آب با ایزوتوپ‌های اکسیژن سبک‌تر، راحت‌تر از بخار آب با ایزوتوپ‌های سنگین‌تر به داخل اتمسفر منتقل می‌شود.

ضمیمه : ایزوتوپ‌های پایدار[10] اکسیژن به‌عنوان رکورد درجه حرارت

اکسیژن، بسته به تعداد نوترون‌های داخل هسته اتمی، به صورت ۳ ایزوتوپ مختلف وجود دارد. بیش‌تر اتم‌های اکسیژن، ۸ نوترون و ۸ پروتون دارند. این، یک جرد اتمی ۱۶ (16O) (ایزوتوپ سبک) به اکسیژن می‌دهد.

بنابراین، آب دریا سرشار از اکسیژن ۱۸ می‌شود، حالتی که آب اقیانوس (که تهیتا به تدریج بارش پایین می‌آید) مشابه از اکسیژن ۱۶ و شامل اکسیژن ۱۸ کم‌تری است. علاوه بر آن، هوای سرد در تبخیر ایزوتوپ سنگین، کم‌تر از هوای گرم مؤثر است. این بدان معنی است که کاهش دما، باعث یک نسبت بسیار پایین اکسیژن ۱۸ به اکسیژن ۱۶ (منفی زیادتر)[۱۵] در بارش می‌شود. هنگامی که این بارش به عنوان برف روی یک لایه یخ می‌نشیند، درنهایت لایه‌ای از یخ را که نسبت ایزوتوپ کاهش یافته را نشان می‌دهد، ایجاد می‌کند. همین طور، تغییر به دماهای گرم‌تر، به معنی یک افزایش (منفی کم‌تر)[۱۵] نسبت اکسیژن ۱۸ به اکسیژن ۱۶ در بارش و یک نسبت افزایش یافته هماهنگ با آن در یخ (منفی کم‌تر) است. این، همان رابطه مستقیمی است که دستخوش یخچالی را مانند یک منبع اطلاعاتی گرانبها درباره تغییرات دمایی کرانه‌ها همچنان که در شکل ۱ نشان داده شده است، درآورده است.

آیا این تغییرات، یک اثر جهانی داشته‌اند؟

پاسخ به سؤال فوق مشکل است، زیرا صرف‌نظر از مغزه‌های یخی، منابع اطلاعاتی خیلی کمی وجود دارد که بتوانند چنین رکوردهای (ثبت‌های) دمایی دقیقی را ارائه دهد. به هرجهت، ما می‌توانیم داده‌های مغزه‌های یخ را از گرینلند با داده‌های مشابه از کلاهک یخی قطب جنوب مقایسه کنیم، هر چند نوسانات دمایی بسیار ملایم و انطباق زمانی[۱۶] تا حدودی متفاوت است، اما به طور کل، مغزه‌های یخی قطب جنوب، الگوی مشابهی را با مغزه‌های گرینلند نشان می‌دهند. این موضوع به خودی خود، اشاره بر آن دارد که نوسانات دمایی در نیمکره شمالی بسیار بالا بود. تنها به وسیلهٔ مطالعه جدیدترین نوسانات دمایی (دوره یانگردرایس) است که می‌توان نتایج بسیار دقیقی ترسیم کرد. شواهد رسوبی (چینه‌شناسی) نشان می‌دهند که سردشدگی یانگردرایس که در مغزه‌های یخی GRIP و GISP2 ثبت شد، در بسیاری از اروپا و سواحل شرقی آمریکای شمالی نیز اتفاق افتاده است. علاوه بر آن شواهدی هم برای سردشدگی دورهٔ یانگردرایس در بعضی مناطق بسیار دور، شامل سواحل اقیانوس آرام در آمریکای شمالی و نیوزیلند[۱۷]، نیز پیدا شده است. بنابراین، به نظر می‌رسد که احتمالاً دوره یانگردرایس و بسیاری رکوردهای تغییرات دمایی سریع دیگر در مغزه‌های یخی گرینلند، تغییراتی را نشان می‌دهند که (این تغییرات) اثرات عمیقی، روی قسمت وسیعی از کره زمین داشته‌اند.

اقیانوس اطلس شمالی

قبل از آن که علل مؤثر در پس تغییرات اقلیمی بخوبی فهمیده شوند، هنوز کارهای زیادی هست که انجام شود. به هرجهت، در یک روند رو به رشد، آشکار شده است که در طول دههٔ گذشته یا دهه‌های قدیم‌تر، جریان‌های اقیانوس اطلس شمالی یک نقش کلیدی داشته‌اند. با مطالعهٔ بقایای روزن‌داران و دیگر میکروارگانیزم‌هایی[۱۸] که در تهٔ اقیانوس‌ها قرار گرفته‌اند، این امکان وجود دارد که مشخص کنیم، چگونه دماهای سطحی دریا در رابطه با داده‌های مغزه‌های یخی تغییر کرده‌اند. با بررسی شیمی پوسته این میکروارگانیزم‌ها، این امکان وجود دارد که تعیین شود: هنگامی که موجودات زنده بودند و پوستهٔ خود را می‌ساختند، جریان‌ها از کجا می‌آمدند (یا چه جهتی داشتند)؟

مطالعهٔ مغزه‌های رسوبی به دست آمده از بستر اقیانوس اطلس نشان داده است که تغییرات در دماهای سطحی آب دریا، قیقاً با تغییرات دمایی ناگهان ثبت شده در مغزه‌های یخی مرتبط بوده است. برای مثال، تصور می‌شود که در آغاز دورهٔ یانگردرایس، دمای آب دریا در آن‌سوی ساحل نروژ، حدود ۶ درجه سانتیگراد پایین آمده است و تا حدود ۹ درجه- هنگامی که یانگردرایس خاتمه یافت و هولوسن شروع شد- افزایش یافته است. این دو تغییر بزرگ در کم‌تر از ۵۰ سال اتفاق افتاد. همچنین این نوسانات دمایی که از مغزه‌های یخی گرینلند گرفته شده‌اند، با تغییرات در جریان اقیانوسی که از شواهد رسوبی- دریایی عمیق استنتاج شده‌اند، مرتبط هستند. تحقیقات اخیر به طور دقیق‌تر نشان داده است که دوره‌های سرد با دوره‌های کاهش جریان‌های عمیق دریایی در اطلس شمالی هماهنگ است.

همچنان که جریان در اطلس شمالی می‌تواند به یک «کمربند حامل»[۱۹] تشبیه شود (شکل ۲)، جریان دریایی عمیق کاهش یافته نیز به معنی جریان گلف‌استریم کاهش یافته و جریان آرام اطلس شمالی در طول سطح است. امروزه این جریان آب گرم سطحی، آب و هوای جزایر بریتانیا را به طور غیرمعمولی، با وجود عرض جغرافیایی بالای آن گرم نگه می‌دارد. بدون این جریان‌ها، آب و هوای بریتانیا خیلی بیش‌تر از کانادای شمالی و سیبری سرد خواهد بود.

درحقیقت، تغییرات مکانی رو به جنوب این جریانات می‌توانند به معنی بازگشت به شرایط نزدیک به دوره‌های یخچالی برای نواحی اطلس شمالی باشد. امروزه بیش‌تر اقیانوس‌شناسان معتقدند که نوسانات دمایی آب سطح اقیانوس اطلس شمالی در طول آخرین دوره یخچالی، به وسیله تغییر در موقعیت و دوام جریانات اقیانوسی ایجاد شد. علاوه بر آن، امروزه تصور می‌شود که این تغییرات (در دمای آب سطح دریا)، عامل نوسانات بسیار شدید درجه حرارت که از مغزه‌های یخی GRIP و GISP2 گرفته شده‌اند هستند.

تغییرات آستانه‌ای[۲۰]

در حالی که تغییرات دمایی سریع استنتاج شده از مغزه‌های یخی به‌خودی‌خود اهمیت دارند، اما این موضوع که: «یک سیستمی از جریان‌های اقیانوسی در مقیاس اقیانس اطلس بتوانند تغییراتی را تنها چند دهه

با چنین نتایج قوی ایجاد کنند[۱]، ممکن است حتی اهمیت بیش‌تری هم داشته باشد. امروزه آب‌های گرم به‌علت جریان‌های نیرومند ترموهالین (THC)[۲۱] (جریان‌های دریایی عمیق کنترل‌شونده به‌وسیله شوری و درجه حرارت) به اروپای شمالی می‌رسند. اصطلاح ترموهالین به اثرات ترکیبی شوری و درجه حرارت روی سیستم جریان اشاره دارد و متغیر کلیدی، چگالی آب دریاست. مادامی که آب‌های سطحی گرم از مناطق بین مداری به طرف شمال، از طریق جریان گلف استریم[۲۲] و جریان آرام اطلس شمالی[۲۳] (شکل ۲) حرکت می‌کنند، تبخیر آب از سطح دریا، به‌طور دائم اتفاق می‌افتد. بنابراین با گذشت زمان، آب‌های رسیده به عرض‌های شمالی، حاوی نمک نسبتاً بالایی خواهند بود که این عامل، آب‌ها را سنگین‌تر و غلیظ‌تر از آب‌های قطبی اطراف می‌کند. این غلظت زیاد با سردشدگی زمستان (آب، بیش‌ترین چگالی را در ۴ درجه سانتیگراد دارد) همراه و آب دریا بقدری غلیظ (متراکم) می‌شود که به اعماق زیاد نفوذ می‌کند.

به این صورت است که جریان‌های دریایی عمیق[۲۴] اطلس شمالی، هنگامی که این جریان‌ها در امتداد کف اقیانوس اطلس به طرف جنوب حرکت می‌کنند، شکل می‌گیرند. اخیراً اقیانوس‌شناسان کشف کرده‌اند که چگالی بحرانی[۲۵] (حساس) مورد نیاز برای ایجاد این جریانات عمیق دریایی، فقط به دو مکان مشخص می‌رسند:

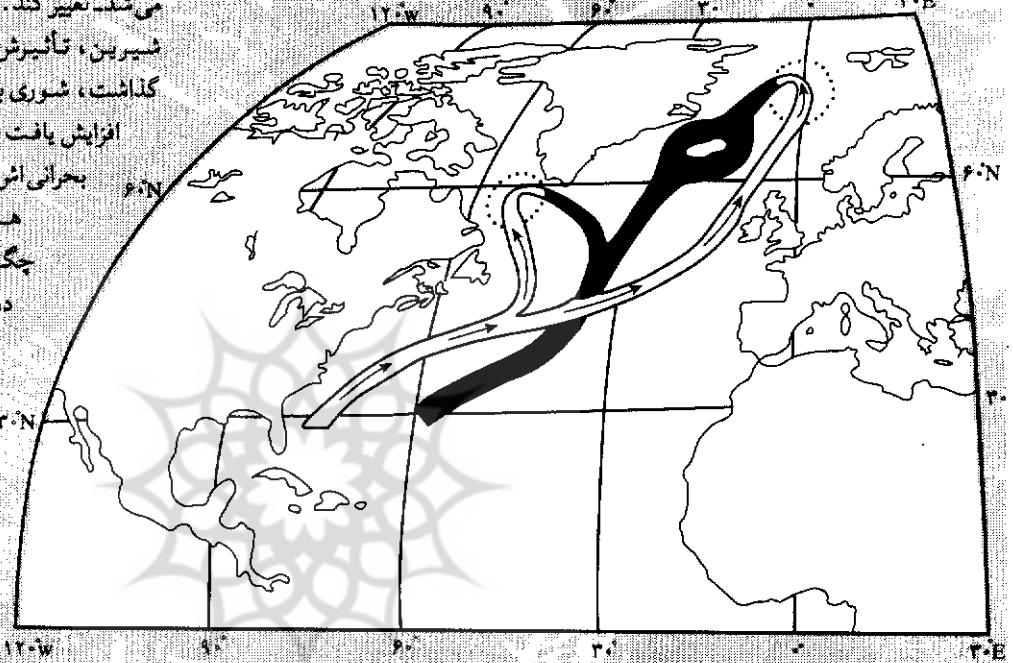
۱. مکان اول، که برای آب و هوای اروپا بسیار مهم است؛ آن سوی ساحل نروژ در دریای ایسلندی- گرینلندی[۲۶] نروژ است،

۲. مکان دوم، آن‌سوی ساحل نیوفوندلند[۲۷] در دریای لابرادور است.

اگر بنا به بعضی دلایل، تشکیل آب عمیق در این نواحی قطع شود، یک کاهش مطابق با (آن قطع شدگی) در حرکت به طرف شمال آب‌های گرم- که به‌طور طبیعی فرایند شکل‌گیری آب عمیق را تغذیه می‌کنند- نیز صورت می‌گیرد. در طول آخرین دوره یخچالی، شکل‌گیری آب عمیق (جریان دریایی عمیق)، به‌علت تخلیه آیسبرگی (یخکوه)[۲۸] عظیم از صفحه یخی لورنتاید[۲۹] در آمریکای شمالی، چندین برابر کاهش یافت. این «حوادث هاینریچ» اتفاقی، مقادیر عظیمی از آب شیرین را به داخل اطلس شمالی، همچنان که آیسبرگ‌ها ذوب شدند، وارد کردند. با هر تزریق آب شیرین، شوری[۳۰] آب دریا که به طرف شمال در جریان بود، کاهش یافت و درنهایت چگالی آن را کاهش داد و از نفوذ آن به ته اقیانوس مانع شد. این امر باعث می‌شد که اقیانوس اطلس شمالی به وضعیت یخچالی- که به وسیلهٔ جریانات آب گرم کاهش یافته و سردشدگی شدید در اروپا مشخص می‌شد- تغییر کند. هنگامی که هر تزریق آب شیرین، تأثیرش را در میسر خود برجا گذاشت، شوری بتدریج در اطلس شمالی افزایش یافت؛ تا زمانی که به چگالی بحرانی اش[۳۱] رسید.

همچنان که این آستانهٔ چگالی[۳۲] گذشت، آب دریا دوباره شدیداً شروع به نفوذ در نواحی شمالی کرد و باعث جایگزینی جریان آب گرم از عرض‌های جنوبی و گرم شدن منتج در اروپا شد. اکنون شواهد قوی وجود دارند که بیان می‌کند: «توسانات بزرگ دمایی که در مغزه‌های یخی گرینلند شناسایی شده‌اند، به‌وسیلهٔ تغییر وضعیت‌های بین THC قوی وضعیف اطلس شمالی ایجاد شده است.»

این سیستم به یک کمربند حامل شباهت دارد؛ زیرا جریان‌های سطحی که به طرف شمال حرکت می‌کنند، جایگزین آب‌هایی می‌شوند که در عرض‌های بالا به پایین نفوذ می‌کنند تا جریان‌های آبی عمیقی را که به طرف جنوب حرکت می‌کنند، شکل دهند. دایره‌های پراکنده، مکان‌هایی را نشان می‌دهند که در آن‌جا آب نواحی جنوبی بقدری غلیظ می‌شود که نفوذ می‌کند و جریان آبی عمیق را شکل می‌دهند. اگر عاملی میزان نفوذ را قطع کند (مانند تزریق



شکل ۲. تصویر سیستم جریان ترموهالین اقیانوس اطلس شمالی.

آب شیرین که شوری و غلظت را کاهش می‌دهد)، به‌دنبال آن، جریان آب گرم هم که به طرف شمال حرکت می‌کند، قطع می‌شود.

اثرات انسانی

شکی نیست که در طول آخرین دورهٔ یخچالی و در مرحلهٔ گذر به داخل دورهٔ بین یخچالی حاضر، تغییرات اساسی در جریان اقیانوسی و آب به وسیلهٔ ترکیب تخلیهٔ آیسبرگ و آب حاصل از ذوب صفحات یخی، ایجاد شد. این موضوع، دارای اثر رقیق کنندگی آب دریا در نواحی بحرانی تشکیل آب عمیق است که به‌موجب آن، THC کاهش پیدا می‌کند. آنچه مجهول است، این است که آیا انواع دیگر تغییرات هیدرولوژیکی در ناحیهٔ اطلس شمالی می‌توانند انفصال مشابه‌ای برای سیستم THC فراهم کنند؟ بعضی طراحان آب و هوا اظهار کرده‌اند که گرم شدن جهان باعث بارش بیش‌تر و افزایش ذوب برف و یخ در نواحی شمالی می‌شود و درنهایت به افزایش دبی رودخانه‌هایی که به داخل قطب و اقیانوس اطلس شمالی جریان می‌یابند، منتهی می‌شود. همچنین استدلال می‌شود که این مسأله ممکن است آب شیرین کافی برای کاهش شوری و کاهش میزان تشکیل آب عمیق در نواحی بحرانی فراهم کند و شاید حتی اطلس شمالی را به وضعیت یخچالی برگرداند. همان‌طور که IPcc[۳۴] در بخش «خلاصه‌ای برای سیاستگذاران[۳۴]» گزارش سال ۱۹۹۵ م آن نوشت، ما هنگام پیش‌بینی نتایج گرم‌شدگی جهان، نمی‌توانیم غافل‌گیری‌های بالقوه[۳۵] را رد کنیم. یقیناً یک غافل‌گیری ناخوشایند می‌بود اگر شمال غرب اروپا، به‌علت جریان ترموهالین کاهش یافته خیلی سردتر می‌شد؛ درحالی که بقیهٔ جهان گرم می‌ماند. آنچه که ما از مطالعهٔ مغزه‌های یخ و جریان‌های اقیانوسی در سال ۱۹۹۰ م یاد گرفتیم، این است که سیستم آب و هوا مستعد تغییر ناگهانی از یک وضعیت عملی به وضعیت دیگر است. درحقیقت، تغییرات تدریجی آب و هوا به‌طور مطمئن (در درون خود) تغییرات ناگهانی و استثنایی داشته‌اند که به میزان ۱۰۰ هزار سال گذشته یا بیش‌تر، به وسیلهٔ مغزه‌های یخی گرینلند اندازه‌گیری شده‌اند. با این آگاهی، ما باید در یک سیستم آب و هوایی که خوب آن را نمی‌شناسیم، کم‌تر مداخله کنیم.

اصطلاحات مهم

Core : مغزه. اصطلاحی است که با استفاده از تأسیسات حفاری ویژه برای توصیف یک بخش استوانه‌ای یا رشته‌ای از مواد به‌هم پیوسته به‌کار می‌رود. مغزه می‌تواند از انواع زیادی مواد استخراج شود؛ نمونه‌ها شامل این موارد است: مغزه‌های یخی از صفحات یخی یا یخچال‌ها، مغزه‌های رسوبی از بستر یک دریا یا دریاچه و مغزه‌های زغالی از مرداب یا تالاق زغالی.

Dansgaard-oeschger cycle : چرخه‌های دانسگارد-اوسجر. نوسانات سریع بین شرایط آب و هوایی استیدیال و اینتراستیدیال در مغزه‌های یخی گرینلند دیده شد. هر دورهٔ سرد و گرم عموماً بین ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ سال طول کشید و تغییرات دمایی از دوره‌ای به دوره دیگر در حدود ۵ تا ۸ درجه سانتیگراد بود.

Foraminifera : روزنه‌داران. موجودات تک‌سلولی، معروف به روزنه‌داران که دارای پوسته آهکی هستند. انواع کفزی که نزدیک بستر دریا زندگی می‌کنند و انواع پلانکتون که در سطح دریا زیست می‌کنند، نیز وجود دارند. گونه‌های مختلف آن‌ها با طبقات دمایی مختلف تطبیق یافته‌اند و بنابراین، مطالعات روزنه‌داران پلانکتونی باقی مانده در رسوبات بستر دریا، منابع اطلاعاتی خیلی مهمی دربارهٔ تغییرات دمایی سطح دریا در گذشته فراهم آورده‌اند.

Heinrich Events : حوادث هاینریچ. حوادث عظیم تخلیهٔ آیسبرگ به داخل اقیانوس اطلس شمالی از حاشیهٔ شرقی صفحه یخی لورنتاید در کانادا است وجود این جریان‌های آیسبرگی عمده، به‌وسیلهٔ لایه‌های مواد یخچالی (رسوبات حمل شده به‌وسیله یخ‌های شناور) یافت شده در رسوبات عمیق دریا استدلال می‌شود. همچنین این لایه‌ها که «لایه‌های هاینریچ» نام دارند، نشان می‌دهند که ۶ حادثهٔ هاینریچ در طول آخرین دوره یخچالی وجود داشته است. این حوادث، دقیقاً به چرخه‌های دانسگارد-اوسجر که در مغزه‌های یخ دیده شدند، مربوط می‌شوند.

Holocene : هولوسن. نام دورهٔ بین یخچالی حاضر ما است که در حدود ۱۱۵۰۰ سال قبل شروع شد.

Ice age : دوره یخچالی. در ۲ میلیون سال گذشته یا بیش‌تر، زمین چندین دوره یخچالی را تجربه کرده است. تا ۷۰۰۰۰۰ سال گذشته، هر دورهٔ یخچالی، ۱۰۰۰۰۰ سال طول کشید. میانگین دماهای جهانی در دوره‌های یخچالی، حدود ۵ درجه سانتیگراد سردتر از زمان حال بوده است و قاره‌های نیمکره شمالی، صفحات یخی وسیعی داشته‌اند.

Interglacial : دورهٔ بین یخچالی. دوره با شرایط آب و هوایی پایدار و نسبتاً گرم بین دوره‌های یخچالی متوالی است. ما فعلاً در نزدیک‌ترین دورهٔ بین یخچالی (به‌نام هولوسن) زندگی می‌کنیم. این دوره در حدود ۱۱۵۰۰ سال پیش، هنگامی که آخرین دورهٔ یخچالی خاتمه یافت، شروع شد. مدت استمرار دوره‌های بین یخچالی تفاوت دارد؛ ولی میانگین اندازهٔ زمانی آن‌ها ۱۱ هزار سال است. این موضوع اشاره بر آن دارد که ما در حال نزدیک شدن به انتهای دورهٔ بین یخچالی حاضر و وارد شدن به دورهٔ یخچالی آینده هستیم.

Interstadials : **اینتراستیدیال‌ها یا دوره‌های گرم کوتاه‌مدت در طول دوره‌های یخچالی**. در حالی که دما به سطح بین یخچالی نمی‌رسد، اما می‌تواند برای پسروی یخچال‌های محلی و گسترش جنگل‌ها به طرف شمال بسیار کافی باشد.

IPcc : **هیأت بین دولی تغییرات آب و هوایی**. یک هیأت بین‌المللی از دانشمندان است که گرم شدن جهانی را مطالعه می‌کنند و سیاستگذاران را از آخرین یافته‌ها آگاه می‌کنند.

Stadials : **استیدیال‌ها**. دوره‌های سرد کوتاه‌مدت در طول دورهٔ یخچالی که اغلب توسعهٔ محلی یخچال را تجربه می‌کنند.

Stratigraphy : **چینه‌شناسی؛ مطالعهٔ لایه‌ها (یا چینه‌های) زمین‌شناسی**. چینه‌شناسی علاوه بر تشکیلات سنگی، مطالعه رشتهٔ وسیعی از رسوبات دیگر شامل رسوبات عمیق دریا ـ رسوبات دریاچه ـ رسوبات یخچال و لایه‌های یخی موجود در صفحات یخی را نیز دربرمی‌گیرد.

Younger Dryas : **یانگر دریاس؛ آخرین دورهٔ سرد با شرایط قبل از افزایش دمایی در شروع هولوسن**. این دوره در حدود ۱۳۰۰ سال طول کشید و با پیشروی‌های مجدد یخچال در بخش‌های زیادی از جهان، شامل یخگیری «پرشتی یک منطقه به وسیله یخچالی» استیدیال بسیار مشهور لوج لوموند در بریتانیا، ارتباط داشت.

سؤال‌هایی برای بحث و گفت‌وگو

۱. چرا یک تغییر در جریان اقیانوس اطلس شمالی، شمال اروپا را بسیار بیش‌تر از شمال آمریکا تحت تأثیر قرار می‌داد؟

۲. تغییرات در دمای سطح دریا چگونه آتمسفر را تحت تأثیر قرار می‌دهد؟ سعی کنید جریان گلف استریم و جریان آرام اطلس شمالی را به رژیم‌های آب هوایی که ما در حال حاضر در جزایر بریتانیا تجربه می‌کنیم، مرتبط کنید.

۳. چرا شما فکر می‌کنید که برای طراحان آب و هوا بسیار مشکل است، پیش‌بینی کنند که: «چگونه گرم‌شدگی جهان ممکن است سیستم جریان اقیانوسی جهان را تحت تأثیر قرار دهد؟»

۴. تحقیق در تغییر آب و هوایی گذشته نشان می‌دهد که: وقتی آستانه‌های بحرانی معین عبور می‌کنند، شرایط آب و هوایی به‌طور ناگهانی از یک وضعیت متوسط به وضعیت دیگر تغییر می‌کند. بعضی از حوزه‌های دیگر جغرافیای طبیعی را که نشان‌دهنده آستانه‌ها هستند، ذکر کنید.

موضوع‌های کلیدی

- مدارک جدید از مغزه‌های بستر دریا و مغزه‌های یخی نشان می‌دهند که تغییرات اساسی در اقلیم و جریان اقیانوسی می‌تواند فقط در چند سال اتفاق بیفتد.
- حادثهٔ یانگر دریاس در انتهای آخرین دورهٔ یخچالی، افت دمایی را به خود دید؛ اما بعدها دماها به‌طور سریعی بازسازی شدند.
- جریان آب عمیق در اطلس شمالی نهایتاً به اقلیم‌های ناحیه‌ای مربوط می‌شود.
- تغییر دمایی بسیار سریع، از فعالیت و یا عدم فعالیت جریان‌های عمیق دریایی اطلس شمالی ناشی می‌شود.

منبع:

مقالهٔ حاضر (Abrupt climatic change) از مجلهٔ زیر است:

۱. «مجله: Geography Review، انتشارات: Philip Allan، محل نشر: Deddington, Oxfordshire، شماره ۴، مارس ۲۰۰۰»

2. Ice - drilling

3. Greenland Ice-core project

4. Greenland Ice sheet project 2

5. evidence

6. Oxygen - isotope

7. heavy and light oxygen isotope

8. record: ثبت، یادداشت، نگاشت

9. saw tooth

10. stable

11. decay: تباهی، تجزیه، فسادپذیری

12. Standard Mean ocean water

13. more Negative

14. Less Negative

15. Straightforward relationship

16. Timing

17. Newzealand

18. micro - organism

19. conveyor belt

20. Threshold change

21. Thermohaline circulation (THC)

22. Gulf stream

23. North Atlantic Drift current

24. deep - water current

25. critical densities

26. Greenland - Iceland - Norwegian sea

27. New foundland

28. iceberge

29. Laurentide ice sheet

30. Saltiness

31. critical density

32. density threshold

33. intergovernmental panel on climate change

34. Policy makers

35. Potential surprises

* منبع: برنامهٔ پالئوکلیماتولوژی نوا ـ مرکز داده‌های یخی و برف ملی (NSIDC) و مرکز داده‌های جهانی